

Chapitre 4: Les lois statistiques de la transmission des caractères héréditaires chez les diploïdes

Introduction:

La génétique, ou science de l'hérédité, étudie et permet de prévoir la transmission des caractères entre individus de différentes générations.

Les premières lois de l'hérédité ont été formulées au milieu du XIX^{ème} siècle par l'autrichien Johann Mendel (1822-1884). C'est le premier qui a proposé des lois régissant la transmission des caractères héréditaires chez les individus.

- Quels sont les travaux de Mendel et leurs interprétations chromosomiques?
- Comment se transmettent les caractères héréditaires d'une génération à une autre?
- Quelles sont les lois de la transmission des caractères héréditaires?

I – La transmission d'un couple d'allèles: Monohybridisme

① Les travaux de Mendel et leurs interprétations chromosomiques:

a) Les travaux de Mendel: (Voir document 1)

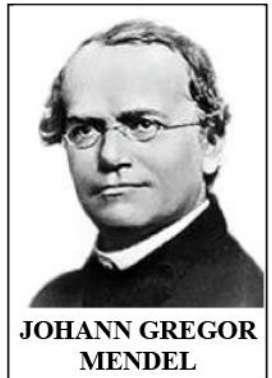
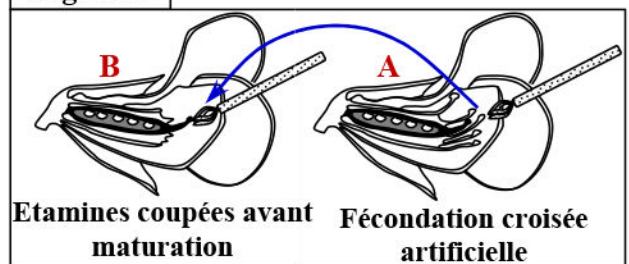
Document 1: Les travaux de Mendel.

Les travaux de Mendel ont été réalisés sur des végétaux, et en particulier sur des pois. Mendel choisit des caractères qui présentent deux formes faciles à distinguer. Il évite soigneusement les caractères quantitatifs continus (tels la largeur des feuilles), pour ne retenir que des caractères qualitatifs (« tout ou rien »): forme de la graine (ronde ou irrégulière); couleur de la graine (jaune pâle ou vert intense)...

En croisant de nombreux plants, Mendel observe la répartition statistique de différents caractères chez les plantes issues de ces croisements.

Mendel croise une plante qui donne des graines lisses avec une plante qui donne des graines ridées. Afin d'assurer une fécondation croisée entre ces deux races, Mendel a enlevé les étamines d'une plante avant que le pollen soit mûr et a fécondé le pistil avec du pollen prélevé sur l'autre plante (Figure 1). La première génération obtenue (F_1) donne des plantes qui forment des graines lisses.

Figure 1



JOHANN GREGOR MENDEL

Mendel croise deux individus de la génération F_1 (Autofécondation: $F_1 \times F_1$). Il obtient une deuxième génération (F_2), composée de 75% de plantes à graines lisses et 25% de plantes à graines ridées (Figure 2).

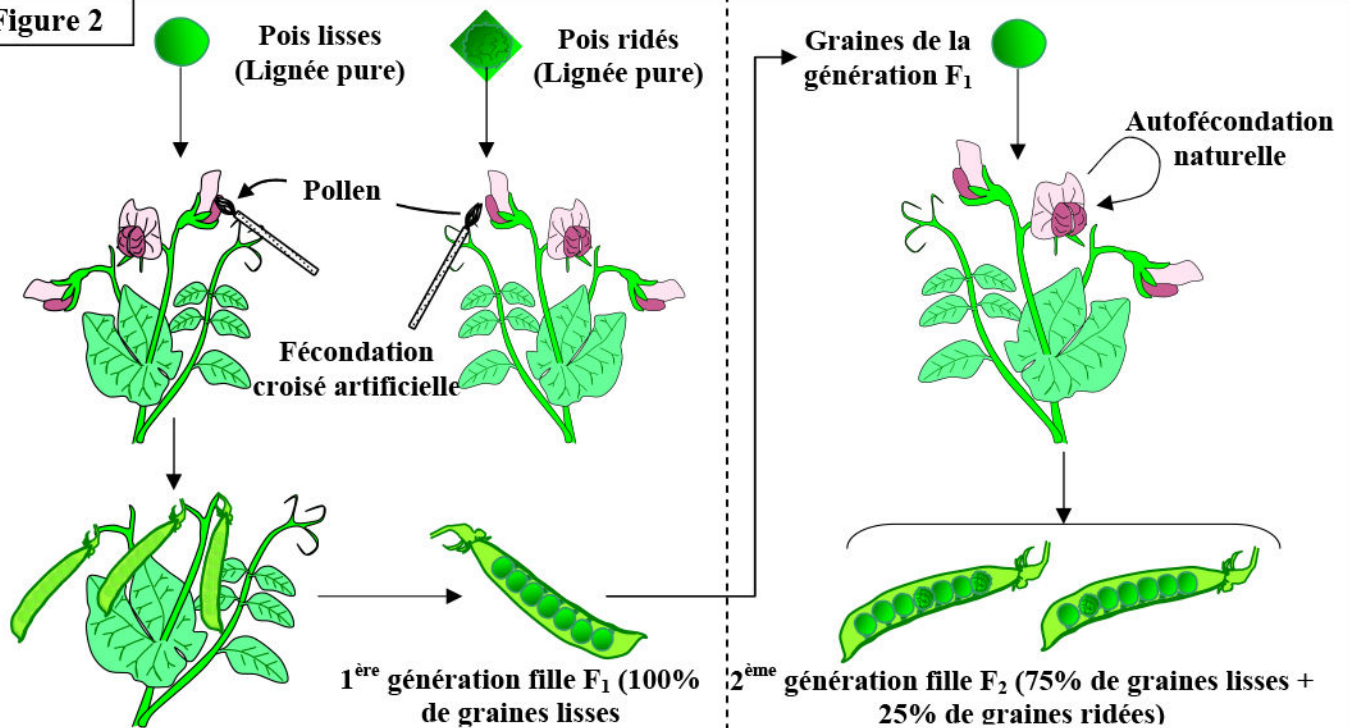
Mendel a étudié ensuite la descendance par autofécondation des individus de la deuxième génération ($F_2 \times F_2$). Les résultats de ce croisement sont comme suit:

- ✓ Les graines F_2 ridées donnent 100% de graines ridées.
- ✓ 25% des graines F_2 lisses donnent 100% de graines lisses.
- ✓ 75% des graines F_2 lisses donnent 75% de graines lisses + 25% de graines ridées.

- 1) Que peut-on déduire de l'analyse des résultats des travaux de Mendel ?
- 2) Réalisez l'interprétation chromosomique des résultats des travaux de Mendel, en s'aidant des données du document 2.

Document 1(Suite) : Les travaux de Mendel.

Figure 2



Document 2: Données des conventions de notation.

L'étude de la transmission des caractères entre les générations doit s'effectuer avec beaucoup de rigueur et de logique. Pour cela, il est nécessaire d'adopter des conventions de notation et de méthode.

- Les chromosomes sont représentés par des traits horizontaux: les individus étant diploïdes, ils possèdent des paires de chromosomes, donc la représentation se fait par deux traits parallèles (//). Sur chaque chromosome, on représente le gène considéré par une abréviation (en général, l'allèle dominant est représenté par une initiale en majuscule, le gène récessif par une initiale en minuscule). Par exemple les graines lisses : L, les graines ridées : r.
- **Génotype:** La combinaison d'allèles pour tout caractère donné, ou la composition génétique entière d'un organisme (chromosomes). Donc on représente le génotype par les chromosomes. Exemple chez les graines lisses : L//L ou L//r. les graines ridées : r//r.
- **Phénotype:** Les caractères physiques et physiologiques d'un organisme. On représente le phénotype par des crochets. Exemple les graines lisses : [L], les graines ridées : [r].
- **Homozygote:** Un organisme qui a deux allèles identiques d'un gène : L//L ou r//r.
- **Hétérozygote:** Un organisme qui a deux allèles différents d'un gène : L//r.
- **Lignée pure :** lignée pour laquelle les caractères se retrouvent inchangés d'une génération à l'autre.
- **Lignée sauvage :** se dit d'une lignée qui présente le phénotype le plus courant dans la nature ou de l'allèle qui commande ce phénomène.
- **Hybridation :** un croisement entre parents nettement différents et appartenant, ou pas, à la même espèce. Il en résulte des descendants hybrides.

b) Analyse et interprétation des travaux de Mendel:

- 1) Le croisement est fait entre deux individus appartenant à deux lignées pures ne différant que par un seul caractère, donc c'est un cas de monohybridisme.

La génération initiale ou génération parentale dénommée P, est formée de deux plantes de races

pures, ce qui veut dire qu'elles sont homozygotes pour le caractère «forme de la graine»: la première possède deux allèles identiques responsables de la forme lisse, et la deuxième deux allèles identiques responsables de la forme ridée.

La génération suivante ou générations filiale désignée F_1 est hybrides: elle possède un allèle de chaque parent, soit un allèle «lisse » et un allèle «ridé». Elle est hétérozygote pour le caractère «forme de la graine».

Tous les individus de F_1 ont un aspect lisse. On peut donc en déduire que le caractère présent en F_1 est dominant alors que le caractère absent est récessif.

L'allèle «lisse» étant dominant sur l'allèle «ridé».

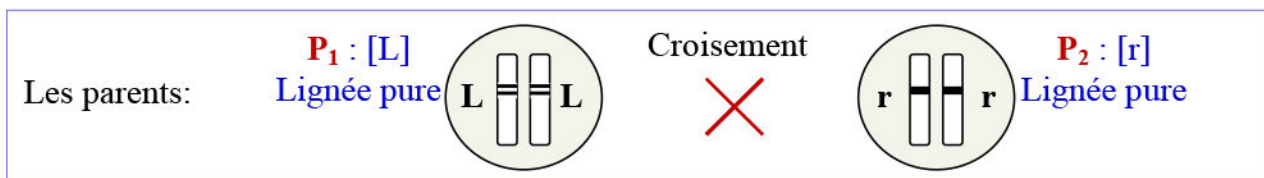
La deuxième génération, issue du croisement entre individus hétérozygotes va permettre l'association d'allèles «ridés» récessifs et donc voir la «réapparition» de plantes donnant des graines ridées.

2) Interprétation chromosomique des résultats des travaux de Mendel :

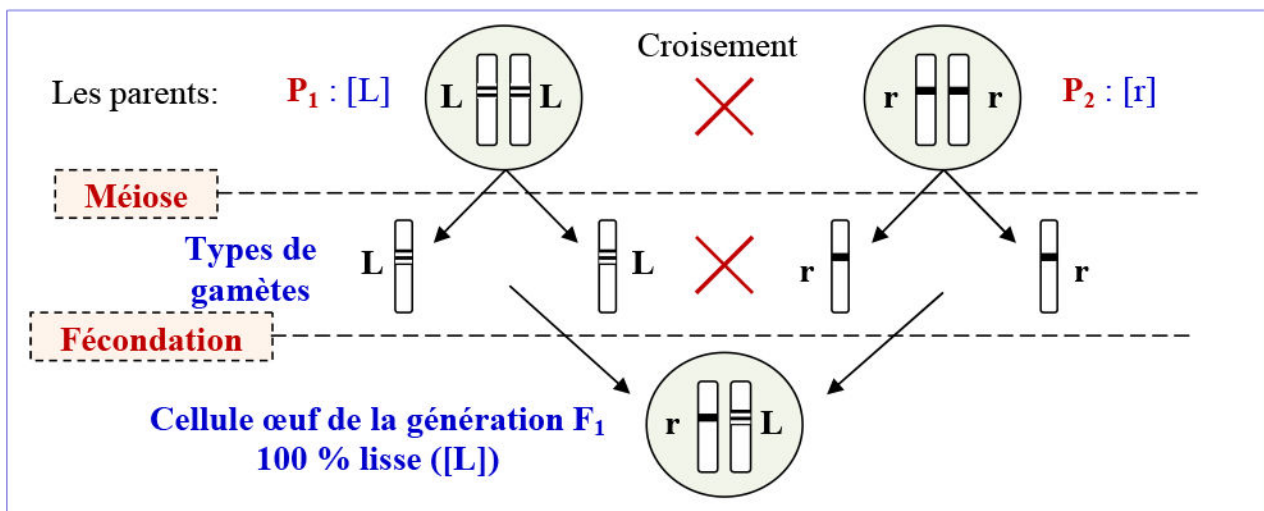
Les parents ont des phénotypes différents : P_1 [Lisse] et P_2 [ridé]. Ils sont de lignée pure, donc les chromosomes homologues portent le même allèle du gène étudié. On dit qu'ils sont homozygotes.

On représente l'allèle dominant par une lettre majuscule (L) alors le caractère récessif est représenté par une lettre minuscule (r).

