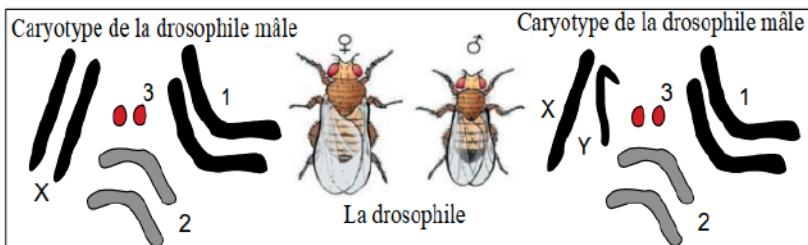


Activité 4 : Hérédité liée au sexe,gène portés par des chromosomes sexuels .

**Doc 1 : La drosophile, un insecte au service de l'hérédité.**

En 1908, Thomas Morgan a étudié le développement d'une petite mouche des fruits appelée la drosophile ou mouche de vinaigre.

C'est un matériel de choix dans la mesure où sa petite taille facilite l'élevage dans des flacons de verre. Chaque génération produit des centaines d'individus et les mutations apparaissent spontanément, dont on peut augmenter la fréquence par traitement aux rayons X. Leur garniture chromosomique est simple (fig ci-contre).



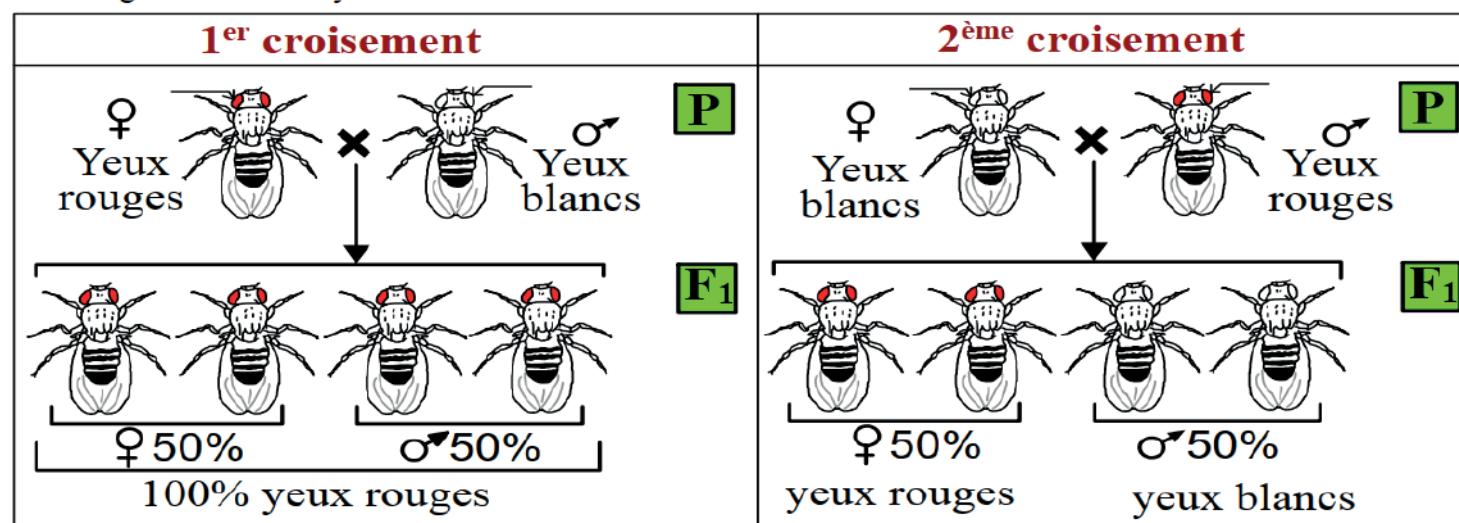
- ① Doc 1 : **Donner** la formule chromosomique de la drosophile mâle et femelle et **Comparer** les deux caryotypes



Réponses

Doc 2 : Etude d'un exemple : transmission de la couleur des yeux chez la drosophile.

