

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

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).

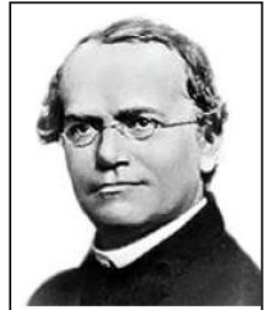
La première génération obtenue (F_1) donne des plantes qui forment des graines lisses.

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.



JOHANN GREGOR MENDEL

Figure 1

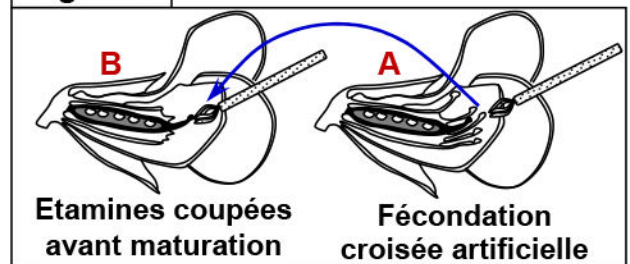
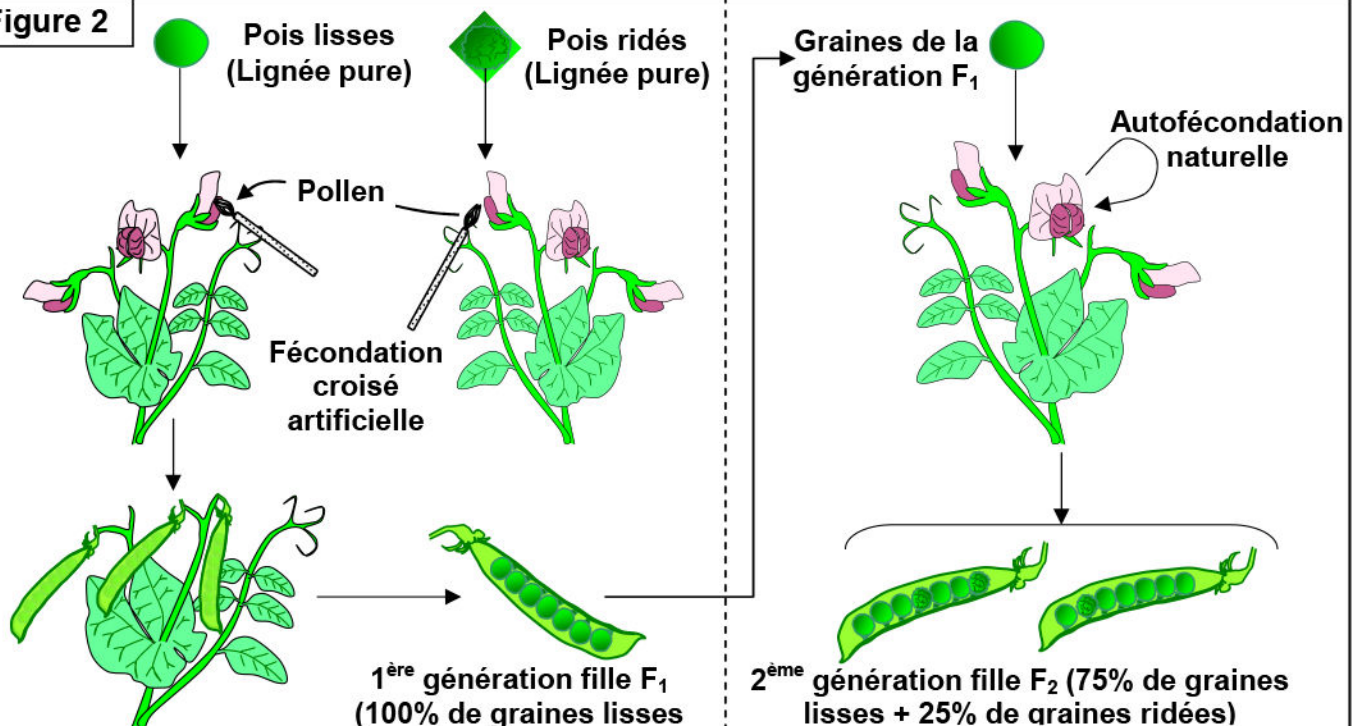


Figure 2



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.

