



RONEO N°8 : DEROULEMENT DE LA MEIOSE



Date et heure : distanciel

Professeur : Chevalier

Nombre de pages : 11

Ronéiste : Clara Beny et Samuel Cañón relue par Meyli Blondin (Meyose)

**Corporation des Carabins
Niçois**

UFR Médecine
28, av. de Valombrose
06107 Nice Cedex 2

[http://carabinsnicois.fr/
roneo.c2n@gmail.com](http://carabinsnicois.fr/roneo.c2n@gmail.com)

SOMMAIRE

I – Introduction

II – La Méiose 1

III – La Méiose 2



Salut salut ! Voici ma dernière ronéo aha trop triste, alors au programme un petit cours sur la méiose (j'espère vraiment que t'as la ref) grr ! Ok y a beaucoup d'étapes mais avec de la répétition promis c'est super simple

Le prof poursuit le cours dédié aux mécanismes moléculaires impliqués dans la mitose et la méiose, et la partie traitée aujourd'hui sera focalisée sur la méiose.

NB mais vous le savez : K = chromosomes et Kides = chromatides +++

Introduction :

Parlons pour commencer de ses caractéristiques, la méiose est très différente de la mitose puisque même si c'est aussi une division cellulaire, elle concerne *uniquement* 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.

Elle comprend **2 divisions cellulaires successives**, avec **une seule réplication d'ADN**, qui a lieu lors de la première division méiotique. Le but est d'assurer le passage d'une cellule diploïde (à $2n$ K) à 4 cellules haploïdes (n K). De fait, on parle d'une première division *réductionnelle* et d'une deuxième division *équationnelle*.

NB : ces 2 termes sont fondés sur le nombre de K et non sur le nombre de molécules d'ADN, revu plus bas.

Les conséquences de la méiose sont :

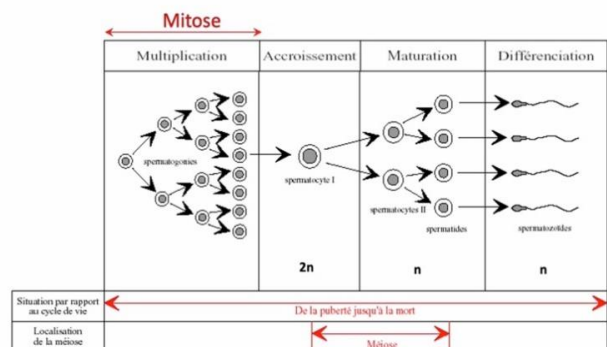
- Une réduction du contenu génétique des cellules ($2n$ K \rightarrow n K)
- La transmission de l'information génétique – qui va être *parcellaire* puisque non transmise en totalité
- Un **brassage génétique majeur** de l'information génétique grâce aux mécanismes de crossing-over et à la ségrégation possible de segments d'ADN

Première division : Elle est dite *réductionnelle* car on divise par 2 le **nombre de K**, on passe 46 à 23 K. Elle est donc **nécessairement précédée d'une phase S de synthèse**+++ (ou réplication). Elle permet de *distribuer* de manière *aléatoire* les K homologues entre les 2 cellules filles, sans les casser au niveau de leurs centromères.

Deuxième division : Elle est aussi appelée *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** va être aléatoirement redistribuée dans les cellules filles, comme dans une mitose standard.

Première étape – Multiplication des gonies

MEIOSE I → Réductionnelle	MEIOSE II → Équationnelle
Divise par deux le nombre de chromosomes	Divise par deux la quantité d'ADN
précédée d'une phase S	Non précédée d'une phase S
Permet de distribuer les chromosomes homologues (répliqués et recombinaison) entre 2 cellules-filles	Permet de séparer les chromatides au niveau du centromère (comme une mitose)



La méiose est possible uniquement après une première étape, qui conditionne la gamétogénèse : l'étape de **multiplication des gonies**. Elle est indispensable puisque sans elle, on n'aurait pas de pool souche suffisamment grand de gonies, et pas suffisamment de gamètes disponibles à utiliser durant la vie génitale.

Le prof fait une aparté : on a une différence pour les deux sexes ; la multiplication des gonies dans le sexe masculin est continue avec ce que l'on appelle une division asynchrone qui va permettre de garder un pool de cellules souches → la spermatogénèse ne s'arrêtera jamais. Contrairement au sexe féminin où toutes les cellules souches vont rentrer en mitose puis en méiose donc on aura pas du tout de pool souche → les règles vont s'arrêter à un moment de la vie des femmes, c'est la ménopause.

Cette multiplication des gonies dans le sexe féminin va avoir lieu pendant la vie in utéro.

Dans le sexe masculin elle va commencer dans la vie in utero et continuer tout au long de la vie.