Morgan a réalisé deux croisements entre deux lignées pure de drosophile une lignée sauvage aux yeux rouges et une lignée mutée aux yeux blancs. Le schéma suivant décrit les résultats de ces deux croisements

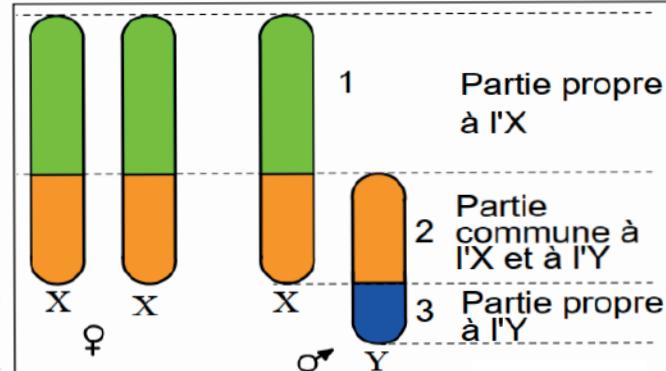


Doc 1 : Les chromosomes sexuels chez la drosophile

Les gènes portés par la partie commune à l'X et à l'Y (2) présentent deux allèles aussi bien chez le mâle que chez la femelle (aucune différence). Si un caractère est associé à cette partie, sa transmission est de mode autosomale.

Les gènes portés par la partie propre à l'X (1) présentent deux allèles chez la et présentent un seul allèle chez le mâle (parce qu'il possède un seul chromosome X). Si un caractère est associé à cette partie, on dit que *le caractère est lié à X*.

Les gènes portés par la partie propre à l'Y (3), ne se trouvent que chez le mâle en un seul allèle. Quel que soit l'allèle présent, il peut donc être exprimé. Si un caractère est associé à cette partie liée à Y et n'apparaît que chez le mâle.



- ② Doc 2 : **Analyser** les résultats des deux croisements, **que peut-on** en déduire en ce qui concerne la transmission de ce caractère chez la drosophile.
 - ③ Doc 2 et 3 : **Quelle** est la partie du chromosome sexuel qui porte le gène responsable de la couleur des yeux chez la drosophile, **justifier** votre réponse.
 - ④ Ecrire le génotype des parents et **donner** l'interprétation chromosomique des deux croisements du doc 2
 - ⑤ **Généraliser**, à partir de cet exemple les statistiques caractéristiques de ce type de transmission de caractère et donner une définition du croisement réciproque.



Bilan *4***Les croisements réciproques = inverse**

Le croisement entre individus de deux souches peut être réalisé de deux façons dites réciproques : l'un des caractères alternatifs peut être apporté soit par un parent soit par l'autre. Par exemple, on peut croiser une femelle de phénotype récessif par un mâle de phénotype dominant ou une femelle de phénotype dominant par un mâle de phénotype récessif, ces deux croisements sont dit réciproques ou inverses.



- ✿ La mise en évidence d'un gène lié au sexe (porté par le gonosome sexuel X ou Y) est révélée par :
 - L'exception de la 1^{ère} loi de Mendel : la génération F1 est hétérogène même si les parents sont de race pure : le phénotype des mâles diffère du phénotype des femelles.
 - Les croisements réciproques donnent des résultats différents
- ✿ Si les mâles ressemblent à leur mère et les femelles ressemblent à leur père : le gène est porté par le chromosome X (partie propre à X)
- ✿ Si les mâles ne ressemblent qu'à leur père : le gène est porté par le chromosome Y (partie propre à Y)

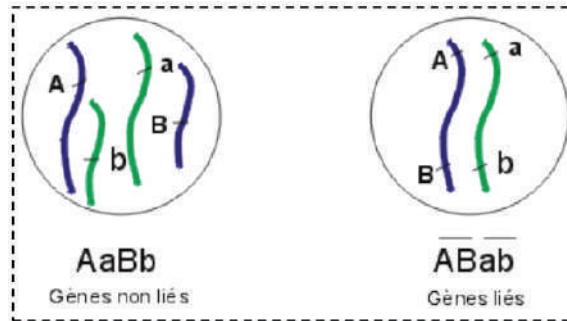


Remarque : Pour la majorité des organismes, le sexe femelle est du type XX et ne produit de ce fait qu'un type de gamètes : il est homogamétique ; le mâle est du type XY et hétérogamétique. Mais, il existe des exceptions, chez les Oiseaux, ainsi que chez beaucoup d'Amphibiens et de papillons, le sexe mâle est homogamétique et le sexe femelle, hétérogamétique. Chez les poulets, le mâle est homogamétique (XX) et la femelle (poule) est porteuse de X0 (absence d'un chromosome sexuel)

