Thème IA1 – Méiose, brassage génétique et diversité des génomes

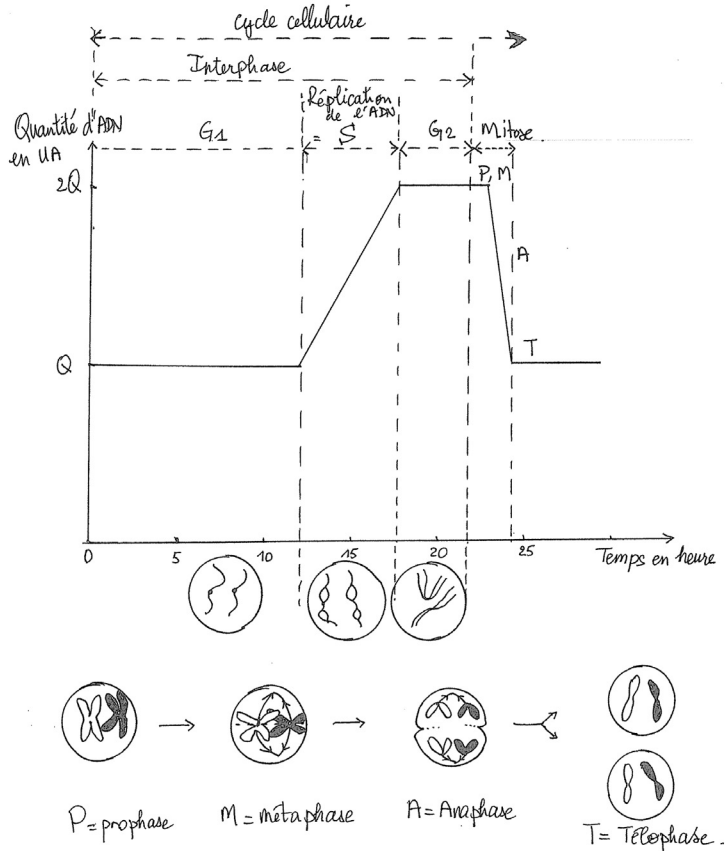
► **PROBLÉMATIQUE : Comment la reproduction sexuée assure-t-elle à la fois la stabilité d'une espèce et la diversité des individus qui la composent ?**

RAPPELS :

Origine de la diversité d'une espèce

La **mitose** est une division cellulaire qui se déroule en quatre phases : **prophase, métaphase, anaphase et télophase**. Au cours de l'interphase d'un cycle cellulaire, l'ADN subit une **réplication semi-conservative** qui permet de répliquer à l'identique la séquence nucléotidique de chaque chromosome. *Fig. 1.* Mais des erreurs aléatoires peuvent apparaître lors de la copie de l'ADN : si elles ne sont pas réparées et n'empêchent pas la survie de la cellule, ces **mutations** génèrent de nouvelles versions des gènes, les **allèles**. Celles-ci peuvent-être à l'origine de l'apparition de nouveaux caractères au fil des générations, ce qui assure une certaine diversité génétique au sein d'une espèce ou **diversité allélique**.

FIG. 1 : Graphique représentant l'évolution de la quantité d'ADN en fonction du temps au cours d'un cycle cellulaire.



Chapitre 1 : Méiose, fécondation et stabilité de l'espèce

1. Cycle biologique et reproduction sexuée

La reproduction **biparentale sexuée** fait intervenir deux parents génétiquement différents.
Le développement d'une **espèce** se caractérise par une variation cyclique du nombre de chromosomes qui est la conséquence de la **méiose** et de la **fécondation**. La méiose entraîne une **réduction chromatique**, c'est-à-dire la division par 2 du nombre de chromosomes c'est-à-dire le passage de la phase diploïde à la phase haploïde. Elle permet de passer d'une **cellule 2n**, **diploïdes,** à quatre **cellules n**, **haploïdes**. *Fig. 2*

La fécondation permet de rassembler deux **gamètes** parentaux haploïdes (n) pour former une cellule diploïde (2n) appelée **cellule-œuf** ou **zygote**.

2. Méiose et réduction chromatique *Fig.3a et b*

La méiose permet de passer d'une cellule diploïde 2n à 4 cellules haploïdes n. La méiose est constituée **de 2 divisions successives** précédées d'une **seule réplication** de l'ADN (phase S). Chacune des 2 divisions de méiose est constituée de 4 phases : **prophase**, **métaphase**, **anaphase**, **télophase**.