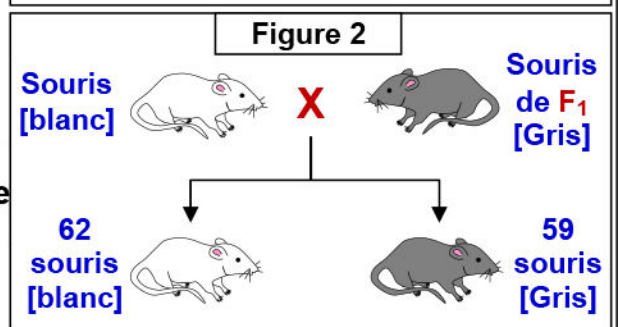
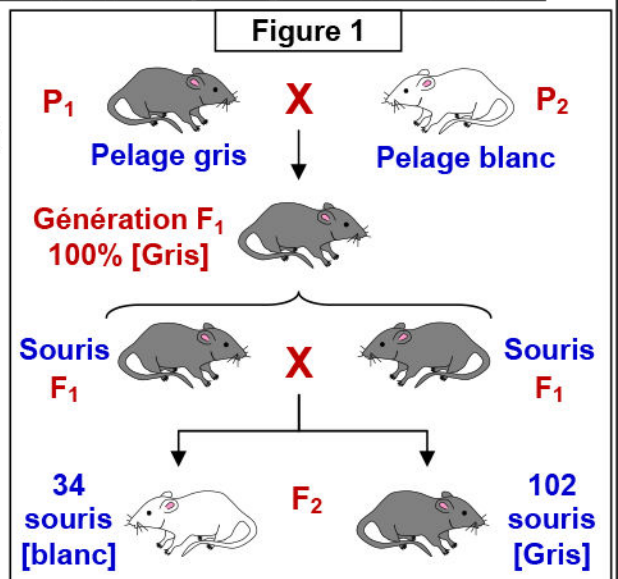
Document 3: Transmission du caractère « couleur de pelage » des souris.

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.



Document 3: (Suite).

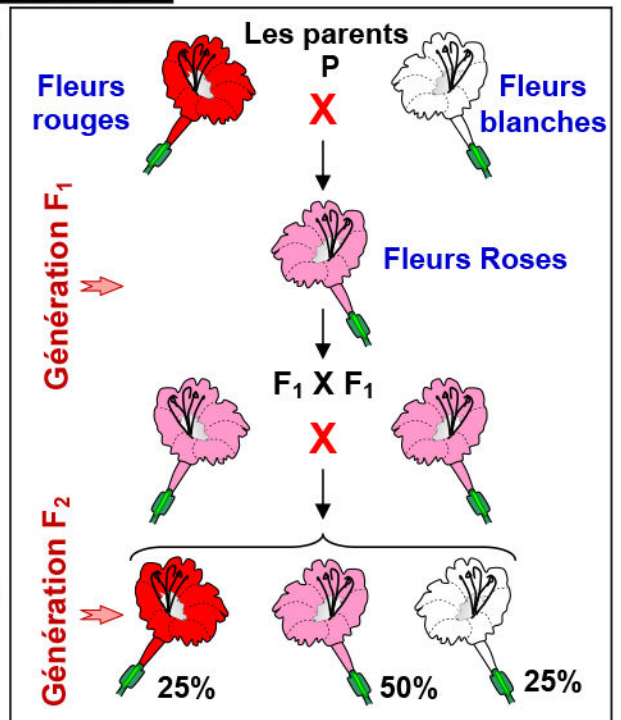
- 3) Formulez une hypothèse en ce qui concerne le génotype des souris hybrides de F₂ de phénotype [Gris].
- 4) Tester l'hypothèse en exploitant les résultats du croisement de la figure 2. Déduire le rôle du test croise dans la détermination du génotype des hybrides de phénotype dominant.

Document 4 : Croisement des fleurs de belle de nuit.

La belle de nuit (*Mirabilis Jalapa*) est une plantes 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.



