

1.4. La division cellulaire et la reproduction

La constance du nombre de chromosomes dans les cellules d'un organisme donné et d'un individu à l'autre au sein d'une même espèce est due à deux mécanismes fondamentaux de division cellulaire : la **mitose** et la **méiose**.

1- La mitose :

La mitose est la division nucléaire associée à la division des cellules somatiques. Les étapes du **cycle de division cellulaire** sont similaires chez la plupart des organismes.

On distingue généralement deux grandes phases :

- L'**interphase** : comprenant l'intermède 1 (gap 1 : G1), la synthèse (phase S) et l'intermède 2 (G2).
- La **mitose** (phase M).

Au cours de la phase S, l'ADN de chaque chromosome est répliqué. A la suite de cette répllication, chaque chromosome devient une paire de **chromatides sœurs** associées (2 molécules d'ADN identiques). Ces chromatides sœurs ne seront visible qu'au cours de la mitose.

La phase M (mitose) est subdivisée en quatre stades : Prophase, Métaphase, Anaphase, et Télaphase

1.1. Prophase :

Les chromosomes se **condensent** pour devenir de fins filaments (phase précoce). En fin de prophase les chromosomes sont au maximum de leur condensation et sont facilement observable au microscope photonique. Ils sont composés chacun de deux chromatides sœurs.

1.2. Métaphase :

Les paires de chromatides sœurs vont se positionner sur le plan équatorial de la cellule (tous les centromères des chromosomes sont sur ce plan). A ce stade, on peut facilement dénombrer les chromosomes (en vue polaire).

1.3. Anaphase :

Les chromatides sœurs de chaque chromosome sont séparées au niveau du centromère et migrent chacune vers les extrémités opposées de la cellule.

1.4. Télaphase :

Les chromatides sœurs ont fini de gagner les pôles pour constituer deux lots de chromosomes identiques à chacun d'eux.

La membrane nucléaire se reforme autour de chaque noyau et la cellule se divise en **deux cellules filles génétiquement identiques**.

Les deux processus fondamentaux de la mitose sont la réplication et la ségrégation (séparation des deux chromatides ou chromosomes homologues).

2- La méiose :

Comment le nombre de chromosome reste constant d'une génération à une autre ?

Il existe donc un processus qui **diviserait par deux** le nombre de chromosomes lors de la formation des gamètes mâles et femelles. Ce type de division est appelé méiose.

La méiose est le nom donné aux **deux divisions nucléaires successives** appelées **méiose I** et **méiose II**.

La méiose a eu lieu dans des cellules spéciales, les **méiocytes**. A partir d'une cellule diploïde ($2n$) on va obtenir un groupe de 4 cellules haploïdes appelées **produits de la méiose**.

Chez les humains et les animaux, les produits de la méiose deviennent des **gamètes** (spermatozoïdes et ovules). Chez les plantes à fleurs, les produits de la méiose sont les **méiospores**.

2.1. Une première division réductionnelle (Méiose I) :

Prophase I :

- **Leptotène** : Les chromosomes se condensent et apparaissent sous la forme de longues structures filiformes. De petits renflements (chromomères) se forment le long de chaque chromosome (collier de perles).
- **Zygotène** : Caractérisé par le début de **l'appariement actif** des chromosomes homologues (appariement progressif comme dans une fermeture éclair). A ce stade, on observe la formation de complexes synaptonémaux (complexe protéique assurant l'échange du matériel génétique entre les homologues).
- **Pachytène** : Appariement total des paires de chromosomes homologues pour former des **bivalents**. A ce stade, les chromosomes sont épais et les chromomères parfaitement alignés. Les nodules de recombinaison et les chiasmas sont visibles au niveau des points d'échange.
- **Diplotène** : Doublement longitudinal de chaque homologue apparié. Chaque chromosome est donc formé de 2 chromatides. Chaque bivalent est composé de 4 chromatides (**Tétrade**). Les chromatides non sœurs sont engagées dans un processus de cassure et de réunion appelé **crossing-over**. L'appariement des homologues se relâche, mais restent attachés au niveau des chiasmas (structures en croix).
- **Diacinèse** : Poursuite du processus de condensation et de répulsion des homologues.

Métaphase I :

Les centromères de chacun des chromosomes homologues sont alignés de part et d'autre du plan équatorial.

Anaphase I :

Début d'ascension des chromosomes homologues vers les pôles opposés.

Télophase I :

Chaque lot de chromosomes homologues est maintenant aux pôles. A ce stade, la membrane nucléaire peut se former et les deux cellules entrent en interphase (**Intercinèse**), ou aucune membrane ne se forme et les cellules s'engagent directement en méiose II.

2.2. Une deuxième division équationnelle (Méiose II) :

Prophase II :

Est caractérisée par la présence du **nombre haploïde** de chromosomes dans l'état condensé.

Métaphase II :

Les chromosomes s'alignent dans le plan équatorial avec le début de séparation des chromatides sœurs.

Anaphase II :

Les centromères se scindent et les chromatides sœurs gagnent les pôles opposés.

Télophase II :

Les noyaux se reforment autour des chromosomes présents aux pôles.

2.3. Les conséquences génétiques de la méiose :

Lors de la méiose, on assiste à deux types de **brassages génétiques**.

- Le **brassage intrachromosomique** :

Les chromosomes homologues s'apparient et échangent le matériel génétique (crossing-over).

- Le **brassage interchromosomique** :

Un troisième et dernier type de brassage génétique aura lieu lors de la fécondation.

1.5. La gamétogenèse

La gamétogenèse est le processus qui permet de **« maturer »** ou de différencier les **produits de la méiose** (4 cellules haploïdes) en des cellules compétentes pour la fécondation : des gamètes pour le règne animal ou des spores (règne végétal).

1- **Gamétogenèse animale.**

1.1. **Spermatogenèse chez le mâle :**

Après une phase de croissance, chaque **spermatogonie** (**2n**) va se différencier en un **spermatocyte primaire**. Ce dernier va subir les deux divisions méiotiques (Spermatocyte secondaire après MI et spermatide après MII) pour enfin donner après maturation **4 spermatozoïdes** (**haploïdes, n**).

1.2. **Ovogenèse chez la femelle :**

A partir d'une **ovogonie** (**2n**), on va obtenir après méiose et maturation **un ovule** (**haploïde**). Les 3 autres cellules, produits de la méiose vont dégénérer.

2- Gamétogenèse chez les plantes.

2.1. Microsporogenèse :

C'est le processus de la formation du **grain de pollen** dans les anthères (organe mâle) des plantes à fleurs (Angiospermes).

A partir d'une **microsporocyte (2n)**, on obtient 4 cellules haploïdes appelées **Microspores**. Chacune des microspores va subir 2 divisions nucléaires (caryocinèse) pour donner naissance à un grain de pollen avec 3 noyaux haploïdes et identiques (**2 noyaux spermatiques et un noyau végétatif**).

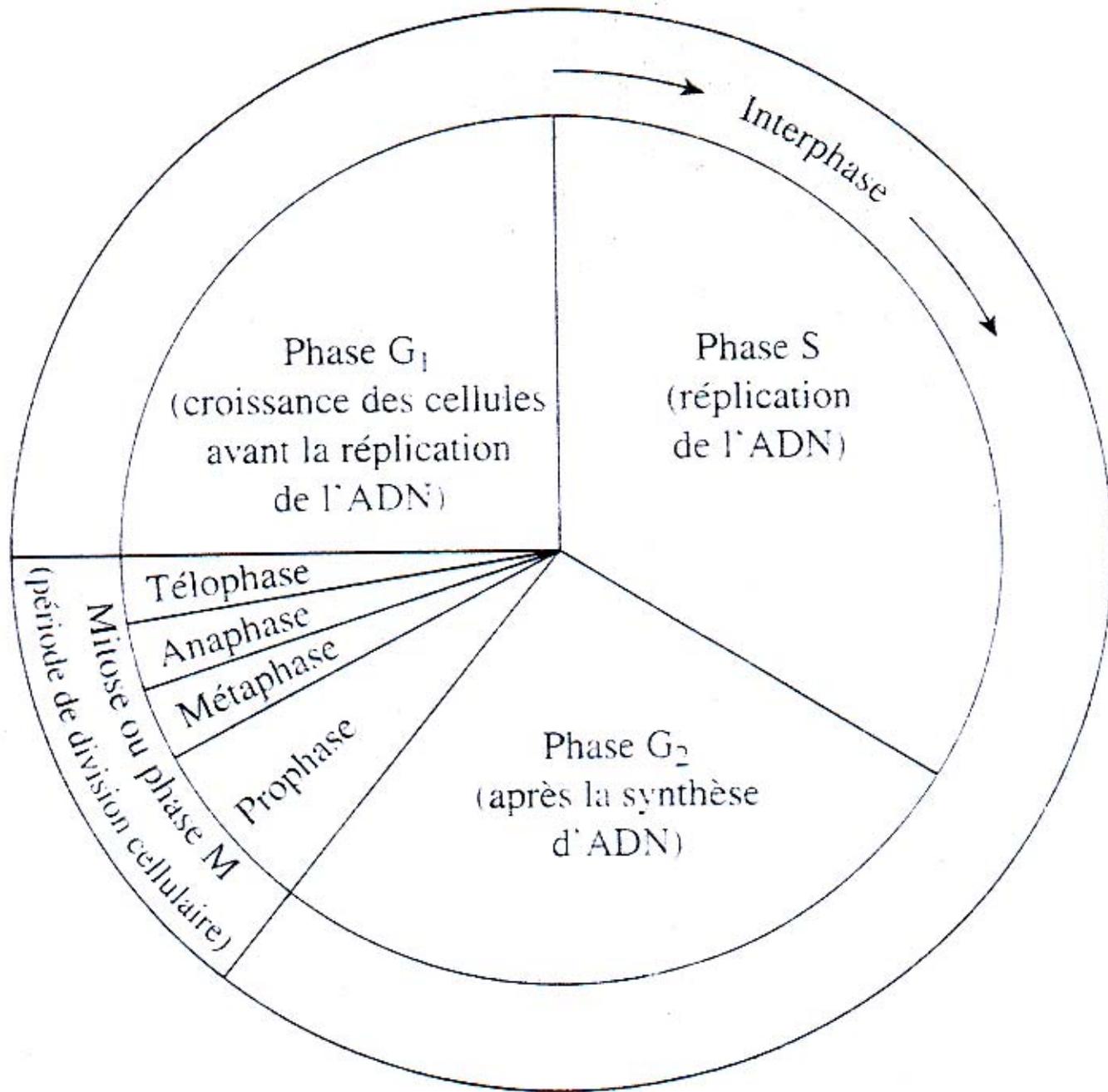
2.2. Mégasporogenèse :

