

Transmission de l'information génétique par la reproduction sexuée

Introduction

Dans la reproduction sexuée, chaque descendant hérite des chromosomes, pour moitié d'origine paternelle et pour moitié d'origine maternelle. Cette reproduction permet aux espèces de se perpétuer en assurant une diversité génétique au sein d'une même espèce.

➤ **Comment la reproduction sexuée assure-t-elle la diversité génétique et le maintien du caryotype au sein d'une même espèce ?**

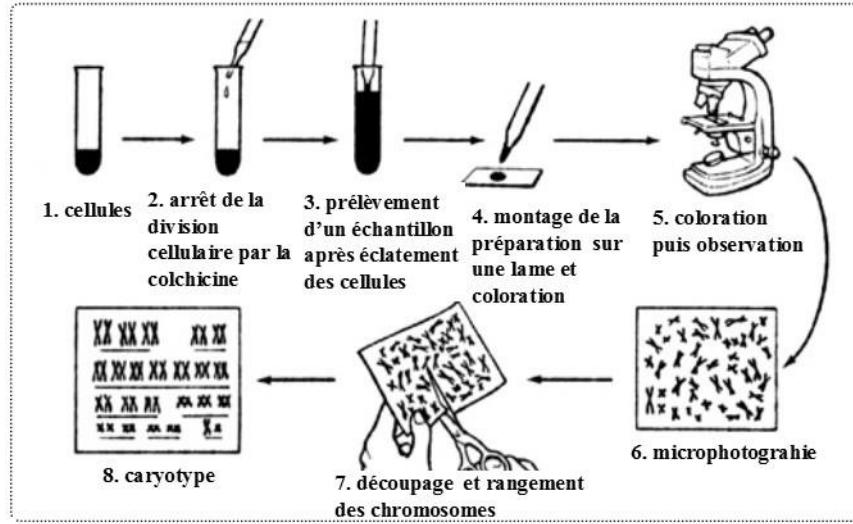
I. La méiose : une réduction du nombre des chromosomes et de la quantité d'ADN

1. Mise en évidence de la réduction du nombre de chromosomes

a. Réalisation d'un caryotype (rappel)

Document 1

Des cellules de la lignée germinale humaine sont prélevées, isolées et mises en culture. Les divisions cellulaires sont bloquées grâce à la colchicine. Un traitement destiné à faire gonfler les cellules permet de bien séparer les chromosomes. Les cellules sont alors étalées sur une lame et colorées puis photographiées; on procède ensuite au découpage et au rangement des chromosomes selon des critères de taille, morphologie... bien déterminés. Les documents obtenus sont des **caryotypes**.



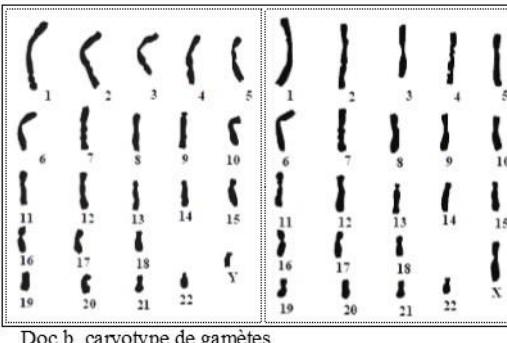
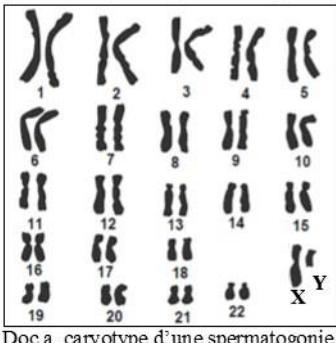
Le caryotype est la représentation photographique ou dessinée de l'ensemble (nombre et forme) des chromosomes présents dans les cellules d'une espèce donnée. Les chromosomes sont classés selon leur longueur et la position de leurs centromères.

b. Caryotypes d'une spermatogonie et d'un spermatocyte II (futur spermatozoïde)

Document 2

Le document ci-dessous vous présente trois caryotypes effectués chez l'homme, le premier (doc a) sur une cellule souche des gamètes appelée spermatogonie, les autres (doc b) sur des gamètes

⇒ Décrivez et comparez les caryotypes de différentes cellules et en donnez les formules chromosomiques.



Doc a. caryotype d'une spermatogonie

Doc b. caryotype de gamètes

La spermatogonie possède 46 chromosomes organisés en paires. Chaque paire de chromosomes homologues (semblables par la taille et la position du centromère) est constituée par un chromosome hérité de l'un des parents et un chromosome hérité de l'autre parent. Elle peut être qualifiée de cellule **diploïde**.

Sa formule chromosomique $2n = 46$ (ou $2n = 44A + XY$)

Les gamètes sont à $n = 23$ chromosomes et sont donc des cellules **haploïdes**.

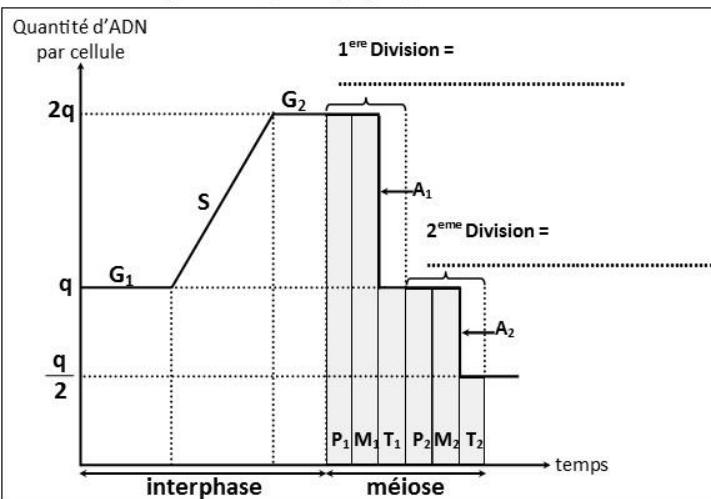
Les formules chromosomiques : $n = 22A + X \quad \square \quad n = 22A + Y$

La gamétogénèse produit donc des cellules haploïdes, les gamètes, à partir de cellules-souches diploïdes : il y a eu réduction du nombre de chromosomes ; on parle de **réduction chromatique**. Cette phase importante de la gamétogénèse permettant le passage de la diploïdie à l'haploïdie s'appelle la **méiose**.

