

2 ème partie

D'une génération à l'autre

ou

comment les gènes sont-ils transmis et brassés ?

Chapitre 8 : Etude comparative de la mitose et de la méiose

- 1. Les cycles des êtres vivants.** **page**
- 2. les cellules haploïdes ne peuvent subir que la mitose.** **page**
- 3. Les cellules diploïdes peuvent subir la mitose ou la méiose.** **page**
- 3.1. synthèse de l'ADN.**
- 3.2. aspects cytologiques.**
- 3.2.1. mitose.
- 3.2.2. méiose.
- 3.2.2.1. de la cellule diploïde à la métaphase de première division.
- 3.2.2.2. fin des divisions méiotiques.
- 4. Conclusions** **page**

Chapitre 8 : Etude comparative de la mitose et de la méiose.

1. Les cycles des êtres vivants.

Le passage d'une génération d'êtres vivants à une autre génération est assuré par une série de phénomènes biologiques assez simples. Quelle que soit l'espèce, cette multiplication des individus nécessite une multiplication des cellules. Les cellules peuvent subir soit la **mitose**, soit la **méiose**, deux modes de multiplication cellulaire qui ont des bases communes mais aussi des particularités et même des oppositions.

La plupart des animaux et des végétaux présente une **alternance** entre deux phases, l'une haploïde, l'autre diploïde. Cette alternance est ponctuée par la réunion de matériels haploïdes lors de la **fécondation** et par le passage de l'état diploïde à l'état haploïde lors de la **méiose**. Des mitoses peuvent se produire en phase haploïde ou diploïde.

Toute une nomenclature complexe s'est mise en place au cours des siècles pour décrire les modalités de multiplication des êtres vivants. Ce n'est cependant que l'**importance relative** de ces deux phases qui varie selon le type d'organisme (figure 60) :

-les deux phases sont **équivalentes** chez la **levure**, au laboratoire (figure 30).

-la **phase haploïde** est **importante** chez les **fougères** et plus encore chez les **mousses**, dont les tiges vertes, majoritaires, sont haploïdes (figure 61).

- la phase haploïde est **réduite** aux **gamètes, qui ne subissent pas de mitose, chez de nombreux animaux**, par exemple la drosophile (figure 45) ou l'Homme (figure 62).

Dans certains cas, les **cellules 2n** productrices d'haploïdes peuvent être apparemment **quelconques** : par exemple, il suffit de **certaines conditions**, pour qu'une culture diploïde de levure produise des spores haploïdes.

Dans d'autres cas, elles peuvent être produites dans des **organes spécialisés**, par exemple dans les gonades de certains animaux (ovaires qui donnent les ovules, testicules qui donnent les spermatozoïdes) ou chez certaines plantes (pistil, porteur d'ovaires ; étamines, où est produit le pollen).

Figure 61 : cycle d 'une mousse. Remarquer l'importance de la phase haploïde.

