

I) FÉCONDATION INTERNE ET EXTERNE

- **Fécondation externe :** Libération externe des gamètes donc fécondation en dehors de l'appareil génital féminin
 - ➔ Les oursins libèrent leur gamètes dans l'eau, ceux ci libérant des **phéromones** qui permettent se s'attirer les uns des autres.
- **Fécondation interne :** Les gamètes se rencontrent dans l'appareil génital féminin
 - ➔ Chez les **mammifères** (ex : **espèce humaine**), on a une fécondation interne, plus précisément dans la **trompe utérine**.

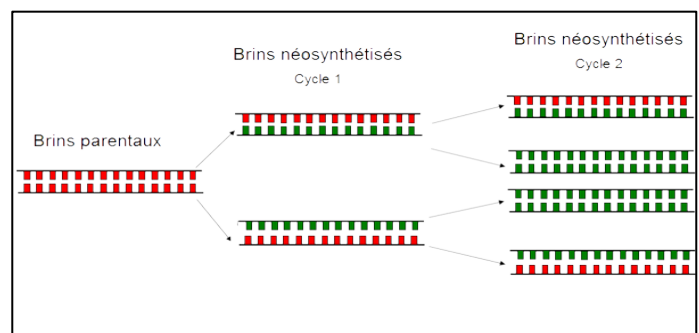
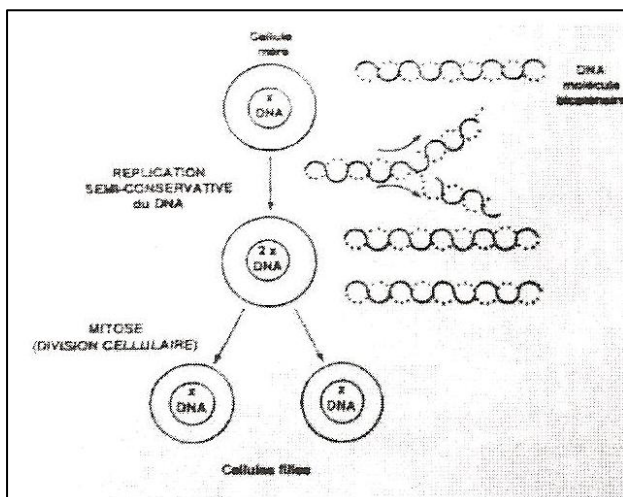
II) LA REPRODUCTION ASEXUÉE

Cette reproduction est la plus simple. Elle concerne les **organismes unicellulaires** composé d'ADN doubles brin « nageant » dans le cytoplasme (pas de noyau).

Comment ça se passe ?

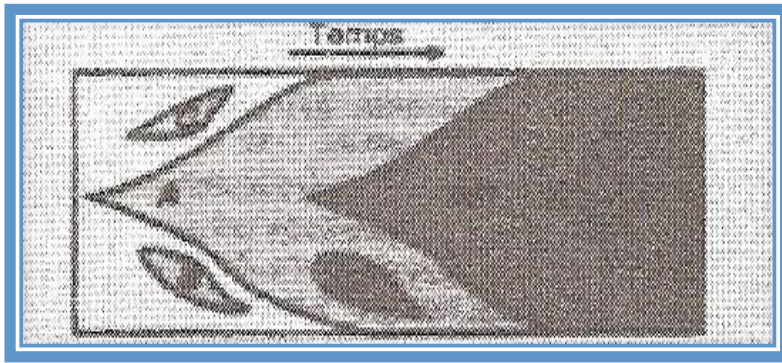
Il y a une **réplication semi-conservative** de l'ADN pour former un **CLONE**.

✓ **Un clone d'ADN est identique à l'ADN parental**



- ✧ Au début on a une **molécule d'ADN double brin**
 - ✧ Ensuite les deux brins **se dissocient** et chacun va permettre la **synthèse d'un nouveau brin complémentaire identique**
 - ✧ Au final on obtient **deux brins d'ADN filles** identiques au brin ADN mère, ce sont des **clones**
- Seule une **mutation** d'origine environnementale (irradiation, produit chimique ...) **aléatoire** peut entraîner une **révolution** sur un clone, modifier une des bases de l'ADN et ainsi permettre la **survenue d'une nouvelle génération de clone**.
 - Ces mutations sont aléatoires et **imprévisibles**, ainsi on peut attendre très longtemps avant d'en observer une ce qui ne donne quasiment **pas la possibilité à l'espèce de s'adapter** aux changements environnementaux ce qui peut amener à son **extinction**.

• **La reproduction asexuée en fonction du temps:**

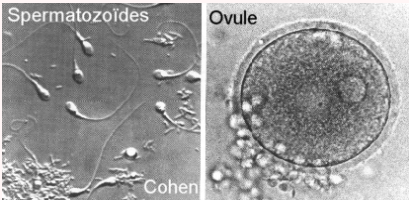
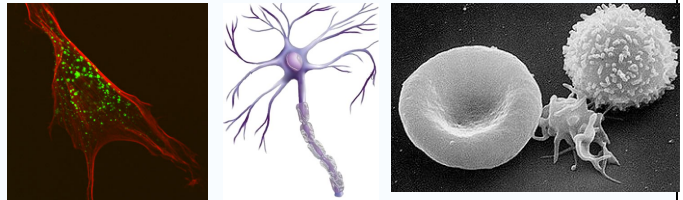


On remarque qu'il faut **beaucoup de temps** avant qu'une **nouvelle mutation** intervienne et ainsi on comprend bien que l'espèce mettra **plusieurs générations avant** de pouvoir posséder plusieurs mutations et **s'adapter** de façon optimale à un changement environnemental.