La 1re division de méiose est la **division réductionnelle**. Elle permet de passer d'une cellule à 2n chromosomes répliqués (à **2 chromatides**) à 2 cellules à n chromosomes répliqués (à 2 chromatides) grâce à **l'anaphase 1**.	
Prophase 1	• **Condensation** des chromosomes répliqués (à 2 chromatides). • **Appariement** des **chromosomes homologues** répliqués formant des **bivalents** (1 bivalent = 2 chromosomes répliqués d'une paire).
Métaphase 1	• Disposition des bivalents à l'équateur de la cellule grâce au fuseau de division. Chaque centromère des chromosomes homologues est situé de part-et d'autre du plan équatorial.
Anaphase 1	• Disjonction des chromosomes homologues qui restent répliqués et migration polaire : passage 2n → n
Télophase 1	• Division de la cellule en **2 cellules haploïdes (à 2 chromatides)**.
La 2e division de méiose est la **division équationnelle**. Elle permet de passer de 2 cellules à n chromosomes (à **2 chromatides**) à 4 cellules à n chromosomes non répliqués (à **1 chromatide**).	
Métaphase 2	Tous les centromères sont positionnés sur la plaque équatoriale.
Pendant **l'anaphase 2**	Le centromère de chaque chromosome à 2 chromatides se casse et les 2 chromatides migrent vers les pôles opposés.
Fin de méiose ou **télophase 2**	Les **gamètes** obtenus ne contiennent plus qu'un seul chromosome à 1 chromatide de chaque paire d'homologues de la cellule initiale.

3. Fécondation et caryogamie

La **fécondation** permet de réunir deux gamètes haploïdes n (n chromosomes à 1 chromatide chacun) pour former la **cellule-œuf diploïde 2n** chromosomes (à 1 chromatide). La **caryogamie** est la **fusion** des noyaux des 2 cellules parentales n : (**parent1 à n chromosomes à 1 chromatide) + (parent2 à n chromosomes à 1 chromatide) → cellule-œuf à 2n chromosomes à 1 chromatide**. Dans la cellule-œuf, pour chaque paire de chromosomes, un exemplaire de chromosome vient de chaque parent.

Bilan : Méiose et fécondation sont les deux mécanismes permettant le maintien du caryotype d'une génération à la suivante = **stabilité génétique de l'espèce**.

Chapitre 2 : Brassages génétiques, diversité et unicité des individus

1. Conséquence génétique de la méiose

Les cellules obtenues en fin de méiose ne contiennent plus qu'un seul chromosome (à 1 chromatide) de chaque paire de chromosomes homologues de la cellule initiale donc ces cellules ne possèderont qu'un seul exemplaire de chaque **gène** et par conséquent un seul **allèle** de chaque couple.

La méiose a entraîné la disjonction des couples d'allèles de chaque gène.

2. Brassage inter chromosomique

Le brassage inter chromosomique concerne les **gènes indépendants**, c'est-à-dire 2 gènes situés sur des paires de chromosomes différentes.

En **anaphase 1** s'effectue la **disjonction aléatoire** des paires de **chromosomes homologues**. Un chromosome d'une paire peut migrer avec l'un des 2 chromosomes de chacune des autres paires.

Plusieurs anaphases 1 sont donc possibles et **équiprobables** (ayant la même probabilité). Les cellules en fin de méiose ne contenant qu'un seul des 2 allèles de chaque gène, il existe donc plusieurs combinaisons alléliques possibles et équiprobables. C'est le brassage inter chromosomique.

Le nombre de combinaisons possibles est 2n avec n = nombre de paires de chromosomes.

3. Brassage intra chromosomique

Le brassage intra chromosomique concerne les **gènes liés**, c'est-à-dire situés sur le même chromosome.

En **prophase 1**, les chromosomes sont **appariés** en **bivalents**, leurs chromatides peuvent se croiser, ces chevauchement s'appellent des **chiasmas**. Des portions de chromatides peuvent s'échanger entraînant un échange d'allèles entre les 2 **chromosomes homologues**, ce mécanisme est un **crossing-over** ou recombinaison génétique.

En fin de méiose, les gamètes contenant la même combinaison allélique que la cellule initiale, sont de type **parental**, celles contenant le résultat d'un crossing-over, sont de type **recombiné**.

Le brassage intra chromosomique dépend de la **position des gènes (locus)** sur le chromosome, il est **aléatoire et rare** mais n'affecte pas toutes les méioses.

Le brassage intra chromosomique s'ajoute et amplifie le brassage inter chromosomique et donc la diversité des gamètes obtenus en fin de méiose.