Par conséquent le génotype des parents peut être représenté comme suit :

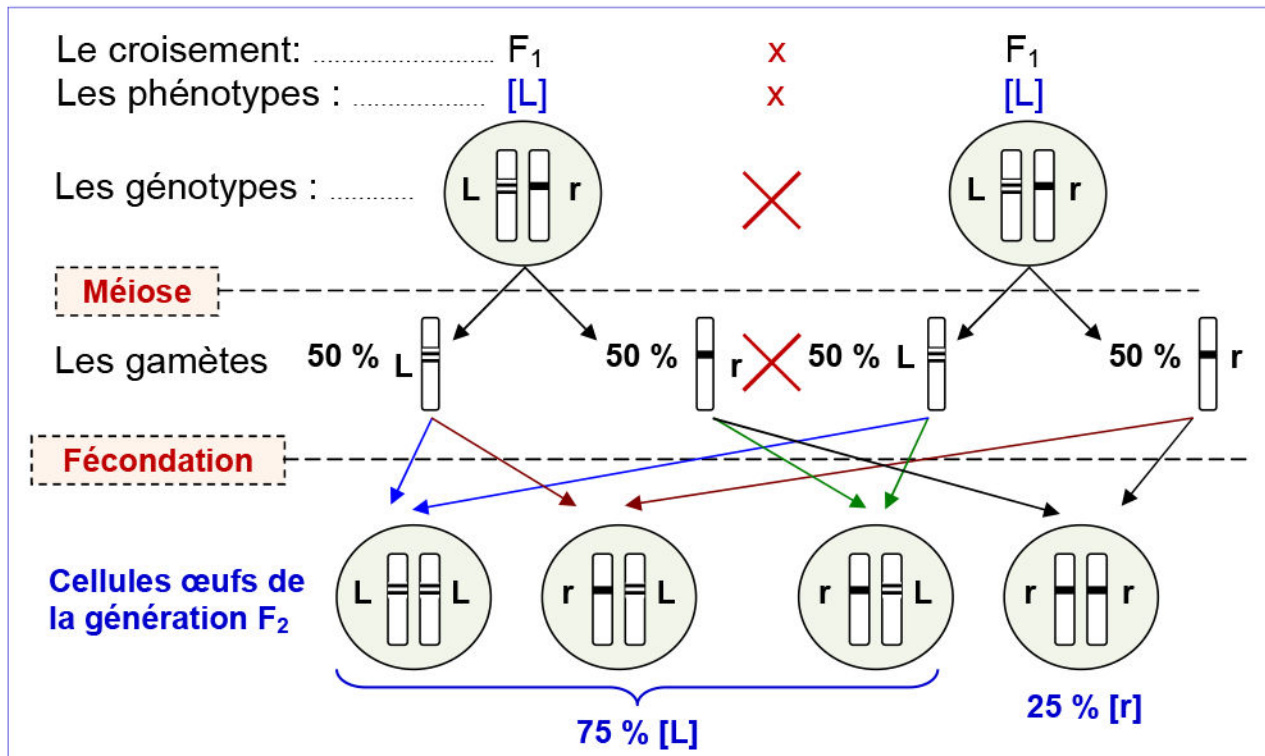


Chez chacun des parents il se formera lors de la gamétogenèse un seul type de gamètes pour le caractère étudié «Aspect des graines de pois» :



A la suite de la fécondation, l'un des gamètes apportera les chromosomes portant l'allèle (L) alors que l'autre gamète apportera l'allèle (r). Ainsi les individus de F_1 portent deux allèles différents : on dit qu'ils sont hétérozygotes.

Pour suivre la transmission de ce caractère chez la génération suivante, on croise les individus de la génération F_1 entre eux :



- ✓ Les individus de la génération F_2 présentant le caractère récessif (r), n'engendrent que des individus du même type [r].
- ✓ 1/3 des individus de la génération F_2 présentant le caractère dominants (L), n'engendrent que des individus du même type [L].
- ✓ 2/3 des individus de la génération F_2 présentant le caractère dominants (L), engendrent des individus dominants [L] et des individus récessifs [r], dans les proportions $\frac{1}{4} + \frac{3}{4}$.

c) Conclusions:

- ★ L'individu hybride F_1 porte les deux facteurs responsables des deux phénotypes du caractère étudié. Mais cet individu ne reflète que l'un des deux facteurs: celui du dominant. L'autre dit récessif, reste masqué. Ceci dit, le caractère récessif n'est pas pour autant éliminé, il réapparaît, chez les individus de la génération F_2 . On déduit la première loi de Mendel :

La première loi de Mendel : Loi d'uniformité des hybrides:

Tous les individus de la 1^{ère} génération F_1 (hybrides) sont semblables les uns aux autres (phénotypiquement identiques) et semblable à l'un des parents ayant le caractère dominant.

- ★ Les résultats de la 2^{ème} génération F_2 ne s'expliquent que le fait que les deux allèles d'un gène déterminant un caractère se disjoignent (ségrègent) lors de la formation des gamètes: une moitié des gamètes contient l'un des allèles et l'autre moitié contient l'autre. On déduit la deuxième loi de Mendel:

La deuxième loi de Mendel: Loi de disjonction (ou ségrégation) des caractères ou loi de pureté des gamètes:

Lors de la formation des gamètes, les facteurs héréditaires portant les deux formes du caractère étudié se séparent (ségrégent) dans les gamètes. Un gamète ne contient qu'un facteur de chaque caractère. On dit que les gamètes sont purs.

② La transmission du caractère «Couleur de pelage» des souris:

a) Données expérimentaux: (Voir document 3)

Document 3: Transmission du caractère « couleur de pelage » des souris.

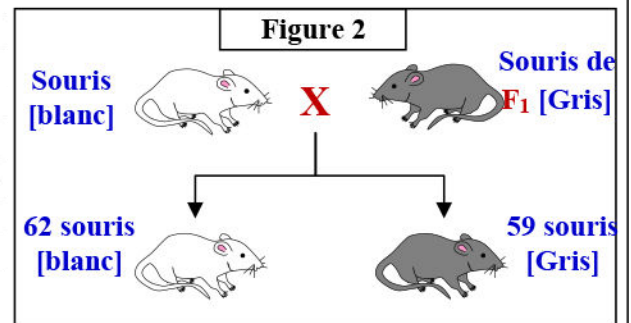
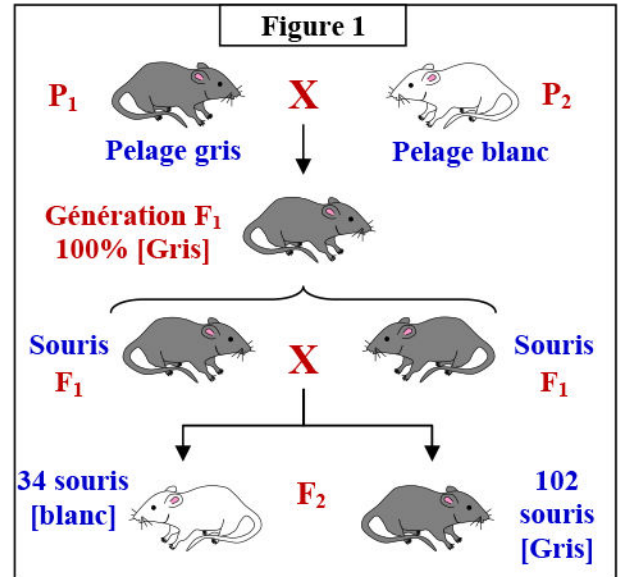
C'est Lucien Cuénot en 1902, qui va étendre les lois de Mendel aux animaux, en travaillant sur les souris, rongeurs d'élevage facile et à génération rapide. Il a choisi deux lignées pures de souris qui diffèrent par le caractère du pelage : l'une de couleur blanche et l'autre de couleur grise.

Les résultats des travaux de L. Cuénot sont présentés par la figure 1, ci-contre.

- 1) comment peut-on reconnaître d'après ces résultats expérimentaux qu'il s'agit d'un monohybridisme avec dominance.
- 2) Réalisez l'interprétation chromosomique des résultats de ce croisement, puis comparez les résultats théoriques et les résultats expérimentaux de ces croisements.

La difficulté, au niveau du croisement de F₂ est de pouvoir reconnaître Les souris grises F₂ qui sont homozygotes et ceux qui sont hétérozygotes. Afin de résoudre ce problème, on propose, un type de croisement appelé test cross: On croise des animaux de phénotype dominant par un récessif. On obtient les résultats présentés par la figure 2.

- 3) Formulez une hypothèse en ce qui concerne le génotype des souris hybrides de F₂ de phénotype [Gris].
- 4) Tester l'hypothèse en exploitant les résultats du croisement de la figure 2. Dédurre le rôle du test cross dans la détermination du génotype des hybrides de phénotype dominant.



b) Interprétation des résultats expérimentaux:

- 1) Le croisement est fait entre deux individus appartenant à deux races pures de la même espèce, et qui ne diffèrent entre elles que par un seul caractère. Donc le type de croisement dans ce cas est un monohybridisme.

Les souris blanches et grises utilisées pour obtenir la génération F₁ sont de lignée pures. Or les individus d'une lignée pure sont homozygotes pour le caractère considérés.

Les individus F₁ sont issus de l'union aléatoire des gamètes des souris blanches et des gamètes des souris grises. Les individus de F₁ sont hybrides et sont tous semblables entre eux et ressemble au parent gris.

D'après la première loi de Mendel, on déduit que l'allèle responsable du caractère gris est dominant par rapport à l'allèle responsable du caractère blanc qui est récessif.

2) Interprétation chromosomique des résultats du croisement :

On considère le gène de la couleur du pelage de la souris. On suppose qu'il possède deux allèles :

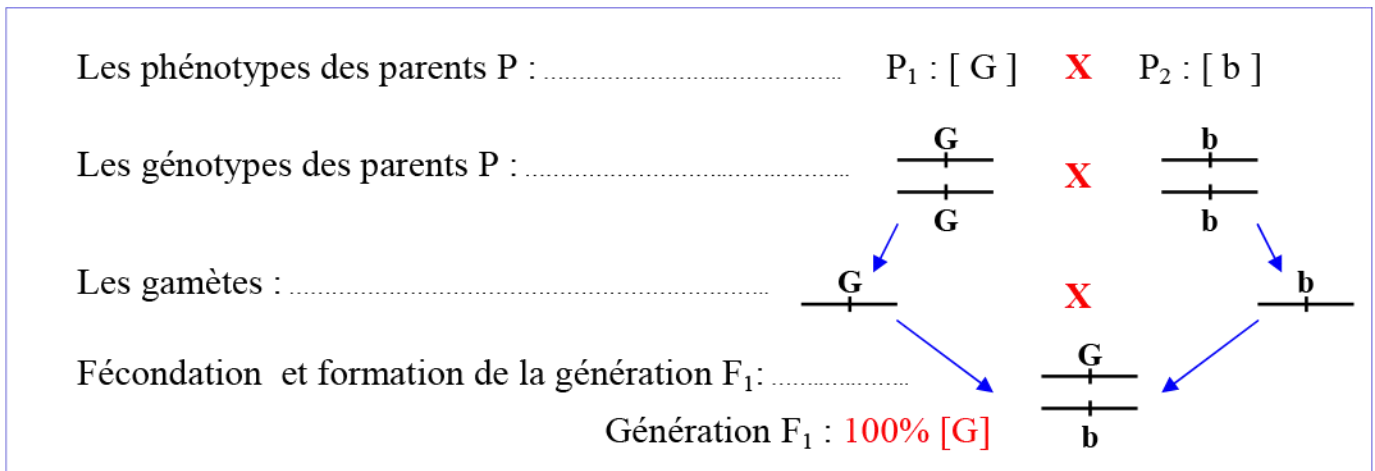
- ⇒ L'allèle dominant (G) codant pour la couleur grise.
- ⇒ L'allèle récessif (b) codant pour la couleur blanche

Les parents P sont de lignée pure, ils sont donc homozygotes pour le caractère considérés.

- ⇒ Le parent gris (P₁) est de génotype (G//G) et produit un seul type de gamètes (G/).
- ⇒ Le parent blanc (P₂) est de génotype (b//b) et produit un seul type de gamètes (b/).

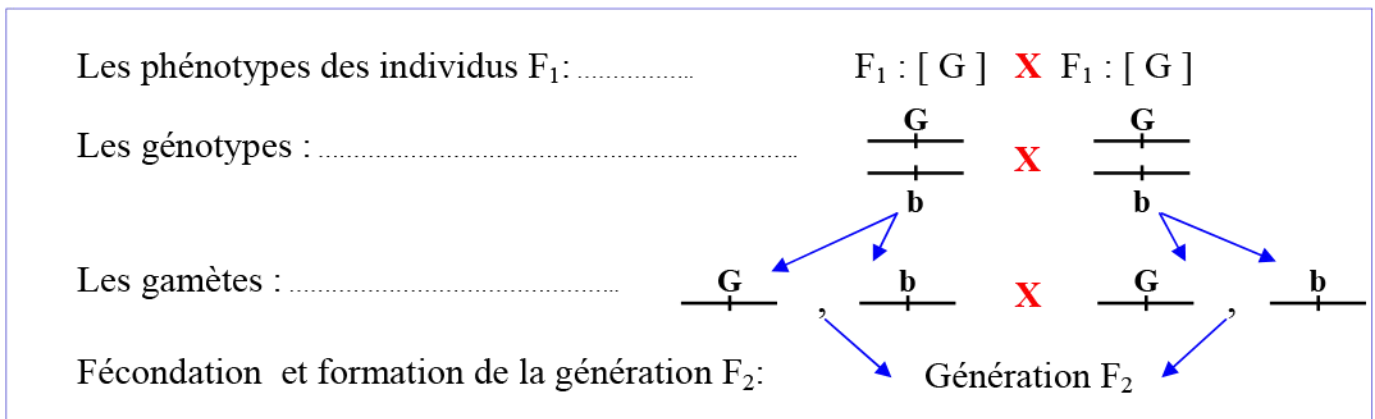
Les individus F₁ sont issus de l'union aléatoire des gamètes des souris blanches de génotype (b/) et des gamètes des souris grises de génotype (G/).

★ Interprétation chromosomique du croisement des parents P:



Tous les individus de F₁ ont pour génotype (G//b), et puisque l'allèle (G) est dominant par rapport à b, les hybrides F₁ seront tous semblables entre eux et auront le phénotype [G].

★ Interprétation chromosomique du croisement F₁ x F₁:



Les individus de F₁ produisent deux types de gamètes équiprobables: b/ et G/.

La fécondation consiste à la rencontre aléatoire de 2 gamètes.

Les résultats de ce croisement sont présentés par un tableau qui représente toutes les possibilités de fécondation entre les gamètes des parents. Ce tableau est appelé échiquier de croisements.

