

Thème 1A – Génétique et évolution

**Chapitre 1 – L'origine du
génotype des individus**

**Activité 4 – Le test-cross, une
méthode pour étudier la
transmission de deux caractères**

Activité 4 : TD - Le test-cross une méthode pour étudier la transmission de deux caractères

Mise en situation et recherche à mener

La couleur des yeux chez la Drosophile (nom scientifique de la mouche) est contrôlée par au moins un gène dont on connaît deux allèles (allèle yeux sepia dominant et allèle yeux noirs récessif). De même, la couleur du corps est notamment gouvernée par un gène dont on connaît deux allèles (allèle de couleur noir ébène récessif et allèle couleur gris-jaune dominant).

A l'aide d'un test-cross, on cherche à déterminer chez la Drosophile si les 2 gènes, responsables de la couleur des yeux et de la couleur du corps, sont sur le même chromosome ou sur deux chromosomes différents.

Ressources

Doc 1. Définition de la méiose : La méiose est une succession de deux divisions cellulaires permettant la production de gamètes haploïdes à partir d'une cellule diploïde. Au cours de la méiose, un échange de portions de chromatides entre les chromosomes homologues est possible, ce qui aboutit à une recombinaison des associations alléliques : il s'agit d'un crossing-over.

Doc 2. Principe du test-cross : Un croisement entre deux individus issus de chaque type de population :

- une population hétérozygote (nommée F1) pour un ou plusieurs gènes
- une population homozygote récessive pour ce ou ces mêmes gènes.

Les résultats de ces croisements peuvent être observés et leurs proportions correspondent aux génotypes des gamètes produits par la population testée (F1).

Doc 3. Phénotype des drosophiles : Les drosophiles sont facilement cultivables et peuvent être conservées et placées dans une lame (ou plaque).

**Gène sepia (se) : phénotype couleur yeux sepia [se⁺], ou couleur yeux noir [se],
Gène ebony (eb) : phénotype couleur corps gris [eb⁺], ou couleur corps noir [eb]**



Photographie d'une Drosophile

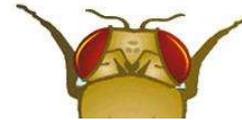
Activité – TD 4

Les deux gènes étudiés :

✓ Gène *sepia* (*se*)

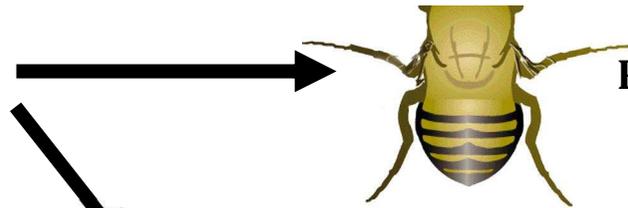


Phénotype couleur yeux noir [*se*],

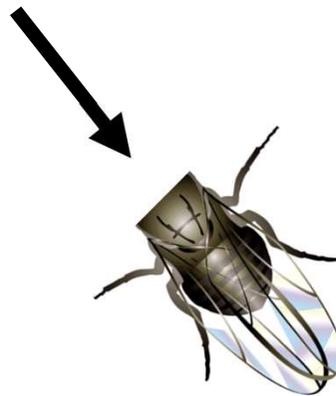


Phénotype couleur yeux *sepia* [*se*⁺]

✓ Gène *ebony* (*eb*)