III) LA REPRODUCTION SEXUÉE / PROCRÉATION

1) Généralités

➤ Dans le corps humain il existe deux types de cellules :

GERMEN	SOMA
Gamètes => cellules haploïdes	Toutes les autres cellules dites somatiques => cellules diploïdes
nK = 23K * dont 1 chromosome sexuel = Pas de paire de chromosome (un seul exemplaire de chaque chromosome homologue) = 23 chromosomes	2nK = 46K dont 2 chromosomes sexuels = 23 paires de chromosomes = 46 chromosomes
 Ex : Spermatozoïdes / ovule	 Ex : fibroblaste / neurone / cellules sanguines

* K = chromosomes

2) Les gamètes

➤ La reproduction sexuée est basée sur la différenciation sexuelle.

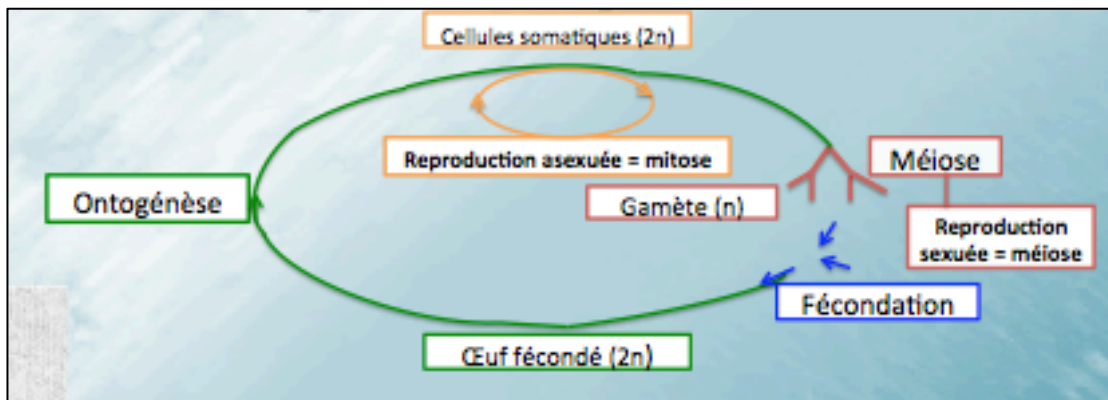
Les **gamètes** sont les **spermatozoïdes** et **ovocytes** :

- Ce sont des cellules **différentes** => on parle alors **d'anisogamie**
- Ce sont des cellules **spécialisées** aux **fonctions différentes** => on parle de **dismorphisme sexuel**

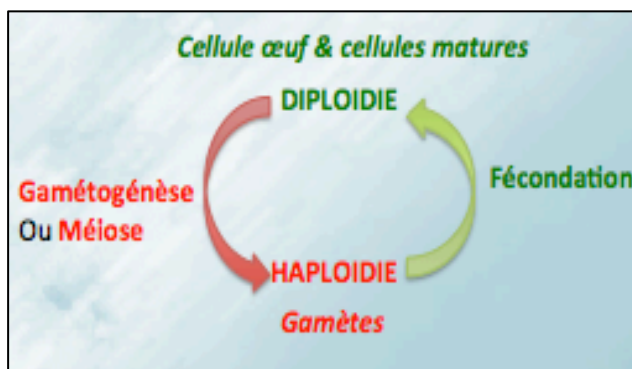
	OVOCYTE	SPERMATOZOÏDE
Taille	La plus grande cellule	Petite (1µm)
Réserve	Réserves : • Alimentaire • ARN messager	Dans la tête il n'y a que le noyau avec quasiment pas de cytoplasme (pas de réserves)
Mobilité	Déplacement passif et non autonome : L'ovocyte se déplace grâce au mouvement des cils et au mucus dans la trompe utérine	Déplacement actif : Le flagelle permet le mouvement

- Les gamètes doivent remplir **3 conditions** pour permettre une fécondation optimale:
 - ✓ **L'ovocyte** doit avoir une **taille suffisante** (*apport nutritif ++*)
 - ✓ Les **spermatozoïdes** doivent être **nombreux** (*++ les chances de rencontre avec l'ovocyte*)
 - ✓ Le **coût de fabrication** (énergie dépensée) doit être **raisonnable**

3) Le cycle de la reproduction sexuée



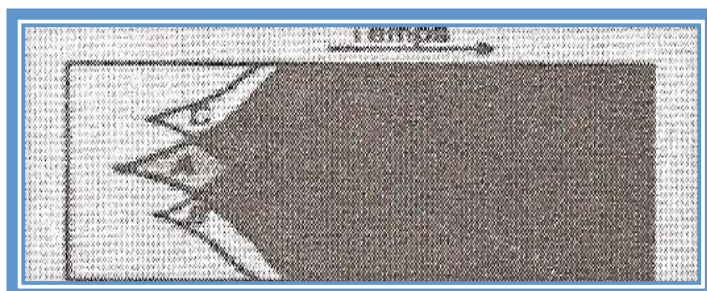
- ✧ Chacune des **cellules souches sexuelles diploïdes (2nK)** subit une **méiose** qui va réduire son nombre de chromosomes pour former un **gamète haploïde (nK)**.
- ✧ Les deux gamètes fusionnent lors de la **fécondation** qui permet alors de **rétablir la diploïdie** (reconstitution d'une cellule à 2nK)
- ✧ **L'œuf fécondé** évolue lors de l'**embryogénèse** et donne un **individu** qui devient adulte et vieillit : c'est **l'ontogénèse**.
- ✧ Les **autres cellules** du corps humains **évoluent** et se **régénèrent** par **mitoses** successives (qui **gardent les cellules diploïdes à 2nK**).



➤ La **fécondation** permet de passer **de 2 gamètes haploïdes (nK)** à **1 cellule œuf diploïde (2nK)**

➤ Au contraire la **méiose/gamétogénèse** permet de passer d'une **cellule mère diploïde (2nK)** à **4 gamètes haploïdes (nK)**

- **La reproduction sexuée en fonction du temps:**



Ici les **mutations** surviennent plus **rapidement** et en plus grand nombre. Les adaptations aux changements environnementaux seront donc plus rapides et permettront une **meilleure survie de l'espèce**.