III- Dihybridisme : étude de la transmission de deux couples d'allèles pour deux caractères génétiques

Le **dihybridisme** c'est le croisement entre deux races différentes en deux caractères héréditaires. Dans ce cas on peut distinguer deux cas possibles pour les deux gènes responsables des deux caractères :

- **Cas des deux gènes indépendants (non liés)** : sont portés par deux couples de chromosomes.
- **Cas des deux gènes dépendants (liés)**: sont portés par un seul couple de chromosomes.



Activité 1 : cas de deux gènes indépendants (non liés) .

Doc 1 : Etude de l'exemple de Mendel : transmission de deux caractère chez le petit pois.

⊗ Mendel sélectionne deux variétés de lignée pure de pois. Il s'est assuré par des cultures répétées que celle-ci sont pures pour les deux caractères à étudier. Les caractères choisis concernent :

- La forme des graines : lisse ou ridée.
- La couleur de la graine : jaune ou verte.

⊗ 1^{er} croisement : Mendel croise deux races pures de pois la première à graines lisses de couleur jaune et la deuxième à graines ridées de couleur verte. A la génération F₁, il obtient des pois à graines lisses jaunes.

⊗ 2^{ème} croisement : Mendel croise les individus F₁ entre eux (autofécondation), il obtient une génération F₂ composée de 556 graines qui se répartie comme suit :

315 graines lisses jaunes soit 56% = 9/16

104 graines ridées jaunes soit

105 graines lisses vertes soit

32 graines ridées vertes soit

① **Calculer** le pourcentage de chaque phénotype de la génération F₂

② **Que peut-on déduire** de l'analyse des résultats des deux croisements ?

③ **Donner l'interprétation** chromosomique des résultats des deux croisements.

④ **Donner** les résultats théoriques du rétrocroisement (back cross).

Evaluation : un agriculteur possède un sac de graines de pois [lisses jaunes]. **Quel pourrait être** le génotype de ces graines. Comment peut-il définir leur génotype exact.

⑤ **Généraliser**, à partir de cet exemple les statistiques caractéristiques de la transmission de deux caractères indépendants et énoncer la 3^{ème} loi de Mendel.





↳ Déduction à partir de l'analyse des résultats du 2^{ème} croisement :

- La génération F_2 est hétérogène et il apparait de nouveau les individus doubles récessifs comme dans le cas du monohybridisme.
- La génération F_2 contient quatre phénotypes différents :
 - Deux phénotypes semblables aux parents, on les désigne de *phénotypes parentaux* (types parentaux : TP): graines [lisses, jaunes] et les graines [ridées, vertes], forment un pourcentage total de 82%.
 - Deux phénotypes nouveaux, on les désigne de *phénotypes recombinés* (types recombinés : TR): graines [lisses, vertes] et les graines [ridées, jaunes], forment un pourcentage total de 38%.
- Ces phénotypes observés montrent que la disjonction s'est faite de manière indépendante pour les divers couples d'allèles, c'est la troisième loi de Mendel.
L'individu de F_1 produit 4 types de gamètes équiprobables (même proportion : 25%)

