

Brassage génétique : Méiose et Fécondation



FORMATION
CONTINUE

MME ELISABETH PLANCHET

AVEC LA PARTICIPATION DE MR SÉBASTIEN MAUGENEST
SUN - E-PÉDAGOGIE (MÉDIATISATION)

Table des matières



Introduction	5
I - I - Méiose, une étape nécessaire aux cycles de reproduction	7
II - II - Les étapes de la méiose	11
A. A. La phase I de la méiose, la division réductionnelle.....	11
1. Prophase 1.....	11
2. Métaphase 1.....	12
3. Anaphase 1.....	12
4. Télophase 1.....	13
B. B. La phase II, la division équationnelle.....	13
C. C. Variation de la quantité d'ADN au cours de la méiose.....	14
III - III - Des anomalies de la répartition des chromosomes	17
IV - IV- Unicité génétique de l'individu	19
A. A. Le brassage intrachromosomique.....	19
B. B. Le brassage interchromosomique.....	20
V - Schéma bilan - De la diploïdie à l'haploïdie	23

Introduction



Précédemment, il a été démontré que toutes les cellules se divisent selon le processus de la mitose, toutes sauf les cellules sexuelles dont la formation présente des particularités. Cette division spécifique a été reportée, en 1883, par Van Beneden. Il a observé que l'*Ascaris* du porc (un ver intestinal), dont les cellules possèdent habituellement 4 chromosomes, produit des ovules et des spermatozoïdes qui ne possèdent que 2 chromosomes. L'œuf en revanche, qui provient de leur fusion, possède 4 chromosomes. Il en conclut que la division qui donne naissance aux spermatozoïdes et aux ovules aboutit à réduire leur génome de moitié. Il la nomme **méiose** (du grec *meiosis* = réduction).

A la différence de la mitose qui consiste en une reproduction à l'identique de la cellule initiale, la **fécondation** permet de mélanger les génomes des cellules d'une même espèce, en conduisant à la formation d'un œuf (ou zygote). Chaque descendant hérite d'un assortiment unique de chromosomes, pour moitié d'origine paternelle et pour moitié d'origine maternelle. C'est ce qui assure la **diversité d'une espèce**.

La *reproduction sexuée* comprend ainsi 2 processus biologiques complémentaires, la **fécondation** (qui double le nombre de chromosomes) et la **méiose** (qui divise par deux le nombre de chromosomes d'une cellule). Ces 2 phénomènes communs à tous les êtres vivants jouent un rôle fondamental dans la stabilité de l'espèce qui est ainsi marquée par le maintien du caryotype au cours des générations successives.

- **Comment met-on en évidence la réduction du génome lors de la méiose ?**
- **Quelles sont les étapes qui confèrent leur spécificité à la méiose ?**

I - Méiose, une étape nécessaire aux cycles de reproduction

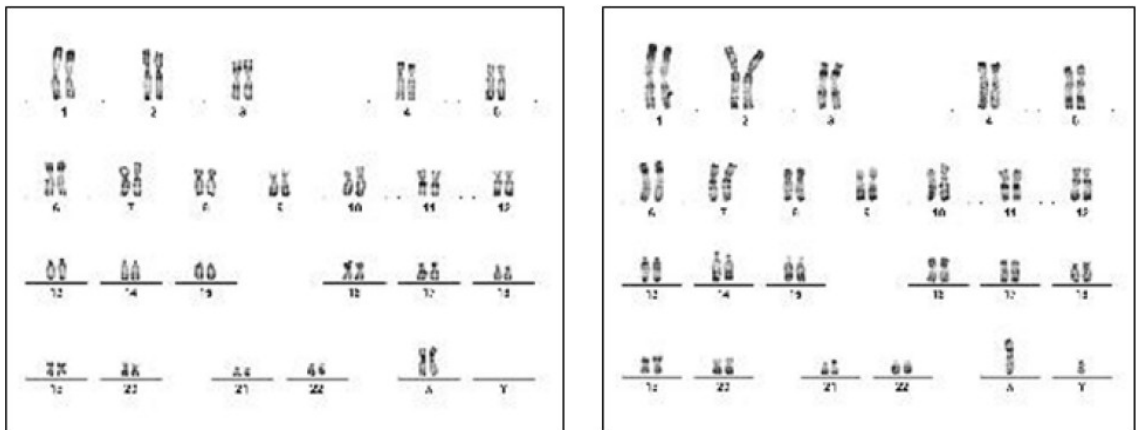


Tout organisme est constitué à la fois de cellules non-sexuelles et de cellules sexuelles. Mais ces cellules n'ont pas le même nombre de chromosomes.

