

Méiose

Coucou, j'espère que vous allez bien, toujours pareil j'ai essayé de vous mettre le plus d'explications possible et toujours dans cette couleur !! Vous allez voir il y a pas beaucoup de changements par rapport à la version ttr !! Sur ce bonne lecture 😊

La méiose est très différente de la mitose parce que même s'il s'agit d'une division cellulaire, elle ne concerne que les cellules de la lignée **germinale**, elle ne concernera jamais les cellules somatiques.

Son objectif est d'obtenir in fine des gamètes mâles ou femelles.

1. Vue d'ensemble de la méiose

La méiose comprend 2 divisions cellulaires successives, avec **1 seule répllication** d'ADN qui précède la première division de la méiose.

Le but de ces 2 divisions cellulaires est d'assurer le passage d'**1 cellule diploïde** (2n chromosomes) à **4 cellules haploïdes** (n chromosomes).

On parlera donc d'une première division dite "réductionnelle" et d'une seconde division dite "équationnelle" (ce sont des termes fondé sur le nombres de chromosomes et pas sur le nombre de molécules d'ADN)

La première division est dite **réductionnelle**, car on **divise par 2** le nombre de K, en effet, on passe 46 à 23 K.

Elle permet de distribuer de manière **aléatoire** les K homologues entre les 2 cellules filles, sans les casser au niveau de leurs centromères.

Ce qui s'oppose à la deuxième division de méiose, dite **équationnelle**. En effet, elle divise par 2 la quantité d'ADN, car elle n'est pas précédée d'une phase S.

Les n K présents vont être cassés au niveau de leur centromère et chaque Kides (**chromatides**) va être aléatoirement être redistribuée dans les cellules filles, comme dans une mitose standard.

Conséquences de la méiose

- Réduction du contenu génétique des cellules (on passe de 2n chromosomes à n chromosomes)
- Transmission de l'information génétique (**parcellaire** car on ne transmet pas toute l'information génétique)
- Brassage extrêmement important de l'information génétique compte tenu des mécanismes mis en jeu (crossing-over, ségrégations possibles de segment d'ADN)

Pour ceux qui n'auraient pas compris la notion de transmission de l'information parcellaire :

En gros, essaye de voir le patrimoine génétique comme un livre (avec une partie maternelle et une partie paternelle).

Pendant la méiose, chaque gamète ne reçoit qu'une moitié du livre, donc seulement une partie du livre complet (d'où la notion de parcellaire)

Et c'est seulement lors de la fécondation que les deux gamètes mettent leur moitié en commun pour reformer le livre entier.

Petit tableau récap :

Méiose I Réductionnelle	Méiose II Equationnelle
Divise par 2 le <u>nombre de chromosomes</u>	Divise par 2 la <u>quantité d'ADN</u>
Précédée d'une phase S	<u>Non</u> précédée d'une phase S
Permet de distribuer les <u>chromosomes homologues</u> (répliqués et combinés) entre 2 cellules filles	Permet de séparer les <u>chromatides</u> au niveau du centromère (comme une mitose)

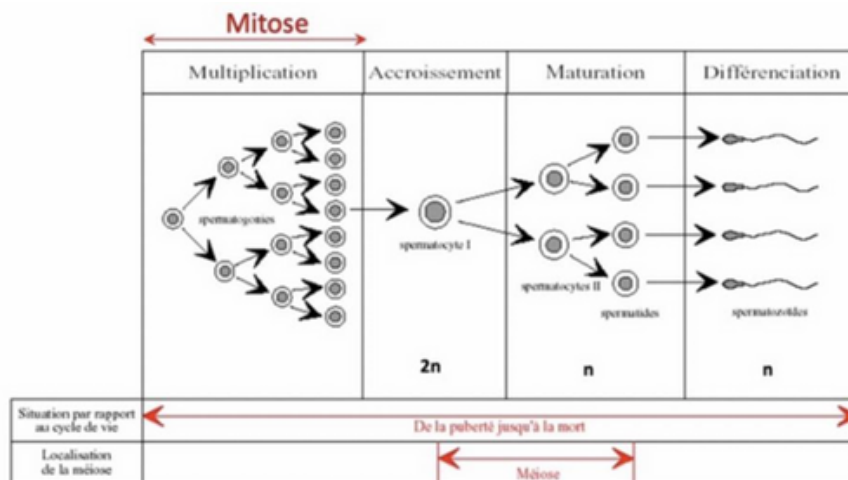
La méiose est possible **uniquement** après une première étape qui va conditionner la gamétogénèse : celle de la **multiplication des gonies**.

Il est souvent difficile de séparer méiose et mitose parce que dans le sexe masculin par exemple la méiose est précédée d'une phase d'amplification du clone de spermatogonie de manière à avoir assez de cellules germinales souches et qu'elles puissent rentrer en méiose.

Ces mitoses vont être continues dans le sexe masculin, alors que le sexe féminin, elles vont s'arrêter à un moment donné pendant la vie in utero, ce qui explique le phénomène de ménopause.

La méiose va concerner ces cellules qui sont obtenues **après amplification** du pool de gonies souches. Les deux mécanismes sont relativement impliqués l'un avec l'autre.

Prenons l'exemple pour le sexe masculin :



Cette étape est indispensable car sans elle, nous n'aurions pas de pool souche suffisamment grand de gonies (et donc potentiellement pas assez de gamètes à utiliser pendant la vie génitale)

Il va donc y avoir une différenciation de la gonie en -cyte primaire, puis -cyte secondaire, puis après -tides ou -zoïde dans le cas du sexe masculin.

