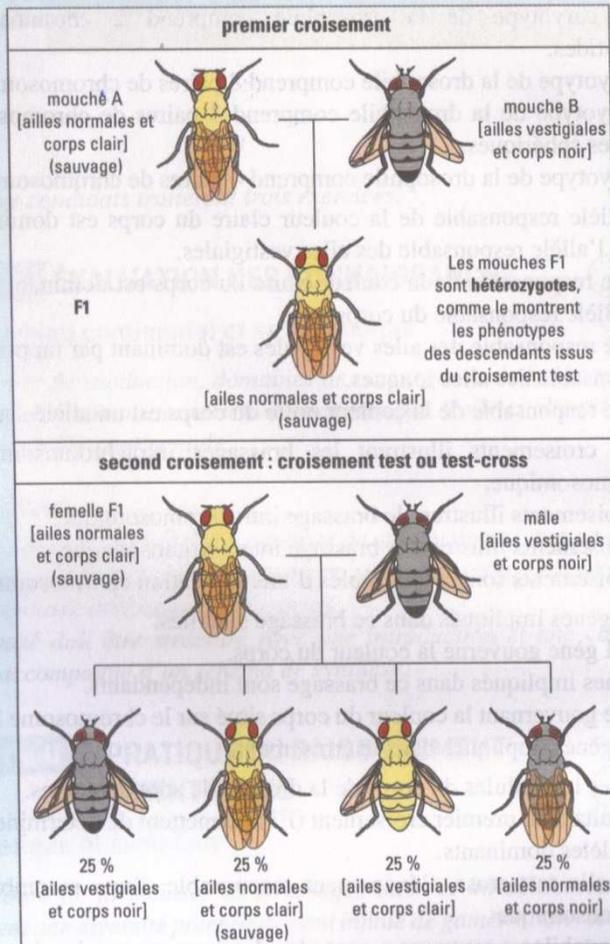


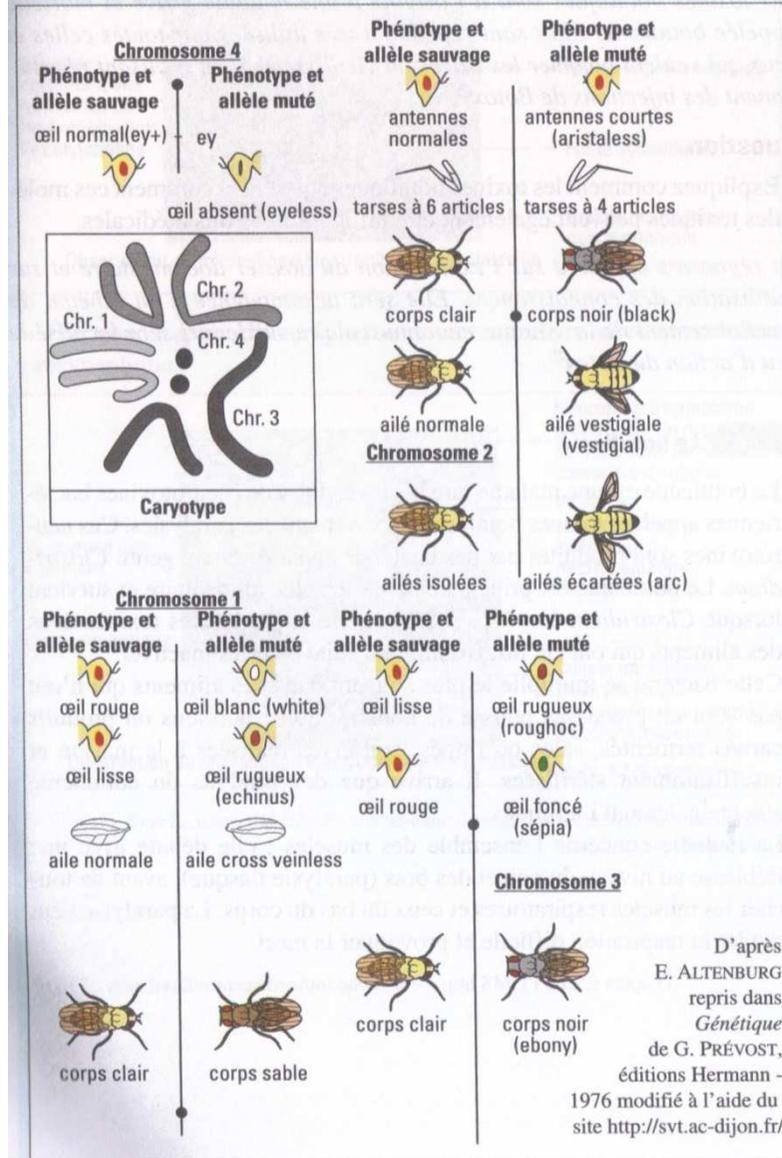
# Génétique et évolution (exercice type 2a)

**Doc. 1** Résultats de croisements de drosophiles portant sur les caractères « longueur des ailes » [ailes longues et ailes vestigiales ou réduites] et « couleur du corps » [corps clair et corps noir]



D'après <http://didac.free.fr/droso/index.htm> le 07/07/2012

**Doc. 2** Caryotype et portion de la carte génétique de la drosophile [Chaque gène possède un allèle dit « sauvage » à l'origine de l'expression du phénotype « sauvage » qui est le plus présent dans les populations de drosophiles]



# Corrigé Génétique et évolution

## Attention

Les remarques ajoutées pour justifier chaque affirmation sont données pour vous aider à progresser. Elles ne sont pas demandées à l'épreuve du baccalauréat.