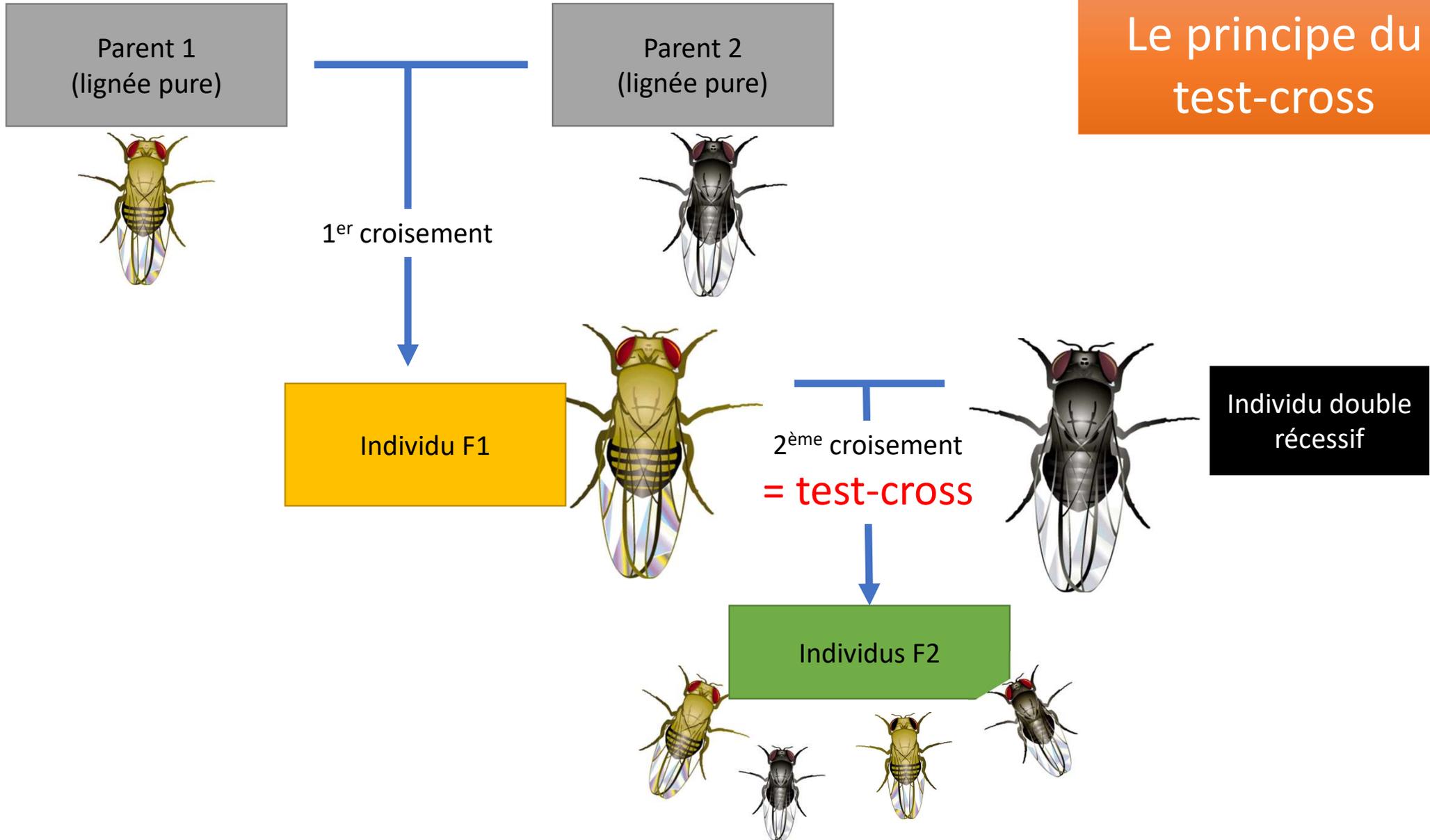


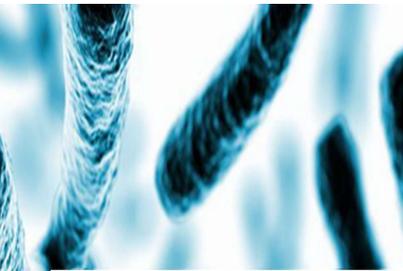
Phénotype corps gris [*eb*⁺]



Phénotype corps noir *ébène* [*eb*]

Le principe du test-cross



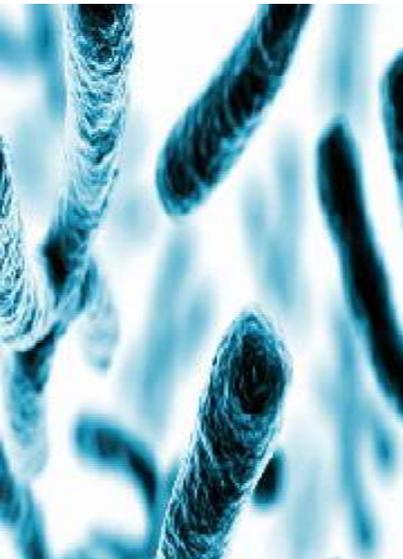


Avant de commencer le TD type ECE...

Questions préalables à la présentation de la stratégie expérimentale

➤ Prenez des notes sur votre feuille de brouillon !

- 1) Ecrivez le phénotype et le génotype des individus F1.
- 2) Déterminez les génotypes des gamètes produits par les individus F1 en considérant :
 - (cas 1) que les 2 gènes étudiés sont localisés sur des chromosomes différents
 - (cas 2) que les 2 gènes étudiés sont localisés sur le même chromosome
- 3) Expliquez l'intérêt du 2^{ème} croisement (entre F1 et l'individu double récessif).
- 4) Déterminez les phénotypes attendus en F2 et leurs proportions en considérant :
 - (cas 1) que les 2 gènes étudiés sont localisés sur des chromosomes différents
 - (cas 2) que les 2 gènes étudiés sont localisés sur le même chromosome



1) Ecrivez le phénotype et le génotype des individus F1.

Tous les individus F1 sont hétérozygotes pour les 2 gènes étudiés donc ils possèdent :

- un allèle « se » et un allèle « se+ »
- Un allèle « eb » et un allèle « eb+ »

Ainsi, le génotype des F1 est : (se,se+ // eb,eb+) ou (se//eb ; se+//eb+)

On peut observer des drosophiles F1 pour déterminer les caractères exprimés (donc dominants) avec des yeux sepia et un corps gris, donc leur phénotype est [se+ ; eb+].

En génétique, si un couple d'allèles en majuscule/minuscule (ex : A et a), alors l'allèle majuscule est dominant.

De même, le symbole + après un allèle est un marqueur de dominance.



