

les Divisions cellulaires

Mitose et méiose



Méiose et cycle de développement

Cycle de développement : alternance méiose/fécondation

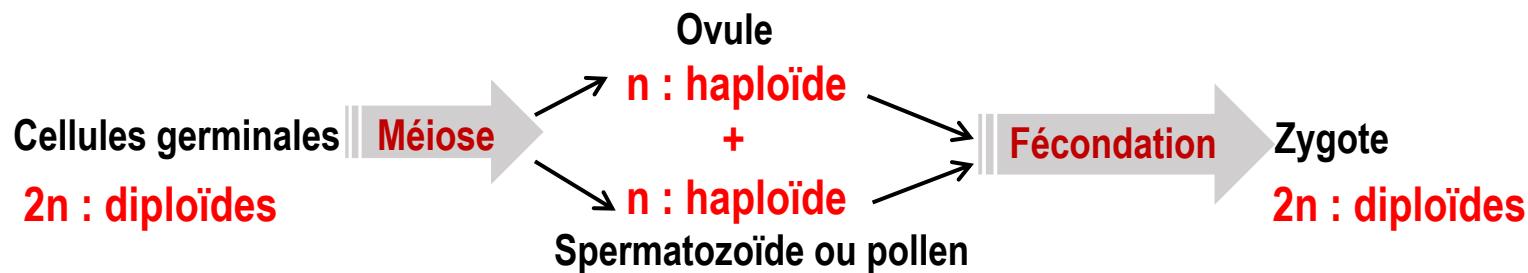
Le cycle de développement des organismes à reproduction sexuée passe par une alternance d'une phase haploïde (grâce à la **méiose**) et d'une phase diploïde (grâce à la **fécondation**) :

- 1) Méiose : réduction le nombre de chromosomes de moitié ($2n \rightarrow n$),
- 2) Fécondation : appariement des chromosomes homologues ($n \rightarrow 2n$)

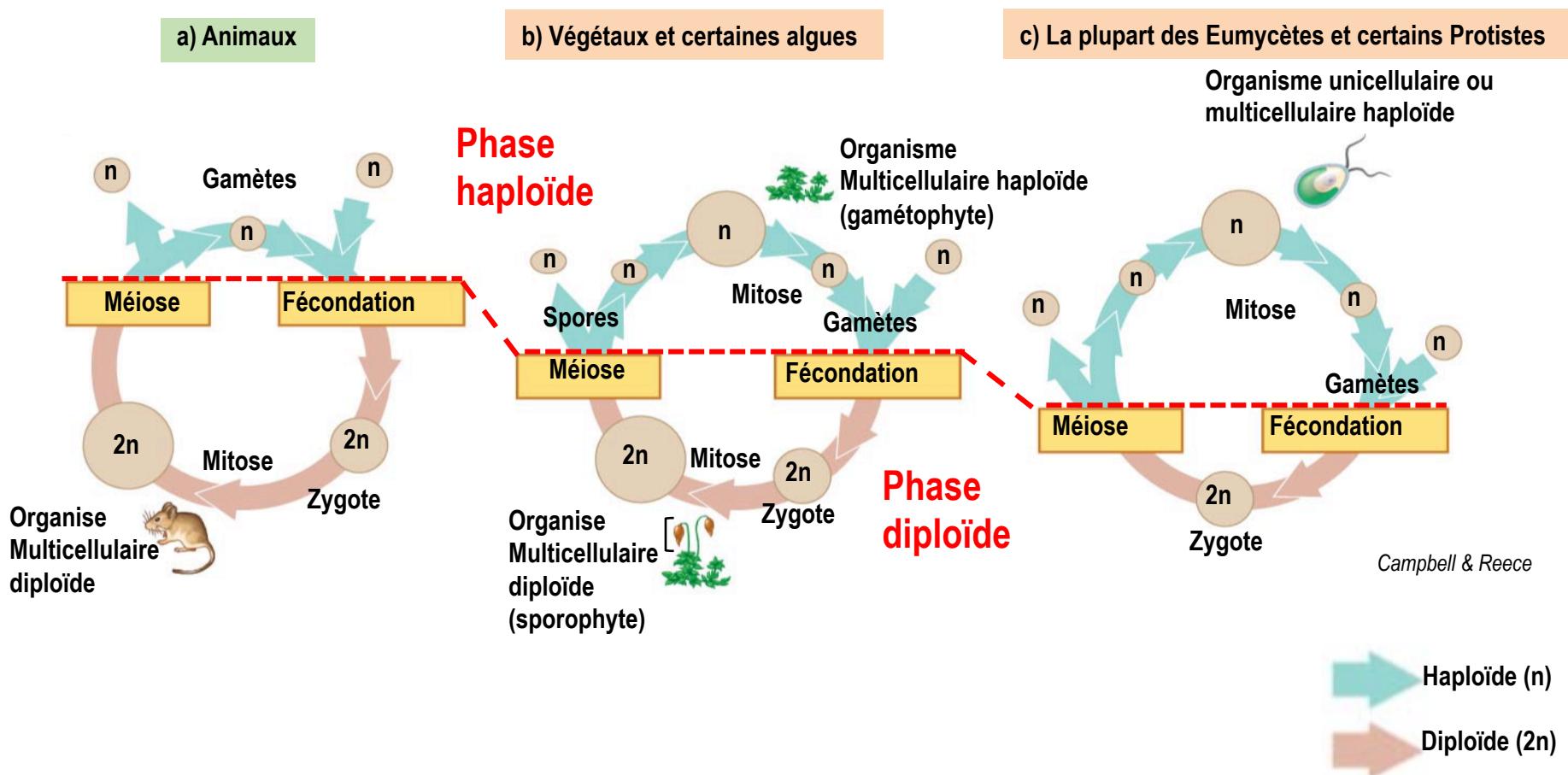
=> Méiose et fécondation participent à un brassage génétique, donnant lieu à une diversité génétique à chaque génération

Méiose et fécondation permettent la conservation du nombre de chromosomes propre à l'espèce

- La méiose ou gamétogénèse permet la formation de gamètes haploïdes, en réduisant le nombre de chromosomes de moitié
- La fécondation permet la formation du zygote diploïde, en mettant en commun le jeu de chromosomes maternels et le jeu de chromosomes paternels
 - => Chaque individu hérite des deux moitiés du nombre de chromosomes maternel et paternel