③ Interprétation chromosomique des résultats des deux croisements

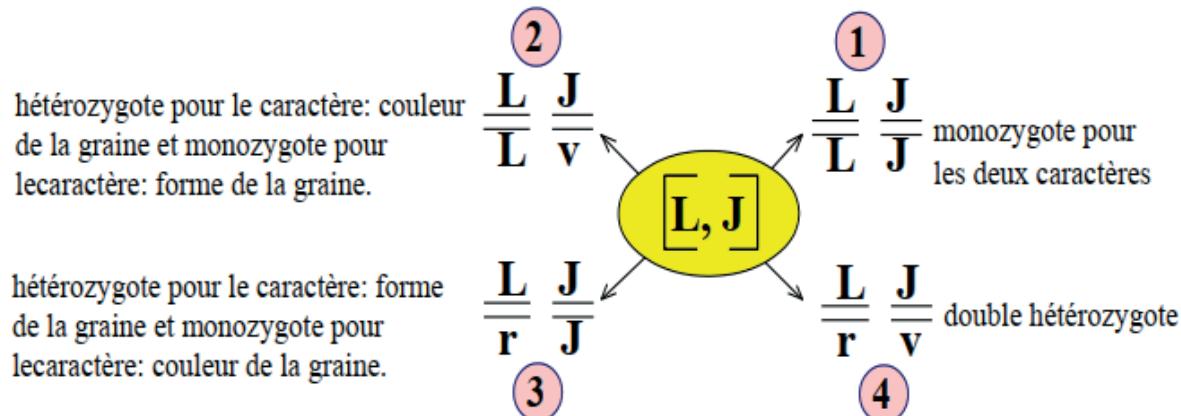
↳ Symboles choisis :

Caractère forme de la graine : L : lisse r : ridée

Caractère couleur de la graine : J : jaune v : vert



Evaluation : Le génotype des graines de phénotype double dominant [lisses, jaunes] : il y'a quatre probabilités possibles



Pour déterminer le génotype exact de ces graines, on effectue un croisement test (test cross), en effet on croise cette lignée de génotype inconnu (testé) avec une lignée pure double récessive [r, v] (testeur), les résultats de ce croisement permettront de définir le génotype des individus testés :

- 1^{er} cas : L'obtention d'un seul type de phénotypes permet de déduire que l'individu testé est homozygote pour les deux caractères.
- 2^{ème} cas : L'obtention de deux types de phénotypes différents par la couleur de la graine permet de déduire que l'individu testé est homozygote pour la forme de la graine et hétérozygote pour la couleur de la graine car il a produit deux types de gamètes l'un porte l'allèle J et l'autre l'allèle v.

- 3^{ème} cas : L'obtention de deux types de phénotypes différents par la forme de la graine permet de déduire que l'individu testé est homozygote pour la couleur de la graine et hétérozygote pour la forme de la graine car il a produit deux types de gamètes l'un porte l'allèle L et l'autre l'allèle r.

- 4^{ème} cas : L'obtention de quatre types de phénotypes en proportions égales permet de déduire que l'individu testé est hétérozygote pour les deux gènes car il a produit quatre types de gamètes en proportions égales

Bilan *5*

Lorsqu'il s'agit de deux caractères non liés au sexe avec une dominance absolue portés par deux chromosomes différents : gène indépendants :

- La génération F₁ obéit à la première loi de Mendel.
- Le croisement des individus F₁ entre eux donne une génération F₂ constituée de

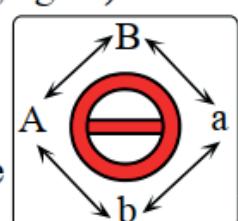


- Le test cross permet de vérifier l'indépendance des deux gènes. Lorsqu'on croise un hybride F₁ avec un double homozygote récessif on obtient dans le cas de deux gènes indépendants quatre phénotypes avec des proportions égales ($\frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4}$), deux de ces phénotypes sont parentaux (50%) et les deux autres sont recombinés (50%).



La troisième loi de Mendel : Loi d'indépendance des couples d'allèles

Lors de la formation des gamètes les paires d'allèles se séparent (se ségrégent) de façon indépendante, autrement dit la ségrégation du couple d'allèles (A, a) déterminant un caractère donné se fait de manière indépendante de la ségrégation du couple d'allèles (B, b) déterminant un autre caractère dont le gène est porté par une paire de chromosome différente au premier., le schéma ci-contre représente la séparation de ces allèles selon la 3^{ème} loi de Mendel.