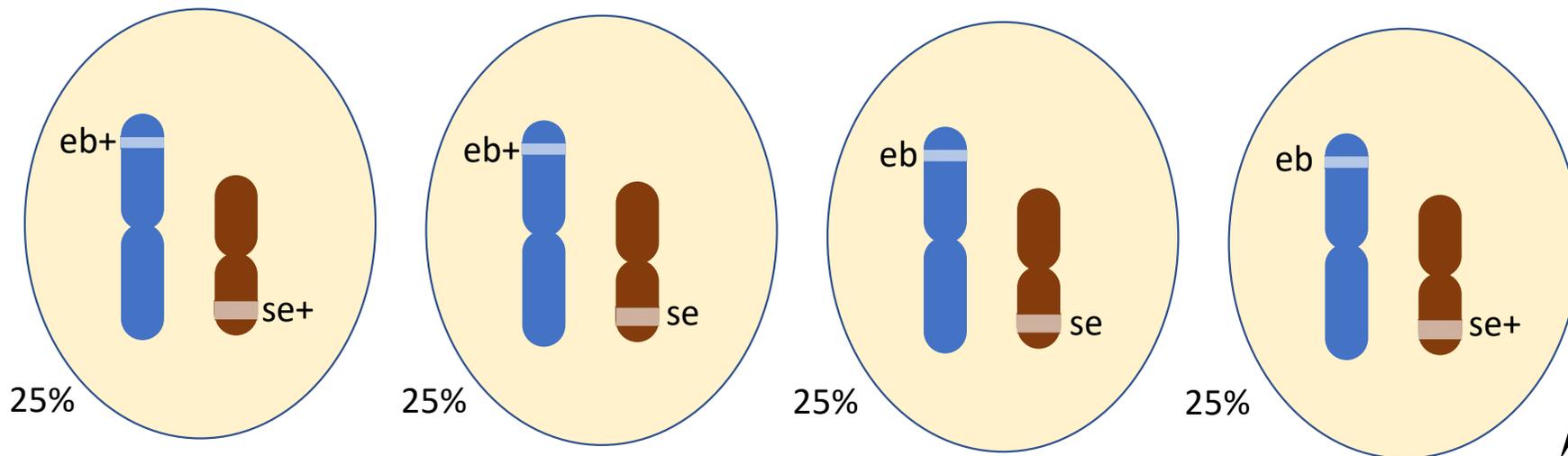
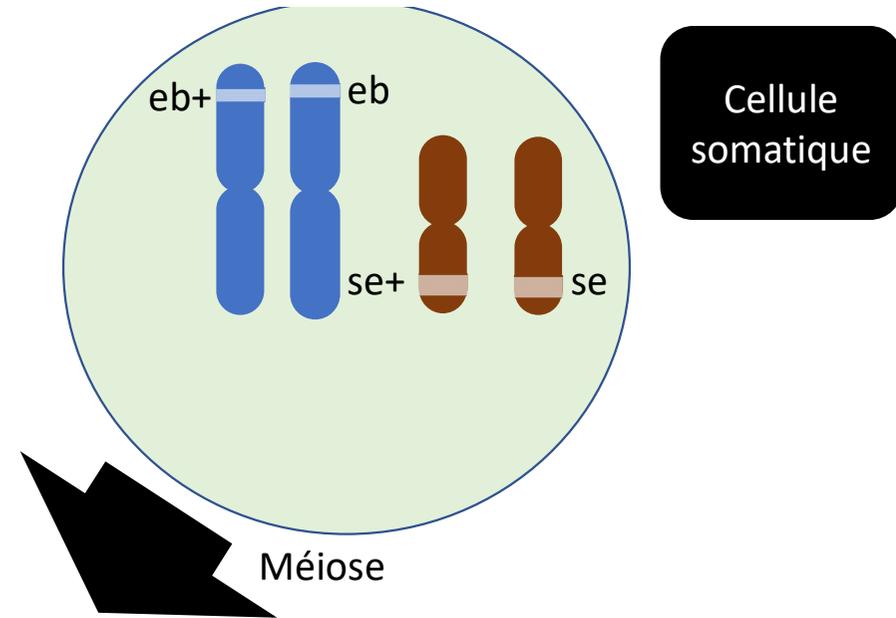
2) Déterminez les génotypes des gamètes produits par les individus F1 en considérant :

-(cas 1) que les 2 gènes étudiés sont localisés sur des **chromosomes différents**

-(cas 2) que les 2 gènes étudiés sont localisés **sur le même chromosome**

2) Déterminez les génotypes des gamètes produits par les individus F1 en considérant :

-(cas 1) que les 2 gènes étudiés sont localisés sur des **chromosomes différents**

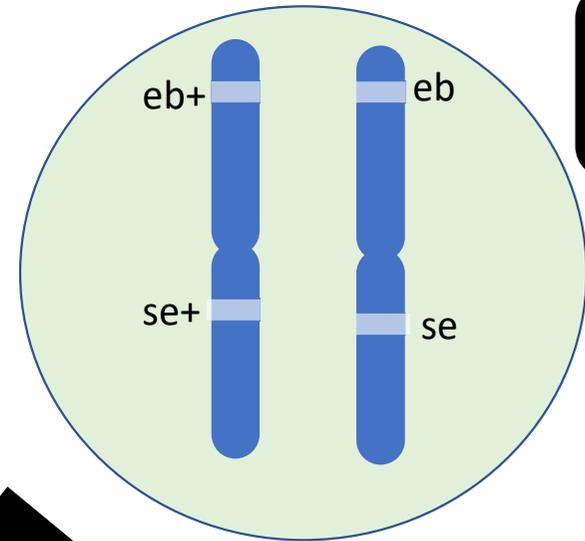


Les ovocytes fabriqués par les mouches F1

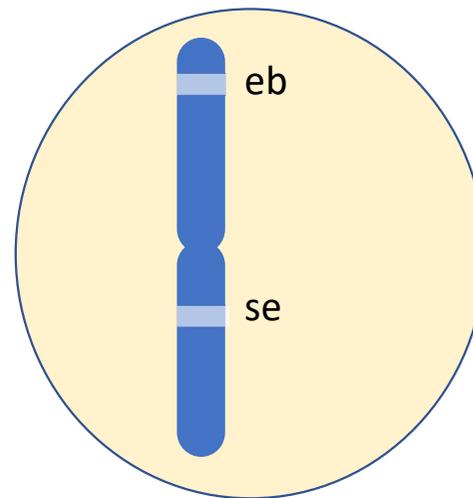
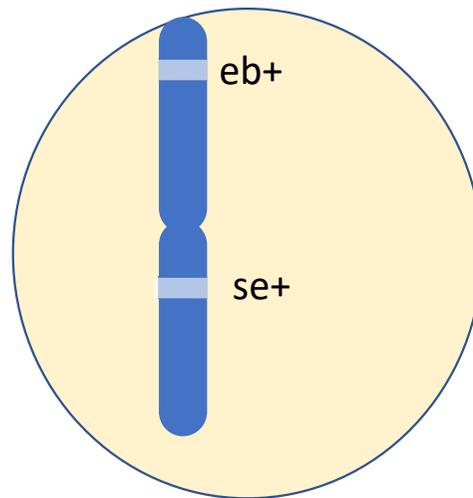
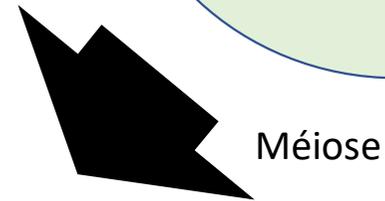
2) Déterminez les génotypes des gamètes produits par les individus F1 en considérant :

-(cas 2) que les 2 gènes étudiés sont localisés **sur le même chromosome**

Note : Il faut connaître les parents de F1 pour connaître les combinaisons d'allèles reçus *ici eb+ est associé à se+*



Cellule somatique



Les ovocytes fabriqués par les mouches F1



2) Déterminez les génotypes des gamètes produits par les individus F1 en considérant :

-(cas 1) que les 2 gènes étudiés sont localisés sur des **chromosomes différents**

Un individu F1 peut fabriquer des gamètes (eb^+,se^+) , (eb^+,se) , (eb,se^+) et (eb,se) selon les positions des chromosomes en métaphase 1 de ses méioses.

