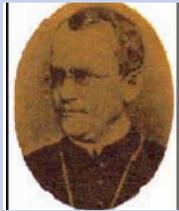


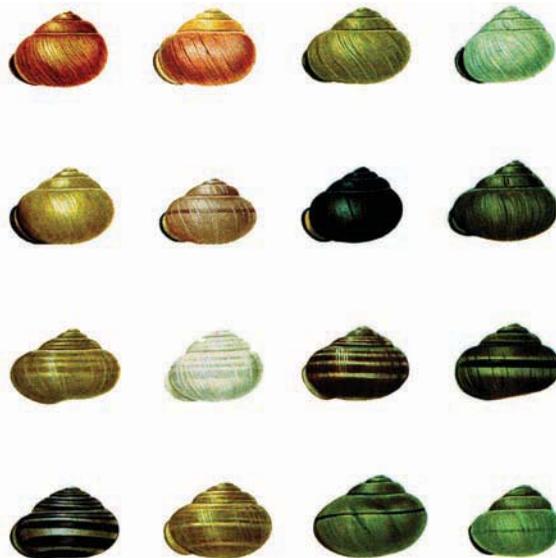
J. G. MENDEL, né en 1822 en Silésie autrichienne, est le fondateur de la génétique ou science de l'hérédité. Ses travaux ont essentiellement porté sur l'étude de la transmission des caractères héréditaires chez des variétés de petit pois. Les études statistiques lui ont permis d'établir des règles appelées lois de Mendel.



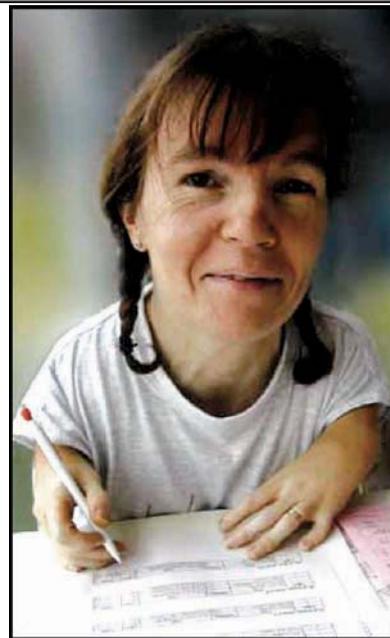
La couleur des fleurs, un caractère héréditaire très étudié chez les végétaux



Une ressemblance remarquable entre une mère et sa fille



Le polymorphisme au niveau d'une population d'escargot des haies (*Cepaea nemoralis*)



PHOCOMÉLIE DE ROBERTS (syndrome de Roberts) : trouble autosomique récessif qui implique des malformations des membres avec raccourcissement

L'hérédité est la transmission des caractères héréditaires (pathologiques ou normaux) des parents à leurs descendants.

La génétique est la science qui étudie le fonctionnement et les modes de transmission du matériel héréditaire. Elle n'a pas pour seul but de comprendre le mécanisme de la transmission des caractères héréditaires, mais aussi d'appliquer les lois de l'hérédité pour modifier et améliorer les caractères des êtres vivants. Ainsi les lois et les techniques de la génétique sont aujourd'hui appliquées pour obtenir des nouvelles races ou variétés animales et végétales, pour le diagnostic des anomalies génétiques et aussi pour lutter contre les maladies héréditaires (thérapie génique).

Chez l'homme et chez les animaux, les descendants d'un couple ne sont ni identiques entre eux, ni à leurs parents, ils présentent des formes diverses d'un individu à l'autre : c'est le **polymorphisme**.

La génétique humaine était autrefois centrée sur la transmission des caractères morphologiques (couleur des yeux et des cheveux, forme du nez et du menton, etc.)

Actuellement, elle a pour objet principal l'étude des maladies héréditaires et des anomalies chromosomiques et se préoccupe d'évaluer les facteurs de risque.

- Comment expliquer la diversité des individus issus de la reproduction sexuée ?
- Comment interpréter la descendance de parents différant par 2 caractères héréditaires?
- Quelles sont les particularités de la génétique humaine ?
- Comment, les connaissances acquises en génétique fondamentale, permettent-elles d'effectuer des prévisions en génétique humaine?
 - En quoi ces connaissances permettent-elles d'évaluer le risque d'avoir des enfants atteints d'une maladie héréditaire (tare génétique) ? et de prévenir ces maladies ?

Dans ce thème, seront traités les deux chapitres suivants :

Chapitre 1 : Le brassage de l'information génétique.

Chapitre 2 : La génétique humaine.

Chapitre 1 : LE BRASSAGE DE L'INFORMATION GÉNÉTIQUE



La diversité ou **polymorphisme** est une conséquence de la reproduction sexuée, au cours de laquelle la méiose et la fécondation assurent le brassage et la transmission des chromosomes maternels et paternels.

Chez l'individu devenu adulte, un mécanisme cellulaire spécial, la méiose, se produit au cours de la gamétogenèse et fournit des gamètes haploïdes à partir de cellules germinales diploïdes.

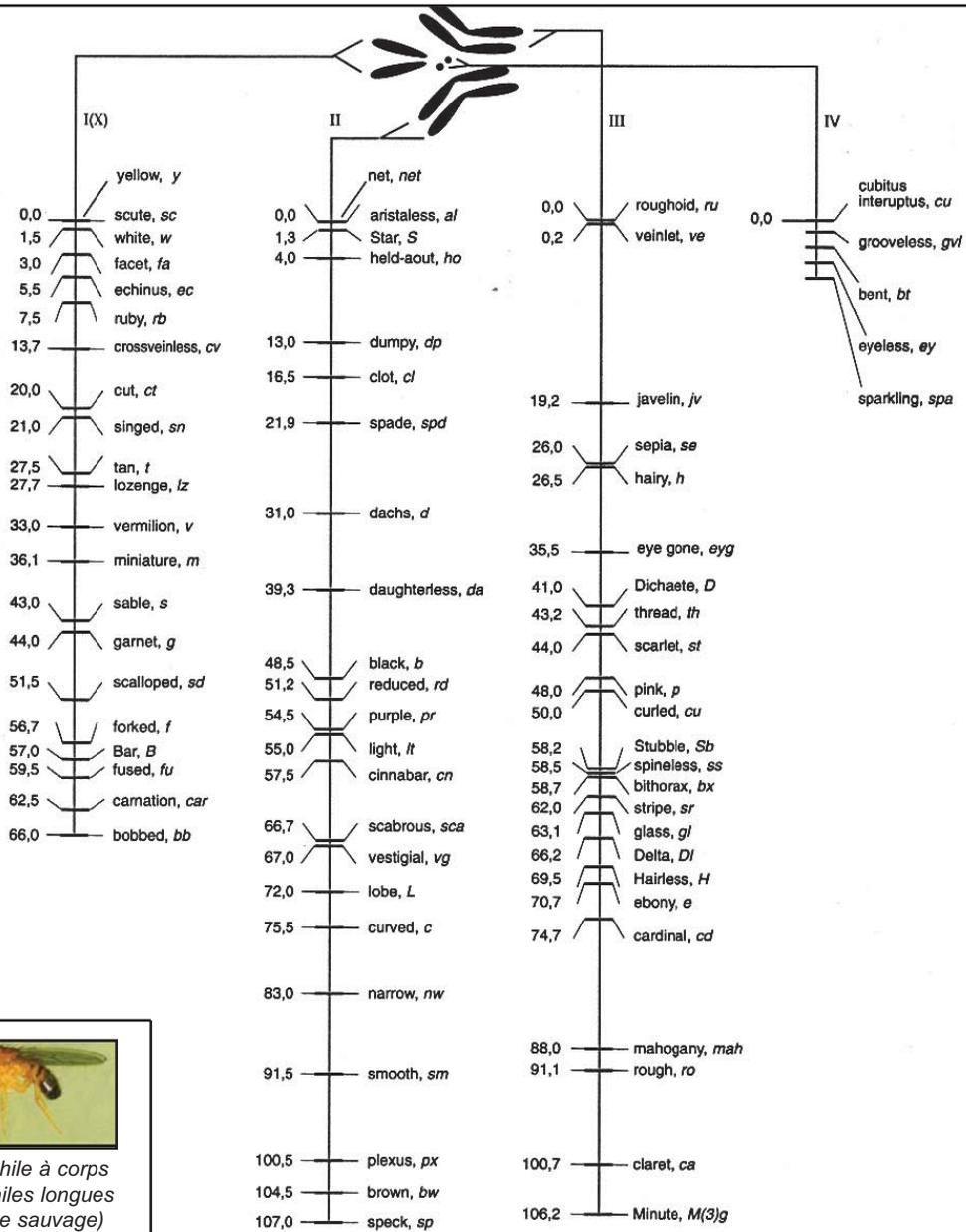
La méiose engendre, au hasard, un assortiment (combinaison) génétique original dans chaque gamète.

La fécondation unit 2 gamètes « pris au hasard » dans un ensemble d'une diversité immense. Ainsi elle forme une combinaison chromosomique originale donnant un individu unique.

OBJECTIFS

- Préciser les rôles de la méiose et de la fécondation dans le brassage chromosomique.
- Analyser et interpréter des résultats expérimentaux de dihybridisme.
- Pratiquer une démarche de raisonnement hypothético-déductif avec utilisation de symboles et du vocabulaire du généticien,
- Résoudre des problèmes de génétique.

S'INTERROGER



Drosophile à corps gris et ailes longues (souche sauvage)



Drosophile à ailes vestigiales (souche mutante)



Drosophile à corps ébène (souche mutante)



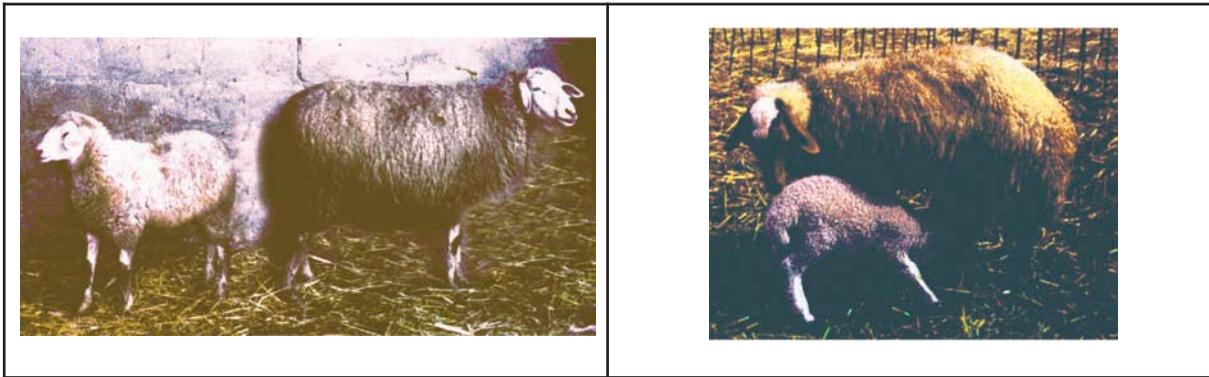
Variétés de maïs



Races de chèvres

Carte génétique des quatre chromosomes de *Drosophila melanogaster* montrant la localisation de quelques gènes parmi tous ceux qui ont été identifiés. Les symboles en lettres capitales indiquent les allèles dominants. (D'après collection Synapses)

Les mutations chez la drosophile ont fait l'objet de nombreuses études



Races de moutons «gharbi» et berbère



Variétés de roses

En 1865, Mendel a réalisé des croisements de lignées pures de petit pois, l'une à graines jaunes et lisses, l'autre à graines vertes et ridées.