Vous verrez dans AGF que chez la femme nous n'avons pas de méiose complète.

Attention : il existe des différences entre les 2 sexes

Sexe masculin	Sexe féminin
<p>multiplication des gonies continue avec une division asynchrone qui va permettre de garder un pool de cellules souches (donc la spermatogenèse ne s'arrêtera jamais)</p>	<p>toutes les cellules souches vont entrer en mitose puis en méiose (donc pas de pool souche), ce qui explique que les règles vont s'arrêter à un moment de la vie des femmes (la ménopause)</p>
<p>commence pendant la vie intra-utérine et elle va continuer tout au long de la vie</p>	<p>pendant la vie intra-utérine</p>

2. Description de la méiose I

Nous allons maintenant d'écrire la méiose en expliquant chacune des étapes distinctement.

Le professeur explique qu' on va passer beaucoup de temps sur la première division de méiose qui est la plus complexe à appréhender et qui conditionne toute la suite de la méiose.

A) La prophase 1

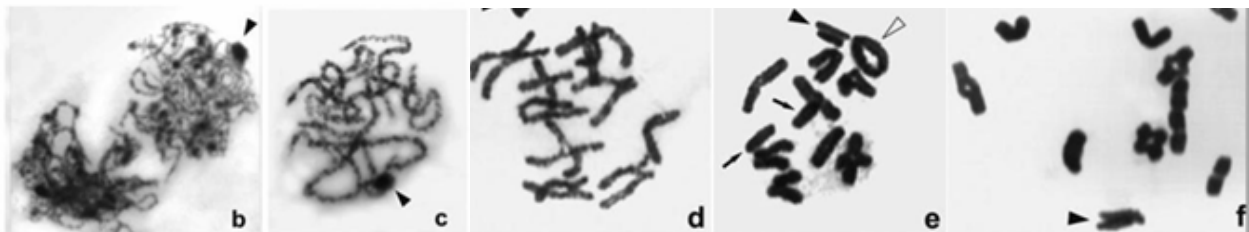
Nous allons maintenant d'écrire la méiose en expliquant chacune des étapes distinctement.

La prophase 1 est **très longue** +++ et peut durer plusieurs années (comme dans le sexe féminin par ex ou elle peut durer 50 ans).

Elle est **toujours** précédée d'une phase de réplication de l'ADN.

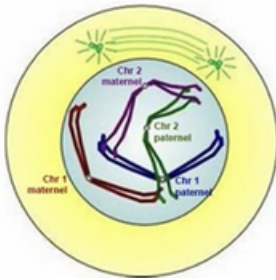
Cette prophase est subdivisée en 5 stades : leptotène, zygotène, pachytène, diplotène et diacynèse. (Petit mémo pour retenir l'ordre des étapes : « Le zyzy du Pachyderme a des Dimensions Diaboliques »)

Les 5 stades ont été définis par le caractère condensé ou non des K, les noms des différentes phases viennent de la description des K qu'on va voir ensuite.

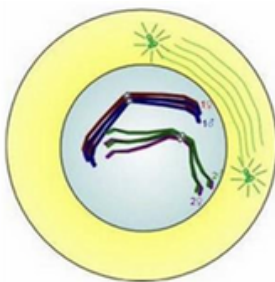


On peut voir que les K sont de plus en plus condensés sur les photos durant les différentes étapes de la prophase 1.

Du stade leptotène à diacynèse on a des formations en croix (avec à l'intérieur une sorte d'anneau central) ce qui correspond à l'appariement des chromosomes homologues pour les futurs crossing-over (on va voir plus tard ce que c'est)

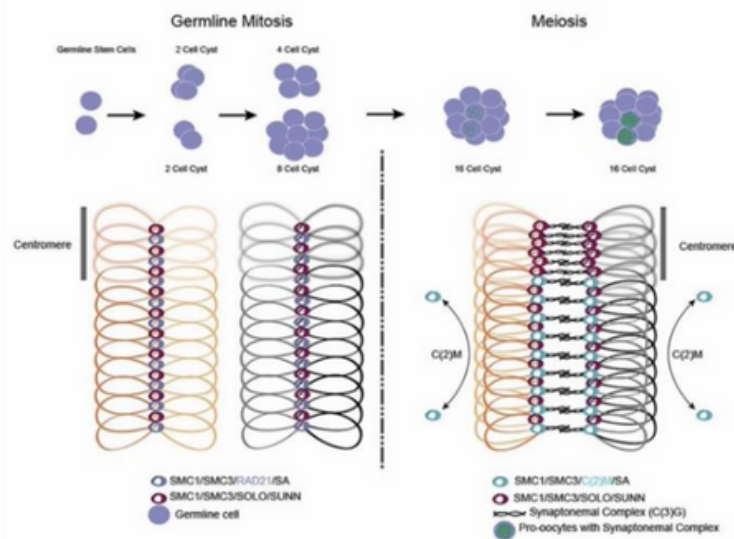
Stade Leptotène :

- Au stade leptotène, les K deviennent apparents. Ils sont dupliqués sous la forme de filaments irréguliers.
- Chaque K va acquérir de Kides sœurs ($2n$ ADN, et artificiellement « $4n$ K »).
- Progressivement, les K se rapprochent, les centrioles (les deux petits cacas verts au milieu des traits en forme d'étoiles vertes) se dupliquent et débutent leur migration pour former le futur fuseau de division mitotique.

