

# Méiose et Généralités

## I) La reproduction

### 1) La reproduction asexuée = reproduction vraie

Les cellules se reproduisent à l'**identique** à partir d'une cellule mère **bicaténaire** (possédant 2 brins d'ADN complémentaires). C'est le mécanisme de **mitose** retrouvé dans les **cellules somatiques**.

Caractéristiques :

- **Semi-conservative** (la molécule d'ADN double brin se clive puis réplication sur chaque brin)
- **Permanence** des caractéristiques de l'espèce (**clones** identiques à la cellule mère)
- **Immortalité** des individus (multiplication par 2 en se reproduisant)
- Seule variation possible (adaptation à l'environnement) : **mutations spontanées**, qui sont **rare**s, **accidentelles** et **aléatoires** provoquant un **changement définitif**

### 2) La reproduction sexuée = procréation

Les cellules ne se divisent plus à l'identique, ce qui permet la **diversité** au sein d'une même espèce en créant des individus jamais identiques aux parents.

Caractéristiques :

- Grande **diversité** au sein d'une même espèce (individu jamais identique à ses deux parents)
- **Adaptation** rapide à l'environnement
- Rôle primordial dans la survie et l'évolution des espèces
- Plusieurs **mutations** peuvent apparaître lors de la division cellulaire du fait des mécanismes de la méiose : effet amplificateur d'une mutation

### Cellules somatiques et cellules germinales

Dès la fécondation et les premiers stades embryonnaires les cellules se divisent en 2 catégories :

- ✓ Les **cellules somatiques** = le **SOMA** (non sexuelles) en grande majorité, qui se multiplient par **mitoses**

Elles sont **diploïdes** (2n chromosomes) ⇒ cellules somatiques humaines = **2nK** (46K, n=23)

- ✓ Les **cellules germinales** = le **GERMEN** primordiales qui vont donner lieu à un type de division et de différenciation particulier : la **méiose**

Les cellules germinales sont celles qui vont donner les **gamètes** (**ovocyte** chez la femme et **spermatozoïde** chez l'homme) grâce au mécanisme de la méiose. Ce sont les seules cellules **haploïdes** de l'organisme (ne possèdent qu'un exemplaire de chaque paire de chromosomes = **nK**) et les seules à pouvoir fusionner physiologiquement via la fécondation.

Il y a une **ségrégation au hasard** au moment de la fabrication des gamètes qui reçoivent pour chacune des 23 paires de K ( $n=23$  chez l'homme), soit le K maternel soit le K paternel.

⇒ Entraîne un nombre infini de combinaisons possibles de gamètes différents soit  **$2^{23}$  combinaisons différentes**. Cela ouvre les perspectives de **variabilité inter-individuelles**.

Les cellules germinales se spécialisent et donnent des cellules différentes selon le sexe : un **spermatozoïde** chez l'homme et un **ovocyte** chez la femme.

SPERMATOZOÏDE	OVOCYTE
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ + <b>petite cellule</b> du corps (<math>&lt;1\mu\text{m}</math>)</li> <li>❖ ADN le + condensé</li> <li>❖ Pauvre en cytoplasme</li> <li>❖ Très peu de réserves</li> <li>❖ <b>Mobile ++</b> : déplacement actif grâce au flagelle</li> <li>❖ Cellule <b>très différenciée</b></li> <li>❖ Fonction principale = <u>déplacement</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ + <b>grosse cellule</b> du corps (<math>100\ \mu\text{m}</math>)</li> <li>❖ Riche en cytoplasme</li> <li>❖ <b>Réserves</b> en ARNm, nutriments ++ : assure la survie de l'embryon lors des divisions cellulaires des 7 premiers jours</li> <li>❖ <b>Très peu mobile</b>, déplacement passif via les cils et mucus des trompes</li> <li>❖ <b>Très peu différenciée</b></li> <li>❖ Fonction principale = <u>stockage</u></li> </ul>