- Les **cellules non sexuelles**, constituant l'immense majorité des cellules d'un organisme, sont qualifiées de **somatiques**.

Une cellule somatique possède en double l'information génétique ; elle est qualifiée de **diploïde** car les chromosomes de cette cellule peuvent être associés par paires d'homologues.

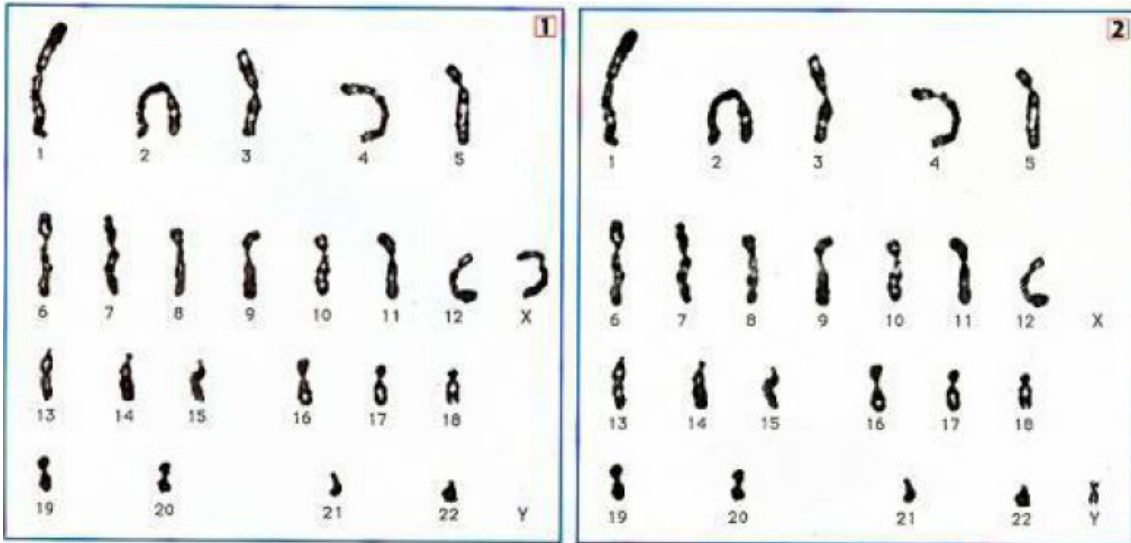
Le caryotype est alors noté symboliquement $2n$ (ex : homme $2n = 46$).



Caryotypes de cellule somatique chez la femme (à gauche), chez l'homme (à droite)

- Par opposition aux cellules somatiques, les **cellules germinales** ont la capacité de former les **gamètes** ou **cellules sexuelles**. Dans les gamètes, on ne compte qu'un seul exemplaire de chaque type chromosomique : les gamètes sont des cellules **haploïdes**, à n chromosomes (ex : homme $n = 23$).

I - Méiose, une étape nécessaire aux cycles de reproduction



Caryotypes de cellules haploïdes chez l'homme (1) portant un chromosome X (1) et portant un chromosome Y (2)

Caryotype	Cellules diploïdes	Cellules haploïdes
<p>♀</p> <p>2n = 10</p>	<p>1 2 3 4 X X</p>	<p>1 2 3 4 X 100 %</p>
<p>♂</p>	<p>1 2 3 4 X Y</p>	<p>1 2 3 4 X 50 %</p> <p>1 2 3 4 Y 50 %</p>