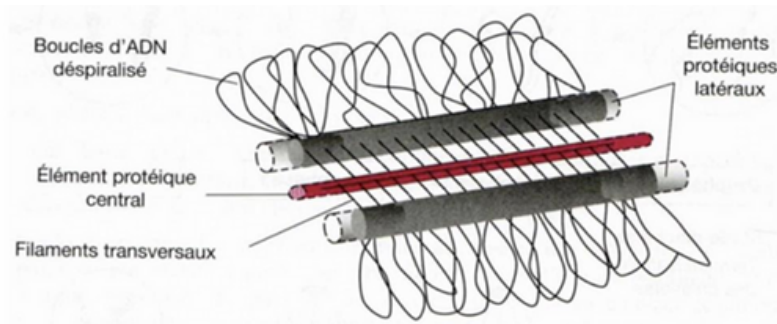
Stade Zygotène :

- Les K homologues de chaque paire vont s'apparier sur toute leur longueur, c'est la phase de **synapsis**.
- Les K se positionnent côte à côte pour former le complexe synaptonémal.
- Les centrioles poursuivent leur migration aux pôles opposés de chaque cellule.

On voit ici que les 2 chromosomes vont se mettre côte à côte et que progressivement au milieu de ces chromosomes va se former ce qu'on appelle le **complexe synaptonémal** dont le but est de coller et de rapprocher les chromosomes. (Ce moment est très important pour les crossing over et l'échange de matériel chromosomique d'une chromatide à l'autre)



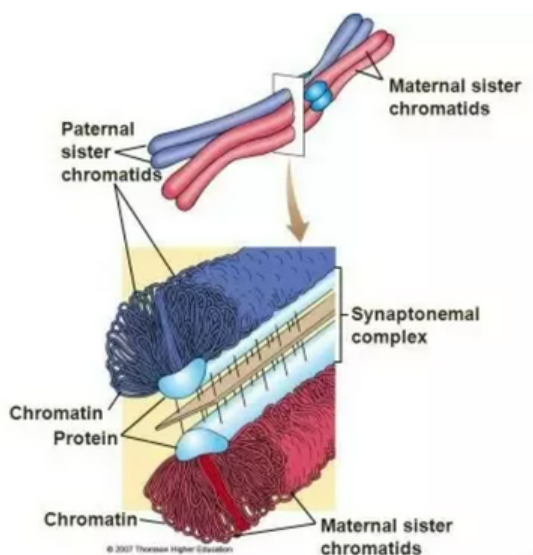
Complexe synaptonémal



Schématiquement, on retrouve **1 partie protéique centrale** et **2 éléments protéiques latéraux** reliés par des filaments transversaux, ils correspondent à «2 échelles rassemblées par une colonne centrale».

À l'extérieur, on trouve la boucle d'ADN qui est totalement **déspiralisée** puisqu'on est sur une phase où le chromosome est totalement encore ouvert.

Petit point sur la phase de synapsis/complexe synaptonémal :



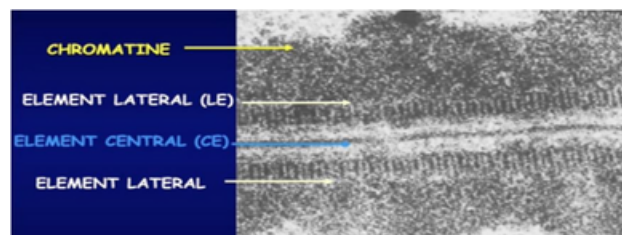
Je vous ai trouvé une petite photo pour que vous puissiez mieux visualiser, je la trouve plus parlante que celles proposés par le professeur :)

Donc ici vous voyez bien le complexe synaptonémal qui se forme entre deux chromosomes homologues, avec :

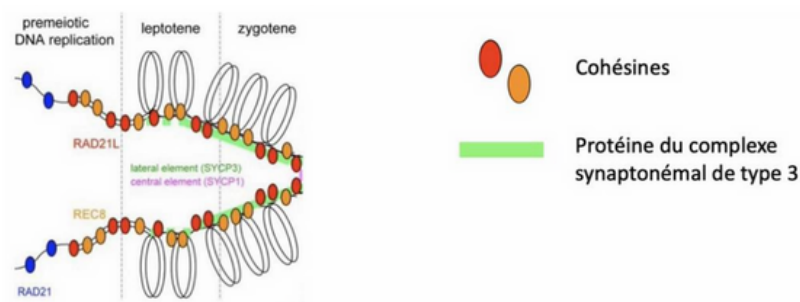
- Les deux éléments protéiques latéraux en bleu clair
- L'élément protéique central en beige
- La chromatine décondensé à l'extérieur

Son rôle est vraiment de rapprocher et d'aligner parfaitement les chromatides des chromosomes homologues pendant la prophase I de la méiose, pour permettre les crossing-over (échanges de segments d'ADN).