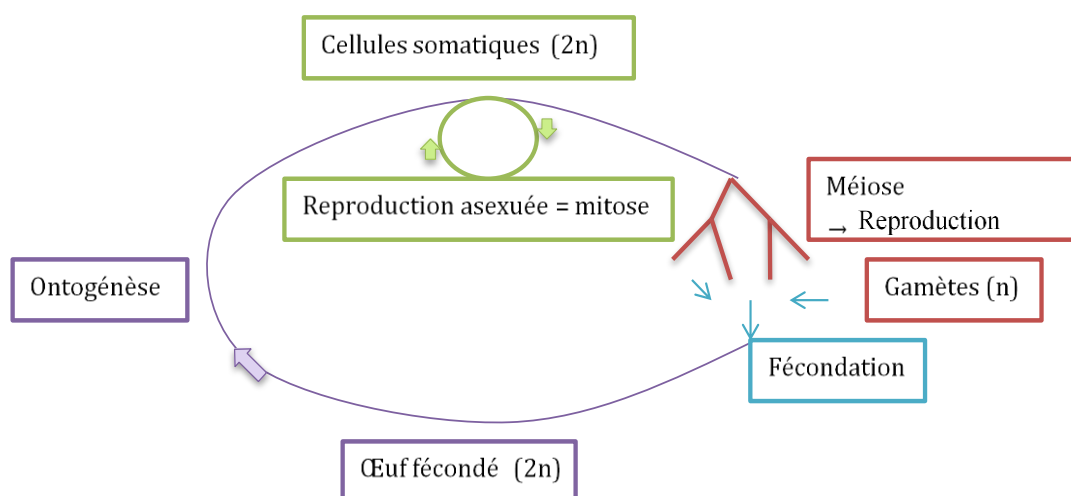
### 3 conditions permettant une bonne fécondation :

- **Taille suffisante** pour l'ovocyte → apports nutritifs pour les premières phases de développement avant l'implantation ≠ spermatozoïdes pas de réserves
- **Mobiles et nombreux** pour les spermatozoïdes → augmente chances de rencontre avec l'ovule
- **Cout de fabrication raisonnable**

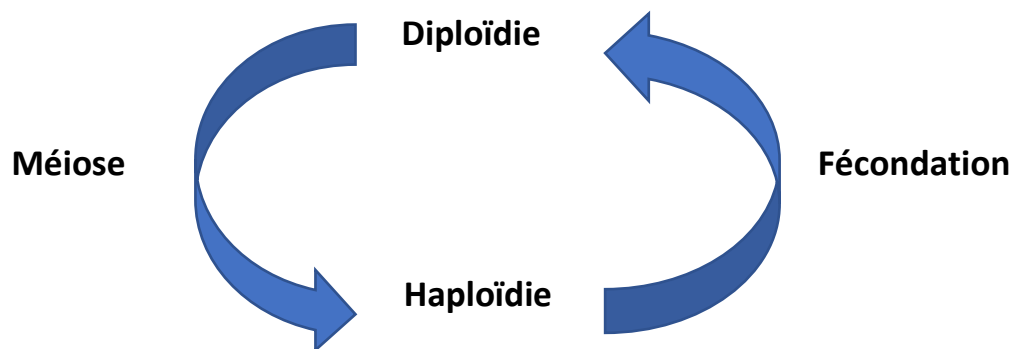
Chez l'Homme on parle de **fécondation interne** (dans la trompe). Chez d'autres espèce (comme l'oursin) on parle de **fécondation externe**.

La femme a un **pourcentage de fécondabilité très réduit** : **20% de chance** de présenter une grossesse.

### Cycle de reproduction sexuée :



Une cellule adulte ( $2nK$ ) fait sa **méiose** qui va permettre de **créer des cellules haploïdes ( $nK$ )**. Ces cellules haploïdes vont faire la **fécondation** pour **restituer la diploïdie ( $2nK$ )** en formant un nouvel individu puis de nouveau séparation entre cellules somatiques et germinales puis fécondation etc...