C'est le processus de la formation du **sac embryonnaire** dans les ovaires (organe femelle) des plantes à fleurs (Angiospermes).

A partir d'une **mégasporocyte (2n)**, on obtient 4 cellules haploïdes appelées **mégaspores**. 1 seule de ces 4 mégaspores va survivre et va subir 3 caryocinèses pour enfin donner un sac embryonnaire contenant 8 noyaux haploïdes identiques. Par la suite, 5 noyaux vont dégénérer, 2 vont fusionner pour donner **un noyau de fusion diploïde, et 1 dernier noyau va se développer en oosphère**.

2.3. Fécondation :

Lors de la pollinisation, le grain de pollen émet un tube pollinique jusqu'au sac embryonnaire. A travers ce tube passeront les deux noyaux spermatiques : l'un va fusionner avec l'oosphère pour donner un zygote diploïde, lequel se développera en un embryon. L'autre noyau va fusionner avec les deux noyaux de fusion diploïde pour donner un noyau triplôïde (3n) qui va constituer l'endosperme (tissu de réserve pour la germination).



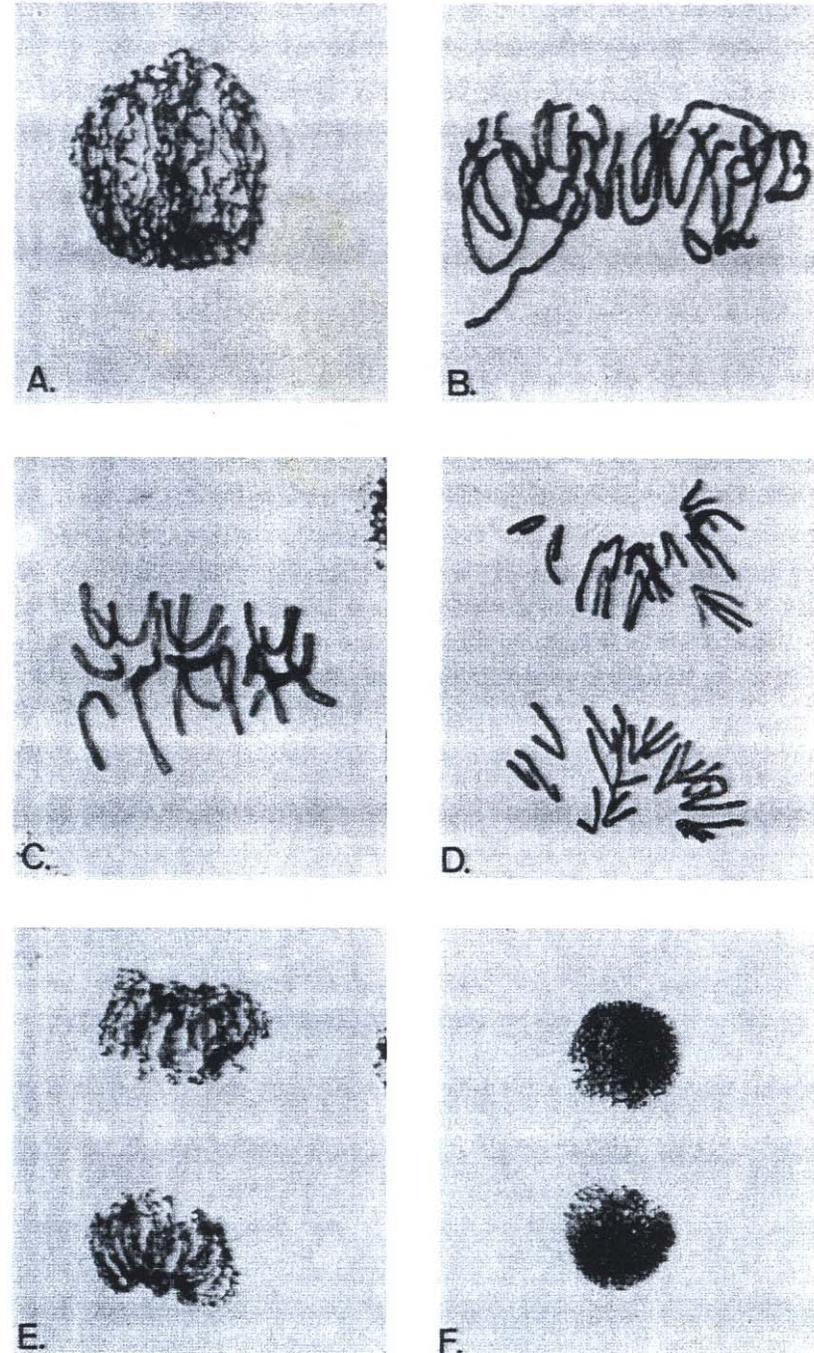


FIGURE 7. — La mitose chez *Allium cepa* ($2n = 16$).
 A. Début de prophase ; B. Fin de prophase ; C. Métaphase ; D. Anaphase ; E. Télo-

