

## Thème I : La Terre, la vie et l'organisation du vivant

### Partie 1-A-1 : L'origine du génotype des individus.

#### II. Le brassage des génomes à chaque génération : la reproduction sexuée des eucaryotes

##### TP2: Sur la route de Mendel...

Du nom de Gregor Johann Mendel (1822-1884), ce prêtre autrichien passionné de botanique qui, huit ans durant, occupa ses loisirs à hybrider des petits pois et fut le premier à en tirer des lois statistiques. La génétique mendélienne a pour but d'étudier la transmission des caractères héréditaires de génération en génération.



##### **Par convention :**

- la génération initiale ou génération parentale est dénommée *P*, les générations suivantes ou générations filiales désignées *F1*, *F2*, *F3*... selon leur ordre d'apparition.
- Un génotype s'écrit entre parenthèses. Pour une cellule diploïde, les deux allèles sont séparés par une ou deux barres obliques symbolisant les deux chromosomes portant le gène : (A/A)
- Le phénotype s'écrit entre crochet : [A]

##### Notions importantes

Lignée pure: Population dont les individus donnent des descendants identiques à eux-mêmes (qui ne présentent aucune variation) en ce qui concerne le caractère considéré.

Phénotype: La forme adoptée par un caractère (ou un groupe de caractères) chez un individu spécifique. Il s'agit également des manifestations extérieures détectables d'un génotype spécifique.

Génotype: La constitution allélique spécifique d'une cellule - soit de l'ensemble de la cellule, ou, ce qui est le plus courant, d'un certain gène ou groupe de gènes.

La plupart des travaux de Mendel ayant porté sur le pois cultivé *Pisum sativum* (petit pois), nous commencerons par décrire quelques unes de ses expériences portant sur l'hybridation de lignées parentales différant par un seul caractère (**monohybridisme**), puis de lignées parentales différant par deux caractères (**dihybridisme**).

Ensuite, nous envisagerons les cas de transmissions non conformes aux lois de Mendel (**crossing-over**) et, enfin, le cas particulier des **caractères liés au sexe**.

À chaque étape, un exercice d'application vous sera proposé, de manière à mieux vous familiariser avec la démarche à utiliser.

Une des premières tâches de Mendel fut de s'assurer de disposer de **lignées pures**, c'est-à-dire des populations **homozygotes** qui engendrent toujours des descendants identiques à eux-mêmes pour le caractère considéré, en cultivant les différentes variétés qu'il avait choisies pendant deux ans. Il réussit ainsi à sélectionner sept paires de lignées pures, chaque paire ne se distinguant des autres que par un seul caractère :

- la couleur de la graine jaune ou verte,
- la forme de la graine lisse ou ridée,
- la grandeur de la tige longue ou courte,
- la position des fleurs axiale ou terminale,
- la couleur des fleurs violette ou blanche,
- la couleur de la cosse immature verte ou jaune,
- la forme de la cosse gonflée ou étranglée.

Ainsi, en croisant des plantes à graines jaunes entre elles, il n'obtenait que des descendants à graines jaunes qui, à leur tour, ne produisaient que des pois à graines jaunes et ainsi de suite. De même pour chaque caractère retenu.

Il put alors commencer ses hybridations en croisant des lignées pures différant par un seul caractère (monohybridisme), puis des lignées pures différant par deux caractères (dihybridisme).

**Séance 1 : MONOHYBRIDISME, DIHYBRIDISME**

**I- MONOHYBRIDISME**

*Doc 1 : Tableau de croisement de deux lignées pures ne différant que par un seul caractère*

Croisement effectué (P)	Résultat obtenu (F1)	Génotype + phénotype de F1
Graines jaunes x vertes	Graines jaunes	
Graines lisses x ridées	Graines lisses	
Tiges longues x courtes	Tiges longues	
Fleurs axiales x terminales	Fleurs axiales	
Fleurs violettes x blanches	Fleurs violettes	
Cosses vertes x jaunes	Cosses vertes	
Cosses gonflées x étranglées	Cosses gonflées	

**Q1 : Interprétez et citez alors la première loi de Mendel :**

*Doc 2 : En croisant ensuite les hybrides de première génération (F1) entre eux, on aboutit alors aux résultats suivants.*