Document 5: Transmission d'un caractère lié à un gène létal chez la souris.

On croise deux lignés 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.

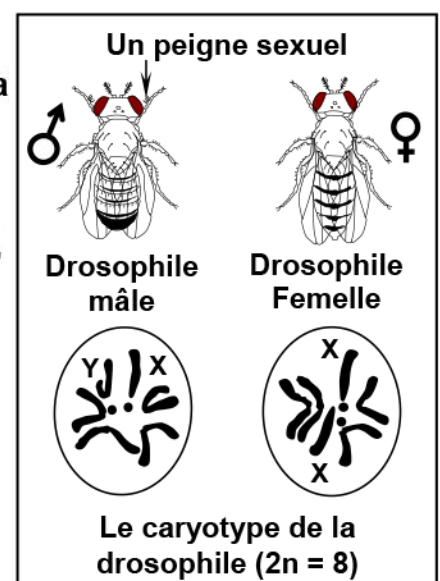
Document 6: La Drosophile, un insecte au service de la génétique.

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:

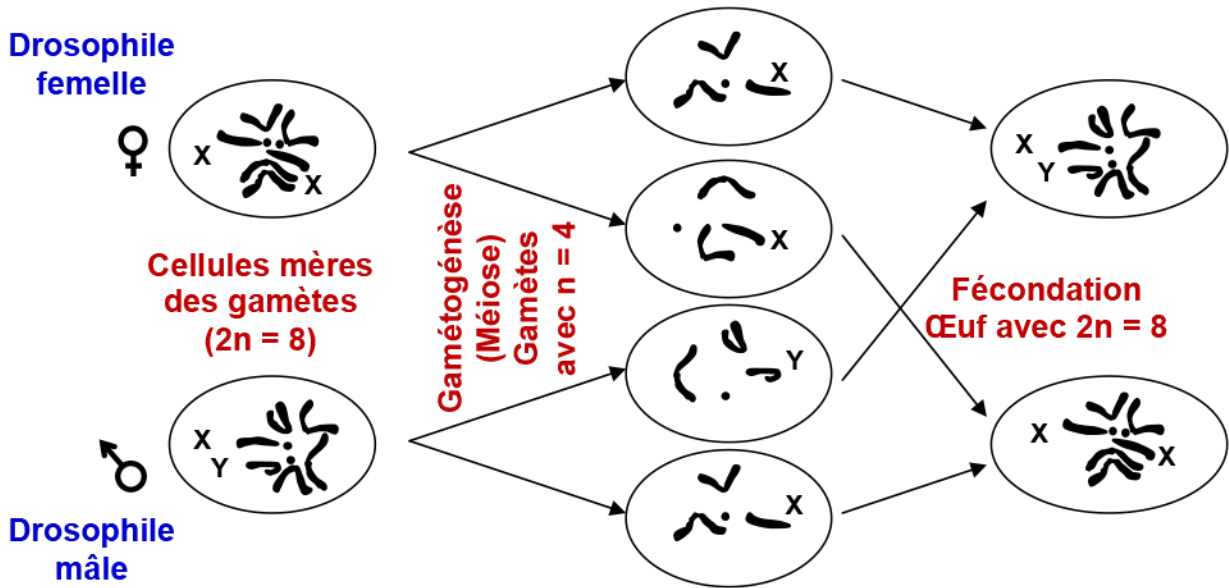
- ✓ Sa facilité de manipulation (petite taille, élevage aisé).
- ✓ Ses capacités reproductives impressionnantes: son cycle biologique extrêmement rapide, d'environ 12 jours, permet de suivre un grand nombre de générations, dans un espace limité, et dans un temps relativement bref.
- ✓ ses caractéristiques 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.



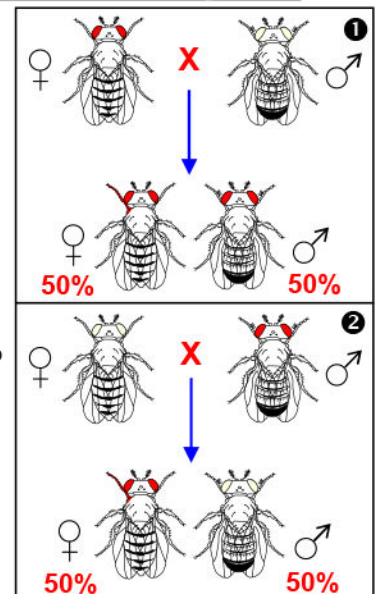
Document 8: Transmission d'un caractère lié au sexe chez la drosophile.