La méiose va correspondre à la phase de la **différenciation de la gonie** qu'on cite primaire, secondaire puis vers un didre ou un zoïde dans le cas masculin et on verra que chez les femelles la méiose n'est pas complète.

Les étapes de la Méiose :

Nous allons maintenant décrire la méiose en expliquant chacune des divisions successivement. Le prof va s'attarder davantage sur la première division qui est la plus complexe à appréhender et celle qui va conditionner toute la suite de la méiose.

La Méiose 1 :

Elle débute par une **prophase** qui est la phase la plus *longue* de la méiose. Elle est systématiquement **précédée d'une phase S de réplication de l'ADN** (il répète+++), on passe donc de 46 K à 1 K à 46 K à 2 K soit n ADN à 2n ADN.

Cette prophase va être **subdivisée en 5 stades** que l'on appelle respectivement :

- 1) **Leptotène**
- 2) **Zygotène**
- 3) **Pachytène**
- 4) **Diplotène**
- 5) **Diacinèse**

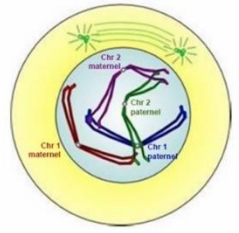
Description de la méiose I



Sur ce schéma sont représentés les différents stades de cette prophase de première division de méiose et on peut voir progressivement une condensation de l'ADN pour voir se former complètement les chromosomes. Ils vont s'approcher les uns des autres, pour obtenir des petites formations en croix avec une sorte d'anneau central. Cela correspond aux futurs invariants de chromosomes homologues et à la formation des futurs K.

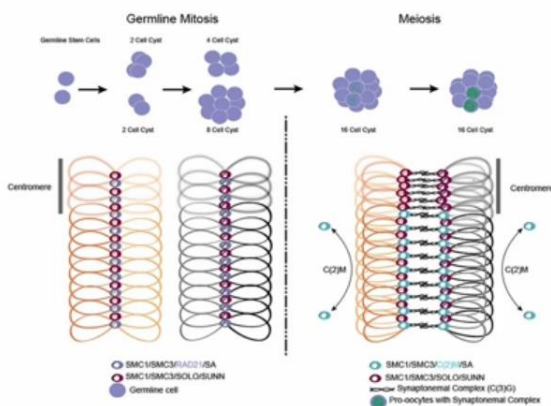
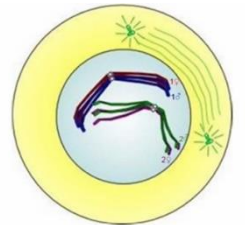
Leptotène :

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 (futur fuseau) se dupliquent et débutent leur migration de chaque côté pour former le futur fuseau de division mitotique.



Zygotène :

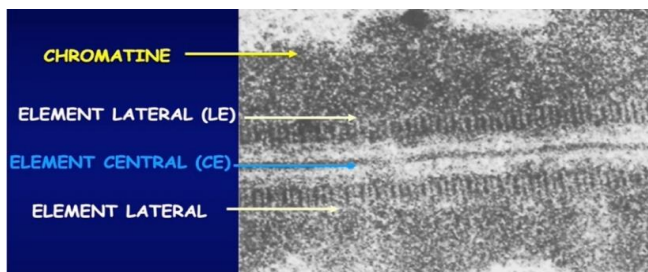
Le stade suivant est le *zygotène*. Les K homologues de chaque paire s'apparient sur toute leur longueur, c'est la phase de **synapsis**. Les K se positionnent côte à côte pour former le **complexe synaptonémal**. Les centrioles poursuivent leur migration aux pôles opposés de chaque cellule pour former le fuseau de division.



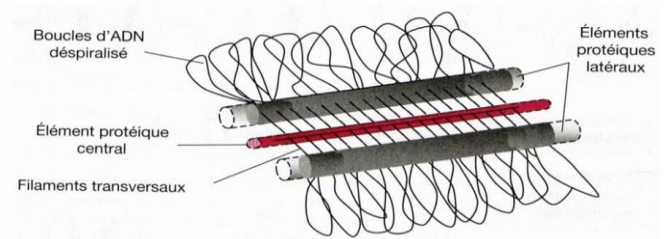
Plus en détail, 2 K vont être positionnés côte à côte, et progressivement, le complexe synaptonémal se constitue au centre, c'est un complexe protéique. Le but est de coller et rapprocher les K, ce moment est charnière pour les crossing-over et l'échange de matériel chromosomique d'une Kide à l'autre et de favoriser le brassage génétique.

Schématiquement, on retrouve une partie protéique centrale et 2 éléments protéiques latéraux le tout relié par des filaments transversaux, ils correspondent à « 2 échelles rassemblées par le bras du milieu. À l'extérieur, les boucles d'ADN sont totalement despiralées, ouvertes.

