

Chapitre 1 – La méiose

Marie-Roberte Guichaoua

La méiose est un phénomène unique de division cellulaire, propre à la gamétogenèse, au cours de laquelle elle joue un rôle capital en assurant la réduction du nombre de chromosomes et le brassage des informations génétiques maternelles et paternelles. La complexité de la méiose, et sa fragilité qui en résulte, expliquent sa fréquente implication dans les troubles de la reproduction : infertilité, avortements, malformations.

La méiose a été découverte en 1883 par Van Beneden chez le nématode *Parascaris equorum*, elle a ensuite été mise en évidence dans toutes les espèces animales et végétales à reproduction sexuée.

I. Définition

La méiose est la succession de deux divisions cellulaires précédées d'une seule synthèse d'ADN, qui aboutit à la formation de quatre cellules haploïdes pour une cellule diploïde qui entre en méiose.

II. Rappels de cytogénétique

Dans une cellule eucaryote les chromosomes sont présents sous la forme de paires chromosomiques. Dans chaque paire chromosomique, l'un des chromosomes est d'origine paternelle et l'autre d'origine maternelle (Fig. 1).

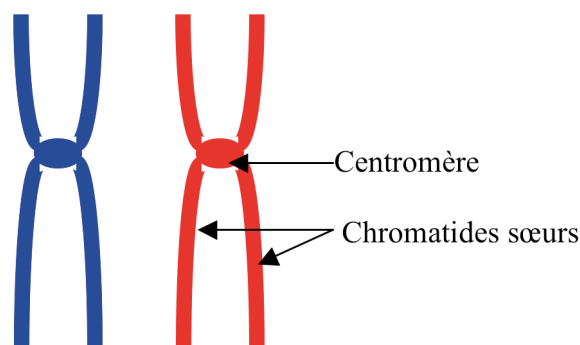


Figure 1 : Une paire de chromosomes métaphasiques homologues.

Une cellule eucaryote contient $2n$ chromosomes, on dit que cette cellule est **diploïde**. Le nombre n est spécifique de l'espèce, il correspond au nombre **haploïde** de chromosomes ou au nombre de paires chromosomiques. Dans l'espèce humaine, n est égal à 23. Le nombre de chromosomes dans cette espèce est donc de 46 excepté dans les cellules germinales lorsque la première division méiotique est achevée.

Dans le noyau des cellules d'un organisme à reproduction sexuée, il existe deux types de chromosomes, les **chromosomes sexuels**, et les **autosomes** numérotés de 1 à 22 dans l'espèce humaine.

Après la phase de synthèse d'ADN, dans toutes les cellules somatiques et germinales, chaque chromosome est constitué de deux **chromatides sœurs** réunies entre elles au niveau du **centromère**. La quantité d'ADN d'une cellule est évaluée par une unité arbitraire : **C ADN**, le nombre de C est assimilé au nombre de chromatides par paire chromosomique.

III. Description de la méiose

1. Schéma général de la méiose

Avant la dernière synthèse d'ADN qui précède la méiose, chaque chromosome est constitué d'une seule chromatide. Dans chaque cellule germinale il y a donc 46 ($2n$) chromosomes et 2C ADN. A la fin de cette synthèse d'ADN pré-méiotique, chaque chromosome possède maintenant 2 chromatides et chaque cellule contient 46 ($2n$) chromosomes et 4C ADN. Lors de la 1^{re} division méiotique les chromosomes homologues se séparent et à la fin de cette première division chaque cellule germinale a maintenant 23 (n) chromosomes et 2C ADN. Au cours de la 2^e division méiotique, les chromatides sœurs se séparent par clivage des centromères et à la fin de cette 2^e division chaque cellule germinale contient toujours 23 (n) chromosomes, mais C ADN (Fig. 2).