Il a pu obtenir deux nouvelles lignées pures, l'une à graines jaunes et ridées, l'autre à graines vertes et lisses.

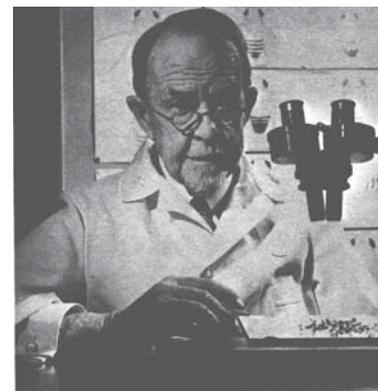
- La génétique formelle, basée sur la méthode expérimentale, étudie la transmission des caractères héréditaires. à partir de l'étude statistique des résultats de croisements.

- L'analyse des résultats de ces croisements permet de dégager des règles qui constituent les lois fondamentales de l'hérédité.

- Les recherches génétiques en agronomie ont permis d'obtenir une nouvelle variété de blé à tige haute et résistante à partir de 2 variétés pures, l'une à tige haute et sensible aux maladies, l'autre à tige courte et résistante aux maladies dite rustique.

- De nombreuses nouvelles variétés végétales (blé, tomate, fraise,...) sont produites grâce aux croisements et sont introduites sur le marché.

- En 1910, Thomas Morgan (prix Nobel de génétique) a pu dresser à partir de croisements expérimentaux, une carte représentant la localisation des gènes sur les chromosomes de la drosophile qu'il a appelée : carte factorielle.



Thomas Morgan (1866-1945)

- Comment, la méiose et la fécondation, assurent-elles le brassage de l'information génétique ?
- Comment peut-on interpréter les résultats statistiques d'une descendance de parents différenciant par 2 caractères ? Quelles lois peut-on dégager ?
- Comment obtenir de nouvelles lignées de plantes ou d'animaux ?
- Comment établir la carte génétique chez un organisme tel que la drosophile ?

S E RAPPELER

- **L'ADN** (Acide désoxyribonucléique), substance essentielle des chromosomes, c'est le support de l'information (programme) génétique.
 - **Gène** : portion d'ADN qui détermine un caractère.
 - L'expression de l'information génétique aboutit à la synthèse des protéines (un gène → une protéine) et fait certainement intervenir un système de correspondance universel que l'on appelle **code génétique**.
 - **Allèle** : forme ou version de gène. En général un gène est représenté par deux allèles qui peuvent être identiques : (génotype homozygote) ou différents (génotype hétérozygote).
 - **Dominance** il y a dominance lorsqu'un seul des deux allèles d'un caractère s'exprime et masque la présence de l'autre allèle. L'allèle qui ne s'exprime pas est dit récessif.
 - Les caractères héréditaires sont transmis des parents aux descendants par l'intermédiaire des gamètes.
 - **La mutation** est une modification du matériel génétique. Elle est héréditaire.
 - La méiose : ensemble de deux divisions successives, qui produisent à partir des cellules germinales diploïdes (à 2n chromosomes), des cellules haploïdes (à n chromosomes).
 - La méiose : assure un **brassage interchromosomique** et un **brassage intrachromosomique**.
 - La fécondation, événement central de la reproduction sexuée, rétablit la diploïdie et amplifie le brassage génétique qui est à l'origine du **polymorphisme** constaté au niveau de la descendance.
 - Chaque gène occupe un emplacement bien déterminé sur un chromosome appelé **locus**
 - **Le génotype** est l'ensemble des gènes portés par les chromosomes.
 - **Le phénotype** est le caractère effectivement exprimé par un individu. Il résulte de l'expression d'un génotype.
 - Les individus **homozygotes** produisent un seul type de gamète.
 - Les individus **hétérozygotes** produisent des gamètes différents.
 - Dans le cas du monohybridisme, **l'hérédité autosomale** est déterminée par un gène localisé sur un chromosome autosomal, alors que **l'hérédité liée au sexe** est déterminée par un gène localisé sur un chromosome sexuel X ou Y.
 - **Les lois de Mendel**
 - 1^{ère} loi : loi de l'uniformité des hybrides de la 1^{ère} génération.
 - 2^{ème} loi : loi de la pureté des gamètes. Chaque gamète reçoit un seul allèle du couple d'allèles correspondant à un caractère.

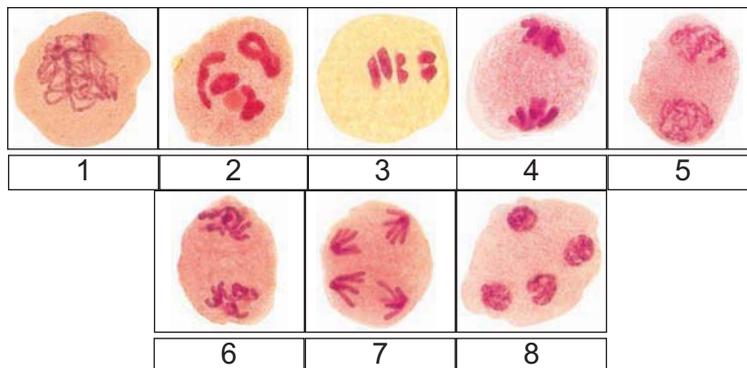
Rechercher et construire

A- La méiose et la fécondation, sources de diversité génétique

I La méiose, source de diversité génétique des gamètes

Activité 1 : la méiose et ses particularités

Le document 1 (photographique) représente les étapes de la méiose



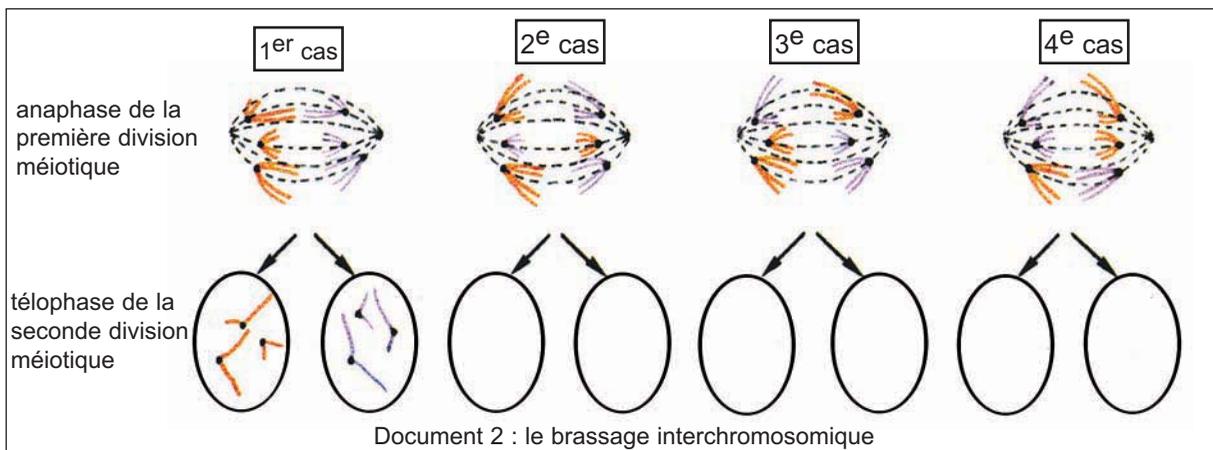
Document 1 : les étapes de la méiose

En se référant au document 1 page 7,

- Identifier les différentes phases.
- Faire des schémas d'interprétation et mettre des légendes.
- Dégager les caractéristiques de la méiose.

Activité 2 : expliquer la diversité des gamètes

1- Le brassage interchromosomique :



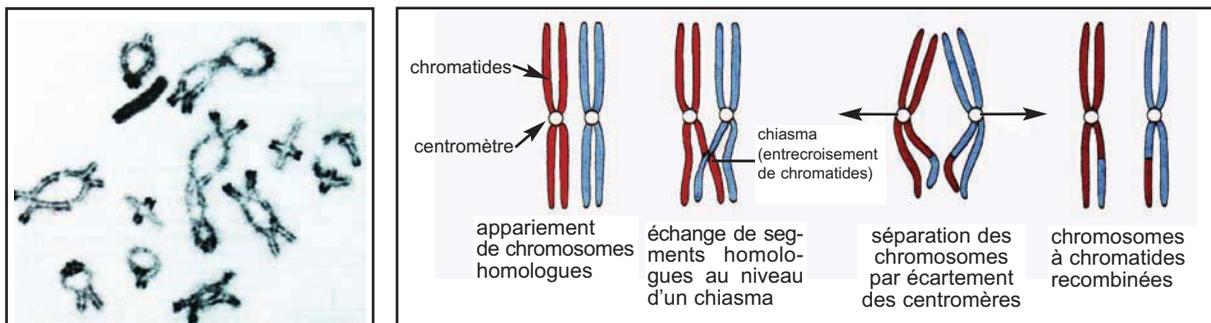
Document 2 : le brassage interchromosomique

- Reproduire et compléter les schémas en indiquant la garniture chromosomique des gamètes.
- Dédire le nombre de types de gamètes renfermant des garnitures chromosomiques différentes.
- Calculer le nombre de gamètes génétiquement différents chez la drosophile $2n = 8$.
- Etablir la formule générale permettant de déterminer le nombre de combinaisons des gamètes. Appliquer cette formule pour l'espèce humaine.
- Justifier le terme : **brassage interchromosomique**.

2 - Le brassage intrachromosomique :

Les observations microscopiques de cellules en division méiotique montrent qu'au cours de la prophase de 1^{ère} division, les chromosomes homologues (1 d'origine paternelle et 1 d'origine maternelle) sont appariés et leurs chromatides sont en contact étroit. Des échanges réciproques de segments de chromatides homologues peuvent intervenir. Ce phénomène d'enjambement entre deux chromatides homologues est connu sous le nom de **crossing-over**.

Lorsque l'individu est hétérozygote tous les allèles portés initialement par un chromosome peuvent, grâce au crossing-over, « être brassés » avec les allèles portés par le chromosome homologue. Il en résulte de nouvelles associations alléliques : C'est le brassage intrachromosomique qui s'ajoute au **brassage interchromosomique**.