4. Fécondation

La fécondation est **aléatoire**, elle permet d'unir au hasard deux gamètes génétiquement différents. Le nombre de combinaisons alléliques possibles pour la cellule-œuf dépend du nombre de gamètes différents résultant de la méiose.

Cellules-œufs possibles = gamètes mâles possibles × gamètes femelles possibles

Les résultats de la fécondation sont représentés par un **échiquier de croisement**. La fécondation, en amplifiant les brassages de méiose, explique la diversité et **l'unicité** des individus.

5. Brassages génétiques et locus des gènes chez les diploïdes

Le **test-cross** s'effectue en deux étapes :

- **1er croisement** : on croise deux souches **double-homozygotes** pour 2 gènes. On obtient les F1 double **hétérozygotes** tous identiques (uniformité des F1).
- **2e croisement** : on croise les F1 avec un parent **double-homozygote récessif** pour les 2 gènes, on obtient les F2 de **phénotypes** différents.

Le test-cross permet de déterminer le **locus des gènes**, c'est-à-dire de savoir si les gènes sont **liés** ou **indépendants**.

Si les différents phénotypes des F2 sont **équiprobables (% individus parentaux = % individus recombinés)**, alors les gènes sont **indépendants** car le brassage inter chromosomique est aléatoire.

Si les différents phénotypes des F2 **ne sont pas équiprobables (soit pas d'individus recombinés, soit le % de recombiné est < 50 %)**, alors les gènes sont **liés** car le brassage intra chromosomique n'est pas aléatoire. La méiose pouvant se faire avec ou sans **crossing-over**, les types parentaux (obtenus dans tous les cas) sont plus abondants que les types recombinés (obtenus seulement avec crossing-over).

Chapitre 3 : Origine et conséquences des anomalies de la méiose

1. Anomalies du nombre de chromosomes

Les anomalies du nombre de chromosomes sont le plus souvent dues à des **méioses anormales** :

- en **anaphase 1** par non disjonction des chromosomes homologues.
- en **anaphase 2** par non séparation des chromatides.

Elles se traduisent par un **caryotype anormal** : apparition de chromosomes supplémentaires (= polysomies) ou manquants (monosomies).

En théorie, n'importe quelle paire de chromosomes peut être affectée mais en réalité seules quelques anomalies sont observables chez l'Homme, uniquement celles qui sont **viables** : la plupart entraînent la mort, elles sont **létales**.

Les plus courantes peuvent porter :

- sur des **autosomes** comme la trisomie 21, les trisomies 8, 13 ou 18 (rapidement mortelles) ;

- sur les **gonosomes** X et Y.

Plusieurs gènes sont concernés, ce qui entraîne des effets multiples toujours associés = syndrome, maladie **multifactorielle**.

L'information génétique peut être sur-exprimée par la présence de 3 allèles (si trisomie) au lieu de 2, ou sous exprimée si 1 seul allèle est présent (monosomie) à l'origine des troubles observés.

2. Origine des familles multigéniques

Des **crossing-over inégaux** peuvent accidentellement avoir lieu en **prophase 1**. L'échange aboutit à la **duplication** d'un gène. C'est-à-dire qu'un gène peut se retrouver sous plusieurs exemplaires (au moins deux) sur un même chromosome. C'est ainsi que se constituent les **familles multigéniques** à l'origine de la **complexification** du génome.

Bilan

Quand on parle de reproduction sexuée on parle d'alternance de phase haploïde (n) et de phase diploïde (2n) assurées par la méiose et la fécondation.

- La méiose est une succession de deux divisions cellulaires, précédée d'une seule réplication, formant quatre cellules haploïdes à l'origine des gamètes à partir d'une cellule diploïde.
- Pendant la 1re division de méiose, les chromosomes homologues subissent éventuellement des crossing-over, ainsi qu'une disjonction indépendante et aléatoire. Ces brassages chromosomiques, à l'origine de recombinaisons alléliques nouvelles, sont mis en évidence par croisement-test.
- La fécondation, réunion aléatoire de deux gamètes, suivie de la caryogamie, augmente la diversité.
- Ces mécanismes qui sollicitent les alternances haploïde-diploïde romptent l'uniformité et la monotonie de la mitose et offrent un panel de diversité capable de s'adapter aux changements des milieux environnants.

MOTS CLÉS

Brassage interchromosomique	Brassage des gènes réalisé par la ségrégation indépendante des chromosomes lors de la méiose.
Brassage intrachromosomique	Brassage des gènes réalisé lors d'échanges entre chromatides homologues (« crossing-over ») appartenant à un même bivalent lors de la prophase I de la méiose.
Caryogamie	Fusion des noyaux lors de la formation du zygote, rétablissant la diploïdie.
Crossing-over	Échanges de segments chromosomiques entre chromatides homologues lors de la prophase I de la méiose.
Diploïde	Qui comporte deux représentants homologues de chaque chromosome.