Génération parentale (P)	Hybrides de F1	Hybrides de F2
Graines jaunes × vertes	Toutes jaunes	6 022 jaunes ; 2 001 vertes
Graines lisses × ridées	Toutes lisses	5 474 lisses ; 1 850 ridées
Tiges longues × courtes	Toutes longues	787 longues ; 277 courtes
Fleurs axiales × terminales	Toutes axiales	651 axiales ; 207 terminales
Fleurs violettes × blanches	Toutes violettes	705 violettes ; 224 blanches
Cosses vertes × jaunes	Toutes vertes	428 vertes ; 152 jaunes
Cosses gonflées × étranglées	Toutes gonflées	882 gonflées ; 299 étranglées

**Q2 : Interprétez le cas de votre choix en utilisant le échiquier de croisement suivant et citez alors la deuxième loi de Mendel :**

		Gamètes mâles produites	
Gamètes femelles produites		Génotype	Génotype
		Phénotype	Phénotype
		Génotype	Génotype
		Phénotype	Phénotype

### Q3 : Exercices d'application

A- On dispose de deux lignées pures de rats qui diffèrent par un seul caractère : l'une est constituée de rats blancs, l'autre de rats noirs.

1. Le croisement d'un rat blanc avec un rat noir donne en F1 100% de rats noirs. Expliquez ce résultat.
2. Quels seront les résultats statistiques de la F2 résultant du croisement des rats obtenus en F1 ?
3. Doit-on s'assurer de la pureté des rats blancs ?
4. Qu'obtiendrait-on en croisant :
  - a. un rat blanc de lignée pure avec un rat obtenu en F1 ?
  - b. un rat noir de lignée pure avec un rat obtenu en F1 ?

B- Un éleveur possède deux types de lapins : des lapins à poils courts et des lapins à poils longs. Il procède alors aux croisements suivants :

- a. lapins à poils courts x lapins à poils courts → 45 à poils courts et 14 à poils longs,
  - b. lapins à poils longs x lapins à poils longs → 60 à poils longs,
  - c. lapins à poils courts x lapins à poils longs → 29 à poils courts et 31 à poils longs.
1. Quel est le phénotype dominant ?
  2. Expliquez les descendance obtenues à l'aide des lois de Mendel.

## II- DIHYBRIDISME

Les phénomènes décrits jusqu'à présent ne concernaient que des lignées parentales pures se distinguant par un seul caractère. Voyant maintenant ce qu'il en est lorsqu'elles diffèrent par deux caractères distincts et reprenons les expériences de Mendel effectuées à partir de pois à graines jaunes / ridées et de pois à graines vertes / lisses.

Comme précédemment, il s'agit de lignées homozygotes de sorte que le croisement de pois à graines jaunes / ridées entre eux ne donne que des pois à graines jaunes / ridées et il en est de même pour les pois à graines vertes / lisses.

En revanche, si l'on croise les deux variétés entre eux, tous les pois de F1 présentent le même phénotype (graines jaunes et lisses) et aucun pois à graines vertes / ridées n'apparaît.

### Q4 :Interprétez ce résultat avec un échiquier de croisement

**Génotype** (J/J ; r/r) x (v/v ; L/L) → **Génotype** ? ( / ; / )

**Phénotype** (J ; r) x (v ; L) → **Phénotype** ? : [ ; ]

Mendel croise alors les hybrides obtenus en F1 entre eux et observe que les quatre caractères parentaux réapparaissent en F2 mais dans un rapport 9/3/3/1. 9/16 des pois sont à graines jaunes et lisses [J ; L], 3/16 à graines jaunes et ridées [J ; r], 3/16 à graines vertes et lisses [v ; L] et 1/16 à graines vertes et ridées [v ; r].

### Q5 : Confirmez ces résultats avec un échiquier de croisement.

### Q6 : Exercice d'application

À partir de trois pois à graines jaunes et lisses pris au hasard, on effectue pour chacun d'entre eux un croisement avec un pois à graines vertes et ridées.

Les résultats, rapportés à la centaine, sont les suivants :

- croisement n°1 → 51 graines jaunes et lisses, 49 graines vertes et lisses,
- croisement n°2 → 100 graines jaunes et lisses,
- croisement n°3 → 24 graines jaunes et lisses, 26 graines jaunes et ridées, 25 graines vertes et lisses, 25 graines vertes et ridées.