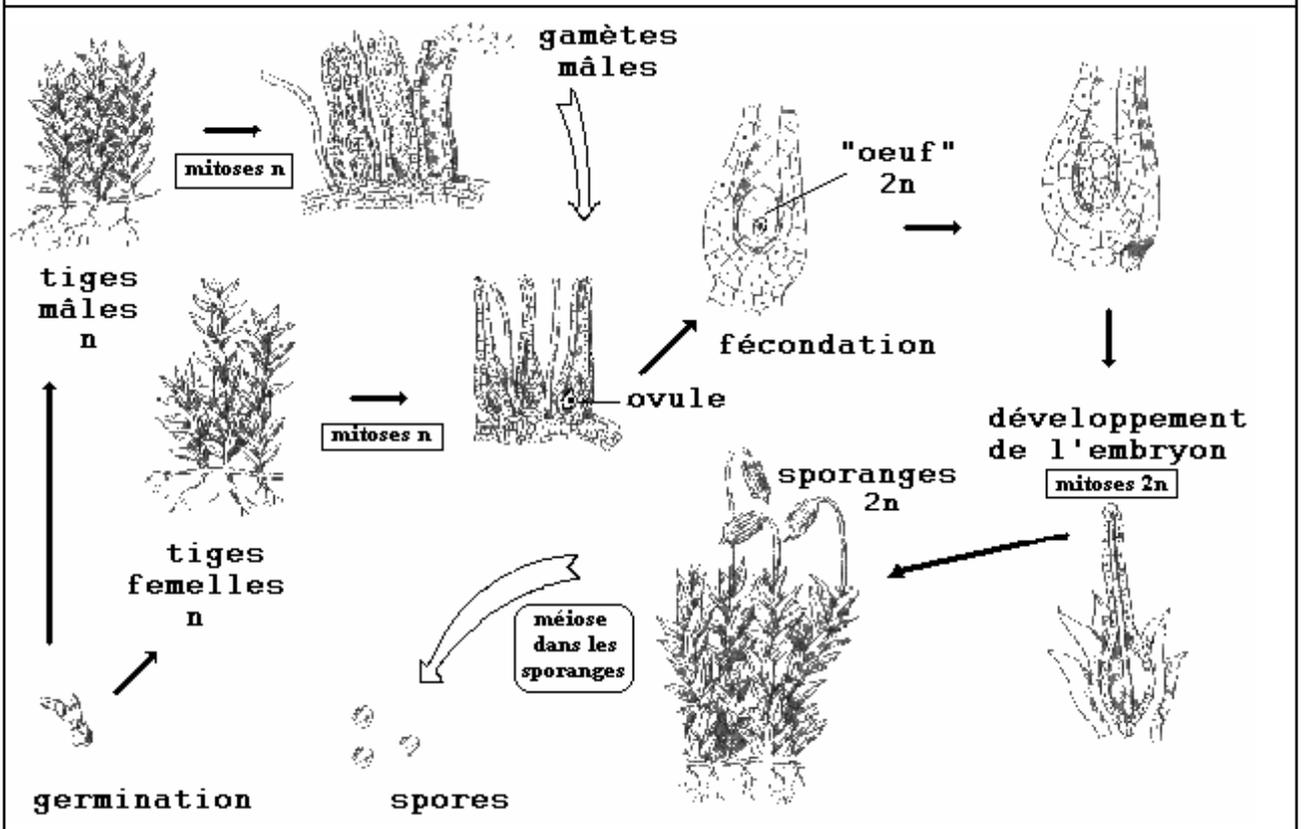


Figure 60 : mitoses, fécondation et méiose sont les trois étapes clés de la multiplication des êtres vivants.

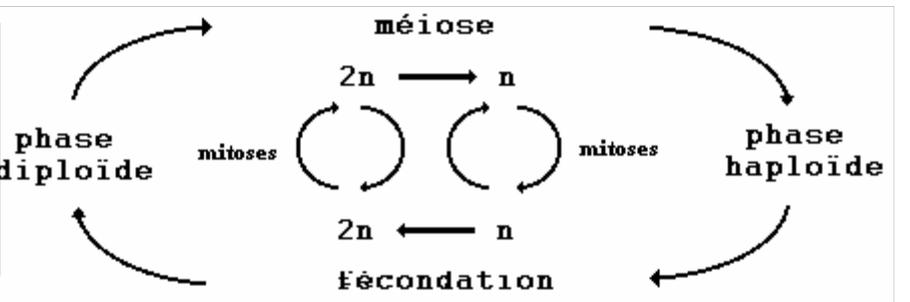
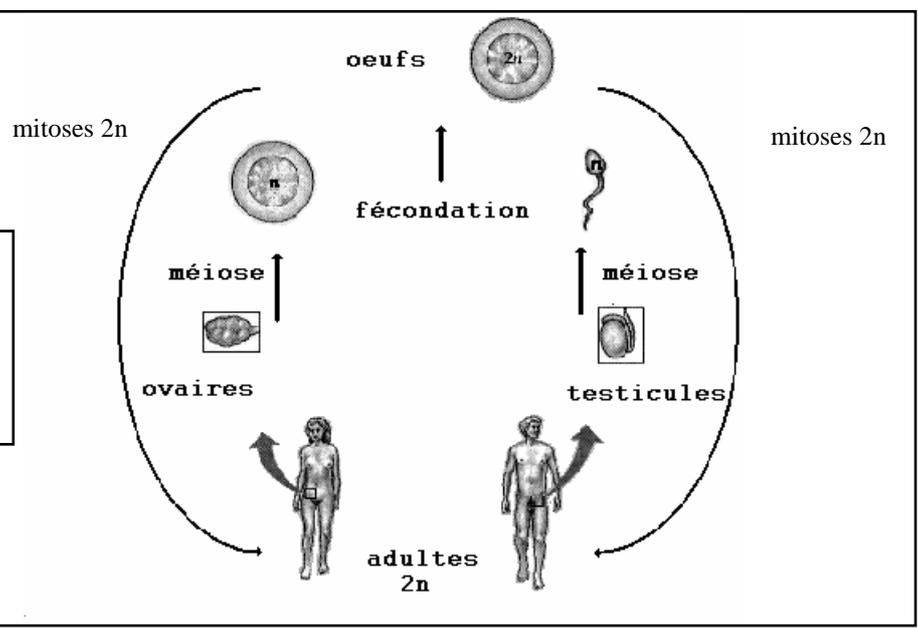