- 1 a. Faux** → voir la réponse d.  
**b. Faux** → voir la réponse d.  
**c. Faux** → voir la réponse d.  
**d. Vrai** → le caryotype de la drosophile comprend 4 paires de chromosomes. On peut les compter sur le caryotype du *document 2*. Il y a deux chromosomes 1, deux chromosomes 2, deux chromosomes 3 et deux chromosomes 4.
- 2 a. Faux** → on ne peut pas comparer des allèles qui produisent des caractères différents.  
**b. Vrai** → le *document 1* nous dit que les F1 sont hétérozygotes. Ils ont donc un allèle qui produit la couleur claire et un allèle qui produit la couleur sombre. Comme ils sont clairs, on en déduit que l'allèle qui produit la couleur claire est dominant sur l'allèle qui produit la couleur sombre.  
**c. Faux** → c'est l'inverse.  
**d. Faux** → c'est l'allèle clair qui est considéré comme sauvage, d'après le *document 1*.

- 3 a. Faux** → il n'y a que du brassage interchromosomique.  
**b. Faux** → voir la réponse c.  
**c. Vrai** → le fait qu'à l'issue du croisement test, on ait des pourcentages phénotypiques équivalents (25 %) indique que les gènes étudiés sont situés sur des paires différents de chromosomes. Le brassage intrachromosomique ne peut donc pas opérer sur les gènes étudiés.  
**d. Faux** → ces croisements ne sont pas responsables d'une aberration chromosomique observable.
- 4 a. Faux** → le fait qu'à l'issue du croisement test, on ait des pourcentages phénotypiques équivalents (25 %) indique que les gènes étudiés sont situés sur des paires différents de chromosomes. Ils sont donc non liés.  
**b. Faux** → on voit sur le *document 2* que trois gènes situés gouvernent la couleur du corps. Ils sont sur les chromosomes 1 (clair/sable), 2 (clair/black) et 3 (clair/ebony).  
**c. Vrai** → voir la réponse a. Des gènes indépendants sont des gènes non liés.  
**d. Faux** → si c'était vrai, on aurait eu un cas de gènes liés, puisque le gène qui gouverne la longueur des ailes est aussi sur le chromosome 2. Le gène étudié est celui du chromosome 3 (clair/ebony).
- 5 a. Faux** → les gamètes sont haploïdes.  
**b. Vrai** → on voit que l'allèle qui produit la couleur claire domine l'allèle qui produit la couleur sombre, et que l'allèle qui produit les ailes normales domine l'allèle qui produit les ailes vestigiales.  
**c. Faux** → l'événement responsable d'une recombinaison intrachromosomique est le crossing-over.  
**d. Faux** → ce n'est pas le cas pour les gènes habituellement étudiés chez la drosophile.

# Conséquences d'anomalies au cours de la méiose et de la fécondation (exercice type 1)

La reproduction sexuée, grâce à la méiose et à la fécondation, aboutit à une immense diversité génétique et à la conservation du caryotype. Néanmoins, des anomalies peuvent se produire lors de ces processus cellulaires.

► **Discutez des conséquences possibles des anomalies survenues lors de la méiose et de la fécondation.**

*L'exposé sera accompagné de schémas explicatifs.*

# Corrigé Conséquences d'anomalies au cours de la méiose et de la fécondation (page 1/3)

## Introduction

Méiose et fécondation sont les deux phénomènes fondamentaux de la reproduction sexuée. Ils assurent à la fois la conservation du caryotype de génération en génération et la diversité génétique en assurant un brassage des gènes (mais non la création de nouveaux gènes). Cependant, au cours du déroulement de ces processus de la reproduction sexuée, des anomalies peuvent se produire.

Nous allons voir comment certaines de ces anomalies aboutissent à des caryotypes différents de ceux de l'espèce et d'autres contribuent à créer de l'innovation génétique par duplication de gènes.

## I. Les anomalies de la reproduction sexuée conduisant à de nouveaux caryotypes

### 1. Des anomalies de la méiose conduisant à des caryotypes anormaux

La méiose consiste en deux divisions successives. Seule la première division est précédée d'une duplication de l'ADN.

#### a. Les caractéristiques d'une méiose normale

Ce sont des cellules diploïdes situées dans la paroi des tubes séminifères et les ovocytes contenus dans les follicules ovariens qui subissent la méiose pour donner naissance aux gamètes mâles et femelles.