En voici une image en microscopie électronique :

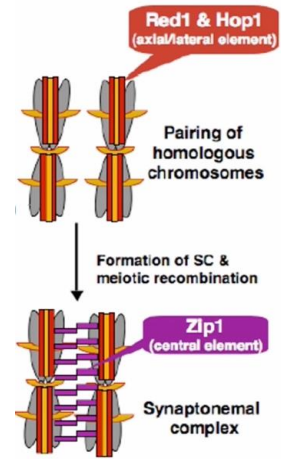
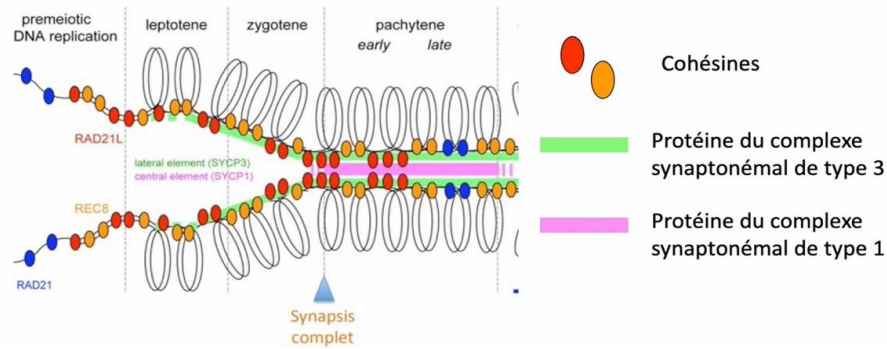


Complexe synaptonémal



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. **Red1** et **Hop1** sont des protéines latérales, vont rester au niveau de SYCP3.

Prophase I – Complexe synaptonémal



Nb : SYCP = Synaptonemal Complex Protein

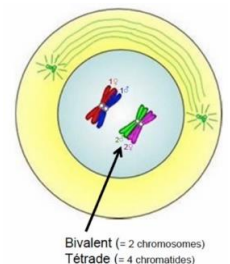
Le prof fait l'analogie avec une fermeture éclair, SYCP3 serait les 2 pans de tissu comportant les crans et SYCP1 la tirette de la fermeture.

In fine, le **zippage** de SYCP1 est finalisé par **ZIP1** qui permet de verrouiller le complexe synaptonémal, qui est donc un verrou entre eux les 2 K homologues, dès lors le **synapsis** est dit **complet**.

Les K se trouvent alors extrêmement compactés, condensés les uns aux autres. À ce stade, ils sont donc particulièrement bien visibles sur une boîte de Petri.

Pachytène :

Ensuite vient le stade *pachytène*, les K, jusqu'ici libre dans le noyau, s'ordonnent par paire, on parle de K **bivalents** (2 chromosomes) ou de **tétrades** (4 chromatides collées les unes aux autres).

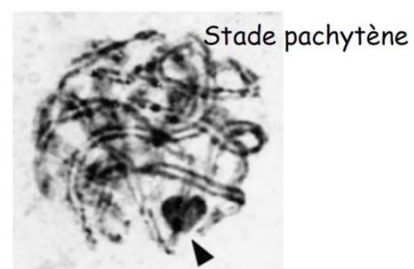
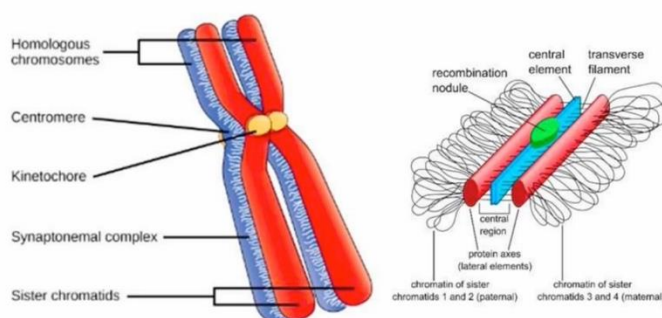


La particularité de cette formation est qu'elle est valable sur les autosomes et sur la paire de K sexuels X féminins. En revanche dans le sexe masculin, pour éviter que les gonosomes X et Y ne soient mêlés à cette machinerie, les K vont aller se loger dans une **vésicule sexuelle** pour éviter qu'ils ne s'apparient de manière aléatoire avec les autres K.

Cela donnerait des grandes translocations de matériel génétique qui seraient à terme non compatibles avec la survie de l'espèce. À ce stade, le complexe synaptonémal est **totale**ment présent sur la longueur des K. Dès lors que les K seront liés les uns aux autres vont pouvoir débiter les **crossing-over (CO)**, donc pas avant le stade pachytène.