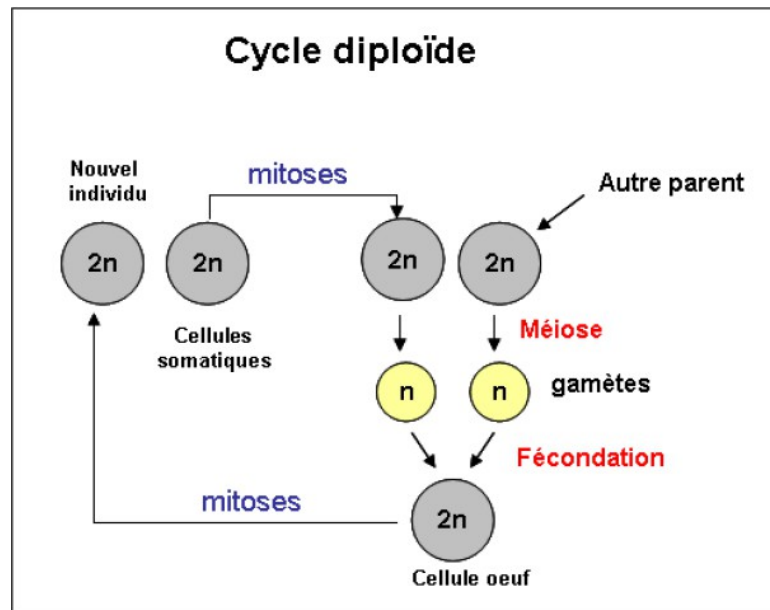
Caryotype d'une espèce diploïde, cellules somatiques (diploïdes) et gamètes mâles et femelle (haploïdes)

Tout **cycle de reproduction** est marqué, du point de vue chromosomique, par deux événements majeurs communs à tous les êtres vivants :

- la **méiose** permettant la formation de gamètes haploïdes à partir de cellules diploïdes
- la **fécondation** qui par union des 2 gamètes haploïdes, forme une cellule œuf diploïde

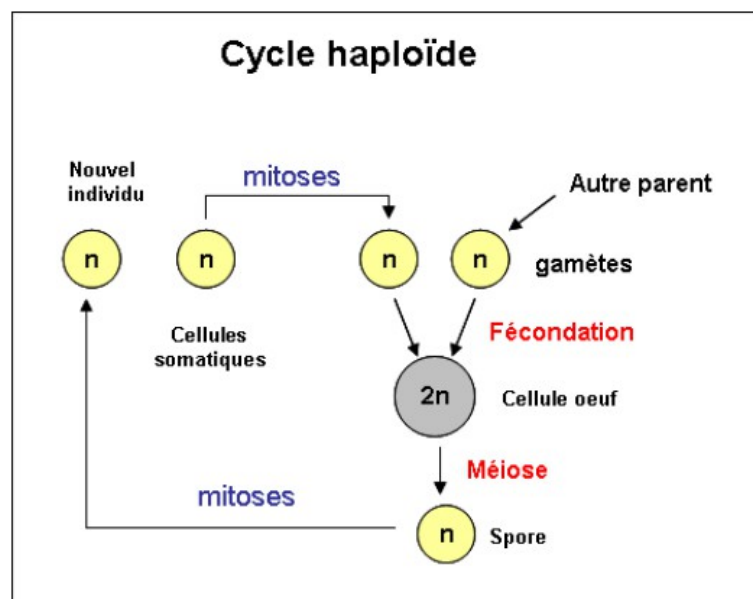
La localisation dans le cycle biologique de ces deux phénomènes fondamentaux est variable suivant les espèces :

- Dans un cycle **diploïde** (cycle des mammifères ; ex : l'Homme), la méiose intervient juste avant la fécondation : la phase diploïde domine, la phase haploïde est réduite aux gamètes.



Cycle diploïde

- Les cycles **haploïdes** (ex : cycle du champignon ascomycète *Sordaria* ou *Neurospora*) sont caractérisés par une phase haploïde dominante. En effet, chez les champignons, la méiose suit immédiatement l'union des deux noyaux et donne naissance à des cellules haploïdes qui après mitose donne des spores.



Cycle haploïde



Fondamental

Dans tout cycle de reproduction sexuée, la méiose permet ainsi le passage de l'état diploïde à l'état haploïde, tandis que la **fécondation** ou **caryogamie** rétablit la diploïdie. Cette alternance est indispensable à la stabilité du caryotype de l'espèce.



II - Les étapes de la méiose



A. La phase I de la méiose, la division réductionnelle	11
B. La phase II, la division équationnelle	13
C. Variation de la quantité d'ADN au cours de la méiose	14

La méiose, division cellulaire spécifique aux cellules sexuelles, est précédée d'une interphase (dont une phase de réplication de l'ADN et de la duplication des chromosomes). C'est un ensemble de 2 divisions cellulaires successives (sans interruption) permettant à partir d'une cellule diploïde d'obtenir quatre cellules reproductrices haploïdes.