### Définitions :

- **Ontogénèse** = évolution d'un **individu** de sa conception jusqu'à sa mort (embryogénèse, développement fœtal, période infantile, maturation pubertaire, âge adulte = période d'activité sexuelle, vieillissement = ménopause ou andropause)
- **Phylogénèse** = évolution d'une **espèce**.  
→ L'ontogénèse reflète la phylogénèse
- **Épigénétique** = l'environnement, au-delà des mutations est capable de **modifier l'habillage des gènes et leur expression** (par exemple, le génome au départ identique de deux vrais jumeaux se modifie par épigénétique dès la naissance, ce qui les rend différents).
- **Le dimorphisme sexuel** = spécialisation de la fonction de reproduction chez le mâle et chez la femelle dans l'appareil anatomique, morphologique, dans le mode de fonctionnement et de production des gamètes, etc.
- **L'anisogamie** = fabrication de cellules spécialisées différentes dans chaque sexe (les gamètes).

## II) Mitose

### 1) Les chromosomes

Ils portent l'information génétique sous forme d'un **ADN double brin** en forme de double hélice. Un morceau de la chaîne d'ADN formant le K donne un gène codant pour une protéine. Les K possèdent aussi des nucléoprotéines protégeant l'ADN des agressions extérieures.

Cellule somatique humaine = 23 paires de chromosomes

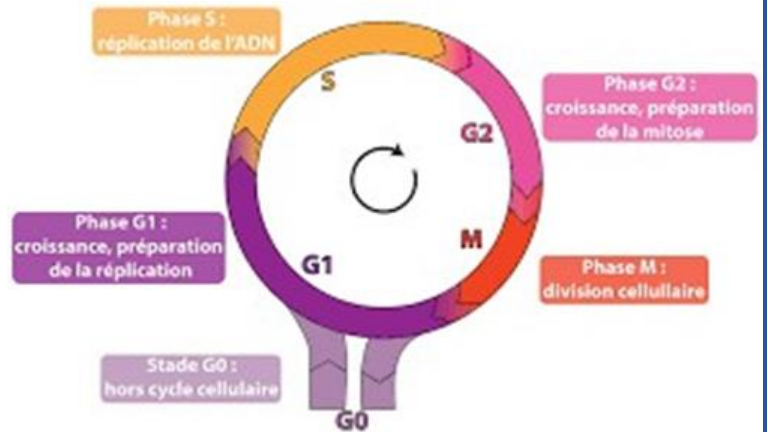
- **22 paires d'autosomes**
- **1 paire de gonosomes = K sexuels X ou Y**

KY est le plus petit des K et ne contient presque que des gènes codants pour la reproduction ≠ KX qui a des propriétés physiologiques de l'organisme général. **Le chromosome X est donc indispensable à la survie !**

## 2) Le cycle cellulaire

C'est le cycle d'une cellule somatique se divisant par mitoses. Il est composé de différentes phases :

- Stade G0 : Phase de **repos** hors cycle cellulaire (quiescent), facultative.
- Stade G1 : Entrée dans le cycle, **croissance** précédant la phase de réplication.
- Phase S : **Réplication** des chromosomes devenant doubles = bi-chromatides.
- Phase G2 : 2e phase de **croissance** après la réplication.
- Phase M : **Mitose**.



### ➡ Une synthèse (phase S) précède toujours la phase M !

Avant la phase de réplication (S) on a 23 paires de **K simples = 1 chromatide**

→ 23 x 2 molécules d'ADN (bicaténaire) = **2n ADN**.

Après la réplication un K contient **deux chromatides SŒURS** (identiques) réunies par leurs centromères

→ On double la quantité d'ADN car les K sont dupliqués = passage à deux chromatides = **4nADN**.