-(cas 2) que les 2 gènes étudiés sont localisés **sur le même chromosome**

Un individu F1 peut fabriquer uniquement des gamètes (eb^+,se^+) et (eb,se) car les allèles eb^+ et se^+ sont sur la même chromatide (donc non séparés) et les allèles eb et se sont sur la même chromatide.



Note : le 1^{er} croisement réalisé en génétique permet d'obtenir la génération F1 hétérozygote.

3) Expliquez l'intérêt du 2ème croisement (entre F1 et l'individu double récessif).

Mise en situation et recherche à mener

La couleur des yeux chez la Drosophile (nom scientifique de la mouche) est contrôlée par au moins un gène dont on connaît deux allèles (allèle yeux sepia dominant et allèle yeux noirs récessif). De même, la couleur du corps est notamment gouvernée par un gène dont on connaît deux allèles (allèle de couleur noir ébène récessif et allèle couleur gris-jaune dominant).

A l'aide d'un test-cross, on cherche à déterminer chez la Drosophile si les 2 gènes, responsables de la couleur des yeux et de la couleur du corps, sont sur le même chromosome ou sur deux chromosomes différents.

Ressources

Doc 1. Définition de la méiose : La méiose est une succession de deux divisions cellulaires permettant la production de gamètes haploïdes à partir d'une cellule diploïde. Au cours de la méiose, un échange de portions de chromatides entre les chromosomes homologues est possible, ce qui aboutit à une recombinaison des associations alléliques : il s'agit d'un crossing-over.

Doc 2. Principe du test-cross : Un croisement entre deux individus issus de chaque type de population :

- une population hétérozygote (nommée F1) pour un ou plusieurs gènes
- une population homozygote récessive pour ce ou ces mêmes gènes.

Les résultats de ces croisements peuvent être observés et leurs proportions correspondent aux génotypes des gamètes produits par la population testée (F1).

Doc 3. Phénotype des drosophiles : Les drosophiles sont facilement cultivables et peuvent être conservées et placées dans une lame (ou plaque).

**Gène sepia (se) : phénotype couleur yeux sepia [se⁺], ou couleur yeux noir [se],
Gène ebony (eb) : phénotype couleur corps gris [eb⁺], ou couleur corps noir [eb]**

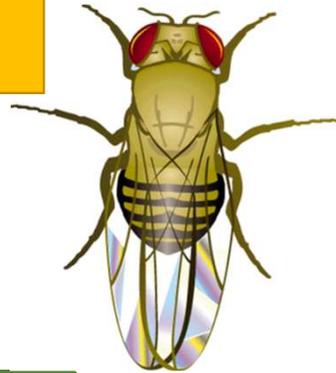


Photographie d'une Drosophile



3) Expliquez l'intérêt du 2^{ème} croisement (entre F1 et l'individu double récessif).

Femelle F1



Mâle double récessif



Génotype (eb//eb ; se//se)
Ou (eb,se//eb,se)

On en déduit que l'ovocyte qui a conduit à la formation de cet individu a pour génotype :

On connaît donc de manière indirecte le génotype des gamètes de F1 grâce à l'étude des phénotypes de F2

(eb;se+)

Exemple : si en F2 on a ...



Les spermatozoïdes de ces individus ont forcément un génotype (eb;se)

On sait que ...

(eb;se)



Bilan (question 3)

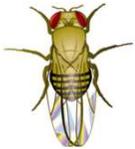
3) Expliquez l'intérêt du 2^{ème} croisement (entre F1 et l'individu double récessif).

Le croisement-test (avec un individu double récessif) permet de connaître les allèles portés par les gamètes de F1 car aucun allèle de ce parent récessif ne s'exprimera (sauf si l'autre allèle transmis est aussi récessif).

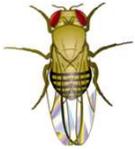
Ainsi, le 2^{ème} croisement permet de connaître indirectement les gamètes fabriqués par les individus F1 donc d'étudier les caractéristiques de ses méioses.

4) Pour les 2 cas, quels sont les pourcentages de chaque phénotype que l'on devrait observer en F2 ?

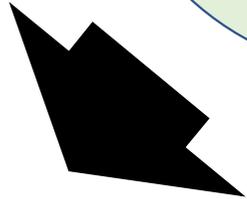
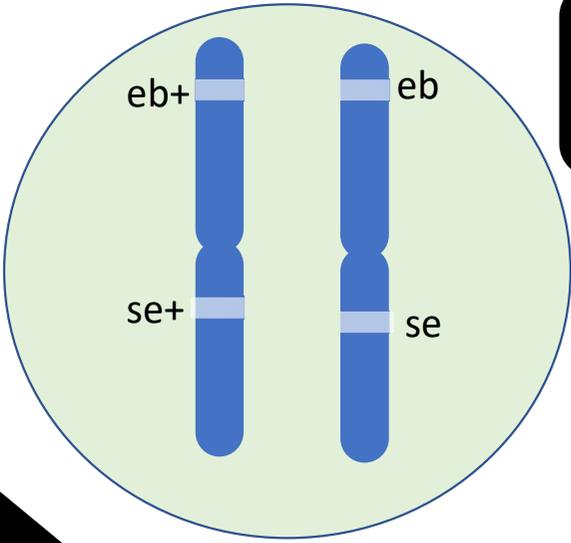
-(cas 1) que les 2 gènes étudiés sont localisés sur des chromosomes **différents**