2. Evolution de la quantité d'ADN dans une cellule au cours de la méiose

Document 3

On effectue le dosage de la quantité d'ADN contenue dans le noyau d'une spermatogonie au cours de la méiose. Les résultats obtenus sont représentés par le graphique ci-dessous



Décrivez l'évolution de la quantité d'ADN au cours de la méiose

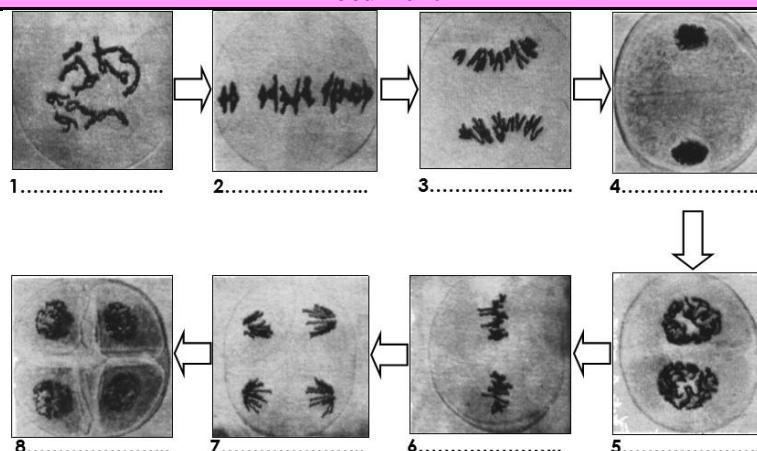
Légende :
Division réductionnelle
Division équationnelle

L'étude de la courbe nous montre plusieurs phases caractéristiques :

- **La phase G₁** qui correspond à la première phase de croissance où la quantité de l'ADN reste constante à q
- **La phase S** qui correspond à la réplication de l'ADN, la quantité d'ADN passe de q à 2q
- **La phase G₂** qui correspond à la deuxième phase de croissance quantité de l'ADN reste constante à 2q
- **La méiose** qui est une succession de deux divisions cellulaires, la première (**division réductionnelle**) fait passer la quantité d'ADN de 2q à q puis la 2ème (**division équationnelle**) permet un passage de la quantité d'ADN de q à q/2

3. Déroulement de la méiose

Document 4

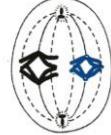
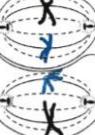
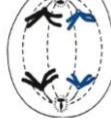
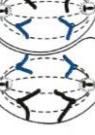
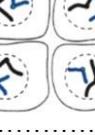


Observez les photographies ci-contre prises lors du déroulement d'une méiose. Ajoutez le nom des étapes. Donnez une définition de la méiose

Légende :
prophase I – métaphase I – anaphase I – télophase I – prophase II – métaphase II – anaphase II – télophase II –

La méiose est une succession de deux division cellulaires, elle se déroule dans les organes sexuels (gonades), elle permet de produire 4 cellules haploïdes (les gamètes) à partir d'une cellule mère diploïde

Document 5

1 ^{ère} division		2 ^{ème} division	
Phases	Description	Phases	Description
	
	
	
	

Décrivez les phases de la méiose

Piège à éviter :

Un chromosome demeure un chromosome, qu'il porte une ou deux chromatides. Le nombre de chromosomes par cellule ne tient pas compte du nombre de chromatides présentes dans ces cellules.

Prophase I :

- ↳ Disparition de l'enveloppe nucléaire
- ↳ Formation du fuseau achromatique
- ↳ Condensation et appariement des chromosomes homologues, formant des bivalents ou tétrades

Métagamète I :

- ↳ Les paires chromosomes homologues sont disposés sur le plan équatorial de la cellule de telle manière que les centromères sont de part et d'autre du plan équatorial

Anaphase I :

- ↳ Séparation et migration des chromosomes homologues vers chacun des pôles de la cellule

Télogamète I :

- ↳ Cytodiérèse (division du cytoplasme) et formation de deux cellules haploïdes (chaque chromosome possède deux chromatides)
- ↳ Disparition du fuseau achromatique
- ↳ Réapparition de l'enveloppe nucléaire

Prophase II :

- ↳ Est courte car les chromosomes sont déjà condensés et répliqués
- ↳ Disparition de l'enveloppe nucléaire
- ↳ Formation du fuseau achromatique

Métagamète II :

- ↳ Les chromosomes s'alignent une nouvelle fois à l'équateur de la cellule

Anaphase II :

- ↳ Les chromatides de chaque chromosome se séparent et se dirigent chacune vers un pôle de la cellule

Télogamète II :