La mitose sépare ensuite les deux chromatides

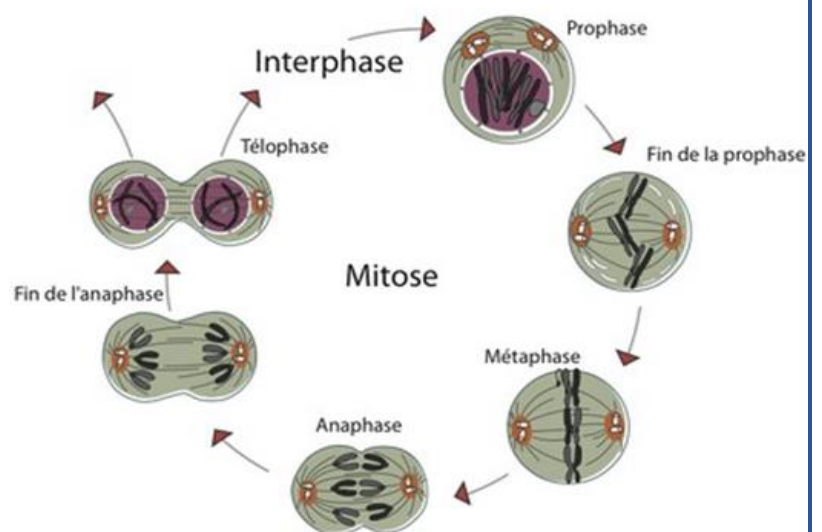
→ Permet de donner deux cellules filles à **2nADN chacune**.

## 3) Mitose

Uniquement pour les cellules somatiques, elle correspond à **1 division cellulaire après 1 phase S de réplication**.

Elle contient 4 phases distinctes :

- 1) **Prophase** : épaissement, formation des K homologues qui deviennent visibles.
- 2) **Métaphase** : Alignement des centromères **PARALLELEMENT** à la plaque équatoriale.
- 3) **Anaphase** : séparation des 2 centromères de chaque K homologue qui migrent vers les pôles opposés de la cellule.
- 4) **Télophase** : constitution des **deux cellules filles identiques à la cellule mère**, suivie par la séparation du cytoplasme (=cytotdiérèse) et reformation de la membrane plasmique.



*Petit mnémotechnique : ma Prostate Métastasée est Analysée au Télescope*

### III) Gamétogenèse

C'est le **mode de division des cellules germinales** permettant la **formation des gamètes** (= cellules sexuelles) à partir de cellules germinales.

Elle est composée de 4 processus cellulaires :

- 1) **Multiplication** (=prolifération)
- 2) **Croissance**
- 3) **Maturation nucléaire** (=méiose)
- 4) **Maturation cytoplasmique** (=différenciation)