		F1 - Gamètes ♀			
		eb+;se+	eb;se	eb+;se	eb;se+
F0 Gamètes ♂	eb; se	(eb+//eb ; se+//se) 25% 	(eb//eb ; se//se) 25% 	(eb+//eb ; se//se) 25% 	(eb//eb ; se+//se) 25% 

-(cas 2) que les 2 gènes étudiés sont localisés sur le **même** chromosome

		F1 - Gamètes ♀	
		eb+;se+	eb;se
F0 Gamètes ♂	eb; se	(eb+//eb ; se+//se) > à 25% 	(eb//eb ; se+//se) > à 25% 

Cellule somatique



Méiose

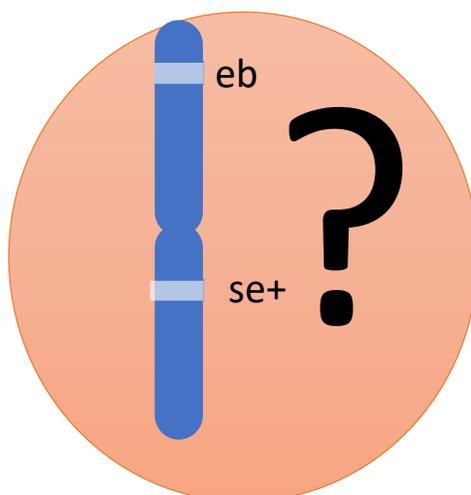
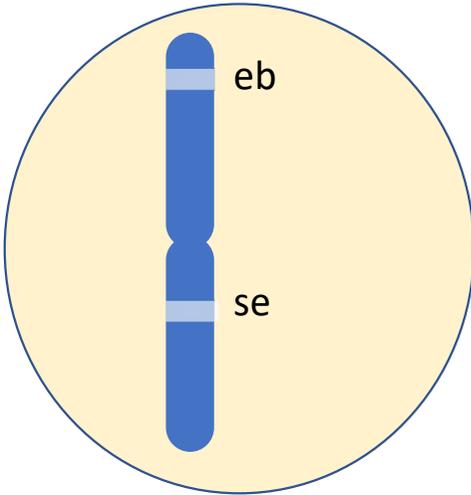
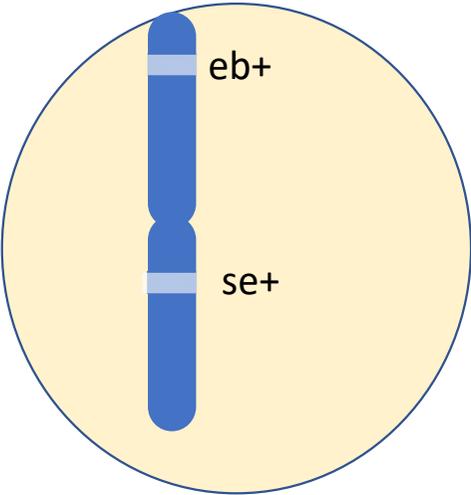
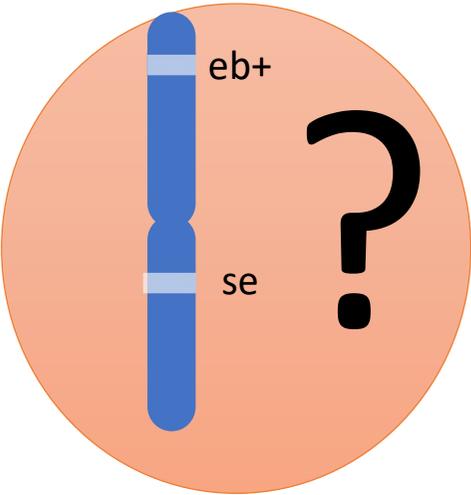
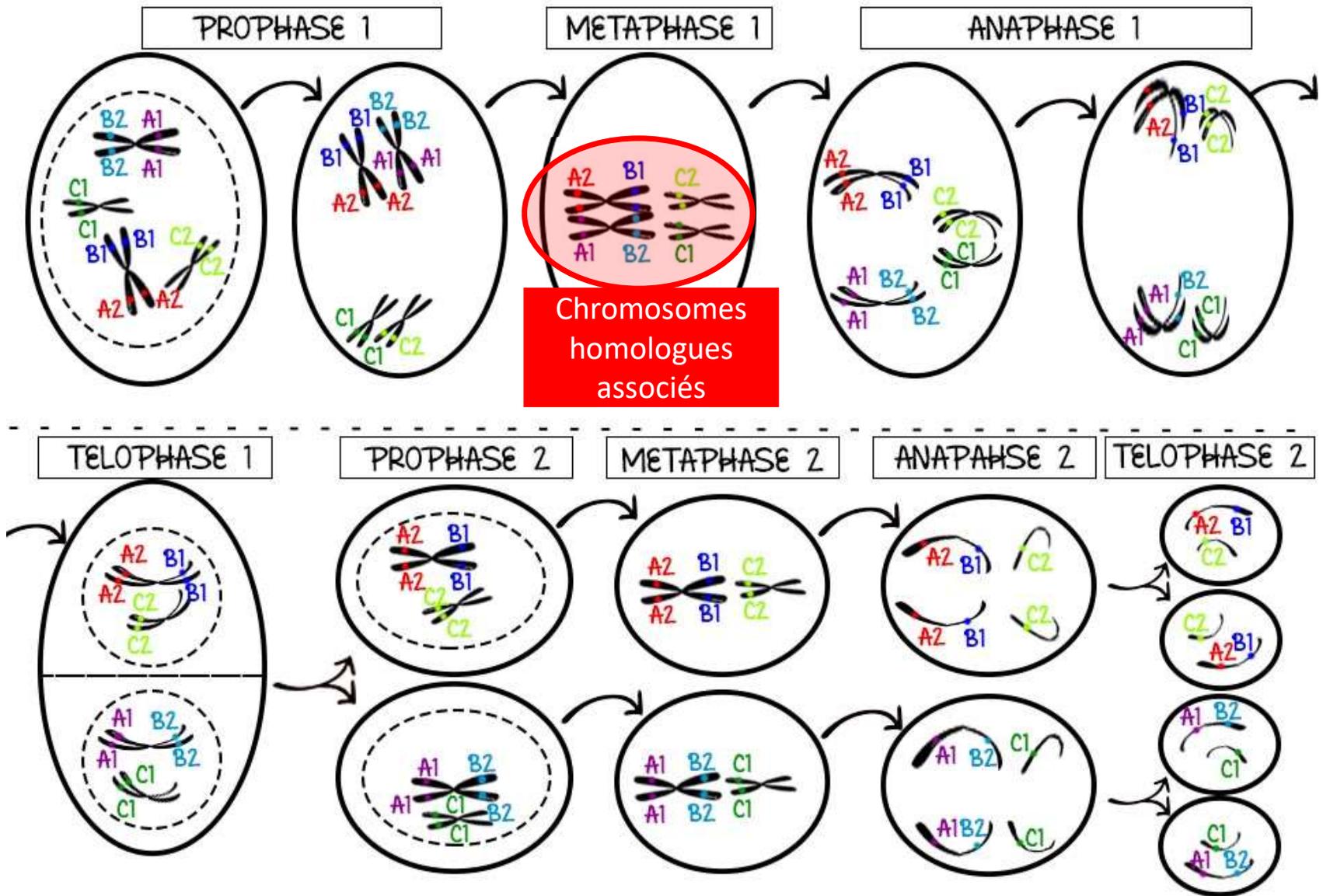