4) Résumé sur les reproductions asexuée et sexuée

REPRODUCTION ASEXUÉE :

- ✓ Permanence des caractéristiques de l'espèce
- ✓ Immortalité des individu (*1 cellule mère => 2 cellules filles clones / identiques*)
- ✓ Fabrication de clones identiques à la cellule mère
- ✓ Seule variation possible => mutation aléatoire et imprévisibles

REPRODUCTION SEXUÉE :

- ✓ Diversité des individus
- ✓ Individu jamais identique à ses parents
- ✓ Adaptation rapide aux changements environnementaux
- ✓ Rôle dans la survie

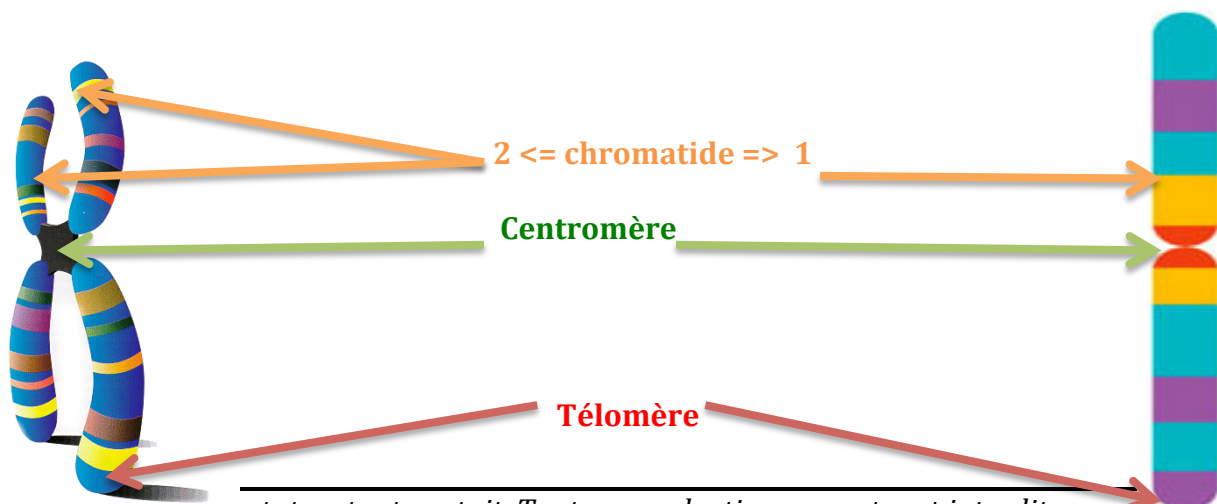
IV) RAPPEL SUR LES CHROMOSOMES

On va commencer par refaire un petit topo sur les chromosomes, leur composition =)

- Les chromosomes sont les porteurs de l'information génétiques, ils sont composés de molécules **d'ADN doubles brins** (deux chaînes complémentaires l'une de l'autre).
- Chez l'homme il y a **23 paires de chromosomes homologues** donc en tout **46 chromosomes** (*dans une cellule somatique donc diploïde*) :
 - **22 paires** de chromosomes homologues **somatiques**
 - **1 paire** de chromosomes **sexuels : X & Y**

❖ Partie Voc' :

- ✓ Une **paire** de chromosome = **2 chromosomes homologues**
- ✓ Un chromosome peut avoir **une ou deux chromatides** (*en fonction de la phase du cycle cellulaire dans laquelle la cellule se trouve*) :
 - Chromosome **simple** → possède **une** chromatide
 - Chromosome **double** → possède **deux** chromatides
- ✓ La **partie centrale** du chromosome où se rejoignent les chromatides s'appelle le **centrosome**
- ✓ Les **extrémités** des chromosomes s'appellent les **télomères**

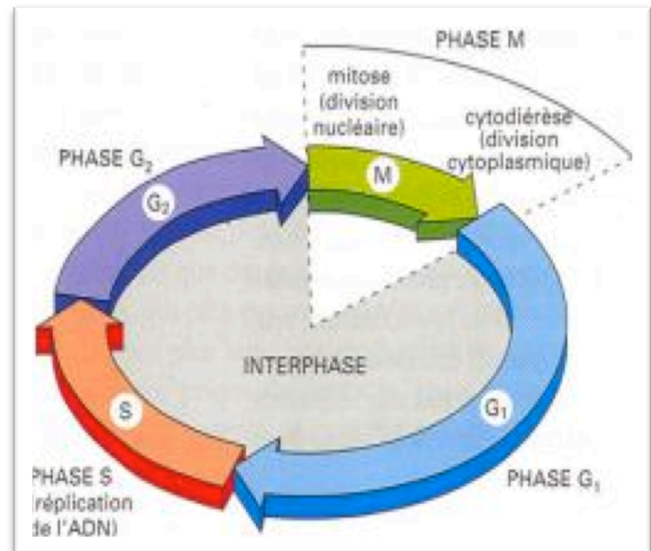


V) LE CYCLE CELLULAIRE

Le cycle cellulaire c'est en quelque sorte la vie de la cellule. Toutes les cellules suivent le cycle cellulaire (mais pas toutes de la même manière vous le verrez en Biocell). Ici on va parler du cycle d'une cellule somatique (cellules non-sexuelle) :

Le cycle cellulaire se décompose en 5 phases

- **Phase G₀** : la phase de **repos** de la cellule (facultative)
- **Phase G₁** : **Reprise du cycle** cellulaire
- **Phase S** : Réplication de l'ADN :
 - On passe de **chromosomes simples = 1 chromatide**
 - à **chromosomes doubles = 2 chromatides**
- **Phase G₂** : la cellule est ici à 2n chr double (donc 4n ADN).
- **Phase M** : correspond à la division cellulaire, ou **mitose**.



