

# 3 CHAPITRE III : POLYHYBRIDISME

## 1. TRANSMISSION DE DEUX CARACTERES → LE DIHYBRIDISME

### 1. Expérience

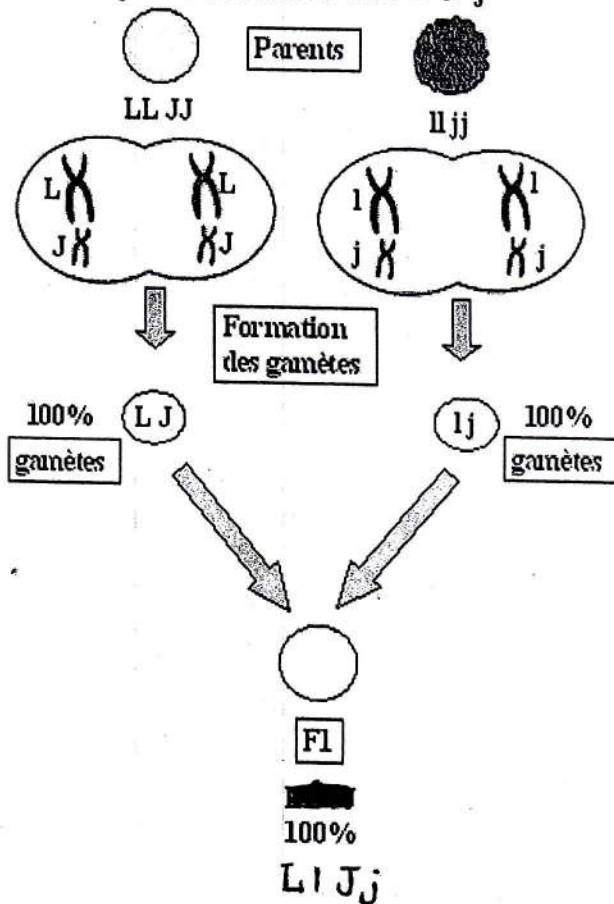
On dispose de deux variétés de pois de lignées pures pour les deux caractères à étudier :

- 1<sup>er</sup> caractère → la forme de la graine : lisse ou ridée.
- 2<sup>ème</sup> caractère → la couleur de la graine : jaune ou verte.

Le croisement entre une variété à graines lisses et jaunes avec une variété à graines ridées et vertes donne des graines hybrides F1 toutes semblables : lisses et jaunes.

La F1 issue de parents purs est homogène

- En ce qui concerne la forme de la graine le caractère lisse domine le ridé →  $L > l$
- En ce qui concerne la couleur de la graine le caractère jaune domine le vert →  $J > j$



Le croisement des individus F1 entre eux donne une F2 constituée de 556 graines qui présentent 4 phénotypes différents :

- 315 graines lisses et jaunes soit environ 9/16 du total.
- 108 graines lisses et vertes soit environ 3/16 du total.
- 101 graines ridées et jaunes soit environ 3/16 du total.
- 32 graines ridées et vertes soit environ 1/16 du total.

### 2. Analyse et interprétation

- Comme dans le monohybridisme la F2 est hétérogène, cependant aux deux phénotypes parentaux (lisse-jaune et ridé-vert) s'ajoutent deux phénotypes nouveaux

lisse-vert et ridé-jaune.

L'apparition de ces deux nouveaux phénotypes s'explique par le fait que les hybrides F1 issus d'un croisement entre parents purs sont des hétérozygotes Ll Jj qui possèdent à la fois les allèles dominants lisse L et jaune J, et les allèles récessifs ridé l et vert j.

- Au moment de la formation de leurs gamètes les allèles se séparent : la disjonction des allèles du couple Ll et celle du couple Jj se font indépendamment l'une de l'autre. Chaque gamète ne recevant que l'un des allèles de chaque couple soit L ou l, soit J ou j.