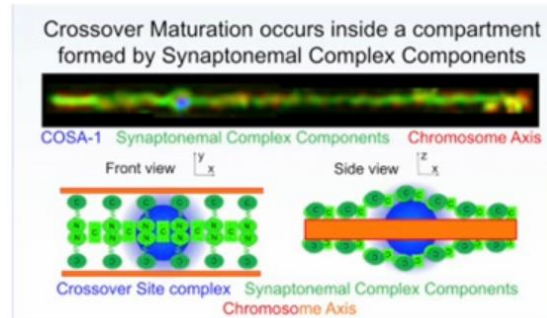
Sur la photo, la flèche représente une vésicule sexuelle.

Prophase I – Stade pachytène



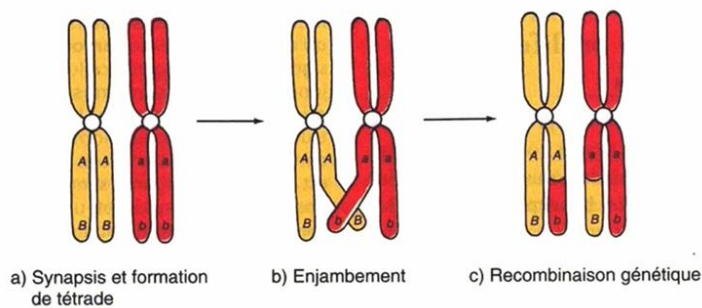
Pourquoi va-t-il y avoir des crossing over ?

L'appariement ne va pas être complet sur toute la longueur du complexe synaptonémal. Certaines molécules peuvent s'insérer au milieu de l'ADN, elles vont faire « déborder » la molécule d'ADN. Lorsqu'on va avoir ce *débord*, le CO devient possible.

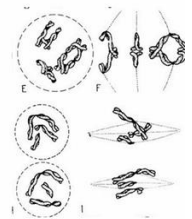
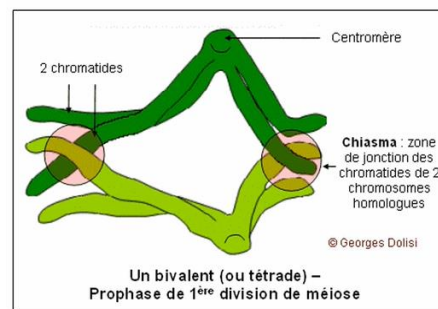


Le **crossing-over** est vraiment le **support du brassage génétique** de la **méiose**. En pratique, on va voir les K bivalents qui seront accrochés et puisque le complexe synaptonémal va « dérailler » : on aura une collision entre les chromatides qui vont s'enchevêtrer. Ces enchevêtrements sont extrêmement complexes. On peut les comparer à des *tagliatelles entortillées*.

Brassage génétique



Brassage génétique

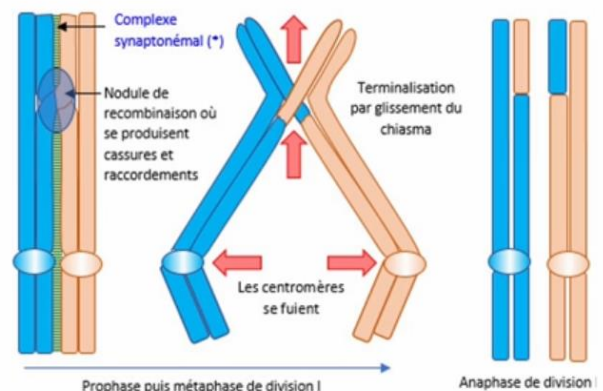


Il faut imaginer que cet entortillement va **favoriser l'échange de matériel génétique**.

Sur un schéma grossier, on observe les tétrades les unes sur les autres. Il va y avoir un gap où le K de droite échange une partie de son bras long avec celui de gauche. On retrouve deux K qui auront la même taille in fine car on n'a pas perdu en termes de matériel génique car on a juste échangé 2 portions entre elles.

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**.

On peut le représenter de diverses façons : si on reprend le principe de la fermeture éclair, on va l'ouvrir et au niveau d'un chiasma, il faudra forcer/casser pour continuer à ouvrir la fermeture éclair. C'est comme ça qu'on obtient l'échange définitif de matériel chromosomique. In fine, tant qu'on n'est pas arrivé au stade de **séparation** de matériel chromosomique, (séparation qui commence à la **métaphase** et totalement complète en **anaphase**), le CO n'est pas achevé.