♂ \ ♀	♀	50% $\frac{G}{+}$	50% $\frac{b}{+}$
♂	♀	50% $\frac{G}{+}$	50% $\frac{b}{+}$
50% $\frac{G}{+}$	25% $\frac{G}{+}$ $\frac{+}{G}$	25% $\frac{G}{+}$ $\frac{+}{G}$	25% $\frac{G}{+}$ $\frac{+}{b}$
50% $\frac{b}{+}$	25% $\frac{G}{+}$ $\frac{+}{b}$	25% $\frac{b}{+}$ $\frac{+}{b}$	25% $\frac{b}{+}$ $\frac{+}{b}$

En F_2 , on obtient donc les résultats théoriques suivants : $\frac{1}{4}$ de souris blanches [b] de génotype (b/b), et $\frac{3}{4}$ de souris grises [G] de génotypes $\frac{1}{4}$ (G//G) et $\frac{1}{2}$ (G//b). Cela correspond aux résultats observés. On valide l'hypothèse que la couleur du pelage est déterminée par un gène avec deux allèles, l'un dominant et l'autre récessif.

Retenir que:

Lors de l'étude d'un caractère, si on obtient deux phénotypes en proportions $\frac{1}{4}$ et $\frac{3}{4}$ en F_2 issue du croisement de $F_1 \times F_1$, pensez à l'hypothèse d'un caractère codé par un gène avec deux allèles, l'un dominant, l'autre récessif.

3) Le résultat de ce croisement est une génération hétérogène, formée de 50% de souris grise ((59/101) x100) et 50% de souris blanches ((62/101) x100). On suppose donc que le parent gris est hétérozygote.

4) L'interprétation des résultats du test cross :

⇒ Dans le cas de la 1^{ère} alternative, on a le croisement suivant: G//G x bb. On obtient donc 100% d'hybride G//b, de phénotype [G].

⇒ Dans le cas de la 2^{ème} alternative, la souris grise est hybride. On a le croisement suivant G//b x b//b. le parent hybride produit deux types de gamètes : G/ et b/. On obtient donc 50% d'hybride G//b, de phénotype [G] et 50% de b//b, de phénotype [b].

D'après ces résultats on valide l'hypothèse proposée, c'est que le parent testé est hybride G//b.

On en déduit que dans le cas d'un teste cross, si le parent à phénotype dominant est un hétérozygote, on obtient dans la descendance, la moitié de phénotype dominant et la moitié de phénotype récessif.

③ La dominance incomplète ou codominance:

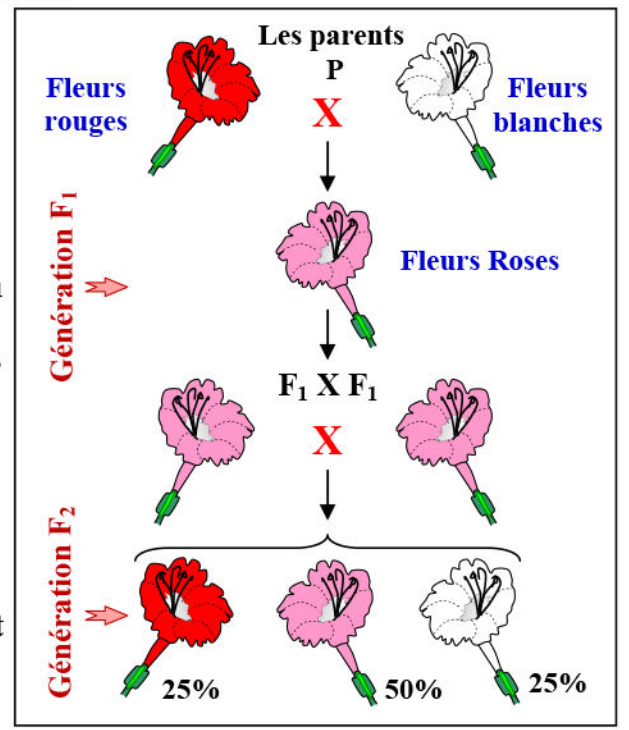
a) Croisement des fleurs de la belle de nuit : (Voir document 4)

Document 4 : Croisement des fleurs de belle de nuit.

La belle de nuit (*Mirabilis Jalapa*) est une plante qui produit des fleurs qui sont fermées le jour et ouvertes la nuit.

Pour comprendre le mode de transmission du caractère couleur de la fleur chez cette espèce, on réalise une fécondation croisée entre deux parents P de races pures (homozygotes). Sur les plants obtenus en F₁ après germination des graines on laisse se réaliser l'autofécondation. Les fleurs obtenues en F₂ répondent, en termes de phénotypes et de proportions, au schéma ci-contre.

- 1) Que peut-on déduire de l'analyse des résultats obtenus?
- 2) Réalisez l'interprétation chromosomique de ces croisements et en déduire comment reconnaître à partir des résultats expérimentaux, qu'il s'agit d'un monohybridisme avec codominance.



b) Interprétation des résultats du croisement:

- 1) On constate que les hybrides F₁ sont tous semblables entre eux, mais ils ne ressemblent à aucun des parents même si ceux-ci sont de lignées pures.

Il apparaît en F₁ un nouveau phénotype qui est intermédiaire entre celui des deux parents, il y'a donc absence de dominance ; on parle dans ce cas de codominance ou dominance intermédiaire ou dominance incomplète.

Les proportions obtenues en F₂ sont différentes de celles obtenues en cas du monohybridisme avec dominance.

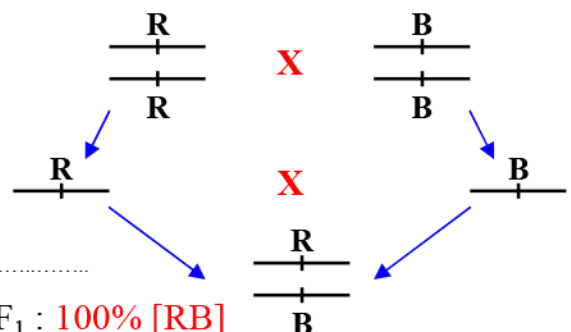
- 2) La couleur rouge des fleurs de belle de nuit est due à la présence d'un pigment coloré dont la synthèse est codée par les allèles R des deux chromosomes homologues. Alors que l'allèle B ne permet pas la synthèse de ce pigment.

Dans le cas des hybrides, l'allèle R et B se regroupent à la suite de la fécondation, l'allèle R seul produit la moitié de la quantité du pigment, d'où la couleur rose intermédiaire entre le rouge et le blanc.

Les phénotypes des parents P :

P₁ : [R] X P₂ : [B]

Les génotypes des parents P :



Les gamètes :

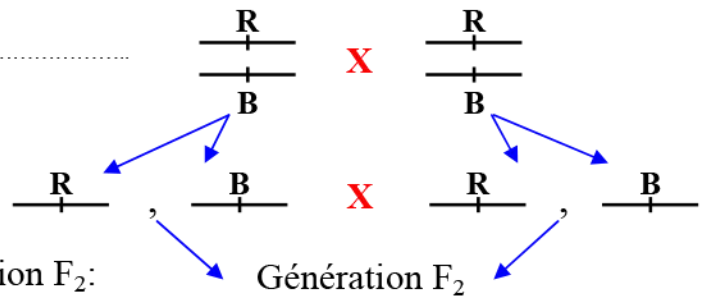
Fécondation et formation de la génération F₁:

Génération F₁ : 100% [RB]

Les phénotypes des individus F_1 : $F_1 : [RB] \times F_1 : [RB]$

Les génotypes :

Les gamètes :

Fécondation et formation de la génération F_2 :

Echiquier de croisement :

♂ \ ♀	50% $\frac{R}{+}$	50% $\frac{B}{+}$
50% $\frac{R}{+}$	25% $\frac{R}{+} \frac{R}{+}$	25% $\frac{R}{+} \frac{B}{+}$
50% $\frac{B}{+}$	25% $\frac{R}{+} \frac{B}{+}$	25% $\frac{B}{+} \frac{B}{+}$

Résultats de la génération F_2 :

★ Les phénotypes :

25% $[RR]$ + 25% $[BB]$ + 50% $[RB]$.

★ Les génotypes :

25% $R//R$ + 25% $B//B$ + 50% $R//B$.**Retenir que:**

Lors de l'étude de la transmission d'un caractère héréditaire, si la génération F_1 présente un phénotype différent de celui des deux parents (Intermédiaire entre celui des deux lignées parentales), et si le rapport phénotypique obtenu en F_2 n'est pas $\frac{1}{4} + \frac{3}{4}$, mais $\frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{2}$, on peut penser à un cas de monohybridisme avec absence de dominance (ou dominance partielle).

④ La transmission d'un caractère lié à un gène létal:**a) Résultats du croisement chez la souris:** (Voir document 5)**Document 5: Transmission d'un caractère lié à un gène létal chez la souris.**

On croise deux lignées de souris jaunes. On obtient une descendance hétérogène formée de 202 souris jaunes + 98 souris grises.

- 1) Que peut-on déduire de l'analyse des résultats de ce croisement ?
- 2) Réalisez l'interprétation chromosomique de ce croisement.

b) Interprétation des résultats du croisement:

- 1) Le croisement est entre deux individus qui diffèrent par un seul gène: coloration du pelage: c'est un monohybridisme.

La première génération F_1 n'est pas homogène. La première loi de Mendel n'est pas vérifiée, donc les parents ne sont pas d'une lignée pure. Ils sont hétérozygotes pour le gène de la coloration du pelage.

L'apparition du phénotype [gris] chez la descendance indique la présence de l'allèle [gris] chez les deux parents mais il est masqué. Donc l'allèle [jaune] est dominant alors que l'allèle [gris] est récessif.

C'est un croisement entre deux hybrides avec dominance, qui doit donner théoriquement deux phénotypes en proportions $\frac{1}{4}$ pour le récessif et $\frac{3}{4}$ pour le dominant.

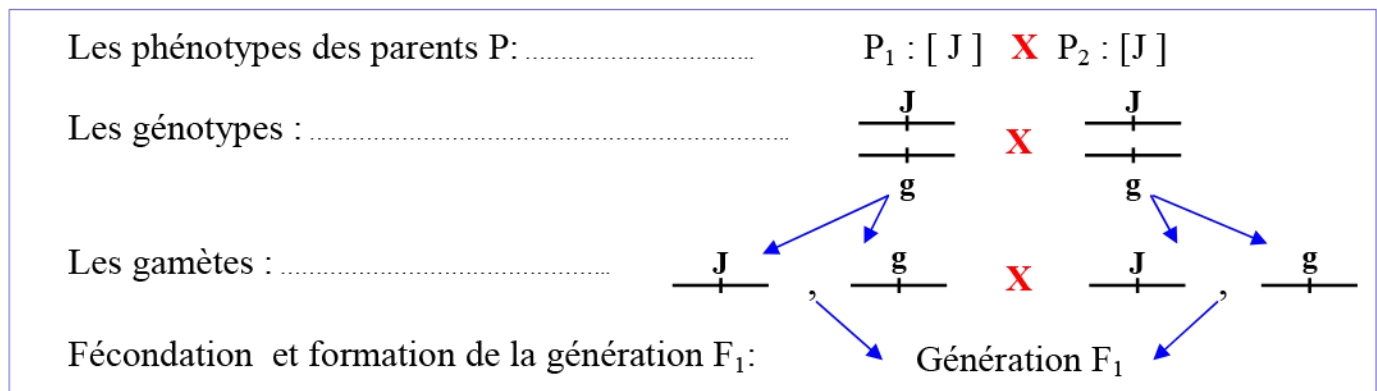
Les résultats expérimentaux de ce croisement sont en proportion de:

- ✓ $(202 / (202 + 98)) \times 100 = 67.33 \%$ c'est-à-dire $\frac{2}{3}$ pour le dominant.
- ✓ $(98 / (202 + 98)) \times 100 = 33.33 \%$ c'est-à-dire $\frac{1}{3}$ pour le récessif.

Cela indique que $\frac{1}{4}$ de la progéniture de (jaune x jaune) ne parvient pas à terme. Les souris jaunes sont hétérozygotes et portent un allèle qui détermine la mort avant terme à l'état homozygote. Les souris jaunes sont donc responsables tant de la coloration du pelage que la létalité, c'est un cas de gène létal.

1) Interprétation chromosomique des résultats de ce croisement :

On représente l'allèle dominant par une lettre majuscule (J) alors l'allèle récessif est représenté par une lettre minuscule (g).



Echiquier de croisement :

♂ \ ♀	50% $\frac{J}{-}$	50% $\frac{g}{-}$
50% $\frac{J}{-}$	25% $\frac{J}{J}$	25% $\frac{J}{g}$
50% $\frac{g}{-}$	25% $\frac{J}{g}$	25% $\frac{g}{g}$

Les proportions théoriques de la génération F_1 :

★ **Les phénotypes :**

25% [JJ] (ou $\frac{1}{4}$) + 25% (ou $\frac{1}{4}$) [gg] + 50% (ou $\frac{3}{4}$) [Jg].

★ **Les génotypes :**

25% (ou $\frac{1}{4}$) J//J + 25% (ou $\frac{1}{4}$) g//g + 50% (ou $\frac{3}{4}$) J//g.

Les résultats théoriques montrent l'existence dans la descendance de 4 génotypes : (25% J//J + 25% J//g + 25% J//g + 25% g//g), alors que, dans les résultats expérimentales il n'y-a que 3 génotypes : (25% J//g + 25% J//g + 25% g//g), ce qui indique que les 25% des individus (J//J) sont éliminés.

L'élimination des souris (J//J) peut s'expliquer par la mort in-utero des souris homozygotes pour l'allèle(j). On appelle alors le gène (J) à l'état d'homozygote (JJ) : gène létal.

Retenir que:

Dans le cas du monohybridisme avec dominance, les proportions 2/3 et 1/3 des résultats expérimentaux indiquent qu'il s'agit d'un gène létal.