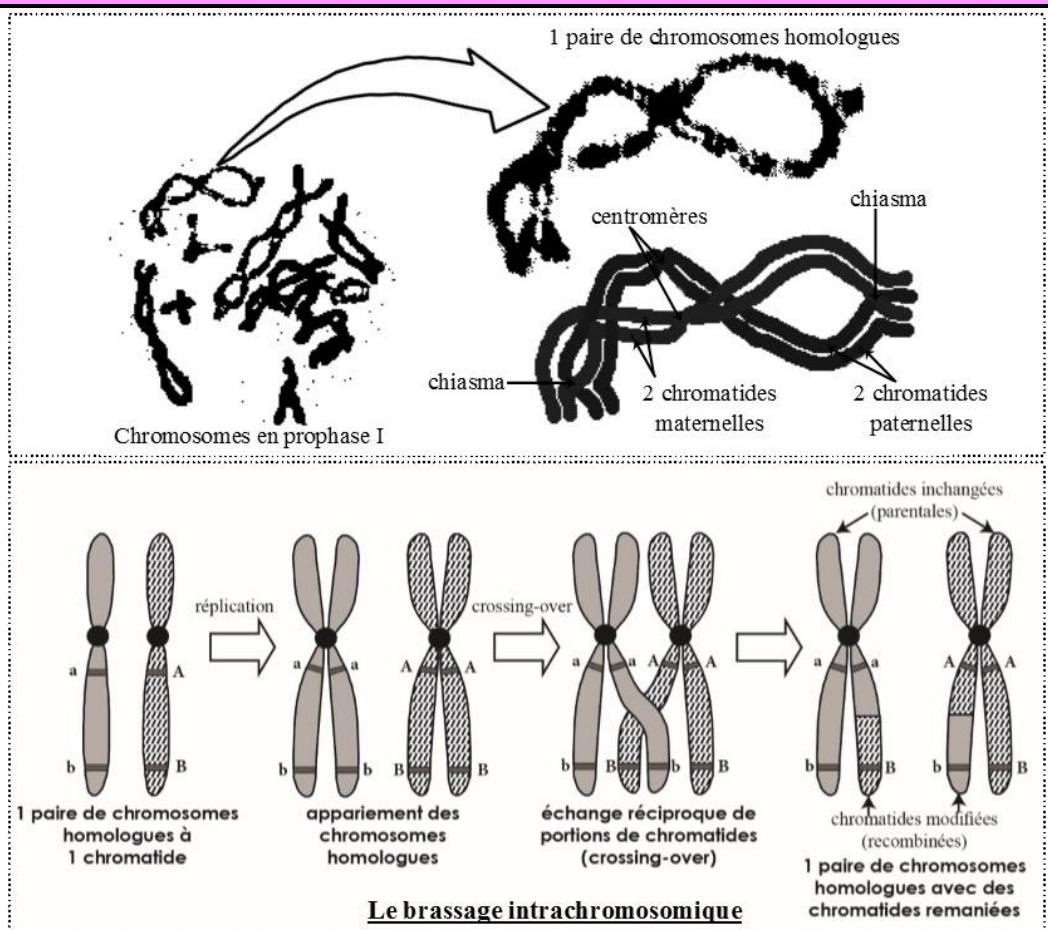
- ↳ Cytodiérèse et formation de 4 cellules haploïdes
- ↳ Reformation de l'enveloppe nucléaire
- ↳ Disparition du fuseau achromatique

II. Le rôle de la méiose et de la fécondation dans le brassage allélique

1. La méiose à l'origine de la diversité génétique des gamètes

a. Le brassage intrachromosomique

Document 6



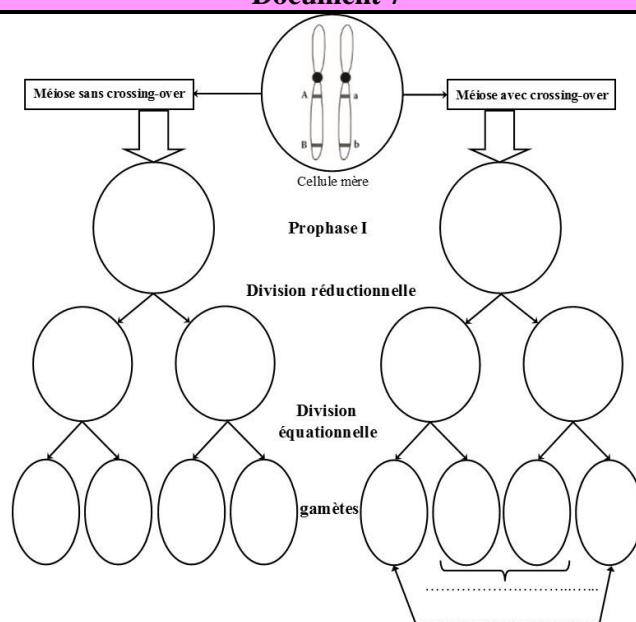
Photographie de paires de chromosomes en prophase I de la méiose.

Dans des cellules en prophase I de méiose, on observe les chromosomes homologues étroitement appariés : leurs chromatides s'enchevêtrent et forment des figures (en forme de X) appelées **chiasmas**.

Au niveau des chiasmas, des échanges de fragments de chromatides peuvent se produire entre chromosomes homologues : c'est le phénomène de **crossing-over** (ou enjambement). De nouvelles combinaisons d'allèles apparaissent alors sur les chromatides remaniés : on parle de **brassage intrachromosomique**

Remarque : les crossing-over se produisent au cours de toutes les méioses sauf chez la drosophile mâle

Document 7



1. Schématissez le comportement des allèles au cours de la méiose en présence et en absence de crossing-over (complétez le document ci-dessous)

2. Que pouvez-vous déduire

Légende :
Gamètes parentaux
Gamètes recombinés

En absence de CO on obtient deux types de gamètes :

- Des gamètes portants les allèles AB
- " " " " " ab

En présence de CO on obtient quatre types de gamètes

- Des gamètes portants les allèles AB
- " " " " " ab
- Des gamètes portants les allèles Ab
- " " " " " aB