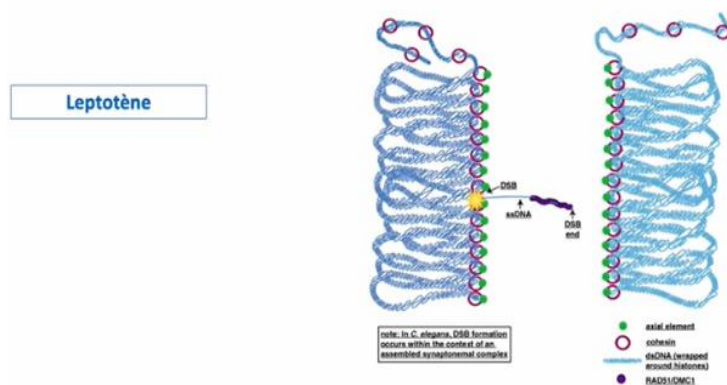
On ne peut considérer l'échange de matériel « complet » seulement à partir de l'anaphase et pas avant++

On voit ici les différents stades :

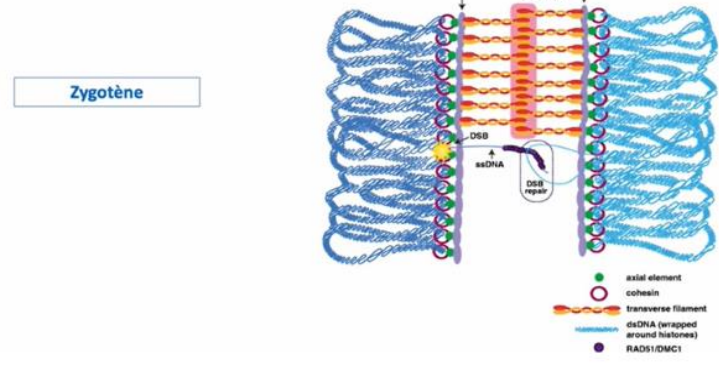
(le prof récapitule ce qu'il a dit quelques pages plus haut)

- Le stade **leptotène** où les K commencent à se rapprocher
- Le stade **zygotène** avec le début de formation du complexe synaptonémal (début des chiasmas) et bute car on a un morceau d'ADN qui a échappé à l'assemblage. On peut voir qu'il va venir se gripper dans une boucle de l'autre K homologue.
- Le stade **pachytène** avec la machinerie moléculaire qui va réparer les trous par des CO
- Le stade **diplotène** où le complexe synaptonémal commence à disparaître et les CO seront plus visibles.

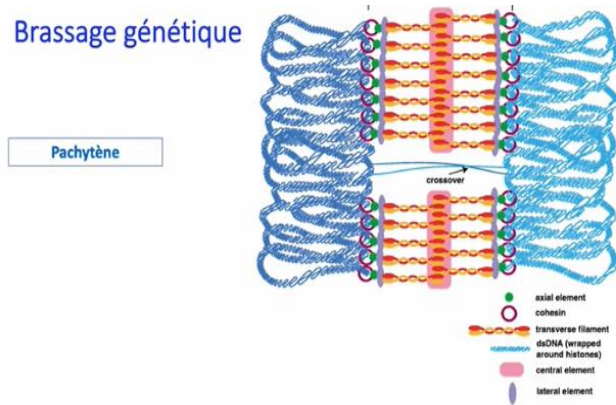
Brassage génétique



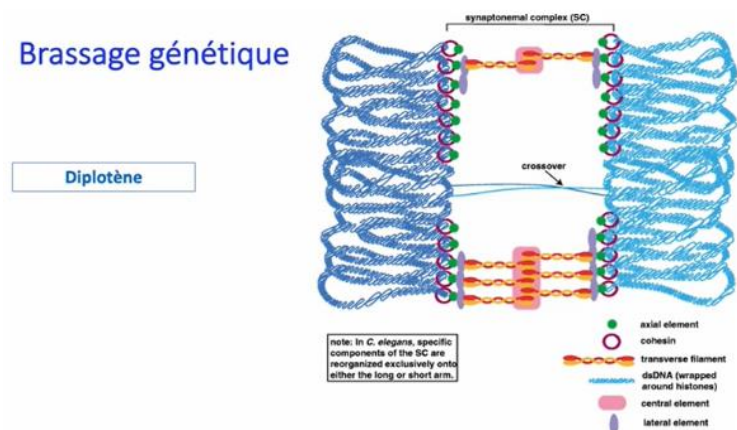
Brassage génétique



Brassage génétique

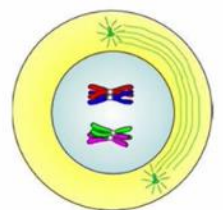


Brassage génétique



Diplotène :

Au stade **Diplotène**, on a non seulement une **désintégration** du complexe synaptonémal, mais aussi de la vésicule sexuelle. Les K homologues se séparent **sauf** au niveau des **chiasmas**. Ces chiasmas sont donc le **support physique des crossing-over** (là où le matériel chromosomique s'est enchevêtré et se profile pour être séparé).