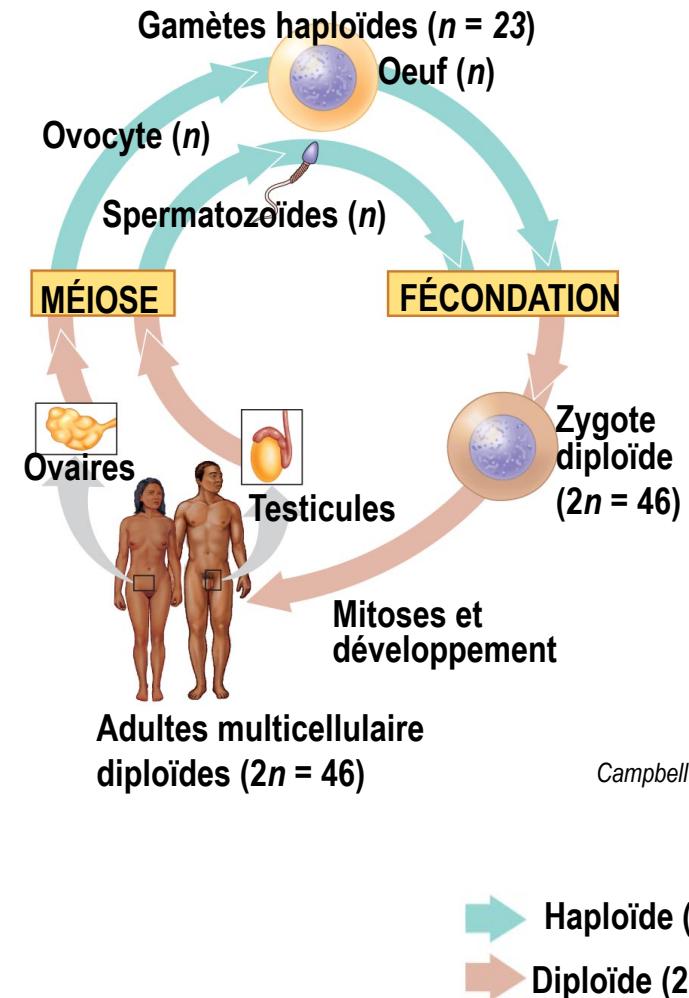


Cycle de développement : alternance méiose/fécondation



Comportement des jeux de chromosomes lors du cycle de développement humain

- La fécondation correspond à la fusion d'un gamète femelle haploïde (ovocyte) avec un gamète mâle (spermatozoïde) haploïde
- L'œuf fécondé appelé zygote est diploïde parce qu'il contient deux jeux de chromosomes haploïdes : un jeu haploïde de chaque parent
- Du zygote jusqu'à la maturité sexuelle et l'âge adulte, la mitose génère les cellules somatiques et les cellules germinales de l'organisme
- Les gamètes se produisent par méiose à partir des cellules germinales, au niveau des gonades (ovaires et testicules).



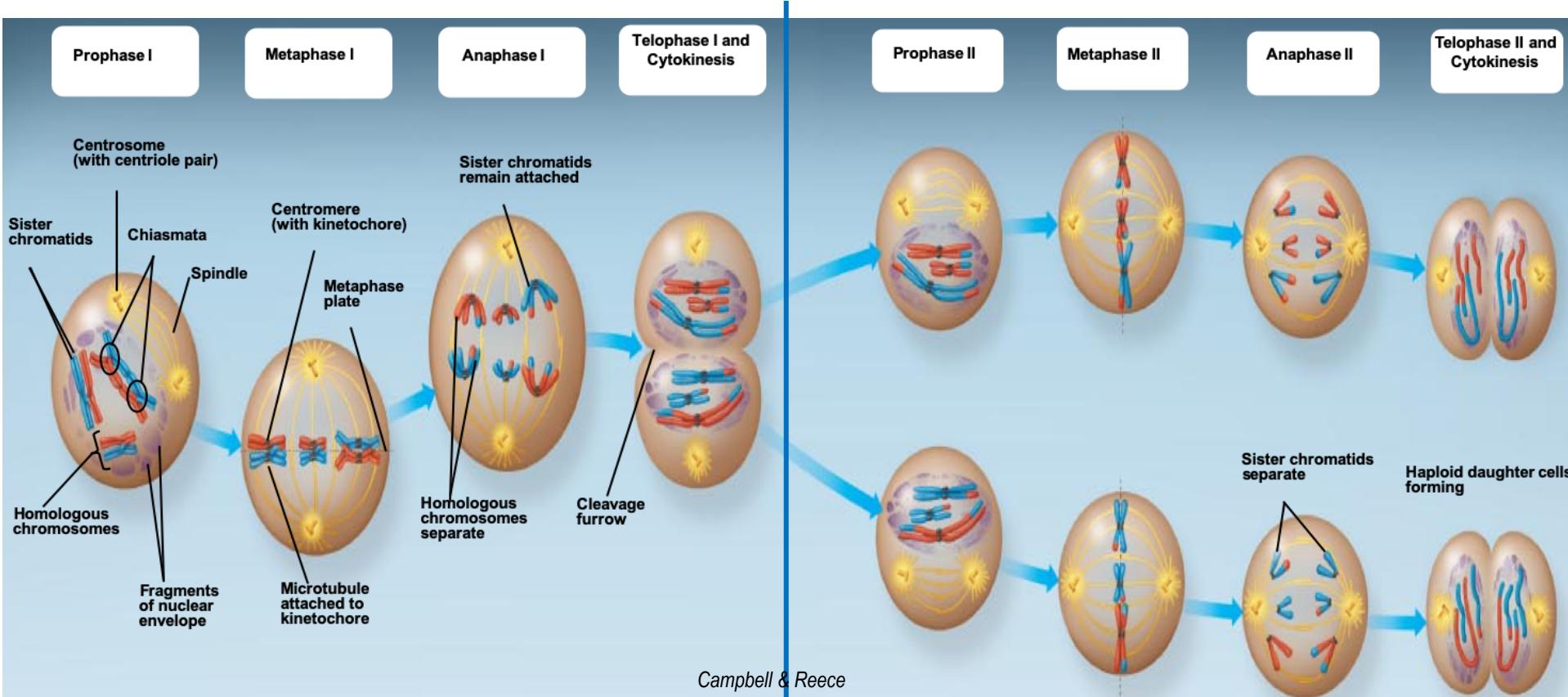
Campbell & Reece

→ Haploïde (n)
 → Diploïde ($2n$)

La méiose réduit de moitié le nombre de chromosomes et permet le passage du stade diploïde au stade haploïde

- Deux étapes : **méiose I** : division réductionnelle ($2n \Rightarrow n$)
méiose II : division équationnelle ($n \Rightarrow n$)