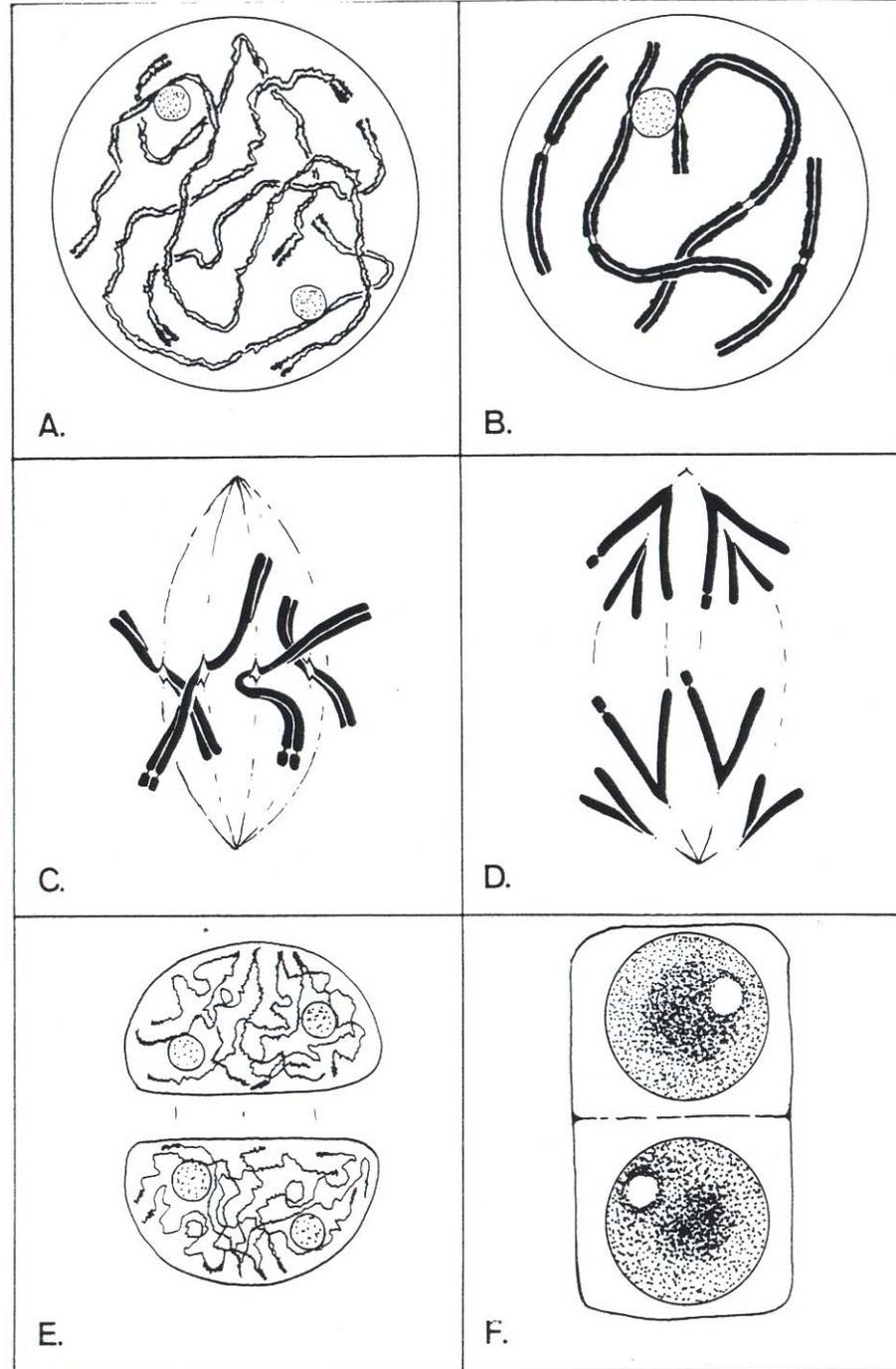


FIGURE 7bis — Représentation schématique de la mitose dans une cellule avec $2n = 16$.

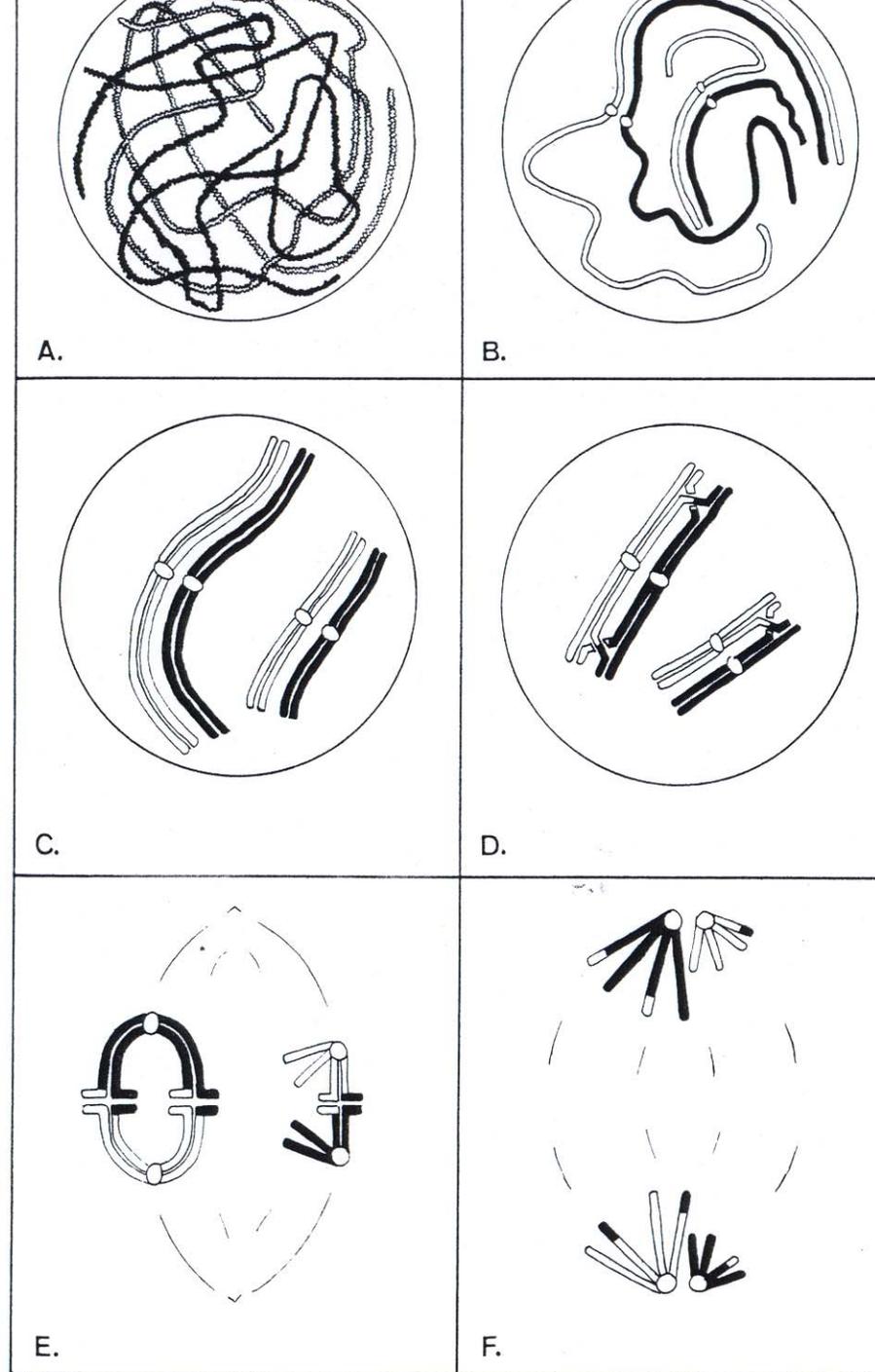
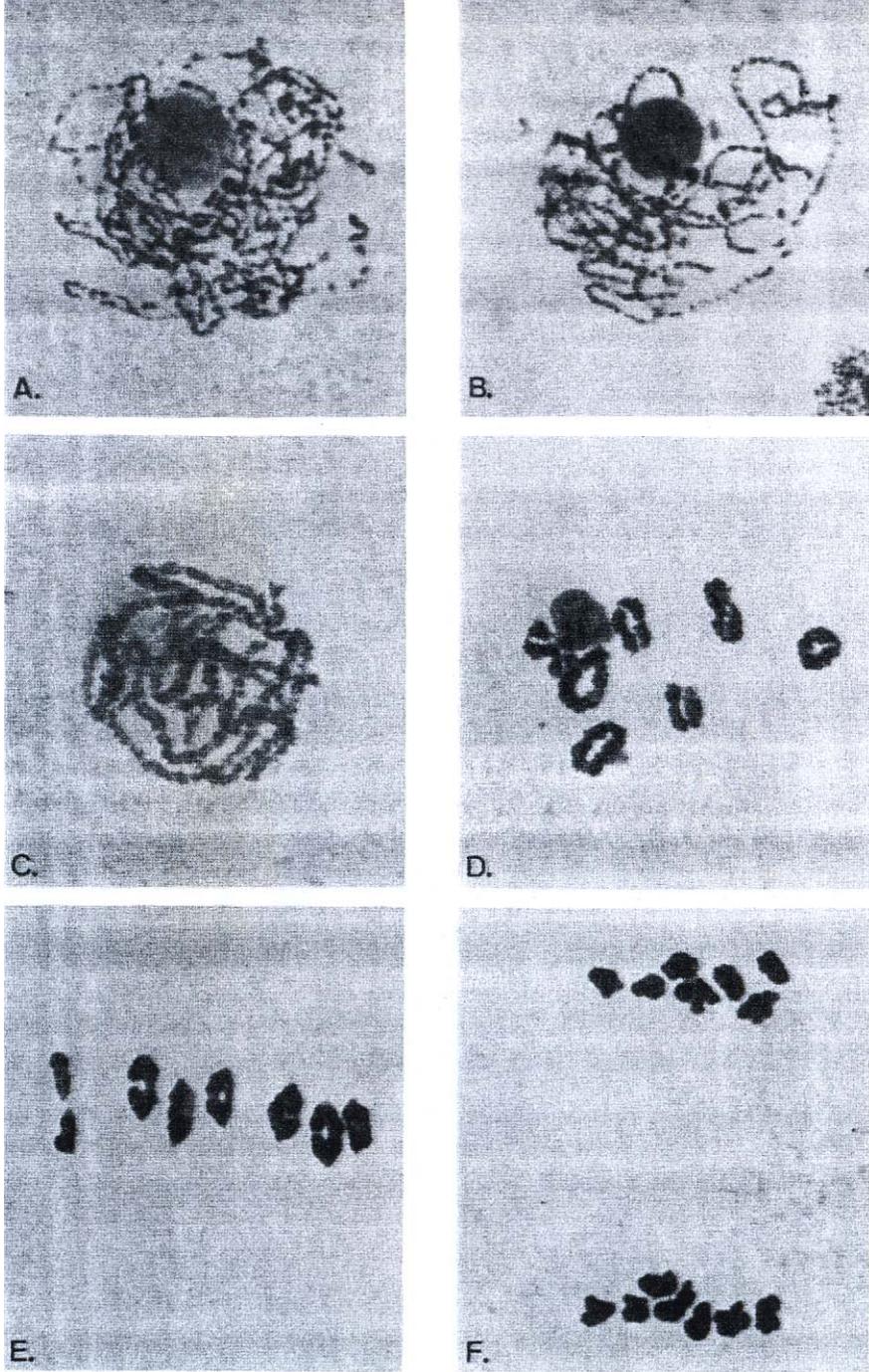


FIGURE 6 — La méiose chez *Lolium perenne* ($2n = 14$).