- **Quelles sont les étapes spécifiques de la méiose ?**

A. A. La phase I de la méiose, la division réductionnelle



Cette phase est caractérisée par la séparation des chromosomes homologues. Cette première étape est elle-même constituée de 4 étapes, chacune ayant leurs propres caractéristiques.

1. Prophase 1



Image 1 Observation microscopique de la formation de bivalents dans des cellules de pollen

Le début de cette phase est marqué par l'appariement de chromosomes homologues (à doubles chromatides). Il se forme ainsi n paires de chromosomes homologues, formant ce qu'on appelle « des bivalents ». Les points d'attache des 2 chromosomes homologues s'appellent **chiasmata**. Ils sont généralement au nombre de 2 pour chaque bivalent.

2. Métaphase 1

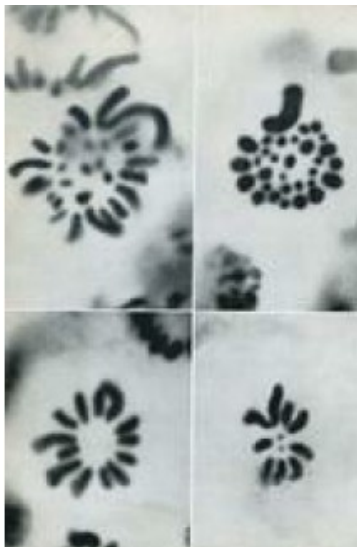
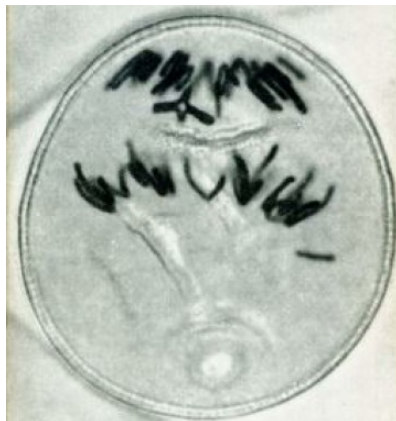


Image 2 Observation microscopique d'une plaque équatoriale de métaphase I

Les chromosomes se placent dans le plan équatorial. C'est par leurs centromères et non par leurs chiasmata que se fait la fixation des chromosomes sur la plaque équatoriale lors de cette métaphase. Les deux chromosomes sont tournés chacun vers un pôle de la cellule.

3. Anaphase 1



Lors de cette phase, les chromosomes homologues (et non les chromatides) se séparent et migrent vers chacun des pôles de la cellule. S'il y avait $2n$ chromosomes dans la cellule mère, chaque cellule fille ne reçoit que n chromosomes à partir de cette étape et qui est désormais qualifiée d'haploïde.