Durant l'interphase précédant la première division de la méiose, il y a réplication de l'ADN et, par suite, duplication des chromosomes.

##### • La première division

– Lors de la prophase, les chromosomes homologues formés de deux chromatides, s'apparient, formant  $n$  paires de chromosomes.

– À la métaphase, les paires de chromosomes se placent à l'équateur de la cellule.

– À l'anaphase, pour chaque paire, un chromosome (toujours formé de deux chromatides) se dirige vers l'un des pôles de la cellule et l'autre vers l'autre pôle.

Chacune des deux cellules filles n'hérite donc que de  $n$  chromosomes et, plus précisément, d'un seul exemplaire de chacune des paires présentes dans la cellule initiale : elle est donc à  $n$  chromosomes mais chaque chromosome est toujours formé de deux chromatides.

##### • La deuxième division

Au cours de la deuxième division de la méiose, il y a séparation des chromatides de chaque chromosome. Chacune des 4 cellules formées hérite de  $n$  chromosomes simples et donc d'un seul exemplaire de chaque chromosome et, par suite, d'un seul exemplaire de chaque gène de l'espèce.

#### b. Des anomalies au cours de la première division de la méiose

Les anomalies peuvent toucher n'importe quelle paire de chromosomes. Dans l'illustration (figure 1) choisie, c'est la paire de chromosomes 21 qui a un comportement anormal, et la paire de chromosomes notée A désigne toute autre paire de chromosomes.

• Au cours de l'anaphase, les deux chromosomes 21, toujours formés de deux chromatides, migrent au même pôle de la cellule : une des cellules filles possède alors deux chromosomes 21 et, l'autre, aucun.

• Au cours de la deuxième division de la cellule à deux chromosomes 21, les chromatides de chaque chromosome se séparent normalement, ce qui conduit à deux cellules filles possédant deux chromosomes 21 simples et 22 autosomes simples, un de chaque paire.

Les cellules haploïdes ainsi obtenues sont les futurs gamètes et deux d'entre eux possèdent donc 2 chromosomes 21.

# Corrigé Conséquences d'anomalies au cours de la méiose et de la fécondation (page 2/3)

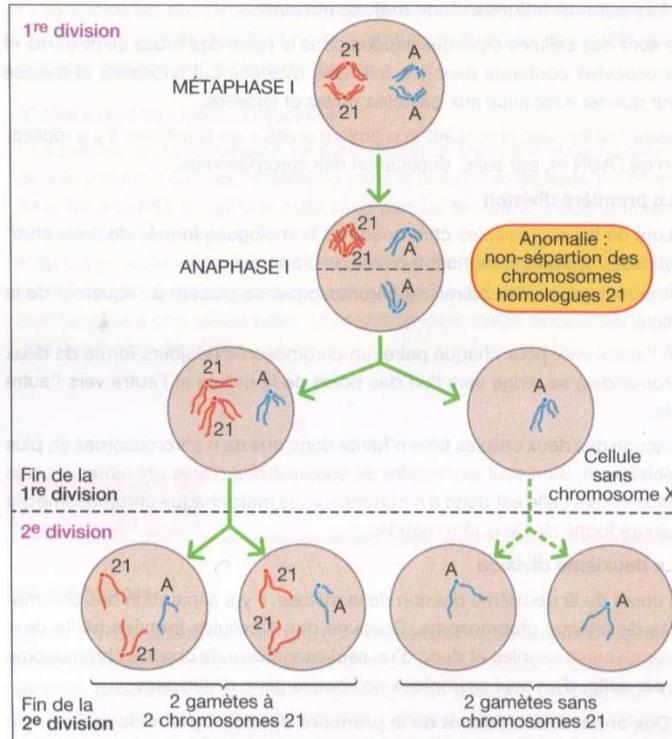


Figure 1 Anomalie au cours de la 1<sup>re</sup> division de la méiose

## c. Des anomalies au cours de la deuxième division de la méiose (figure 2)

- La première division se déroule normalement et donne naissance à deux cellules possédant un chromosome 21 et 22 autosomes, tous formés de deux chromatides.
- Au cours de la deuxième division, les chromatides du chromosome 21 se séparent mais migrent vers le même pôle de la cellule, donnant ainsi naissance à une cellule possédant deux chromosomes 21 (et 22 autosomes) simples et une autre qui ne possède pas de chromosome 21.

Ici encore, un des gamètes possède ainsi deux chromosomes 21 et l'autre aucun.