Haploïde	Qui ne comporte qu'un seul exemplaire de chaque chromosome
Méiose	Ensemble de deux divisions cellulaires précédées d'une seule synthèse d'ADN conduisant à 4 cellules haploïdes à partir d'une cellule mère diploïde. Lors de la première division, dite **réductionnelle**, les chromosomes homologues se séparent (ségrégation indépendante des chromosomes) tandis que lors de la seconde division, dite **équationnelle**, ce sont les chromatides de chaque chromosome qui se séparent.

FIG. 2 : Cycle de développement d'un mammifère.

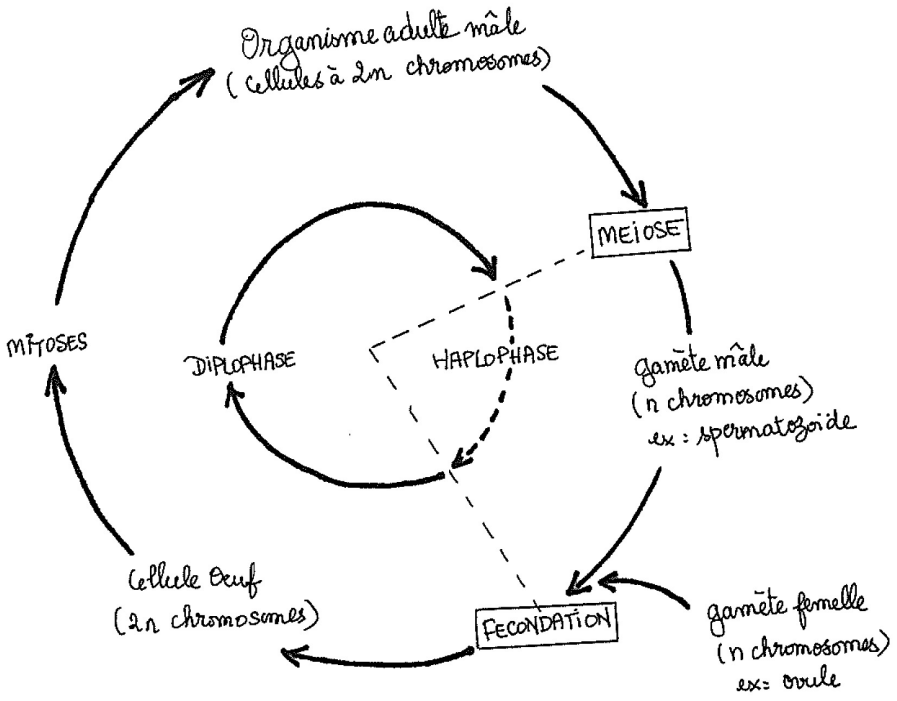


FIG. 3 : Variation de la quantité d'ADN en fonction du temps et Bilan des étapes de la méiose pour une cellule 2n = 4.

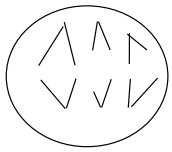
Exercices

▪ QCM

Pour chaque proposition identifier la bonne réponse.

Question 1

Le schéma suivant correspond à une phase de la méiose d'une cellule C diploïde :



a. à l'anaphase 1 de la cellule C (2n = 3).

b. à l'anaphase 1 de la cellule C (2n = 6).

c. à l'anaphase 2 de la cellule C (2n = 3).

d. à l'anaphase 2 de la cellule C (2n = 6).

e. aucune réponse.

Question 2

Le cliché suivant provient d'une cellule de Drosophile (2n = 8).
Pour cette cellule, on peut affirmer que :

a. il s'agit d'une cellule en prophase 1 de méiose.

b. il s'agit d'une cellule en anaphase 1 de méiose.

c. il s'agit d'une cellule en prophase 2 de méiose.

d. il s'agit d'une cellule en anaphase 2 de méiose.

e. il s'agit d'une cellule en télophase 2 de méiose.

Question 3

Les individus de caryotype (47, XYY) s'expliquent par une anomalie lors de la méiose d'un des parents :

a. l'anomalie vient du spermatozoïde.

b. l'anomalie peut provenir des deux gamètes.

c. l'anomalie a eu lieu en anaphase 1.

d. l'anomalie a eu lieu en anaphase 2.

e. l'anomalie a eu lieu en prophase 1.