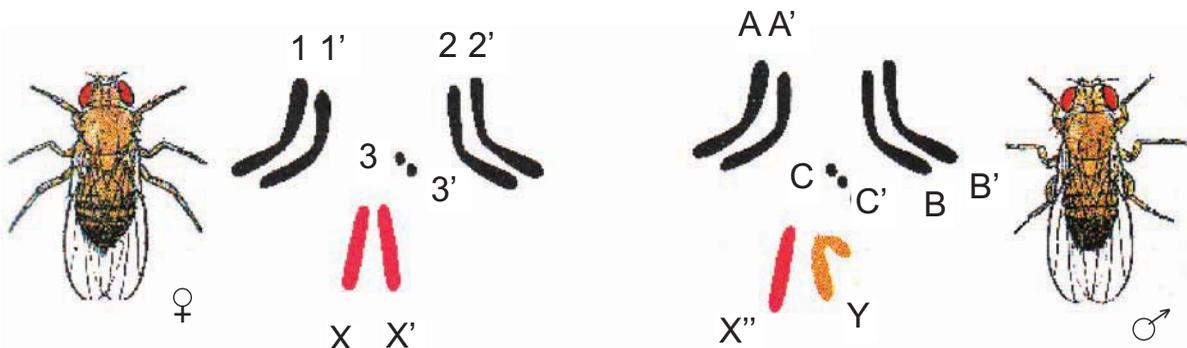
Document 3 : le brassage intrachromosomique (photo et interprétation)

- À partir du document 3, représenter les gamètes issus du phénomène de brassage intrachromosomique dû à un crossing-over.
- Résumer le rôle de la méiose dans le brassage de l'information génétique

II Les chromosomes sont brassés au cours de la fécondation :

Activité 3 : dégager le rôle de la fécondation dans le brassage de l'information génétique

La drosophile ou « mouche du vinaigre » est une petite mouche de 3 à 4 mm. Cet insecte est un matériel de choix pour les généticiens. La drosophile possède quatre paires de chromosomes ($2n=8$) et produit $2^4 = 16$ gamètes différents.



Document 4 : caryotypes de la drosophile

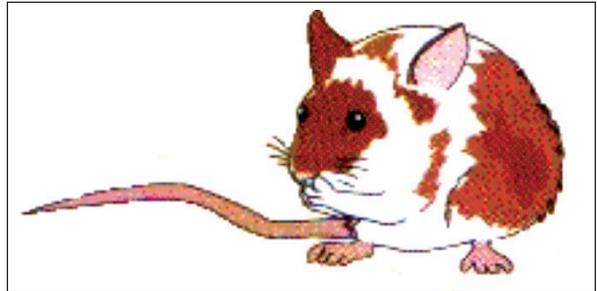
En se basant sur le document 4 et en utilisant les numéros et les lettres, déterminer les types de gamètes possibles que peuvent produire le mâle et la femelle de la drosophile.

- Calculer le nombre possible (potentiel) de cellules œufs.
- Dédurre le rôle de la fécondation dans le brassage de l'information génétique.

B- Transmission de deux couples d'allèles chez les diploïdes



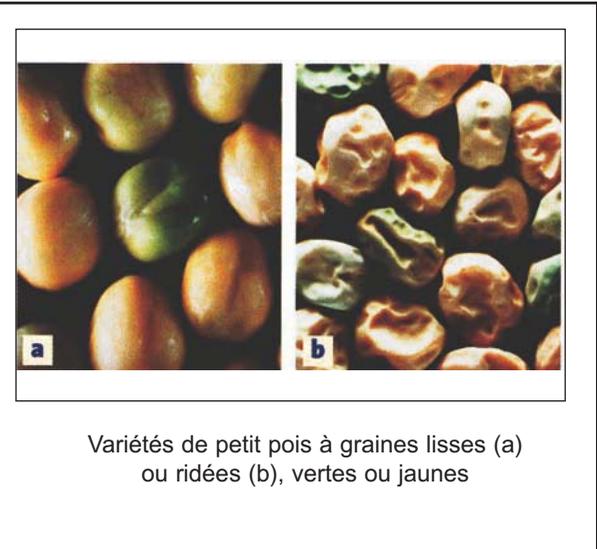
Souris de lignée pure à pelage sombre et uniforme



Souris de lignée pure à pelage clair et tacheté



Variétés de la gaillarde gracieuse (Composée) montrant de nombreux caractères héréditaires : la couleur, le diamètre et le nombre de pièces florales.

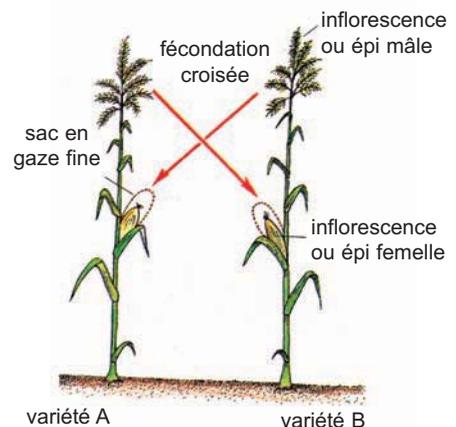


Variétés de petit pois à graines lisses (a) ou ridées (b), vertes ou jaunes

I Techniques adoptées dans la réalisation des croisements

I - chez les végétaux : Exemple chez le maïs :

Un pied de maïs porte à la fois une inflorescence mâle et une inflorescence femelle. Ainsi le pollen peut tomber sur les stigmates des fleurs de l'épi femelle : il se produit dans ce cas une autofécondation. Si l'on veut obtenir des maïs hybrides, il faut pratiquer artificiellement la fécondation croisée entre deux variétés. Pour ce faire, avant la maturité des fleurs mâles, les épis femelles sont emballés dans un sac en gaze fine permettant une aération normale de l'épi, mais constituant une barrière au pollen.

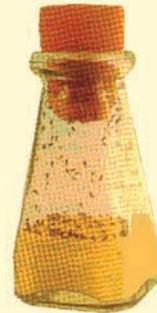


Lorsque les fleurs mâles sont à maturité, l'homme pratique une fécondation croisée : il ôte le sac protecteur de l'épi femelle de la variété A, saupoudre les stigmates avec le pollen de la variété B, puis replace le sac pour éviter toute pollinisation étrangère. Il pratique ensuite de même pour l'épi femelle de la variété B qu'il féconde avec le pollen de la variété A. Les graines ainsi obtenues sont des hybrides F_1 .

2- Chez les animaux :

Chez la drosophile, on place les mâles et les femelles de deux lignées pures dans un même flacon contenant un milieu nutritif approprié.

Les descendants directs des 2 parents constituent la 1^{ère} génération F_1 . A maturité sexuelle, les mâles et les femelles de la F_1 sont accouplés à leur tour. Leurs descendants constituent la 2^{ème} génération ou F_2 .



II La transmission d'un couple d'allèles chez les diploïdes

Activité 4 : se rappeler le mode de transmission d'un caractère héréditaire

On croise des drosophiles à ailes longues [vg^+] avec des drosophiles à ailes vestigiales [vg]. La F_1 obtenue est constituée uniquement de drosophiles de phénotype sauvage à ailes longues [vg^+].

Le croisement des individus F_1 donne une descendance F_2 constituée de:

- 77 drosophiles à ailes longues ;
- 23 drosophiles à ailes vestigiales

- Préciser le type d'hybridation.
- Montrer que les parents sont de lignées pures.
- Proposer des hypothèses concernant le nombre de gènes contrôlant le caractère étudié et la relation de dominance entre les allèles.
- Ecrire les génotypes des parents, des gamètes émis par les parents, des individus F_1 et des descendants F_2 .

Solution :

- Les parents croisés diffèrent par un seul caractère concernant la longueur des ailes : il s'agit d'un monohybridisme.

- La F_1 est uniforme et de phénotype sauvage [vg^+], ce résultat ne peut être obtenu que si chacun des parents appartient à une lignée pure.

- Hypothèse proposée :

- Le caractère étudié est contrôlé par un seul gène ou un couple d'allèles (vg^+ , vg) avec :
 - vg^+ : détermine le phénotype ailes longues [vg^+];
 - vg : détermine le phénotype ailes vestigiales [vg].
- Au niveau de la F_1 , seul le phénotype sauvage se manifeste donc vg^+ domine vg .

- Détermination des génotypes des parents et de F ₁ :		- Détermination des génotypes de F ₂ :								
Parents	P ₁ x P ₂	F ₁ x F ₁								
Phénotypes	[vg ⁺] x [vg]	[vg ⁺] x [vg ⁺]								
Génotypes	$\frac{vg^+}{\underline{\quad}} \times \frac{vg}{\underline{\quad}}$ vg ⁺ vg	$\frac{vg^+}{\underline{\quad}} \times \frac{vg^+}{\underline{\quad}}$ vg vg								
Gamètes	100 % <u>vg⁺</u> 100% <u>vg</u>	Gamètes <table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>♀</td> <td>↗</td> <td>50 % <u>vg⁺</u></td> <td>50% <u>vg⁺</u></td> </tr> <tr> <td>♂</td> <td>↘</td> <td>50 % <u>vg</u></td> <td>50% <u>vg</u></td> </tr> </table>	♀	↗	50 % <u>vg⁺</u>	50% <u>vg⁺</u>	♂	↘	50 % <u>vg</u>	50% <u>vg</u>
♀	↗	50 % <u>vg⁺</u>	50% <u>vg⁺</u>							
♂	↘	50 % <u>vg</u>	50% <u>vg</u>							
F ₁	100 % $\frac{vg^+}{vg}$: [vg ⁺]	<table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>♀</td> <td>↗</td> <td>1/2 <u>vg⁺</u></td> <td>1/2 <u>vg</u></td> </tr> <tr> <td>♂</td> <td>↘</td> <td>1/2 <u>vg⁺</u></td> <td>1/2 <u>vg</u></td> </tr> </table>	♀	↗	1/2 <u>vg⁺</u>	1/2 <u>vg</u>	♂	↘	1/2 <u>vg⁺</u>	1/2 <u>vg</u>
♀	↗	1/2 <u>vg⁺</u>	1/2 <u>vg</u>							
♂	↘	1/2 <u>vg⁺</u>	1/2 <u>vg</u>							
		<table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>1/2 <u>vg⁺</u></td> <td>1/4 $\frac{vg^+}{\underline{\quad}} \frac{vg^+}{\underline{\quad}}$ [vg⁺]</td> <td>1/4 $\frac{vg^+}{\underline{\quad}} \frac{vg}{\underline{\quad}}$ [vg⁺]</td> </tr> <tr> <td>1/2 <u>vg</u></td> <td>1/4 $\frac{vg}{\underline{\quad}} \frac{vg^+}{\underline{\quad}}$ [vg⁺]</td> <td>1/4 $\frac{vg}{\underline{\quad}} \frac{vg}{\underline{\quad}}$ [vg]</td> </tr> </table>	1/2 <u>vg⁺</u>	1/4 $\frac{vg^+}{\underline{\quad}} \frac{vg^+}{\underline{\quad}}$ [vg ⁺]	1/4 $\frac{vg^+}{\underline{\quad}} \frac{vg}{\underline{\quad}}$ [vg ⁺]	1/2 <u>vg</u>	1/4 $\frac{vg}{\underline{\quad}} \frac{vg^+}{\underline{\quad}}$ [vg ⁺]	1/4 $\frac{vg}{\underline{\quad}} \frac{vg}{\underline{\quad}}$ [vg]		
1/2 <u>vg⁺</u>	1/4 $\frac{vg^+}{\underline{\quad}} \frac{vg^+}{\underline{\quad}}$ [vg ⁺]	1/4 $\frac{vg^+}{\underline{\quad}} \frac{vg}{\underline{\quad}}$ [vg ⁺]								
1/2 <u>vg</u>	1/4 $\frac{vg}{\underline{\quad}} \frac{vg^+}{\underline{\quad}}$ [vg ⁺]	1/4 $\frac{vg}{\underline{\quad}} \frac{vg}{\underline{\quad}}$ [vg]								

– Confrontation des résultats expérimentaux et des résultats théoriques :
nombre total des drosophiles de la F₂ =100

Phénotypes	Résultats théoriques	Résultats expérimentaux
[vg ⁺]	75% 75 individus	77% 77 individus
[vg]	25% 25 individus	23% 23 individus

Les résultats expérimentaux et les résultats théoriques sont très proches ; les faibles écarts sont dus au hasard.