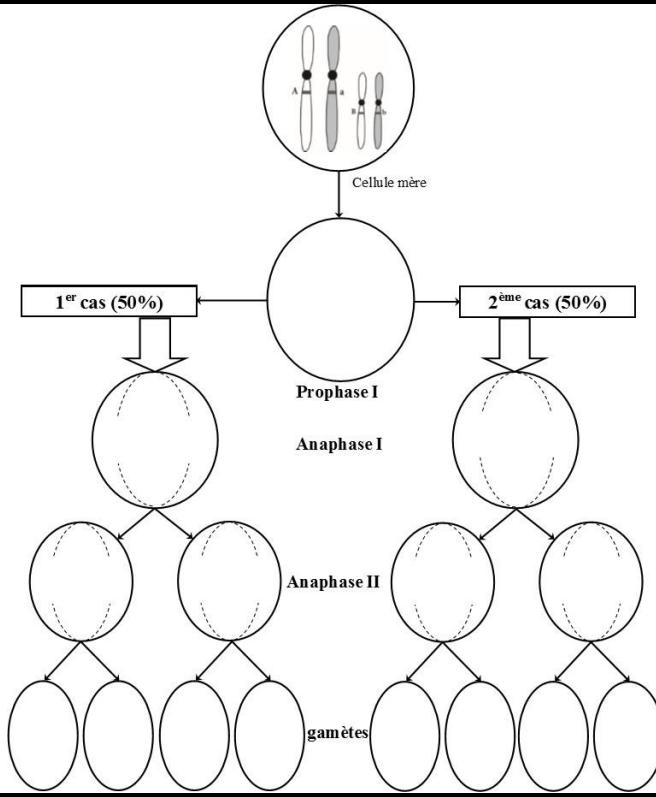
(Les 4 types de gamètes ont des proportions non égales : gamètes parentaux en proportion majoritaire, gamètes recombinés en proportion minoritaire)

Le phénomène de crossing-over augmente la diversité génétique des gamètes

Les C.O créent de nouvelles combinaisons des allèles des **gènes d'un même chromosome**. Pour les gènes sur des chromosomes différents, d'autres processus produisent de nouvelles combinaisons alléliques

b. Le brassage interchromosomique

Document 8



1. Schématissez le comportement des allèles au cours de la méiose (complétez le document ci-dessous)
2. Que pouvez-vous déduire

Lors de l'anaphase I de la méiose, chaque chromosome d'une paire de chromosomes homologues peut migrer aléatoirement et de façon indépendante pour chaque paire, vers l'un ou l'autre pôle de la cellule. Il y a ainsi un brassage des chromosomes homologues dans les cellules filles : on parle de **brassage interchromosomique**

Pour 2 paires de chromosomes on obtient 4 types équiprobables (25%) de gamètes (AB), (ab), (Ab), (aB)

Ainsi, par brassage interchromosomique, n paires de chromosomes homologues conduisent à 2^n génotypes de gamètes différents

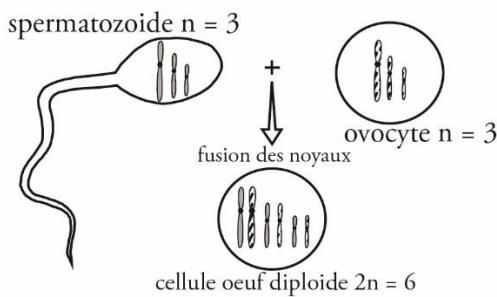
(L'Homme possède 23 paires de chromosomes ce qui donne 2^{23} combinaisons de gamètes en considérant uniquement le brassage interchromosomique)

Remarque : les deux brassages s'ajoutent, en effet le brassage interchromosomique s'exerce sur des chromosomes remaniés au préalable par le brassage intrachromosomique ce qui aboutit à la formation de gamètes d'une diversité potentiellement infinie.

Le brassage génétique réalisé durant la méiose produit une grande diversité de gamètes. Lors de la fécondation, les matériaux génétiques haploïdes de deux gamètes s'associent pour constituer le matériel génétique diploïde du zygote.
Quelles sont les conséquences de la fécondation sur la diversité génétique ?

- 2. Les conséquences génétiques de la fécondation :**
- a. La fécondation permet de reconstituer la diploïdie :**

Document 9

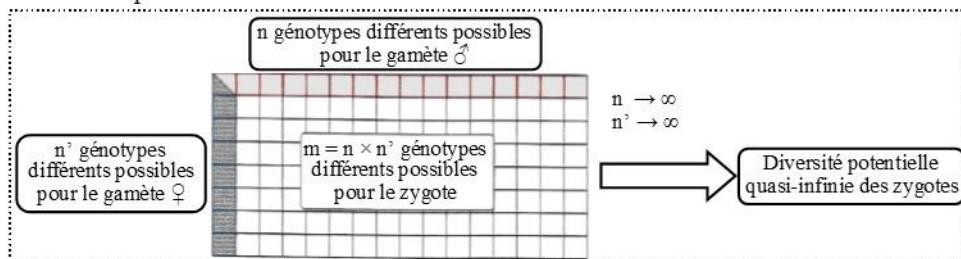


Au cours de la fécondation, un gamète mâle et un gamète femelle haploïdes s'unissent : leur fusion conduit à un zygote ou cellule-œuf diploïde : **la fécondation établit la diploïdie dans la cellule-œuf**

- b. La fécondation amplifie le brassage allélique dû à la méiose.**

Document 10

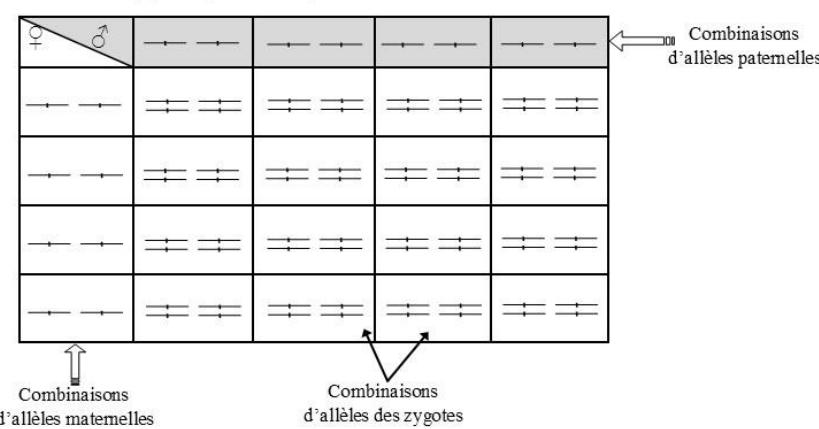
La rencontre entre les gamètes mâle et femelle étant aléatoire, le matériel génétique du zygote est issu de l'union des matériaux génétiques de deux gamètes tirés au sort parmi une quasi-infinité de gamètes possibles possédant chacun une combinaison d'allèles inédite pour les différents gènes du génome. Le zygote possède également une combinaison d'allèle inédite, ce qui participe à la diversité génétique des individus au sein de l'espèce.