Description de la méiose I

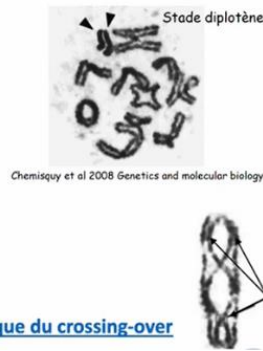
Prophase I

Stade diplotène

Désintégration du complexe synaptonémal
(et de la vésicule sexuelle)

Séparation des chromosomes homologues

Sauf au niveau des chiasmas = soutien physique du crossing-over

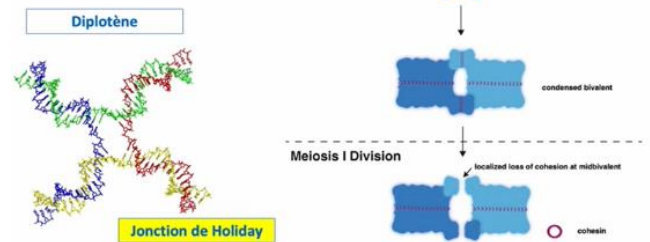


Au microscope, on voit les K homologues et les Kides enchevêtrées comme des tagliatelles avec ces points de jonctions qui resteront collés et le reste du K commence à se séparer. Sous un autre angle, on retrouve les bras et les Kides enchevêtrés. On voit également des formes de croix avec un orifice à l'intérieur appelées les **jonctions de Holliday**.

Elles correspondent à des bivalents en aspect **cruciforme condensé** avec un accollement où l'on tire au niveau du chiasma, du CO.

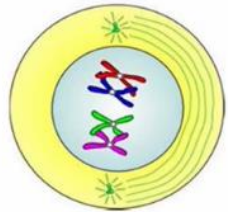
Lorsque l'on cassera complètement, une partie de l'ADN ira de l'autre côté et vice-versa. On observe cette croix aussi sous forme moléculaire appelée la jonction de Holliday.

Brassage génétique



Diacinèse :

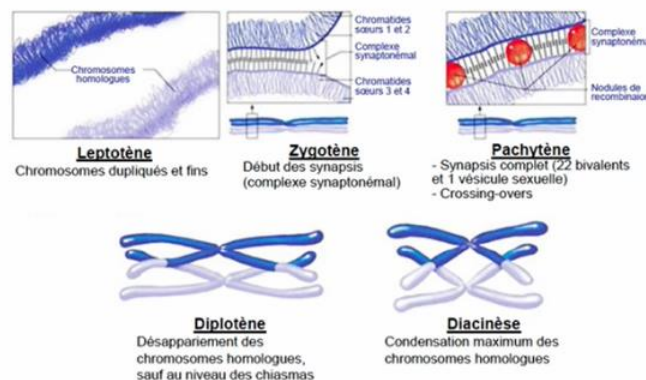
Une fois en **diacinèse**, on a une **condensation maximale** des K, toujours reliés par les chiasmas aux extrémités. *L'enveloppe nucléaire* va disparaître et les centrioles se répartissent de part et d'autre de cette enveloppe avec le **fuseau de division** qui apparaît. Au stade suivant, ils pourront aisément se séparer.



Pour résumer cette prophase 1 :

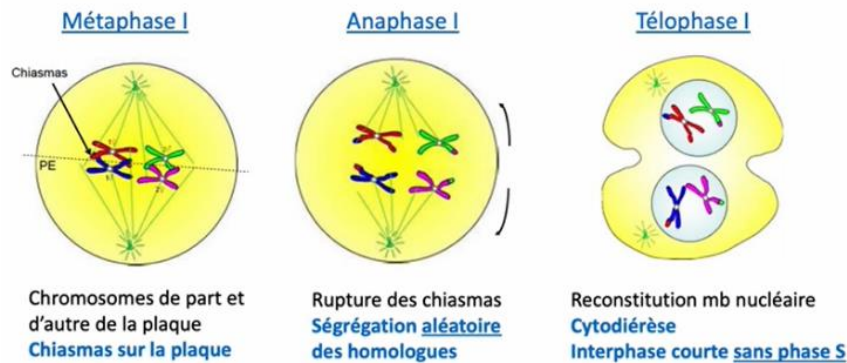
- **Leptotène** : chromosomes dupliqués et fins
- **Zygotène** : fusion/début des synapsis
- **Pachytène** : synapsis complet avec des nodules de recombinaisons : zones des CO
- **Diplotène** : désappariement progressif des chromosomes sauf au niveau des chiasmas
- **Diacinèse** : condensation **maximale** des K homologues juste avant la métaphase 1 de méiose

Prophase I - Résumé



Cette **métaphase 1** ressemble à celle de 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 centromères ils vont se situer **de part et d'autre** de la plaque équatoriale. Les seuls éléments **SUR** la plaque équatoriale seront les **chiasmata** soit les zones d'échange de matériel génétique. Ils vont permettre de former la plaque équatoriale.