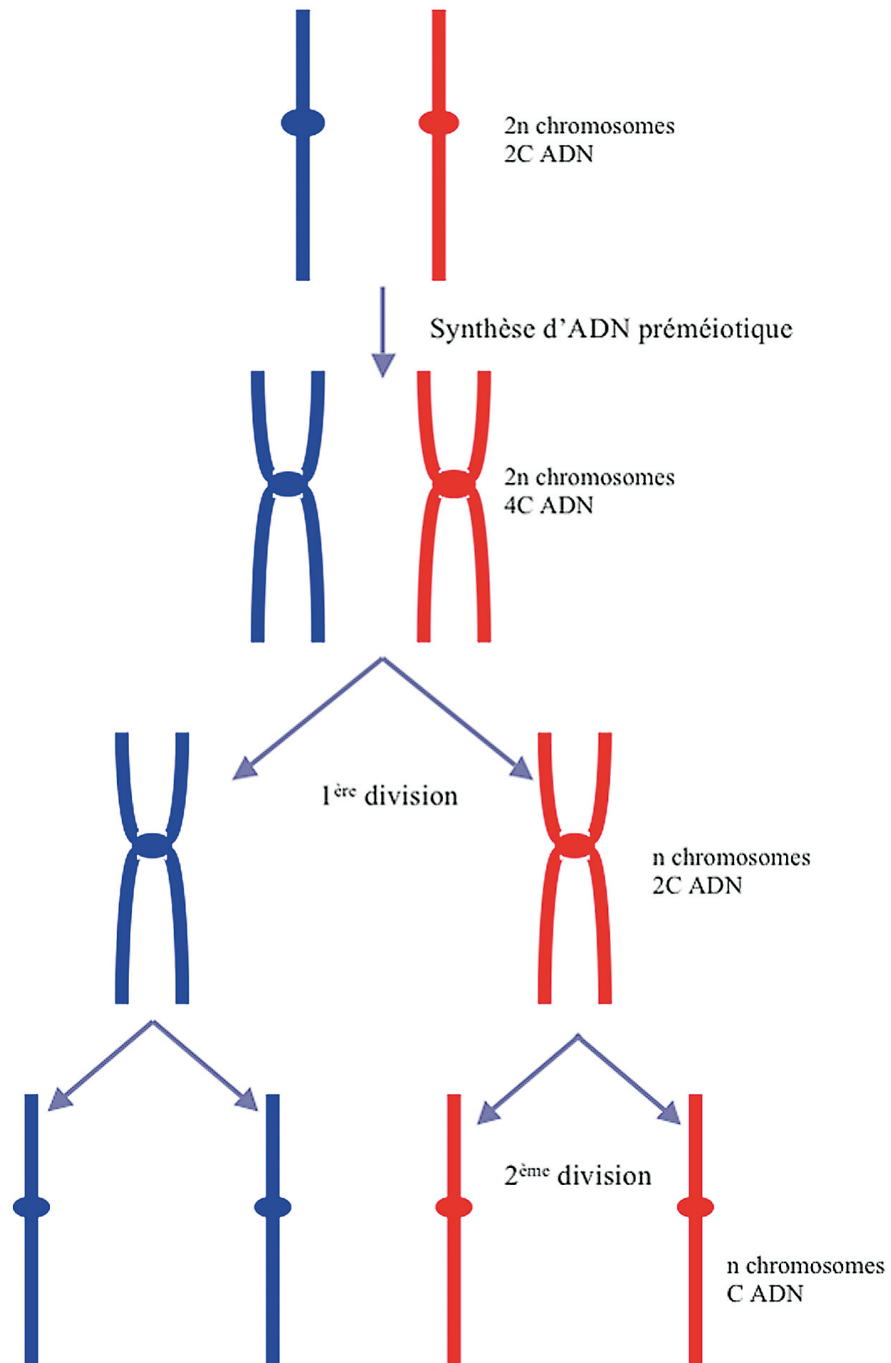
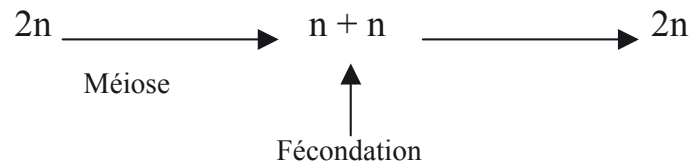


Figure 2 : Schéma général de la méiose.