Image en microscopie électronique :



Au niveau moléculaire :

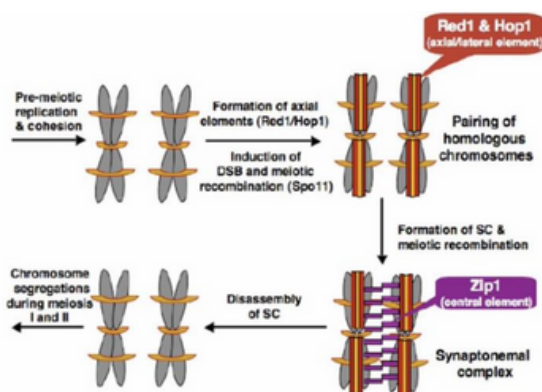


Au niveau moléculaire, des molécules de la famille des cohésines se positionnent sur la molécule d'ADN, elles vont permettre de recruter les futures protéines du complexe synaptonémal.

- La **protéine SYCP3** correspond à l'élément venant se placer le long de la Kide, donc l'élément **latéral**
- Tandis que **SYCP1** va constituer l'élément **central** et fermer le complexe synaptonémal (comme une fermeture éclair)

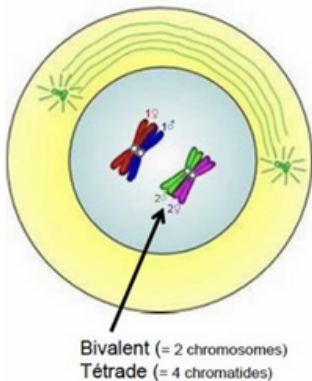
On va donc retrouver les **2 éléments latéraux**, l'**élément central** et le zippage qui va venir grâce à **ZIP1** pour totalement verrouiller le complexe synaptonémal.

On a également d'autres protéines comme **Red1** et **Hop1** qui vont rester au niveau de **SYCP3** (l'élément latéral on s'en souvient)



Ici faites bien attention on peut avoir l'impression que le complexe se forme au sein d'un même chromosome mais c'est faux, c'est juste le point de vue de la photo qui fait ça. Il se fait bien entre/ au milieu des chromatides des chromosomes homologues

(au cas où revenez sur la photo que je vous ai mis juste avant pour mieux visualiser)

Stade pachytène :

- On passe à un stade où les chromosomes ne se baladent plus dans le noyau, mais un stade où ils sont bivalents (2 chromosomes collés l'un à l'autre) ou aussi appelées tétrades (4 chromatides collées les unes aux autres)
- La particularité de cette formation est qu'elle est valable sur les **autosomes** et sur la **paire de K sexuels X féminins**. (voir explications juste en dessous)
- En revanche dans le sexe masculin, pour éviter que les gonosomes X et Y ne soient mêlés à cette machinerie, ils vont aller se loger dans une vésicule sexuelle pour éviter qu'ils ne s'apparient de manière aléatoire avec les autres K.
- Dès lors que les chromosomes seront liés les uns aux autres on observera alors le début des crossing-over.

Explications :

On se souvient que les complexes synaptonémaux se forment entre chromosomes homologues.

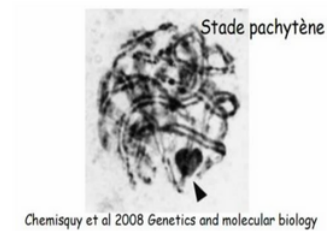
- Pour les autosomes tout est okay car on a bien à chaque fois nos deux chromosomes homologues.
Ex: nos deux copies du chromosomes 5
- Pour les gonosomes chez la femme tout est aussi okay puisqu'elle à deux chromosomes X qui sont homologues
- Par contre pour les gonosomes chez l'homme, comme il a 1 chromosome X et 1 chromosome Y, il n'a pas ses chromosomes qui sont homologues et donc il ne faut pas qu'il y ai cet échange entre ses deux chromosomes X et Y.
En gros c'est pas okay donc pas de complexe synaptonémal pour eux

Donc récap :

On ne confond pas le sexe féminin où on aura des bivalents pour les gonosomes (donc les chromosomes X) et le sexe masculin où les gonosomes (chromosome X et chromosome Y) vont aller se loger dans une vésicule sexuelle.

J'espère que c'est clair pour tout le monde et que je vous ai pas trop perdu... :(

Petite illustration de la vésicule sexuelle chez l'homme



Toujours au stade pachytène :

Le **complexe synaptonémal** est **totalem**ent présent sur la longueur des chromosomes. On a donc le début des recombinaisons génétiques (crossing-over).

Les **crossing-over** se produisent lorsque l'appariement ne va **pas être complet** sur toute la longueur du complexe synaptonémal, il peut donc y avoir des molécules qui s'insèrent et qui font déborder la molécule d'ADN et donc lorsque qu'on va avoir le débordement, on va avoir possiblement la réalisation d'un crossing-over.

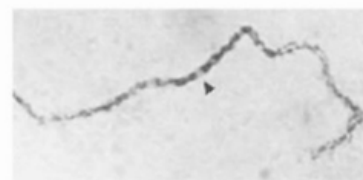
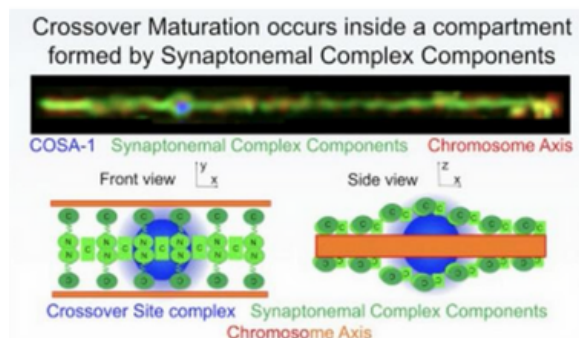
Petit explication au cas où si c'est pas clair/pour mieux visualiser cette histoire de sur toute la longueur mais pas sur toute la longueur, reprenez juste :

- Le complexe synaptonémal = global (il couvre tout)
- Les crossing-over = localisés (ils se produisent seulement à certains endroits, pas sur toute la longueur)

Imaginez deux fermetures éclair alignées sur toute leur longueur (c'est le complexe synaptonémal).