Ps : Il y a une différence à faire entre chromatide sœurs et chromosomes homologues, les chromatides sœurs sont identiques mais les chromosomes homologues sont différents.

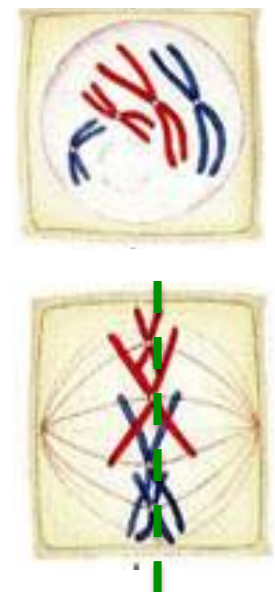
- Il y a donc des **variations de quantité d'ADN** par exemple **quand on passe de 1 à 2 chromatides en phase S** ou **lorsque la cellule se divise en mitose** (cf plus loin)

VI) LA MITOSE

- Elle concerne les **cellules somatiques (= non sexuelles)** toutes **diploïdes** avec **2nK = 46 chromosomes**.

La mitose s'inscrit dans le cycle cellulaire (phase M), elle commence après la réplication de l'ADN en phase S. Elle se décompose en 4 phases :

- **Prophase :**
 - formation des **chromosomes homologues parallèle**
- **Métaphase :**
 - Alignement des chromosomes sur la plaque équatoriale et attachement aux fuseaux de division.
 - **!!! Les chromosomes s'alignent sur la plaque équatoriale avec leurs centromères PARRALLÈLE AU PLAN EQUATORIAL (≠ de la méiose) !!!**
 - ✓ chaque chromosome homologue se place sur la plaque équatoriale



- **Anaphase :**

- Chaque **chromosome double** (à deux chromatides) **se scinde en 2 chromosomes simples** (à une chromatide)
- le **centromère se coupe en deux** pour permettre la **séparation des deux chromatides soeurs**
- Chaque chromosome formé est **attiré par les faisceaux de division** vers l'un des deux pôle de la cellule.

✓ *Ps: de chaque côté du plan équatorial on a bien 1 chromatide de chaque chromosome homologue => conservation de la diploïdie*



- **Télophase :**

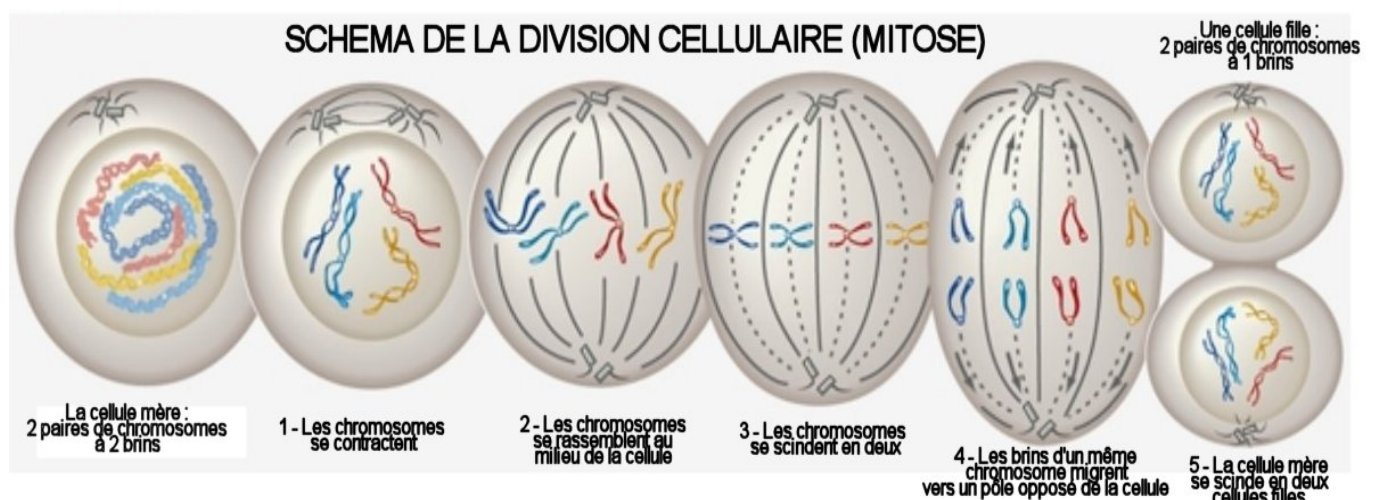
- Les faisceaux de divisions disparaissent.
- Les chromosomes (à 1 chromatide) ont rejoint un pôle de la cellule et commencent à **se décondenser**.
- La membrane cellulaire se « referme » en formant **deux nouvelles cellules**.
- **Chaque nouvelle cellule est identique à la cellule mère** mais ne contient que **des chromosomes simples** (tant que la réplication n'aura pas eu lieu)

- ✓ *Ps: chacune des cellules fille est diploïde!*
- ✓ *Chacune contient les 2 chromosomes homologues mais ils sont simples (à 1 chromatide)*
- ✓ *Chaque cellule fille possède la même quantité d'ADN (nADN)*



Durant TOUTE la mitose la DIPLOIDIE est CONSERVÉE !!!