⑤ La transmission d'un caractère lié au sexe:

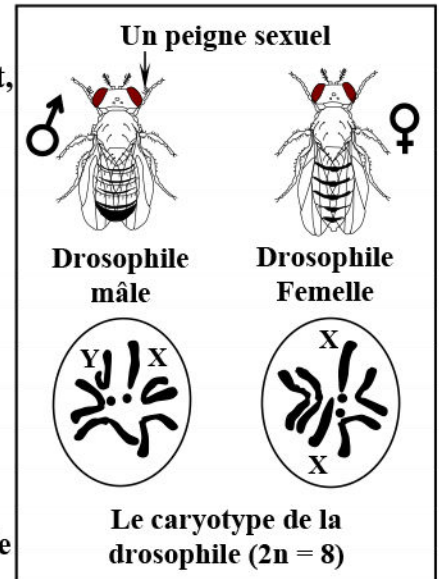
a) La drosophile, un insecte au service de la génétique: (Voir document 6)

Document 6: La Drosophile, un insecte au service de la génétique.

La drosophile est un insecte de quelques millimètres de long qui appartient à la grande famille des mouches. C'est un organisme modèle pour les recherches dans le domaine de la génétique. En effet, ses atouts sont multiples:

- ✓ Sa facilité de manipulation (petite taille, élevage aisé).
- ✓ Ses capacités reproductives impressionnantes: son cycle biologique extrêmement rapide, d'environ 12 jours, permet de suivre un grand nombre de générations, dans un espace limité, et dans un temps relativement bref.
- ✓ ses caractéristiques génétiques sans précédent: un petit génome facilement observable formé de quatre paires de chromosomes aisément identifiables.
- ✓ l'existence de nombreux gènes présents aussi chez les organismes supérieurs, et notamment chez l'Homme.

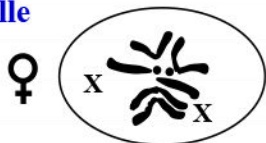
Le schéma ci-contre présente les principales différences entre le mâle et la femelle de la drosophile.



A partir de l'analyse des données de ce document et du document 7, décrire le comportement des chromosomes sexuels au cours de la méiose et de la fécondation.

Document 7: Rôle de la méiose et la fécondation dans la stabilité du génome.

Drosophile
femelle

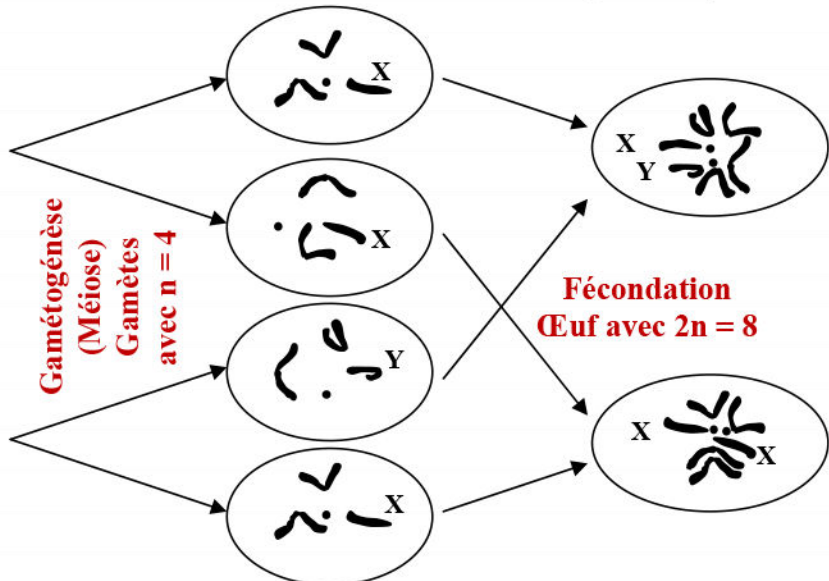


Cellules mères des
gamètes
(2n = 8)



Drosophile
mâle

Gamétogenèse
(Méiose)
Gamètes
avec n = 4



Chez la drosophile, les mâles sont un peu plus petits que les femelles. L'extrémité de leur abdomen en vue dorsale est arrondie et presque noire alors que celle des femelles est pointue et plus claire. Les mâles possèdent un "peigne sexuel" situé sur les pattes antérieures.

La drosophile est diploïde, son caryotype fait apparaître 8 chromosomes qui sont regroupés en 4 paires. On distingue 3 paires d'autosomes, et une paire de gonosomes (chromosomes sexuels) qui sont dissemblables:

- ⇒ Chez le mâle, les deux chromosomes sexuels sont différents, donc nous disons qu'il est hétérozygote et est symbolisé par XY. Sa formule chromosomique s'écrit : $2n = 8$, ou $2n = 6A + XY$.
- ⇒ Chez la femelle, les deux chromosomes sexuels sont similaires, on dit qu'elle est homozygote et est symbolisé par XX. Sa formule chromosomique s'écrit : $2n = 8$, ou $2n = 6A + XX$.

Mais il existe des cas exceptionnels, où le mâle est homozygote (ZZ), et la femelle est hétérozygote (ZW) (cas des oiseaux, quelques insectes comme le papillon...).

Dans d'autres cas, le mâle présente un seul chromosome X on le symbolise par OX, et la femelle présente deux chromosomes X on la symbolise avec XX (le cas du criquet).

Pendant la gamétogénèse il y-a une réduction chromatique, ce qui entraîne la production de cellules haploïdes: les gamètes.

Pendant la fécondation, les matériels génétiques haploïdes de deux gamètes s'associent, pour constituer le matériel génétique diploïde du zygote.

b) Résultats du croisement chez la drosophile: (Voir document 8)

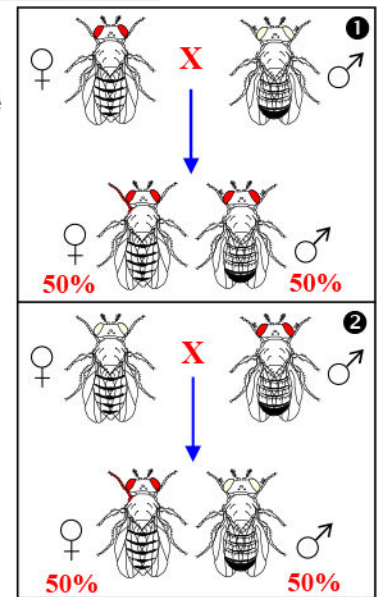
Document 8: Transmission d'un caractère lié au sexe chez la drosophile.

Deux croisements ont été réalisés entre deux lignées pures de drosophiles, qui diffèrent par la couleur des yeux: une souche sauvage qui a le phénotype yeux rouges et une souche mutante qui a le phénotype yeux blancs.

1^{er} croisement : Entre une femelle aux yeux rouges et un mâle aux yeux blancs. Les individus de la génération F₁ obtenus sont tous de type sauvage aux yeux rouges.

2^{ème} croisement : Entre une femelle aux yeux blancs et un mâle aux yeux rouges. La génération F₁ obtenue est composée de 50% de mâles aux yeux blancs et 50% de femelles aux yeux rouges.

- 1) Que peut-on déduire de l'analyse des résultats de ces croisements?
- 2) Réalisez l'interprétation chromosomique des croisements. Comparer les résultats théoriques et les résultats expérimentaux. Que déduit-on ?



c) Interprétation des résultats du croisement:

- 1) Les résultats du 1^{er} croisement sont conformes à la première loi de Mendel. Les individus de la génération F₁ ont tous le même phénotype, qui est celui de l'un des deux parents, c'est le parent à yeux rouges.

Ceci indique que le caractère « rouge » est dominant, alors que le caractère « blanc » est récessif.

Le 2^{ème} croisement est un croisement réciproque qui produit une génération F₂ non homogène. Les résultats de ce croisement ne sont pas donc conformes à la première loi de Mendel, malgré que les parents soient de race pure.

Les proportions observées s'interprètent en supposant que le gène déterminant la couleur des yeux est situé sur le chromosome sexuel X (Ce gène ne peut être situé sur le chromosome Y car il serait transmis par le mâle à sa descendance, ce qui n'est pas le cas dans les résultats expérimentaux).

2) Interprétation chromosomique des croisements:

On suppose que la transmission du caractère couleur des yeux chez la drosophile est liée au sexe, c'est-à-dire que ce caractère est porté sur les chromosomes sexuels. Ce caractère présente deux allèles :

- ⇒ L'allèle dominant (R) codant pour la couleur rouge des yeux.
- ⇒ L'allèle récessif (b) codant pour la couleur blanche des yeux.

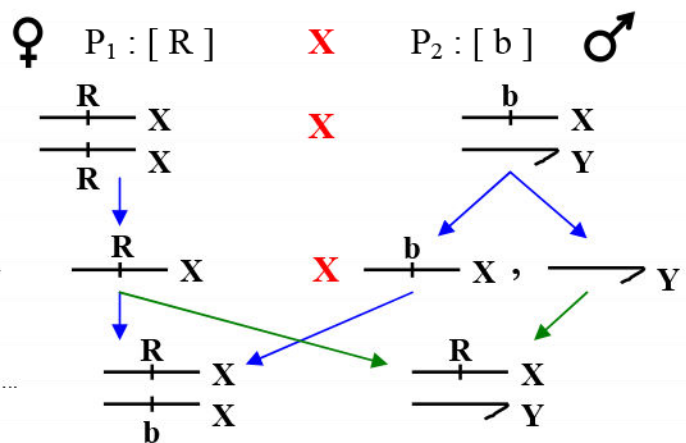
Interprétation du 1^{er} croisement :

Les phénotypes des parents P :

Les génotypes des parents P :

Les gamètes :

Fécondation et formation de la génération F₁:



La génération F₁ est formée de 100% [R]
50% mâles X_RY + 50% femelles X_RX_R.

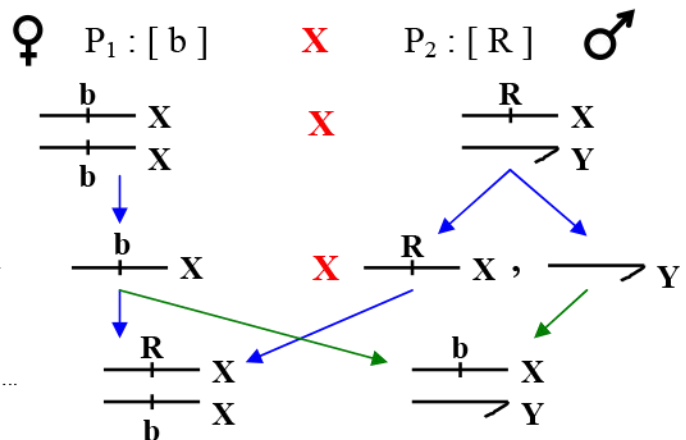
Interprétation du 2^{ème} croisement (Croisement réciproque):

Les phénotypes des parents P :

Les génotypes des parents P :

Les gamètes :

Fécondation et formation de la génération F₁:



La génération F₁ est formée de 50% mâles [b] + 50% femelles [R], 50% mâles X_bY + 50% femelles X_RX_b.

Les résultats théoriques sont conformes aux résultats expérimentaux. On valide donc l'hypothèse que la couleur des yeux chez la drosophile est déterminée par un gène porté par les chromosomes sexuels.

Remarque : Rôle des gonosomes dans l'hérédité liée au sexe. (Voir document 9)

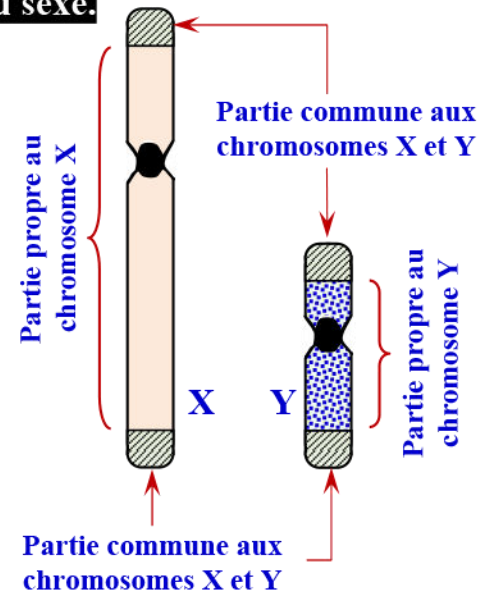
Document 9: Rôle des gonosomes dans l'hérédité liée au sexe.

Les caractères associés aux chromosomes peuvent en première approximation être associés à n'importe quelle partie de chaque chromosome (à l'exception notable du centromère, de séquence très particulière).

Chaque paire de chromosomes homologues (autosomes) associe les mêmes caractères (donc les mêmes gènes) qui, bien sûr, peuvent différer selon leurs allèles.

Les chromosomes sexuels (gonosomes) ne sont homologues que pour la femelle (XX). Chez le mâle les chromosomes ne sont pas homologues (XY), du moins sur toute leur longueur. Il existe en effet ce que l'on appelle une partie propre du chromosome X et une partie propre du chromosome Y. La figure ci-contre est une représentation très théorique des gonosomes humains ou de la drosophile.

Que peut-on déduire des données de ce document ?