1. Quels sont, de ces quatre caractères, ceux qui sont dominants et ceux qui sont récessifs ?
2. Établissez le génotype des quatre pois de départ et construisez pour chaque cas l'échiquier de croisement.
3. Pour le croisement 3, schématisez la méiose à l'origine des 4 types de gamètes produits par le pois à graines jaunes et lisses.

## Séance 2 : CROSSING-OVER

Les travaux de Mendel, bien qu'ignorés de son vivant, ont résisté à l'épreuve du temps et constituent encore aujourd'hui la base de toute étude génétique consacrée à la transmission des caractères héréditaires. Pourtant, il est des cas où la descendance observée ne correspond pas aux prévisions attendues. On parle alors de **distribution non conforme**.

Le phénomène fut observé pour la première fois au début des années 1900 par Bateson et Punnett chez le Pois de senteur. En laissant se reproduire les hybrides de F1 obtenus après croisement de deux lignées pures (l'une à fleur pourpre et grain de pollen long, l'autre à fleur rouge et grain de pollen rond), la F2 présentait des proportions très éloignées du rapport 9/3/3/1 attendu.

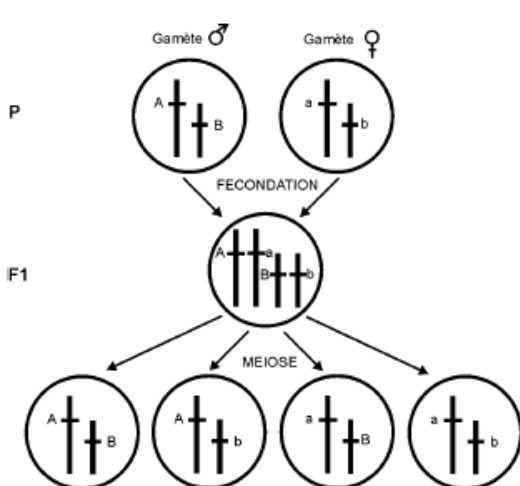
Phénotypes issus du croisement	Nombre de descendants observés	Nombre de descendants attendus
Fleurs pourpres / Grains de pollen longs	4 831	3 911
Fleurs pourpres / Grains de pollen ronds	390	1 303
Fleurs rouges / Grains de pollen longs	393	1 303
Fleurs rouges / Grains de pollen ronds	1 338	435
	—————	—————
	6 952	6 952

Tout se passait comme si la F1 avait produit beaucoup plus de gamètes renfermant les allèles dominants pourpre et long, d'une part, les allèles récessifs rouge et rond, d'autre part, que ne le laissait prévoir une répartition de type mendélien.

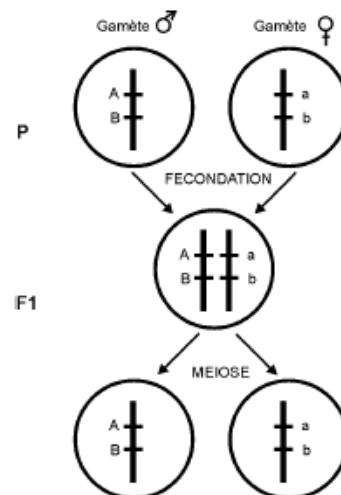
Bateson et Punnett émirent alors l'hypothèse d'un couplage entre allèles dominants et allèles récessifs sans toutefois parvenir à expliquer l'apparition de phénotypes nouveaux.

Il fallut attendre les travaux de Morgan sur la Drosophile pour que l'on comprenne que les allèles correspondant à la couleur de la fleur et à la forme du grain de pollen se situent sur le **même chromosome, tout en occupant des locus différents : gènes liés**.

Nous nous sommes en effet jusqu'ici intéressés uniquement à des caractères dont les gènes étaient portés par des chromosomes différents (**gènes indépendants**).



**Gènes indépendants**



**Gènes liés**

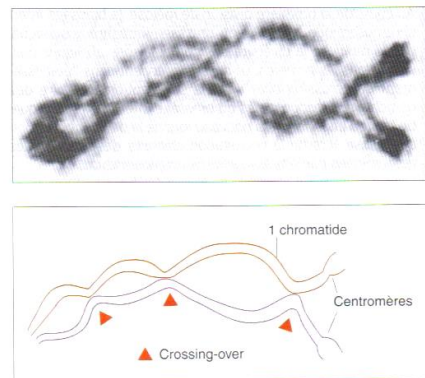
Pour des gènes indépendants : En croisant les hybrides entre eux, nous obtenons donc, conformément aux lois de Mendel, neuf génotypes différents et quatre phénotypes apparents dans un rapport 9/3/3/1.