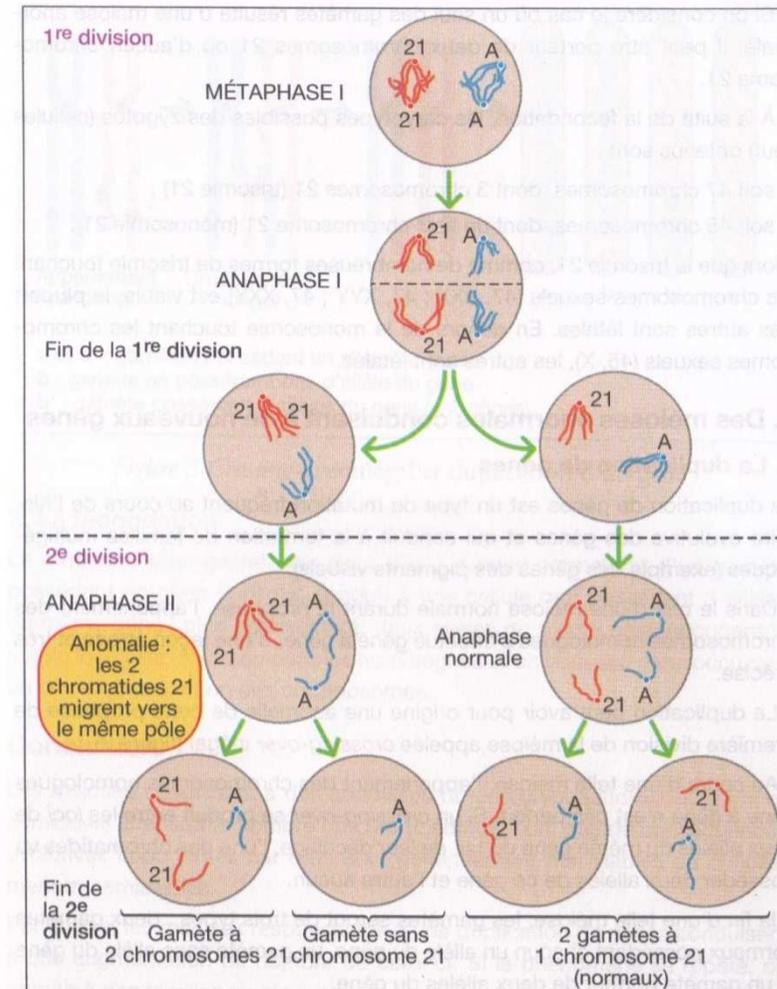


Figure 2 Anomalie au cours de la 2<sup>e</sup> division de la méiose

## 2. La fécondation : l'obtention d'un nouveau caryotype

- Au cours de la fécondation, le noyau du gamète mâle pénètre dans le cytoplasme du gamète femelle et la fécondation s'achève par la mise en commun des chromosomes des deux gamètes.
- Si les deux gamètes possèdent chacun 23 chromosomes (un de chaque paire), le caryotype est alors rétabli : 46 chromosomes, c'est-à-dire 23 paires (46, XX ou 46, XY).

# Corrigé Conséquences d'anomalies au cours de la méiose et de la fécondation (page 3/3)

- Si on considère le cas où un seul des gamètes résulte d'une méiose anormale, il peut être porteur de deux chromosomes 21 ou d'aucun chromosome 21.
- À la suite de la fécondation, les caryotypes possibles des zygotes (cellules œuf) obtenus sont :
  - soit 47 chromosomes, dont 3 chromosomes 21 (trisomie 21) ;
  - soit 45 chromosomes, dont un seul chromosome 21 (monosomie 21).

Alors que la trisomie 21, comme de nombreuses formes de trisomie touchant les chromosomes sexuels (47, XXX ; 47, XYY ; 47, XXY) est viable, la plupart des autres sont létales. En dehors de la monosomie touchant les chromosomes sexuels (45, X), les autres sont létales.

## II. Des méioses anormales conduisant à de nouveaux gènes

### 1. La duplication de gènes

La duplication de gènes est un type de mutation fréquent au cours de l'histoire évolutive des gènes et qui conduit à la formation de familles multigéniques (exemple des gènes des pigments visuels).

- Dans le cas d'une méiose normale durant la prophase, l'appariement des chromosomes homologues s'effectue gène à gène, d'une façon étroite et très précise.
- La duplication peut avoir pour origine une anomalie de cette prophase de première division de la méiose appelée *crossing-over inégal* (figure 3).
- Au cours d'une telle méiose, l'appariement des chromosomes homologues gène à gène n'est pas parfait. Si un *crossing-over* se produit entre les *loci* de deux allèles du même gène du fait de leur décalage, l'une des chromatides va posséder deux allèles de ce gène et l'autre aucun.

À la fin d'une telle méiose, les gamètes seront de trois types : deux gamètes normaux possédant chacun un allèle du gène, un gamète sans allèle du gène et un gamète porteur de deux allèles du gène.

Ce gamète est donc ainsi porteur de **deux allèles du même gène** occupant des *loci* différents sur le même chromosome. Puisque ces allèles occupent deux *loci* différents **on peut alors parler de deux gènes** qui, au départ, sont identiques : il y a eu duplication génique.

- Du fait des mutations ponctuelles affectant de façons différentes ces duplicatas, ces deux allèles peuvent devenir deux gènes codant pour des polypeptides aux fonctions différentes.