Les phases de la méiose



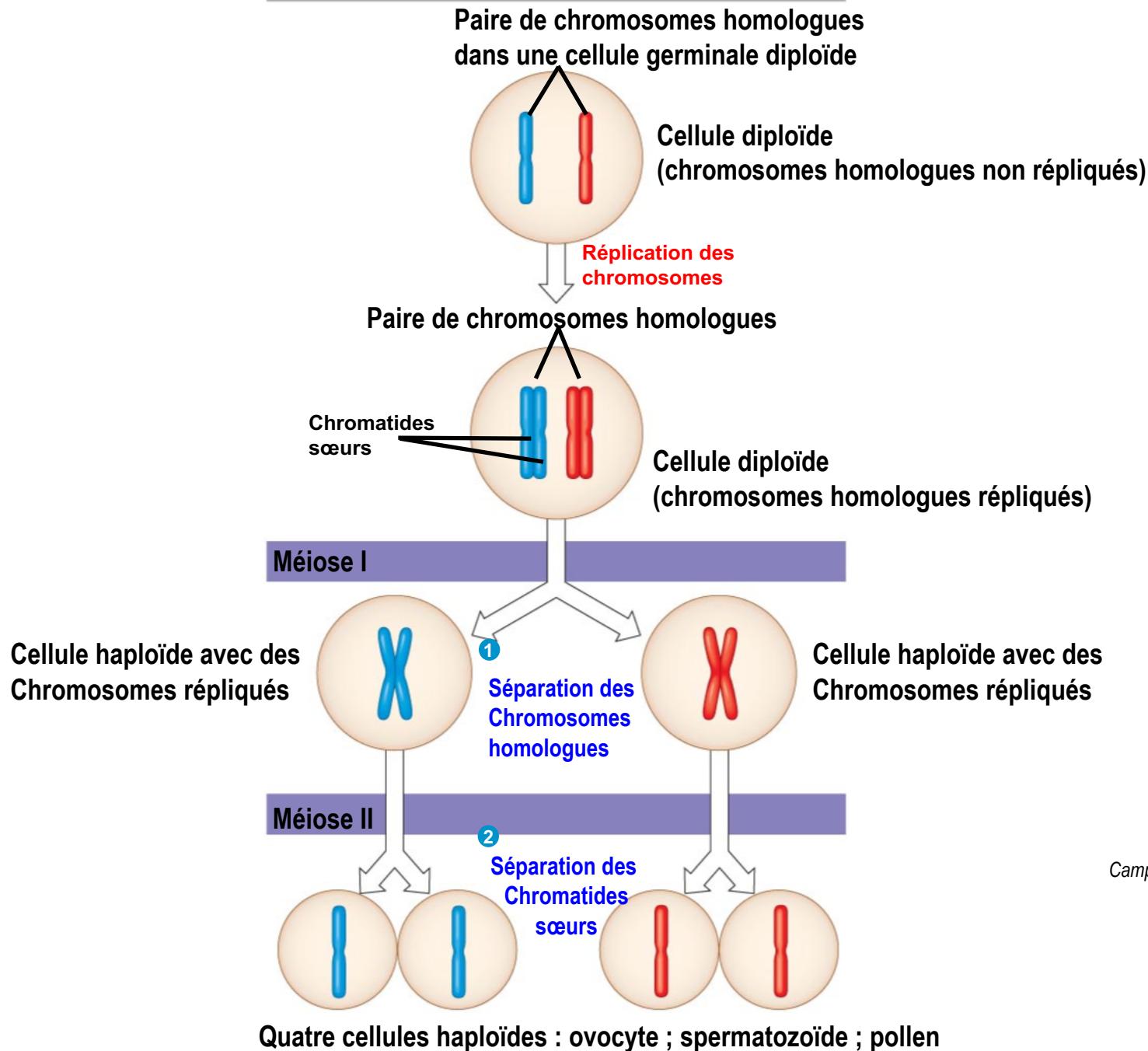
Méiose I : répartition des chromosomes homologues dans deux cellules filles

Méiose II : pour chacune des cellules, répartition des chromatides sœurs dans deux cellules filles

Méiose I et méiose II de la méiose

- **Méiose I est la division réductionnelle** : les deux chromosomes homologues se séparent pour donner deux cellules filles haploïdes, mais chaque chromosome est encore dédoublé en deux chromatides sœurs
- **Méiose II la division équationnelle** : les deux chromatides sœurs se séparent, dans quatre cellules filles haploïdes : les cellules sexuelles appelées gamètes

Interphase

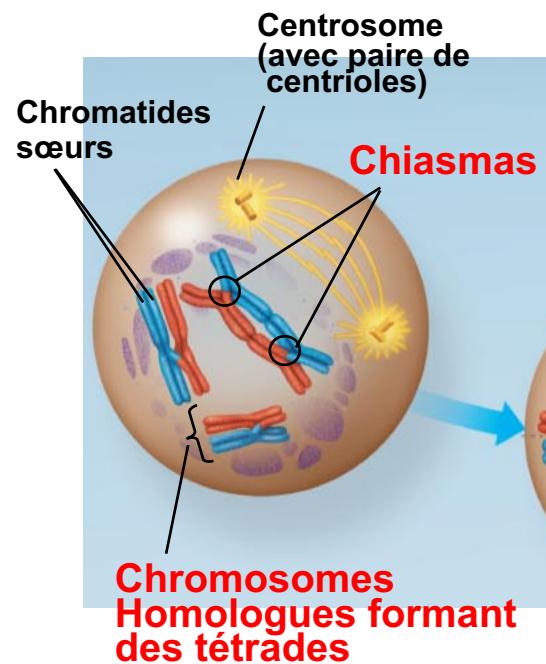


Méiose I : division réductionnelle

- La **méiose I** est précédée de la phase G2 : les chromosomes répliqués en deux chromatides sœurs, en phase S, doivent être bien jointes au niveau de leurs centromères
 - le centromère est une région de chromatine spécialisée qui constitue le fondement de l'assemblage du kinétochore et la fixation des chromatides sœurs
 - Les chromatides sœurs sont génétiquement identiques sont jointes par un complexe protéique, les **cohésines**
 - Étapes de la méiose I : Prophase I
Métaphase I
Anaphase I
Télophase I et cytocinèse

Phases de la méiose I

Prophase I



Méタaphase I

Anaphase I

Télophase I et Cytocinèse

Modifiée du Campbell & Reece

Événements particuliers de la 1^{ère} division méiotique

En prophase I :

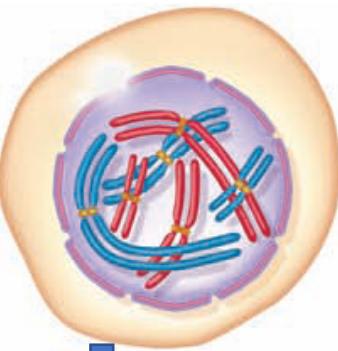
- Une **synapsis** qui forme des **tétrades**: les chromosomes homologues s'apparent, grossièrement d'abord, puis plus étroitement sur leur toute leur longueur ; les gènes correspondants sont alignés face à face avec précision
- Des **enjambements** (crossing-over): les chromatides non-sœurs s'entrecroisent au niveau du **chiasma** et se rompent en échangeant des portions de chromatine
- La prophase I est plus complexe que celle de la mitose. Elle dure 90% de la durée totale de la méiose, qui s'interrompe à ce stade jusqu'à la puberté



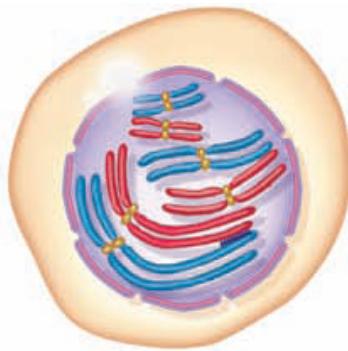
Ne pas apprendre, ne fait pas partie des objectifs du contrôle IV !