Figure 62 : cycle de l'Homme
Remarquer l'importance de la phase diploïde



2. Les cellules haploïdes ne peuvent subir que la mitose.

Diverses techniques permettent de suivre l'évolution de la quantité d'ADN dans des cellules. Au début d'une mitose, la quantité d'ADN double (phase de synthèse, **S**). Puis chacune des cellules filles reçoit la moitié de cet ADN et retrouve ainsi la quantité initiale. On nomme **G2** la partie du cycle cellulaire où une cellule possède une quantité double d'ADN, **G1** le reste du cycle ().

Les cytologistes ont décrit la mitose et la méiose avec une terminologie assez complexe, censée représenter des événements distincts. Cette terminologie n'apporte plus grand-chose et elle est même une source de confusion. Nous nous y référerons donc avec précautions, sans entrer dans les détails (2).

Une cellule possède des chromosomes constitués de longs filaments d'ADN. **Chaque chromosome est une double hélice**. Il est également constitué de protéines de structure, en particulier des histones (3). Dans la phase G1, les chromosomes sont très actifs en ce qui concerne la transcription. Par contre, on ne peut pas les distinguer les uns des autres par de simples colorations. Par exemple, la plus classique, celle de Feulgen, montre le noyau sous un aspect « inorganisé » qui a reçu le nom de **chromatine** (4).

À la suite de la réplication semi-conservative de l'ADN et de la fabrication de nouvelles protéines de structure, **l'aspect du noyau** est modifié. Les colorations montrent alors des figures bien individualisées (5), à la suite de raccourcissements des chromosomes. C'est le début de la **prophase**. Chaque figure est alors double (6). Les **deux chromosomes-fils ou chromatides** se présentent attachés par la zone appelée **centromère**.

À l'étape suivante (**métaphase**), on observe que les chromosomes sont très courts, et qu'ils sont rangés sur l'équateur de la cellule (**plaque équatoriale**). Puis, un chromosome-fils de chaque doublon migre vers un des pôles de la cellule, après que le centromère se soit séparé en deux (**anaphase**). On retrouve un chromosome-fils de chaque type à chaque pôle de la cellule en division (**télophase**) puis les chromosomes reprennent l'état initial, apte à la transcription.

À partir d'une cellule haploïde hypothétique, avec ses trois chromosomes (8), deux cellules haploïdes strictement identiques ont été édifiées (figure 63) : **la mitose est une reproduction conforme**.

(1) : *G* vient de « gap », intervalle. Ces intervalles entre les divisions sont appelées interphases dans notre langue de Molière...Elles correspondent à la partie du cycle la plus active des cellules, engagées dans leur métabolisme. Le mot a été choisi par les cytologistes, les noyaux étant considérés « en repos » durant l'interphase et « actifs » au moment des divisions. Ce terme pourrait laisser penser qu'il ne se produit rien pendant l'interphase alors que ce que l'on voit pendant les divisions n'est en réalité que la conséquence de ce qui s'est passé auparavant.