Ainsi, au cours de la méiose, le nombre de chromosomes est divisé par deux au cours de la 1^{re} division, et ne varie pas au cours de la 2^e division, alors que la quantité d'ADN est divisée par 2 à chaque division.

2. Finalité de la méiose

La méiose a pour finalité d'assurer la réduction du nombre de chromosomes, le corollaire de la méiose étant la fécondation qui reconstitue le capital génétique diploïde dans l'embryon selon le schéma suivant :



Elle permet aussi la transmission de l'information génétique aux générations successive et le brassage des informations génétiques paternelle et maternelle qui fait intervenir deux types d'événements, la répartition au hasard des chromosomes et la recombinaison génétique.

a. La répartition ou ségrégation au hasard des chromosomes

Pour comprendre cet événement, nous allons raisonner sur deux paires chromosomiques. Lors de la répartition au hasard des chromosomes, chaque chromosome d'une paire chromosomique peut ségréger avec chaque chromosome de l'autre paire chromosomique (Fig. 3).

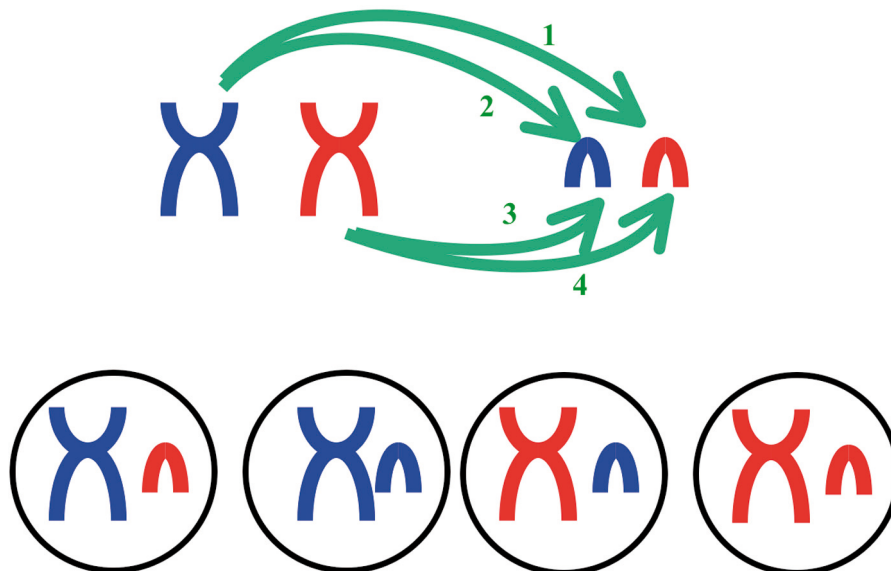
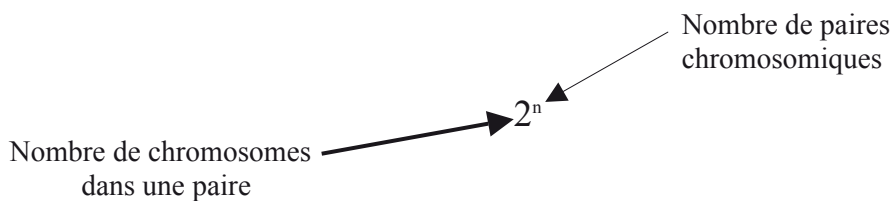


Figure 3 : Ségrégation au hasard des chromosomes.

Ainsi, à partir de 2 paires chromosomiques nous obtenons 4 possibilités de gamètes différents, c'est-à-dire 2^2 .