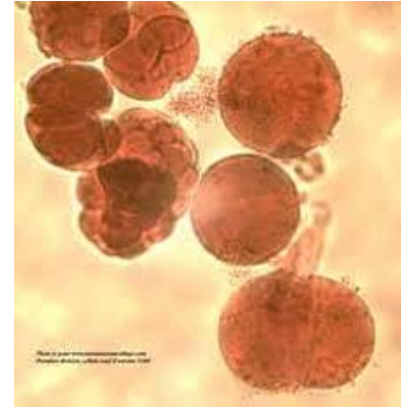
#### 1) Spermatogénèse vs Ovogénèse

SPERMATOGENÈSE	OVOGENÈSE
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Multiplication importante</b> des spermatogonies avec prolifération des cellules souches continue presque toute la vie</li> </ul>	<p><b>Multiplication faible</b>, stock d'ovogonies déterminé au 7e mois de vie intra utérine et réduit tout au long de la vie = atresie folliculaire</p> <p>Production d'un ovocyte par mois. Plus d'ovogonies = ménopause</p>
<p><b>Croissance faible</b> : ne dépasse jamais 1µm. Le spermatocyte est la plus grosse cellule de la spermatogénèse</p>	<p>Croissance importante : cellule la plus grosse de l'organisme avec cytoplasme riche en réserves pour la survie de l'œuf les 7 premiers jours</p>
<p>Maturation nucléaire = méiose <b>COMPLETE, RAPIDE, CONTINUE</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Méiose <b>INCOMPLETE, LENTE, DISCONTINUE</b></li> </ul> <p>Ovocytes se bloquent en prophase 1 jusqu'à ovulation puis deuxième blocage en métaphase 2. La méiose ne s'achève que s'il y a fécondation</p>
<p><b>Différenciation (= spermiogénèse) très importante</b>, cellule la plus spécialisée de l'organisme → motricité et transport</p>	<p>Différenciation inexistante : ovocyte est une grosse cellule ronde indifférenciée</p> <p>L'ovotide n'existe pas +++</p>
<p><b>Les étapes de la spermatogénèse</b></p> <p>Multiplication: Mitoses (2n) → Spermatogonies (2n)</p> <p>Maturation: 1<sup>re</sup> division de méiose → Spermatocytes I (2n) → 2<sup>me</sup> division de méiose → Spermatocytes II (n)</p> <p>Différenciation: Spermatocytes II → Spermatozoïdes (n)</p>	<p><b>Les phases de l'ovogénèse</b> © Georges Dolisi</p> <p>Phase de multiplication: Mitoses → Ovogonies (2n = 46 K, 2q d'ADN)</p> <p>Phase d'accroissement: 1<sup>re</sup> division de méiose → Ovocyte I (2n = 46 K, 2q d'ADN)</p> <p>Phase de maturation: 2<sup>me</sup> division de méiose → Ovocyte II (n = 23 K, 2q d'ADN) → Ovule (n = 23 K, 1q d'ADN)</p> <p>Annotations: G.p. 1, G.p. 2, Fécondation</p>

Les spermatogonies (2nK) sont les cellules souches. Elles donnent deux spermatocytes I (2nK). Le spermatocyte I rentre en méiose et va donner deux spermatocytes II qui seront haploïdes (nK). Ensuite un spermatocyte II formera deux spermatozoïdes et après la différenciation un spermatozoïde formera un spermatozoïde.

Les ovogonies sont aussi des cellules souches mais comparé à l'homme le stock ovogonies est **acquis** au 8ème mois de la vie intra utérine (la multiplication se fait seulement en prénatal). Puis elles subissent une apoptose accélérée jusqu'à arriver à la ménopause.

*NB : C'est la fécondation qui permettra à l'ovocyte de terminer sa méiose.*



## 2) Méiose

**Double but** : passage à l'**haploïdie** + **diversité**

**Uniquement pour les cellules germinales.**

Ici on a **2 divisions cellulaires** après **1 seule phase de réplication**, on observe une première division strictement spécifique à la méiose (=1ère division réductionnelle) suivie d'une seconde division identique à une mitose sans réplication (=2ème division équationnelle).

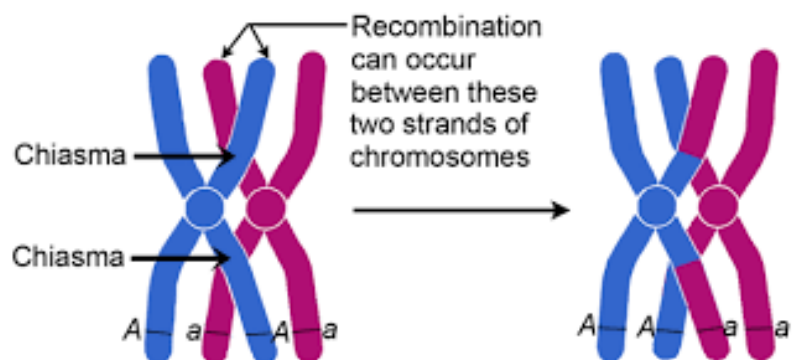
Il n'y a pas eu réplication entre les deux divisions = **Pas d'intercinèse (Phases G1, S, G2)** on obtient **ainsi 4 cellules haploïdes à partir d'une cellule diploïde**.