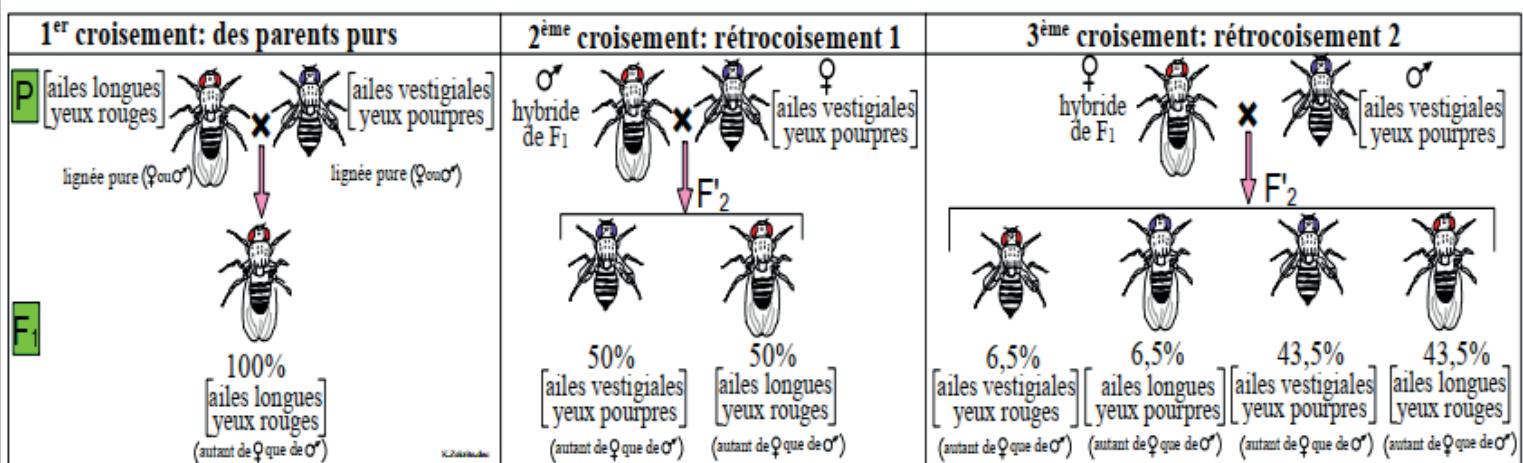


Activité 2 : cas de deux gènes dépendants (liés) .

😊 A partir de ses travaux sur la transmission de deux caractères, Mendel a établi la troisième loi qui explique la ségrégation indépendante des caractères dans la génération F₂.
 - Que donne le croisement d'individus pour deux gènes liés ?

Doc 1 : Etude d'un exemple : transmission de la couleur des yeux et la forme des ailes chez la drosophile

Morgan a réalisé les croisements suivants sur des lignées de drosophiles qui diffèrent par deux caractères : la couleur des yeux (rouge ou pourpre) et la longueur des ailes (longue ou vestigiale). (أثرياء)



① Interpréter les résultats du 1^{er} et du 2^{ème} croisement en les comparant au cas où les gènes étaient indépendants.

② Interpréter les résultats du 3^{ème} croisement, représenter par un schéma le phénomène responsable des types recombinés (TP).

③ Généraliser, à partir de cet exemple les statistiques caractéristiques de la transmission de deux caractères liés.

Evaluation : Chercher, à partir d'autres exemples de dihybridisme les résultats statistiques observés dans les cas

- gènes indépendants : résultats du croisement de F₁xF₁ :

① ↗ Interprétation des résultats du 1^{er} croisement :

- Il s'agit d'un cas de dihybridisme : croisement entre individus différents par deux caractères.
- La génération F₁ est homogène (uniforme) et ressemble à l'un des parents : résultat conforme à la 1^{ère} loi de Mendel (uniformité des hybrides de F₁).
- Les descendants de F₁ sont hybrides pour les deux caractères. En effet, ils portent les deux allèles : ailes longues et ailes vestigiale et ils portent les deux allèles : yeux rouges et pourpres. Le phénotype de cette génération est [ailes longues, yeux rouges], donc il s'agit d'un cas de dominance absolue pour les deux caractères : l'allèle : ailes longues est dominant sur l'allèle ailes vestigiales et l'allèle : yeux rouges est dominant sur l'allèle : yeux pourpres.

↗ Interprétation des résultats du 2^{ème} croisement :

- Le deuxième croisement est un rétrocroisement (back cross), Les descendants F'₂ issus de ce croisement sont tous de type parentaux (100%TP), ils se répartissent en deux

phénotypes avec des proportions égales (comme s'il s'agit du monohybridisme) au lieu de 4 phénotypes observés dans le cas du dihybridisme lorsque les gènes sont indépendants (deux parentaux et deux recombinés).