La prophase I se fait en plusieurs étapes

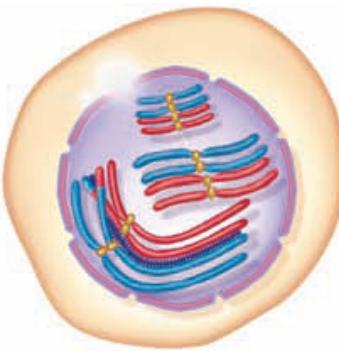
Leptonèse



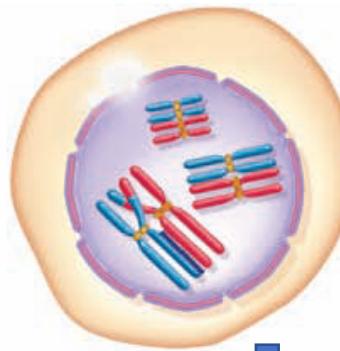
Zygotène



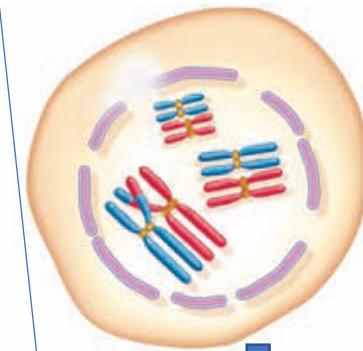
Pachytène



Diplotène



Diacinèse



Les chromosomes
répliqués se
condensent

Début de la synapsis

Fin de la synapsis et
formation de tétrades
Début du crossing-over

Dissociation du complexe
synaptonémal et blocage
jusqu'à la puberté

À partir de la
maturation
(puberté)

Événements particuliers de la 1^{ère} division méiotique

En prophase I (suite) :

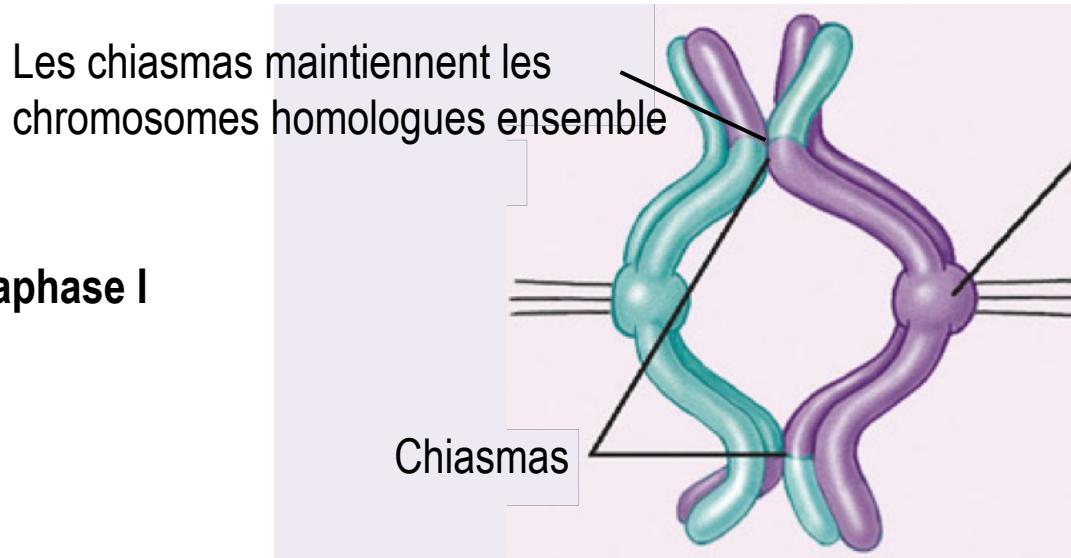
- La **synapsis** est une structure protéique appelée complexe synaptonémal, qui se forme tout le long des chromosomes homologues; elle les maintient étroitement appariés sur toute leur longueur, formant ainsi des **tétrades**
- Chaque tétrade s'accompagne d'un ou de plusieurs chiasmas, point de croisement où l'enjambement a lieu

Événements particuliers de la 1^{ère} division méiotique

En métaphase I :

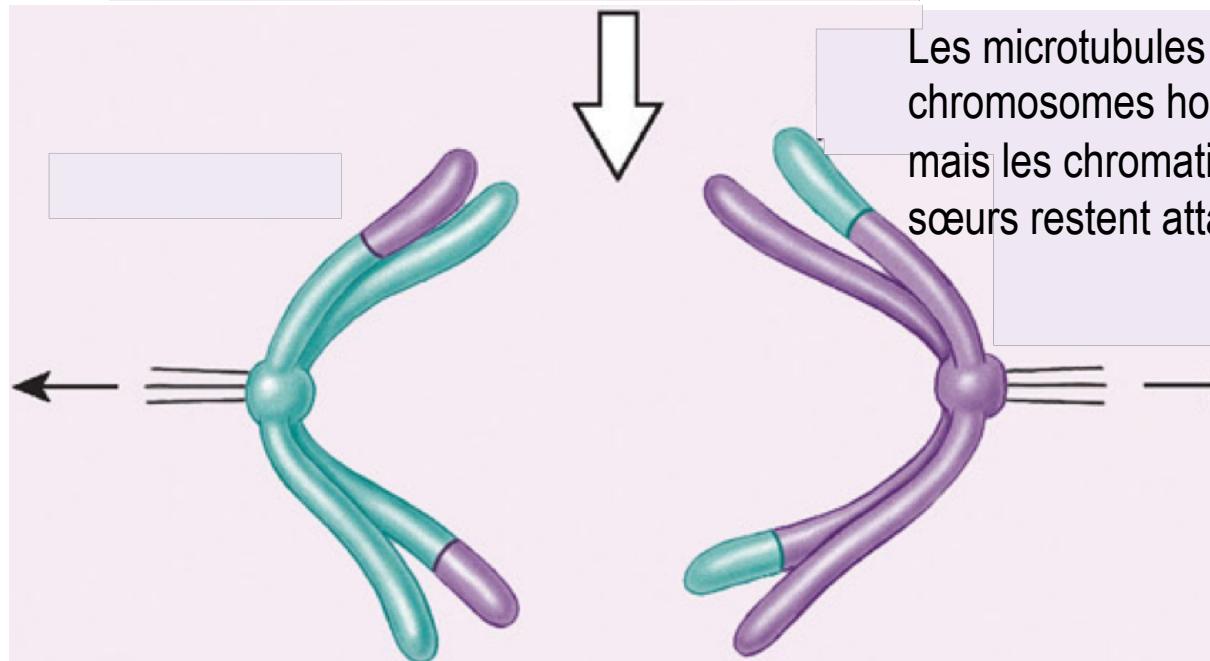
- Les paires de chromosomes homologues en **tétrade**s s'alignent sur la plaque équatoriale, un chromosome de chaque paire faisant face à chaque pôle
- De part et d'autre de la tétrade les microtubules kinétochoriens maintiennent les deux chromatides sœurs de chacun des deux chromosomes homologues => en anaphase I, les microtubules séparent les chromosomes homologues sans interrompre les chromatides sœurs, qui restent attachées au niveau de leurs centromères