Schéma des différentes étapes de la méiose

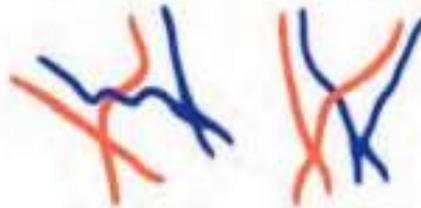


Au cours de la prophase de la première division de méiose, les chromosomes homologues sont étroitement appariés, et leurs chromatides s'entremêlent. Ces zones de contact sont appelées chiasmas. Des portions de chromatides et les allèles qu'elles portent peuvent alors s'échanger d'un chromosome à l'autre : ce phénomène est appelé « crossing-over » et donne naissance à des recombinaisons alléliques.

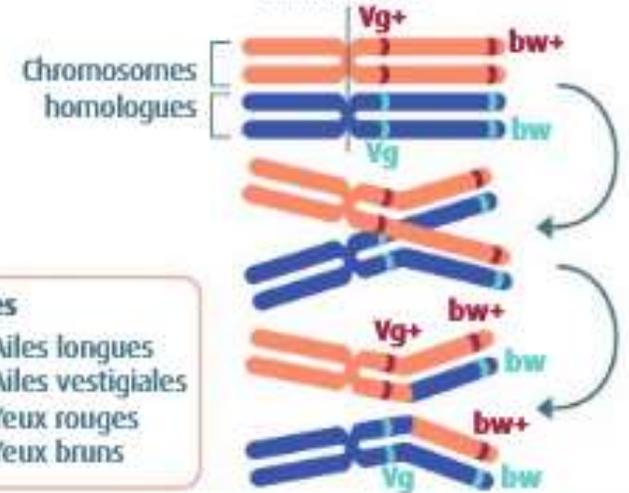
Photo de chromosomes en fin de prophase I de méiose