Description de la méiose I



En **anaphase 1**, de la même façon qu'on avait une traction sur les microtubules qui vont progressivement se dépolymériser dans la méiose 1 : on assiste à une rupture des chiasmata. Ceci implique un échange de matériel génétique *définitif* entre les deux K homologues. C'est une première source de brassage génétique avec un échange d'informations.

La deuxième source étant la ségrégation aléatoire des K homologues puisque indépendamment du côté de la plaque équatoriale on va retrouver des K d'origine maternelle ou paternel avec un nombre absolument pas forcément régulier. On fait face à un échange intra et inter-génétique.

La **Télophase 1** consiste en une reconstitution de la membrane nucléaire et une cytotécèse (séparation des deux cellules filles). Elles n'auront plus 46 K mais chacune 23 K ayant 2 Kides. On ne réduit pas la quantité d'ADN mais la quantité de K. Les cellules vont se séparer avec une *courte* interphase **sans phase de réplication S** +++

On va directement passer à une **division dite équationnelle**, tout comme une **mitose sans phase rélicative** au préalable. Les K vont s'aligner sur leur centromère sur la plaque équatoriale en métaphase 2. Ils seront tractés par leur centromère lors de la dépolymérisation des microtubules et chaque Kide sœur ira vers un pôle de la cellule fille de manière *aléatoire* ce qui est une nouvelle source de brassage génétique.

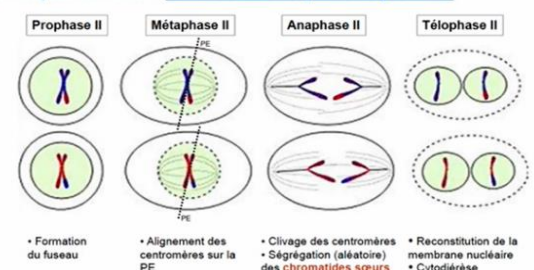
La Méiose 2 :

À l'issue de l'anaphase 2, on aura une reconstitution de la membrane nucléaire et une cytotécèse en télophase 2 pour in fine avoir **4 cellules filles à n K et 1 seule Kide**.

La quantité d'ADN est réduite dans chaque cellule soit 1 cellule à 46 K à 4 cellules à 23 K.

Description de la méiose II

Division équationnelle = « mitose » sans phase rélicative



En résumé :

La méiose permet de passer **d'1 cellule diploïde à 46 K à 4 cellules haploïdes à 23 K chacune** en passant par une première étape de méiose 1 qui correspond à une division réductionnelle (réduction du nombre de K et pas de la quantité d'ADN) suivie d'une deuxième division de méiose équationnelle.

Elle va conserver le nombre de K et **réduit par 2** la quantité d'ADN avec un brassage génétique extrêmement important au niveau de la ségrégation aléatoire des K homologues et des K sœurs ou par des recombinaisons existantes au niveau des homologues et qui vont donner autant de recombinaisons génétiques possibles.

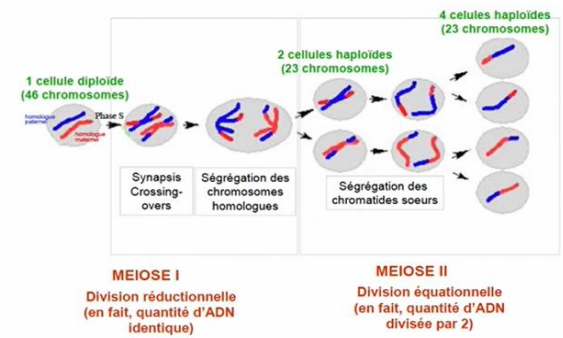
Cette méiose peut avoir des erreurs comme une non disjonction des **homologues** ou des **Kides**.

Si on a une non disjonction des homologues : on va pouvoir aboutir à l'issue de la 2^{ème} division de méiose à des cellules haploïdes avec 1 K supplémentaire et certaines avec 1 K en moins.

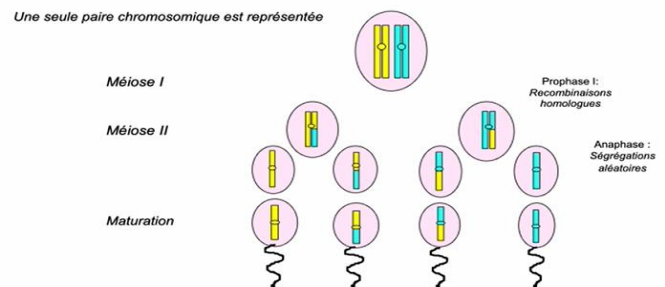
Elle peut aussi se faire en deuxième division de méiose et concerner la non séparation du K au niveau de son centromère et donner des cellules haploïdes normales, avec 1 K supplémentaire ou des cellules haploïdes avec 1 K manquant.