Métaphase I



Les kinétochores des chromatides sœurs fonctionnent comme une unité. Les microtubules ne peuvent se fixer qu'à un des deux côtés de chaque centromère

Anaphase I



Modifiée du Boeck Université, 2007

Entre la méiose I et la méiose II, il n'y a pas de réplication des chromosomes

Méiose II : division équationnelle

- Séparation de chromatides sœurs et formation de quatre cellules filles haploïdes : les gamètes
- Méiose II :
 - Prophase II
 - Métaphase II
 - Anaphase II
 - Télophase II et cytocinèse

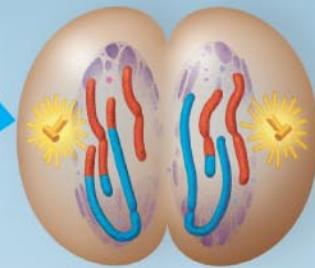
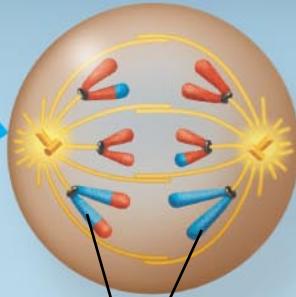
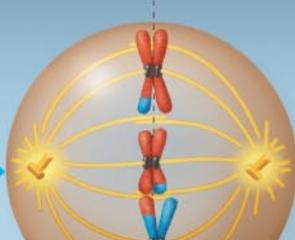
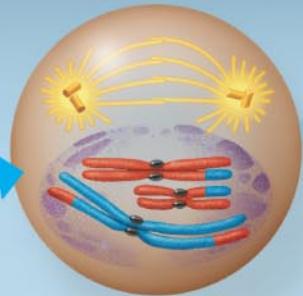
Phases de la méiose II

Prophase II

Métaphase II

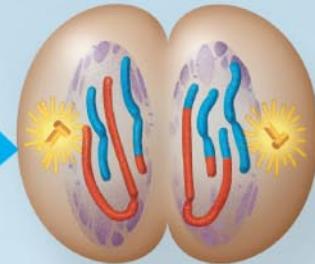
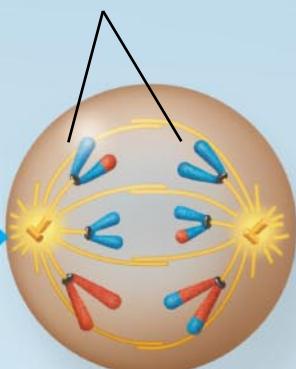
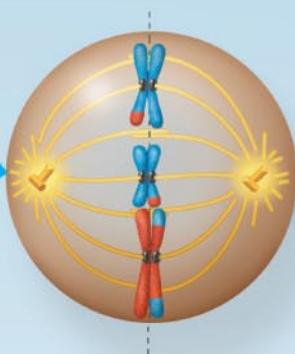
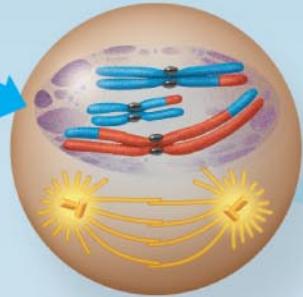
Anaphase II

Télophase II et Cytocinèse



Séparation des Chromatides sœurs

Formation de cellules filles haploïdes



Campbell & Reece

Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Benjamin Cummings.

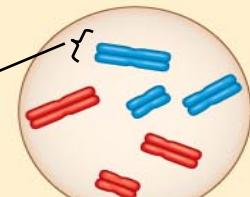
Comparaison entre mitose et méiose

- La **mitose conserve le nombre de deux jeux de chromosomes** et produit deux cellules filles génétiquement identiques à la cellule mère et entre elles
- La **méiose réduit de moitié le nombre de jeux chromosomes.** Elle produit quatre cellules filles génétiquement différentes entre elles et à leur cellule mère
- La principale différence se passe en prophase I et métaphase I, où les chromosomes homologues s'apparient en tétrades, une structure transitoire qui a des effets sur la séparation des paires de chromosomes homologues dans les deux cellules en division

MITOSE

Prophase

Chromosome répliqué



Cellule mère

$2n = 6$

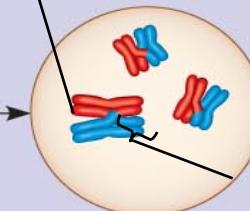
MÉIOSE

MÉIOSE I

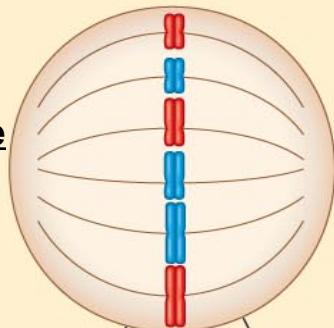
Prophase I

Tétrade formée par synapsis des Chromosomes homologues

Chiasma

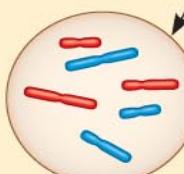


Méタphase

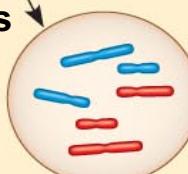


Méタphase I

Anaphase Télophase



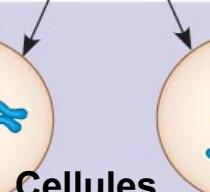
Chromosomes non répliqués



$2n$

$2n$

Cellules filles de la mitose



Cellules Filles de Méiose I



Haploïde
 $n = 3$

MÉIOSE II

Cellules filles de la méiose II

Comparaison entre mitose et méiose

Événements	Mitose	Méiose
RéPLICATION ADN	Phase S	Phase S
Nb de divisions	1 seule (1 prophase, 1 métaphase, 1 anaphase, 1 télophase)	2 divisions (chacune: 1 prophase, 1 métaphase, 1 anaphase, 1 télophase)
Synapsis	Absente	En prophase I, formation de tétrades ; enjambement entre les chromatides non-sœurs
Nombre de Cellules filles	2 cellules diploïdes ($2n$) génétiquement identiques à la cellule mère	4 cellules haploïdes (n) génétiquement différentes les unes des autres et de leur cellule mère
Rôle	Croissance, développement et réparation tissulaire	Production des gamètes haploïdes génétiquement identiques