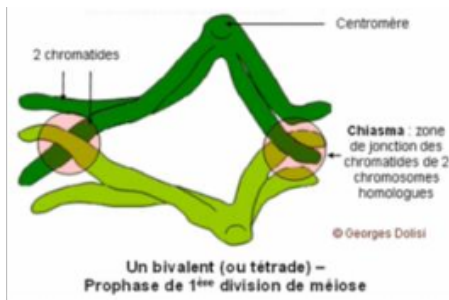
Mais les échanges (crossing-over) se font uniquement en quelques maillons de la fermeture, pas sur toute la fermeture.

Le crossing-over est donc le **support** du brassage génétique de la méiose, Il faut imaginer que cet entortillement va vraiment favoriser l'échange du matériel génétique.



Brassage génétique :

Le crossing-over est vraiment le **support** du brassage génétique de la méiose



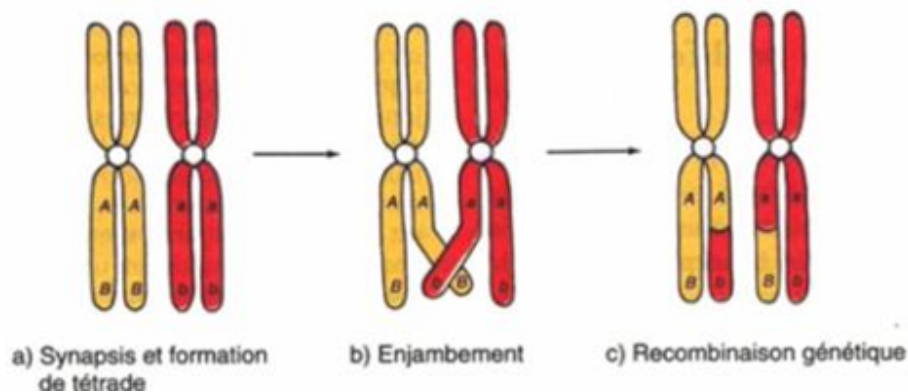
Ici on a les bivalents qui sont accrochés et vu que le complexe synaptonémal va un peu dérailler, on a une « collision » entre les chromatides qui vont s'enchevêtrer.

C'est cet entortillement qui favorise l'échange de matériel génétique

Maintenant si on regarde l'image du dessous,

On a les tétrades qui sont l'une sur l'autre, il va y avoir un gap et le chromosome rouge va échanger une partie de son bras long avec le chromosome jaune.

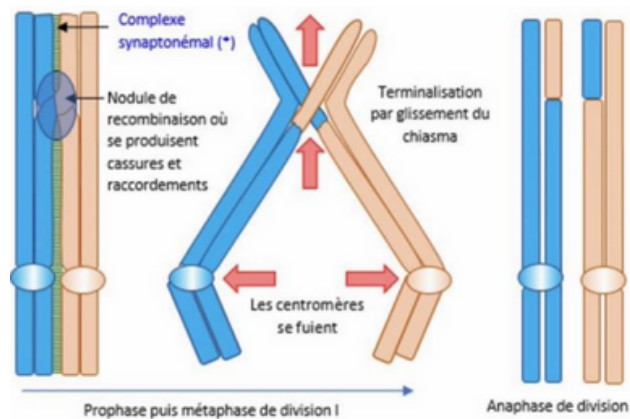
On retrouve bien deux chromosomes qui ont la même taille et in fine, on n'a **pas perdu en termes de matériel génétique**, on a juste échangé un bout avec l'autre



Par exemple si le jaune était le chromosome maternel et le rouge le chromosome paternel, qu'on formait une cellule fille, elle n'aurait pas que du matériel génétique de la mère mais un petit bout du père aussi et vice-versa

La cellule fille aura donc hérité du matériel génétique de ces 2 parents en **quantité variable** respectivement ce qui est une source de brassage génétique extrêmement importante.

Un autre exemple avec le principe de la fermeture éclair et de la séparation :

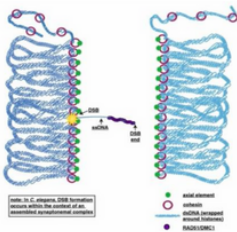


On a la fermeture éclair qui est totalement verrouillée et quand on va ouvrir la fermeture éclair, ça va bloquer parce que c'est là que le matériel s'est croisé et que les échanges ont commencé à se faire.

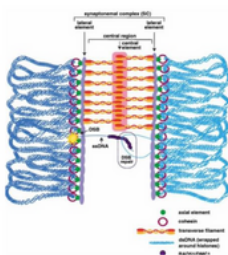
Puis si on veut vraiment ouvrir notre braguette on va forcer, on va casser et la cassure va permettre l'échange définitif de matériel chromosomique. In fine, on dit que tant qu'on n'est pas arrivé au stade de séparation du matériel chromosomique (qui commence à la métaphase et qui est totalement complète à l'anaphase), le changement ne peut pas se considérer comme complet. Il le sera qu'à partir du stade de l'anaphase et pas auparavant.