De ce fait on aura soit une monosomie soit des trisomies par exemple la trisomie 21 qui correspond à une non disjonction le plus souvent sur la 1^{ère} division de méiose.

La méiose en résumé

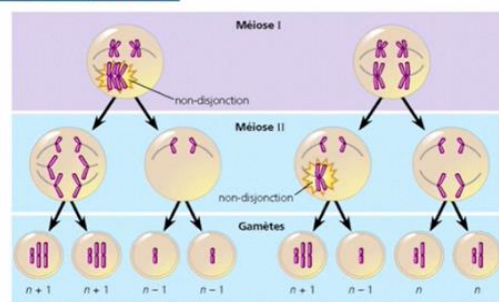


Brassage génétique - conséquences



Les erreurs possibles...

La non disjonction...



Campbell (2^{éd.}) — Figure 15.11 : 301

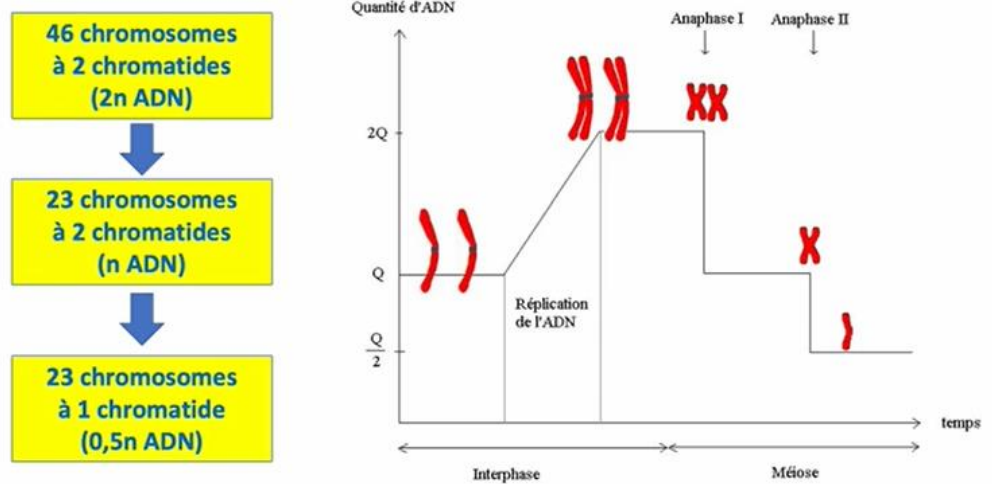
Pour finir, si on considère l'évolution de la cellule :

- On part d'une cellule de 46 K à n Kide avec une interphase qui va répliquer et dupliquer l'ADN
- On arrive à une cellule de 46 K à 2 Kides (2n ADN)
- A l'issue de la 1^{ère} division de méiose on obtient des cellules à 23 K à 2 Kides (n ADN)
- In fine, on a de cellules haploïdes de 23 K à 1 Kide (0,5 ADN)

La ronéo est indépendante de la faculté de médecine, et ne peut en aucun cas servir de support officiel à l'examen de LAS. Toute reproduction ou vente est interdite sans l'accord de la C2N et du professeur.

Ici, avant de rentrer en méiose on a une interphase avec une réplication d'ADN. Puis, la prophase 1 et l'anaphase 1 avec une 1^{ère} division de méiose (n ADN) et 2^{ème} division de méiose (0,5 ADN).

Evolution de la quantité d'ADN dans la cellule



Dédi à vous encore une fois, je vous envoie toute ma force et mon courage vous allez dead ça les boss

Dédi à la kiné = la meilleure filière c'est prouvé par moi

Dédi à tous mes copains : Alice, Emma, Aurélie, Ilona, Terrence, Lou Anne, Nahélé, Oscar, Lorna, Killian, Anna, Fiona, Alex, Ilona, Marilou, Léo, Max... on est une promo de folieeeee

Dédi à mes vieux Charlotte, Victoire et Othmane que j'adore

Dédi à Baptiste et Dylan vos merveilleux tuteurs qui vont vous régaler de la tête au cou lol

Dédi à Emma que j'adore vraiment change pas t'es exceptionnelle

Dédi à Mathilde la pro des déguisements

Re dédi à Marina qui en mérite aussi une autre car elle est géniale

Dédi à Mathilde aka la chef tut qu'on veut pas se mettre à dos car quand elle s'énerve elle fait peur

Dédi aussi à Elea, Mathilde, Camilya, Greg et Felix que j'adore <33

Dédi à moi hehe d'avoir tenue deux ans, je suis super fière et épanouie désormais, je le souhaite à chacun d'entre vous ! Lâchez rien je vous envoie que du love <3