Brassage génétique chez les descendants

- Trois mécanismes participent à la variation génétique :
 - L'assortiment indépendant des chromosomes
 - L'enjambement ou crossing-over
 - La fécondation aléatoire

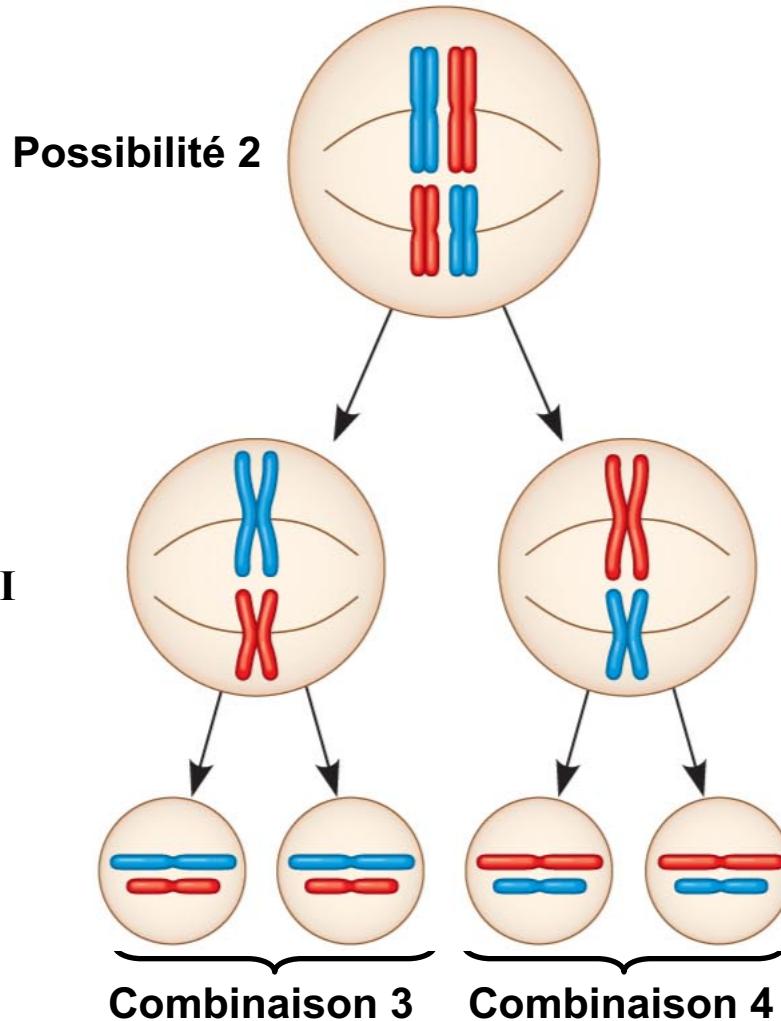
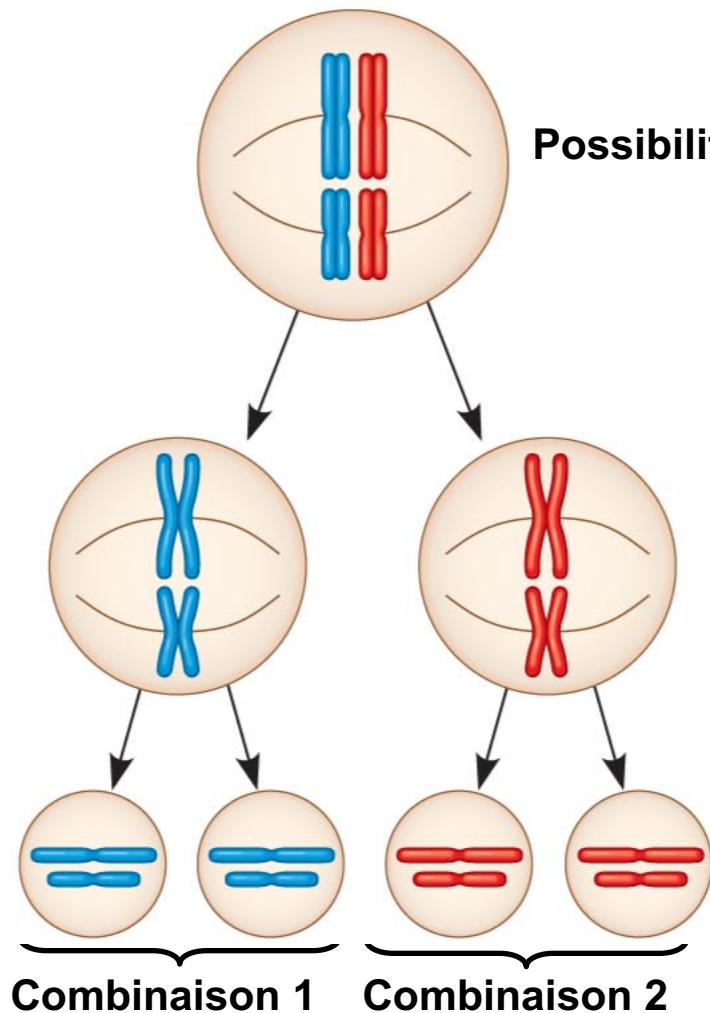
Resemblance et dissemblance



Assortiment indépendant des chromosomes

- Les paires de **chromosomes homologues s'orientent d'une manière aléatoire pendant la métaphase I de la méiose**
- Étant donné que chaque paire de chromosomes se positionne indépendamment des autres paires en métaphase I, il y a **assortiment indépendant des chromosomes** maternels et paternels dans les cellules filles
- Le nombre de combinaisons possibles dans les gamètes est de **2^n** , n étant le nombre haploïde
- Chez l'humain, chaque gamète possède 23 chromosomes, le nombre de combinaisons possibles est de 2^{23} : plus de 8 millions (8 388 608) d'assortiment possibles, en plus des enjambements !