Schéma d'interprétation

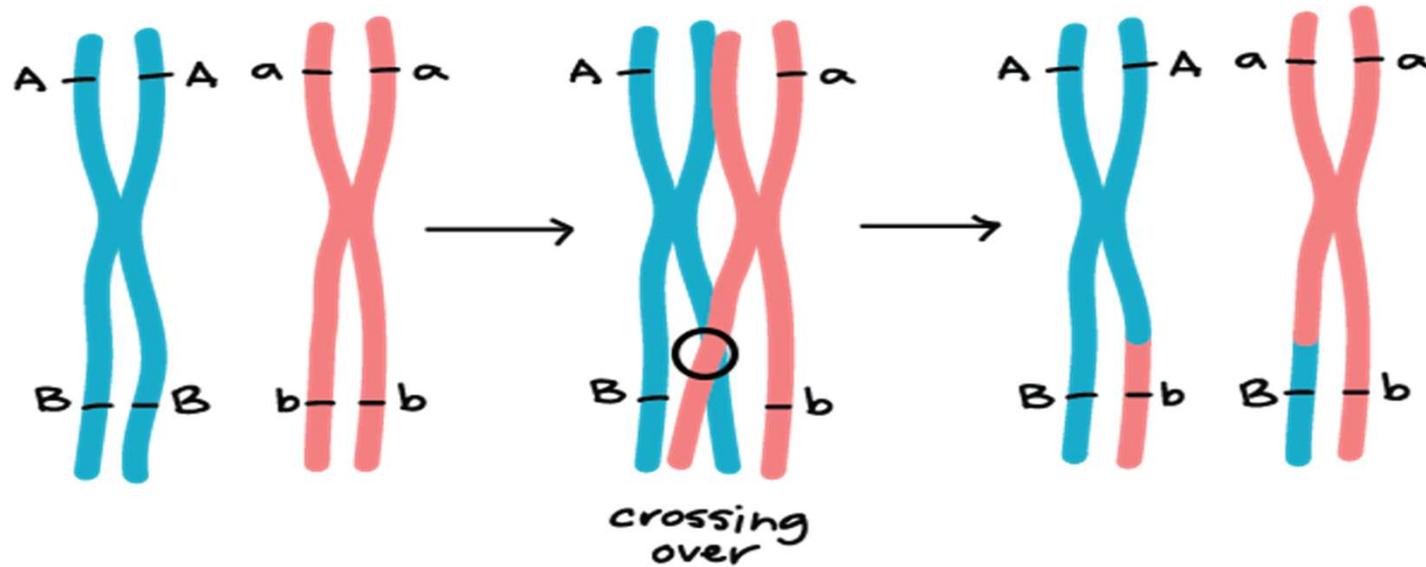


Mécanisme et résultat du crossing-over



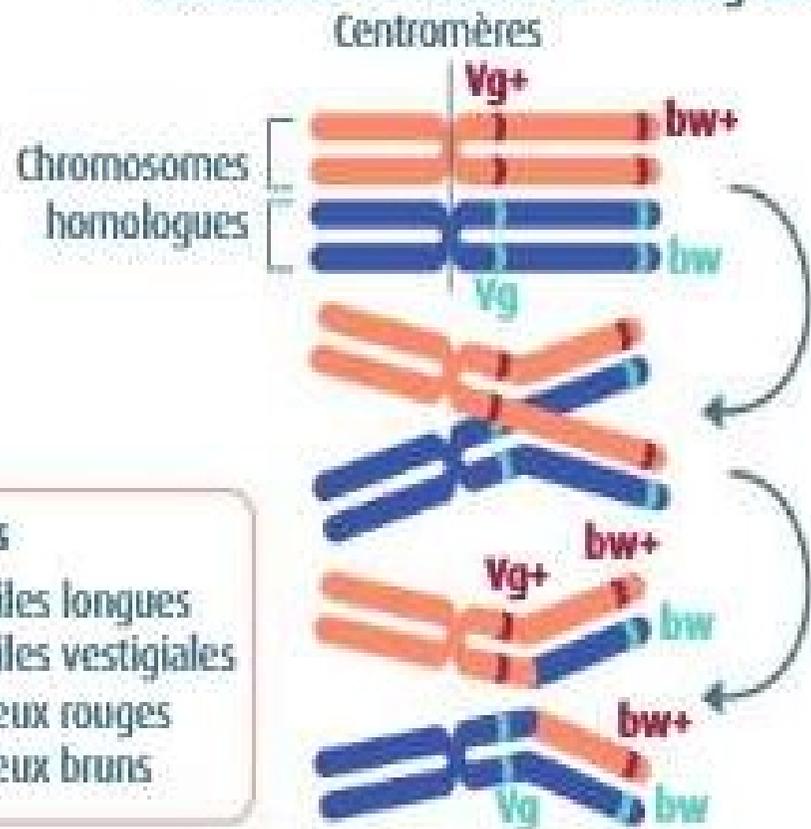
3 Observation des chromosomes en fin de prophase I de méiose, schéma interprétatif et mécanisme explicatif.

Schéma d'un crossing-over ou enjambement



○ le cercle désigne la position d'un chiasma : zone de contact entre deux chromatides de deux chromosomes homologues

Mécanisme et résultat du crossing-over



Au moment de la prophase 1 de méiose, on observe des crossing-over (=enjambement), c'est-à-dire des **croisements entre chromatides de chromosomes homologues**. Ces croisements engendrent des échanges de portions de chromatides donc de gènes. Ainsi des chromatides comportent de nouvelles combinaisons d'allèles (ex : vg-,bw+) et sont dites **recombinées**.
(...)

Bilan question 4

4) Pour les 2 cas, quels sont les pourcentages de chaque phénotype que l'on devrait observer en F2 ?

-(cas 1) que les 2 gènes étudiés sont localisés sur des **chromosomes différents**

Un individu F1 peut fabriquer des gamètes (eb+,se+), (eb+,se), (eb,se+) et (eb,se) et la parent récessif ne fabrique que des gamètes (eb,se).

Comme chaque rencontre a autant de probabilités de se produire, chaque phénotype de F2 est équiprobable : 25% de chaque type : 25% de [eb+,se+], 25% de [eb+,se], 25% de [eb,se+] et 25% de [eb,se]

-(cas 2) que les 2 gènes étudiés sont localisés sur le **même chromosome**

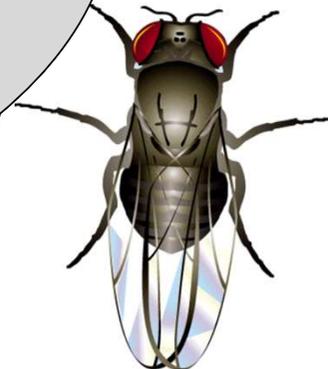
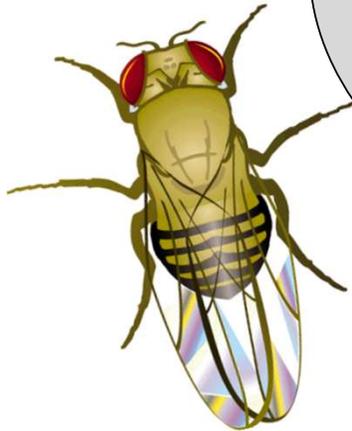
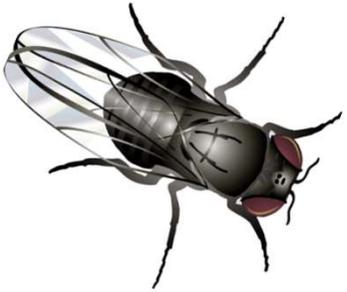
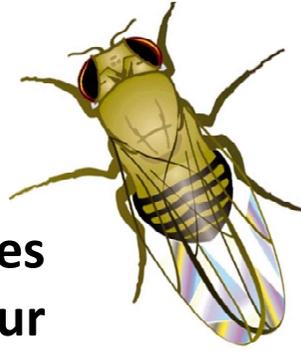
Un individu F1 peut fabriquer principalement des gamètes (eb+,se+) et (eb,se). A chaque méiose, il y aura beaucoup de gamètes de ces deux types donc la population de F2 serait composée de plus de 25 % de [eb+,se+] et plus de 25% de [eb,se]. Un individu F1 peut aussi fabriquer des gamètes (eb+,se) et (eb,se+). A chaque méiose, il y aura quelques gamètes de ces deux types donc la population de F2 serait composée de moins de 25 % de [eb+,se] et moins de 25% de [eb,se+].