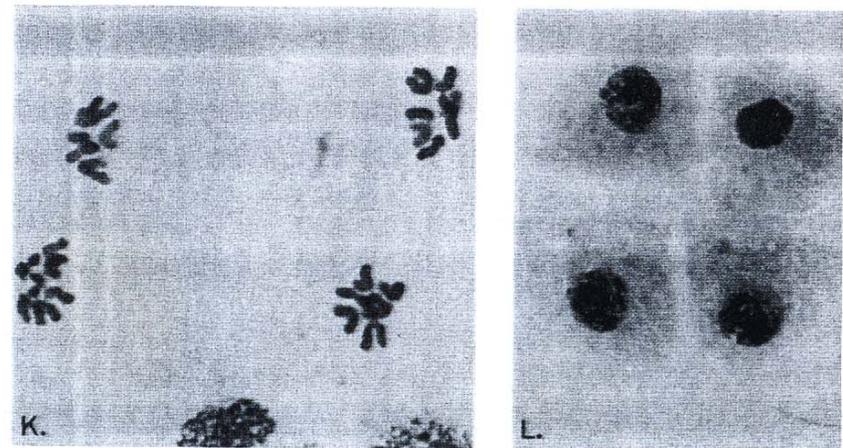
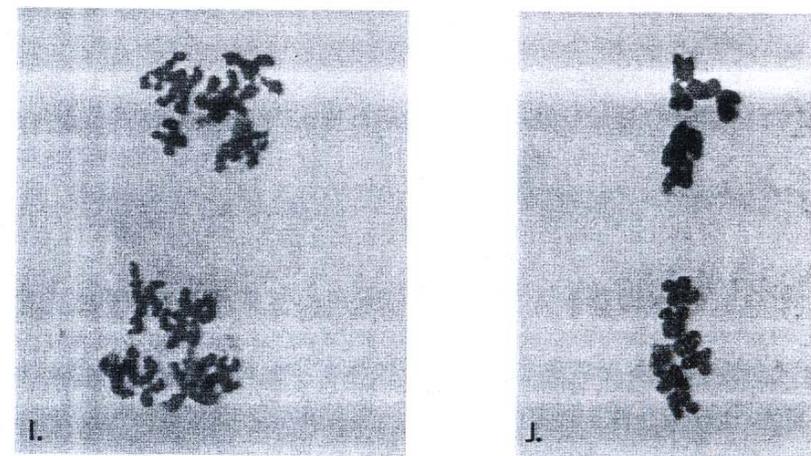
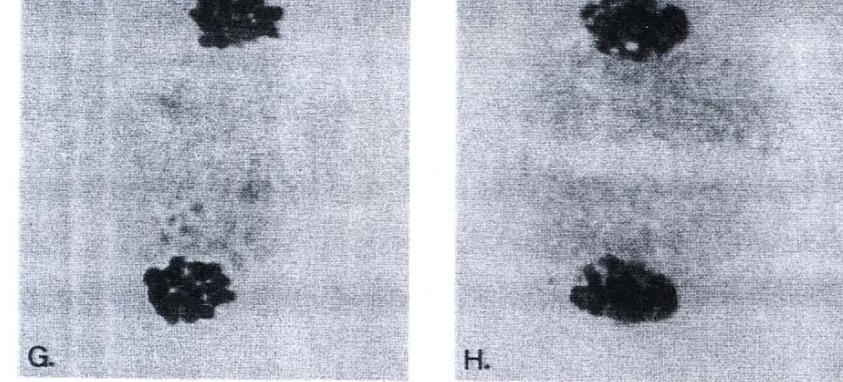


FIGURE 8 (suite) — La méiose chez *Lolium perenne* ($2n = 14$).

G. Télaphase I; H. Interphase; I. Prophase II; J. Métaphase II; K. Anaphase II; L. Tétrade.

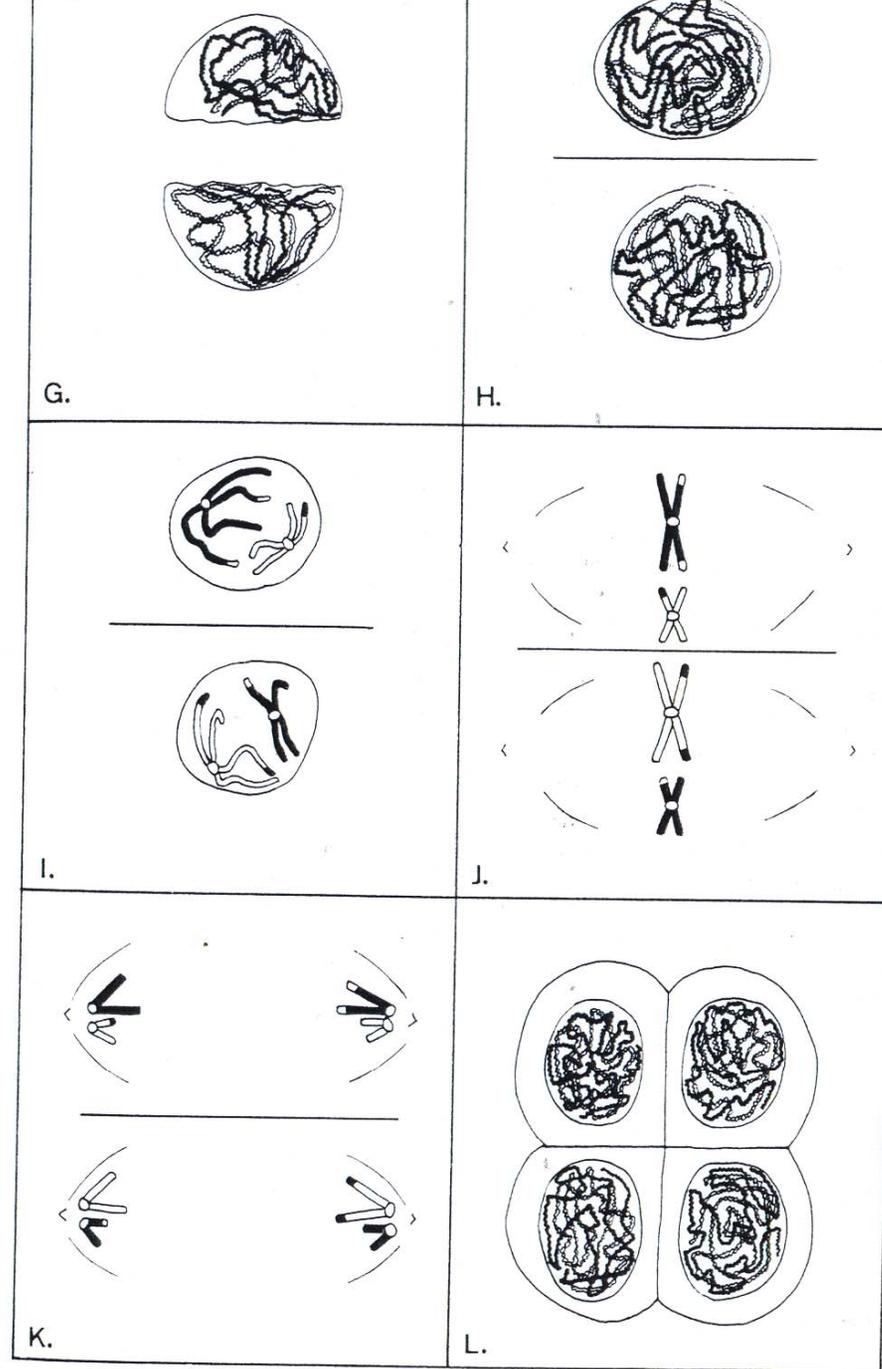
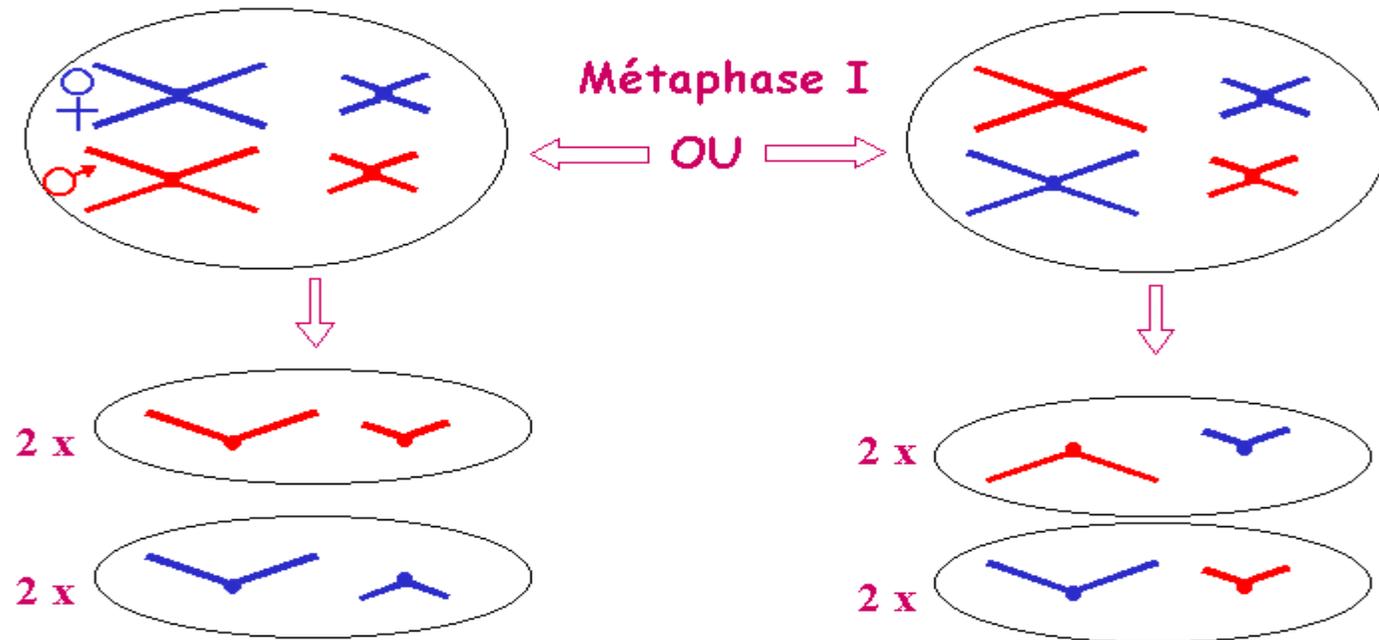