Exemple de QCM : l'échange de matériel chromosomique a lieu en prophase, en métaphase ou en anaphase ? il ne faut **PAS** répondre prophase parce que le matériel ne change totalement de chromosome que lorsqu'on est arrivés plus tardivement dans la première division de méiose (donc en anaphase)

Une autre façon de représenter les choses :



Stade leptotène: les chromosomes vont commencer à se rapprocher



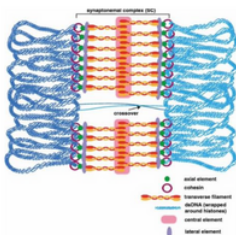
Stade zygotène: on a un début de formation du complexe synaptonémal (en orange), puis le complexe va se former, buter parce que on a un petit morceau d'ADN qui a échappé à l'assemblage, en effet on voit que ce petit morceau d'ADN va venir se gripper dans une boucle de l'autre chromosome homologue.

On imagine que cette boucle, c'est exactement comme tout à l'heure avec la fermeture éclair :

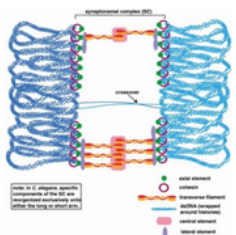
Soit on passe dessus et on l'accroche avec la fermeture éclair et au moment de séparer, on va tout casser et on échange

Soit on passe par-dessus, et si on passe par-dessus dans cette représentation au **stade pachytène**, on voit que la machinerie moléculaire va faire en sorte de réparer cette anomalie et elle va la réparer par la réalisation de ce crossing over

Attention : dessus \neq par-dessus



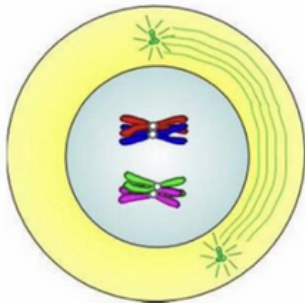
Stade pachytène: c'est expliqué juste au dessus au stade zygotène



Stade diplotène: là où le complexe synaptonémal va commencer à disparaître, on va avoir ce crossing-over qui va définitivement se tirer et c'est là où on va voir finalement l'échange de matériel chromosomique se profiler (il sera effectif une fois qu'on aura passé au moins la métaphase)

On continue toujours avec nos stades de la prophase 1, promis c'est bientôt fini...

Stade diplotène :

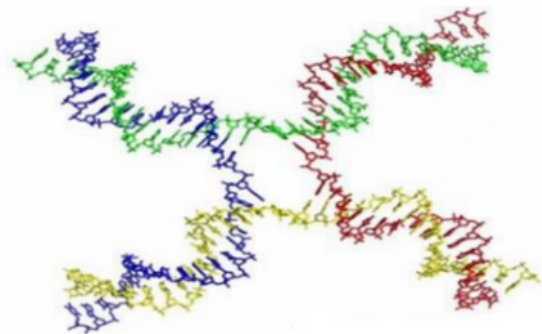
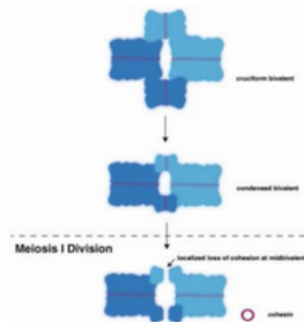
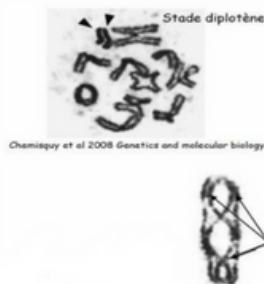


On va avoir une désintégration du complexe synaptonémal et de la vésicule sexuelle.

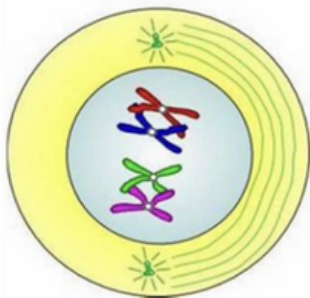
Les chromosomes homologues vont se séparer **SAUF** à un seul endroit : au niveau des **chiasmata** ++++ (= support physique de chaque crossing-over, c'est-à-dire là où le matériel chromosomique s'est enchevêtré et se profile pour être séparé)

En microscopie : on peut voir les points de jonctions qui vont restés collés, alors que le reste des chromosomes commence à se séparer

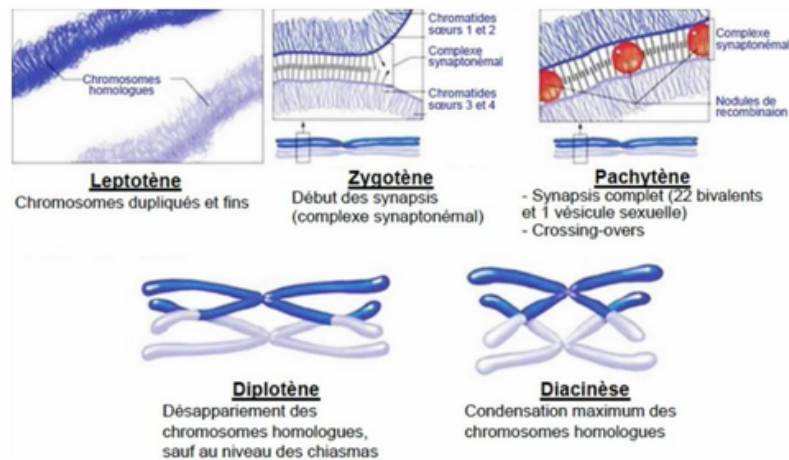
on peut aussi avoir un aspect en croix avec un orifice à l'intérieur : c'est ce qu'on appelle les **jonctions de Holiday** qui correspondent à des bivalents ayant un aspect cruciforme condensé