La réunion aléatoire des gamètes au cours de la fécondation multiplie la diversité des zygotes possibles, donc la **diversité des individus**.

Document 11

On s'intéresse à la diversité des génotypes des descendants de deux parents. On considère deux couples d'allèles (A, a) et (B, b) situés sur deux paires différentes de chromosomes. Les deux parents sont hétérozygotes ($A/a, B/b$).



Application :

Montrez (à l'aide d'un échiquier de croisement) comment le brassage génétique au cours de la méiose et de la fécondation permet d'obtenir une diversité des génotypes des descendants du couple.

Les deux gènes étudiés sont indépendants, ils seront donc soumis à un brassage interchromosomique lors de la méiose. Les parents peuvent former chacun 4 types de gamètes différents : $A/B/ ; A/b/ ; a/B/ ; a/b/$

L'échiquier de croisement (doc.11) permet d'illustrer la diversité des génotypes des descendants des deux parents de même génotype : 9 génotypes sont susceptibles d'apparaître dans la descendance.

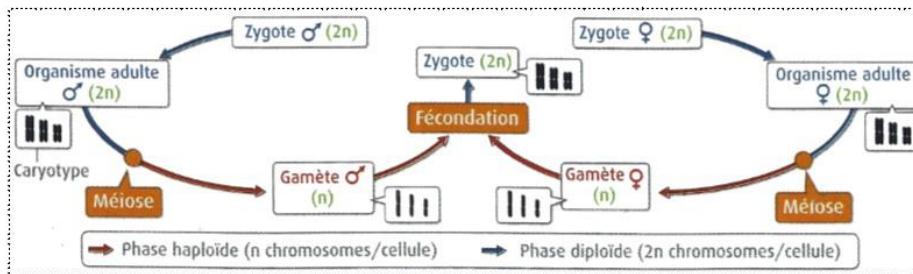
3. Le rôle de la méiose et de la fécondation dans la stabilité du matériel héréditaire d'une espèce.

Document 12

Pour montrer le rôle de la méiose et de la fécondation dans la stabilité du matériel héréditaire d'une espèce on propose les figures ci-dessous.

Espèces	Nombre de chromosomes des cellules somatiques	Nombre de chromosomes des gamètes
Homme	46	23
Chien	78	39
Chat	38	19
Poule	78	39
Ver de terre	36	18
Drosophile	8	4

▲ figure 1: le nombre de chromosomes présents chez différentes espèces d'animaux. Les cellules germinales sont les gamètes (spermatozoïdes et ovocytes) ainsi que les cellules qui leur donnent naissance. Les autres cellules de l'organisme sont qualifiées de cellules somatiques.



▲ figure 2: le cycle de développement d'une espèce animale (enchaînement des phases de la vie des êtres vivants jusqu'à leur reproduction)

Le caryotype des cellules somatiques et des gamètes est maintenu stable d'une génération à une autre. Cette stabilité du caryotype au fil des générations est assurée par l'alternance, au cours du cycle de développement, de deux processus biologiques complémentaires : la méiose permet de passer de la phase diploïde à la phase haploïde, alors que la fécondation permet de passer de phase haploïde à la phase diploïde.

La durée et la disposition de ces deux phases permet de différencier entre 3 cycles de développement : cycle haplodiplophasique, cycle diplophasique et cycle haplophasique

III. Cycles de développement et cycles chromosomiques

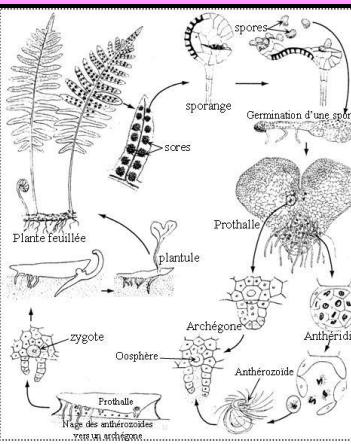
1. Cycle de développement haplodiplophasique

Document 13

Polypode vulgaire (*Polypodium vulgare*) est une plante sans fleurs qui possède un rhizome et des feuilles lobées. Vers la fin du printemps, des amas jaunes, les sores, apparaissent sur la face inférieure des feuilles. Un sore est un groupe de sporange où se fait un phénomène qui aboutit à la formation des spores haploïdes. À maturité, le sporange se dessèche et sa paroi se déchire ce qui permet la dissémination des spores.

Dans un milieu humide et favorable, les spores germent se divisent par mitoses puis forment un organisme discret et chlorophyllien, appelé prothalle. À maturité, le prothalle forme à sa face inférieure des organes reproducteurs mâles et femelles, respectivement les anthérozoïdes et les archégones produisant les gamètes mâles (anthérozoïdes) et les archégones produisant le gamète femelle (oosphère) (le prothalle est monoïque = les deux sexes sont portés par le même individu).

En présence d'une gouttelette d'eau, les anthérozoïdes nagent puis pénètrent dans le col de l'archégone et s'unissent à l'oosphère. La cellule résultante se multiplie par mitoses et forme un embryon qui se développe en une nouvelle plante feuillée.



