

## Reproduction sexuée : stabilité et diversité des génomes (sujet type I, d'après Liban, Juin 2003)

**Montrer** comment, chez les organismes à reproduction sexuée, méiose et fécondation contribuent à la fois à la stabilité du génome de l'espèce et à la diversité des génomes individuels.

*L'exposé sera structuré et comportera une introduction et une conclusion ; il s'appuiera sur l'exemple d'un caryotype à  $2n=4$  chromosomes avec 3 gènes (notés A, B et C) dont les deux premiers sont portés par un même chromosome et le 3ème, par un chromosome différent ; l'un des parents considérés possède les couples d'allèles a1 et a2 pour le gène A, b1 et b2 pour le gène B et c1 et c2 pour le gène C ; l'autre parent possède les couples d'allèles a3 et a4 pour le gène A, b3 et b4 pour le gène B et c3 et c4 pour le gène C ; Quelques schémas essentiels sont attendus en particulier les 2 schémas qui mettent en évidence les brassages intra et interchromosomiques.*

### Introduction

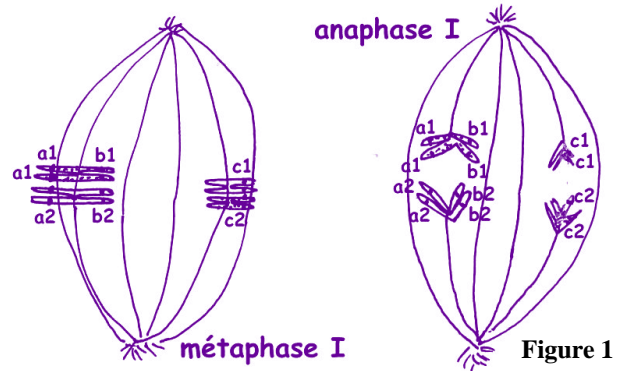
Toutes les cellules d'un organisme possèdent le même génome stable, la même information génétique que la cellule-œuf dont elles sont issues grâce au jeu combiné des mitoses (mécanisme par lequel les 2 chromatides de chaque chromosome sont séparés) et des réplifications semi-conservatives (mécanisme par lequel une chromatide est copiée en 2 chromatides parfaitement semblables). Mais les organismes se reproduisent : leur descendance, unifiée du point de vue des caractéristiques génétiques de l'espèce est diversifiée à l'échelle des individus. Deux mécanismes biologiques interviennent dans la reproduction : la méiose et la fécondation. Comment donc ces deux mécanismes maintiennent-ils le caryotype et la quantité d'ADN propre à chaque espèce ? Comment en dépit de cette stabilité assurent-ils un brassage de cette information pour assurer la diversité des populations ?

### I. Méiose et fécondation assurent la stabilité du génome : stabilité des espèces

#### 1) la méiose

La méiose est un processus biologique comportant deux divisions cellulaires successives : la division réductionnelle et la division équationnelle.

a) **la division réductionnelle (DR).** Par la DR une cellule diploïde (ici  $2n = 4$ ) à 2 chromatides par chromosome (quantité d'ADN = 4Q) donne 2 cellules haploïdes ( $n=2$ ) à 2 chromatides. Les chromosomes se condensent comme dans toute division cellulaire, la membrane nucléaire et les nucléoles disparaissent et se forme peu à peu un fuseau achromatique de division ; à la **métaphase I** [figure 1 : cas d'une méiose sans crossing-over chez le parent 1], les chromosomes homologues (de chaque paire) se fixent sur une fibre du fuseau en position équatoriale. Dès lors, la rétraction de ces fibres à l'anaphase I [figure 1 : cas d'une méiose sans crossing-over chez le parent 1], les chromosomes homologues (de chaque paire) se fixent sur une fibre du fuseau en position équatoriale. Dès lors, la rétraction de ces fibres à l'anaphase I sépare les 2 chromosomes homologues. Il en résulte à l'issue de cette division (télophase I) des cellules qui possèdent les mêmes gènes (mais pas forcément les mêmes allèles, nous le verrons plus loin). Par ce mécanisme biologique la quantité d'ADN contenue dans les chromosome passe de 4 Q à 2Q.



b) **la division équationnelle (DE).** La DE est une division cellulaire qui s'apparente à une mitose sur cellules haploïdes : le temps fort de cette division est le positionnement de chaque chromosome sur des fibres différentes (métaphase II) puis la séparation des chromatides de chaque chromosome à l'anaphase II [figure 2 : suite de la méiose chez le parent 1]. Il en résulte à l'issue de la méiose la formation de 4 cellules (= gamètes dans le cas d'un organisme diploïde) haploïdes possédant une quantité d'ADN : Q.