➔ on retrouve *toujours* les **23 paires** de K homologues donc les **46 chromosomes!**



VII) LA MEIOSE ET GAMÉTOGÉNÈSE

1) Introduction à la gamétogénèse et généralités sur la méiose :

- La méiose est la division cellulaire qui ne touche QUE les cellules de la **lignée germinale** = **lignée sexuelle** = **gamètes**.
- Il s'agit d'une **succession de deux divisions cellulaires précédées d'UNE seule réplication** d'ADN.
- Cela permet le passage d'une **cellule diploïde à quatre cellules haploïdes**, c'est-à-dire :
 - **Diploïde** : possédant **deux lots de chromosome / les 2 chromosomes homologues de chaque paire / 23 paires de chromosome / $2nK = 46$ chromosomes**
 - **Haploïde** : possédant **un seul lot de chromosomes simples / un seul des deux chromosome homologue de chaque paire / $nK = 23$ chromosomes**
- La méiose est l'étape clef de la gamétogénèse. Gamétogénèse, qui se compose de quatre étapes :

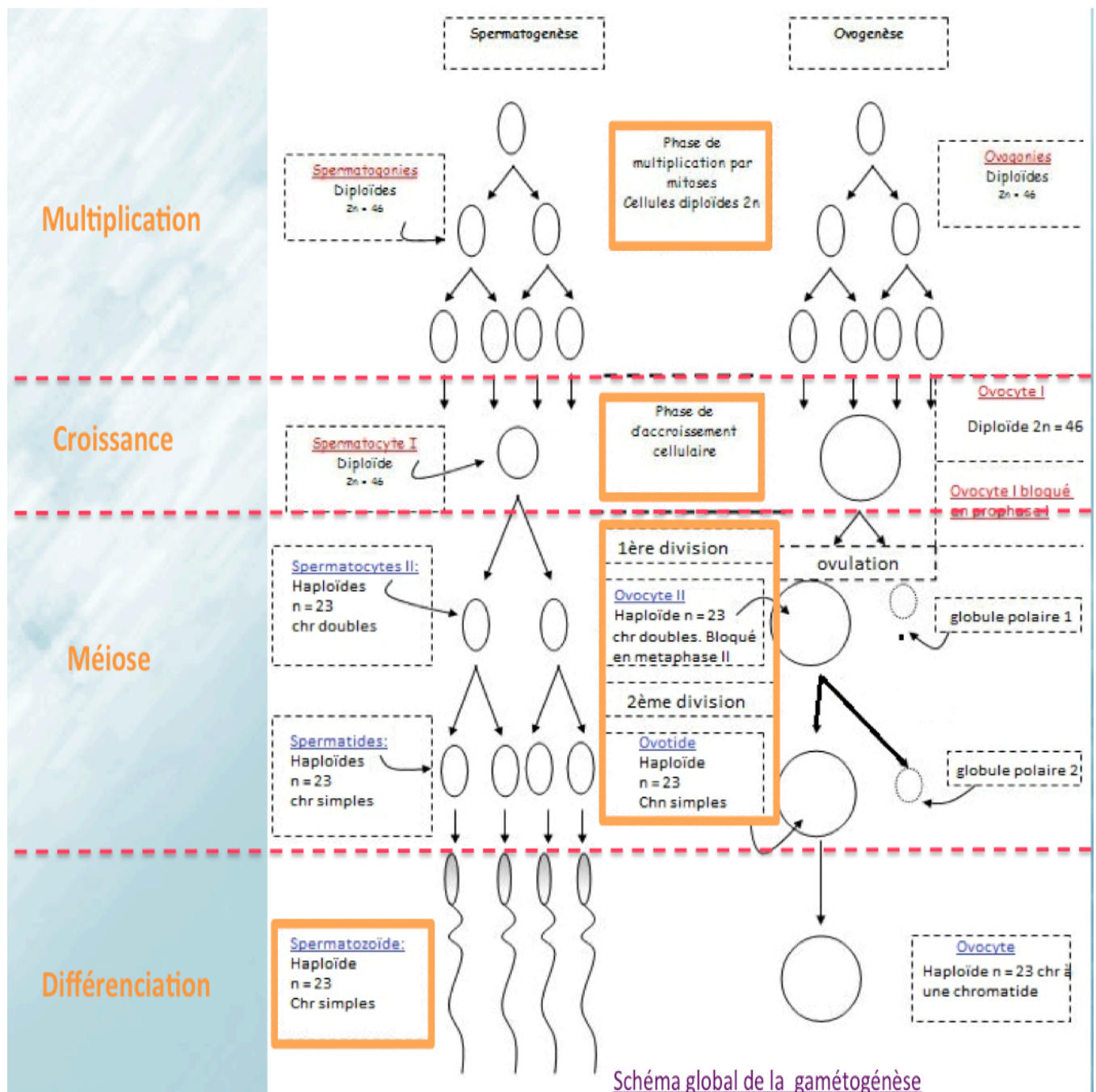
- ✧ **MULTIPLICATION**
- ✧ **CROISSANCE**
- ✧ **MATURATION NUCLÉAIRE = MEIOSE**
- ✧ **MATURATION CYTOPLASMIQUE = DIFFÉRENCIATION**

- Ces quatre étapes se retrouvent dans la spermatogénèse et l'ovogénèse **MAIS leur proportion et leur importance varie !**

	SPERMATOGÉNÈSE	OVOGÉNÈSE
MULTIPLICATION	Importante: Capacité maintenue presque tout au long de la vie (<i>certaines hommes peuvent faire des enfants jusqu'à 80 ans</i>)	Faible: Elle est vite perdue chez la femme (<i>au 7^{ème} mois de grossesse</i>)
CROISSANCE	Très faible: Elle ne concerne que les cellules pré-méiotiques	Très important: L'ovule est la plus grosse cellule de l'organisme féminin
MEIOSE	Complète, continue, rapide	Incomplète, discontinue, longue*
DIFFÉRENCIATION	La différenciation n'est pas finie lorsque la méiose est terminée, il s'en suit une étape qui va permettre de passer d'une cellule ronde (<i>spermatide</i>) au spermatozoïde (<i>cellule la plus différenciée de l'organisme</i>) → la spermiogénèse	Il n'y en a pas!! L'ovocyte II qui est bloqué en métaphase II n'atteint pas le stade de différenciation car quand il reprend sa méiose il se transforme directement en zygote (<i>avec la fécondation</i>)

* On parle de méiose complète lors de la spermatogénèse car elle s'effectue sans discontinuité, et de méiose incomplète pour l'ovogénèse car il y a deux blocages : un premier en fin de prophase de méiose I et un deuxième en métaphase de méiose II. Il y a donc deux pauses durant la méiose chez la femme, la première prendra fin lors de l'ovulation puis se bloquera de nouveau jusqu'à ce qu'il y ait fécondation (où il y aura terminaison de la méiose en formant le zygote).