Conclusion : l'hypothèse d'un couple d'allèles (vg⁺, vg) avec dominance est retenue.

III La transmission de deux couples d'allèles

1- cas de deux gènes indépendants :

Activité 5 : étudier le mode de transmission de deux caractères déterminés par deux gènes indépendants

On dispose de deux lignées de souris : l'une à pelage gris et uniforme, l'autre à pelage noir, panaché de blanc.

On réalise les croisements suivants :

- **1^{er} croisement** : les souris à pelage gris et uniforme croisées entre elles, donnent toujours des souris à pelage gris et uniforme
- **2^{ème} croisement** : les souris à pelage noir, panaché de blanc, croisées entre elles donnent toujours des souris à pelage noir, panaché de blanc.
- **3^{ème} croisement** : on croise entre elles deux souris : l'une à pelage gris et uniforme, l'autre à pelage noir, panaché de blanc. La génération F₁ est composée uniquement de souris à pelage gris et uniforme.

• **4^{ème} croisement** : on croise les individus F₁ entre eux. On obtient une 2^{ème} génération F₂ constituée de :

- 569 souris à pelage gris et uniforme,
- 187 souris à pelage gris panaché de blanc,
- 188 souris à pelage noir uniforme,
- 63 souris à pelage noir panaché de blanc.

a- Analyse des résultats des différents croisements.

1^{er} et 2^{ème} croisements :

- Les souris croisées sont de même espèce et appartiennent à des lignées pures.
- Les caractères étudiés sont : la couleur du pelage et l'uniformité du pelage.

3^{ème} croisement :

La 1^{ère} loi de Mendel (l'uniformité des hybrides de 1^{ère} génération) s'applique avec la règle de la dominance : les allèles «gris» et «uniforme» sont dominants par rapport aux allèles «noir» et «panaché de blanc» qui sont récessifs. on peut utiliser les symboles suivants :

- G —————> [G] phénotype gris
- n —————> [n] phénotype noir
- U —————> [U] phénotype uniforme
- p —————> [p] phénotype panaché de blanc

avec G domine n (G>n) et U domine p (U > p)

4^{ème} croisement :

En F₂, Il y a apparition de deux phénotypes nouveaux (gris panaché de blanc, noir uniforme) en plus des phénotypes parentaux.

- En se basant sur les données précédentes, reproduire et compléter le tableau suivant :

	3 ^{ème} croisement	4 ^{ème} croisement
Phénotypes des parents		
Phénotypes des descendants et leurs proportions		

b- Interprétation des résultats :

L'interprétation consiste à :

- formuler des hypothèses concernant :
 - le nombre des gènes qui déterminent les caractères étudiés
 - la position des gènes sur les chromosomes
- déterminer les génotypes des parents et des descendants (en tenant compte des 2 hypothèses précédentes)
- identifier parmi les descendants ceux qui sont de lignée pure et ceux qui sont hybrides.
- comparer les résultats théoriques aux résultats expérimentaux.

Hypothèses :

H₁ : deux gènes contrôlent la transmission des deux caractères étudiés.

H₂ : les gènes déterminant les caractères sont situés sur 2 paires différentes de chromosomes.

Vérification des deux hypothèses :

Détermination des génotypes des parents et des descendants.

- Reproduire, compléter le tableau suivant et conclure :

	1 ^{er} croisement	2 ^{ème} croisement	3 ^{ème} croisement
Parents Phénotypes	$P_1 \text{♂} \times P_2 \text{♀}$ [G U]		
Génotypes	$\frac{G}{G} \frac{U}{U} \quad \frac{G}{G} \frac{U}{U}$		
Gamètes	$\text{♂} \frac{G}{U} \quad \text{♀} \frac{G}{U}$		
proportions	100% 100%		
F ₁ Génotypes	$\frac{G}{G} \quad \frac{U}{U}$		
Phénotypes	100% [G U]		
Conclusion			

Croisement 4 :

Les descendants du 4^{ème} croisement résultent du croisement des hybrides F₁

- Reproduire, compléter le tableau suivant et conclure

Descendance du 4^{ème} croisement = F₁ X F₁ → F₂

	♂ F ₁	x	♀ F ₁
Phénotypes	[GU]		[GU]
Génotypes			

A l'aide de schémas, déterminer, en représentant les principales phases de la méiose, (avec 2 paires de chromosomes portant chacune 2 allèles d'un caractère) les différents types de gamètes produits par les individus F₁ et leurs proportions.

- Etablir l'échiquier de rencontre des gamètes produits par les individus F₁ et déterminer les proportions phénotypiques théoriques des individus F₂.
- Comparer les proportions théoriques aux résultats expérimentaux puis conclure.

les individus F₁ de génotype $\frac{G}{n} \frac{U}{p}$ produisent 4 types de gamètes:

Il y a 2 types de gamètes parentaux et 2 types de gamètes recombinés, mais les 4 types sont équiprobables (1/4 ou 25%).

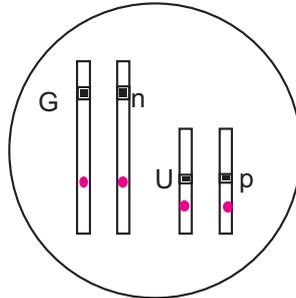
L'allèle **G** a la même probabilité de ségréger (se séparer) avec l'allèle **U** ou avec l'allèle **p** (1/4 **GU** et 1/4 **Gp**). Il en est de même de l'allèle **n**. (1/4 **nU** et 1/4 **np**). On dit qu'il y a ségrégation indépendante des allèles donc des 2 caractères étudiés.

Les 4 types de gamètes ♂ et les 4 types de gamètes ♀ fournis par les hybrides F₁ ont la même probabilité de se rencontrer pour donner des œufs et donc des individus F₂ (probabilité 1/4 x 1/4 = 1/16).

Les 2 caractères étudiés ou les deux couples d'allèles correspondants se transmettent donc indépendamment l'un de l'autre : on peut calculer la répartition statistique de la F₂ pour chaque caractère séparément :

1 ^{er} caractère : [G]=3/4 et [n]=1/4	} ce qui explique les proportions des 4 phénotypes de la F ₂	[GU]=3/4x3/4=9/16
2 ^{ème} caractère : [U]=3/4 et [p]=1/4		[Gp]=3/4x1/4=3/16
		[nU]=1/4x3/4=3/16
		[np]=1/4x1/4=1/16

La ségrégation indépendante des caractères s'explique par l'emplacement des deux couples d'allèles correspondants sur 2 **paires de chromosomes homologues** :



Faire l'interprétation chromosomique du 4^{ème} croisement, en utilisant le schéma du caryotype indiqué

A partir de l'étude de résultats de nombreux croisements de ce type, Mendel a établi la 3^{ème} loi : **loi de la disjonction indépendante des couples d'allèles.**

c- Détermination du génotype d'un individu de phénotype dominant : Test-cross

On connaît chez le maïs deux caractères héréditaires: la couleur et l'aspect des graines codés respectivement par les couples d'allèles indépendants (N, j) et (L, r). On a montré que les allèles N, déterminant le phénotype graines noires et L contrôlant le phénotype graines lisses sont dominants. Les allèles j et r déterminant respectivement les phénotypes graines jaunes et graines ridées sont récessifs.

On veut déterminer le génotype d'une plante de maïs M de phénotype dominant, c'est-à-dire à graines noires et lisses. On la croise avec une plante birecessive à graines jaunes et ridées. Les graines obtenues suite à ce croisement présentent quatre phénotypes qui se répartissent de la façon suivante :

- 2515 graines noires et lisses
- 2490 graines jaunes et ridées
- 2512 graines noires et ridées
- 2505 graines jaunes et lisses.

- Donner les génotypes possibles de la plante M (sans prendre en considération les résultats du test-cross).
- Quel est le pourcentage des 4 phénotypes obtenus ?
- A partir de l'analyse des résultats expérimentaux obtenus, préciser le génotype de la plante M.
- Préciser, à partir de l'analyse des résultats obtenus, que la 3^{ème} loi de Mendel est vérifiée.

2- cas de deux gènes Liés :

Activité 6 : étudier le mode de transmission de deux caractères déterminés par deux gènes liés

Plusieurs mutations ont été constatées chez les souches de drosophiles et qui concernent la taille des ailes et des soies, la couleur des yeux et du corps, etc. ...

Le phénotype sauvage est caractérisé par des ailes longues et des yeux rouges.

1- Croisements et résultats:

On dispose de 2 lignées pures de drosophile : une lignée sauvage à ailes longues et yeux rouges, et une lignée mutante à ailes vestigiales (vg) et yeux pourpres (pr).

On réalise les croisements suivants :

1^{er} Croisement :

drosophile à ailes longues
et yeux rouges

X

drosophile à ailes vestigiales
et yeux pourpres

F1 : 100% de drosophiles de phénotype ailes longues et yeux rouges.
(autant de femelles que de mâles).

2^{ème} Croisement :

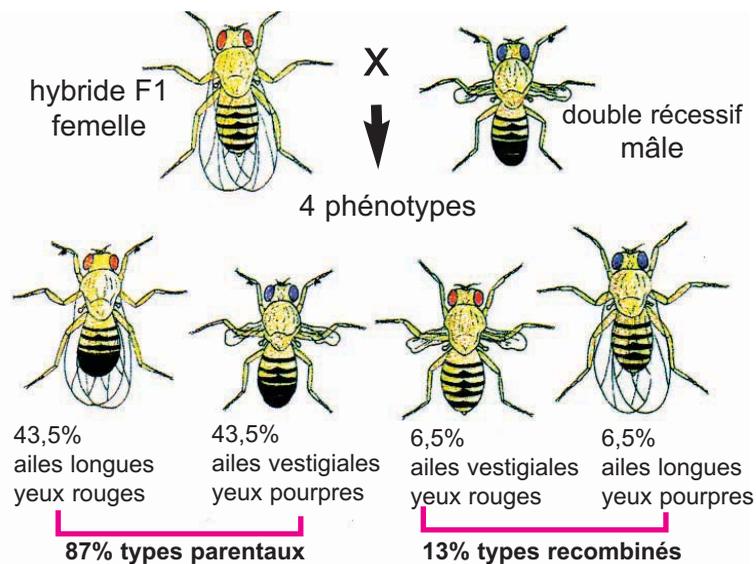
♂ F1 X ♀ à ailes vestigiales et yeux pourpres

50% à ailes longues et yeux rouges,
50% à ailes vestigiales et yeux pourpres.