- Ainsi un allèle d'un couple se combine avec l'un ou l'autre des allèles de l'autre couple → L'allèle L s'associe au hasard avec J ou avec j, et inversement J avec L ou l.

- Du point de vue cytologique la disjonction indépendante résulte du fait que les 2 gènes responsables des 2 caractères étudiés sont portés par deux chromosomes différents :

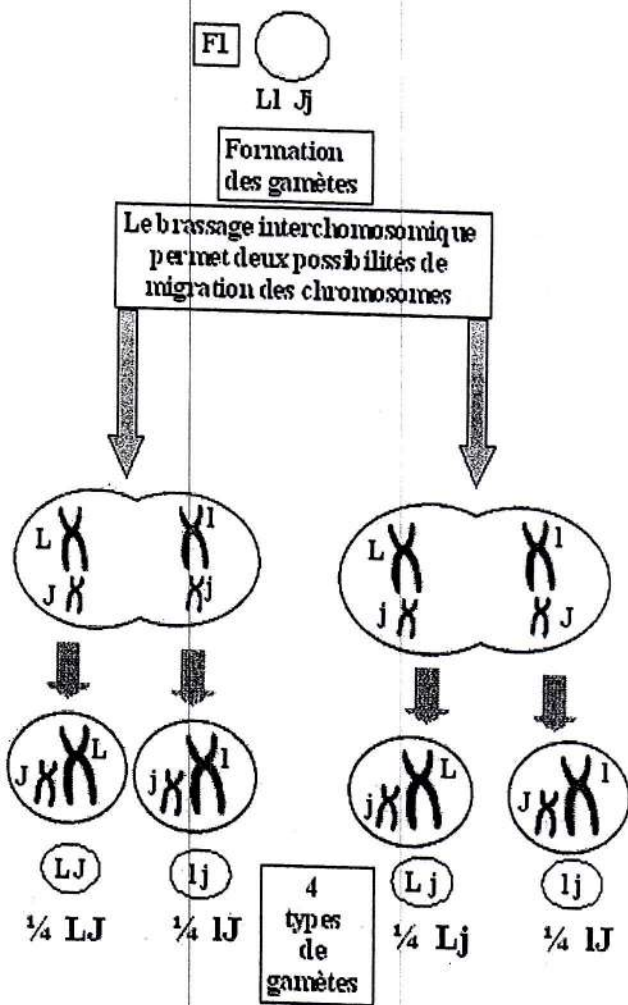
- Le 1<sup>er</sup> chromosome et son homologue portent respectivement les allèles L et l
- Le 2<sup>ème</sup> chromosome et son homologue portent respectivement les allèles J et j

Le brassage interchromosomique lors de la méiose permet à l'hybride F1 de former 4 catégories différentes de gamètes avec des fréquences égales.

	1/4 LJ	1/4 Lj	1/4 lJ	1/4 lj
1/4 LJ	LL JJ 1/16 (LJ)	LL Jj 1/16 (LJ)	Ll JJ 1/16 (LJ)	Ll Jj 1/16 (LJ)
1/4 Lj	Ll Jj 1/16 (LJ)	LL jj 1/16 (Lj)	Ll Jj 1/16 (LJ)	Ll jj 1/16 (Lj)
1/4 lJ	Ll JJ 1/16 (LJ)	Ll Jj 1/16 (LJ)	ll JJ 1/16 (lJ)	ll Jj 1/16 (lJ)
1/4 lj	Ll Jj 1/16 (LJ)	Ll jj 1/16 (Lj)	ll Jj 1/16 (lJ)	ll jj 1/16 (lj)

NB: Les individus homozygotes pour les deux caractères se trouvent sur les cases occupant la diagonale verticale de l'échiquier de croisement.

Le dépouillement du tableau obtenu montre 9 génotypes différents auxquels par le jeu de dominance correspondent 4 phénotypes dont les proportions sont celles effectivement observées dans l'expérience.