### Conséquences :

- ❖ Réduction de moitié du contenu génétique **2nK → nK**
- ❖ **Brassage de l'information génétique** : crossing-over + métaphase 1 + nature K sexuel
- ❖ **Transmission** de l'information génétique

### Quelques définitions :

- **Crossing-over = enjambements** : mécanisme à l'échelle moléculaire d'échange aléatoires de matériel génétique entre 2 portions homologues de 2 chromatides homologues. Ils ont lieu au stade **PACHYTENE ET DIPLTENE** grâce aux **complexes synaptonémaux**. Il y a environ une vingtaine de recombinaisons par méiose.
- **Complexe synaptonémal** : **complexe protéique** qui permet l'association de K homologues entre eux. Au niveau des nodules de recombinaison on trouve des enzymes qui vont couper (nucléases) et recréer des liaisons (ligases) ADN. La condensation de protéines (=nodule de combinaison) favorise les échanges par la présence d'enzymes de clivage et de lyases.
- **Chiasma** : (phénomène anatomique) Une fois les crossing-over réalisés les K s'éloignent mais restent encore liés.
- **Télomères** : **Extrémités** d'une chromatide.




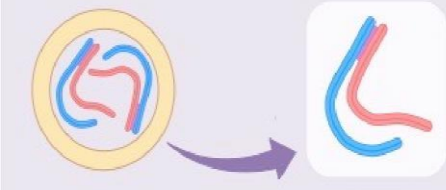
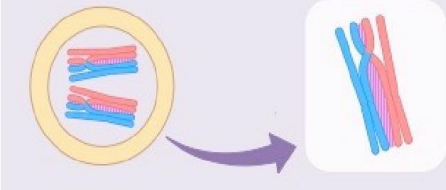

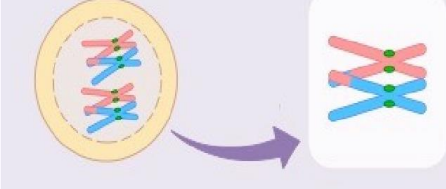
**Attention : Chiasma = figure anatomique ≠ Crossing over = échange**

## A) 1ère division : Réductionnelle

- ✓ **REDUCTIONNELLE** en termes de **chromosomes** : on passe de 1 paire de K à 2 chromatides à 1 seul K à 2 chromatides → **séparation des chromosomes homologues** sans séparation des chromatides sœurs.
- ✓ **EQUATIONNELLE** en termes d'**ADN** : on a toujours  $2n$  ADN dans chaque cellule fille formée.

Cette première division se caractérise par sa **prophase très longue** comportant 5 étapes bien spécifiques à la méiose 1. Elle permet **des échanges de matériel génétique** et donc un **brassage de l'information génétique** (d'où procréation car cellules filles différentes).

### Prophase 1 (= de 1ère division méiotique)

<p><b>Leptotène</b> Apparition des <b>filaments chromatiques</b></p>	 <p><b>Prophase begins</b> Chromosomes start to condense</p>
<p><b>Zygotène</b> Appariement fin des K par paires d'<b>homologues</b>. Formation des <b>bivalents</b></p>	 <p><b>Synapsis begins</b> Synaptonemal complex forms</p>
<p><b>Pachytène</b> Épaississement et clivage des K (<b>individualisation des chromatides</b>) Formation de <b>tétrades enchevêtrées</b> <b>CROSSING OVERS</b> au niveau des K/chromatides homologues</p>	 <p><b>Crossing over</b> DNA exchanged by non-sister chromatids</p>
<p><b>Diplotène</b> Les K divergent mais restent liés par certaines zones = apparition des <b>CHIASMAS</b> Les recombinaisons génétiques continuent de façon moins importante <b>au niveau des chiasmas</b></p>	 <p><b>Synapsis ends</b> Chiasma visible within bivalent</p>
<p><b>Diacinèse</b> K reliés uniquement par leurs <b>téломères</b> et s'apprêtent à se séparer</p>	 <p><b>Prophase ends</b> Nuclear membrane disintegrates</p>

**Mnémotechnique** : Le Zizi du Pachyderme a des Dimensions Diaboliques

♥ Les **K sexuels** sont **reliés entre eux** par une toute petite partie homologe appelée **pseudo-autosomique** et sont aussi **reliés à la membrane nucléaire**. La combinaison K + mb nucléaire forme la **vésicule sexuelle** → ils échappent ainsi au crossing-over → **pas d'échange de matériel génétique au niveau des gonosomes**

Après la prophase 1 viennent :

- **Métaphase 1** : les K se placent **PERPENDICULAIREMENT** à la plaque équatoriale.