En se basant sur les résultats des deux croisements :

- Déterminer les allèles dominants.
- Proposer des hypothèses sur la localisation des deux gènes sur les chromosomes et les discuter.

3^{ème} Croisement :



valeurs moyennes sur de très nombreux résultats expérimentaux (autant de mâles ♂ que de femelles ♀ pour chaque phénotype).

- Montrer que les résultats de ce 3^{ème} croisement sont en accord avec l'hypothèse de deux gènes liés.
- Schématiser la localisation chromosomique des 2 gènes.
- Ecrire les génotypes des parents.
- En exploitant vos connaissances sur le brassage inter et intra-chromosomique, schématiser le comportement des chromosomes au cours de la méiose conduisant à l'apparition des gamètes recombinés.
- Comment expliquer l'obtention de faibles proportions pour les phénotypes recombinés ?

Remarque : dans le cas des gènes liés, seule la drosophile ♀ donne des gamètes recombinés, chez le ♂, il ne se produit pas de crossing-over.

2- Notion de linkage et de carte génétique :

- Signification du pourcentage de recombinaison :

Une étude statistique révèle que la proportion des recombinés est constante pour deux gènes liés. Elle varie selon les gènes considérés.

- On interprète ces faits en admettant que :

- la probabilité pour qu'un crossing-over entraîne une recombinaison entre 2 gènes est d'autant plus grande que les loci de ces gènes sont éloignés. (loci=pluriel de locus= place occupée par un gène sur le chromosome)

- le pourcentage de recombinaison (p) entre 2 gènes donnés est statistiquement constant, il mesure indirectement la distance entre les 2 loci.

- p (% de recombinaison) = distance entre les 2 loci (exprimée en centimorgan cM).

- Les taux de recombinaison varient de 0 à 50%.

- 0 % correspond à une **liaison absolue**.

- Le taux 50% ne peut en principe être atteint puisqu'il correspond à l'apparition de 25% de chacun des phénotypes : ce cas correspond à une **disjonction indépendante** c'est-à-dire des caractères indépendants.

La représentation de la position des loci des gènes sur le chromosome est la **carte génétique**.

- Représenter la carte génétique des deux gènes étudiés.

Carte génétique à 3 gènes

Etude d'un exemple chez la drosophile :

Chez la drosophile, le chromosome qui porte les allèles récessifs noir (b) et vestigial (vg) étudiés, porte également un allèle récessif affectant la couleur de l'œil, l'allèle pourpre (purple) symbolisé par : pr

Les expériences de croisements montrent que : pour les allèles pr et b, le pourcentage de recombinaison est voisin de 6%, c'est à dire que leur distance relative est de 6 unités ; pour les gènes b et vg, le pourcentage de recombinaison est voisin de 17%, la distance entre ces gènes est de 17 unités.

Le pourcentage de recombinaison entre vg et pr est voisin de 11%.

- Représenter la carte génétique pour ces 3 gènes.

Bilan des activités et synthèse

A- BRASSAGE DE L'INFORMATION GENETIQUE AU COURS DE LA REPRODUCTION SEXUEE

1- La méiose donne des gamètes haploïdes :

- La 1^{ère} division méiotique, précédée d'une interphase avec réplication de l'A.D.N, est dite réductionnelle. Elle permet de passer d'une cellule diploïde (à $2n$ chr) à 2 cellules haploïdes (à n chr) par séparation des chromosomes homologues sans division des centromères.

- La 2^{ème} division, dite équationnelle, est comparable à une mitose. Elle consiste en une séparation au niveau du centromère, des chromatides de chaque chromosome. Dans chacune des 4 cellules haploïdes obtenues, on a n chromosomes à une chromatide et une quantité d'A.D.N divisée par 2 par rapport à la cellule diploïde initiale.

(activité 1)

2- La méiose donne des gamètes génétiquement différents :

a- brassage intrachromosomique

L'appariement des chromosomes homologues lors de la prophase I, favorise (par le mécanisme du crossing-over) des échanges de fragments de chromatides, donc des échanges d'allèles : c'est le brassage allélique intrachromosomique. Le brassage allélique est d'autant plus important que les chromosomes sont longs.

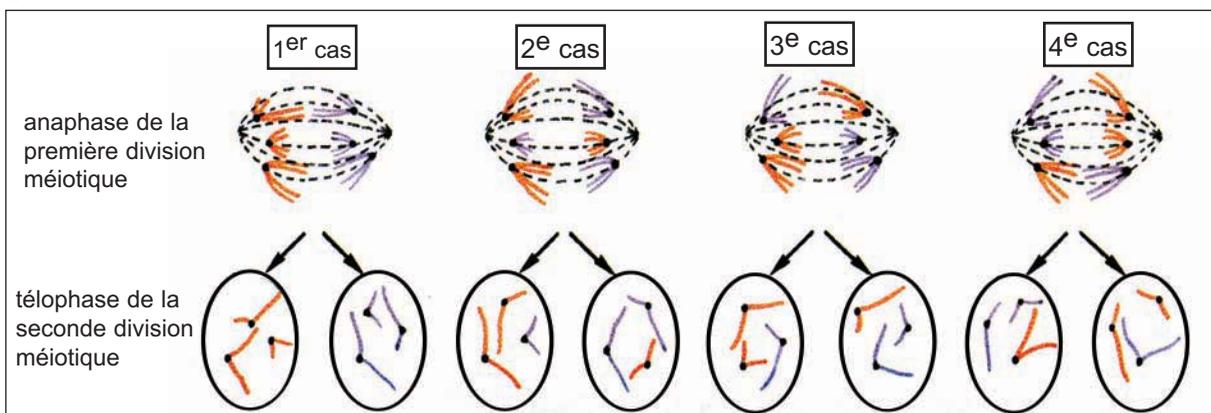
b- brassage interchromosomique

L'appariement des chromosomes est suivi, au cours de l'anaphase I, d'une séparation aléatoire des chromosomes homologues. En conséquence, la répartition des allèles venant des 2 parents, se fait de manière indépendante d'une paire à l'autre : il y a brassage interchromosomique.

- Au cours de la gamétogenèse, un organisme diploïde (à $2n$ chr) produit 2^n gamètes différents. Chez l'homme, par exemple, $2n = 46$ ($n = 23$), le brassage produirait 8388608 gamètes génétiquement différents. Chez la drosophile, $2n = 8$, le brassage interchromosomique produirait $2^4 = 16$ gamètes génétiquement différents.

- Le brassage chromosomique est d'autant plus important que le nombre de chromosomes est élevé.

- Dans le cas d'une cellule à $2n = 6$ ($n = 3$), le brassage interchromosomique donnerait $2^3 = 8$ gamètes différents :



(activité 2)

3- La fécondation amplifie la diversité génétique:

- La diploïdie rétablie par la fécondation, résulte de la combinaison aléatoire de gamètes différents du fait du brassage génétique. Elle accentue la diversité génétique des organismes en multipliant le nombre de combinaisons alléliques possibles.

Exemples :

Chez la drosophile, le ♂ produit 16 gamètes différents, la ♀ produit 16 gamètes différents aussi, la fécondation donnerait $16 \times 16 = 256$ œufs possibles.

Chez l'Homme, il y aurait 2^{46} œufs possibles.

Ainsi par le brassage génétique au cours de la méiose et la rencontre aléatoire des gamètes au cours de la fécondation, la reproduction sexuée assure la diversité (polymorphisme) génétique et l'unicité des individus. La fécondation produit un œuf génétiquement unique.

(activité 3)

B- TRANSMISSION DE DEUX COUPLES D'ALLELES CHEZ LES DIPLOÏDES:

Lorsqu'on s'intéresse à la transmission de 2 gènes (2 couples d'allèles), on parle de dihybridisme. Leur brassage lors de la méiose et de la fécondation conduit statistiquement, si les parents sont homozygotes, aux proportions phénotypiques suivantes :

Cas de deux gènes indépendants (situés sur 2 paires de chromosomes)

- à la première génération F_1 : 100% d'individus hybrides de même phénotype, qui peut être celui de l'un des parents si celui-ci possède des allèles dominants ;

- à la seconde génération F_2 : 9/16, 3/16, 3/16, 1/16 lorsque pour chaque gène, il existe un allèle dominant et un allèle récessif, ou à des proportions statistiques différentes, si l'un des 2 couples est sans dominance, ou si les 2 couples d'allèles sont sans dominance. Ces proportions s'expliquent par la disjonction indépendante des allèles au cours de la méiose (3^{ème} loi de Mendel)

- Le test-cross conduit aux proportions suivantes : 100% si l'individu testé est homozygote et 1/4, 1/4, 1/4, 1/4 si l'individu testé est hétérozygote.

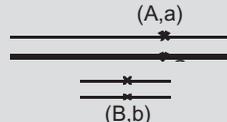
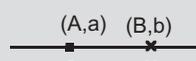
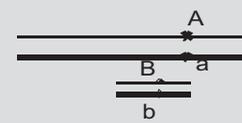
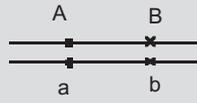
(activité 4)

Cas de deux gènes liés (situés sur la même paire de chromosomes)

- Si 2 gènes différents sont portés par la même paire de chromosomes (liaison génétique ou Linkage), les proportions phénotypiques sont, pour la 2^{ème} génération, celle du monohybridisme (liaison absolue), sauf s'il y a crossing-over. Dans ce cas, les proportions du test-cross sont modifiées et sont du type : $(1-p)/2$, $p/2$, $p/2$, $(1-p)/2$, où p = % de recombinaison. On obtient, en plus des phénotypes de type parental, des phénotypes recombinés dont le pourcentage (p) dépend de la distance séparant les 2 gènes sur la chromatide. Ces résultats sont exploités pour dresser des cartes génétiques.

(activité 5)

Le tableau suivant présente une comparaison entre les 2 cas de dihybridisme.