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 F_1 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 F_1 obtenue est composée de 50% de mâles aux yeux blancs et 50% de femelles aux yeux rouges.

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



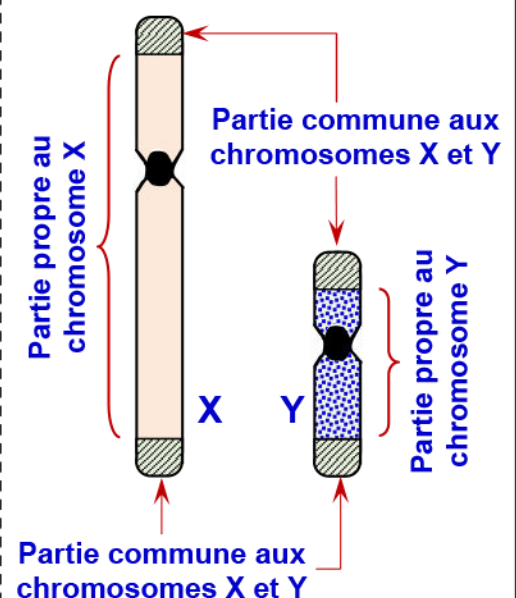
Document 9: Rôle des gonosomes dans l'hérédité liée au sexe.

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 ?



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).

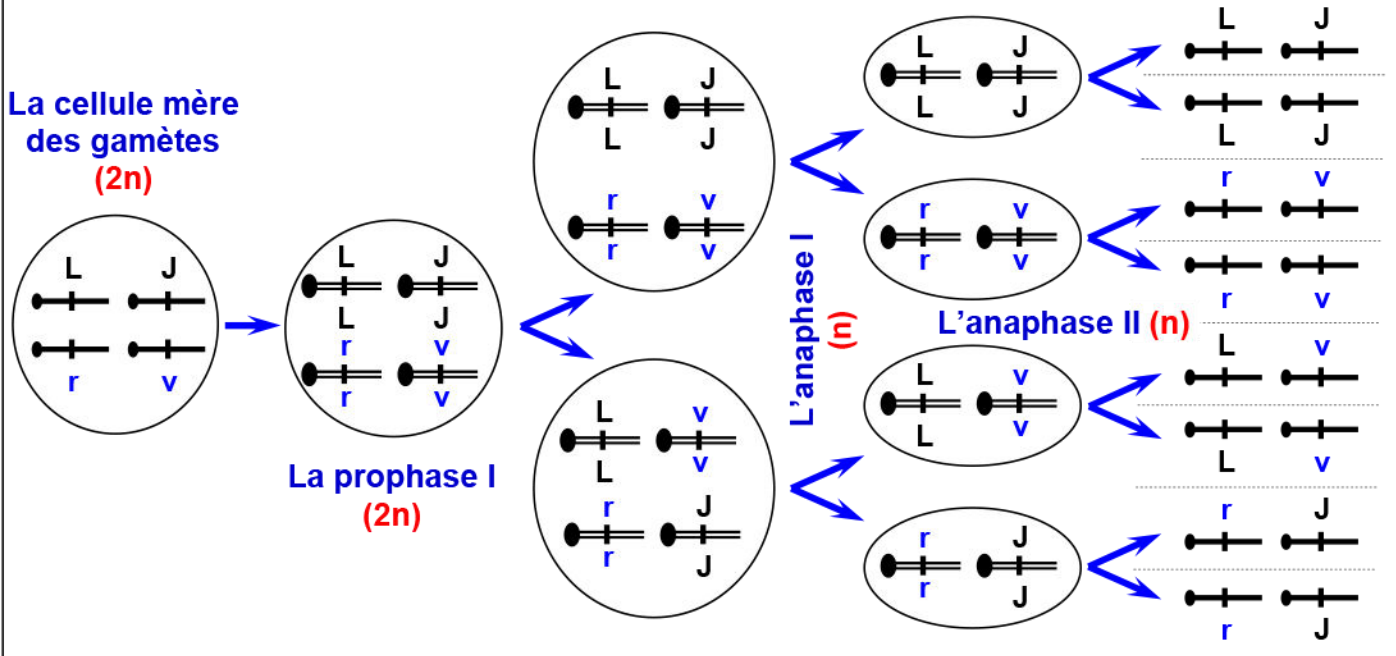
Il croisa une variété de pois à graines lisses et jaunes avec une variété de pois à graines ridées et verts. A la première génération F_1 , toutes les graines étaient lisses et jaunes.