Exemple de deux combinaisons chromosomiques probables en métaphase I



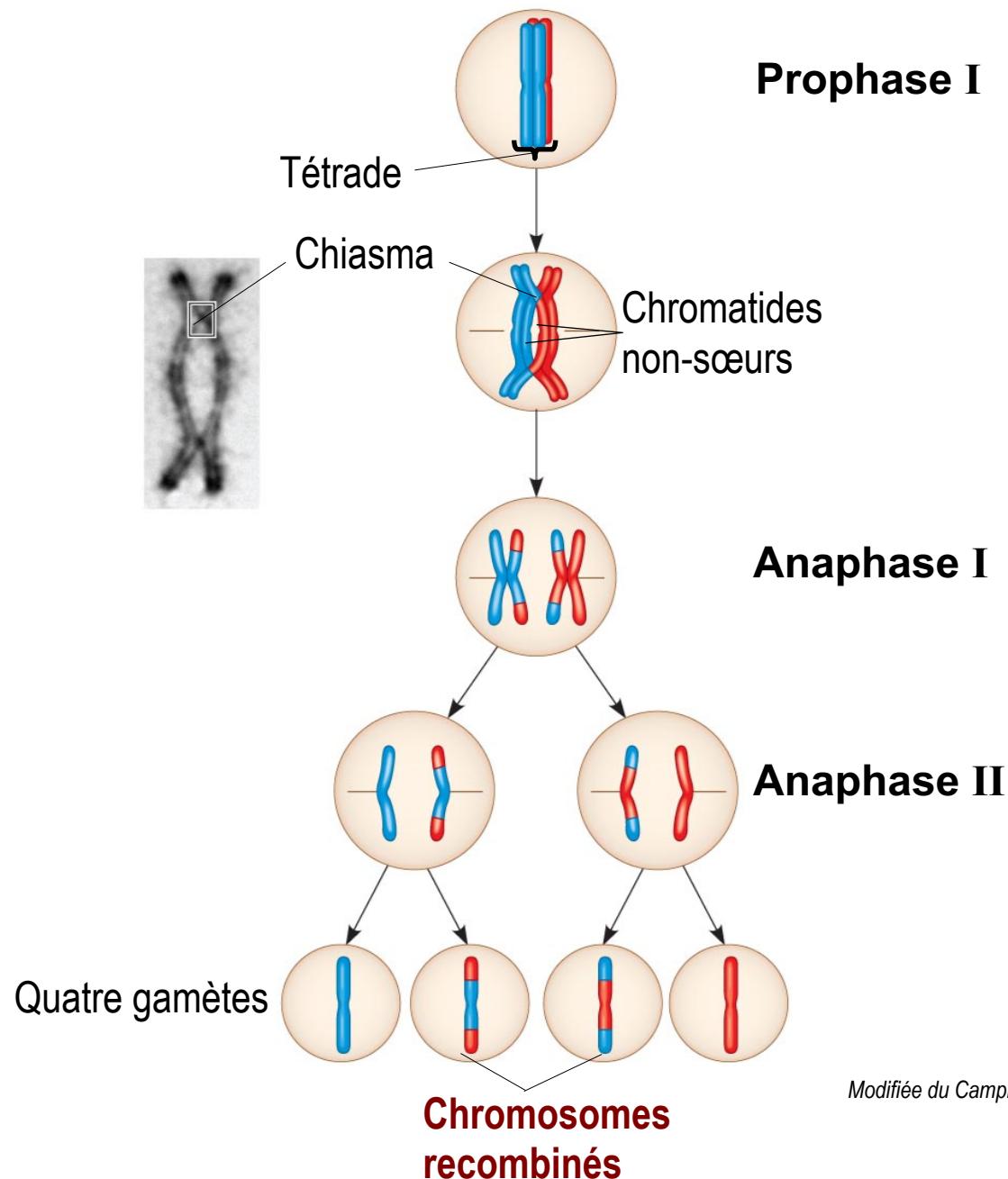
... + les crossing-overs

Modifiée du Campbell & Reece

Enjambement (crossing-over)

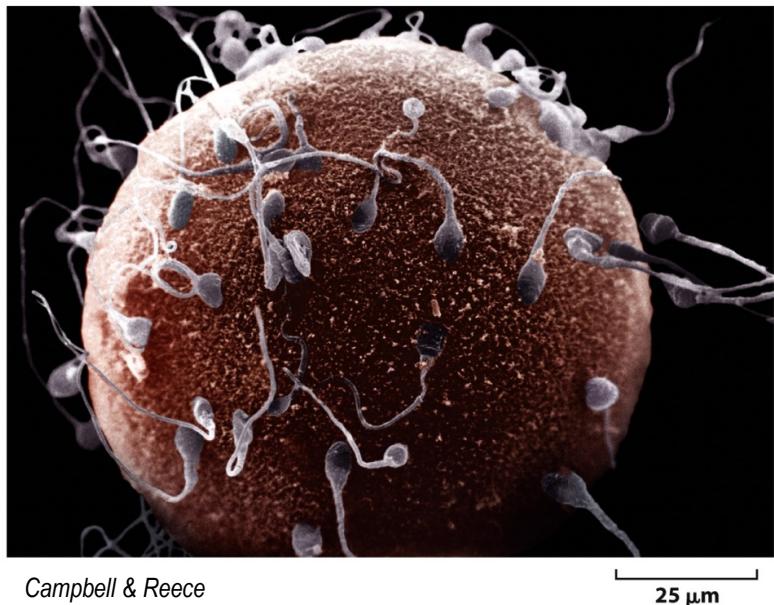
- Il produit des **chromosomes recombinants**
- Il commence très tôt au cours de la prophase I
 - dès la synapsis, l'enjambement de gènes des chromatides non-sœurs se rompent au même endroit et se recollent après échange
 - chaque segment coupé se recolle sur l'autre chromatide. Il en résulte **des chromosomes contenant de nouvelles combinaisons de gènes**

Étapes du crossing-over



Fécondation aléatoire

- La fécondation aléatoire s'ajoute au brassage génétique : chaque spermatozoïde (1 sur 8 millions) peut fusionner avec n'importe quel ovule (aussi 1 sur 8 millions)
- La fusion des deux gamètes engendrera un zygote qui possédera une seule combinaison chromosomique diploïde sur environ 64 milliards de zygotes possibles !



Campbell & Reece

25 μm

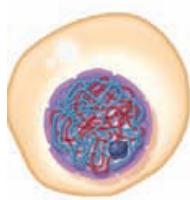


Ne pas apprendre, ne fait pas partie des objectifs du contrôle IV !

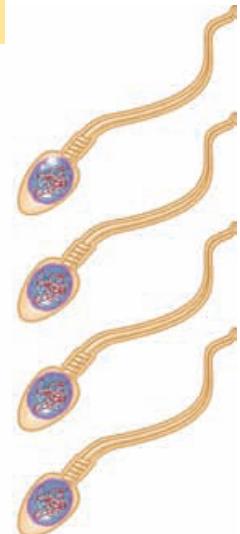
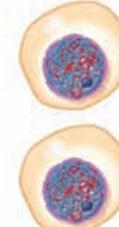
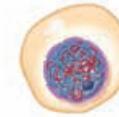
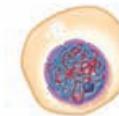
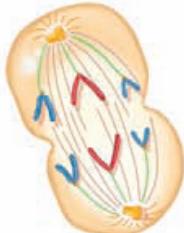
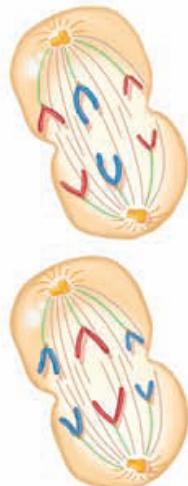
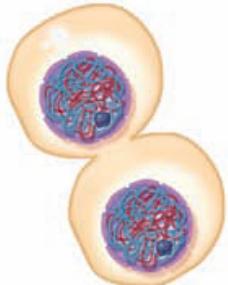
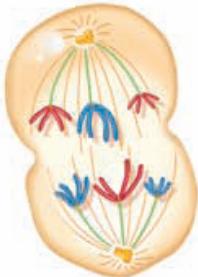
Méiose I