(2) : les différents termes utilisés sont explicités dans tous les ouvrages de biologie cellulaire « de base », y compris dans les ouvrages de l'enseignement secondaire. On s'y référera si on le souhaite.

(3) : la structure exacte du chromosome, avec ses protéines, ne sera pas traitée ici : il faut cependant noter qu'elle est responsable des propriétés de raccourcissement, en mitose comme en méiose.

(4) : plus généralement le terme de chromatine est employé pour désigner la substance que l'on extrait des noyaux et qui est faite en plus grande partie d'acides nucléiques et de protéines.

(5) : « les chromosomes apparaissent » ... à l'œil de l'expérimentateur. Ce n'est bien sûr qu'une différence d'apparence : ils étaient auparavant bien distincts les uns des autres... mais on ne les voyait pas.

(6) « les chromosomes sont doubles » ne doit pas être confondu avec le fait que chacun d'entre eux est constitué de deux brins d'ADN.

(7) : pour la commodité du dessin, les chromosomes sont figurés bien distincts les uns des autres : en réalité ils sont pelotonnés de manière complexe permettant ainsi à leurs longues molécules de « tenir » dans le noyau, dont le diamètre est très inférieur à la dimension des chromosomes, s'ils étaient étendus. Ils ne sont évidemment pas parallèles.

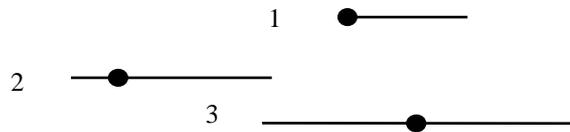
(8) : Les trois chromosomes ont été représentés pour pouvoir les distinguer : l'un (n°1) est petit et son centromère est terminal ; le deuxième (n°2) est assez grand et il a deux « bras », de part et d'autre du centromère. Le plus grand (n°3) a un centromère médian. Nous retrouverons ces trois chromosomes dans la suite de nos explications.

Figure 63 : mitose d 'une cellule haploïde (n = 3). ● = centromère

Les dessins sont déduits des observations mais ils ne se veulent **pas réalistes**. Pour simplifier, on a représenté un chromosome interphasique par un seul trait : il est en réalité fait d 'une double hélice d 'ADN.

Interphase :

les chromosomes ne sont pas visibles

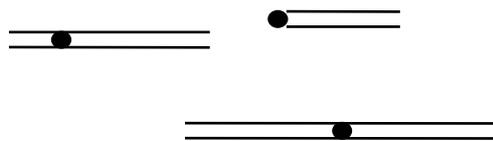


leur position dans la cellule est quelconque (7).

*C 'est l 'état le plus courant des chromosomes. Les cytologistes observent une faible colorabilité de la **chromatine***

Fin de l 'interphase

duplication de l 'ADN et fabrication de nouvelles protéines



la position des chromosomes dupliqués reste quelconque.

*Les chromosomes dupliqués commencent à être observables : c 'est la phase dite d ' **individualisation** (8).*

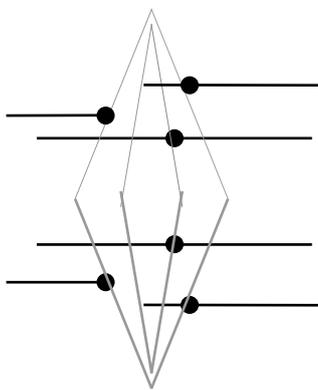
Métaphase

les chromosomes sont rangés sur l 'équateur de la cellule

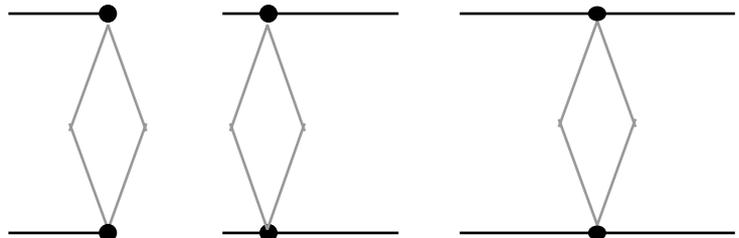


*les chromosomes présentent alors leur **aspect le plus connu** , celui que l 'on voit dans les caryotypes : il serait catastrophique de penser que c 'est leur état ordinaire .*