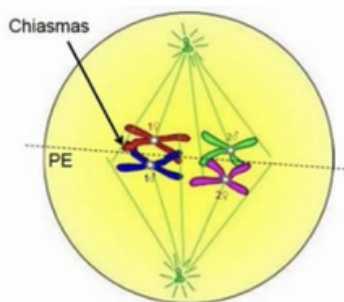
Stade diacinèse :



Il correspond à la phase de condensation maximale des chromosomes (**toujours reliés entre eux par les chiasmata**). On a une répartition de nos homologues et puis on a surtout progressivement l'enveloppe nucléaire qui va disparaître, on voit que les centrioles se sont déplacés et donc de part et d'autre de l'enveloppe nucléaire on a ce fuseau de division qui apparaît. Au stade suivant on imagine aisément qu'ils vont pouvoir se séparer.

Récap_:

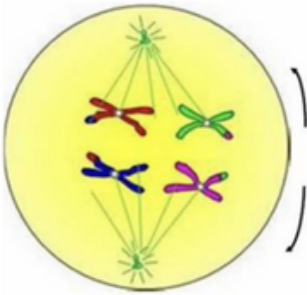
- Zygotène (zygos) : fusion comme fécondation (ça se rapproche)
- Pachytène : synapsis complète avec apparition des nodules de recombinaison aux zones de crossing-over

B) La métaphase I

Assez similaire à ce qu'on avait vu pendant la mitose, les chromosomes sont bien regroupés au centre du fuseau de division cellulaire, mais cette fois ci au lieu d'être alignés sur la plaque équatoriale par leur **centromère**, ils vont se situés **DE PART ET D'AUTRE** de la plaque équatoriale et les seuls éléments que nous allons retrouvé sur la plaque équatoriale ce sont les **chiasmata** (zones d'échanges du matériel génétique), ce sont eux qui vont permettre de former la plaque équatoriale.

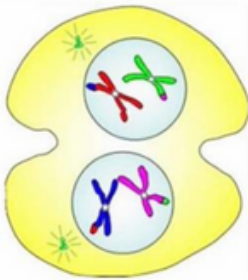
Récap : on fait bien la différence entre la mitose où les chromosomes sont situés SUR la plaque équatoriale et la méiose I où les chromosomes sont DE PART ET D'AUTRE de la plaque équatoriale (donc uniquement les chiasmata sur la plaque ++++)

C) L'anaphase I



De la même façon qu'on avait une traction sur les filaments de microtubules, qui vont se dépolymériser progressivement dans la mitose, et bien on va avoir la même chose dans la méiose I. Et donc en tractant, on va faire céder les **chiasmata** et on aura de fait un échange définitif de matériel chromosomique entre les 2 homologues. C'est une première source de brassage génétique. La deuxième source est appelée la **ségrégation aléatoire des homologues**.

D) la télophase I



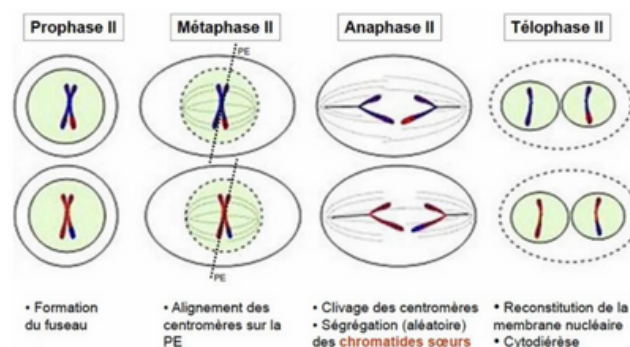
On passe à la phase de reconstitution de la membrane nucléaire (c'est les ronds blancs qui sont apparus) et de séparation des 2 cellules filles, qui vont avoir non plus 46 chromosomes mais chacune **23 chromosomes à 2 chromatides** (donc nous n'avons PAS réduit la quantité d'ADN mais on a réduit la quantité de chromosomes) et puis les cellules vont se séparer, il va y avoir une interphase extrêmement courte **sans phase S** (et donc PAS de réplication d'ADN)

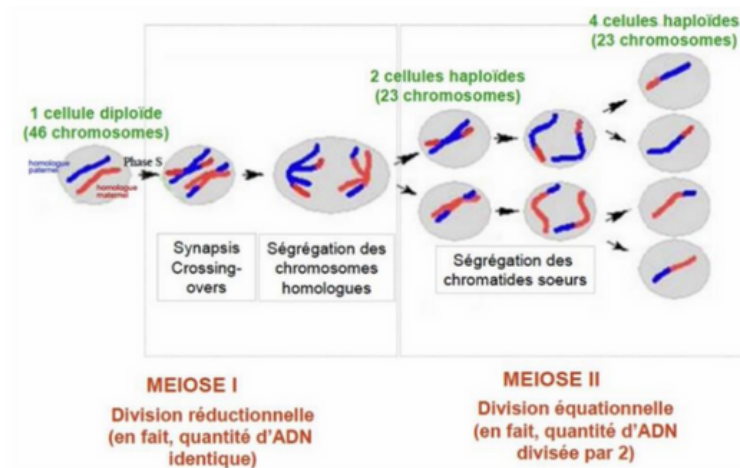
3. Description de la méiose II

On passe directement à une division **équationnelle** qui est une « mitose » **SANS phase rélicative**. Donc il s'agit d'exactly les mêmes points que nous avons vu dans le cours sur la mitose sauf qu'on parle de deuxième division de méiose (**prophase II, métaphase II, anaphase II et télophase II**).