FIGURE 8bis (suite) — Représentation schématique de la méiose dans un organisme à $2n = 4$ chromosomes.

CONSEQUENCES GENETIQUES DE LA MEIOSE

« BRASSAGE GENETIQUE »

BRASSAGE INTERCHROMOSOMIQUE



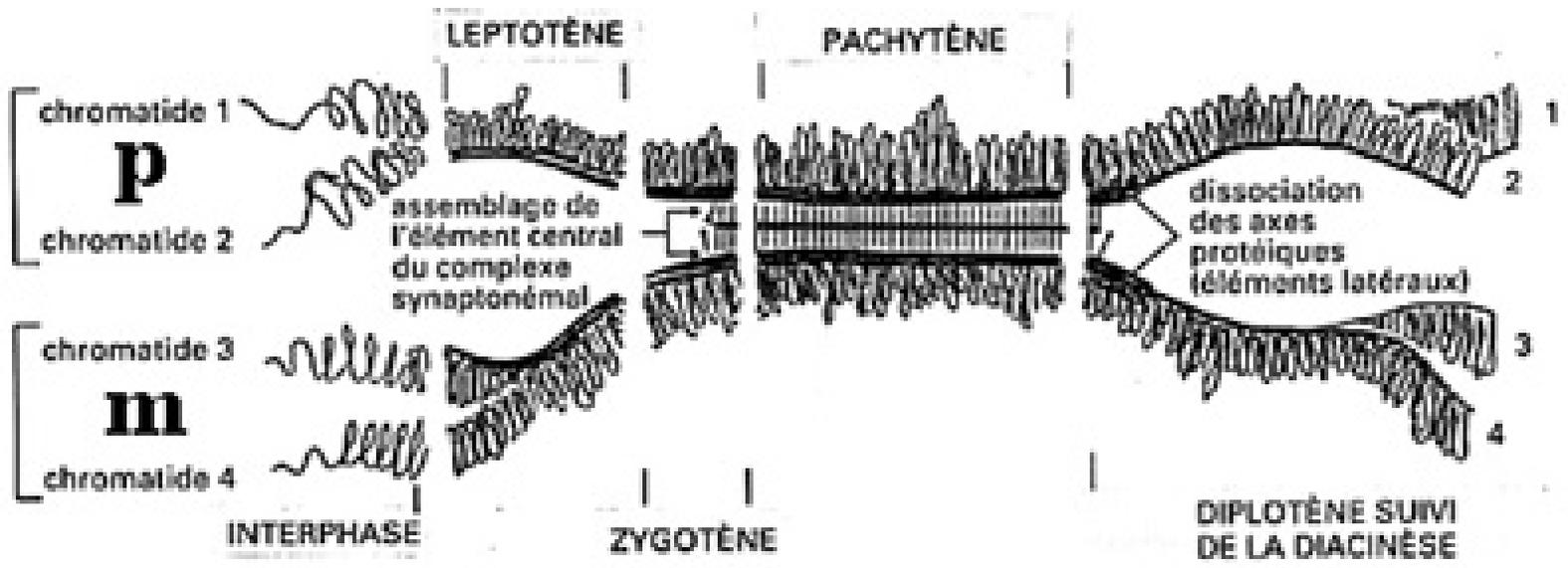
4 types gamètes (composition chromosomique) différentes

Alignement aléatoire des chromosomes en métaphase 1



2ⁿ combinaisons possibles

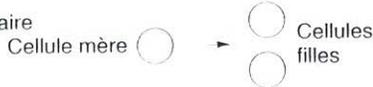
exple homme (2n = 46) $2^{23} = 8,4 \times 10^7$



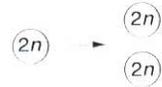
Mitose

Dans les cellules somatiques

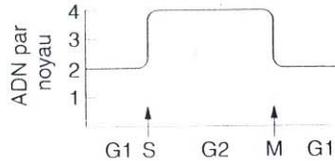
Une division cellulaire produisant deux cellules filles



Maintien du nombre de chromosomes par noyau (exemple : cellule diploïde)



Une phase S préméiotique par division cellulaire (exemple : cellule diploïde)



Normalement, pas d'appariement des homologues



Normalement, pas de crossing-over

Les centromères se divisent lors de l'anaphase



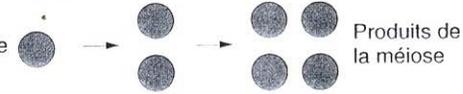
Processus conservatif : les génotypes des cellules filles sont identiques au génotype parental

Les cellules subissant une mitose peuvent être diploïdes ou haploïdes

Méiose

Dans les cellules pendant le cycle sexuel

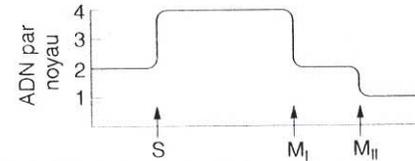
Deux divisions cellulaires aboutissant à quatre produits de méiose



Nombre de chromosomes divisé par deux dans les produits de la méiose



Une phase S préméiotique pour les deux divisions cellulaires



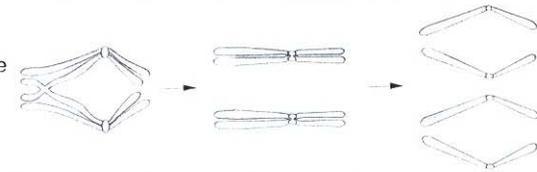
Appariement complet des homologues lors de la prophase I



Au moins un crossing-over par paire d'homologues



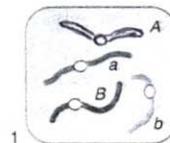
Les centromères ne se divisent pas lors de l'anaphase I mais lors de l'anaphase II



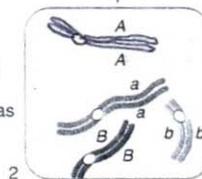
Favorise la variation entre les produits de la méiose

Les cellules subissant une méiose sont diploïdes

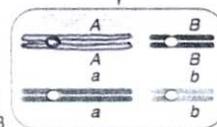
Interphase.
Les chromosomes
ne sont pas appariés.



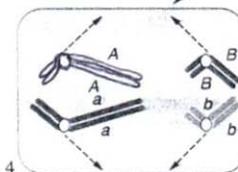
Prophase.
Les chromosomes
et les centromères ont été
répliqués, mais les
centromères ne se sont pas
séparés.



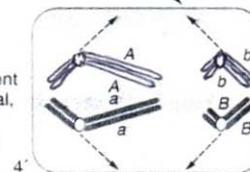
Prophase.
Les homologues
s'apparient.