- L'absence de types recombinés dans cette génération révèle que les paires d'allèles ne se sont pas séparés de manière indépendante, c'est une exception de la 3^{ème} loi de Mendel. En effet, les allèles « ailes longues, yeux rouges » sont transmis en bloc, de la même manière les allèles « ailes vestigiales, yeux pourpres » sont transmis en bloc. Ceci s'explique par le fait que les deux gènes sont porté par un même chromosome, on dit qu'ils sont liés et on parle d'un phénomène de linkage ارتباط.

↳ Symboles choisis :

Caractère longueur des ailes : L^+ : longues (caractère sauvage) L^- : vestigiale (caractère muté).

Caractère couleur des yeux : R^+ : rouges (caractère sauvage) R^- : pourpre (caractère muté).

2 ↗ Interprétation des résultats du 3ème croisement.

- Le troisième croisement qui est un rétrocroisement réalisé entre une femelle double hybride de F₁ avec un mâle double récessif a donné une génération F'2 répartie en quatre phénotypes en pourcentage non équitable :

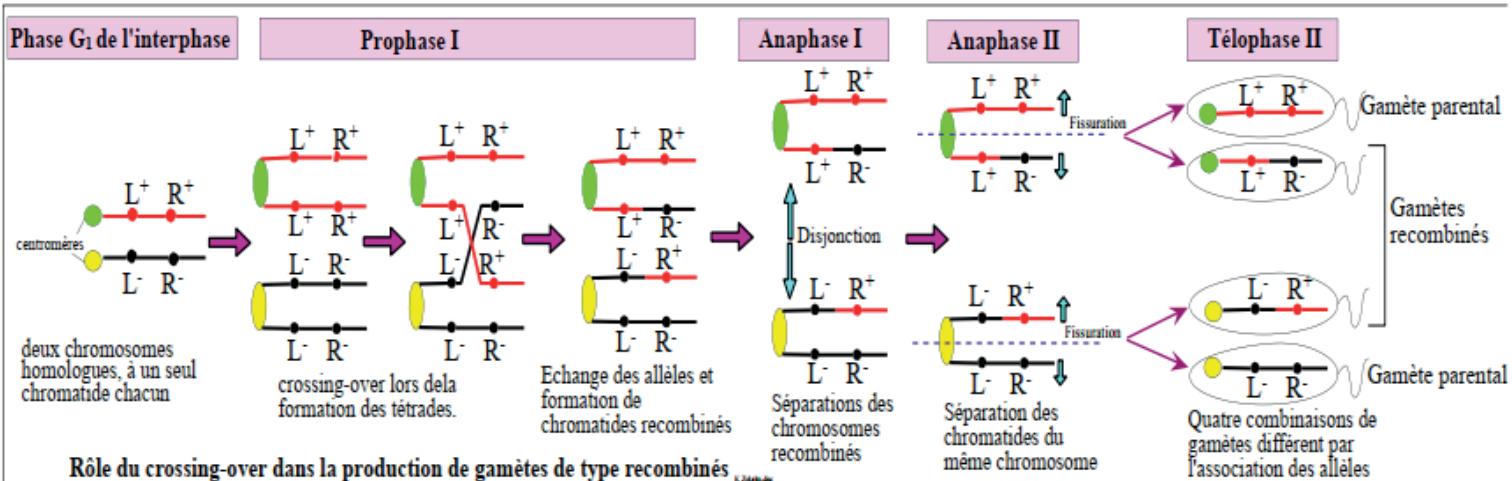
- Deux types parentaux (TP) : [L⁺, R⁺] et [L⁻, R⁻] formant une proportion élevée : 87% au total.
- Deux types recombinés (TR) : [L⁺, R⁻] et [L⁻, R⁺] formant une proportion minoritaire : 13% au total.

- Comment peut-on expliquer l'apparition de types recombinés alors que les gènes sont liés ? Quels sont les types de gamètes produits par les parents ?

- Le parent mâle de ce croisement est double homozygote, ainsi il ne peut produire qu'un seul type de gamètes.