**L'anomalie de la méiose devient ainsi une source de diversité.**

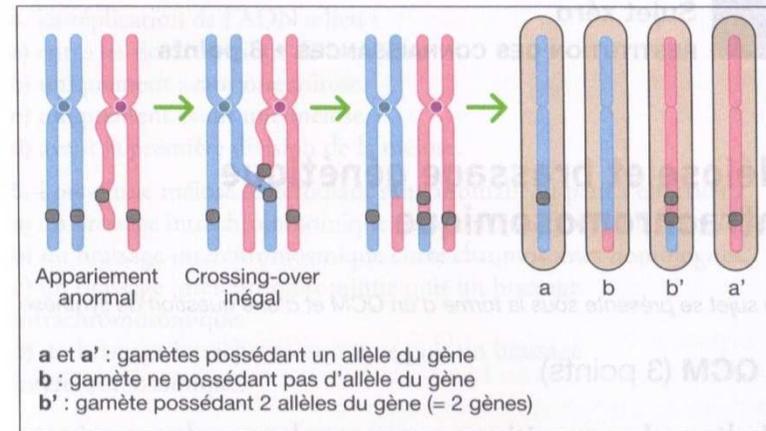


Figure 3 Crossing-over inégal et duplication d'un gène

### 2. La fécondation

La rencontre d'un gamète résultant d'une méiose normale et d'un gamète possédant un gène dupliqué conduit à une cellule œuf possédant 3 allèles du même gène ; plus précisément, **deux allèles du même gène occupant le même locus sur les chromosomes homologues et un nouveau gène occupant un autre locus sur l'un des chromosomes.**

### Conclusion

Les méioses conduisant à des anomalies du caryotype (**anomalies chromosomiques**) affectant le nombre de chromosomes n'ont pas de conséquences évolutives importantes car elles sont généralement non viables ou difficilement transmissibles.

Par contre, les méioses responsables d'une duplication de gènes conduisent à une augmentation du nombre de ceux-ci. Si le phénomène se répète, on aboutit à des **familles multigéniques**.

Si ces gènes d'une même famille conservent la même fonction, la quantité de protéines résultant de leur expression augmente, ce qui peut conférer un avantage évolutif.

Si ces gènes d'une même famille subissent des mutations indépendantes, cela peut conduire à l'apparition de nouvelles fonctions (par exemple la famille multigénique des opsines qui permet la vision des couleurs).

Les anomalies de la méiose peuvent être **créatrices de diversité** et avoir ainsi un **impact évolutif**.

# Le brassage génétique et son origine (exercice type 2a)

Chez la souris, comme chez tous les organismes à reproduction sexuée, la diversité génétique s'explique par le brassage génétique ayant lieu lors de la reproduction sexuée. On considère ici 4 caractères phénotypiques de la souris (appelés A, B, F et D) ; des croisements sont réalisés pour mettre en évidence ce brassage.

Deux étudiants analysent ces croisements. Ils s'accordent sur le fait qu'il y a bien eu brassage génétique entre deux gènes lors de ces deux croisements, mais leurs avis diffèrent concernant les mécanismes mis en jeu pour ce brassage. Le premier étudiant affirme qu'il y a eu, à chaque fois, uniquement un brassage interchromosomique, l'autre affirme qu'un brassage intrachromosomique a eu lieu, en plus, dans l'un des croisements.

► Exploitez les résultats expérimentaux proposés dans le document afin de :

- justifier le fait qu'il y a bien eu brassage génétique dans les deux croisements ;
- préciser quel étudiant a finalement raison, en argumentant la réponse.

*Aucun schéma explicatif n'est attendu.*

DOCUMENT

**Résultats des deux croisements-tests réalisés entre un individu F1 hétérozygote et un parent double récessif**

Phénotype des parents	Allèles de chaque gène	Résultats (nombre d'individus par phénotype)
Croisement 1 F1 [AB] X Parent double récessif [ab]	Gène A : allèle A dominant et allèle a récessif Gène B : allèle B dominant et allèle b récessif	442 AB 437 ab 64 Ab 59 aB
Croisement 2 F1 [FD] X Parent double récessif [fd]	Gène F : allèle F dominant et allèle f récessif Gène D : allèle D dominant et allèle d récessif	492 FD 509 fd 515 Fd 487 fD

# Corrigé Le brassage génétique et son origine

## A. Réalité du brassage génique

### 1. Exploitation des résultats du premier croisement

- Les individus F1 sont issus d'un croisement entre deux souris de lignée pure car il y a uniformité de la génération F1 : l'un des parents avait le génotype aa,bb et l'autre le génotype AA,BB. Les F1 avaient donc pour génotype Aa,Bb puisque l'un des parents produit 100 % de gamètes ab et l'autre 100 % de gamètes AB.
- Les souris F1 étant croisées avec des individus doubles récessifs, il s'agit d'un croisement-test (*test-cross*). Puisque les souris présentant les deux phénotypes récessifs ne produisent que des gamètes ab, les phénotypes de la descendance traduisent donc les génotypes des gamètes produits par les souris F1, soit : AB, ab, aB et Ab.

souris

La souris F1 a donc produit deux types de gamètes, Ab et aB qui possèdent une association des allèles des deux gènes différente de celle des gamètes reçus des parents (gamètes parentaux).