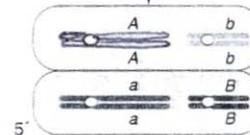
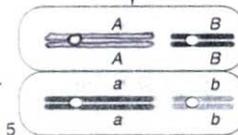
Anaphase.
Les centromères
se fixent au fuseau et
gagnent les pôles de la
cellule.



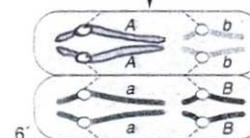
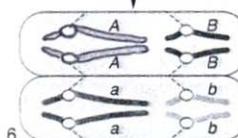
L'autre
alignement
équatorial,
aussi
fréquent.



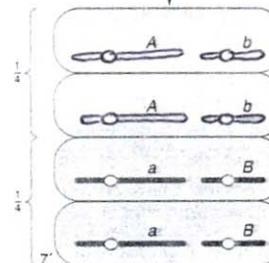
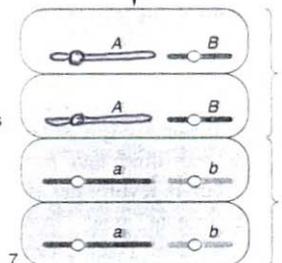
Télophase.
Deux cellules se forment.

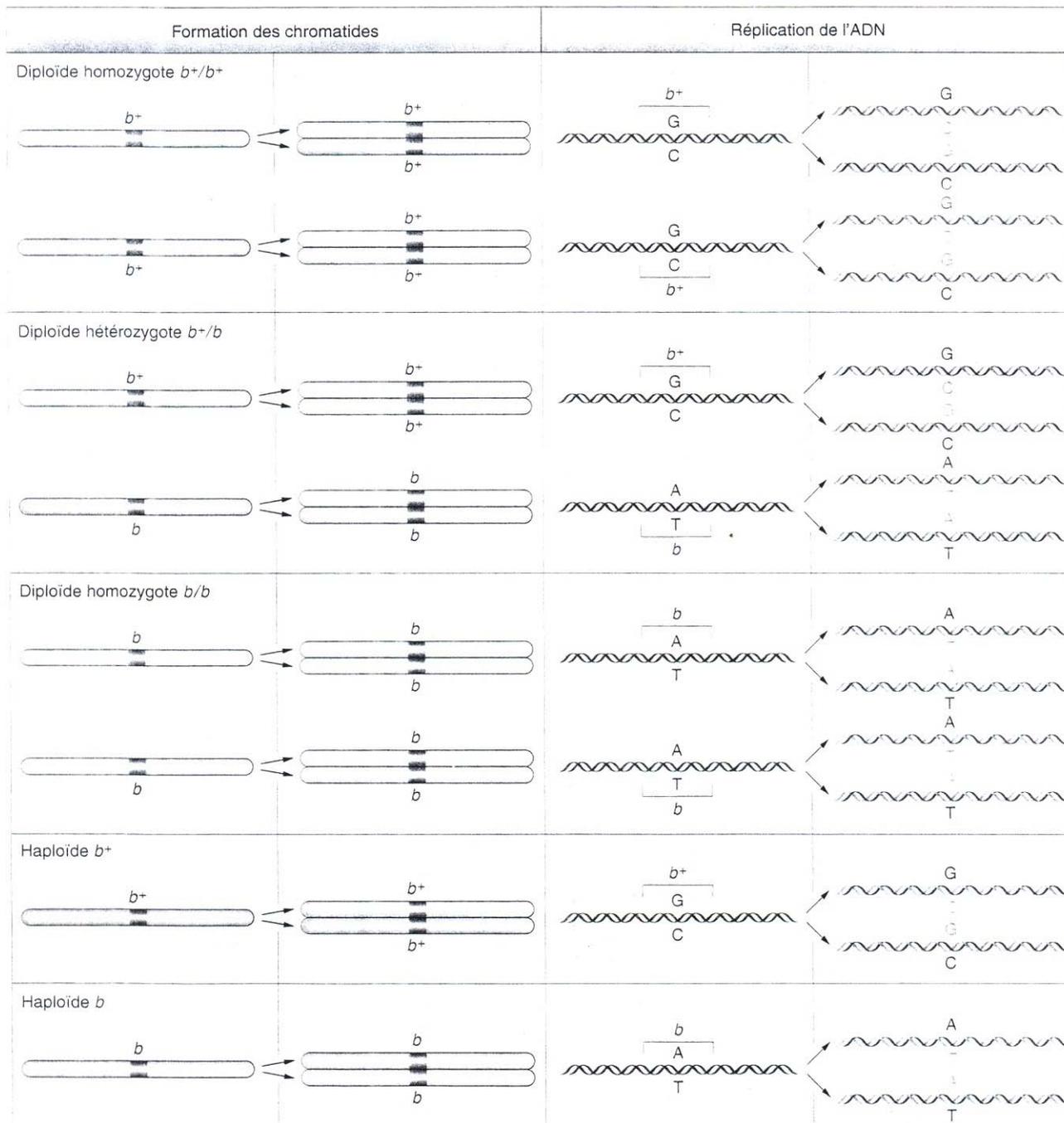


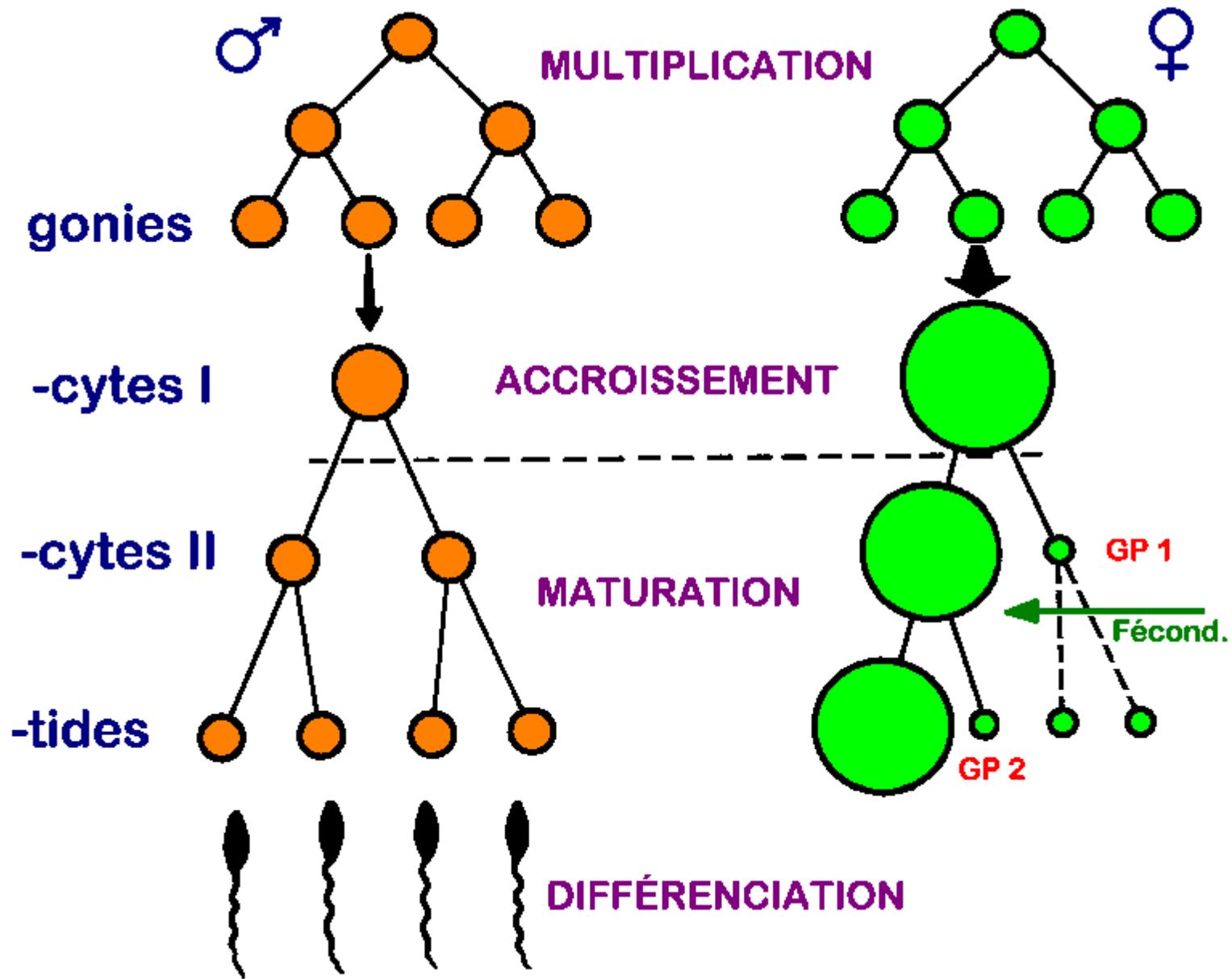
Deuxième anaphase.
De nouveaux fuseaux
se forment et les
centromères se divisent.