Dihybridisme : Gène1(A,a) Gène2(B,b)		
	Gènes indépendants Dihybridisme avec indépendance	Gènes liés Dihybridisme avec linkage
Localisation chromosomique	- Gène1 (A,a)  - Gène2 (B,b)  - 2 paires de chromosomes homologues	- Gène1(A,a)  - Gène2(B,b)  - 1 paire de chromosomes homologues
parents	$\frac{A}{A} \frac{B}{B} \times \frac{a}{a} \frac{b}{b}$	$\frac{A}{A} \frac{B}{B} \times \frac{a}{a} \frac{b}{b}$
F₁	100% d'hybrides $\frac{A}{a} \frac{B}{b}$  1ère loi de Mendel vérifiée	100% d'hybrides  1ère loi de Mendel vérifiée
F₂ Cas de dominance	4 phénotypes : 2 parentaux et 2 recombinés avec la répartition : $\frac{9}{16}$ - $\frac{3}{16}$ - $\frac{3}{16}$ - $\frac{1}{16}$ parentaux recombinés parentaux 2ème et 3ème loi de Mendel vérifiées	-Liaison absolue (0% de recombinaison) 3/4 de phénotypes dominants 1/4 de phénotypes récessifs -Liaison partielle (0% < % de recombinaison < 50%) 2 phénotypes parentaux 2 phénotypes recombinés la répartition est différente de 9/16- 3/16- 3/16- 1/16 Exception à la 3ème loi de Mendel
Test-cross (Cas de dominance)	4 phénotypes : 2 parentaux et 2 recombinés mais tous équiprobables (1/4 ou 25%) 2ème et 3ème loi de Mendel vérifiées	Liaison absolue 1/2 de phénotypes dominants 1/2 de phénotypes récessifs Liaison partielle : 4 phénotypes 2 phénotypes parentaux 2 phénotypes recombinés moins fréquents Exception à la 3ème loi de Mendel

Carte factorielle ou carte génétique :

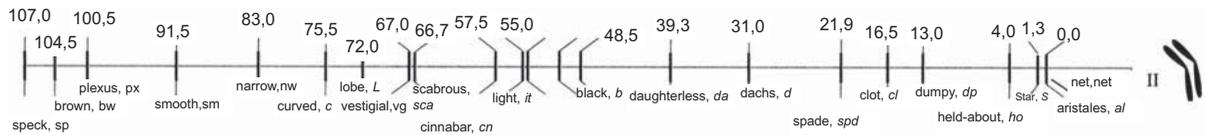
La carte génétique d'un chromosome est établie à partir de l'analyse des résultats du brassage intrachromosomique. L'établissement de cartes génétiques consiste à définir le nombre et la position des gènes sur les différents chromosomes.

Remarque :

Si les gènes sont suffisamment éloignés sur un chromosome, il peut se produire des doubles crossing-over et la probabilité de réalisation de 2 crossing-over est d'autant plus élevée que la distance entre les gènes est plus grande.

Lorsque ces crossing-over doubles se produisent entre 2 gènes, les pourcentages de recombinaison que l'on obtient sont inférieurs à ceux que l'on obtiendrait s'il existait seulement des crossing-over simples ; la distance entre les gènes est donc sous-évaluée. L'étude d'un 3ème gène situé entre les 2 précédents permet de déceler les doubles crossing-over et de rétablir la disposition correcte.

En multipliant les croisements et en opérant de proche en proche (étude des gènes **ab** puis **bc** puis **cd** puis **de**, etc ...), Morgan et ses collaborateurs ont pu dresser pour la drosophile des cartes génétiques, donnant pour chacun des 4 groupes de chromosomes, la position et la distance relative des gènes qu'ils portent. La distance entre les gènes sur le chromosomes est exprimée en centimorgans (CM). Un centimorgan correspond à 1% de recombinaison.



La carte génétique des chromosomes de la drosophile

(Activité 6)

Tester les acquis

Exercice 1

Pour chacun des items suivants, indiquer la (ou les) proposition(s) correcte(s).

1) La méiose :

- a- est un ensemble de deux divisions cellulaires successives
- b- aboutit à la formation de cellules haploïdes
- c- aboutit à la formation de cellules diploïdes
- d- est caractérisée par 2 phases de réplication.

2) La 1^{ère} division de la méiose est marquée par :

- a- un appariement aléatoire des chromosomes en prophase
- b- des échanges de chromatides entre tous les chromosomes
- c- la disjonction des chromosomes homologues
- d- un appariement des chromosomes homologues en prophase.

3) Lors de la méiose :

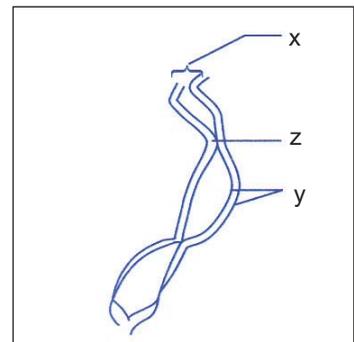
- a- les deux cellules produites lors de la 1^{ère} division sont encore diploïdes
- b- la migration se fait au hasard, de façon indépendante pour chacune des paires de chromosomes homologues
- c- la 2^{ème} division de la méiose produit 4 cellules haploïdes
- d- la séparation des chromatides a lieu à l'anaphase de la 2^{ème} division.

4) Le crossing-over :

- a- se produit au moment de la fécondation.
- b- se réalise entre chromosomes homologues.
- c- se réalise entre deux chromatides sœurs
- d- se produit en prophase.

5) Sur la figure de méiose schématisée ci-contre :

- a- la paire de chromosomes est désignée par y
- b- le chiasma est désigné par z
- c- les chromatides sont désignées par x
- d- le brassage se produit entre les chromatides sœurs.



6) Le brassage intrachromosomique :

- a- affecte les gènes liés
- b- conduit à la variabilité génétique
- c- se produit en anaphase I
- d- se produit en prophase I.

7) Le brassage interchromosomique :

- a- affecte des gènes non liés
- b- se réalise au cours de la 1^{ère} division de la méiose
- c- conduit à des associations nouvelles de gènes alléliques
- d- se produit en prophase I .

8) On détermine la dominance éventuelle d'un allèle par rapport à un autre si :

- a- La moitié des individus F_1 ont le caractère concerné
- b- La totalité des individus F_2 ont le caractère concerné
- c- La totalité des individus de F_1 ont le caractère concerné
- d- Lorsqu'on a en F_2 une ségrégation de type $3/4$, $1/4$

9) Le test-cross :

- a- permet de connaître les types de gamètes produits par les hétérozygotes
- b- consiste à croiser un individu de la F_1 avec un individu homozygote
- c- sert à déterminer si les gènes sont liés ou indépendants
- d- sert à déterminer le génotype d'un individu de phénotype dominant.

Exercice 2

Soit une drosophile aux ailes longues et au corps brun (type sauvage) croisée avec une drosophile aux ailes vestigiales et au corps ébène. La génération F_1 est homogène et de phénotype sauvage. La génération F_2 , résultant du croisement des hybrides de F_1 entre eux, présente la composition suivante :

- 263 individus de type sauvage
- 82 individus aux ailes longues et au corps ébène
- 89 individus aux ailes vestigiales et au corps brun
- 29 individus doublement récessifs aux ailes vestigiales et au corps ébène

Analyser et interpréter ces résultats.

Exercice 3

On connaît deux variétés pures de tomate :

- une variété (A) à gros fruits et sensible au Fusarium (un champignon parasite).
- une variété (B) à petits fruits et résistante au Fusarium.

On cherche à obtenir une troisième variété pure (C) qui serait de phénotype : à gros fruits et résistante au Fusarium.

- Un premier croisement de la variété (A) avec la variété (B) donne des plantes à petits fruits et résistantes au Fusarium.

1) Quelles conclusions peut-on tirer de l'analyse de ce résultat?

• Un deuxième croisement de plantes issues du croisement précédent avec des plantes de la variété (A) a donné les résultats suivants :

- 251 plantes à petits fruits et résistants
- 246 plantes à petits fruits et sensibles
- 254 plantes à gros fruits et résistants
- 249 plantes à gros fruits et sensibles

2) À partir de l'analyse des résultats du deuxième croisement :

- a- précisez si les gènes contrôlant les caractères étudiés sont liés ou indépendants.

b- déterminez les génotypes des parents et des descendants de ce croisement.

3) Expliquez comment on peut procéder pour obtenir une lignée pure de la variété (C).

Corrigé de l'exercice 3

1)

- Il s'agit d'un cas de dihybridisme.
- C'est un cas de dominance absolue pour les deux caractères.

Premier caractère: "taille du fruit",

C'est un caractère contrôlé par un couple d'allèles notés (P,g) avec :

P = petit fruit et g = gros fruit et P > g.

Deuxième caractère : "résistance au Fusarium".

C'est un caractère contrôlé par un couple d'allèles notés (R,s) avec :

R = résistant au Fusarium et s = sensible au Fusarium et R > s.

2)

a - 2^{ème} croisement : Hybride F₁ x Variété A double homozygote récessif

Il s'agit d'un back-cross (Accepter aussi Test Cross).

Le résultat obtenu montre les proportions phénotypiques suivantes : 1/4, 1/4, 1/4, 1/4

Ces proportions montrent que les deux gènes sont indépendants.

b - Génotypes des parents :

$$\text{Variété A : } \frac{g}{g} \frac{s}{s} \quad F_1 : \frac{P}{g} \frac{R}{s}$$

Génotypes des descendants :

	1/4 $\frac{P}{g}$ $\frac{R}{s}$	1/4 $\frac{P}{g}$ $\frac{s}{s}$	1/4 $\frac{g}{g}$ $\frac{R}{s}$	1/4 $\frac{g}{g}$ $\frac{s}{s}$
$\frac{g}{g}$ $\frac{s}{s}$ 100%	$\frac{P}{g}$ $\frac{R}{s}$ 1/4 [P,R]	$\frac{P}{g}$ $\frac{s}{s}$ 1/4 [P,s]	$\frac{g}{g}$ $\frac{R}{s}$ 1/4 [g,R]	$\frac{g}{g}$ $\frac{s}{s}$ 1/4 [g,s]

3°) - Pour obtenir la variété C de lignée pure $\frac{g}{g}$ $\frac{R}{R}$, on peut procéder de plusieurs façons

- Autofécondation des individus de phénotype $[\frac{g}{g}, \frac{R}{R}]$ issus du croisement N° 2 précédent.
- F₁ x F₁ et qui produit 3/16 de descendants de phénotype $[\frac{g}{g}, \frac{R}{R}]$ en F₂.
- Croisement des individus de phénotype $[\frac{g}{g}, \frac{R}{R}]$ avec des individus F₁.

Dans tous les cas, on obtient des descendants $\frac{g}{g}$ $\frac{R}{R}$ et des descendants $\frac{g}{g}$ $\frac{R}{s}$

On réalise des test -cross.

Lorsqu'on obtient 100 % de descendants de phénotype [g , R], l'individu testé correspond à la lignée pure recherchée (Variété C).

N.B : On exige une seule procédure,

Exercice 4

On croise une plante à fleurs rouges et à feuilles glabres (sans poils) avec une plante à fleurs bleues et à feuilles velues. En F₁, on obtient des fleurs mauves à feuilles velues. Les fleurs de cette descendance homogène sont autofécondées.

Les phénotypes observés en F₂ se répartissent ainsi :

- 607 plantes à fleurs mauves et à feuilles velues
- 305 plantes à fleurs rouges et à feuilles velues
- 303 plantes à fleurs bleues et à feuilles velues
- 200 plantes à fleurs mauves et à feuilles glabres
- 98 plantes à fleurs rouges et à feuilles glabres
- 103 plantes à fleurs bleues et à feuilles glabres

1) Expliquez les résultats du 1^{er} croisement.