Les gamètes recombinés sont le témoignage d'un brassage génique.

### 2. Exploitation des résultats du deuxième croisement

Un raisonnement analogue au précédent conduit à dire que les individus F1 de génotype Ff,Dd ont également produit des gamètes recombinés Fd et fD qui témoignent d'un brassage génique pour les deux gènes considérés.

Il y a bien eu brassage génétique (génique) lors des deux croisements.

## B. Jugement des affirmations des deux étudiants

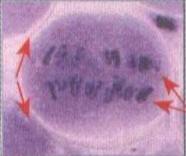
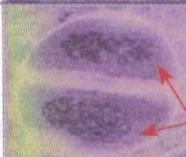
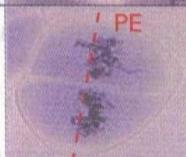
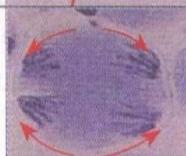
- Pour évaluer l'exactitude des deux affirmations, il est nécessaire de prendre en compte les quantités relatives de gamètes produits dans les deux croisements tests.
- Dans le premier croisement, les gamètes parentaux (AB et ab) représentent environ 88 % du nombre de gamètes totaux alors que les gamètes recombinés ne représentent que 12 %. Cette inégalité entre le nombre de gamètes parentaux et le nombre de gamètes recombinés ne peut s'expliquer par le seul brassage interchromosomique et implique donc l'intervention d'un brassage génique intrachromosomique.
- Dans le deuxième croisement, au contraire, l'individu F1 a produit autant de gamètes recombinés que de gamètes parentaux ce qui s'explique simplement par un brassage interchromosomique.

C'est donc le deuxième étudiant qui a raison.

*Remarque : la réponse du deuxième étudiant n'est pas totalement exacte car il suggère l'intervention du brassage interchromosomique dans les deux cas alors qu'on ne peut le mettre en évidence dans le premier croisement. En effet, les gènes A et B étant liés, le croisement ne fait intervenir qu'une seule paire de chromosomes alors que pour démontrer l'existence d'un brassage interchromosomique il faut qu'au moins deux paires de chromosomes soient concernées.*

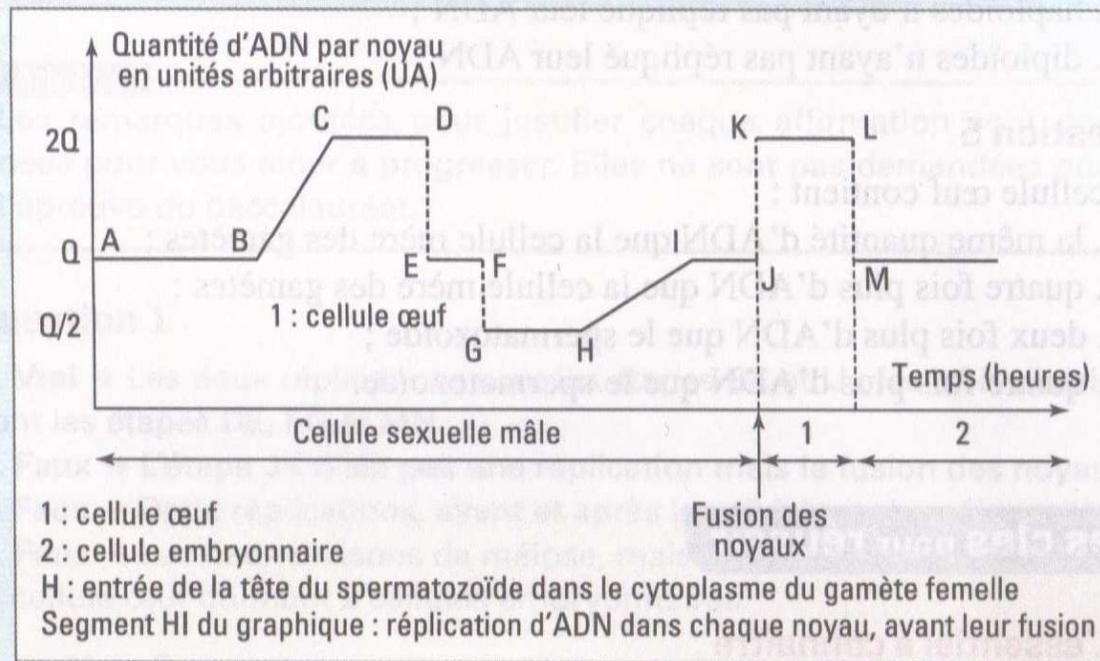


## Corrigé Méiose et formation des grains de pollen

Ordre	Observation	Annotations et commentaires
3		ADN = 2Q ; 2n = 24 chromosomes à deux chromatides ou à deux molécules d'ADN Séparation des homologues
2		ADN = 2Q ; 2n = 24 chromosomes à deux chromatides ou à deux molécules d'ADN Alignement sur plaque équatoriale (PE)
4		ADN = Q ; n = 12 chromosomes à deux chromatides ou à deux molécules d'ADN Séparation en deux cellules haploïdes
1		ADN = 2Q ; 2n = 24 chromosomes à deux chromatides ou à deux molécules d'ADN Appariement des homologues
5		ADN = Q ; n = 12 chromosomes à deux chromatides ou à deux molécules d'ADN Alignement sur plaque équatoriale (PE)
6		ADN = Q ; n = 12 chromosomes à une chromatide ou à une molécule d'ADN Séparation des chromatides de chaque chromosome Obtention de 4 cellules ADN = Q/2 (n = 12)