Pour n paires de chromosomes, il y a donc 2^n possibilités de gamètes différents. Nous avons vu que $n = 23$ dans l'espèce humaine. Le nombre de possibilités de gamètes différents obtenus à partir d'une cellule germinale qui entre en méiose après ségrégation au hasard des chromosomes est donc 2^{23} c'est-à-dire $8,4 \times 10^6$ dans cette espèce.

b. La recombinaison génétique

Elle est connue sous le nom de « crossing-over ». Elle se déroule toujours entre deux chromosomes homologues et fait intervenir une cassure-réunion de l'ADN entre des points strictement homologues. Ainsi la recombinaison génétique aboutit à l'échange de segments chromosomiques strictement homologues afin qu'il n'y ait ni perte ni gain de matériel génétique à l'issue de cet événement (Fig. 4).

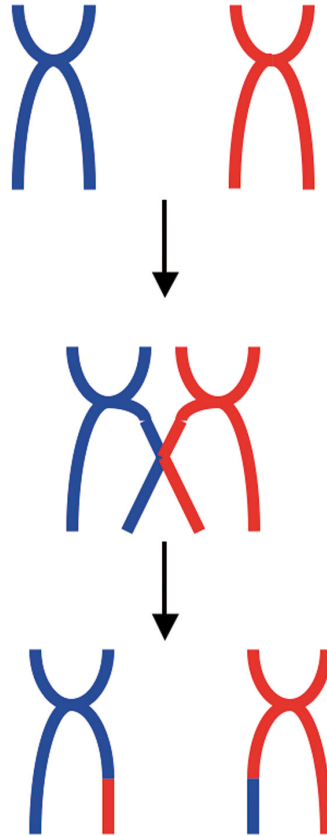


Figure 4 : Schéma de la recombinaison génétique.

3. Place de la première division méiotique

La première division méiotique est de loin la plus importante. Elle occupe la presque totalité (plus de 90 %) du temps de la méiose. Elle assure la réduction du nombre de chromosomes, c'est au cours de la première division que l'on passe de $2n$ à n chromosomes. C'est au cours de la première division que se fait la ségrégation aléatoire des chromosomes et que se déroulent les événements de recombinaison génétique.

La deuxième division méiotique est de courte durée, elle ressemble à une division mitotique à deux exceptions près : elle se déroule sur un lot haploïde de chromosomes et elle n'est pas précédée d'une synthèse d'ADN.

4. Les aspects cytologiques de la méiose

Nous allons prendre pour modèle la méiose mâle ou « méiose spermatocytaire » (Fig. 5). Contrairement à la méiose féminine ou « méiose ovocytaire » la méiose mâle est un processus continu, totalement réalisé au cours de la gamétogenèse, alors que la méiose féminine est un processus discontinu et inachevé au moment de l'ovulation. Elle sera décrite dans le chapitre consacré à l'étude de l'ovogenèse.

La méiose spermatocytaire est un événement qui prend place au cours de la spermatogenèse. Elle est précédée d'une phase de multiplication des *spermatogonies* à la fin de laquelle les cellules portent le nom de *spermatocytes I*. Ces cellules réalisent la dernière synthèse d'ADN préméiotique puis entrent en méiose ; à la fin de la première division méiotique les cellules germinales portent le nom de *spermatocytes II*. Ce sont ces cellules qui réalisent la deuxième division méiotique. Lorsque la méiose est achevée, les cellules germinales prennent le nom de *spermatides*, ces cellules subiront une phase de maturation appelée spermiogenèse ; à la fin de cette phase, les cellules germinales mâles portent le nom de *spermatozoïdes*, ce sont les gamètes mâles.