- On ne peut alors expliquer l'apparition de 4 phénotypes dans la descendance, qu'en admettant que le parent femelle de F₁ (double hybride) a produit quatre types de gamètes, deux types parentaux et deux types recombinés. En revanche la production de gamètes de type recombiné révèle que des échanges d'allèles entre les chromosomes homologues ont intervenus suite à des phénomènes de crossing-over lors de la méiose. On dit que le linkage n'est pas absolu chez la femelle de la drosophile.

↗ Schéma représentant le phénomène de crossing-over responsable de la production des gamètes de type recombinés.



- Un individu hétérozygote pour deux gènes situés sur la même paire de chromosomes produit suite au phénomène de crossing-over deux gamètes de type parentaux et deux gamètes de type recombiné. *Les gamètes recombinés sont toujours en minorité par rapport aux gamètes parentaux.*

- Chez l'individu homozygote, le crossing-over ne modifie en rien la combinaison des allèles, ceux-ci étant identiques pour un gène donné.



Remarque 1 : les types recombinés n'ont pas apparu dans le 2^{ème} croisement du fait qu'il n'y a pas eu de crossing-over lors de la formation des gamètes chez le mâle de la drosophile, on dit que les gènes chez le mâle de la drosophile sont absolument liés : linkage absolu.

Remarque 2 : Cet exemple met en évidence le rôle du brassage intrachromosomique (crossing-over) dans la diversité des gamètes et des descendants. Dans le 3^{ème} croisement l'intervention du crosssig-over a permis l'obtention de 4 gamètes chez la femelle double hybride au lieu de deux gamètes, suite à ce phénomène on obtient 4 descendants de phénotypes différents au lieu de deux phénotypes.

Bilan *6*

Lorsqu'il s'agit de deux caractères non liés au sexe avec une dominance absolue et si les gènes sont portés par le même chromosome : gène liés :

- La génération F₁ obéit à la première loi de Mendel.
 - Le test cross (rétrocroisement) permet de vérifier le linkage des deux gènes.

Lorsqu'on croise un hybride F_1 avec un double homozygote récessif on obtient :

- Dans le cas du linkage absolu (les deux gènes sont liés absolument, le crossing-over n'intervient pas) : on obtient deux phénotypes parentaux avec des proportions égales ($\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$) avec absence des types recombinés.

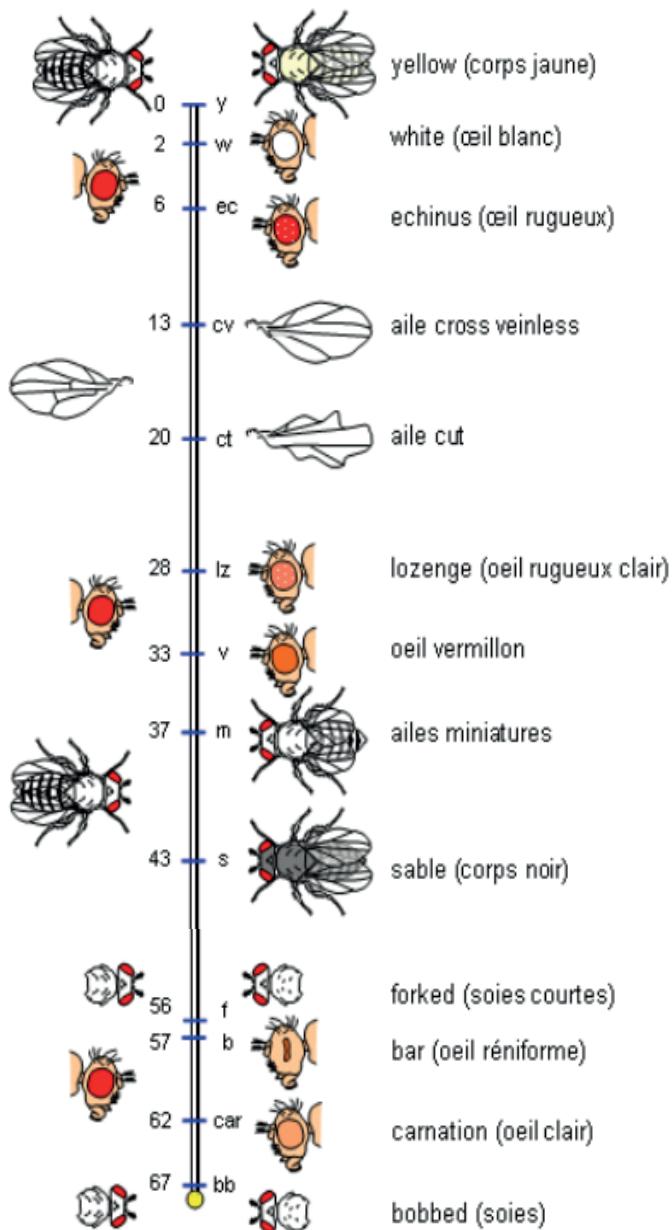
- Dans le cas du linkage relatif (les deux gènes sont liés relativement, le crossing-over intervient): on obtient quatre phénotypes avec des proportions non équiprobables : deux phénotypes parentaux majoritaires (une proportion élevée) et deux phénotypes recombinés minoritaires.