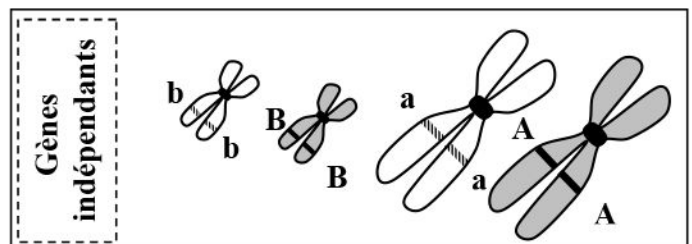
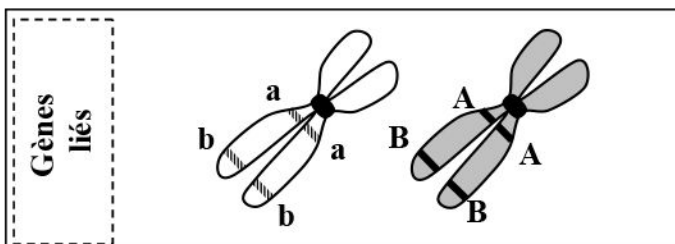


- ⇒ Si un caractère est associé à la partie commune du chromosome X et du chromosome Y, sa transmission sera de mode autosomal (pas de différence avec un caractère associé à un autosome).
- ⇒ Si un caractère est associé à la partie propre du chromosome Y, il sera présent que chez les mâles et aura une transmission de type toujours dominant (quelque soit l'allèle présent il est toujours seul et peut donc être exprimé).
- ⇒ Si un caractère est associé à la partie propre du chromosome X, on dit que le caractère est "lié au sexe". Il n'est présent qu'en un seul exemplaire chez le mâle (qui ne porte qu'un X) car il n'est pas porté par le chromosome Y.

II – La transmission de deux couples d'allèles: Dihybridisme

Le dihybridisme est l'étude de la transmission de deux caractères déterminés par deux couples d'allèles. Ces deux couples d'allèles peuvent être soit :

- ✓ Indépendants: c'est-à-dire portés par deux paires différentes de chromosomes homologues. Les gènes d'un individu seront transmis à la génération suivante indépendamment les uns des autres.
- ✓ Liés: c'est-à-dire situés dans des locus appartenant au même chromosome. Ces gènes sont alors transmis ensemble plutôt que de manière indépendante.



① Cas des gènes indépendants:

a) Dihybridisme chez le pois:

★ **Résultats du croisement :** (Voir document 10)

Document 10: Etude de la transmission de deux caractères chez le pois.

Mendel croise deux variétés de lignées pures de pois qui diffèrent par deux caractères: l'aspect des graines (lisse ou ridé) et la couleur des graines (jaune ou verte).

Il croisa une variété de pois à graines lisses et jaunes avec une variété de pois à graines ridées et verts. A la première génération F_1 , toutes les graines étaient lisses et jaunes.

Mendel croisa ensuite deux individus de la génération F_1 (Autofécondation: $F_1 \times F_1$). Il obtient une deuxième génération (F_2), composée de:

- | | |
|----------------------------------|---------------------------------|
| ★ 315 graines jaunes et lisses ; | ★ 108 graines jaunes et ridées. |
| ★ 101 graines vertes et lisses ; | ★ 32 graines verts et ridés. |

- 1) Que peut-on déduire de l'analyse des résultats de ces croisements?
- 2) Réalisez l'interprétation chromosomique des résultats des croisements. Comparer les résultats théoriques et les résultats expérimentaux. Que déduit-on?

★ **Interprétation des résultats du croisement :**

- 1) ★ Le croisement est effectué entre deux individus appartenant à deux lignées pures qui diffèrent par deux couples d'allèles ou deux gènes. Il s'agit donc d'un c'est un dihybridisme.

★ Les hybrides de la génération F_1 sont homogènes, et ont le phénotype du parent à graines Lisses et jaunes. La 1^{ère} loi de Mendel est donc vérifiée. On en déduit que les allèles «Lisse» et «Jaune» sont dominants, alors que les allèles «Ridé » et «vert» sont récessifs.

★ On nommera l'allèle dominant lisse par une lettre majuscule (L) et l'allèle dominant jaune par une lettre majuscule (J).

On nommera l'allèle récessif ridé par une lettre minuscule (r) et l'allèle récessif vert par une lettre minuscule (v).

★ La génération F_2 est hétérogène et formée de 4 phénotypes différents :

- ✓ Deux phénotypes parentaux [L, J] et [r, v].
- ✓ Deux phénotypes nouveaux [L, v] et [r, J].

★ Les valeurs obtenues en F_2 correspondent aux proportions suivantes:

- ✓ $(315/556) \times 100 = 56.65\%$ [L, J].
- ✓ $(32/556) \times 100 = 5.75\%$ [r, v]
- ✓ $(101/556) \times 100 = 18.16\%$ [L, v]
- ✓ $(108/556) \times 100 = 19.4\%$ [r, J].

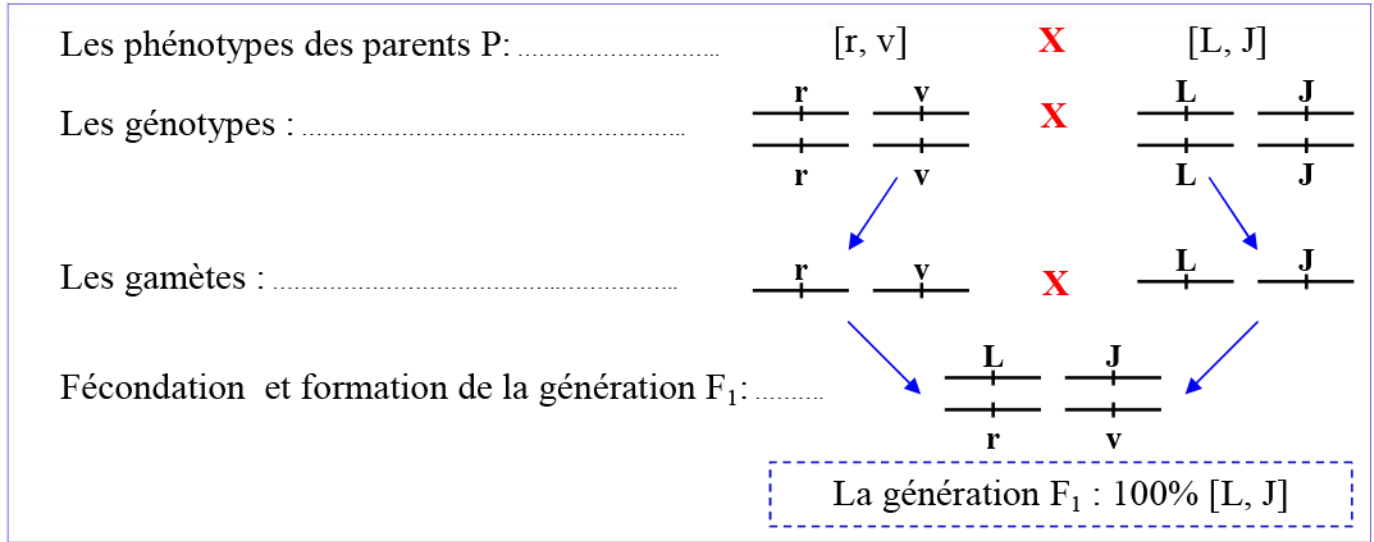
Ces proportions s'ajustent bien au rapport phénotypique:

9/16 [L, J] - 3/16 [r, J] - 3/16 [L, v] - 1/16 [r, v].

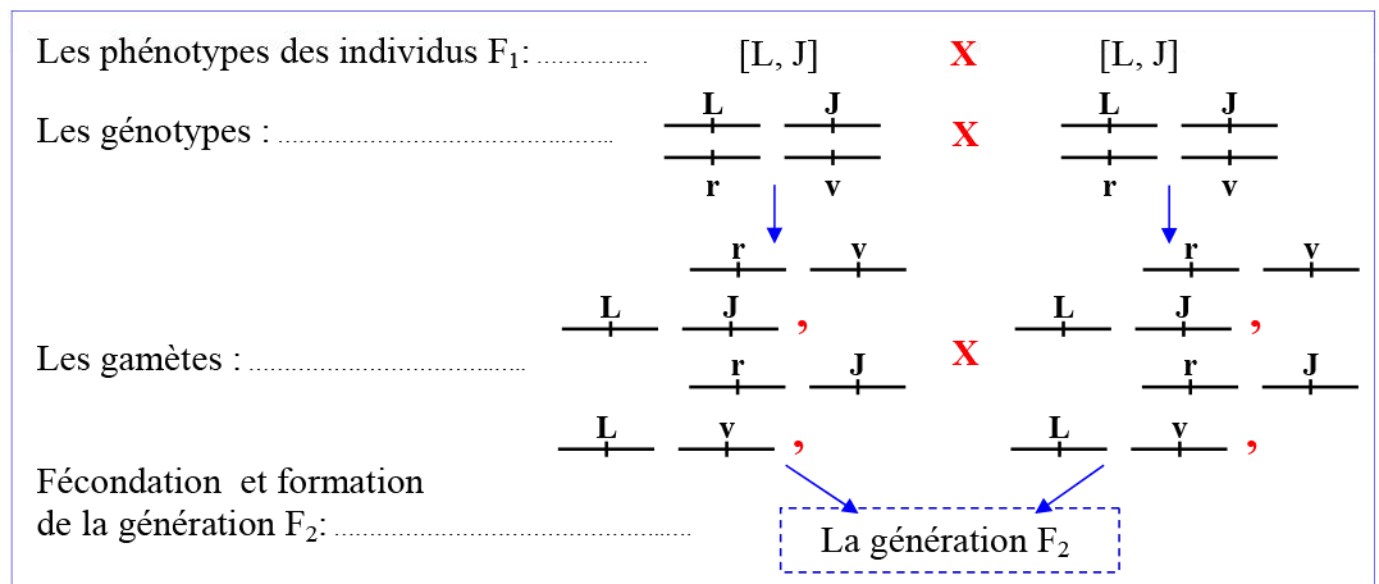
★ En F_2 l'apparition de nouveaux phénotypes ne peut être expliquée que par la ségrégation indépendante des différents caractères.

- 2) Interprétation chromosomique des résultats des croisements :

★ 1^{er} croisement chez les parents P:



★ 2^{ème} croisement chez les hybrides F₁ (F₁ x F₁):



Comme les 2 gènes considérés sont portés par 2 chromosomes différents, il y a alors un brassage interchromosomique en anaphase I. Ceci aboutit à la formation de 4 types de gamètes équiprobables, portant respectivement les combinaisons alléliques suivantes: (L/, j/) - (r/, v/) - (L/, v/) - (r/, j/) (voir document 11).

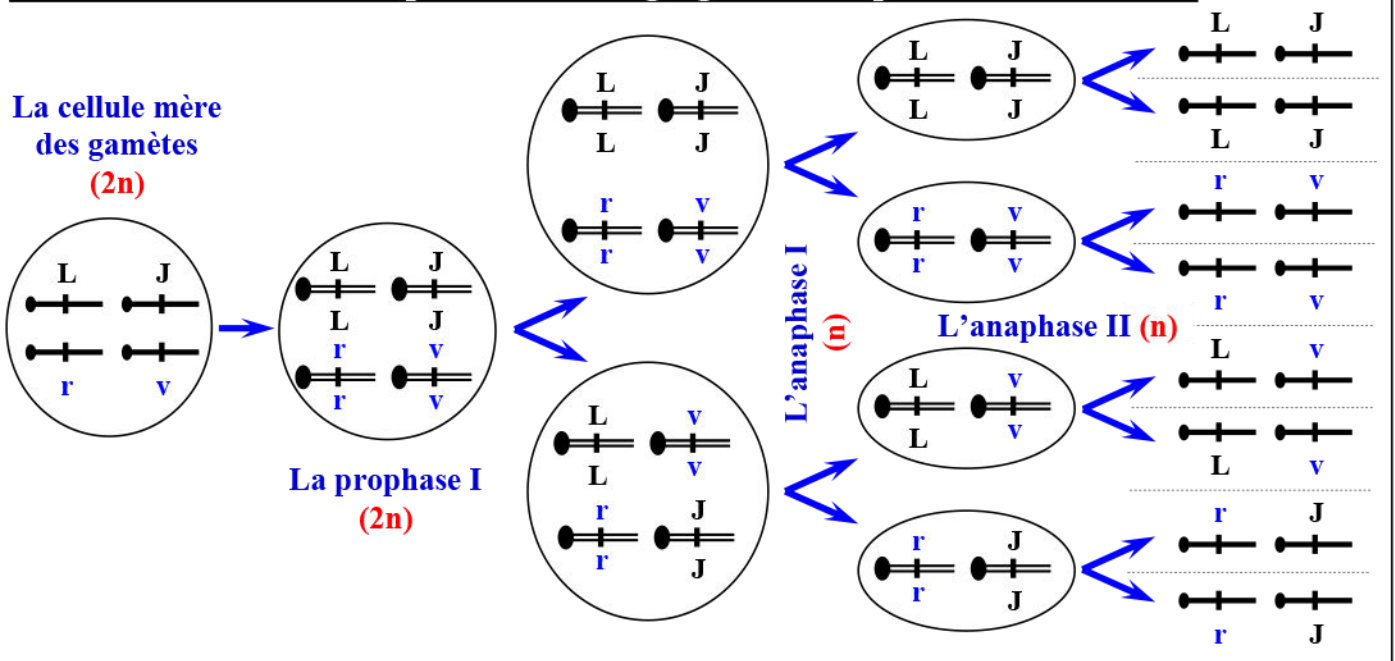
Il y a autant de gamètes portant les combinaisons alléliques de type parental que de gamètes portant les combinaisons alléliques de type non parental:

- ✓ Les types parentaux : 25% (L/, j/) + 25% (r/, v/).
- ✓ Les types non parentaux : 25% (L/, v/) + 25% (r/, j/).