Chaque cellule fille hérite d'un K différent de manière totalement aléatoire →  $2^{23}$  combinaisons possibles

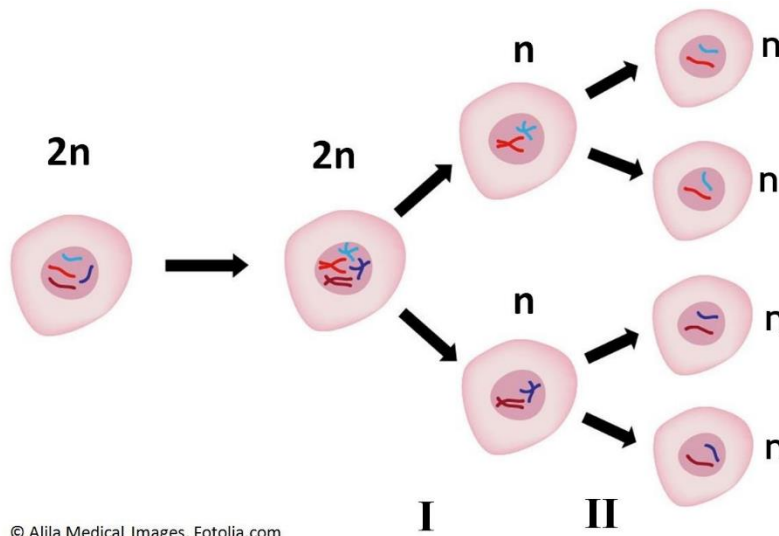
- **Anaphase 1** : les K s'écartent aux pôles opposés de la cellule. C'est à cheval entre la métaphase 1 et l'anaphase 1 qu'a lieu la ségrégation aléatoire
- **Télophase 1** : passage de **4nADN à 2nADN** et de **2nK à nK**

### B) 2ème division : Equationnelle

- Elle se déroule **immédiatement** après la fin de la télophase 1 → **Pas d'intercinèse**
- Les deux cellules à nK à 2 chromatides se divisent pour former **4 cellules à 1 chromatide**  
→Equivalent d'une mitose normale

Les K s'alignent **PARALLELEMENT** à la plaque équatoriale en **métaphase 2**. Ils se scindent en deux au niveau de leurs centromères et les chromatides sœurs migrent aux pôles opposés de la cellule.

- ✓ **EQUATIONNELLE** en termes de **chromosomes** (on reste à nK comme dans une mitose)
- ✓ **REDUCTIONNELLE** en termes d'**ADN** (on sépare les chromatides donc on divise la quantité d'ADN)