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 ridés ;
- ★ 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?

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



Document 12: Echiquier des croisements.

	r	v	L	J	♂ / ♀
r	r	v	L	J	L
v	r	J	L	J	J
L	r	J	L	J	L
J	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	r
	r	J	L	J	J
	r	v	L	J	L
	r	J	L	J	<

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:

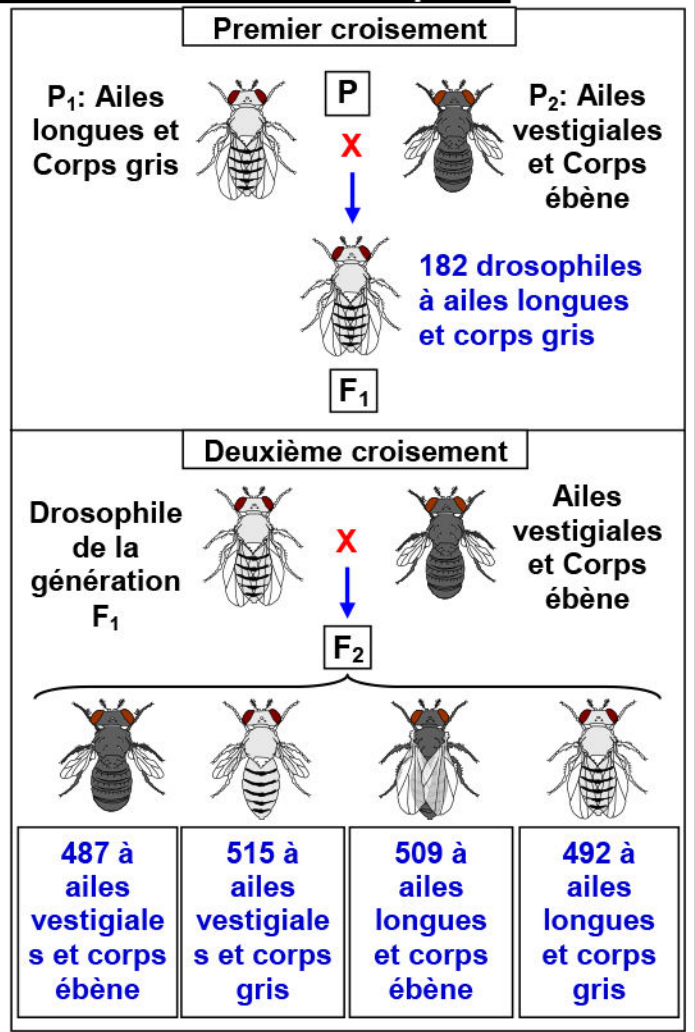
On croise deux drosophiles de race pure, l'une à ailes longues et corps gris, l'autre à ailes vestigiales et corps ébène.

- 1) Interpréter les résultats du premier croisement.

★ Deuxième croisement:

On croise une drosophile de la génération F₁ 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 F₂. 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?