2) Après avoir expliqué comment on obtient les résultats de la F₂, faites une représentation chromosomique qui rend compte des résultats expérimentaux.

Exercice 5

Considérons deux variétés pures de Maïs : une variété qui possède des grains sphériques et colorés et une autre dont les grains sont ridés et incolores.

Le croisement entre les deux variétés donne des hybrides F₁ dont les grains sont sphériques et colorés.

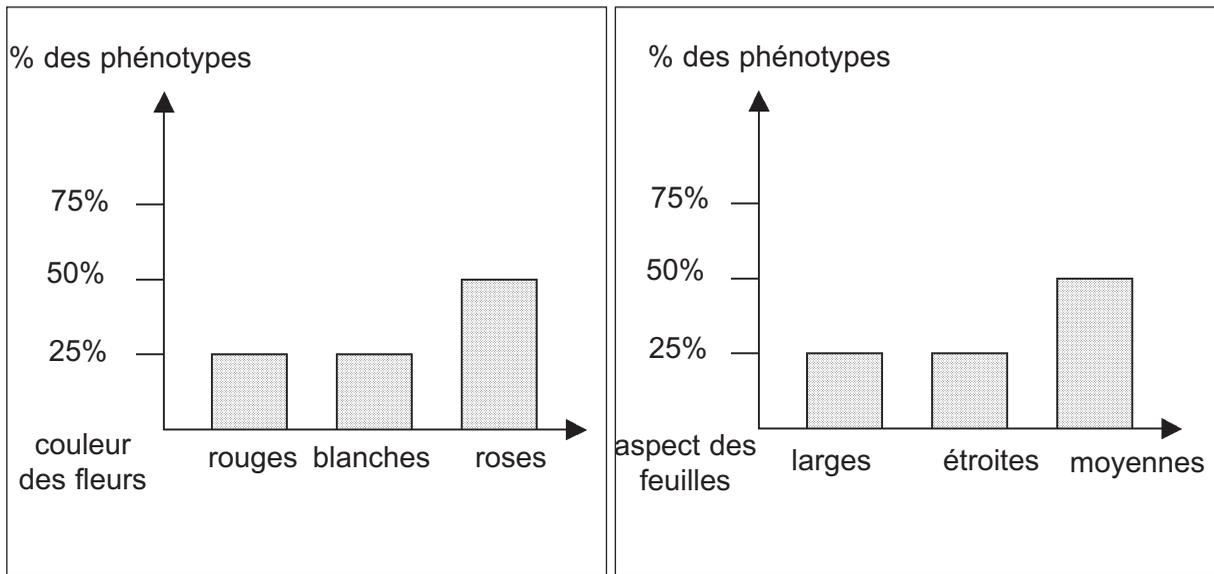
Le croisement de l'hybride F₁ avec le parent double récessif fournit la répartition phénotypique suivante :

- 4032 grains sphériques colorés
- 149 grains ridés colorés
- 152 grains sphériques incolores
- 4035 grains ridés incolores

Interpréter les résultats des croisements réalisés.

Exercice 6

Chez une espèce végétale, on a réalisé le croisement d'une variété à fleurs rouges et feuilles larges avec une variété à fleurs blanches et feuilles étroites. Les hybrides F₁ sont croisés entre eux. Les histogrammes ci-dessous représentent les phénotypes des descendants issus de ce croisement formant une F₂ pour chacun des deux caractères étudiés.



1) Indiquez le nombre de couples d'allèles contrôlant chacun des caractères étudiés ainsi que le type de dominance. Justifiez votre réponse.

2) Parmi 1600 individus de la F_2 , 100 sont de phénotype rouge et large. Quel renseignement dégage-t-on à propos de la liaison ou de l'indépendance des gènes considérés ?

3) En considérant à la fois la couleur de la fleur et la taille de la feuille, déterminez les différents phénotypes de cette F_2 et leurs effectifs.

Exercice 7

Croisons des drosophiles sauvages mâles (ailes longues, yeux rouges) de race pure avec des drosophiles femelles aux ailes atrophiées (mutation vestigial: *vg*) et aux yeux bruns (mutation brown : *bw*). Les descendants de 1ère génération (F_1) sont tous de type sauvage.

Croisons des mâles de F_1 avec des femelles aux ailes vestigiales et aux yeux bruns. Nous obtenons deux sortes de mouches :

- 495 drosophiles de type sauvage,
- 508 drosophiles aux ailes vestigiales et aux yeux bruns.

Croisons des femelles de F_1 avec des mâles aux ailes vestigiales et aux yeux bruns. Nous obtenons quatre sortes de mouches :

- 712 drosophiles de type sauvage,
- 298 drosophiles aux ailes longues et aux yeux bruns,
- 300 drosophiles aux ailes vestigiales et aux yeux normaux,
- 669 drosophiles aux ailes vestigiales et aux yeux bruns.

a- Interprétez ces résultats

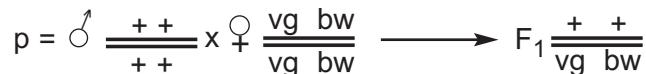
b- Expliquer quelle serait la descendance obtenue en croisant entre eux des mâles et des femelles de F_1 .

corrigé de l'exercice 7

a- Interprétation des résultats

La F_1 étant homogène et de phénotype sauvage, les gènes qui déterminent les caractères vg et bw sont récessifs et portés par un ou 2 paires autosomes.

Les deuxième et troisième croisements montrent que deux gènes distincts interviennent et que ces gènes sont liés puisque le test-cross ne donne pas les proportions 1/4, 1/4, 1/4, 1/4. Le 1^{er} croisement peut donc s'écrire :



Le second croisement est un back-cross et le résultat obtenu indique que les 2 gènes considérés sont l'objet d'un linkage total : chez le mâle de la drosophile, en effet, il ne se produit jamais de crossing-over.

Le mâle [$+ +$] produit donc deux sortes de gamètes, $+ +$ et $vg \ bw$, tandis que la femelle [$vg \ bw$] produit seulement des gamètes $vg \ bw$.

Il est donc normal que la descendance comprenne en nombre égal,

- des mouches $\frac{+ +}{vg \ bw}$ de phénotype sauvage,
- des mouches $\frac{vg \ bw}{vg \ bw}$, aux ailes vestigiales et aux yeux bruns.

Le troisième croisement est également un back-cross. La femelle [$+ +$] produit quatre sortes de gamètes : $+ +$ et $vg \ bw$ (gamètes parentaux), $+ \ bw$ et $vg \ +$ (gamètes recombinés). Le mâle [$vg \ bw$] produit seulement des gamètes $vg \ bw$.

La descendance comprend donc quatre types d'individus :

$\frac{+ +}{vg \ bw}$: type sauvage,

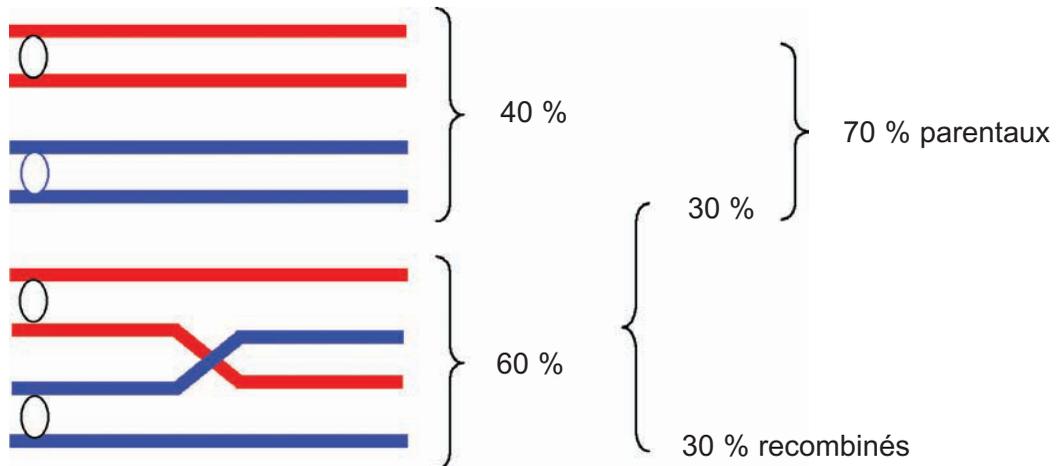
$\frac{+ \ bw}{vg \ bw}$: ailes longues, yeux bruns

$\frac{vg \ +}{vg \ bw}$: ailes vestigiales, yeux normaux

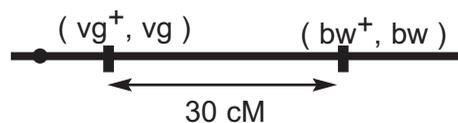
$\frac{vg \ bw}{vg \ bw}$: ailes vestigiales, yeux bruns

Les gamètes mâles portant tous des allèles récessifs, la composition de la F₂ donne une image de la population des gamètes produits par les individus femelles. Le pourcentage p de recombinaison est donc égal au quotient du nombre d'individus recombinés par le nombre total d'individus : $p = (298 + 300) / (712 + 298 + 300 + 669) = 0,302 \dots$ soit environ 30%.

Quant au crossing-over, responsable des recombinaisons, il affecte 60% des chromosomes intéressés, conformément au schéma ci-dessous :



Pour que le crossing-over réalise une recombinaison, il faut qu'il se produise entre les gènes *vg* et *bw*. Si on admet que le crossing-over est également possible en tout point du chromosome, il séparera d'autant plus souvent les 2 gènes que ceux-ci sont plus éloignés l'un de l'autre. La distance qui sépare les deux gènes peut donc être mesurée par le nombre qui exprime le taux des recombinaisons. Ici, le taux étant de 30%, la distance *vg-bw* est de 30 unités (centimorgans = cM).



b- Le quatrième croisement est du type F₁ X F₁, ou $\frac{+}{vg} \frac{+}{bw} \times \frac{+}{vg} \frac{+}{bw}$

Le ♂ F₁ produit 2 types gamètes = 50 % + + et 50% vg bw

La ♀ F₁ produits 4 types de gamètes : 70 % de gamètes parentaux (1-p) : 35% + + et

35% vg bw et 30% de gamètes recombinés (p) = 15% + bw et 15% vg +

(p = fréquence de recombinaison)

Tableau de combinaison (échiquier) des gamètes 3^{ème} croisement

♀ \ ♂	$\frac{vg\ bw}{100\%}$
$\frac{+ +}{(1-p)/2=35\%}$	$\frac{+ +}{vg\ bw} [+ +]$ $(1-p)/2=35\%$
$\frac{+ bw}{p/2=15\%}$	$\frac{+ bw}{vg\ bw} [+ bw]$ $p/2=15\%$
$\frac{vg +}{p/2=15\%}$	$\frac{vg +}{vg\ bw} [vg +]$ $p/2=15\%$
$\frac{vg bw}{(1-p)/2=35\%}$	$\frac{vg bw}{vg\ bw} [vg bw]$ $(1-p)/2=35\%$

Tableau de combinaison des gamètes 4^{ème} croisement

♀ \ ♂	$\frac{+ +}{50\%}$	$\frac{vg\ bw}{50\%}$
$\frac{+ +}{(1-p)/2=35\%}$	$\frac{+ +}{+ +} [+ +]$ $(1-p)/4=17,5\%$	$\frac{+ +}{vg\ bw} [+ +]$ $(1-p)/4=17,5\%$
$\frac{+ bw}{p/2=15\%}$	$\frac{+ +}{+ bw} [+ +]$ $p/4=7,5\%$	$\frac{+ bw}{vg\ bw} [+ bw]$ $p/4=7,5\%$
$\frac{vg +}{p/2=15\%}$	$\frac{+ +}{vg +} [+ +]$ $p/4=7,5\%$	$\frac{vg +}{vg\ bw} [vg +]$ $p/4=7,5\%$
$\frac{vg bw}{(1-p)/2=35\%}$	$\frac{+ +}{vg bw} [+ +]$ $(1-p)/4=17,5\%$	$\frac{vg bw}{vg\ bw} [vg bw]$ $(1-p)/4=17,5\%$

La descendance comprend là aussi quatre types d'individus :

- [+, +] : 17,5 + 17,5 + 7,5 + 7,5 + 17,5 = 67,5 % de drosophiles de type sauvage,
- [+, bw] : 7,5% de drosophiles aux ailes normales et aux yeux bruns,
- [vg, +] : 7,5% de drosophiles aux ailes vestigiales et aux yeux normaux,
- [vg, bw] : 17,5% de drosophiles aux ailes vestigiales et aux yeux bruns.