Les chromosomes vont donc s'aligner **SUR** la plaque équatoriale en métaphase II, vont être tractés par leur centromère par dépolymérisation des microtubules et donc chaque chromatide sœur va aller à un pôle de la cellule fille de manière totalement **ALÉATOIRE** (donc nouvelle source de brassage génétique).

A l'issue de l'anaphase II, on va avoir une reconstitution de la membrane nucléaire, une cytotéière et donc la naissance de 4 cellules cette fois ci à **n chromosome à 1 seule chromatide** (réduction de la quantité d'ADN dans chaque cellule).



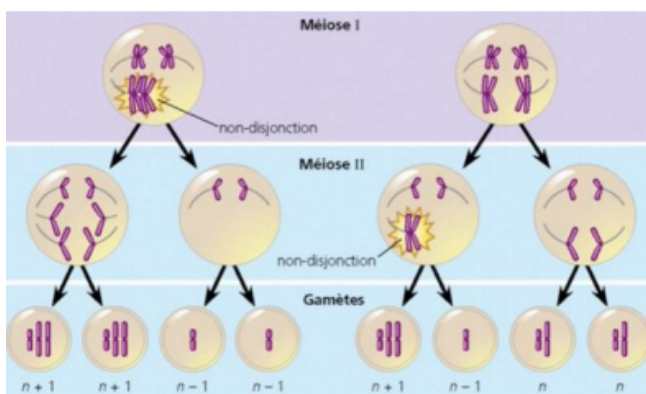


On est passé d'une cellule diploïde à 46 chromosomes à **4 cellules haploïdes à 23 chromosomes** en passant par une méiose I (division réductionnelle qui réduit le nombre de chromosomes mais PAS la quantité d'ADN), suivie d'une méiose II (division équationnelle qui conserve le nombre de chromosomes mais qui réduit par 2 la quantité d'ADN) avec un brassage génétique extrêmement important aussi bien au niveau de la ségrégation aléatoire des chromosomes homologues et des chromatides sœurs, que au niveau des crossing-over (recombinaisons qui existent au niveau des homologues)

4. Les erreurs possibles

La non-déjonction :

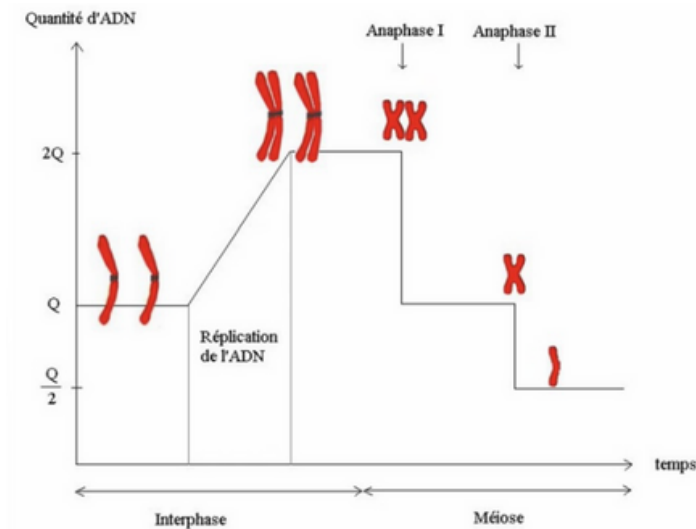
- **Soit des homologues** : on va pouvoir aboutir à l'issue de la méiose II, à des cellules haploïdes à 1 chromosome supplémentaires et puis certaines avec 1 chromosome en moins
- **Soit des chromatides**



On pourra avoir de fait, au niveau de la descendance, soit une monosomie d'un chromosome, soit des trisomies

Exemple : la trisomie 21 qui correspond à une non-déjonction le plus souvent sur une première division de méiose

5. Évolution de la quantité d'ADN dans la cellule



- Initialement on a : 1 cellule diploïde à 46 chromosomes à 2 chromatides (2n ADN)
- A l'issue de la méiose I : 2 cellules à 23 chromosomes à 2 chromatides (n ADN)
- In fine : 4 cellules haploïdes à 23 chromosomes à 1 chromatide (0,5 ADN)

C'est fini pour cette fiche, j'espère que mes petites explications ont pu vous aider et que c'est aukay pour tout le monde !!

Si c'est pas aukay, que ce soit au niveau du cours, au niveau moral ou toutes autres raisons, hésitez pas à me contacter (Emma Cottier) ou n'importe quel autre tuteur sur messenger, on est là pour ça 😊

Comme d'habitude quelques petites dédi pour finir :

Dédi à Jaques la laitue coquette :)
 Dédi à Wassim et à notre super check
 Dédi à Sandro, Iwan et Pipimelon, que d'aventures
 Dédi à mon chargeur qui à pris feu à la bu de Valrose
 Dédi à tous mes copains et copines du tutorat <3

Et bien évidemment grosse dédi à la famille de mal alpha les meilleurs fillots de la terre les autres c'est que des jaloux sku sku