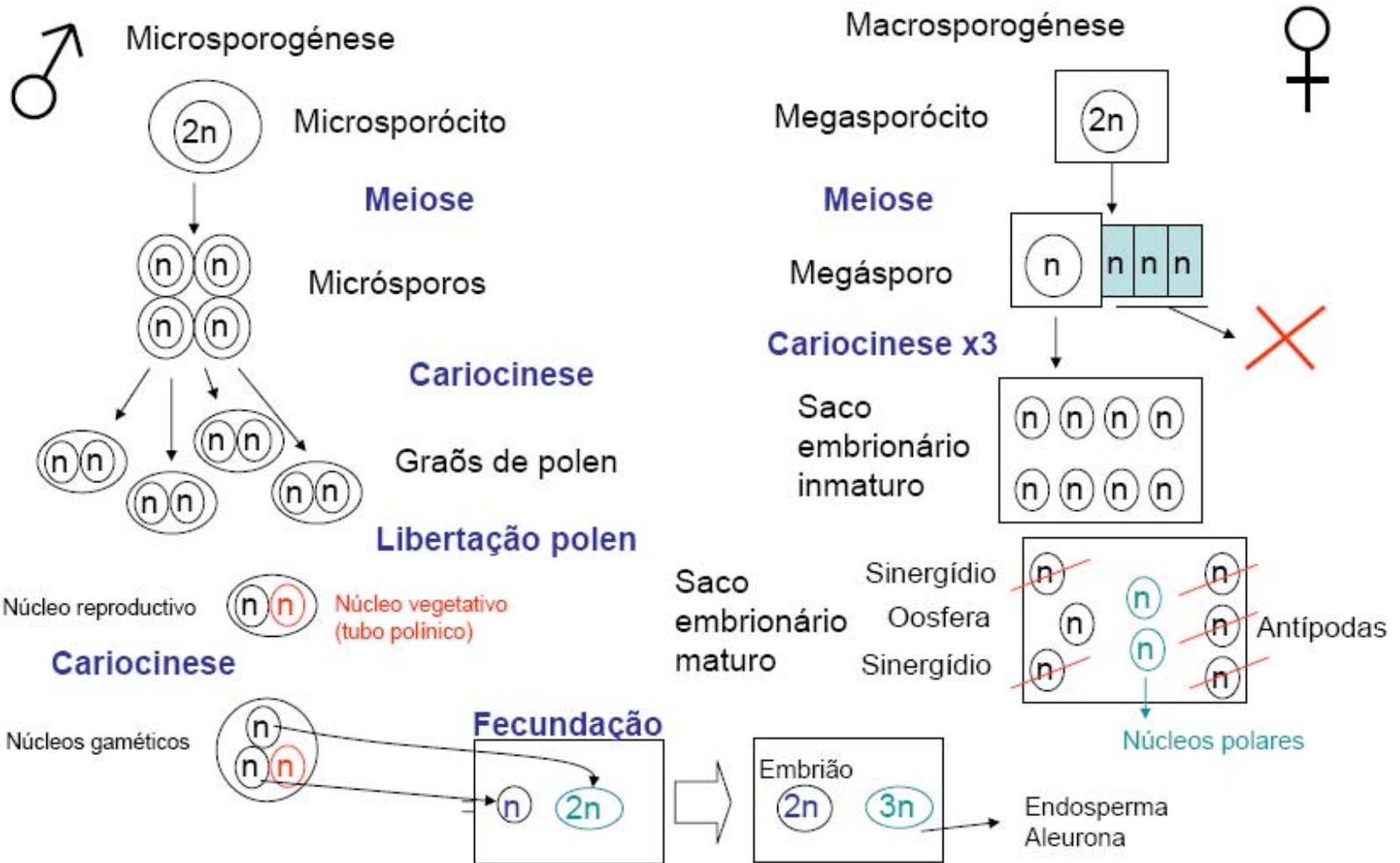
Fin de la méiose.
Quatre cellules produites
par chaque méiose.