Image 3 Observation microscopique de l'anaphase I de méiose d'un grain de pollen

4. Télaphase 1



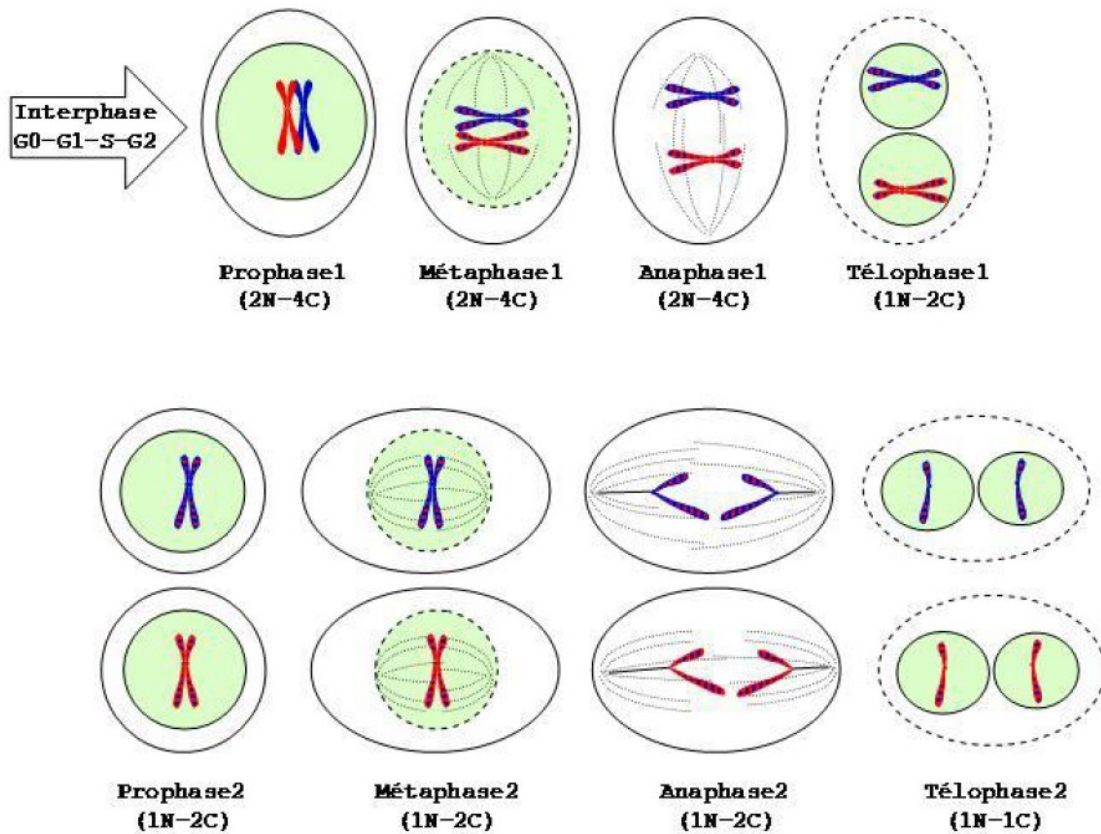
La formation de deux lots contenant chacun un seul exemplaire de chaque chromosome, entraîne l'individualisation de deux cellules-filles qui n'ont plus que la moitié des chromosomes présents dans la cellule-mère (n chromosomes à doubles chromatides). La cellule-mère étant diploïde, les cellules filles sont donc haploïdes.

B. B. La phase II, la division équationnelle



Aucune réplication d'ADN n'intervient après la première division de méiose, la deuxième division ayant lieu immédiatement après.

Cette deuxième division de la méiose est comparée à une **mitose classique** qui produit à partir de chaque cellule à n chromosomes doubles deux cellules à n chromosomes simples (1 seule chromatide).



Différentes étapes de la méiose cellulaire

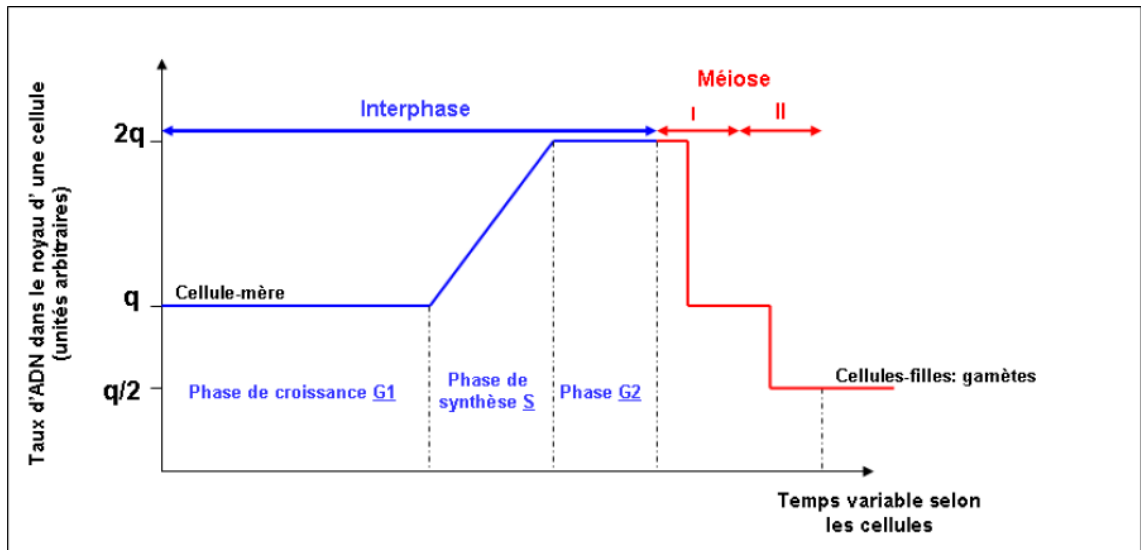
Ainsi, à l'issue de la méiose (qui se déroule soit dans les testicules, soit dans les ovaires), une cellule diploïde (à $2n$ chromosomes doubles) a produit typiquement 4 cellules haploïdes à n chromosomes simples. Ces quatre cellules obtenues par méiose sont les gamètes, spermatozoïdes chez l'homme et ovocytes chez la femme. L'ovogénèse (formation d'ovocytes) et la spermatogénèse (formation de spermatozoïdes) se déroulent dans les ovaires et dans les testicules respectivement. L'ovogénèse présente une division cellulaire atypique, puisqu'une cellule subsiste, l'autre formant un globule polaire qui va dégénérer.