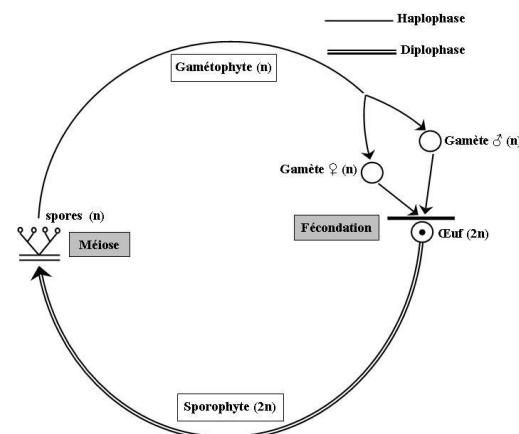
En vous aidant des 2 figures, montrez comment la stabilité du caryotype d'une espèce est assurée au fil des générations

(représentez par des couleurs différentes la phase haploïde et la phase diploïde)

- La plante feuillée représente un **sporophyte** = individu qui produit des spores.
(Les spores sont des cellules qui participent au cycle reproducteur sans fusionner)
 - Le prothalle représente un **gamétophyte** = individu qui produit des gamètes.
(Les gamètes sont des cellules capables de fusionner pour former un œuf ou zygote)
- Le phénomène qui s'effectue au niveau des sporanges est la **méiose**, car les cellules mères diploïdes donnent des cellules haploïdes.
 - Le phénomène qui s'effectue au niveau des sporanges est la **fécondation**, car il y a la fusion des deux gamètes mâle et femelle.

3. le cycle chromosomique :

Ce cycle est **haplodiplophasique**, car il y a alternance de deux phases, une phase haploïde représentée le gamétophyte (prothalle) et une phase diploïde représentée par le sporophyte (plante feuillée).

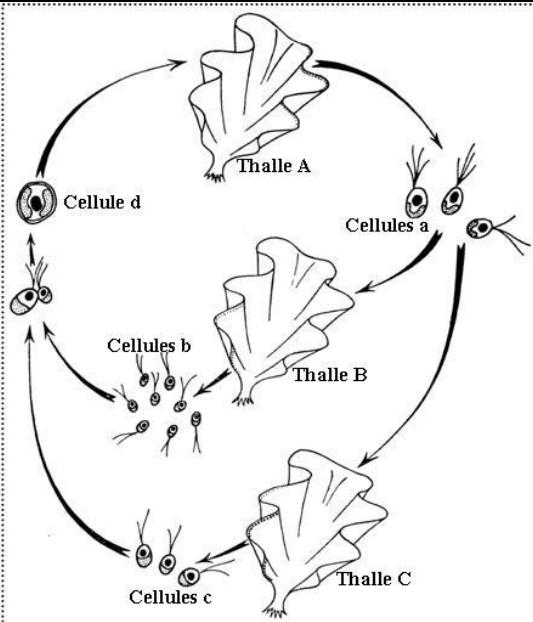


Exercice

La laitue de mer, ou ulve, est une algue verte très courante dans les zones de balancement des marées. Elle se présente sous forme de trois types de thalles morphologiquement identiques:

À maturité sexuelle, le thalle (A) présente des sporocystes où des mères diploïdes donnent naissance à des cellules haploïdes mobiles (a). Leur germination donnera des thalles (B), libérant les cellules flagellées (b) de petites tailles, et des thalles (C), libérant les cellules flagellées (c) de grandes tailles.

Les cellules b et c nagent et s'unissent. Il en résulte une cellule (d) se fixant au substrat et formant par mitoses un thalle (A)

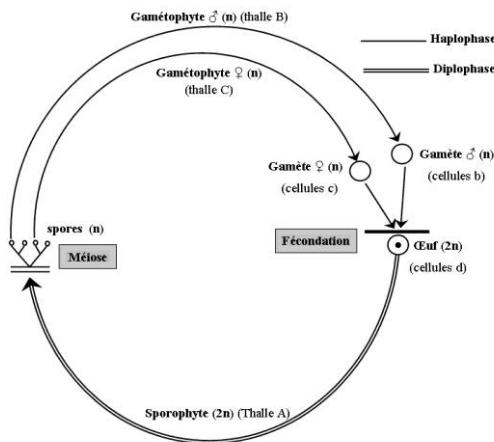


1. Que représente les cellules a, b, c et d ainsi que les thalles A, B et C
2. Déterminez, en justifiant votre réponse, le phénomène biologique qui s'effectue au niveau du thalle A
3. Représentez schématiquement le cycle chromosomique de cette algue et déterminez le type de ce cycle.

1. ► les **cellules a** : spores haploïdes, car ils germent pour donner un thalle
► Les **cellules b** : gamètes males, cellules mobiles de petites tailles et fusionnent avec les cellules c
► Les **cellules c** : gamètes femelles, cellules mobiles de grandes tailles et fusionnent avec les cellules b
► Les **cellules d** : œuf ou zygote, car c'est le résultat de l'union de deux gamètes mâle et femelle
► le **thalle A** : sporophyte. Car c'est un individu qui libère des spores (cellules a),
► Le **thalle B** : gamétophyte male, Car c'est un individu qui libère des gamètes males (cellules b)
► Le **thalle C** : gamétophyte femelle, Car c'est un individu qui libère des gamètes femelles (cellules c)
2. Le phénomène qui s'effectue au niveau du thalle A est la **méiose**, car les cellules mères diploïdes donnent des spores haploïdes.