Deux représentations de l 'anaphase



représentation proche de la réalité



représentation ultra schématique très commode à utiliser

*les chromosomes-fils **migrent** vers chacun des pôles*

Télophase et interphase :



***deux** cellules filles **identiques** sont obtenues.*

3. Les cellules diploïdes peuvent subir la mitose ou la méiose.

3.1. Synthèse de l'ADN.

Lors de la mitose, on constate, comme pour les cellules haploïdes, que la quantité d'ADN double à la suite de la réplication puis que chaque cellule fille reçoit la même quantité d'ADN, d'ailleurs identique à celle de la cellule mère.

Dans le cas de la **méiose**, son début est le même que ce que nous venons de voir : il y a une synthèse d'ADN, tout à fait banale, en ce sens qu'elle est réalisée par le système de la **réplication semi conservative**. Ensuite, une **première division** donne deux cellules dont le contenu en ADN est celui de la cellule mère. Puis on constate que la quantité d'ADN par cellule baisse encore de moitié lors d'une **deuxième division**,

Alors que la mitose de cellules diploïdes donne deux cellules dont la quantité d'ADN est la même que celle de la cellule-mère, la méiose donne quatre cellules dont la quantité d'ADN n'est que la moitié de celle des cellules diploïdes (figure 64).

Il s'agit là d'une première différence, spectaculaire, avec la mitose. Elle nous indique que

la méiose n'est pas une reproduction conforme, au contraire de la mitose, y compris chez les diploïdes.

3.2. Aspects cytologiques.

3.2.1. Mitose.

La mitose de cellules diploïdes est en grande partie identique à la mitose de cellules haploïdes. En interphase, le noyau est sous forme de chromatine : les chromosomes sont constitués chacun d'une double hélice. Ils sont en cours de transcription éventuelle. Puis les chromosomes deviennent colorables et visibles à la prophase. On constate que la réplication a eu lieu, car les chromosomes sont sous forme double. A la métaphase, les chromosomes-fils se placent sur la plaque équatoriale : on observe alors qu'ils se **ressemblent 2 par 2** (9), seule différence avec la mitose d'une cellule haploïde.

La suite de la mitose de cellules diploïdes est analogue à ce que nous connaissons dans le cas des cellules haploïdes : un chromosome-fils de chaque paire se dirige vers chacun des pôles pendant l'anaphase. Puis les chromosomes perdent leur spiralisation accentuée et l'on revient à l'état de chromatine, où l'on ne distingue plus les chromosomes. Enfin, les deux cellules-filles sont séparées l'une de l'autre (figure 65).

Elles sont diploïdes, identiques entre elles et à la cellule-mère qui leur a donné naissance (et qui n'existe plus !).

Figure 64 : évolution de la quantité d 'ADN de cellules diploïdes en mitose ou en méiose.

I = interphase ; P = prophase ; M = métaphase ; A = anaphase ; T = télophase. D1 = 1^{ère} division ; D2 = 2^{ème} division