- La **méiose débute** sur des **cellules souches sexuelles**, les **gonocytes** : **spermatogonies** ou **ovogonies**. Ces cellules sont capables de **se diviser par mitose** pour **perpétuer la lignée** (remarque: les ovogonies ne font plus de mitoses une fois le stock formé à 7 mois intra-utérin) ou **d'entrer en méiose** pour **commencer la gamétogénèse**.



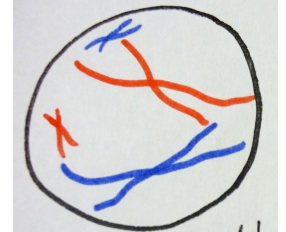
2) La première division méiotique :

- C'est au **terme de cette division** qu'on va avoir des **cellules haploïdes**.
- Cette division possède plusieurs particularités, notamment sa **prophase TRES longue** : elle **compte 5 stades distincts** (donc différent la prophase mitotique qui est courte et sans particularités)

- **La prophase I** : se divise en 5 stades distincts :

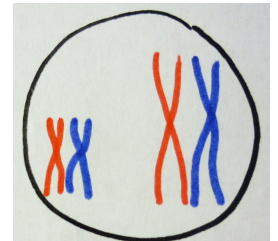
❖ **Stade leptotène :**

- Les brins d'ADN **s'affinent**
- Il y a formation des **filaments chromatiques**
- La cellule est **diploïde (2nK)**
- Elle possède des **chromosomes doubles à deux chromatides (2nADN)**



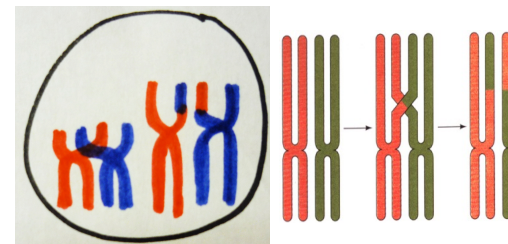
❖ **Stade zygotène :**

- Les **chromosomes homologues s'apparient**
→ *Mnémon: penser à zygote = par 2*



❖ **Stade pachytène :**

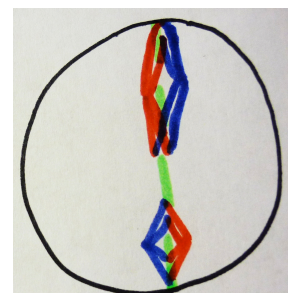
- les **chromosomes s'épaississent**
- Il y a formation de **chiasma** avec **crossing over** :
 - **Chiasma** : **enjambement** des portions chromatiques
 - **Crossing over** : **recombinaisons méiotique** c'est-à-dire **enjambement + échange de brins de chromatides**



→ *Mnémon: gros = pachyderme*

❖ **Stade diplotène :**

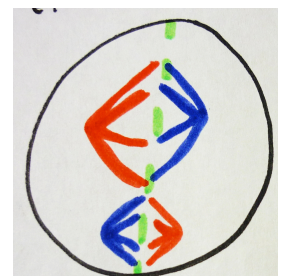
- Les chromosomes homologues **s'éloignent l'un de l'autre** mais **se retiennent par leurs extrémités (télomères)**
- Les chiasmas sont toujours visibles



❖ **Stade diacinèse :**

- Les **chromosomes migrent vers les pôles** de la cellule
- Les chiasmas se terminent

→ *Mnémon général: Le zygotite a payé ses diplômes avec des diamants ou lézypadidi*



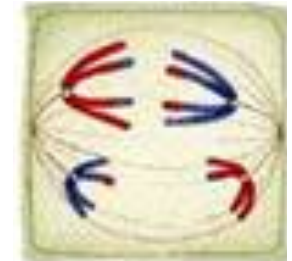
- **Métaphase I :**

- **identique à une mitose SAUF** que les chromosomes rejoignent la plaque équatoriale et que leurs centromères s'alignent **perpendiculairement** sur la plaque équatoriale (et non parallèlement comme en mitose).



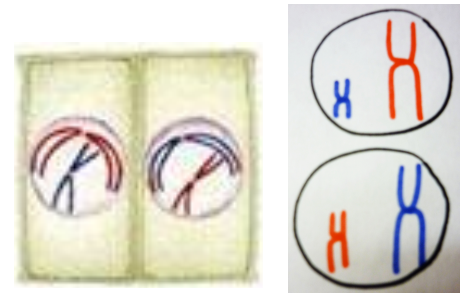
- **Anapase I :**

- **Chaque chromosome** homologue est attiré vers un pôle de la cellule
- **Les paires** de chromosomes homologues sont séparées
- Le **centromère de chaque chromosome reste unique**, il ne se clive pas





- **Télophase I :**

- Il y a reformation de **deux cellules distinctes**
- Chaque cellule fille possède **1 chromosome homologue double, à 2 chromatide (nK / 2nADN)** de chaque paire
- Elle sont **haploïdes** et ont donc **23 chromosomes** chacune



Ps : K = chromosome et ADN = nombre de chromatides

TABLEAU RÉSUMÉ

1 ^{ère} division	CHROMOSOME = K	CHROMATIDE = ADN
Début PROPHASE 	Une cellule à 46 chromosomes (23 paires de chromosomes homologues) diploïde → 2nK	Les deux chromosomes de chaque paire sont simples Ils possèdent 1 chromatide → 2n ADN
Fin TÉLOPHASE 	Deux cellules de 23 chromosomes chacune (un de chaque paire) haploïdes → nK	Ces chromosomes sont doubles Ils possèdent donc 2 chromatides → 2n ADN
EN RÉSUMÉ	<div style="text-align: center;"> 2nK → nK ↓ </div> On DIVISE le nombre de chromosomes (diploïde => haploïde) ✓ RÉDUCTIONNELLE en chromosome	<div style="text-align: center;"> 2n ADN → 2n ADN ↓ </div> On reste en MÊME QUANTITÉ en qualité d'ADN (de nombre de chromatides) ✓ EQUATIONNELLE en ADN

!!!! LA PREMIÈRE DIVISION MEIOTIQUE EST REDUCTIONNELLE SUR LE PLAN DES CHROMOSOMES ET ÉQUATIONNELLE SUR LE PLAN DE L'ADN !!!!