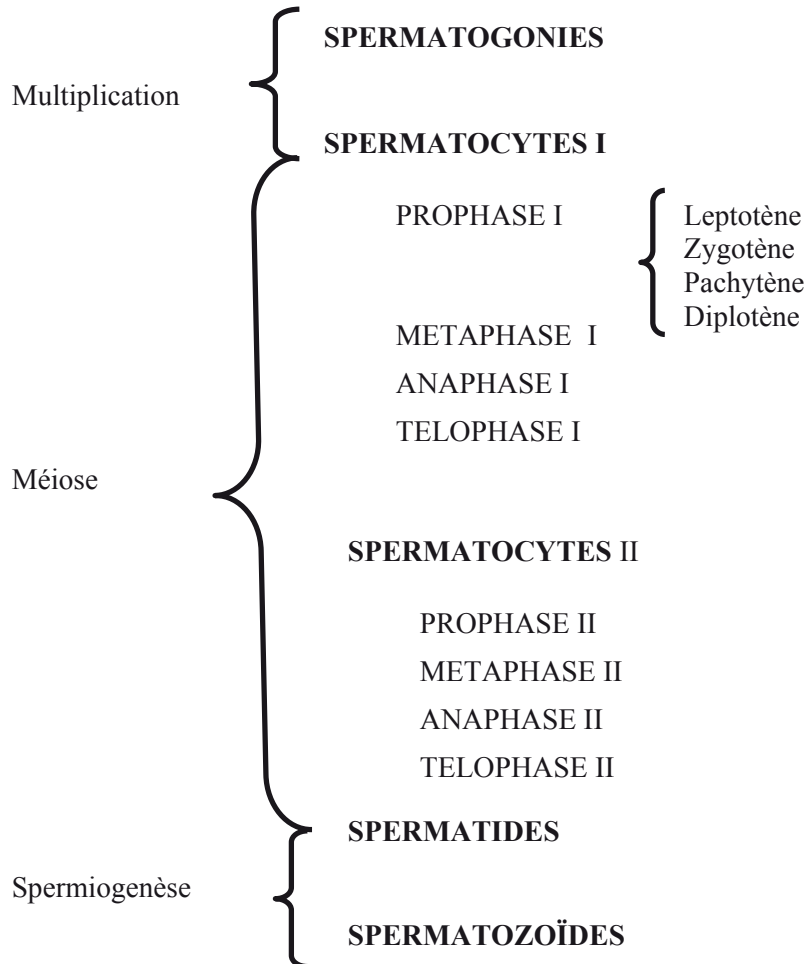


Figure 5 : Place de la méiose au cours de la spermatogenèse.

5. Les aspects cytogénétiques de la méiose spermatocytaire

La méiose est précédée d'une phase unique de synthèse d'ADN qui porte le nom de *stade préleptotène* (Fig. 6 A). Ce stade se distingue d'une synthèse d'ADN mitotique par sa longue durée, il ne fait pas partie de la méiose mais il n'est décrit que dans les cellules germinales et précède obligatoirement une division méiotique. Au cours de chaque division méiotique la cellule germinale passe par 4 phases, identiques à celles décrites au cours de la mitose. Ce sont : la *prophase*, la *métaphase*, l'*anaphase* et la *télophase*. Chacune de ces phases est suivie du chiffre I ou II selon qu'il s'agit de la première ou de la deuxième division méiotique. C'est la prophase I qui fait la particularité de la méiose, par sa durée, elle occupe à elle seule la presque totalité du temps de la méiose ($\approx 90\%$), et par l'importance des événements qui s'y déroulent. C'est en effet au cours de cette prophase I que se déroulent les deux événements fondamentaux de la méiose : *l'appariement des chromosomes homologues* et la *recombinaison génétique*.

a. La première division méiotique

La prophase I (Fig. 6 B-E) se subdivise en 5 stades, leptotène, zygotène, pachytène, diplotène et diacinèse définis à partir des aspects morphologiques des chromosomes.