# Quantité d'ADN et divisions cellulaires des cellules sexuelles

**Document** Évolution de la quantité d'ADN par noyau, depuis la fabrication des spermatozoïdes à partir d'une cellule mère dans les testicules jusqu'à l'obtention d'un embryon de 2 cellules



# Corrigé Quantité d'ADN et divisions cellulaires des cellules sexuelles

## Attention

Les remarques ajoutées pour justifier chaque affirmation sont données pour vous aider à progresser. Elles ne sont pas demandées pour l'épreuve du baccalauréat.

### Question 1

HI

- a. **Vrai** → Les deux réplifications sont les étapes BC et ~~HI~~; les trois divisions sont les étapes DE, FG et ~~HI~~. LM
- b. **Faux** → L'étape JK n'est pas une réplification mais la fusion des noyaux.
- c. **Faux** → Deux réplifications, avant et après les divisions de méiose.
- d. **Faux** → Les deux divisions de méiose, mais aussi la première division de la cellule œuf donnant 2 cellules embryonnaires.

### Question 2

Les 2 divisions de méiose sont DE et FG.

- a. **Faux** → La division DE n'est pas suivie d'une réplification.
- b. **Faux** → DE et FG ne sont pas séparées par une réplification.
- vrai → c. **Faux** → Les réplifications BC et IJ encadrent les divisions de méiose.
- d. **Faux** → D'après b.

### Question 3

Les spermatozoïdes correspondent à la cellule sexuelle mâle avant l'entrée dans le gamète femelle. C'est l'étape ~~HI~~ avec une quantité d'ADN Q/2.

GH

- a. **Vrai** → La cellule mère est au point de départ du graphique (AB) : elle a donc une quantité d'ADN Q.
- b. **Faux** → D'après a.
- c. **Faux** → D'après a.
- d. **Faux** → D'après a.

### Question 4

La fusion des noyaux correspond à l'étape JK.

- a. **Vrai** → La réplification HI a eu lieu chez le spermatozoïde aboutissant à la quantité Q d'ADN. Après fusion, on obtient la quantité 2Q, ce qui permet de dire que la réplification a eu lieu aussi chez le gamète femelle.
- b. **Faux** → La première division de méiose DE sépare les chromosomes homologues et donne des cellules haploïdes.
- c. **Faux** → Voir a.
- d. **Faux** → Voir b.

### Question 5

La cellule œuf correspond à l'étape KL et donc à la quantité d'ADN 2Q.

- a. **Faux** → La cellule mère des gamètes a une quantité Q, pas 2Q.
- b. **Faux** → La cellule mère des gamètes a une quantité Q, pas Q/2.
- c. **Faux** → Le spermatozoïde a une quantité d'ADN Q/2 (voir question 3), pas Q.
- vrai → d. **Faux** → La quantité 2Q est bien 4 fois plus que Q/2.

# Corrigé Diversité génétique et reproduction sexuée (page 1/2)

## La diversité phénotypique qualitative de la génération F2

- On part de deux souches parentales de lignée pure, donc de deux phénotypes et de deux génotypes.

- Désignons par  $vg$  l'allèle « ailes vestigiales » et par  $vg^+$  l'allèle « ailes longues » ;  $e$  désigne l'allèle « ébène » du gène intervenant dans la couleur du corps et  $e^+$  l'allèle « corps gris ».

- Utilisons le même symbolisme pour désigner les phénotypes. La génération F2 est constituée de 4 phénotypes :  $[vg^+ e^+]$  ;  $[vg^+ e]$  ;  $[vg e^+]$  ;  $[vg e]$ .

Deux des phénotypes  $[vg^+ e]$  et  $[vg e^+]$  présentent une nouvelle association des caractères présents dans les lignées parentales. Ce sont des phénotypes recombinés, qui témoignent de la diversité phénotypique engendrée par la reproduction sexuée. Pour identifier les mécanismes créateurs de cette diversité, il faut quantifier les proportions des quatre phénotypes de la génération F2.

## Les proportions des différents phénotypes en F2

- La F1 est homogène et le phénotype de cette génération F1 indique que les phénotypes « ailes longues » et « corps gris » sont dominants et les phénotypes « ailes vestigiales » et « corps ébène » récessifs.

- La génération F2, résultat du croisement entre F1, n'est pas homogène : elle est constituée de 4 phénotypes en proportions différentes.