#### 2) la fécondation

Chaque organisme diploïde produit grâce à la méiose, suivant son sexe, soit des gamètes mâles soit des gamètes femelles. Par le mécanisme de la fécondation un gamète mâle provenant d'un parent fusionne avec un gamète femelle provenant d'un autre parent. Il y a tout d'abord fusion des cytoplasmes ou **cytogamie** (on notera que le cytoplasme apporté par le gamète mâle est peu abondant). Les noyaux gonflent deviennent des **pronucléii** et convergent l'un vers l'autre.

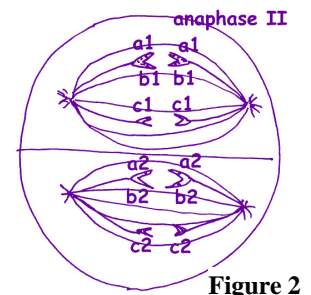
La quantité globale d'ADN passe à 2Q et chaque chromosome va retrouver son homologue pour former une paire : cette parité sera effective lors de la **caryogamie** ou fusion des noyaux.

Notons que la pénétration du noyau mâle dans la cellule femelle déclenche la formation d'une membrane dite de **membrane de fécondation**, imperméable aux autres spermatozoïdes ce qui interdit la polyploïdie. La fécondation en réunissant alors les chromosomes paternelles et maternelles de chaque paire rétablit la diploïdie tout en stabilisant le caryotype de l'espèce.

Mais chaque chromosome de ces paires n'est représenté que par une chromatide : lors de la migration des pronucléii se produit la **réplication semi-conservative de l'ADN** (écartement des 2 brins mère et néoformation de deux brins fils complémentaires des 2 brins mères par le jeu d'un complexe enzymatique : l'ADN polymérase) : il s'en suit la formation de chromosomes à 2 chromatides rigoureusement identiques. La quantité d'ADN est revenue à 4Q

#### 3) place de la fécondation et de la méiose dans les cycles

Fécondation et méiose articulent donc le cycle de l'espèce en deux phases : l'une longue à  $2n$  (tantôt 4Q tantôt 2Q par le jeu combiné des mitose et des RSC) qui produit par la méiose les gamètes, l'autre très brève à  $n$  qui s'achève par la fécondation. Ces deux mécanismes sont donc **compensatoires** puisque l'un (la fécondation) rétablit le génome que l'autre (la méiose) défait.



## II. Méiose et fécondation assurent le brassage du génome : diversité des individus

### 1) le brassage méiotique

Deux types de brassages peuvent se produire : le brassage interchromosomique et le brassage intrachromosomique ; ces brassages peuvent se combiner.

#### a) le brassage interchromosomique.

Nous considérerons pour montrer ce brassage, les gènes A et C portés par deux paires de chromosomes (les gènes sont dits alors indépendants). La démonstration peut être faite sur l'un ou l'autre des parents (prenons par exemple le parent 2). Ce brassage est préparé dès la métaphase I et se réalise véritablement à l'anaphase I, phase où se produit la **disjonction des allèles**. C'est, d'une part, la **position aléatoire** sur la plaque équatoriale du fuseau de division de chaque chromosome de chaque paire et, d'autre part, l'**indépendance des différentes paires** les une par rapport aux autres qui sont responsables de ce brassage [figure 3 : brassage interchromosomique chez le parent 2].

Ce brassage fait apparaître des types gamétiques semblables aux parents (= **types parentaux**) et des types gamétiques qui combinent les allèles autrement (= **types recombinés**). Dans les brassages interchromosomiques les types parentaux sont égaux aux types recombinés.