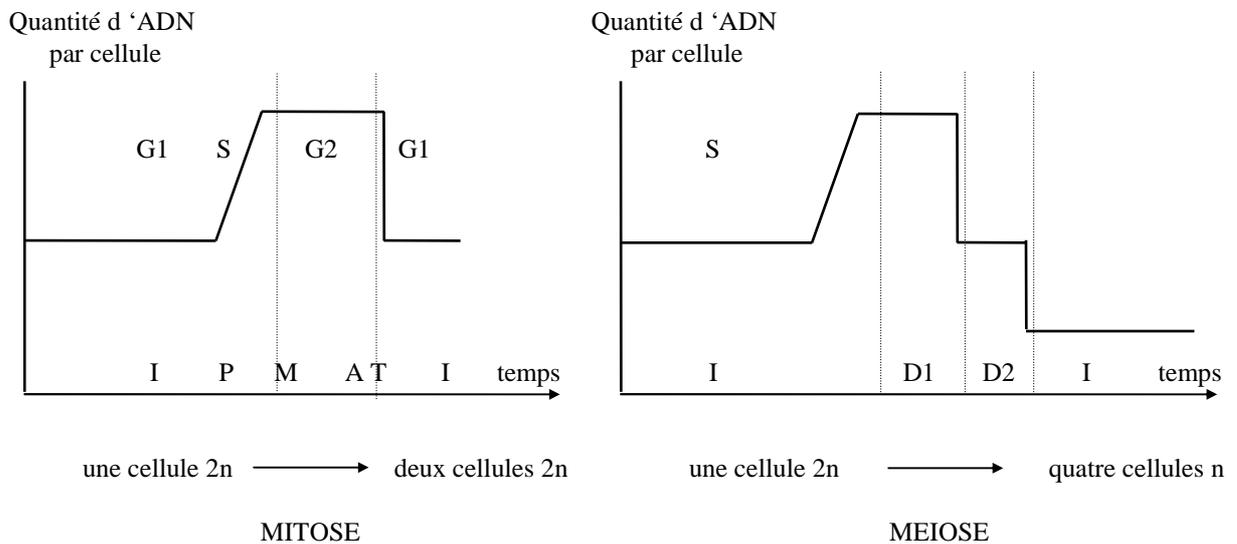
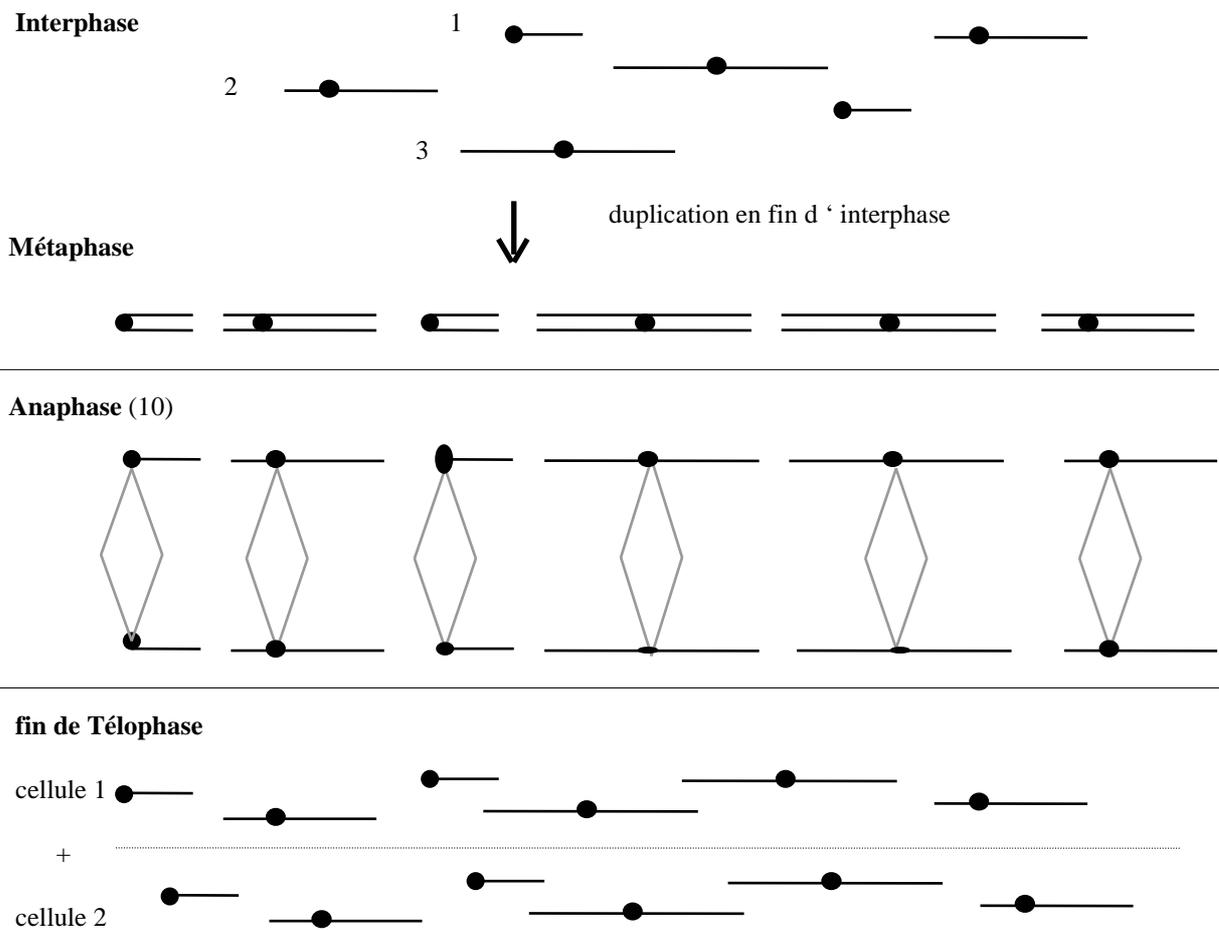