La reproduction sexuée, par alternance entre méiose et fécondation, permet ainsi à chaque génération de créer des individus génétiquement nouveaux.

C. C. Variation de la quantité d'ADN au cours de la méiose



La première division, avec la séparation des chromosomes homologues, voit la quantité d'ADN par cellule diminuer par deux. Puis la seconde division, avec la séparation des chromatides de chaque chromosome, permet une seconde réduction par deux de la quantité d'ADN (passage d'une garniture chromosomique de certaines cellules de $2n$ à n).



Évolution de la quantité d'ADN par cellule avant et pendant la méiose

	Méiose	Méiose I	Méiose II
État chromosomique initial	$2n$ à 2 chromatides	$2n$ à 2 chromatides	n à 2 chromatides
Prophase	Homologues à disposition quelconque	Appariement des homologues + échanges de chromatides	Pas d'homologues
Métaphase	Centromères des chromosomes disposés à l'équateur du fuseau de division	Centromères des chromosomes disposés de part et d'autre de l'équateur du fuseau de division	Centromères des chromosomes disposés à l'équateur du fuseau de division
Anaphase	Séparation des chromatides sœurs	Séparation des homologues (chromatides restant associées)	Séparation des chromatides sœurs
État chromosomique final	$2n$ à 1 chromatides	n à 2 chromatides	n à 1 chromatide

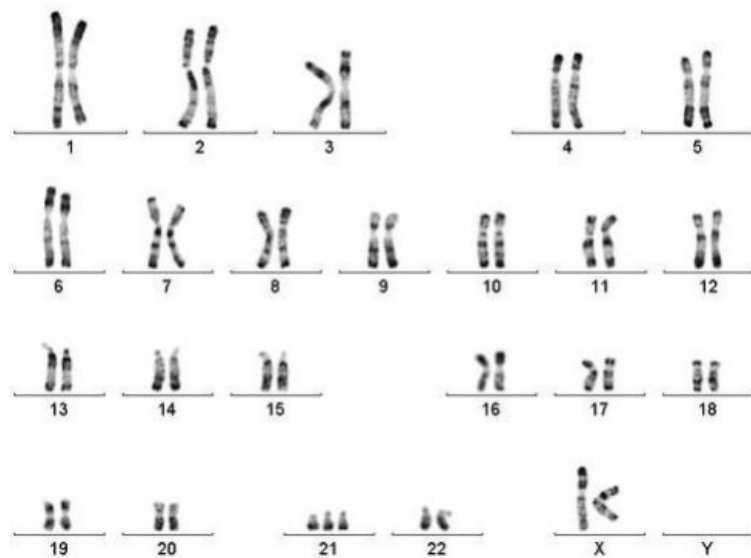
Tableau 1 Différences entre la mitose et la méiose au niveau chromosomique (© Elisabeth Planchet)

III - Des anomalies de la répartition des chromosomes

III



Dans l'espèce humaine, on connaît des caryotypes présentant des anomalies du nombre des chromosomes. La plus fréquente est la **trisomie 21** (ou syndrome de Down). L'analyse du caryotype d'individus atteints de ce syndrome révèle l'existence de trois chromosomes 21.