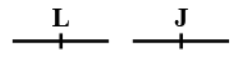
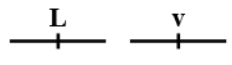
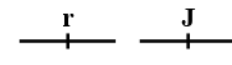
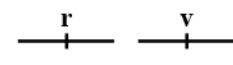
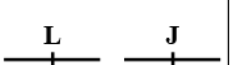
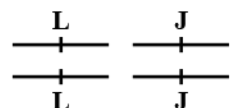
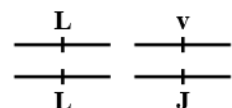
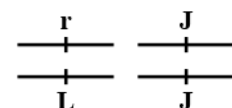
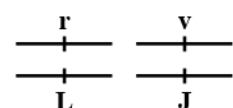
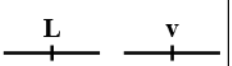
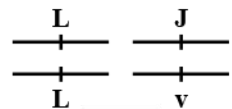
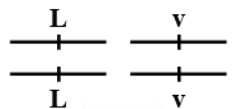
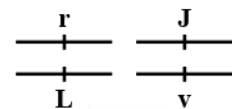
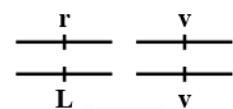

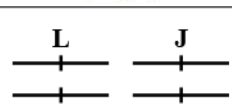
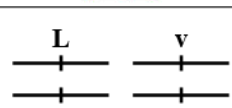
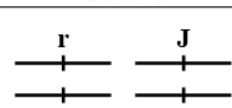
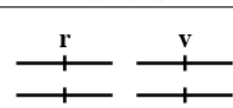

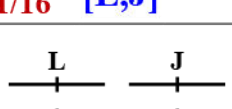
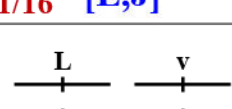
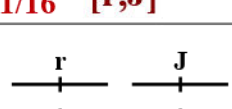
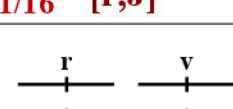
La génération F₂ est issue du croisement de F₁ x F₁. La réunion des gamètes lors de la fécondation est un phénomène aléatoire.

Les génotypes des individus obtenus en F₂ sont donnés dans le tableau de croisement (Echiquier de croisement) de présenté par le document 12:

Document 11: Modèle explicatif de la ségrégation indépendante des allèles.



Document 12: Echiquier des croisements.

♀ \ ♂	 1/4	 1/4	 1/4	 1/4
 1/4	 1/16 [L,J]	 1/16 [L,J]	 1/16 [L,J]	 1/16 [L,J]
 1/4	 1/16 [L,J]	 1/16 [L,v]	 1/16 [L,J]	 1/16 [L,v]
 1/4	 1/16 [L,J]	 1/16 [L,J]	 1/16 [r,J]	 1/16 [r,J]
 1/4	 1/16 [L,J]	 1/16 [L,v]	 1/16 [r,J]	 1/16 [r,v]

Chaque case de l'échiquier de croisement correspond à une probabilité de $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$ c'est-à-dire 1/16. Dans la génération F₂, on obtient 4 phénotypes différents qui se répartissent comme suit :

- ✓ Des individus [L, J] dans 9/16 des cas, c'est-à-dire 56.25%.
- ✓ Des individus [L, v] dans 3/16 des cas, c'est-à-dire 18.75%.
- ✓ Des individus [r, J] dans 3/16 des cas, c'est-à-dire 18.75%.
- ✓ Des individus [r, v] dans 1/16 des cas, c'est-à-dire 6.25%.

Les résultats théoriques correspondent bien aux résultats expérimentaux. Les deux gènes considérés sont donc bien indépendants.

Retenir que:

Lors de la transmission de deux couples d'allèles avec dominance, si le croisement ($F_1 \times F_1$), produit une génération F_2 composée de 4 phénotypes avec les proportions 9/16, 3/16, 3/16 et 1/16, on peut penser que les gènes sont situés sur des chromosomes différents (gènes indépendants).

★ La 3^{ème} loi de Mendel :

La troisième loi de Mendel : Loi de ségrégation indépendante des allèles

Pendant la gamétogenèse et au cours de la prophase I, chaque individu d'une paire de chromosomes particulière peut s'associer à l'un des deux individus de l'autre paire de chromosomes. Il en résulte que chaque élément d'un couple d'allèles aura autant de chance de se retrouver avec l'une des deux éléments de l'autre couple d'allèles, c'est ce que l'on appelle ségrégation indépendante des allèles.

b) Dihybridisme chez la drosophile:

★ Résultats du croisement : (Voir document 10)

Document 13: Transmission de deux caractères chez la drosophile.

Chez la Drosophile, On cherche à valider si deux gènes sont localisés sur la même paire de chromosomes ou sur deux paires de chromosomes différentes. Pour cela on réalise les croisements dont les résultats sont présentés par la figure ci-contre.

★ Premier croisement:

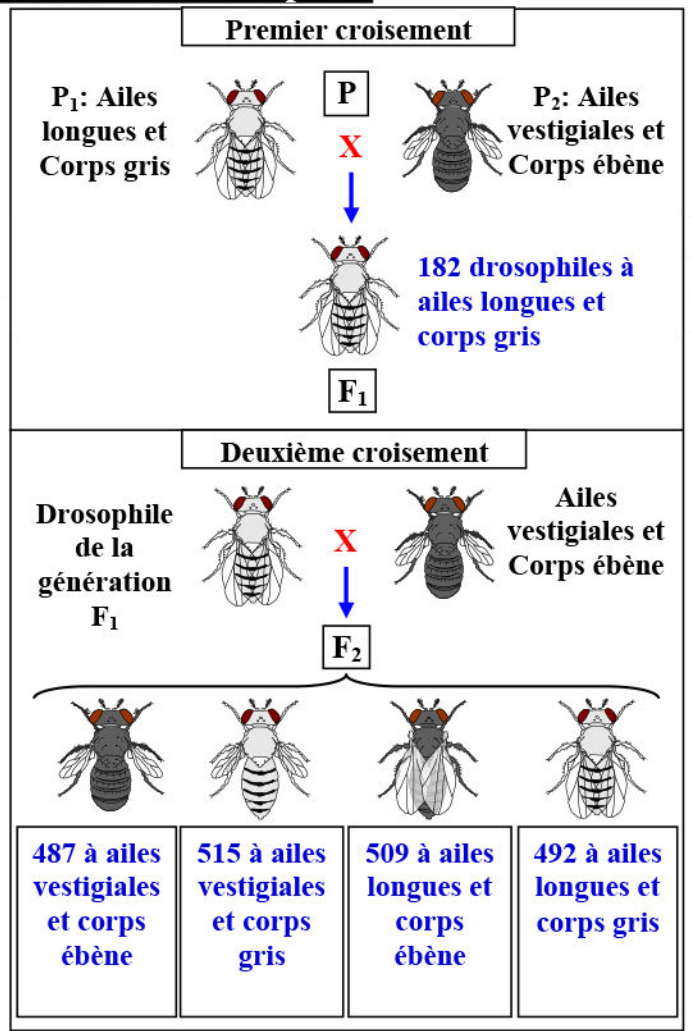
On croise deux drosophiles de race pure, l'une à ailes longues et corps gris, l'autre à ailes vestigiales et corps ébène.

- 1) Interpréter les résultats du premier croisement.

★ Deuxième croisement:

On croise une drosophile de la génération F_1 avec une drosophile double homozygote récessive.

- 2) Qu'appelle-t-on ce type de croisement, et quel est son intérêt?
- 3) Calculez le pourcentage des différents phénotypes obtenus en F_2 . Que déduit-on de ces pourcentages ?
- 4) Réalisez l'interprétation chromosomique des résultats de ces croisements. Comparer les résultats théoriques et les résultats expérimentaux. Que déduit-on?



★ Interprétation des résultats du croisement :

- 1) D'après les résultats du premier croisement, on constate que les individus de la génération F_1 sont homogènes et sont tous de phénotypes ailes longues et corps gris: on peut donc en déduire que les allèles dominants sont «ailes longues» noté «L» et «corps gris» noté «G» alors que les allèles récessifs seront notés «v» pour ailes vestigiales et «e» pour corps ébène.
- 2) Ce type de croisement est nommé Back cross, car c'est un croisement entre un individu de la génération F_1 et un individu double homozygote récessive.
Son intérêt est de vérifier la ségrégation indépendante des allèles.

Les individus doubles homozygotes récessifs ne produiront qu'un seul type de gamète v/ et e/.
Ce sont donc les allèles apportés par les gamètes de l'hybride F_1 , qui vont déterminer le phénotype de la génération F_2 .

Le dénombrement des phénotypes issus du Back cross permet donc de déduire si les gènes sont liés ou indépendants.

- 3) Le résultat du test cross nous donne une génération F_2 composée de:

- ✓ 492 drosophiles à ailes longues et corps gris : $(409/2003) \times 100 = 24.56\%$.
- ✓ 509 drosophiles à ailes longues et corps ébène : $(509/2003) \times 100 = 25.41\%$.
- ✓ 515 drosophiles à ailes vestigiales et corps gris : $(515/2003) \times 100 = 25.71\%$.
- ✓ 487 drosophiles à ailes vestigiales et corps ébène : $(487/2003) \times 100 = 24.31\%$.

Les proportions obtenues en F_2 (25%, 25%, 25%, 25%), ne peuvent être expliquées que par le fait que, lors de la formation des gamètes de F_1 , il y a alors un brassage interchromosomique en anaphase I. Ceci aboutit à la formation de 4 types de gamètes, portant respectivement les combinaisons alléliques suivantes: L/G/, v/e/, L/e/, v/G/. Les 4 gamètes sont équiprobables. Il y a autant de gamètes portant les combinaisons alléliques de type parental (L/G/, v/e/) que de gamètes portant les combinaisons alléliques de type non parental (L/e/, v/G/).

On peut donc en conclure que les 2 gènes considérés sont situés sur 2 chromosomes différents, c'est-à-dire qu'ils sont indépendants.

- 4) Interprétation chromosomique des résultats de ces croisements:

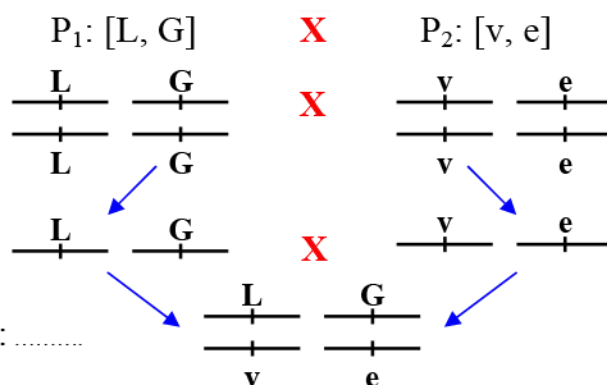
★ 1^{er} croisement chez les parents P:

Les phénotypes des parents P:

Les génotypes :

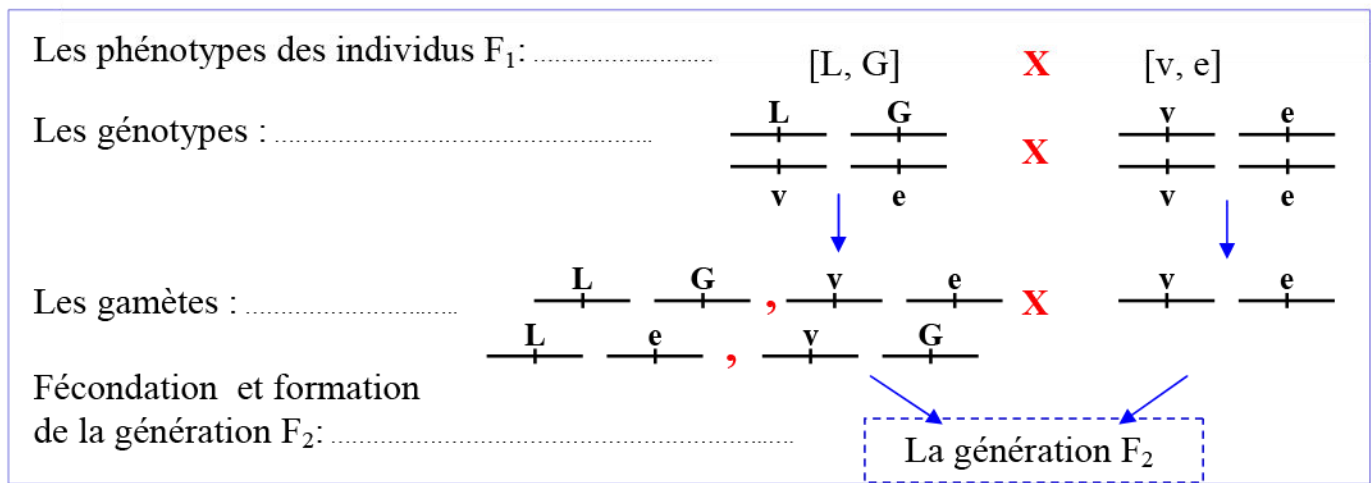
Les gamètes :

Fécondation et formation de la génération F_1 :



La génération F_1 : 100% [L, G]

★ 2^{ème} croisement (Back cross):



Les génotypes et les phénotypes des individus obtenus en F₂ sont représentés sur l'échiquier de croisement suivant :

♀ \ ♂	$\frac{L}{v} \frac{G}{e}$	$\frac{L}{v} \frac{e}{e}$	$\frac{v}{v} \frac{G}{G}$	$\frac{v}{v} \frac{e}{e}$
$\frac{v}{v} \frac{e}{e}$	$\frac{L}{v} \frac{G}{e}$ 1/4	$\frac{L}{v} \frac{e}{e}$ 1/4	$\frac{v}{v} \frac{G}{G}$ 1/4	$\frac{v}{v} \frac{e}{e}$ 1/4

Les phénotypes: [L, G] [L, e] [v, G] [v, e]

Les résultats théoriques de ce croisement montrent l'obtention en F₂ de 4 génotypes différents avec une fréquence de 25 % pour chaque génotype.

Les résultats expérimentaux sont en accord avec les résultats théoriques. On peut donc en conclure que les 2 gènes considérés sont situés sur 2 chromosomes différents, c'est-à-dire qu'ils sont indépendants.

① Cas des gènes Liés:

a) Di-hybridisme chez la drosophile:

★ Résultats du croisement : (Voir document 14)

Document 14: Transmission de deux caractères chez la drosophile.