Figure 65 : interphase et mitose d' une cellule diploïde (n =3 ; 2n = 6) (10).



(9) : et non qu 'ils se rassemblent !!

(10) : mêmes conventions, mêmes chromosomes que pour la figure 63.

3.2.2. Méiose

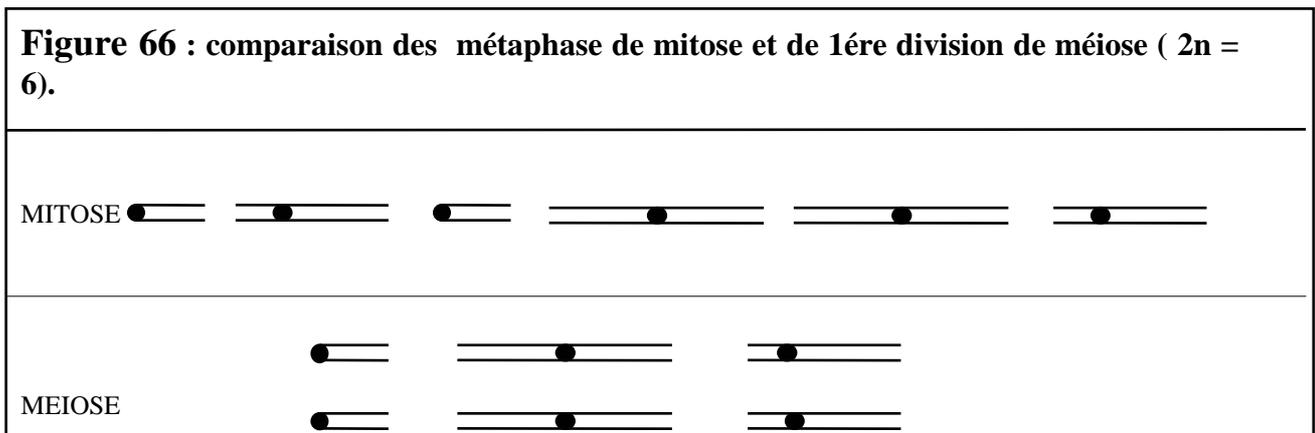
3.2.2.1. De la cellule diploïde à la métaphase de 1ère division

Seules les cellules diploïdes peuvent subir la méiose, qui est un ensemble de deux divisions. Le nombre de paires de chromosomes-fils observé en métaphase de 1ère division est le même qu'en métaphase de mitose: cela ne peut nous surprendre, puisque nous savons qu'il se produit une seule synthèse d'ADN. Par contre la disposition de ces paires de chromosomes est totalement différente.

En méiose, les centromères ne sont pas situés exactement sur l'équateur mais dans des plans parallèles proches. Ce « détail » s'accompagne d'une disposition que l'on repère tout de suite : les paires de chromosomes-fils sont rangées deux par deux (figure 66).