Génotypes		Phénotypes
1/16	LL JJ	9/16 (LJ) lisse-jaune
2/16 (1/8)	LL Jj	
2/16 (1/8)	Ll JJ	
4/16 (1/4)	Ll Jj	
1/16	LL jj	3/16 (Lj) lisse-vert
2/16 (1/8)	Ll jj	
1/16	ll JJ	3/16 (lJ) ridé - jaune
2/16 (1/8)	ll Jj	
1/16	ll jj	1/16 (lj) ridé - vert

Le croisement F1 x F1 met en jeux deux parents doubles hétérozygotes qui vont produire chacun 4 types de gamètes différents

L'échiquier de croisement montre 4 x 4 = 16 combinaisons génotypiques également probables. Chaque combinaison correspond statistiquement à 1/16 de la population totale.

### 3. Vérification de l'hypothèse de la ségrégation indépendante par Test-cross

On peut vérifier l'hypothèse de disjonction indépendante en effectuant un croisement test entre les hybrides F1 de génotypes Ll Jj et le parent homozygote double récessif ll jj. Le parent homozygote ridé-vert ne fournit qu'un seul type de gamètes qui n'intervient pas dans le phénotype des descendants puisqu'ils sont récessifs.

L'existence de 4 phénotypes aux proportions égales **25% : 25% : 25% : 25%**, indiquera donc la présence de 4 catégories de gamètes issus du parent F1.

L'examen des descendants fournis par ce croisement-test et de leurs proportions 1/4 lisse-jaune 1/4 lisse-vert 1/4 ridé-jaune 1/4 ridé-vert montre que l'hybride a effectivement formé **4 types de gamètes**.

**Test cross**

hybride F1 (x) Parent récessif  
 lisse-jaune (x) ridé-vert  
**Phénotype** (LJ) x (lj)  
**Génotype** Ll Jj x ll jj  
**Gamètes** 25% LJ x 100% lj  
 25% Lj  
 25% lJ  
 25% lj

	25 % LJ	25 % Lj	25 % lJ	25 % lj
100% lj	L l Jj 25% (L J) Lisses Jaunes	L l jj 25% (L j) lisses vertes	ll Jj 25% (l J) ridées jaunes	ll jj 25% (l j) ridées vertes

**4. Conclusion**

La transmission de deux caractères différents dont les gènes qui les gouvernent sont situés sur deux **chromosomes différents**, s'effectue de manière **indépendante** → les divers couples d'allèle se transmettent indépendamment les uns des autres.

Le croisement entre deux doubles hétérozygotes donne une ségrégation de **9 : 3 : 3 : 1**.

Cette **disjonction indépendante des caractères** constitue la 3<sup>ème</sup> loi de Mendel → **Loi d'indépendance des caractères**

Dans l'expérience des graines de pois parmi les graine à phénotype nouveau (lisse-vert ou ridé-jaune) la plupart (2/3) sont hybrides mais les autres (1/3), celles dont les génotypes sont LLjj et llJJ sont homozygotes pour les deux caractères. Elles constituent des lignées pures nouvelles.

Ainsi au moyen de l'hybridation on peut donc créer de **nouvelles lignées pures**. Cette propriété est largement employée par les agriculteurs et les éleveurs pour créer des

lignées associant plusieurs caractères avantageux.

**Exemples :**

- Association des qualités d'une race laitière avec les qualités d'une race à viande chez les bovins

Obtention d'une lignée de blé productive et précoce à partir d'une lignée de blé productive mais tardive et d'une autre lignée peu productive mais précoce.