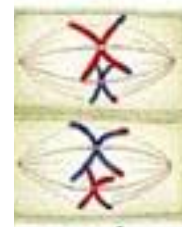
3) La deuxième division méiotique :

- Il s'agit d'une **division cellulaire semblable à une mitose**
- **SAUF** que celle-ci n'est **PAS PRÉCÉDÉE D'UNE REPLICATION DE L'ADN** (Très important à retenir !!!!!)
 - C'est-à-dire que à la fin de la 1ère division on avait une cellule haploïde avec des chromosomes doubles et qu'on commence notre 2^{ème} division directement avec ces mêmes chromosomes doubles, sans que de nouvelles chromatides aient apparues (pas de réplication ou augmentation de l'ADN)
 - Le fait qu'il n'y ait pas de réplication d'ADN va donc permettre le **passage de deux cellules mères haploïdes à chromosomes doubles ($nK / 2nADN$) à quatre cellules filles haploïdes à chromosomes simples ($nK / nADN$)**



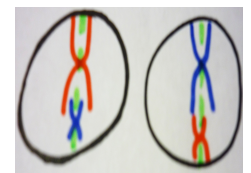
- Prophase II :

- On part d'une cellule **haploïde** (23 chromosomes / sans aucune paire)
- Ce sont des chromosomes **doubles** (2 chromatides)



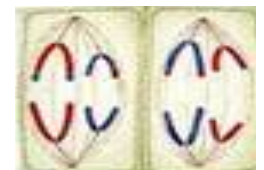
- Métaphase II :

- **Chaque chromosome se place** (parallèlement comme en mitose) **sur la plaque équatoriale**



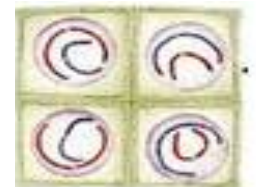
- Anaphase II :

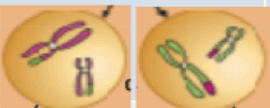
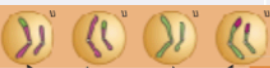


- Les fuseaux de division **séparent les 2 chromatides sœurs de chaque chromosome**



- Télaphase II :

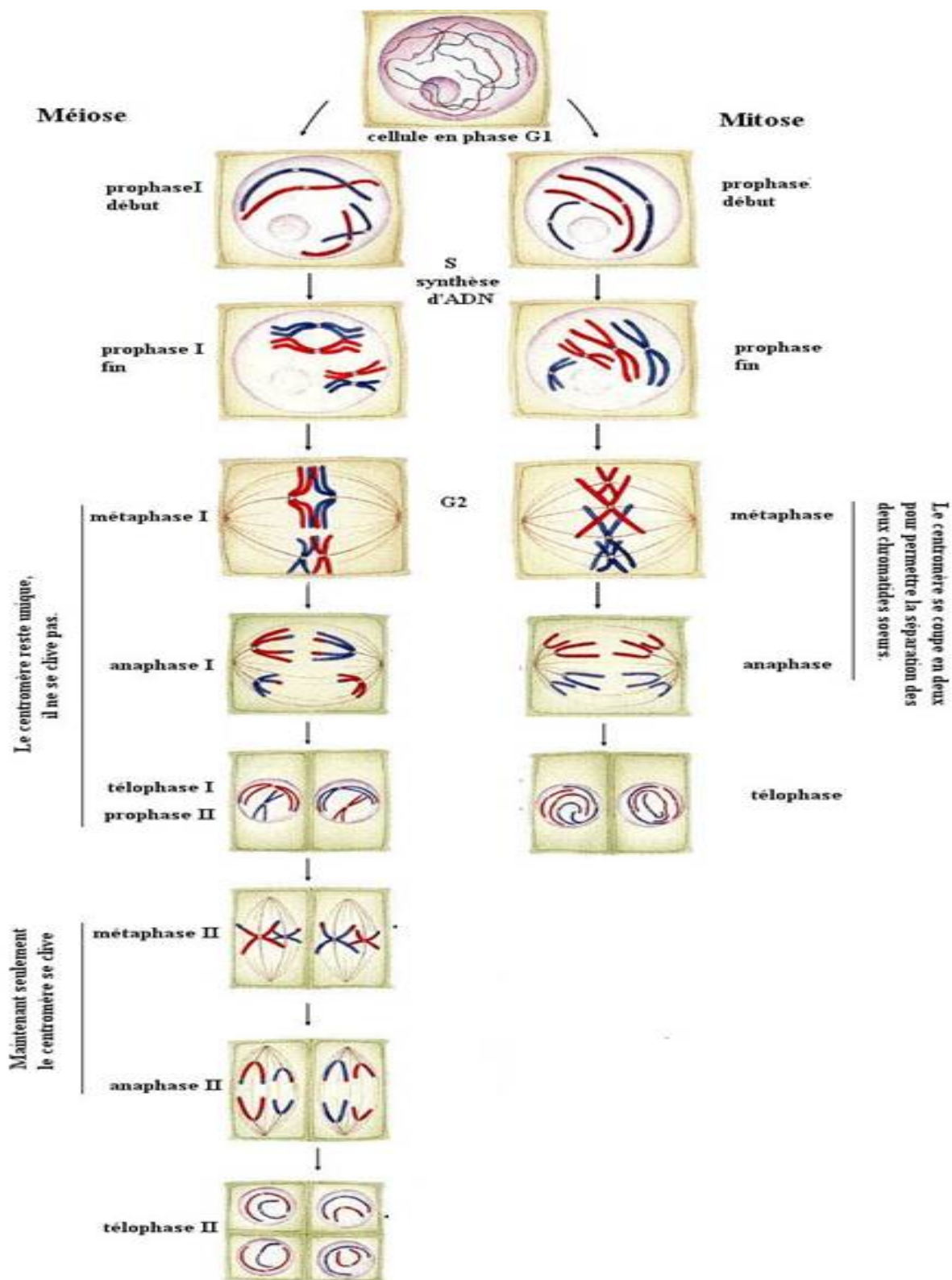
- On obtient **4 cellules HAPLOIDES**
- **Chacune d'entre elle possède 1 chromosome de chaque paire**
- Ces **chromosomes** sont **simples** (1 chromatide)