- Le phénotype le moins fréquent est celui où les mouches possèdent les deux phénotypes récessifs : « ailes vestigiales » et « corps ébène » (33 mouches). On constate que les mouches possédant un phénotype dominant et un phénotype récessif sont approximativement trois fois plus nombreuses que les mouches ayant les deux phénotypes récessifs (100 et 97 contre 33).

Les mouches de la F2 présentant les deux phénotypes dominants (« ailes longues », « corps gris ») sont les plus nombreuses, approximativement neuf fois plus nombreuses que les mouches aux deux phénotypes récessifs (300 contre 33).

La génération F2 est donc constituée par 9/16 de *Drosophillis*  $[vg^+ e^+]$ , 3/16  $[vg^+ e]$ , 3/16  $[vg e^+]$  et 1/16  $[vg e]$ .

## L'hypothèse « gènes sur deux chromosomes différents » est-elle compatible avec les proportions des phénotypes en F2 ?

- Si les gènes sont sur deux chromosomes différents, les génotypes des deux souches parentales peuvent s'écrire :  $vg^+//vg^+$ ,  $e^+//e^+$  et  $vg//vg$ ,  $e//e$ .

Les F1 ont donc pour génotype  $vg^+//vg$  ;  $e^+//e$ .

- Puisque les deux gènes sont sur deux chromosomes différents, et du fait du comportement indépendant des paires de chromosomes en métaphase-anaphase de la première division de la méiose, chaque F1 produit 4 sortes de gamètes en quantités égales :  $vg^+ e^+$  ;  $vg^+ e$ ,  $vg e^+$  et  $vg e$ . Au cours de la

Un phénotype peut avoir un sens étroit ou un sens large. Au sens étroit, il se rapporte à un seul caractère (par exemple, phénotype « ailes vestigiales ») ; au sens large (le plus commun), il concerne un ou plusieurs caractères (phénotype « ailes longues » et « corps gris »). Ce corrigé fait appel à ces deux définitions du phénotype.

Pour quantifier les phénotypes de la F2, la technique choisie dans le corrigé consiste à partir du phénotype le moins répandu et à rechercher des rapports simples avec les autres phénotypes. On pourrait aussi calculer les pourcentages des quatre phénotypes et arriver à partir d'eux aux proportions 9-3-3-1.

## Corrigé Diversité génétique et reproduction sexuée (page 2/2)

fécondation, la rencontre des gamètes s'effectue au hasard, ce qui permet de construire l'échiquier prévisionnel de la génération F2.

Tableau de la génération F2

Spermatozoïdes Ovules	1/4 vg+ e+	1/4 vg+ e	1/4 vg e+	1/4 vg e
1/4 vg+ e+	vg+//vg+, e+//e+ [vg+ e+]	vg+//vg+, e+//e [vg+ e+]	vg+//vg, e+//e+ [vg+ e+]	vg+//vg, e+//e [vg+ e+]
1/4 vg+ e	vg+//vg+, e+//e [vg+ e+]	vg+//vg+, e//e [vg+ e]	vg+//vg, e+//e [vg+ e+]	vg+//vg, e//e [vg+ e]
1/4 vg e+	vg+//vg, e+//e+ [vg+ e+]	vg+//vg, e+//e [vg+ e+]	vg//vg, e+//e+ [vg e+]	vg//vg, e+//e [vg e+]
1/4 vg e	vg+//vg, e+//e [vg+ e+]	vg+//vg, e//e [vg+ e]	vg//vg, e+//e [vg e+]	vg//vg, e//e [vg e]

• Chaque case correspond à une probabilité de 1/16. D'après l'hypothèse de deux gènes situés sur deux chromosomes différents, on doit donc obtenir 9/16 de [vg+ e+], 3/16 de [vg+ e], 3/16 de [vg e+] et 1/16 de [vg e]. Cela est en accord avec les proportions obtenues dans la génération F2. Les résultats valident l'hypothèse émise.

Remarquer l'importance de bien indiquer les proportions des gamètes dans l'échiquier de croisement. Si les deux gènes étaient situés sur le même chromosome, les hybrides F1 auraient aussi produit 4 sortes de gamètes (brassage intrachromosomique), mais en quantité inégale (sans qu'on puisse d'ailleurs les quantifier *a priori*). On n'aurait pas obtenu les proportions 9-3-3-1. Donc, si dans une génération F2 les résultats s'écartent nettement des proportions 9-3-3-1, cela signifie que les deux gènes sont sur le même chromosome.

### Bilan : les mécanismes créateurs de diversité génétique

Si on examine le tableau prévisionnel de la génération F2, on découvre qu'il y a 9 génotypes, alors qu'au départ il n'y en avait que deux. En deux générations, et en ne considérant que deux gènes, on voit que la reproduction sexuée a considérablement accru la diversité des génotypes.

Les deux mécanismes en jeu dans cet exemple sont :

- le comportement indépendant des paires de chromosomes à la métaphase-anaphase de la première division de la méiose, à l'origine de la diversité génétique des gamètes (brassage interchromosomique) ;
- la rencontre au hasard des gamètes au cours de la fécondation.