**Remarque :**

Les proportions classiques de **9 : 3 : 3 : 1** apparaissent dans le cas d'un croisement entre double hétérozygotes impliquant deux gènes dont chacun possède un allèle dominant et un autre récessif. Dans le cas de codominance ou de létalité ces proportions sont modifiées:

Codominants	Gène 1		Gène 2		Proportions phénotypiques attendues chez la descendance
	Allèle 1	Allèle 2	Allèle 1	Allèle 2	
Normal	Dominant	Récessif	Normal	Létal	3 : 1 : 6 : 2 (→ / 12)
Dominant	récessif	Létal	Codominants	Létal	4 : 2 : 2 : 1 (→ / 9)
Normal	Létal	Normal	Codominants	Codominant	3 : 6 : 3 : 1 : 2 : 1 (→ / 16)
Dominant	récessif	Létal	Codominants	Codominant	1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 (→ / 12)
Normal	Létal	Normal	Codominants	Codominant	1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1 (→ / 16)

**II. TRANSMISSION DE PLUS DE DEUX CARACTERES : LE POLYHYBRIDISME**

**1. Expérience**

Chez le pois en plus du gène responsable de la forme des graines lisses (L) ou ridées (l), et celui qui détermine leur couleur jaune (J) ou verte (j), on connaît un troisième gène responsable de la taille des plants qui peuvent être grands (G) dominant ou petits (g) récessif.

On effectue un croisement entre deux plants de pois de lignée pure, le premier de grande taille et porteur de graines lisses et jaunes (G L J), le second de petite taille et porteur de graines ridées et vertes (g l j).

La F1 est constituée de 100% de plants de grande taille porteurs de graines lisses et jaunes  
 - Quels peuvent être les résultats en F2 du croisement des plants F1 entre eux ?

**2. Analyse et interprétation**

Le premier parent pur produit un seul type de gamète dont chacun porte les trois allèles G L J

Le deuxième parent pur produit également un seul type de gamète dont chacun porte les trois allèles g l j.

La rencontre des gamètes G L J et g l j donne en F1 des individus hétérozygotes pour les trois gènes présentant le génotype Gg Ll Jj

	grand, lisses, jaunes	x	petit, ridées, vertes
<b>Phénotype</b>	(GLJ)		(g l j)
<b>Génotype</b>	GG LL JJ		gg ll jj
<b>Gamètes</b>	100% GLJ		100%g l j
<b>F1</b>	→ 100% grand, lisses, jaunes (GLJ) de génotype triple hétérozygote Gg Ll Jj		

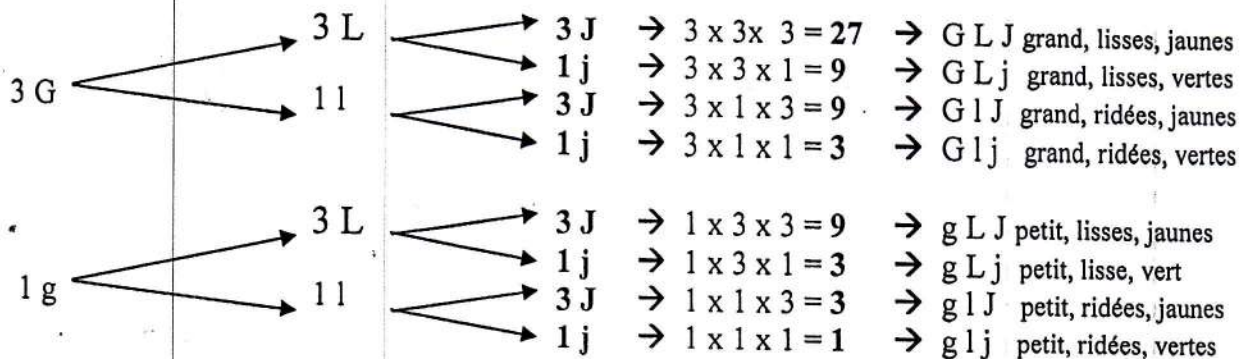
- Chaque individu F1 hétérozygote produira **8 types** de gamètes (il faut donc prévoir 64 cases pour représenter le croisement F1 x F1). Lorsque l'on dépasse deux couples d'allèles, l'échiquier de croisements est en général difficile à construire, sans erreurs, ainsi on emploie une autre représentation → **l'arbre dichotomique**.