2 ^{ème} division	CHROMOSOME = K	CHROMATIDE = ADN
Début PROPHASE 	Deux cellules de 23 chromosomes chacune (un de chaque paire) haploïdes → nK	Ces chromosomes sont doubles Ils possèdent donc 2 chromatides → 2n ADN
Fin TÉLOPHASE 	Quatre cellules de 23 chromosomes chacune (un de chaque paire) haploïdes → nK	Ces chromosomes sont simples Ils possèdent donc 1 chromatide → n ADN
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>		
EN RÉSUMÉ	$nK \rightarrow nK$	$2n \text{ ADN} \rightarrow n \text{ ADN}$
	On garde le même nombre de chromosomes (la cellule reste haploïde) ✓ ÉQUATIONNELLE en chromosome	On divise par deux la quantité d'ADN (on passe de K doubles à simple) ✓ RÉDUCTIONNELLE en ADN

!!! LA DEUXIEME DIVISION MEIOTIQUE EST EQUATIONNELLE SUR LE PLAN DES CHR ET REDUCTIONELLE SUR LE PLAN DE L'ADN !!!

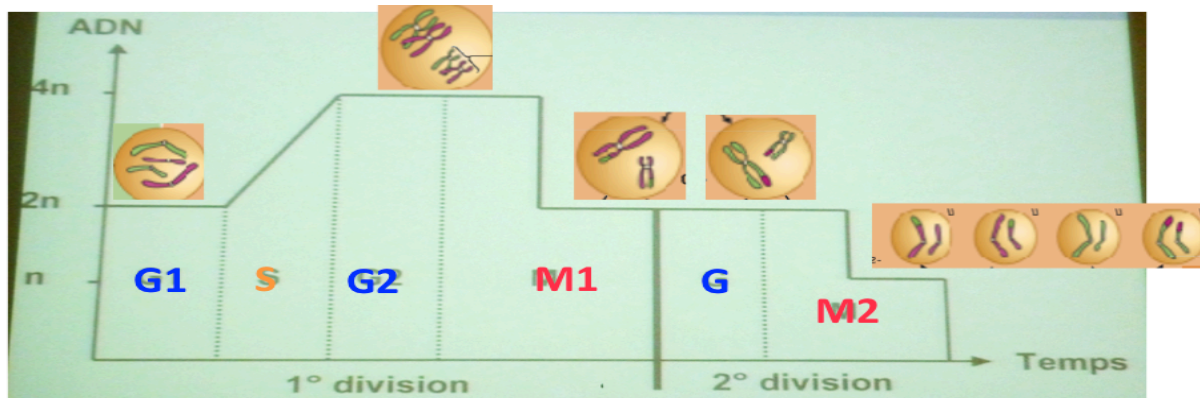
TABLEAU RÉSUMÉ MITOSE / MEIOSE



4) Graphique sur la variation des quantité d'ADN

Au cours du cycle cellulaire il y a des variations de quantité d'ADN, qui sont dues à la réplication en phase S et à la division (mitose ou phase M).

Si on résume : on passe de $2n$ ADN à $4n$ ADN (avec la **réplication**) puis les **deux divisions méiotiques** ramènent au final à n ADN chacune des **quatre cellules filles**.



- ◇ **G1:** Commencement du cycle cellulaire — $2nK$ / $2nADN$
- ◇ **S:** **Réplication** de l'ADN: $2nK \rightarrow 2nK$ — K simples: 1 chromatide ($2nADN$) \rightarrow K doubles: 2 chromatides ($4nADN$)
- ◇ **G2:** Phase de croissance
- ◇ **M1:** **Première division** de méiose: $2nK \rightarrow nK$ / $2nADN \rightarrow 2nADN$ — Réductionnelle en K / Equationnelle en ADN
- ◇ **S:** **PAS** de **Réplication** !!!
- ◇ **G:** Phase de croissance
- ◇ **M2:** **Deuxième division** de méiose: $nK \rightarrow nK$ / $2nADN \rightarrow nADN$ — Equationnelle en K / Réductionnelle en ADN

5) Le brassage génétique effectué par la méiose :

- Ce **brassage génétique**, qui permet la création d'individus différents de ses parents repose sur **des événements** très important de la méiose:

- ◇ **Les recombinaisons méiotiques (chiasma / crossing over) au cours de la première division méiotique :**

➔ permettent une variation importante des cellules filles à partir de la même cellule mère car elles porteront une information différentes du fait des recombinaisons.

- ◇ **Lors des métaphases I et II la migration des chromosomes ou des chromatides vers l'un ou l'autre des pôles de la cellule se fait de manière aléatoire :**

➔ En effet, les chromosomes ou chromatides migrent vers un pôle ou l'autre de façon aléatoire

- ◇ **Lors de la formation des gamètes, la répartition aléatoire des chromosomes sexuels (soit X ou Y) dans le sexe masculin au cours de la spermatogénèse :**

➔ Spermatozoïde X ou Y