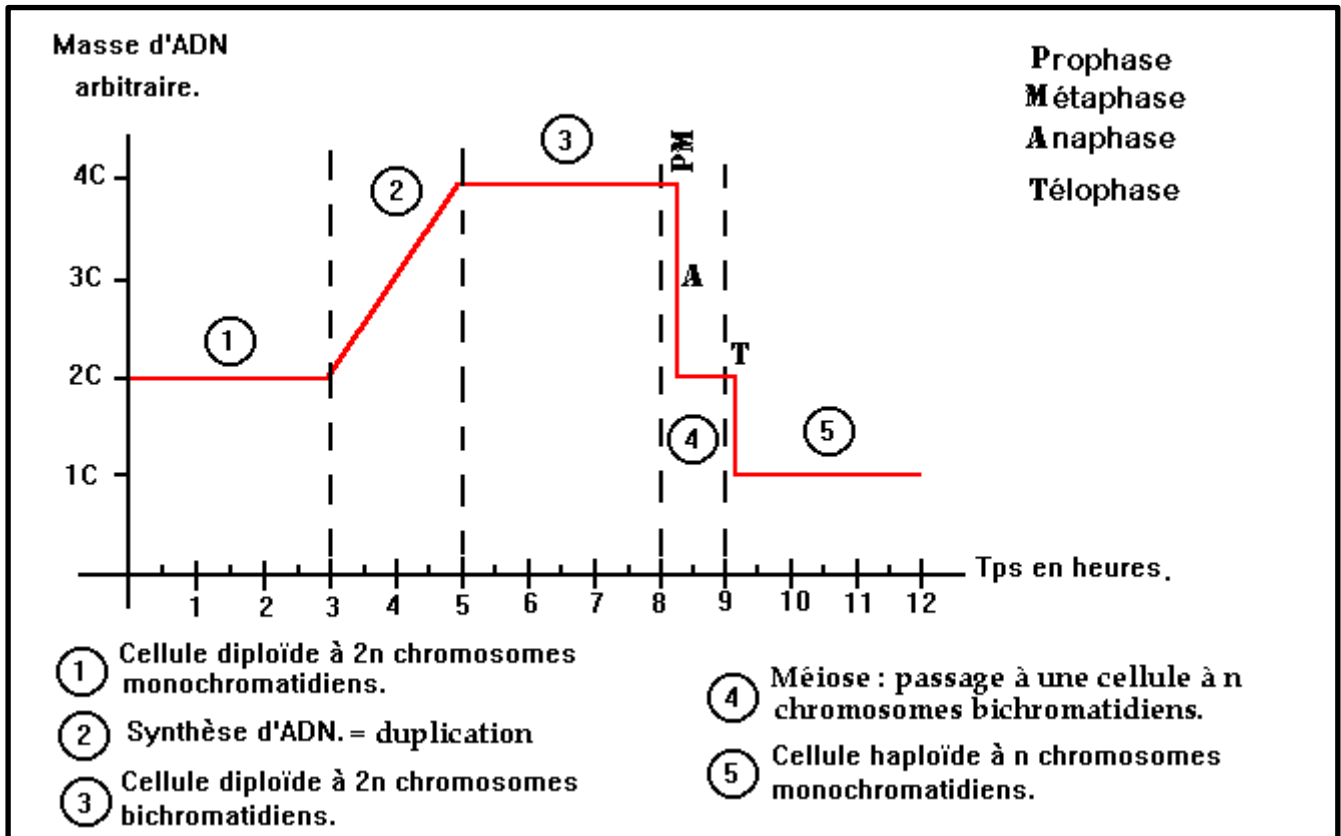
© Alila Medical Images, Fotolia.com

	<b>1ère division méiotique</b>	<b>2ème division méiotique</b>
<b>En termes de Chromosomes</b>	On passe de 2nK à nK Passage à l'haploïdie <b>REDUCTIONNELLE</b>	On reste à nK Même nombre de K mais simples (1 chromatide) <b>EQUATIONNELLE</b>
<b>En termes d'ADN</b>	De 2nADN à 2nADN Nbr de chromatides totales identiques <b>EQUATIONNELLE</b>	De 2nADN à nADN Division par 2 de la quantité d'ADN car séparation des chromatides <b>REDUCTIONNELLE</b>

Les cellules obtenues après méiose sont **différentes génétiquement** de leur cellule-mère. Plusieurs facteurs dans la méiose favorisent cette **diversité génétique**, les **brassages génétiques** :

- **Recombinaisons génétiques** (crossing-over) en **Pachytène**
- **Ségrégation aléatoire** des paires de K en **métaphase/ anaphase 1**
- **Rencontre aléatoire des gamètes** pendant la fécondation / **nature du K sexuel du spz fécondant** (X ou Y)

### Variation de la quantité d'ADN au cours de la méiose +++



**Dédicace à BitchfaceMalonIII**