Exercice 8

Deux races pures de drosophiles sont croisées , l'une à ailes longues et à corps noir, et l'autre à ailes vestigiales et à corps gris.

1) Les individus de la F₁ ont tous des ailes longues et un corps gris, ils donnent par croisement entre eux une génération F₂ qui comporte 1178 drosophiles à ailes longues et corps gris, 592 individus à ailes vestigiales et corps gris et 578 individus à ailes longues et corps noir.

Que peut-on conclure pour les deux couples d'allèles ?

2) On croise un mâle F₁ avec une femelle de chacune des deux races pures initiales. Quelle sera la composition des populations obtenues ? On rappelle que chez la drosophile mâle, il ne se produit pas de crossing-over.

3) On isole, à partir de la génération F₂, une femelle notée H, à ailes longues et corps noir et un mâle noté K, à ailes vestigiales et corps gris. La population issue de leur croisement montre 4 phénotypes équiprobables (25%).

- ailes longues corps gris ;
- ailes longues corps noir ;
- ailes vestigiales corps noir ;
- ailes vestigiales corps gris.

Quel était le génotype des deux drosophiles H et K ?

Comment peut-on expliquer la présence de tels phénotypes dans la génération F₂ ?

Corrigé de l'exercice 8

D : drosophiles

1) ♂ [D : ailes longues, corps noir] × ♀ [D : ailes vestigiales, corps gris]

F₁ : 100 % [ailes longues, corps gris]

Conclusion : F₁ est homogène : les parents sont de races pures.

Il s'agit de la transmission de deux couples d'allèles : dihybridisme

La longueur des ailes est gouvernée par un couple d'allèles (ailes longues, ailes vestigiales) tel que :

Ailes longues "vg⁺" domine ailes courtes "vg", donc : vg⁺ > vg.

La couleur du corps est gouvernée par le couple d'allèles (corps noir, corps gris) tel que corps gris "eb⁺" domine corps noir "eb", donc : eb⁺ > eb

F₁ × F₁ = F₂

1178 [vg⁺eb⁺]

592 [vg eb⁺]

578 [vg⁺eb]

Calculons les différentes proportions des divers phénotypes :

$$[vg^+ eb^+] = \frac{1178 \times 100}{1178+592+578} = 50.01\%$$

$$[vg eb^+] = \frac{592 \times 100}{2348} = 25.21\%$$

$$[vg^+ eb] = \frac{578 \times 100}{2348} = 24.61\%$$

Ces proportions de type 1/4, 1/2, 1/4 sont celles d'un monohybridisme et non d'un dihybridisme. Nous étudions la transmission de deux couples d'allèles avec dominance.

Si les gènes sont indépendants on aurait, en F₂, 4 phénotypes (2 parentaux et deux recombinés) avec les proportions : 9/16, 3/16, 3/16, 1/16 ; or le résultat obtenu est différent. Donc on peut envisager l'hypothèse de deux gènes liés.

Interprétation génétique :

phénotypes (p) = ♂ [vg⁺ eb] × ♀ [vg eb⁺]

génotypes (g) = G : $\frac{vg^+ \quad eb}{vg^+ \quad eb}$ × $\frac{vg \quad eb^+}{vg \quad eb^+}$

Gamètes ♂ 100 % vg⁺ eb Gamètes ♀ 100% vg eb⁺
 F₁ 100% [vg⁺ eb⁺] $\frac{vg^+ \quad eb}{vg \quad eb^+}$

$$F_1 \times F_1 = F_2$$

$$Ph : \text{♂ } [vg^+ eb^+] \times \text{♀ } [vg^+ eb^+]$$

$$G : \frac{vg^+ eb}{vg eb^+} \quad \frac{vg^+ eb}{vg eb^+}$$

$$\gamma \text{ ♂ } \begin{cases} 50\% \text{ } vg^+ eb \\ 50\% \text{ } vg eb^+ \end{cases}$$

$$\gamma \text{ ♀ } \begin{cases} (1-p)/2 : vg^+ eb \\ p/2 : vg^+ eb^+ \\ p/2 : vg eb \\ (1-p)/2 : vg eb^+ \end{cases}$$

P : étant la fréquence de recombinaison

Echiquier :

γ ♂ \ ♀	$vg^+ eb$ $\frac{1-p}{2}$	$vg^+ eb^+$ $p/2$	$vg eb$ $p/2$	$vg eb^+$ $\frac{1-p}{2}$
$1/2 \text{ } vg^+ eb$	$\frac{vg^+ eb}{vg^+ eb}$ [$vg^+ eb$] $\frac{1-p}{4}$	$\frac{vg^+ eb^+}{vg^+ eb}$ [$vg^+ eb^+$] $p/4$	$\frac{vg eb}{vg^+ eb}$ [$vg^+ eb$] $p/4$	$\frac{vg eb^+}{vg^+ eb}$ [$vg^+ eb^+$] $\frac{1-p}{4}$
$1/2 \text{ } vg eb^+$	$\frac{vg^+ eb}{vg eb^+}$ [$vg^+ eb^+$] $\frac{1-p}{4}$	$\frac{vg^+ eb^+}{vg eb^+}$ [$vg^+ eb^+$] $p/4$	$\frac{vg eb}{vg eb^+}$ [$vg eb^+$] $p/4$	$\frac{vg eb^+}{vg eb^+}$ [$vg eb^+$] $\frac{1-p}{4}$

Résultats :

$$[vg^+ eb^+] = (1-p + 1-p + p+p) / 4 = 1/2$$

$$[vg^+ eb] = p/4 + (1-p)/4 = 1/4$$

$$[vg eb^+] = (1-p)/4 + p/4 = 1/4$$

Conclusion : donc les proportions sont bien conformes à l'hypothèse, il s'agit bien de deux couples d'allèles liés.

2) ♂ F₁ x ♀ [vg⁺ eb] ou ♀ [vg eb⁺]

1^{er} cas : Ph ♂ [vg⁺ eb⁺] x ♀ [vg⁺ eb]

$$G : \frac{vg^+ eb}{vg eb^+} \quad \frac{vg^+ eb}{vg^+ eb}$$

$$\gamma \text{ ♂ } \begin{cases} 50\% \text{ } vg^+ eb \\ 50\% \text{ } vg eb^+ \end{cases}$$

$$\gamma \text{ ♀ } : 100\% \text{ } vg^+ eb$$

Echiquier :

	$\gamma \text{ ♂}$	$1/2 \text{ } vg^+ eb$	$1/2 \text{ } vg \text{ } eb^+$
$\gamma \text{ ♀}$		$\frac{vg^+ eb}{vg^+ eb}$	$\frac{vg \text{ } eb^+}{vg^+ eb}$
$vg^+ eb$		$1/2 \text{ } [vg^+ eb]$	$1/2 \text{ } [vg^+ eb^+]$

Résultats :

50% [vg⁺ eb] 50% [vg⁺ eb⁺]

2^{ème} cas : ♂ F₁ x ♀ [vg eb⁺]

Ph ♂ [vg⁺ eb⁺] x ♀ [vg eb⁺]

$$G : \frac{vg^+ eb}{vg \text{ } eb^+} \quad \frac{vg \text{ } eb^+}{vg \text{ } eb^+}$$

$$\gamma \text{ ♂ } \begin{cases} 50\% \text{ } vg^+ \text{ } eb \\ 50\% \text{ } vg \text{ } eb^+ \end{cases} \quad \gamma \text{ ♀ } : 100\% \text{ } vg \text{ } eb^+$$

	$\gamma \text{ ♀}$	$1/2 \text{ } vg^+ eb$	$1/2 \text{ } vg \text{ } eb^+$
$vg \text{ } eb^+$		$\frac{vg^+ eb}{vg \text{ } eb^+}$	$\frac{vg \text{ } eb^+}{vg \text{ } eb^+}$
		$1/2 \text{ } [vg^+ eb]$	$1/2 \text{ } [vg \text{ } eb^+]$

Resultats :

50% [vg⁺ eb] 50% [vg eb⁺]

3. ♂ [K] x ♀ [H]

Ph : ♂ [vg eb⁺] x ♀ [vg⁺ eb]

- 1/4 [vg⁺ eb⁺]
- 1/4 [vg⁺ eb]
- 1/4 [vg eb]
- 1/4 [vg eb⁺]

Question : quel est le génotype de H et K ?

Considérons : séparément les couples d'allèles

1er couple ($vg^+ vg$) :

$$[vg^+] = 1/4 + 1/4 = 1/2$$

$$[vg] = 1/4 + 1/4 = 1/2$$

1/2, 1/2 sont les proportions d'un test-cross.

F1 x [vg]

$$\frac{vg^+}{vg} \times \frac{vg}{vg}$$

2ème couple : (eb^+, eb) :

$$[eb^+] = 1/4 + 1/4 = 1/2$$

$$[eb] = 1/4 + 1/4 = 1/2$$

} Ce sont les proportions d'un test-cross.

F1 x [eb]

$$\frac{eb^+}{eb} \times \frac{eb}{eb}$$

Conclusion :

$$\begin{array}{l} \text{♀ H : } [vg^+ eb] \times \text{♂ K } [vg eb^+] \\ \text{génotypes } \frac{vg^+ eb}{vg eb} \quad \frac{vg eb^+}{vg eb} \end{array}$$

Pour vérifier les résultats : vous pouvez écrire les gamètes de H et de K et dresser l'échiquier qui vous donnera les proportions proposées par le croisement de H et K.

On explique la présence de tels phénotypes par un crossing-over lors de la formation des gamètes de la ♀ F₁.