On cherche à savoir si les gènes sont indépendants ou sont liés. Pour cela on réalise les croisements suivants:

★ **Premier croisement:** On croise deux drosophiles de race pure, l'une à ailes normales et yeux rouges, l'autre à ailes tronquées et yeux bruns. La première génération (F₁) donne des hybrides qui portent tous des ailes normales et des yeux rouges.

★ **Deuxième croisement:** On croise une drosophile femelle de la génération F₁ avec un mâle double homozygote récessif (ailes tronquées et yeux bruns). Ce croisement donne une descendance (F₂) composée de:

- ⇒ 410 drosophiles à ailes normales et aux yeux rouges.
- ⇒ 400 drosophiles à ailes tronquées et aux yeux bruns.
- ⇒ 109 drosophiles à ailes normales et aux yeux bruns.
- ⇒ 111 drosophiles à ailes tronquées et aux yeux rouges.

Document 14: (Suite).

- 1) Interpréter les résultats du premier et deuxième croisement.
- 2) Réalisez l'interprétation chromosomique des résultats de ces croisements. Comparer les résultats théoriques et les résultats expérimentaux. Que déduit-on?

★ **Troisième croisement:** On croise un mâle de la génération F_1 avec une femelle double homozygote récessive (ailes tronquées et yeux bruns). Ce croisement donne une descendance (F'_2) composée de:

- ⇒ 170 drosophiles à ailes normales et aux yeux rouges.
- ⇒ 175 drosophiles à ailes tronquées et aux yeux bruns.

- 3) Interpréter les résultats de ce croisement. Que déduit-on?

★ Interprétation des résultats du croisement :

- 1) Les deux parents du premier croisement sont de race pure (homozygotes pour les gènes étudiés). Les deux parents ne produiront donc qu'un seul type de gamètes portant les allèles «ailes normales » et «yeux rouges» pour le parent P_1 et les allèles «ailes tronquées» et «yeux bruns» pour le parent P_2 .

Les individus de la génération F_1 sont tous de phénotypes ailes normales et yeux rouges: on peut donc en déduire que les allèles dominants sont «ailes normales» noté «N» et «yeux rouges» noté «R», alors que les allèles récessifs seront notés «t» pour ailes tronquées et «b» pour ailes bruns.

Le deuxième croisement est un croisement-test, nommé Back cross, son but est de vérifier la ségrégation indépendante des allèles.

Le résultat de ce croisement fait apparaître 4 phénotypes différents, avec les proportions suivantes:

- ✓ Le phénotype [N, R] : $(410 / (410+400+111+109)) \times 100 = 39.81 \%$
- ✓ Le phénotype [t, b] : $(400 / (410+400+111+109)) \times 100 = 38.83 \%$
- ✓ Le phénotype [N, b] : $(109 / (410+400+111+109)) \times 100 = 10.58 \%$
- ✓ Le phénotype [t, R] : $(111 / (410+400+111+109)) \times 100 = 10.78 \%$

On constate que les phénotypes parentaux [N, R] et [t, b], sont majoritaires (78.64%) sur les phénotypes recombinés [N, b] et [t, R] (21.36%).

Les 4 types de gamètes qui peuvent être fabriqués par les individus de la F_1 ne sont donc pas équiprobables: les gamètes parentaux sont beaucoup plus fréquents que les gamètes recombinés. Ces résultats ne peuvent donc s'expliquer que par le fait que les gènes sont liés.

- 2) Interprétation chromosomique des résultats de ces croisements:

★ 1^{er} croisement chez les parents P:

On suppose que les deux gènes sont portés par le même chromosome (Gènes liés).

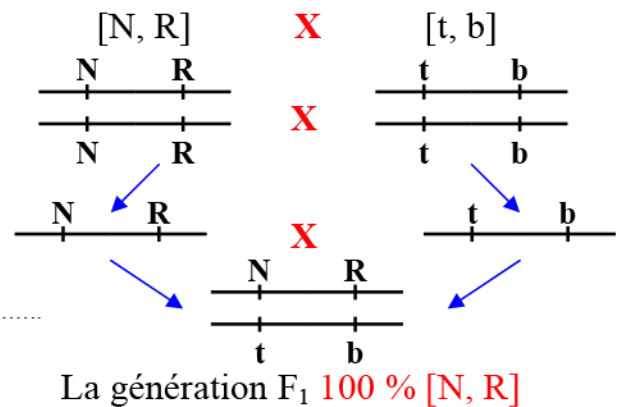
Les deux parents sont de race pure c'est à dire homozygotes pour les gènes étudiés. Les deux parents ne produiront donc qu'un seul type de gamètes NR/ et tb/.

Les phénotypes des parents P:

Les génotypes :

Les gamètes :

Fécondation et formation de la génération F₁:



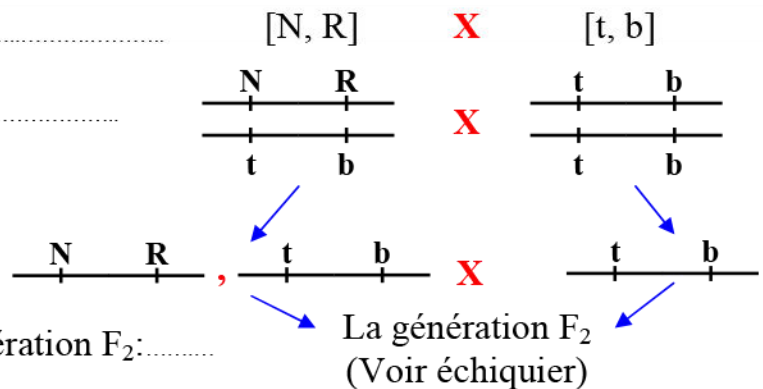
★ 2^{ème} croisement (Back cross):

Les phénotypes des individus F₁:

Les génotypes :

Les gamètes :

Fécondation et formation de la génération F₂:



Echiquier de croisement

♂ \ ♀	N R	t b
t b	 %50	 %50
N R	 %50	 %50
t b	 %50	 %50

Résultats de la génération F₂:

★ Les phénotypes :

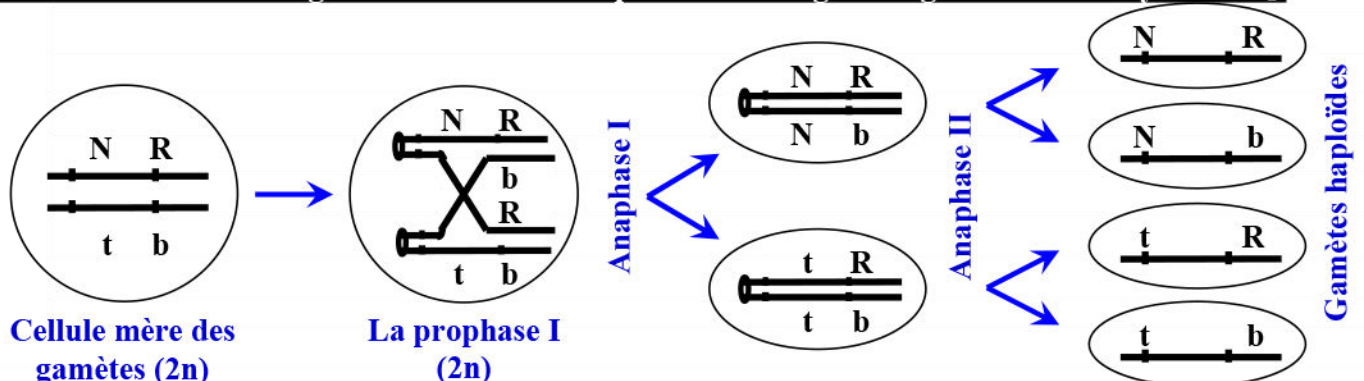
50% [NR] + 50% [tb].

★ Les génotypes :

50% NR//tb + 50% tb//tb.

On constate que les résultats expérimentaux ne sont pas en accord avec les résultats théoriques. Les résultats expérimentaux montrent l'obtention de 4 phénotypes: deux types parentaux et deux types recombinés. Cela peut être expliqué par le fait que l'hybride F₁ produit 4 types de gamètes par échange de segment de chromatide entre chromosomes homologues (Crossing-over) lors de la 1^{ère} division de méiose.

Document 15: Brassage intrachromosomique lors de la gamétogénèse chez l'hybride F₁.



L'échiquier de croisement dans ce cas est :

♀ \ ♂	N R	N b	t R	t b
N R	39.81 %	10.58 %	10.78 %	38.83 %
N b	39.81 %	10.58 %	10.78 %	38.83 %
t R	39.81 %	10.58 %	10.78 %	38.83 %
t b	39.81 %	10.58 %	10.78 %	38.83 %

★ 3^{ème} croisement (Back cross):

- 3) Le troisième croisement est un croisement-test (Back cross), entre une drosophile mâle de F₁ double hétérozygote et une drosophile femelle double homozygote récessive.

Le résultat de ce croisement fait apparaître 2 phénotypes différents en F'₂, de types parentaux avec les proportions suivantes:

- ✓ Le phénotype [N, R] : $(170 / (170+175)) \times 100 = 49.27 \%$
- ✓ Le phénotype [t, b] : $(175 / (170+175)) \times 100 = 50.73 \%$

Ces résultats expérimentaux montrent que l'hybride F₁, produit seulement deux types de gamètes de types parentaux NR/ et tb/. On déduit que le brassage intrachromosomique ne se fait pas lors de la gamétogénèse chez le mâle de la drosophile (Liaison absolue des gènes).

Retenir que :

Si lors d'un Back cross où on considère deux caractères différents, on observe:

- ⇒ Les phénotypes parentaux et les phénotypes recombinés sont équiprobables (25%, 25%, 25%, 25%), alors les gènes sont localisés sur deux paires de chromosomes différents, on parle de brassage interchromosomique réalisé en anaphase de première division de méiose.
- ⇒ Les phénotypes parentaux et les phénotypes recombinés sont dans des proportions différentes dont 2 majoritaires sont des phénotypes parentaux (ex : 40%, 40%, 10%, 10%), alors les gènes sont localisés sur la même paire de chromosomes, on parle de brassage intrachromosomique. Les gènes recombinés sont issus d'un crossing-over ou enjambement en prophase de première division de méiose.

III – L'importance du Crossing-over dans l'établissement de la carte factorielle.

① Relation entre le taux de recombinaison et la distance entre deux gènes: (Voir document 16)

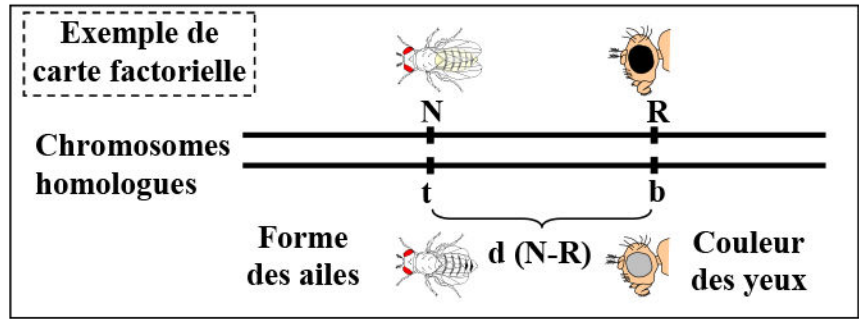
Document 16: Mesure de la distance entre deux gènes et réalisation de la carte factorielle.

Morgan avait et ses collaborateurs ont pu supposer que plus deux gènes sont éloignés l'un de l'autre, plus le taux de recombinaison qu'ils présentent est élevé, et que plus ils sont rapprochés, plus ce taux est faible. Ainsi, le pourcentage de recombinaison existant entre deux gènes liés reflète exactement la distance qui les sépare.

Morgan a pu mesurer la distance relative entre deux gènes liés et établir des cartes factorielles ou génétiques. Il a utilisé une unité de mesure de cette distance qu'il nomma centimorgan (cMg). 1 cMg = 1% de recombinaisons.

Document 16 (Suite): Mesure de la distance entre deux gènes et réalisation de la carte factorielle.

Prenons le cas d'un individu de génotype N/t et R/b dont ces deux gènes sont portés par la même paire de chromosomes homologues, l'un des chromosomes portant les allèles N et R (dominants), l'autre les allèles t et b (récessifs). Cet individu présente donc le phénotype double dominant [N, R].



Pour calculer la distance entre les deux gènes N et R ($d(N-R)$), Morgan a proposé la formule suivante:

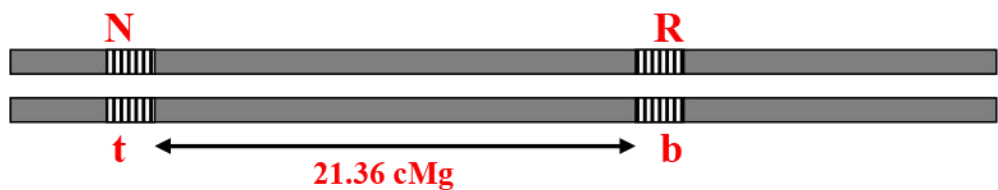
$$d(N-R) = \% \text{ de recombines } = \frac{\text{Nombre d'individus recombinés}}{\text{Nombre total d'individus}} \times 100$$

En exploitant les données de ce document et des données du document 14, calculer la distance entre les deux gènes couleur des yeux et forme des ailes. Puis réalisez la carte factorielle.

★ Calcule de la distance $d(N-R)$:

$$d(R,N) = \frac{\text{Nombre d'individus recombinés}}{\text{Nombre total d'individus}} \times 100 = \frac{109 + 111}{1030} \times 100 = 21.36 \text{ cMg}$$

★ La carte factorielle :



② Trihybridisme chez la drosophile:

a) Expérience et résultats (Voir document 17)

Document 17: Transmission de trois caractères chez la drosophile.