**Les proportions phénotypiques**

Le croisement F1 x F1 donne une ségrégation phénotypique 3/4, 1/4 pour chaque couple d'allèle

- Gg x Gg → 3 (G) ; 1 (g).
- Ll x Ll → 3 (L) ; 1 (l).
- Jj x Jj → 3 (J) ; 1 (j).

On peut alors schématiser le croisement de la façon suivante:



On obtient ainsi **8 phénotypes** différents en F2 avec les proportions **27: 9 : 9 : 9: 3: 3: 3 : 1**

• **Les proportions génotypiques**

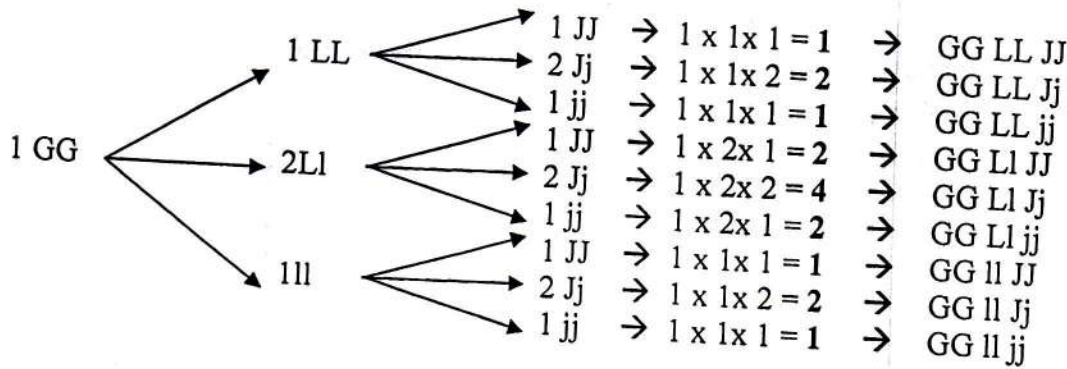
Le schéma se complique un peu du fait que pour chaque couple d'allèles on a la ségrégation  
 1/4 homozygotes dominants + 1/2 hétérozygotes (dominant) + 1/4 homozygotes récessifs