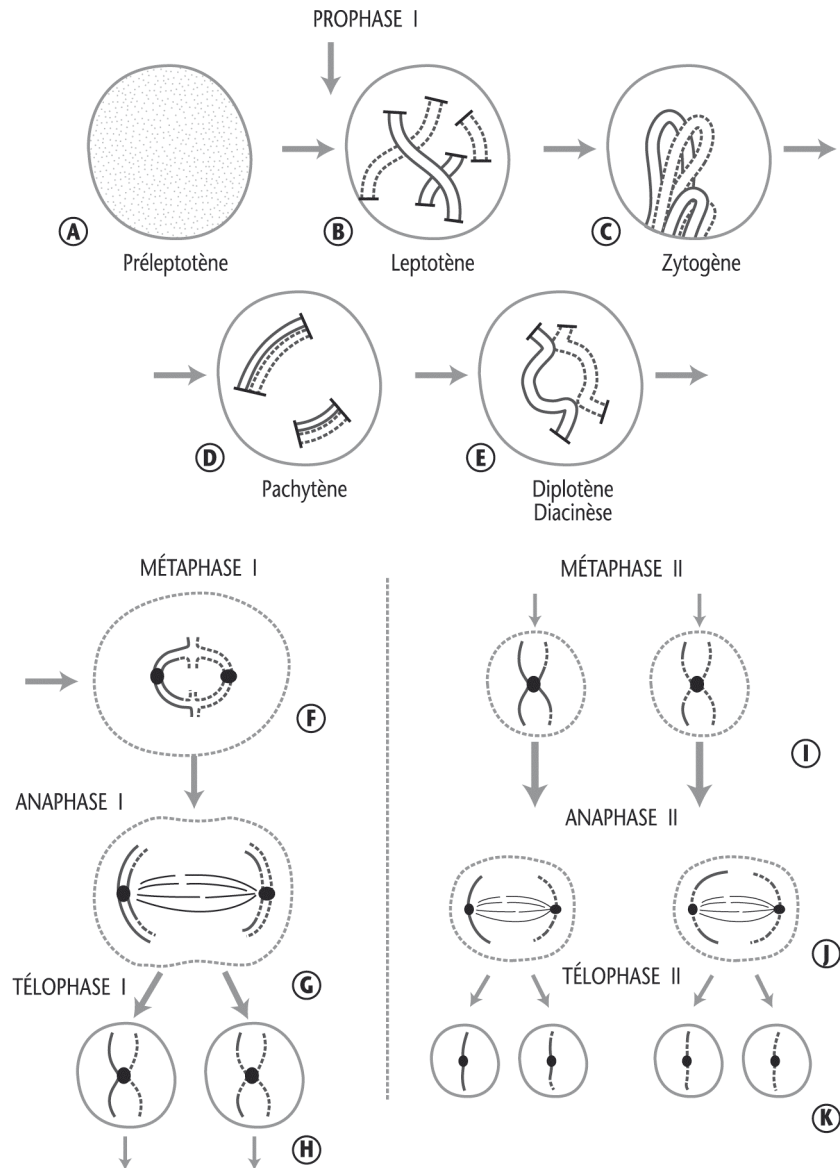


Figure 6 : Les différents stades de la méiose spermatocytaire, détail des stades de la prophase I.

Le stade leptotène (Fig. 6 B) est le stade d'individualisation des chromosomes. Ceux-ci apparaissent sous la forme de fins filaments attachés à la membrane nucléaire, chacun de ces chromosomes contient 2 chromatides. **Le stade zygotène** (Fig. 6 C) est le stade des appariements chromosomiques. Les extrémités des chromosomes migrent le long de la membrane nucléaire et se regroupent à un pôle du noyau. Les appariements des chromosomes débutent au niveau des extrémités chromosomiques et progressent vers les régions centrales ainsi que le ferait une fermeture éclair. **Au stade pachytène** (Fig. 6 D), les appariements chromosomiques sont achevés, et de 1 à 4 événements de recombinaison génétique (crossing-over) se produisent entre les homologues, selon leur longueur. Les structures formées par l'appariement de deux homologues portent le nom de *bivalents*, on les appelle aussi *tétrades* car ils comportent 4 chromatides. Lors du