3. cycle chromosomique :

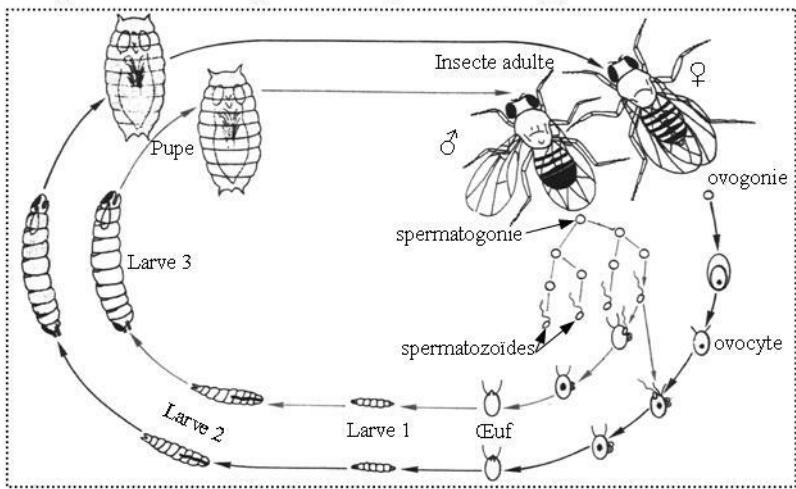
Ce cycle est **haplodiplophasique**, car il y a alternance de deux phases, une phase haploïde représentée les gamétophytes ♂ (thalle B) et ♀ (thalle C). et une phase diploïde représentée par le sporophyte (thalle A).



2. Le cycle de développement diplophasique

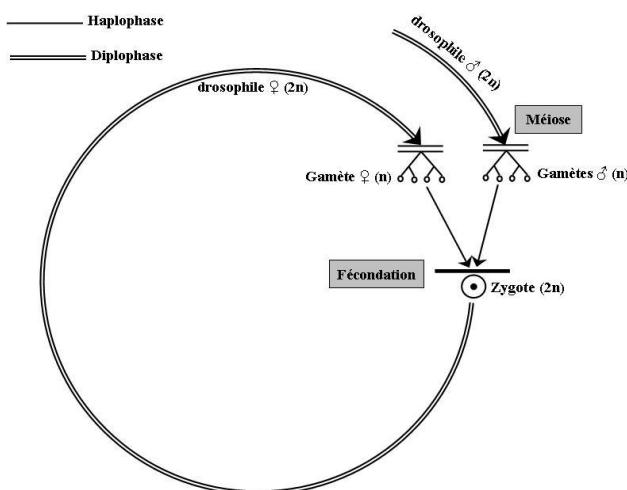
Document 14

Drosophila melanogaster est un insecte diptère plus communément connu sous le nom de mouche du vinaigre. La figure ci-dessous représente le cycle de développement de cette mouche.



1. Représentez schématiquement le cycle chromosomique de drosophile et qualifiez-le.

1. Le cycle chromosomique de drosophile



Ce cycle est **diplophasique**. Seul les gamètes sont haploïdes (n). La fécondation suit immédiatement la réduction chromatique (phase haploïde courte)

Exercice

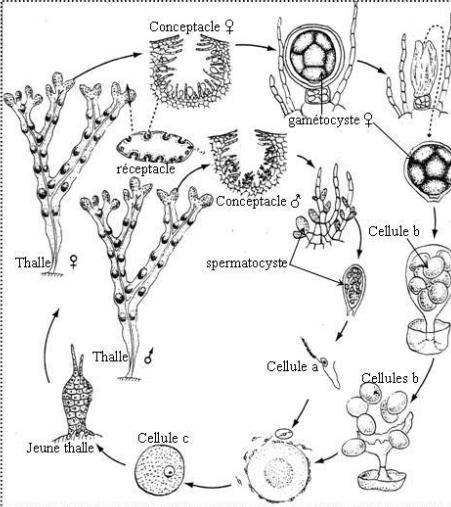
Fucus vesiculosus est une algue brune marine qui porte des vésicules renflées et gonflées d'air (flotteurs).

Les thalles sont renflés à leur extrémité en un réceptacle sur lequel sont différenciés les conceptacles, cavités qui renferment les organes de la reproduction sexuée.

Dans les conceptacles mâles, les spermatoctyes sont formés latéralement sur des touffes de poils ramifiés. La cellule mère du spermatoctye contient un noyau diploïde et donne 64 cellules (a) mobiles.

Dans les conceptacles femelles, se forment des gamétocytes femelles contenant des cellules diploïdes qui donne 8 cellules (b) immobiles et de grandes tailles.

Les cellules (a) sont attirées par chimiotactisme vers les cellules (b) et fusionnent avec eux pour donner les cellules (c) qui tombent au fond de l'eau et germent en donnant un nouveau thalle.



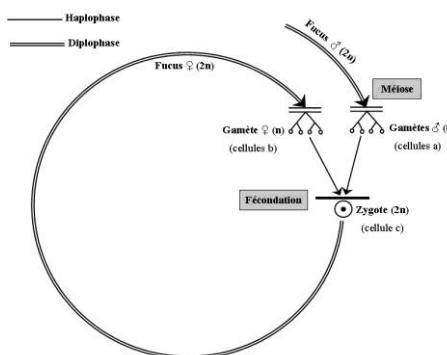
1. À partir des données précédentes, **déterminez** la formule chromosomique des cellules a, b et c puis **déduisez** le rôle de la méiose et de la fécondation dans le maintien de la formule chromosomique chez cette algue.

2. **Représentez** schématiquement le cycle chromosomique de cette algue et **qualifiez** le.

- 1.► Les **cellules a** : haploïdes, ce sont des gamètes mâles issus de la méiose
- Les **cellules b** : haploïdes, ce sont des gamètes femelles issus de la méiose
- La **cellule c** : diploïde, c'est un zygote issu de la fécondation

La stabilité de la formule chromosomique est assurée par l'alternance, au cours du cycle de développement, de deux processus biologiques complémentaires : la **méiose** qui permet de passer de la phase diploïde à la phase haploïde (réduction de la formule chromosomique), et la **fécondation** qui assure un rétablissement de la diploïdie.

2. cycle chromosomique :



Ce cycle est **diplophasique**, Seul les gamètes sont haploïdes (n). La fécondation suit immédiatement la réduction chromatique.