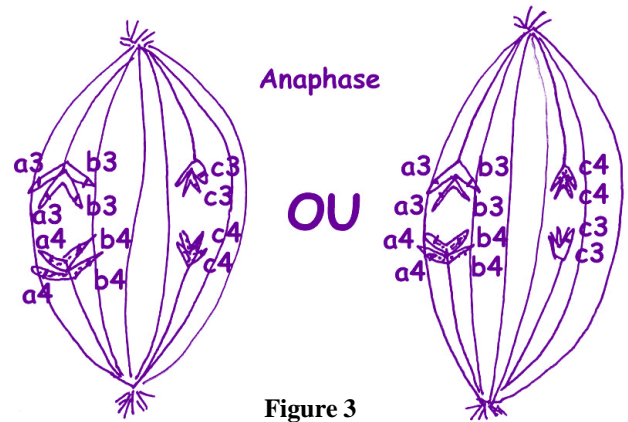


Figure 3

#### b) le brassage intrachromosomique.

Nous considérerons pour montrer ce brassage, les gènes A et B portés par la même paire de chromosomes (les gènes sont dits alors liés). La démonstration peut être faite sur l'un ou l'autre des parents (prenons par exemple le parent 1). Ce brassage en fin de prophase. Les chromosomes homologues sont appariés et forment des tétrades. Les chromatides s'enchevêtrent et des fragments de chromatides peuvent s'échanger ; des allèles portés par une chromatide d'un chromosome peuvent alors se retrouver sur la chromatide du chromosome homologue. Le croisement de 2 chromatides est appelé **chiasma** et on nomme l'enchevêtrement « **crossing over** » [figure 4 : brassage intrachromosomique chez le parent 1].

Les méioses sans crossing over sont tout de même plus fréquentes que les méioses avec crossing over. Ainsi tout comme le brassage interchromosomique, le brassage intrachromosomique fait apparaître des types **parentaux** et des types **recombinés**, mais les types parentaux sont toujours en nombre supérieur aux types recombinés. La disjonction des allèles ne se fait pas à la séparation des chromosomes (anaphase I) mais à la séparation des chromatides (= anaphase II).

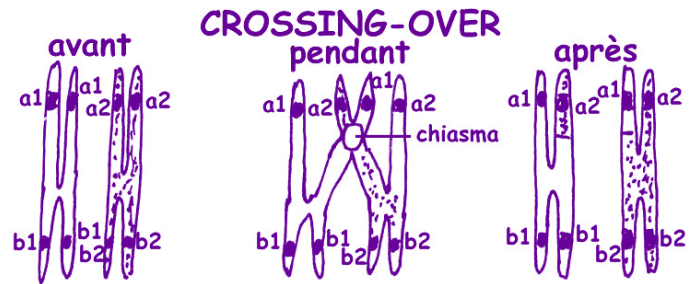


Figure 4

#### c) effet conjugué des 2 brassages.

Dans la réalité les 2 brassages sont réalisés en même temps.

Le parent 1 (comme le parent 2) fourniront alors 8 génotypes gamétiques qui sont respectivement :

Génotypes gamétiques du parent 1 : (a1, b1 /, c1 /) ; (a1, b1 /, c2 /) ; (a2, b2 /, c1 /) ; (a2, b2 /, c2 /) ; (a1, b2 /, c1 /) ; (a1, b2 /, c2 /) ; (a2, b1 /, c1 /) ; (a2, b1 /, c2 /)

génotypes gamétiques du parent 2 : (a3, b3 /, c3 /) ; (a3, b3 /, c4 /) ; (a4, b4 /, c3 /) ; (a4, b4 /, c4 /) ; (a3, b4 /, c3 /) ; (a3, b4 /, c4 /) ; (a4, b3 /, c3 /) ; (a4, b3 /, c4 /)

En généralisant : si on considère « y » le nombre de paires de chromosomes et x le nombre de gènes pour lesquels il y a hétérozygotie, le nombre de génotype gamétique dû aux deux brassages sera :  $2^{xy}$ .

#### 2) l'amplification du brassage dû à la fécondation

N'importe quel gamète du parent 1 est susceptible de fusionner avec n'importe quel type de gamète du parent 2. On peut donc attendre  $8 \times 8$  génotypes de cellules-œuf soit 64. La fécondation amplifie donc le brassage. Dans le cas général on obtiendra  $2^{2xy}$  génotypes de cellules-œuf. Appliqués à l'Homme ( $y=23$  et  $x=100$  (pour prendre une valeur vraiment moyenne, on obtient  $2^{4600}$  génotypes de cellules-œufs. Soit un nombre plus grand encore que le nombre d'atome supposé dans l'univers !!! C'est donc bien de la diversité que le brassage génétique implique.

### Conclusion

Par le mode de séparation des chromosomes puis des chromatides lors de la méiose et par le simple effet de leur réunion et de la RSC à la fécondation, ces mécanismes biologiques assurent une stabilité du **génome des espèces** ==> globalement **les gènes présents sont conservés**. Par contre, ces mêmes mécanismes, **du fait du hasard** (dans la disposition des chromosomes ou des chromatides) et du fait de la **souplesse du matériel génétique** permettent un brassage allélique qui conduit à une diversité des individus de cette espèce.

Mais cette souplesse ne pourrait-elle pas générer des anomalies (ex : duplications génétiques) créatrices de nouveaux gènes susceptibles de sortir de l'espèce et d'enranger l'évolution.... ? Mais c'est un autre sujet.