Supposons maintenant qu'un même chromosome porte les deux gènes (**gènes liés**). Les hybrides de F1 renfermeront à nouveau les quatre allèles mais ceux-ci seront disposés sur la même paire de chromosomes. Conséquence, ils ne pourront former que deux types de gamètes.

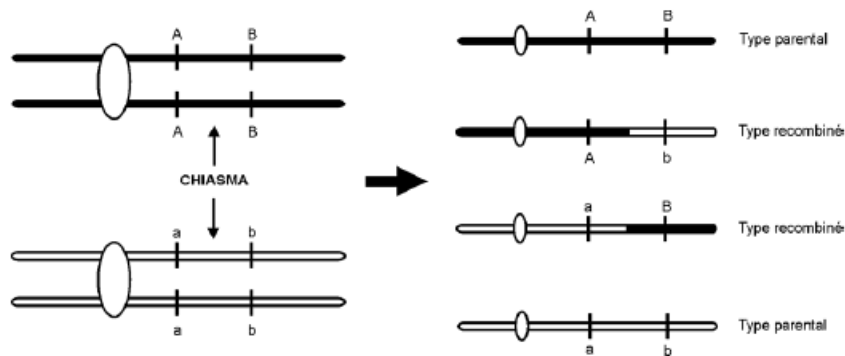
Ne restait plus qu'à expliquer pourquoi, à côté d'une forte proportion de **types parentaux** (fleur pourpre et grain de pollen long, fleur rouge et grain de pollen rond), existait une faible proportion de **types recombinés** (fleur pourpre et grain de pollen rond, fleur rouge et grain de pollen long).

La réponse fut également apportée par Morgan qui suggéra qu'il pouvait y avoir échange de matériel génétique entre deux chromosomes d'une même paire au cours de la méiose.

Il faut en effet se rappeler qu'au cours de la prophase réductionnelle, les homologues s'apparient pour former des bivalents. Il est alors possible qu'en ces points de contact (les **chiasmata**) entre les chromosomes d'une même paire, une partie de la chromatide de l'un s'échange avec la partie correspondante de la chromatide de l'autre



Ce phénomène aléatoire dénommé **crossing-over** permet ainsi une recombinaison des gènes portés par un même chromosome et explique l'apparition de gamètes de types recombinés à côté des types parentaux. Donc **4 types de gamètes seront formés** : deux types parentaux majoritaires et deux types recombinés minoritaires.



**Q7 : On cherche à déterminer chez la Drosophile si ces deux gènes responsables, l'un, de la couleur du corps et l'autre, de la longueur de l'aile, sont sur le même chromosome ou sur deux chromosomes différents.**

**Cas 1 : 2 gènes avec chacun 2 allèles : fiche réponse 1**

$vg^+$  = aile longue ;  $vg$  = aile vestigiale ;  $eb^+$  = corps clair ;  $eb$  : corps ébène (Gris foncé)

**Cas 2 : 2 gènes avec chacun 2 allèles : fiche réponse 2**

$vg^+$  = aile longue ;  $vg$  = aile vestigiale ;  $b^+$  = corps gris ;  $b$  : corps noir.

**Pour chacun des cas :**

Vous disposez des plaques suivantes (ou des photos) :

- une plaque de référence comportant des drosophiles de phénotypes parentaux de race pure :  
P1 = souche sauvage et P2 = souche mutée
- 1 plaque F1
- 1 plaque de **croisement-test** (=test cross ou backcross) : **F2BC**= F1 x P2 = double hybride F1  
X souche parentale mutée

a) Résumez les croisements réalisés en respectant les conventions d'écriture.

b) Déterminez en le justifiant les allèles récessifs et dominants

c) A partir de l'**observation des plaques à la loupe binoculaire ou de photos sur l'ordinateur**, figurez les critères de reconnaissance de chaque phénotype que vous aurez identifié sur la plaque du croisement-test, en complétant et légendant les schémas de la fiche réponse 1.

d) Dénombrez les différents phénotypes obtenus à l'issue du croisement test (soit à la loupe binoculaire ou sur photo grâce au logiciel Mesurim, puis calculez leurs pourcentages. Reportez les résultats sur la fiche réponse en respectant les consignes d'écriture.