Gg x Gg ----- 1 GG ; 2 Gg ; 1 gg

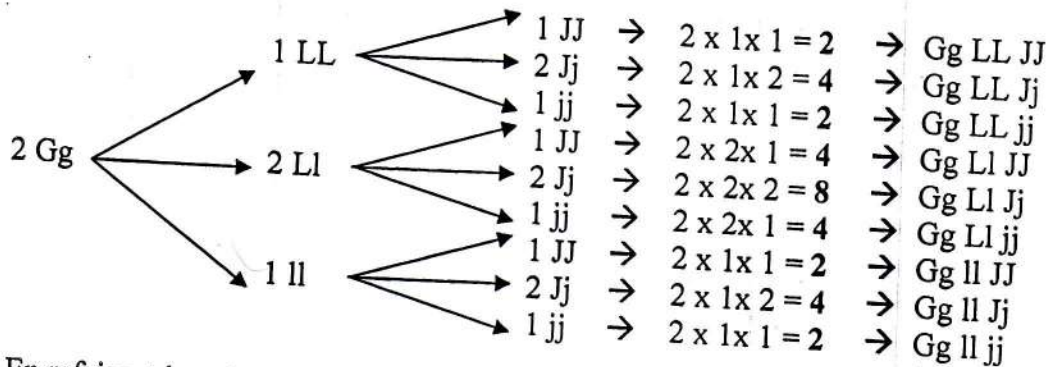
Ll x Ll ----- 1 LL ; 2 Ll ; 1 ll

Jj x Jj ----- 1 JJ ; 2 Jj ; 1 jj

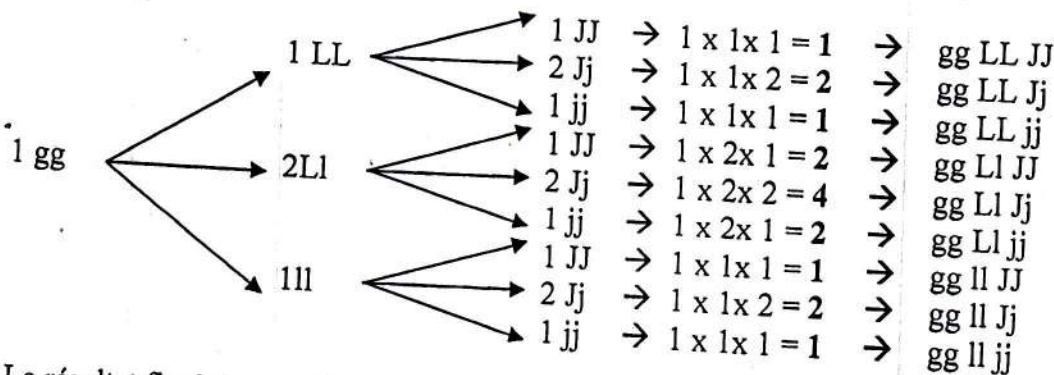
Bien que fastidieux l'arbre donnant les proportions génotypiques est facile à construire.  
 On commence d'abord par les diverses combinaisons possibles du couple GG avec les autres allèles. On obtient ainsi **9 génotypes**, le couple GG étant commun à tous ces individus.



De la même façon, on obtient **9 génotypes** distincts, le couple Gg étant commun



En refaisant la même chose avec le couple gg (ce qui est inutile il suffit de remplacer, dans le 1<sup>er</sup> arbre, le couple GG par gg) on obtient **9 génotypes** distincts, le couple gg étant commun



Le résultat final donne **27 génotypes** différents correspondant aux **8 phénotypes** obtenus.

### 3. Conclusion

On peut envisager des croisements entre parents "différent" par trois, quatre,.....n couple de caractères (trihybridisme, tétrahybridisme..... polyhybridisme). Le nombre de combinaison en F2 devient alors de plus en plus grand ; on peut cependant prévoir

les résultats statistiques des croisements réalisés (tableau ci-dessous).

**Exemple :** dans le cas d'heptahybridisme ( $n=7$ ) le nombre de catégories de gamètes produits par l'hétérozygote est **128**, leur rencontre produit **16 384** combinaisons possibles. Il est bien évident que des cas aussi complexes n'ont qu'un intérêt théorique car ils échappent à toute analyse expérimentale directe.

Nombre de couples de caractères étudiés (ou couple d'allèles)	Nombre de catégories de gamètes produits par l'hybride F1	Nombre de combinaisons en F2	Nombre de génotypes en F2	Nombre de phénotypes en F2 et répartition de ces phénotypes
1 monohybridisme	2	4	3	3 + 1
2 dihybridisme	4	16	9	9+3+3+1 → $(3+1)^2$
3 trihybridisme	8	64	27	27+9+9+9+3+3+3+1 → $(3+1)^3$
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
<b>n polyhybridisme</b>	<b><math>2^n</math></b>	<b><math>(2^n)^2</math></b>	<b><math>3^n</math></b>	<b><math>(3+1)^n</math></b>

#### Remarque

Les proportions phénotypiques F2 données par ce tableau concerne des résultats de croisements dans le cas où il y a dominance d'un allèle sur l'autre dans chaque couple d'allèle.

Dans le cas où il n'y a pas de dominance les proportions phénotypiques en F2 sont différentes. S'il y a absence de dominance pour tous les couples d'allèles considérés le nombre de phénotypes est égal au nombre de génotypes soit  $3^n$ .