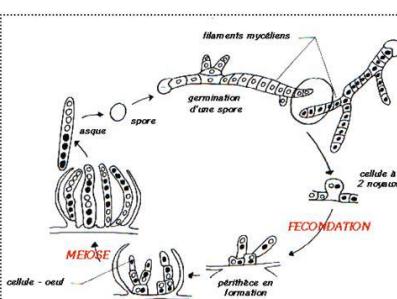
3. Le cycle de développement haplophasique

Document 15

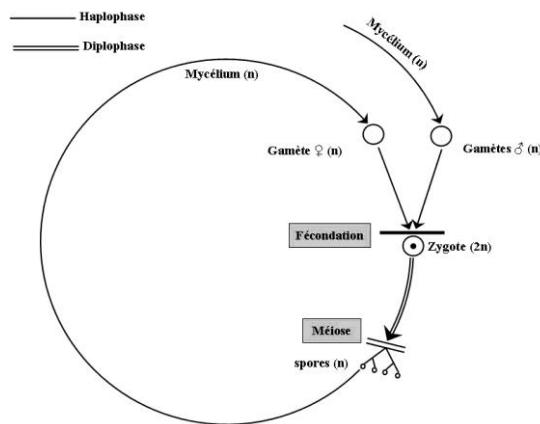
Sordaria est un champignon **ascomycète**, c'est-à-dire que ses spores se forment dans des structures appelées asques.

A partir d'une spore se forment des filaments mycéliens. Ce sont des cellules disposées en fil, qui forment l'appareil végétatif. Les filaments mycéliens se forment par mitoses successives. Lorsque deux filaments, issus de deux asques différents, se rencontrent, les 2 cellules aux deux extrémités des 2 filaments fusionnent et cela produit une cellule à deux noyaux. Ces cellules se multiplient pour former un périthe (enveloppe protégeant les asques). Puis, dans le périthe, les deux noyaux fusionnent avec une mise en commun du matériel chromosomique : c'est la formation d'une cellule-œuf diploïde, à partir de laquelle vont se former 4 spores haploïdes par méiose. Ces spores subissent ensuite une mitose. On obtient alors 8 spores entourées d'une membrane en forme de tube: l'asque.

Une fois libérées et placées dans des conditions favorables, les spores germent et donnent naissance à des filaments mycéliens.



1. **Représentez** schématiquement le cycle chromosomique de *sordaria* et **qualifiez** le.

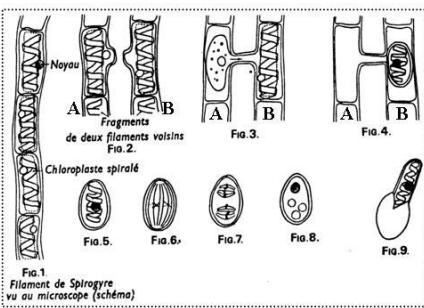


Ce cycle est **haplophasique**. Seul le zygote est diploïde ($2n$). La réduction chromatique suit immédiatement la fécondation (phase haploïde longue)

Exercice

La Spirogyre est une algue verte filamentuse d'eau douce. Les filaments sont constitués de cellules dont chacune contient un chloroplaste spiralé, un noyau et une grande vacuole centrale (fig.1). Quand les conditions de vie sont bonnes, les filaments se brisent et chaque fragment donne naissance à un nouvel individu. Il s'agit alors du phénomène de multiplication végétative.

Quand les conditions sont mauvaises, la spirogyre se reproduit de la façon suivante: deux cellules de deux filaments parallèles souvent poussent l'une vers l'autre une saillie (fig.2) et arrivent en contact. Leur sommet s'ouvre. Le contenu, contacté et arrondi d'une cellule passe dans l'autre (fig.3) et se fusionne avec elle (fig.4).



La cellule unique, résultante de cette union, s'entoure d'une épaisse membrane et se détache (fig.5). Quand les conditions redeviennent favorables, elle germe en subissant la méiose. Trois des quatre noyaux formés dégénèrent; le quatrième redonne un filament de spirogyre par des mitoses (fig 8 et 9).

1. Que représentent les filaments A et B de la figure 2.
2. Nommez les phénomènes représentés par les figures 4 et 7
3. Représentez schématiquement le cycle chromosomique de cette algue et qualifiez le.

Conclusion :

La méiose permet, lorsqu'elle est associée à la fécondation, le maintien au fil des générations du caryotype propre à l'espèce. Toutefois, des anomalies peuvent survenir au cours de son déroulement ($\Rightarrow \Rightarrow$ cours génétique humaine)



Table des matières

I.	La méiose : une réduction du nombre des chromosomes et de la quantité d'ADN.....	1
1.	Mise en évidence de la réduction du nombre de chromosomes	1
a.	Réalisation d'un caryotype (rappel).....	1
b.	Caryotypes d'une spermatogonie et d'un spermatocyte II (futur spermatozoïde)	1
2.	Evolution de la quantité d'ADN dans une cellule au cours de la méiose	2
3.	Déroulement de la méiose.....	2
II.	Le rôle de la méiose et de la fécondation dans le brassage allélique.....	4
1.	La méiose à l'origine de la diversité génétique des gamètes.....	4
a.	Le brassage intrachromosomique.....	4
b.	Le brassage interchromosomique	5
2.	Les conséquences génétiques de la fécondation :	6
a.	La fécondation permet de reconstituer la diploïdie :	6
b.	La fécondation amplifie le brassage allélique dû à la méiose.....	6
3.	Le rôle de la méiose et de la fécondation dans la stabilité du matériel héréditaire d'une espèce.	7
III.	Cycles de développement et cycles chromosomiques	7
1.	Cycle de développement haplodiplophasique	7
2.	Le cycle de développement diplophasique	9
3.	Le cycle de développement haplophasique	10