Caryotype de cellules somatiques d'une personne atteinte de trisomie 21

Anomalie chromosomique	Fréquence	Conséquences
Trisomie 21	1 / 700	<p>Syndrome de Down :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caractéristiques : yeux en amande, visage plus large, repli vertical de la paupière près du nez... • Possibilité de malformation du cœur, sensibilité accrue aux affections... • Handicap mental plus ou moins important
Trisomie 13	1 / 9000	Non compatible avec la vie (mort pendant les premiers mois)
Trisomie 18	1 / 5000	<ul style="list-style-type: none"> • Anomalies du crâne, de la face, des pieds, des mains ; malformations viscérales (cœur et rein) • Evolution toujours mortelle avant l'âge d'un an
Trisomie XXY	1 homme / 800	<p>Syndrome de Klinefelter :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Homme stérile (testicules atrophiés, sans production de spermatozoïdes) • Pilosité peu développée • Développement intellectuel le plus souvent normal
Monosomie X	1 / 5000	<p>Syndrome de Turner :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Femme de petite taille • Stérile • Absence de caractères sexuels secondaires • Intelligence normale

Exemples d'anomalies chromosomiques (fréquences et principales conséquences)

Ces anomalies ont pour origine une **non-disjonction de 2 chromosomes homologues** au cours de la première division (Anaphase I) ou une **non-séparation des chromatides sœurs** lors de la deuxième division de la méiose (Anaphase II), produisant ainsi d'une part des gamètes possédant un chromosome surnuméraire et d'autre part des gamètes auxquels il manque un chromosome.

Après fécondation avec un gamète au caryotype normal, il y aura formation d'une cellule œuf soit **trisomique** (présence d'un troisième chromosome associé à une paire d'homologues du caryotype), soit **monosomique** (présence d'un seul chromosome d'une paire d'homologues).

Cette anomalie est ensuite transmise par les mitoses successives à toutes les cellules du nouvel individu.

IV- Unicité génétique de l'individu

IV

A. Le brassage intrachromosomique	19
B. Le brassage interchromosomique	20

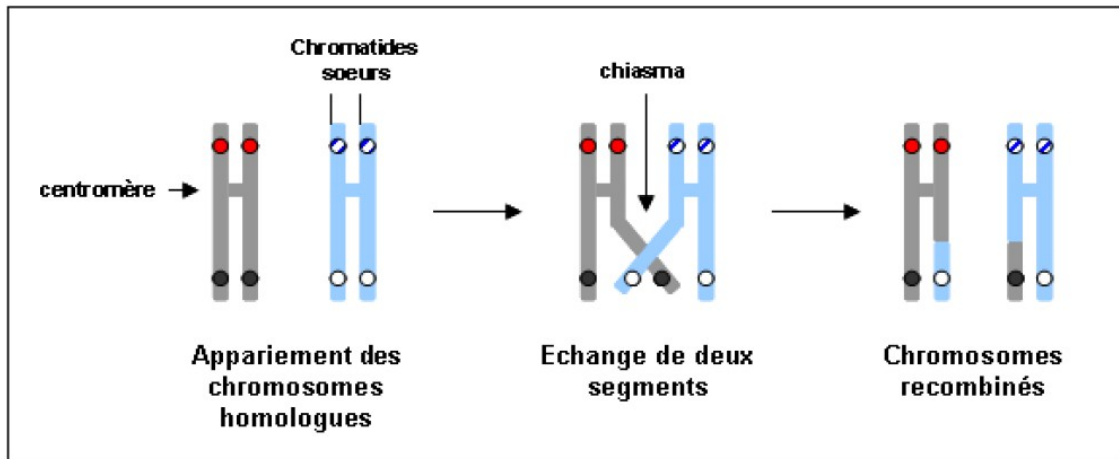
La reproduction sexuée, par alternance entre méiose et fécondation, permet à chaque génération de créer des individus génétiquement nouveaux. Dès que la caryogamie est réalisée, la cellule œuf commence ses premières divisions par mitoses et forme les premiers stades du développement embryonnaire.

Cependant, avec la réduction par deux du nombre de chromosomes, l'autre particularité de la méiose est de réaliser des brassages génétiques à l'origine de gamètes dit génétiquement **recombinés** et de conférer l'unicité génétique des individus. Ces brassages sont de deux types.

A. A. Le brassage intrachromosomique



Le **brassage intrachromosomique** s'effectue lors de la première division de la méiose et plus particulièrement vers la fin de la **prophase**. Les chromosomes étant appariés et par là même très rapprochés l'un de l'autre, des échanges de segments de chromatides se produisent toujours entre les chromosomes homologues. Ces échanges de fragments de deux chromatides de chromosomes homologues s'effectuant au niveau des chiasmas sont appelés « **crossing-over** ou **enjambements** ».