## EXERCICES

#### Exercice 1 :

Un éleveur achète un couple de cobayes gris à poils lisses. Dans les quatre ans qui suivent l'achat, ce couple a donné naissance à 133 petits : 78 gris à pelage lisse, 23 gris à pelage rude, 25 blancs à pelage lisse et 7 blancs à pelage rude.

a) Quel est le génotype du couple de cobaye acheté par l'éleveur ?

b) Quels sont les génotypes possibles des cobayes gris à pelage lisse apparus dans la descendance du couple acheté ?

a) Comment l'éleveur pourra-t-il obtenir une lignée pure de cobayes blancs à pelage rude ?

b) Comment pourra-t-il obtenir une lignée pure de cobayes gris à pelage rude.

#### Exercice 2 :

Chez le sésame, le caractère gousse simple (G) et dominant sur le caractère gousse multiple (g) et le caractère feuille normale (F) et dominant sur le caractère feuille plissée (f). La transmission de ces caractères s'effectue de manière indépendante. Déterminez les génotypes des deux parents pour tous les croisements possibles produisant les descendants suivants:

69

- 318 gousses simples-feuilles normales, 98 gousses simples-feuilles plissées.
- 323 gousses multiples-feuilles normales, 106 gousses multiples-feuilles plissées.
- 401 gousses simples-feuilles normales.
- 150 gousses simples-feuilles normales; 147 gousses simples-feuilles plissées; 51 gousses multiples-feuilles normales; 48 gousses multiples-feuilles plissées.
- 223 gousses simples-feuilles normales ; 72 gousses simples-feuilles plissées ; 76 gousses multiples-feuilles normales ; 27 gousses multiples-feuilles plissées.

**Exercice 3 :**

Lors d'un croisement entre deux drosophiles de type sauvage [ailes longues ( $vg^+$ ) et corps gris ( $e^+$ )], on a obtenu une descendance F1 entière sauvage. On réalise des test-cross en croisant individuellement les drosophiles F1 avec des drosophiles aux ailes vestigiales ( $vg$ ) et à corps ébène ( $e$ ). On obtient les résultats suivants :

- $\frac{1}{4}$  des test-cross donne quatre phénotypes dans les mêmes proportions [ailes longues, corps gris]; [ailes vestigiales, corps gris]; [ailes longues, corps ébène]; [ailes vestigiales, corps ébène].
- $\frac{1}{4}$  des test-cross donne une descendance entièrement sauvage.
- $\frac{1}{4}$  des test-cross donne une moitié de drosophiles de type sauvage et l'autre moitié aux ailes vestigiales et à corps gris.
- $\frac{1}{4}$  des test-cross donne une moitié de drosophiles aux ailes longues et à corps ébène et l'autre moitié de type sauvage.

Quel est le génotype de chaque quart de mouche ?

**Exercice 4 :**

Chez la souris, on connaît deux gènes dont les mutations conduisent à des animaux anormalement gras. Une souris  $ob/ob$  est stérile et appelé "obèse". L'allèle sauvage  $Ob$  est dominant. Une souris  $ad/ad$  est stérile et appelée "adipeuse". L'allèle sauvage  $Ad$  est dominant. Des individus  $Ob/ob Ad/ad$  sont croisés entre eux, leurs descendants sont à leur tour croisés entre eux.

Quelle est la proportion d'animaux normaux en F1 et F2 ?

**Exercice 5 :**

On croise deux plants de mufliers A et B tous deux à fleurs pourpres et à feuilles dentelées, leur descendance est formée de:

- 189 plantes à fleurs pourpres et feuilles entières.
- 370 plantes à fleurs pourpres et feuilles dentelées.
- 187 plantes à fleurs pourpres et feuilles découpées.
- 62 plantes à fleurs blanches et feuilles entières.
- 126 plantes à fleurs blanches et feuilles dentelées.
- 61 plantes à fleurs blanches et feuilles découpées.

-Quels sont les génotypes des parents A et B ?

**Exercice 6:**

Chez les moutons de type Romney March. On connaît un gène ( $N$ ) qui détermine l'aspect de la laine: les individus de génotype  $N'N'$  présentent une toison normale (qui frise). Ceux de génotype  $NN$  présentent une laine qui ne frise pas, l'hétérozygote  $NN'$  présente de longs poils non frisés répartis sur une toison normale. Un autre gène ( $G$ ) détermine la couleur de la laine: les individus  $GG$  présentent une toison noire, l'hétérozygote  $GG'$  une toison grise, les homozygotes  $G'G'$  meurent avant la 15<sup>e</sup> semaine de gestation.