e) En tenant compte de vos résultats expérimentaux, des résultats de Morgan et de vos connaissances sur la méiose, **proposez une explication aux résultats obtenus en back cross.**

Justifiez votre démarche par des schémas annotés et rigoureusement réalisés montrant le comportement des chromosomes au cours de la méiose et d'un échiquier de croisement de F2BC

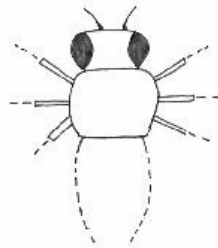
f) Reporter les différents génotypes sur la fiche réponse en respectant les conventions d'écriture.

## FICHE RÉPONSE 1

**Allèles :  $vg^+$  = aile longue ;  $vg$  = aile vestigiale ;  $eb^+$  = corps clair ;  $eb$  : corps ébène**

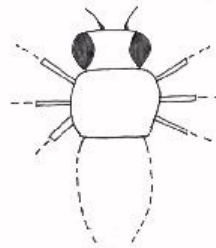
### PARENTS

**P1**



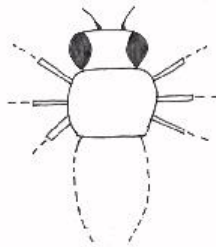
Phénotype :  
Génotype :

**P2**



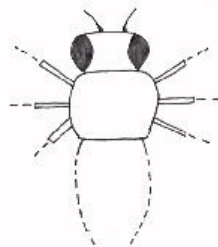
Phénotype :  
Génotype :

### F1



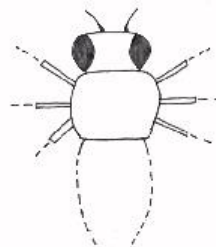
Phénotype :  
Génotype :

### F1



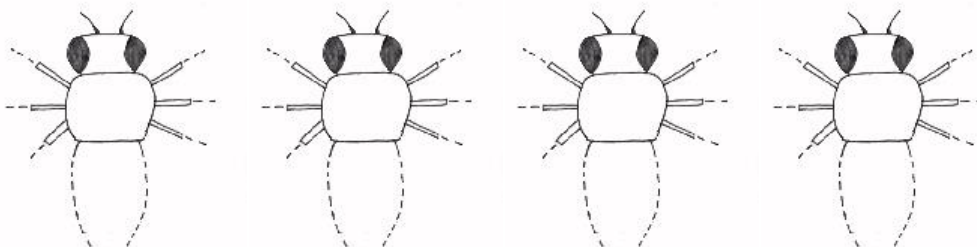
Phénotype :  
Génotype :

### P2



Phénotype :  
Génotype :

### F2BC



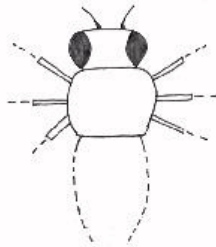
Pourcentage				
Phénotype				
Génotype				

**FICHE RÉPONSE 2**

**Allèles :  $vg^+$  = aile longue ;  $vg$  = aile vestigiale ;  $b^+$  = corps gris ;  $b$  : corps noir**

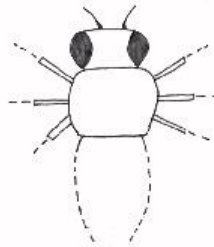
**PARENTS**

**P1**



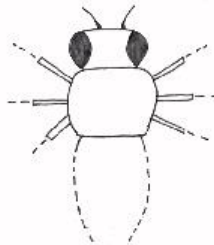
Phénotype :  
Génotype :

**P2**



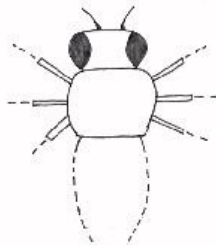
Phénotype :  
Génotype :

**F1**



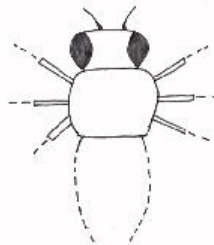
Phénotype :  
Génotype :