Constitution des chromosomes recombinés suite à un crossing-over

Ainsi lorsque les chromosomes se séparent à l'anaphase, ils sont génétiquement différents, leur contenu en gènes (= portion d'ADN) est modifié. Le maintien du caryotype de l'espèce au cours de son histoire s'accompagne ainsi de recombinaisons (remaniements) des chromosomes à chaque génération et donc à chaque méiose.

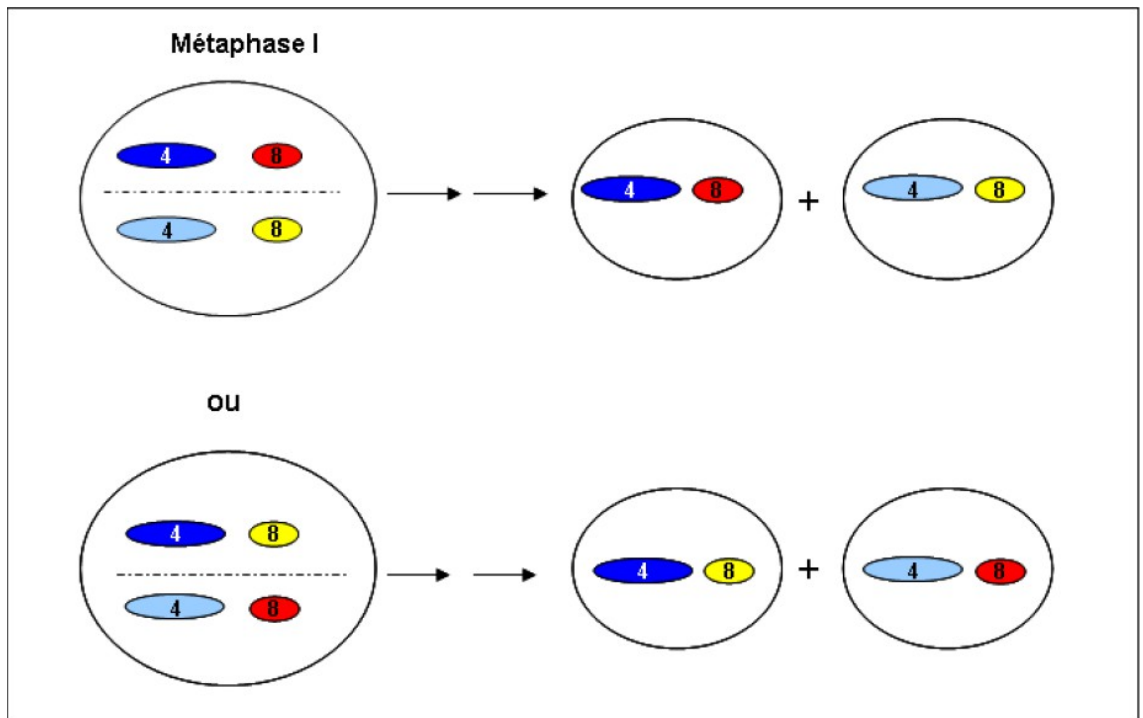
B. B. Le brassage interchromosomique



Ce brassage interchromosomique intervient sur des chromosomes déjà remaniés par le brassage intrachromosomique.

La transmission des chromosomes d'une génération à l'autre fait intervenir deux fois le hasard :

- au moment de la **métaphase I**, la disposition des paires de chromosomes les uns par rapport aux autres se fait de manière aléatoire. En effet, chaque gamète ne reçoit que l'un ou l'autre des chromosomes de chacune des paires d'homologues, ce qui aboutit, dans les cellules haploïdes, à un nombre de combinaisons chromosomiques possibles d'autant plus grand que le nombre de chromosomes de l'espèce est lui-même élevé. Chaque méiose conduit donc à des cellules haploïdes génétiquement différentes les uns des autres et différents de celles provenant de toutes les autres méioses.



Interprétation du brassage interchromosomique

- au moment de la **fécondation**, c'est encore le hasard qui fait que tel spermatozoïde plutôt que tel autre pénètre dans l'ovule, amplifiant la diversité des individus. Chaque œuf est unique du point de vue génétique: la reproduction sexuée assure l'unicité de chaque individu.

Schéma bilan - De la diploïdie à l'haploïdie

V



LA MÉIOSE ASSURE LE PASSAGE DE LA DIPLOÏDIE À L'HAPLOÏDIE