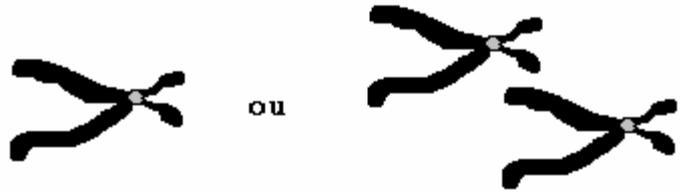
Cette observation a permis de définir des **chromosomes homologues**, c'est à dire des chromosomes de structure au moins comparable. Une étude plus poussée de la première division a montré que , les chromosomes homologues sont très rapprochés (ils sont **appariés**) juste après la phase S. Ensuite, ils raccourcissent, jusqu'aux figures vues en métaphase

Après ces précisions concernant la 1ère division de la méiose, nous allons pouvoir aller plus vite car le déroulement des événements qui suivent ne pose plus de problème de compréhension ou de vocabulaire (encart 28).



Encart 28 : toutes sortes de confusions sont faites car le vocabulaire ne s'est pas construit en une fois. Cela le rend ambigu d'autant plus qu'il existe une dualité envahissante : double hélice, chromosomes à deux bras, paire (ou couple) de chromosomes fils ou de chromatides soeurs, paire (ou couple) de chromosomes homologues. Il faut faire un effort pour lever les ambiguïtés, qui viennent presque toutes de ce que l'on observe un chromosome... quand il y en a 2 !

La confusion se traduit souvent par une difficulté à représenter une cellule diploïde : ainsi , les deux figurations ci-contre sont, hélas , rencontrées assez souvent.



A gauche , il s 'agit d 'un chromosome dupliqué , métaphasique , de deux chromosomes-fils , donc , à droite d 'une « sorte horrible » de plaque métaphasique de 1 ère division.

Un chromosome, c'est une double hélice d' ADN.



POINT FINAL.

Pour faciliter les dessins, un chromosome est représenté par un seul trait, marqué du centromère.

Une cellule diploïde est donc figurée très simplement comme ci-contre , avec ses deux chromosomes, si $n=1$, toujours en prenant en compte que les deux figures sont parallèles uniquement pour la commodité du dessin (7) .



3.2.2.2. Fin des divisions méiotiques.

Un centromère entraîne deux chromosomes-fils à chacun des pôles. Lorsque les chromosomes doubles se retrouvent aux pôles, on obtient deux cellules; Dans chacune, il y a une **division des centromères, lors d 'une deuxième division cellulaire, produisant 4 cellules sans nouvelle synthèse d 'ADN.**

On obtient finalement **4 cellules** qui possèdent un exemplaire de chacun des couples de chromosomes homologues : les **4 produits d'une méiose sont haploïdes** (figure 67).

Ce résultat est tout à fait cohérent avec ceux observés plus haut : les cellules issues de la méiose contiennent deux fois moins d 'ADN que les cellules diploïdes qui leur ont donné naissance, simplement parce qu 'il n 'y a qu 'une seule synthèse pour les deux divisions.

4. conclusions.

La **mitose** se produit sur des cellules **haploïdes ou diploïdes**. Elle conduit à des **cellules identiques**, formant un **clone**. Le passage d 'une génération à l 'autre produit des copies conformes. Les gènes sont multipliés de manière très fidèle , sauf les cas de rares mutations. Il faut bien noter que la mitose est suffisante à elle seule pour assurer la multiplication de certains êtres vivants (12). Chez les plantes par exemple, la multiplication végétative est **très efficace** : le bouturage et le marcottage sont bien connus des jardiniers (13)

La **méiose** est identique à la mitose en ce qui concerne la réplication de l' ADN, fidèle, grâce au système **semi-conservatif**. En revanche, elle se distingue par ailleurs totalement de la mitose car elle ne reproduit pas à l 'identique.

La **méiose**, qui se produit sur des cellules **diploïdes** (14) donne naissance à des **cellules différentes** qui sont **haploïdes**.

Nous verrons les conséquences génétiques qui découlent de cette **reproduction non conforme** tout au long des chapitres qui viennent.

(12) : les bactéries se multiplient par un processus comparable à la mitose.

(13) : une bouture est une partie coupée d'une plante qui, mise en terre, fait des racines. Une marcotte est une partie d'une plante qui a été recouverte de terre, ce qui a produit le développement de racines, et que l'on coupe pour la replanter.

(14) : diploïdes, au moins ! La méiose peut se produire sur des cellules présentant un nombre de chromosomes encore plus élevé (triploïde - $3n$ -, tétraploïde - $4n$ -).