Méiose II

Spermatogénèse

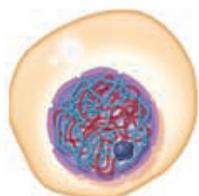


Spermatocyte
Primaire diploïde

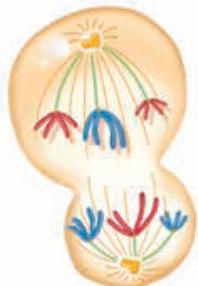


Spermatozoïdes haploïdes

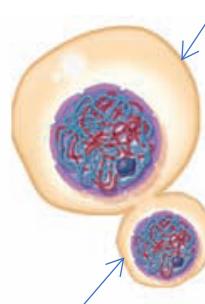
Ovogénèse



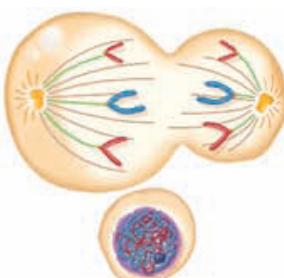
Oocyte primaire
diploïde



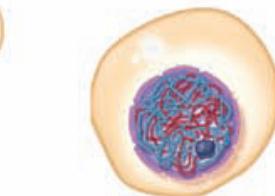
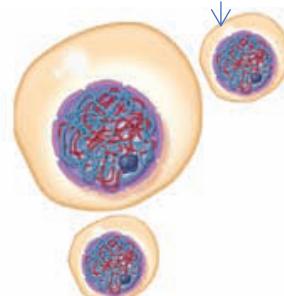
Oocyte secondaire



1^{er} globule polaire



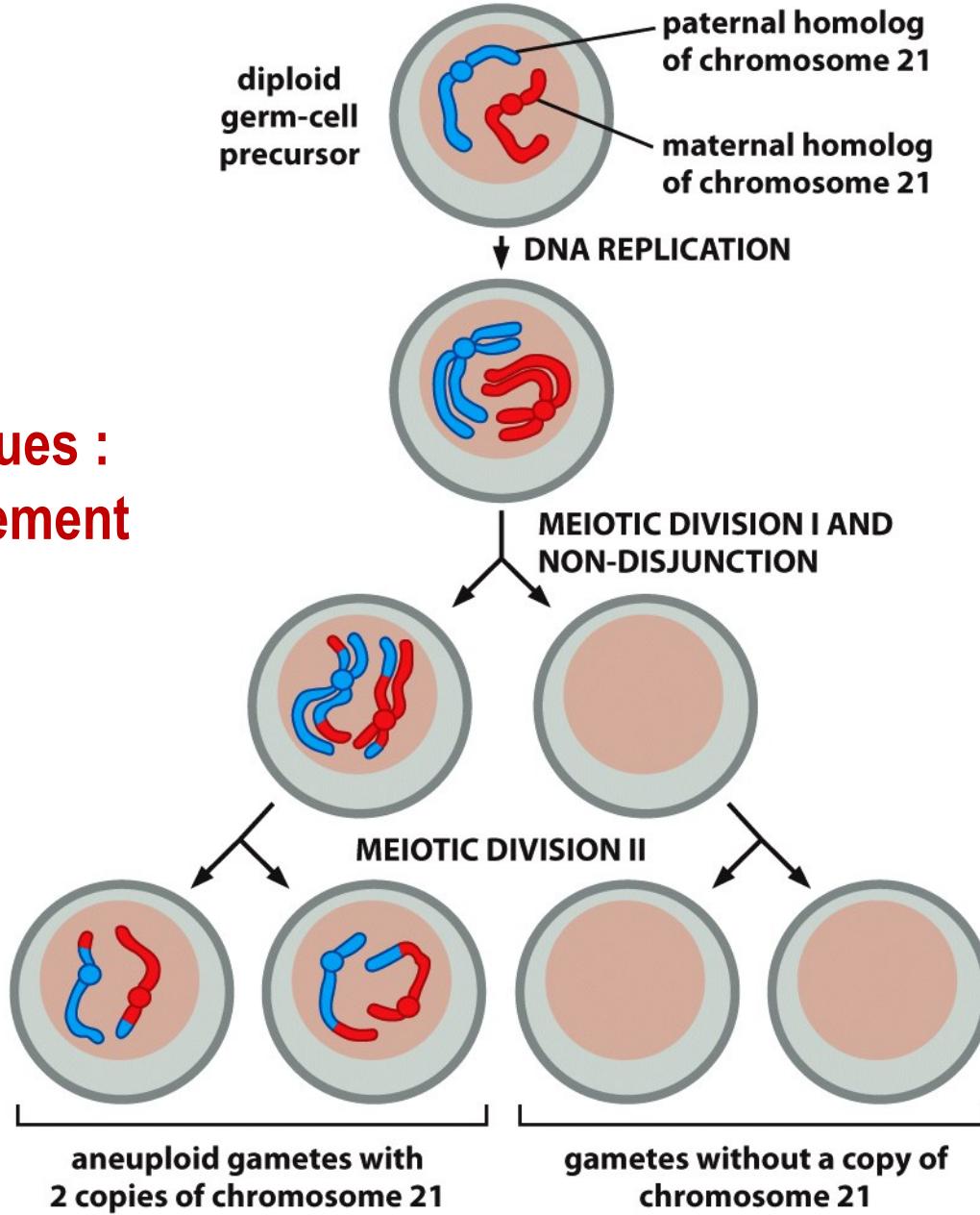
2^e globule polaire



Ovule haploïde

Non-disjunction des chromosomes homologues : malformations ou avortement

Ex. Trisomie 21





Trisomie 21 syndrome de Down

Age (années)	Risque de fœtus avec trisomie 21 à 16 semaines	Risque de naissance vivante avec trisomie 21
15-19	—	1/1250
20-24	—	1/1400
25-29	—	1/1100
30-31	—	1/900
32	—	1/750
33	1/420	1/625
34	1/325	1/500
35	1/250	1/350
36	1/200	1/275
37	1/150	1/225
38	1/120	1/175
39	1/100	1/140
40	1/75	1/100
41	1/60	1/85
42	1/45	1/65
43	1/35	1/50
44	1/30	1/40
45 et plus	1/20	1/25

Source : Revue médicale Suisse : RMS-176, 2008