On cherche à estimer expérimentalement la distance séparant trois gènes chez la drosophile, et produire une carte factorielle. Pour cela on réalise des croisements:

★ **Premier croisement:** On croise deux drosophiles de race pure, l'une avec un corps gris, yeux lisses et ailes complètes. L'autre avec un corps jaune, yeux rugueuses et ailes tronquées. La première génération (F_1) est homogène, formée d'individus avec un corps gris, yeux lisses et ailes complètes.

★ **Deuxième croisement (Back cross):** On croise une drosophile femelle de la génération F_1 avec un mâle triple homozygote récessif (corps jaune, yeux rugueuses et ailes tronquées). Ce croisement donne une descendance composée de 2880 drosophiles répartie en 8 phénotypes qui sont:

- ⇒ 1080 drosophiles avec un corps gris, yeux lisses et ailes complètes.
- ⇒ 78 drosophiles avec un corps jaune, yeux lisses et ailes complètes.
- ⇒ 1071 drosophiles avec un corps jaune, yeux rugueuses et ailes tronquées.
- ⇒ 66 drosophiles avec un corps gris, yeux rugueuses et ailes tronquées.
- ⇒ 293 drosophiles avec un corps gris, yeux lisses et ailes tronquées.
- ⇒ 6 drosophiles avec un corps gris, yeux rugueuses et ailes complètes.
- ⇒ 282 drosophiles avec un corps jaune, yeux rugueuses et ailes complètes.
- ⇒ 4 drosophiles avec un corps jaune, yeux lisses et ailes tronquées.

Document 17 (Suite): Transmission de trois caractères chez la drosophile.

En représentant le gène «couleur du corps» par (G,g) et (J,j), «aspect des yeux» (L, l) et (R, r), «forme des ailes» (C,c) et (T,t).

- 1) Interpréter les résultats du premier et deuxième croisement.
- 2) Que déduit-on de l'interprétation chromosomique des résultats des croisements?
- 3) Calculer les distances :
 - d(j-r): distance entre le gène «couleur du corps» et le gène «aspect des yeux».
 - d(r-t): distance entre le gène «aspect des yeux» et le gène «forme des ailes».
 - d(j-t): distance entre le gène «couleur du corps» et le gène «forme des ailes».
- 4) En exploitant les résultats de la question 3, déterminer la disposition relative des gènes sur le chromosome, puis établissez la carte factorielle.

b) Interprétation des résultats :

- 1) Le croisement est fait entre deux individus appartenant à deux lignées pures qui diffèrent par 3 caractères, donc c'est un cas de trihybridisme.

Les deux parents du premier croisement sont de race pure (homozygotes pour les gènes étudiés).

Les individus de la génération F_1 sont tous homogènes de phénotypes corps gris, yeux lisses et ailes complètes. On peut donc en déduire que les allèles dominants sont « corps gris, yeux lisses et ailes complètes », alors que les allèles récessifs sont « corps jaune, yeux rugueuses et ailes tronquées ».

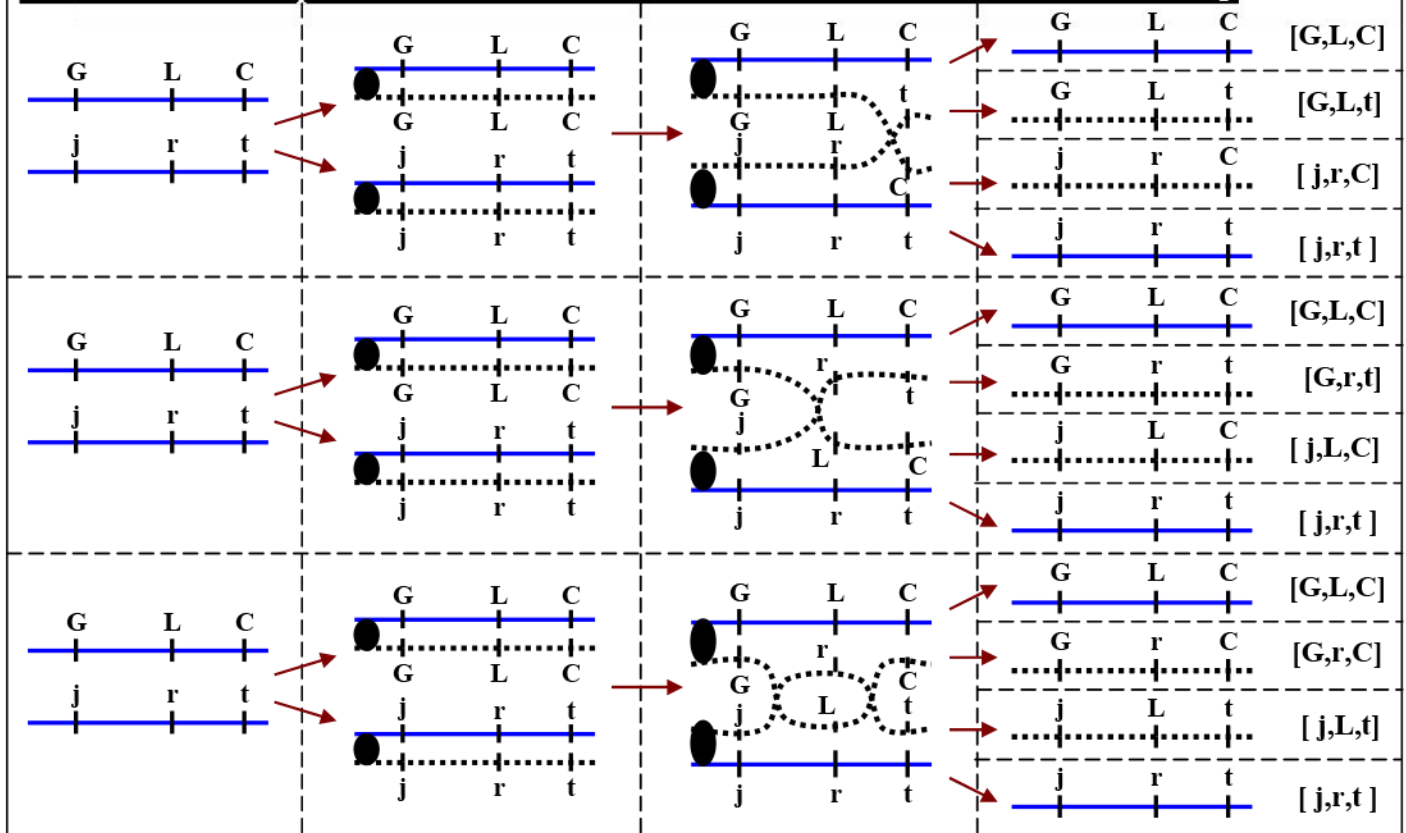
Le résultat du deuxième croisement (Back cross), fait apparaître 8 phénotypes différents, avec les proportions suivantes:

- ✓ Le phénotype [G, L, C] : $(1080/2880) \times 100 = 37.50 \%$
- ✓ Le phénotype [j, r, t] : $(1071/2880) \times 100 = 37.19 \%$
- ✓ Le phénotype [G, L, t] : $(293/2880) \times 100 = 10.17 \%$
- ✓ Le phénotype [j, r, C] : $(282/2880) \times 100 = 9.79 \%$
- ✓ Le phénotype [j, L, C] : $(78/2880) \times 100 = 2.71 \%$
- ✓ Le phénotype [G, r, t] : $(66/2880) \times 100 = 2.29 \%$
- ✓ Le phénotype [G, r, C] : $(6/2880) \times 100 = 0.21 \%$
- ✓ Le phénotype [j, L, t] : $(4/2880) \times 100 = 0.14 \%$

On constate que les phénotypes parentaux [G, L, C] et [j, r, t], sont majoritaires (74.69%) sur les phénotypes recombinés [G, L, t] ; [j, r, C] ; [j, L, C] ; [G, r, t] ; [G, r, C] ; [j, L, t] (25.31%). Ces résultats ne peuvent donc s'expliquer que par le fait que les gènes sont liés.

Les 4 types de gamètes qui peuvent être fabriqués par les individus de la F_1 ne sont donc pas équiprobables: les gamètes parentaux sont beaucoup plus fréquents que les gamètes recombinés. Et l'apparition des types recombinés ne peut être expliqué que par le fait que la femelle hybride F_1 produit au cours de la gamétogenèse 4 types de gamètes par échange de segment de chromatide entre chromosomes homologues (Crossing-over) (voir document 18).

Document 18: Explication de la formation des recombines chez la femelle F₁



2) Interprétation chromosomique des résultats des croisements:

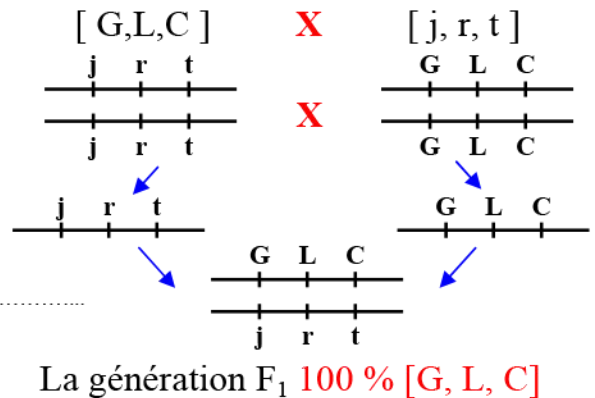
★ Interprétation du 1^{er} croisement :

Les phénotypes des parents P:

Les génotypes :

Les gamètes :

Fécondation et formation de la génération F₁:



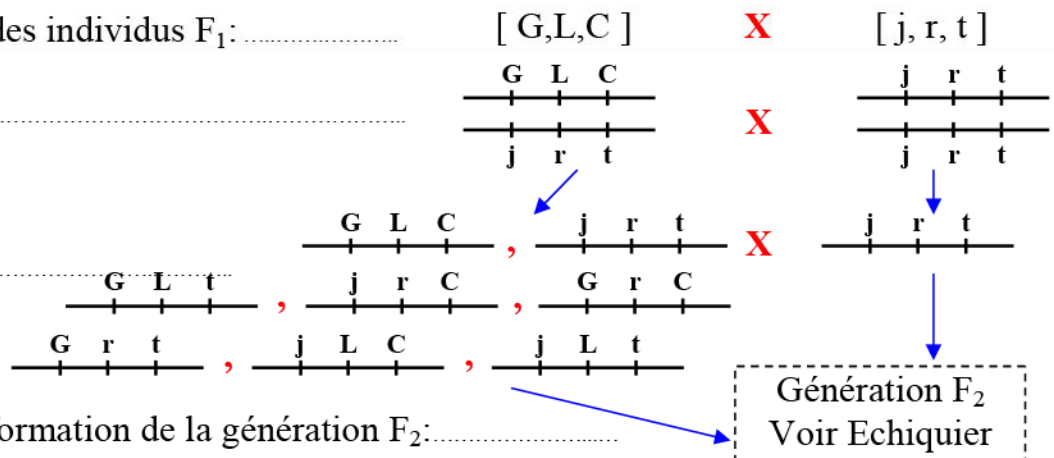
★ 2^{ème} croisement (Back cross):

Les phénotypes des individus F₁:

Les génotypes :

Les gamètes :

Fécondation et formation de la génération F₂:



♂ \ ♀	$\frac{GLC}{+++}$	$\frac{jrt}{+++}$	$\frac{GLt}{+++}$	$\frac{j r C}{+++}$	$\frac{j L C}{+++}$	$\frac{G r t}{+++}$	$\frac{G r C}{+++}$	$\frac{j L t}{+++}$
$\frac{j r t}{+++}$	$\frac{GLC}{+++}$ $\frac{jrt}{+++}$	$\frac{jrt}{+++}$ $\frac{jrt}{+++}$	$\frac{GLt}{+++}$ $\frac{jrt}{+++}$	$\frac{j r C}{+++}$ $\frac{jrt}{+++}$	$\frac{j L C}{+++}$ $\frac{jrt}{+++}$	$\frac{G r t}{+++}$ $\frac{jrt}{+++}$	$\frac{G r C}{+++}$ $\frac{jrt}{+++}$	$\frac{j L t}{+++}$ $\frac{jrt}{+++}$
Phénotypes des F ₂	[G,L,C]	[j,r,t]	[G,L,t]	[j,r,C]	[j,L,C]	[G,r,t]	[G,r,C]	[j,L,t]
	37.50%	37.19%	10.17%	9.79%	2.71%	2.29%	0.21%	0.14%

3) Calcule des distances entre les gènes:

- $d(j-r)$: distance entre le gène «couleur du corps» et le gène «aspect des yeux»:
 $d(j-r) = ((4+6+66+78)/2880) \times 100 = 5.35 \text{ cMg}$
- $d(r-t)$: distance entre le gène «aspect des yeux» et le gène «forme des ailes».
 $d(r-t) = ((4+6+282+293)/2880) \times 100 = 20.31 \text{ cMg}$
- $d(j-t)$: distance entre le gène «couleur du corps» et le gène «forme des ailes».
 $d(j-t) = (4+6+66+78+282+293)/2880 \times 100 = 25.31 \text{ cMg}$

4) D'après les résultats précédents :

- La disposition relative des gènes sur le chromosome :

La distance $d(j-t) \approx d(j-r) + d(r-t)$, on en déduit que le gène «aspect des yeux» (L, r) est localisé entre le gène «couleur du corps» (G, j) et le gène «forme des ailes» (C, t).

On remarque que $d(j-t) < d(j-r) + d(r-t)$, cela peut être expliqué par le non dénombrement du double Crossing-over entre le gène «couleur du corps» (G, j) et le gène «forme des ailes» (C, t). Ainsi le calcul de la distance entre ces deux gènes est :

$$d(j-t) = ((2 \times (4+6) + 66 + 78 + 282 + 293) / 2880) \times 100 = 25.66 \text{ cMg}$$

- La carte factorielle :