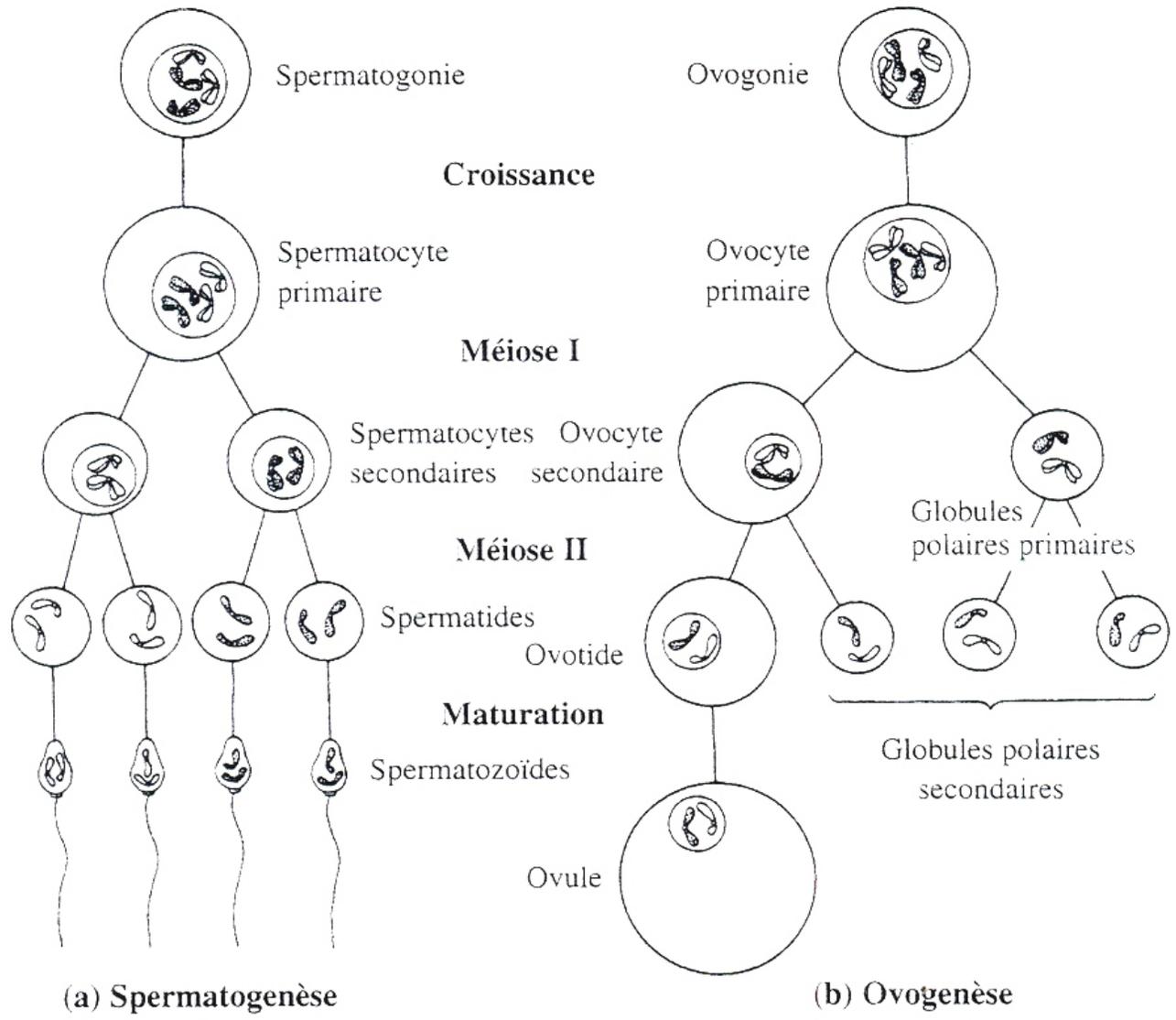


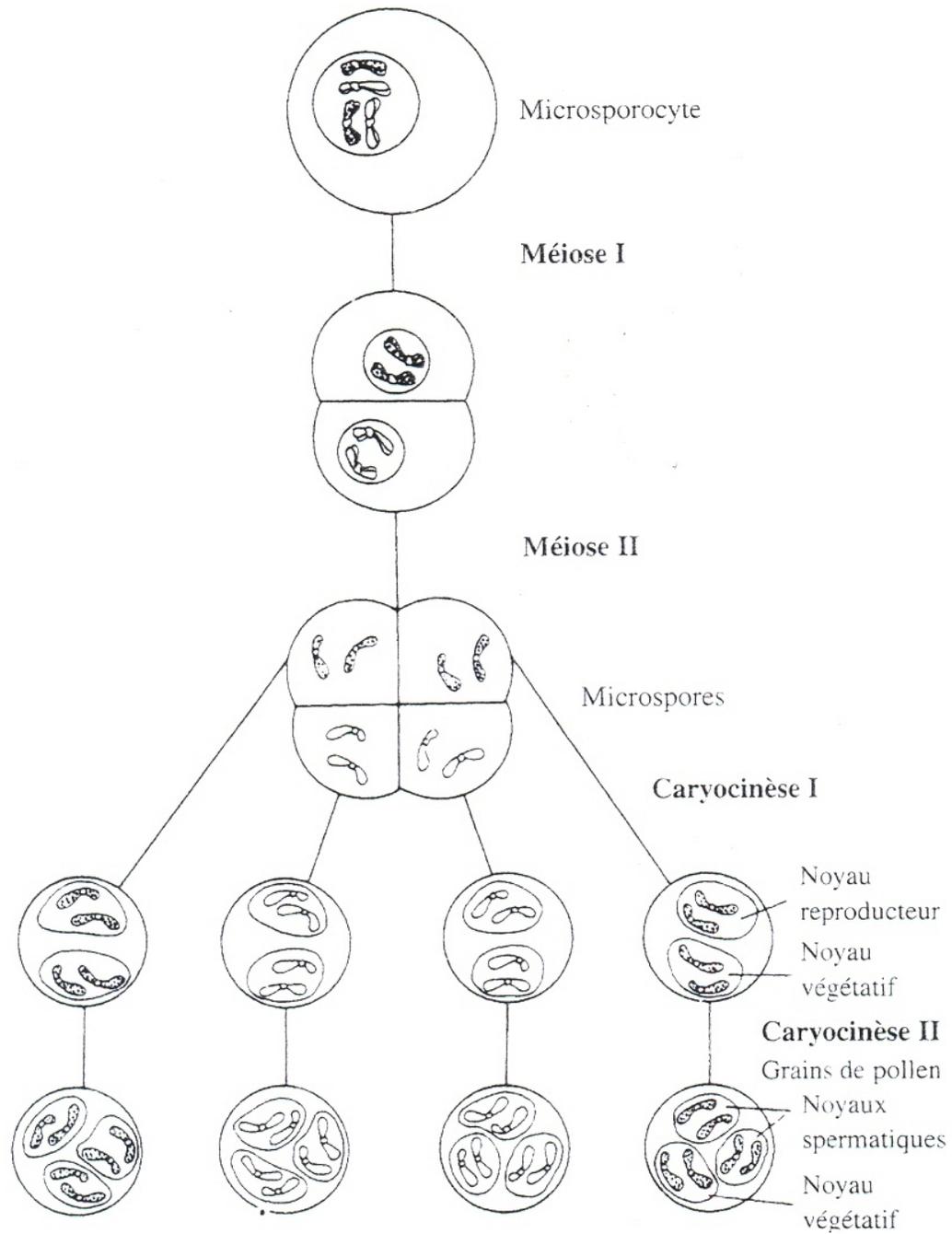


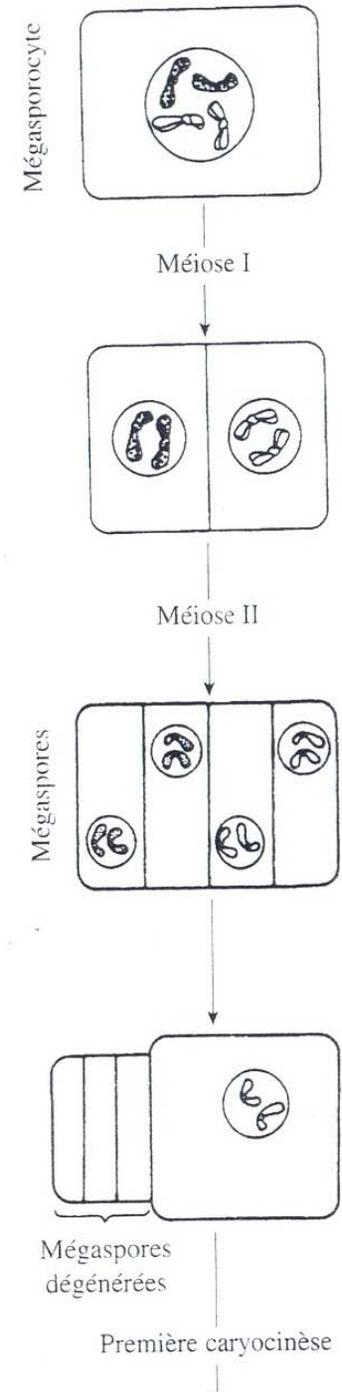
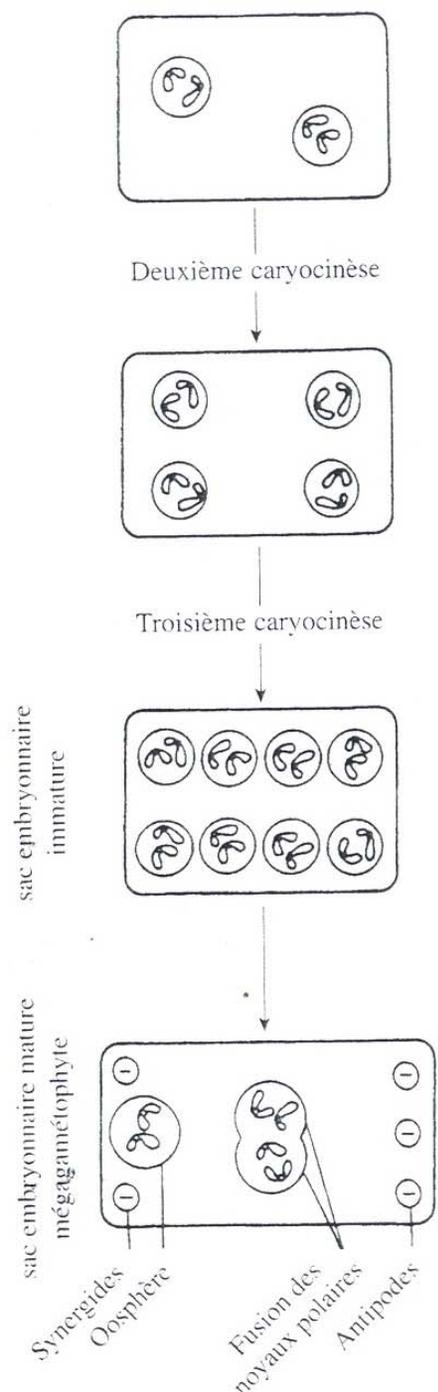


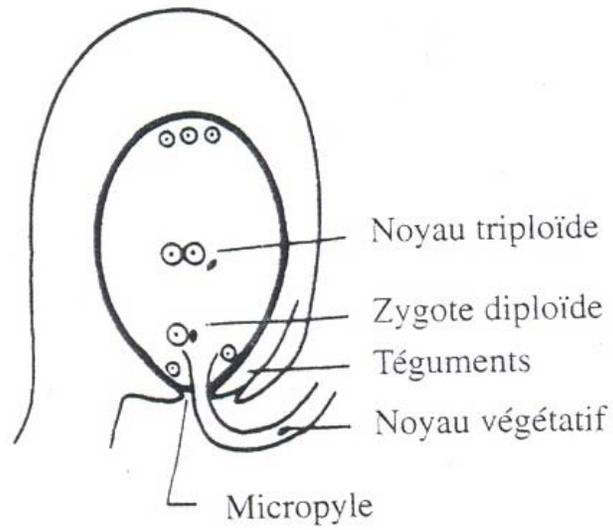
Gametogéneses nas angiospermas (*Zea mays*)



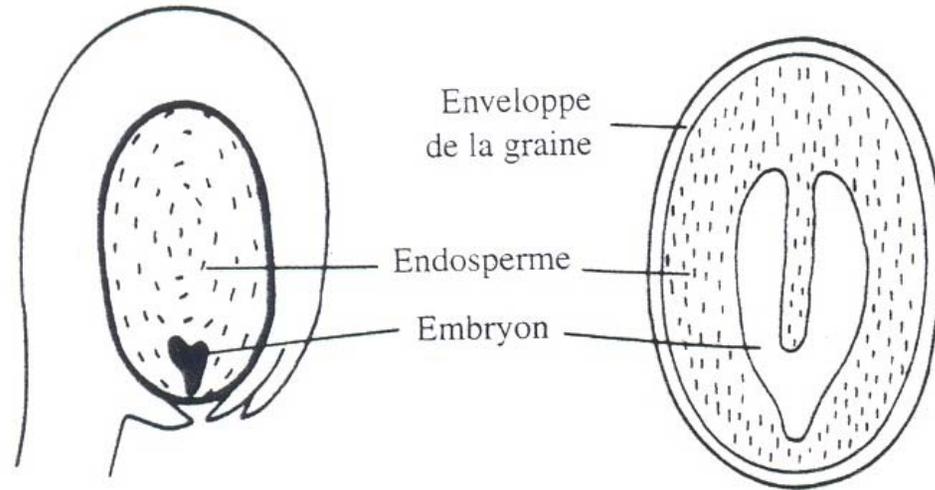








Fécondation



Graine en développement

Graine mature