Soit le croisement entre deux parents de même génotype  $NN' GG'$

- Quelles sont les proportions phénotypiques obtenues parmi la descendance viable?

- b) Parmi les individus viables quelle est la proportion de ceux qui portent l'allèle  $G'$ ?
- c) Même question mais en ne considérant que la individus  $NN'$ .
- d) Quelle est la proportion des individus  $NN' GG'$  parmi l'ensemble des zygotes?

**Exercice 7**

Chez l'homme, la maladie de Tay-Sachs atteint les enfants de génotype  $ii$  qui meurent très jeunes, les individus sains présentent le génotype  $Ii$  ou  $II$ . Une autre anomalie appelée brachydactylie atteint les individus de génotype  $BB^L$ , ceux de génotype  $BB$  étant normaux, les individus  $B^L B^L$  meurent jeunes. Un homme de génotype  $BB^L Ii$  épouse une femme du même génotype. Quelles sont les proportions phénotypiques de leurs enfants qui atteignent l'âge adulte?

**Exercice 8**

Chez le poulet le caractère patte emplumées ( $P^-$ ) est dominant sur le caractère pattes sans plumes ( $pp$ ) et le caractère plumes rayées ( $T^-$ ) est dominant sur le caractère plume unies ( $tt$ ). Le gène  $T$  est porté par le chromosome  $X$ . Deux coqs  $A$  et  $B$  sont croisés avec deux poules  $C$  et  $D$ . les 4 oiseaux ont les pattes couvertes de plumes et leur plumage est tacheté. Les croisements du coq  $A$  avec les poules  $C$  et  $D$  donnent une couvée de poussins qui ont tous les pattes couvertes de plumes et le plumage tacheté. Le croisement du coq  $B$  avec la poule  $C$  donne des poussins à pattes emplumées et à pattes lisses, mais tous avec des plumes tachetées. Cette couvée ne compte que des poussins males. Enfin le croisement du coq  $B$  avec la poule  $D$  donne des poulets à pattes emplumées mais à plumage soit uni soit tacheté.

Quels sont les génotypes de  $A$ ,  $B$ ,  $C$  et  $D$ .

**Exercice 9 :**

Chez la tomate, on connaît trois gènes différents qui contrôlent trois caractères différents :

- Le gène  $A$  détermine une coloration pourpre des tiges, son allèle récessif  $a$  donne des tiges vertes.
- Le gène  $C$  conduit à des feuilles dentelées, son allèle récessif  $c$  à des feuilles entières.
- Le gène  $M$  donne des tomates divisées en deux loges, son allèle récessif  $m$  produit des tomates à loges multiples.

Soit deux souches pures: l'une a des tiges pourpres, des feuilles entières et des fruits à deux loges, l'autre des tiges vertes, des feuilles dentelées, des fruits à tiges multiples. On réalise le croisement entre ces deux souches, les individus  $F1$  obtenus sont croisés entre eux.

- Quels sont les phénotypes obtenus en  $F2$  et leurs proportions ?

**Exercice 10 :**

Une souche de pois est pure pour chacun des 9 loci indépendants considérés. Seuls les allèles dominants sont présents. Cette souche est analysée par test-cross :

- a) Combien de gamètes différents chacun des parents peut-il produire ?
- b) Combien de gamètes différents chacun des individus de la  $F1$  peut-il produire ?
- c) Si on analyse les individus de la  $F1$  par test cross, combien de phénotypes s'attend-on à retrouver dans la descendance et en quelles proportions?
- d) Combien de génotypes différent observerait-on en  $F2$  ( $F1 \times F1$ ) ?
- e) Combien compterait-on alors de combinaisons gamétiques?