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 tronqués 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 récessive (ailes tronqués et yeux bruns). Ce croisement donne une descendance composée de:

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

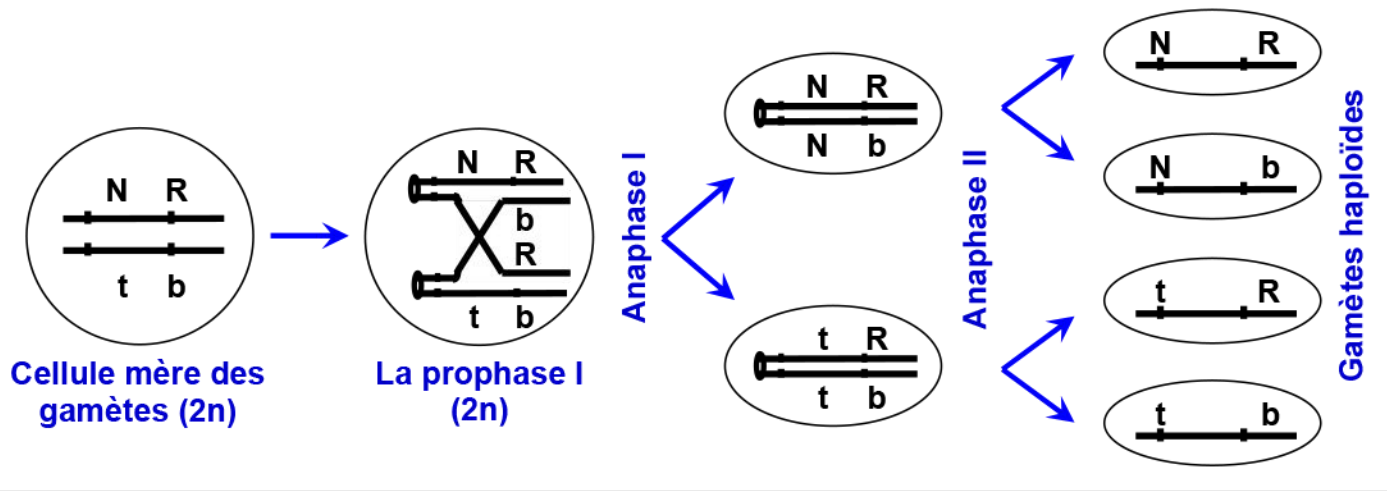
- 1) Interpréter les résultats du premier et deuxième croisement.
- 2) Réalisez l'interprétation chromosomique des résultats de ces croisements. Comparer les résultats théoriques et les résultats expérimentaux. Que déduit-on?

★ **Troisième croisement:** On croise un mâle de la génération F₁ avec une femelle double homozygote récessive (ailes tronqués et yeux bruns). Ce croisement donne une descendance composée de:

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

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

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

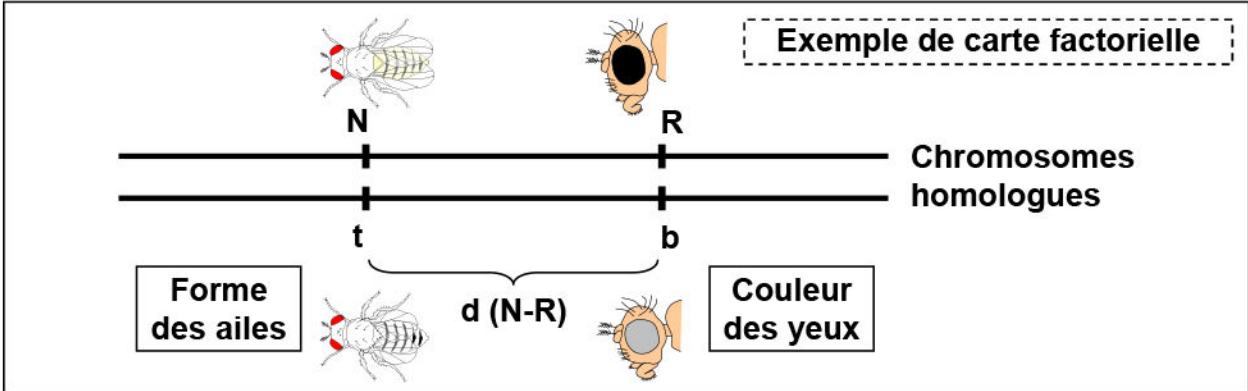


Document 16: Mesure de la distance entre deux gènes et réalisation de la carte factorielle.

Morgan 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.

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.

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 double homozygote récessive (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.

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.

Document 18: Explication de la formation des recombinés chez la femelle F_1 .