Activité 3 : La distance entre les gènes et la carte factorielle .

Le crossing-over permet de diversifier les gamètes et les descendants. En plus l'étude de cet événement microscopique qui intervient entre deux gènes liés permet de déterminer la distance entre ces gènes.

- Comment utiliser les crossing-over pour déterminer la distance entre les gènes et établir une carte factorielle ?

Doc 1 : Carte factorielle (génétique) partielle du chromosome X chez la drosophile



Doc 2 : Le pourcentage de crossing-over et la distance entre les gènes.

Morgan avait remarqué que le pourcentage de recombinaison entre deux gènes liés est toujours à peu près le même et que celui-ci varie avec le couple de gènes considéré. Il en déduit que chaque gène occupe sur un chromosome un emplacement déterminé (locus). Dans la mesure où un crossing-over ne peut séparer deux gènes que si le chiasma passe entre les emplacements (les loci) occupés par ces deux gènes. Morgan et ses collaborateurs ont supposé que plus deux gènes portés par le même chromosome sont éloignés l'un de l'autre, plus un crossing-over a de chances de survenir entre eux. L'hypothèse d'existence d'une corrélation entre le pourcentage de crossing-over et la distance entre les gènes est ainsi émise.

Un étudiant de Morgan, A.H Sturtevant exploite cette idée et affirme que le pourcentage de crossing-over peut servir à déterminer la position des gènes sur le chromosome. Il a défini une unité de distance génétique appelée centiMorgan (cMg)

$$1\% \text{ de crossing-over} = 1 \text{ unité de distance génétique (1cM)}$$

Ainsi, il a établi la formule suivante :

$$\text{distance entre} = \frac{\% \text{ de crossing}}{\text{deux gènes liés}} = \frac{\% \text{ TR}}{\text{over}} = \frac{\text{Nombre de gamètes recombinés}}{\text{Nombre total d'individus}} \times 100 \text{ (cM)}$$

Dans le cas du back cross, le nombre de gamètes recombinés est le même que le nombre d'individus recombinés.

- En utilisant le doc 1, donner une définition de la carte factorielle. Comment peut-on établir une telle carte ?
- Doc 2 : En utilisant la relation établie par l'élève de Morgan, calculer la distance entre les deux gènes étudiés dans l'activité 6 (la longueur des ailes et la couleur des yeux chez la drosophile). Etablir la carte factorielle de ce chromosome.

1 ↗ La carte factorielle = la carte génétique est une représentation de la disposition linéaire des loci (emplacements des gènes) sur un chromosome en respectant l'ordre dans lequel se succèdent les gènes et la distance relative entre eux.

↗ La réalisation de la carte factorielle se fait par :

- Le calcul de la distance entre les gènes portés par ce chromosome pris deux à deux.
- La représentation de la carte factorielle : on représente le chromosome par un trait sur lequel on dispose les loci des gènes étudiés, en respectant les distances calculées.

2 ↗ Calcul de la distance entre les deux gènes étudiés dans l'activité 6 (la longueur des ailes et la couleur des yeux chez la drosophile) :

- Pourcentage des gamètes recombinés = % types recombinés = $6,5\% + 6,5\% = 13\%$

distance entre le gène codant pour la longueur des ailes et le gène codant pour la couleur des yeux chez la drosophile = % TR = 13cMg

↗ La carte factorielle de ce chromosome.