**F1**



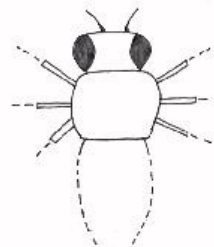
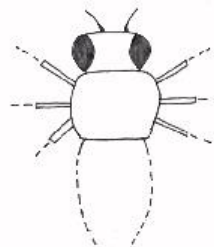
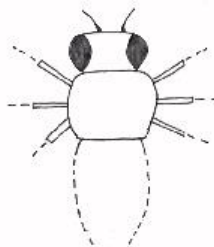
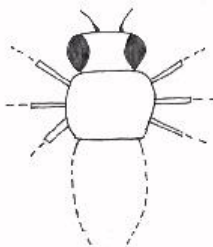
Phénotype :  
Génotype :

**P2**



Phénotype :  
Génotype :

**F2BC**



Pourcentage				
Phénotype				
Génotype				



### Q8 : Exercice d'application

Deux lignées pures de drosophiles, l'une à corps gris et soies normales, l'autre à corps ébène et soies épaisses, sont croisées entre elles.

En F1, tous les insectes sont gris et présentent des soies normales.

On effectue alors un croisement-test entre ces hybrides mâles de première génération et des femelles de la souche pure à corps ébène et soies épaisses qui aboutit aux résultats suivants :

- 50% des insectes possèdent un corps gris et des soies normales,
- 50% des insectes possèdent un corps ébène et des soies épaisses.

1. Identifiez les caractères dominants et les caractères récessifs.
2. Quel est le génotype des hybrides obtenus en F1 ?
3. Pourquoi n'observe-t-on que deux catégories d'insectes lors du croisement-test ? Que pouvez vous en déduire ?

Pour s'assurer des résultats, on effectue alors un croisement-test entre des hybrides femelles de première génération et des mâles de la souche pure à corps ébène et soies épaisses qui aboutit aux résultats suivants :

Cette fois la population d'insectes obtenue se décompose comme suit :

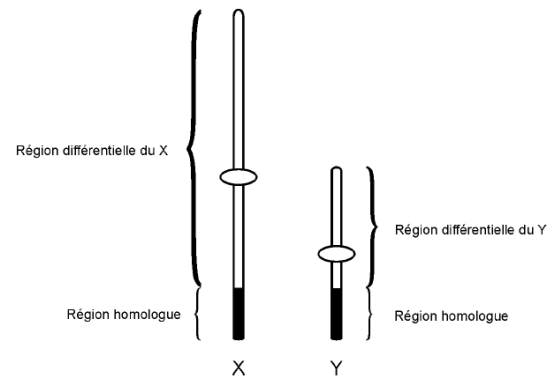
- 42,5% possèdent un corps gris et des soies normales,
- 7,5% possèdent un corps gris et des soies épaisses,
- 7,5% possèdent un corps ébène et des soies normales,
- 42,5% possèdent un corps ébène et des soies épaisses.

4. Par quel processus a-t-on pu obtenir un résultat différent ?
5. Représentez la garniture chromosomique de chaque type d'insecte obtenu.

### HEREDITE LIEE AU SEXE

Les lois de l'hérédité décrites jusqu'ici ne concernaient que les gènes portés par les **autosomes** ou chromosomes non sexuels. Or la différenciation sexuée implique l'existence d'une paire de chromosomes particuliers, dénommés **gonosomes** ou **hétérochromosomes**, qui déterminent le sexe : XX chez la femelle et XY chez le mâle. Au terme de la méiose, les femelles produisent donc un seul type de gamètes ( $n$  autosomes + X), ce qui n'est pas le cas des mâles ( $n$  autosomes + X ou Y).

Il faut donc s'attendre à ce que la transmission de certains caractères soit liée au sexe, d'autant que les chromosomes sexuels présentent toujours une petite région homologe, où les gènes sont communs aux deux sexes, et une grande **région différentielle** où les gènes spécifiques au chromosome X et ceux spécifiques au chromosome Y n'ont pas d'équivalent dans l'autre sexe.



### Q9- Exercice d'application

Chez la Drosophile, le caractère « ailes vestigiales » situé sur le chromosome 2 est récessif par rapport au caractère « ailes longues » et le caractère « yeux rouges » porté par le chromosome X est dominant par rapport au caractère « yeux blancs ». On croise une femelle homozygote à ailes longues et yeux blancs avec un mâle à ailes vestigiales et yeux rouges.

1. À quels phénotypes peut-on s'attendre statistiquement en F1 ?
2. Quel sera le résultat du croisement des insectes obtenus en F1 avec chacun des parents ?