Position des gènes sur les chromosomes	Les gènes sont portés par 2 <u>chromosomes différents</u>	Les gènes sont portés par le <u>même chromosome</u>
Nature du lien entre les gènes étudiés (liés ou indépendants)	Les 2 caractères / les 2 gènes sont indépendants	Les 2 caractères / les 2 gènes sont liés
Résultats théoriques attendus	Résultats attendus : Les proportions <u>théoriques</u> des 4 phénotypes de la F2 sont de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{4}$. Ils sont équiprobables .	Résultats attendus : Les proportions <u>théoriques</u> des 4 phénotypes de la F2 sont non équiprobables avec les phénotypes parentaux supérieurs à $\frac{1}{4}$ et les phénotypes recombinés inférieurs à $\frac{1}{4}$
Moment de la méiose où a lieu ce brassage	Pendant la métaphase 1	Pendant la prophase 1

Bilan : Tableau de comparaison des brassages de la méiose augmentant la diversité des gamètes (caractéristiques et résultats attendus)

Etape 1

On cherche à déterminer chez la *Drosophile* si les deux gènes responsables de la couleur du corps et de la couleur des yeux sont sur le même chromosome ou sur deux chromosomes différents.



- 1) Ce que je fais
- 2) Comment je fais
- 3) Les résultats attendus

Etape 1

On cherche à déterminer chez la *Drosophile* si les deux gènes responsables de la couleur du corps et de la longueur des ailes sont sur le même chromosome ou sur deux chromosomes différents.

On observe les phénotypes des *Drosophiles* sur plusieurs générations (Parents, F1 et F2 issus d'un test-cross).

On réalise des croisements entre des *drosophiles* dont le génotype est connu. On observe et on compte la répartition des combinaisons de caractères chez les descendants du test-cross (F2).

S'il y a une proportion de 25%/25%/25%/25% des phénotypes en F2, alors les gènes se répartissent aléatoirement (au hasard), donc ils sont indépendants, c'est-à-dire sur des chromosomes différents.

Sinon, les gènes sont liés.

1) Ce que je fais

2) Comment je fais

3) Les résultats attendus

Etape 2

Le matériel

Une plaque de drosophiles F2 (et des plaques de parents et/ou de F1) à observer à la loupe



Le logiciel MESURIM (et sa fiche technique) permettant de faire des comptages

Etape 3

A vous de jouer

Image Comparer Analyser
Mesurer Compter Dessiner

Clic gauche pour placer une marque.
Clic droit sur une marque pour la supprimer.

Taille (rayon) de la marque : 6 px

	Nom de cette catégorie	Nb de marques	
●	[eb;se+]	10	🗑️
●	[eb+;se+]	28	🗑️
◆	[eb+,se]	5	🗑️
○	[eb;se]	26	🗑️
⊕	Ajouter une nouvelle catégorie		

Enfoncer la molette (comme un bouton), ou Maj+bouton gauche pour déplacer l'image.
Faire rouler la molette pour zoomer/dézoomer.

Plaques de drosophiles (eb,se) F1BC #1

zoom=47% x=228 y=341

Crédits photographiques : CC BY-NC-SA Frédéric Labaune
Mesurim 2, v1.62 (cache : 162.0), CC BY-NC-SA, P. Cosentino

Etape 3

F1

Image Comparer Analyser
Mesurer Compter Dessiner
Profil Pipette Informations

Auteur : Frédéric Labaune

Propriétés de l'image :

Nom du fichier : drosophiles-eb-se-f1.jpg
Dimensions : 2136 x 1216 px
Nombre de pixels : 2597376 px

Métadonnées EXIF :

Auteur de l'image : FREDLAB-labaune.frederic@gmail.com
Date de prise de vue : 2014:10:06 16:41:16
Dernier logiciel utilisé : Adobe Photoshop CS6 (Macintosh)
Marque de l'appareil : NIKON CORPORATION (modèle : NIKON D700)
Flash : Flash did not fire
Longueur focale : 60mm
Temps d'exposition : 0,016667s (1/60)
Sensibilité : 200 ISO
Ouverture : 6,9189 (6918863/1000000)
Nombre d'ouverture : f/11
Balance des blancs : Auto white balance

Enfoncer la molette (comme un bouton), ou Maj+bouton gauche pour déplacer l'image.
Faire rouler la molette pour zoomer/dézoomer.



zoom=38%

Plaque de drosophiles (eb,se) F1

Crédits photographiques : CC BY-NC-SA Frédéric Labaune
Mesurim 2, v1.62 (cache : 162.0), CC BY-NC-SA, P. Cosentino

Etape 3

Image Comparer Analyser
Mesurer Compter Dessiner

Clic gauche pour placer une marque.
Clic droit sur une marque pour la supprimer.

Taille (rayon) de la marque : 6 px

		Nom de cette catégorie	Nb de marques	
<input type="radio"/>	■	[eb;se+]	10	🗑️
<input type="radio"/>	●	[eb+;se+]	28	🗑️
<input type="radio"/>	◆	[eb+,se]	5	🗑️
<input type="radio"/>	●	[eb;se]	26	🗑️
<input type="radio"/>	Ajouter une nouvelle catégorie			

Enfoncer la molette (comme un bouton), ou Maj+bouton gauche pour déplacer l'image.
Faire rouler la molette pour zoomer/dézoomer.

Plaques de drosophiles (eb,se) F1BC #1

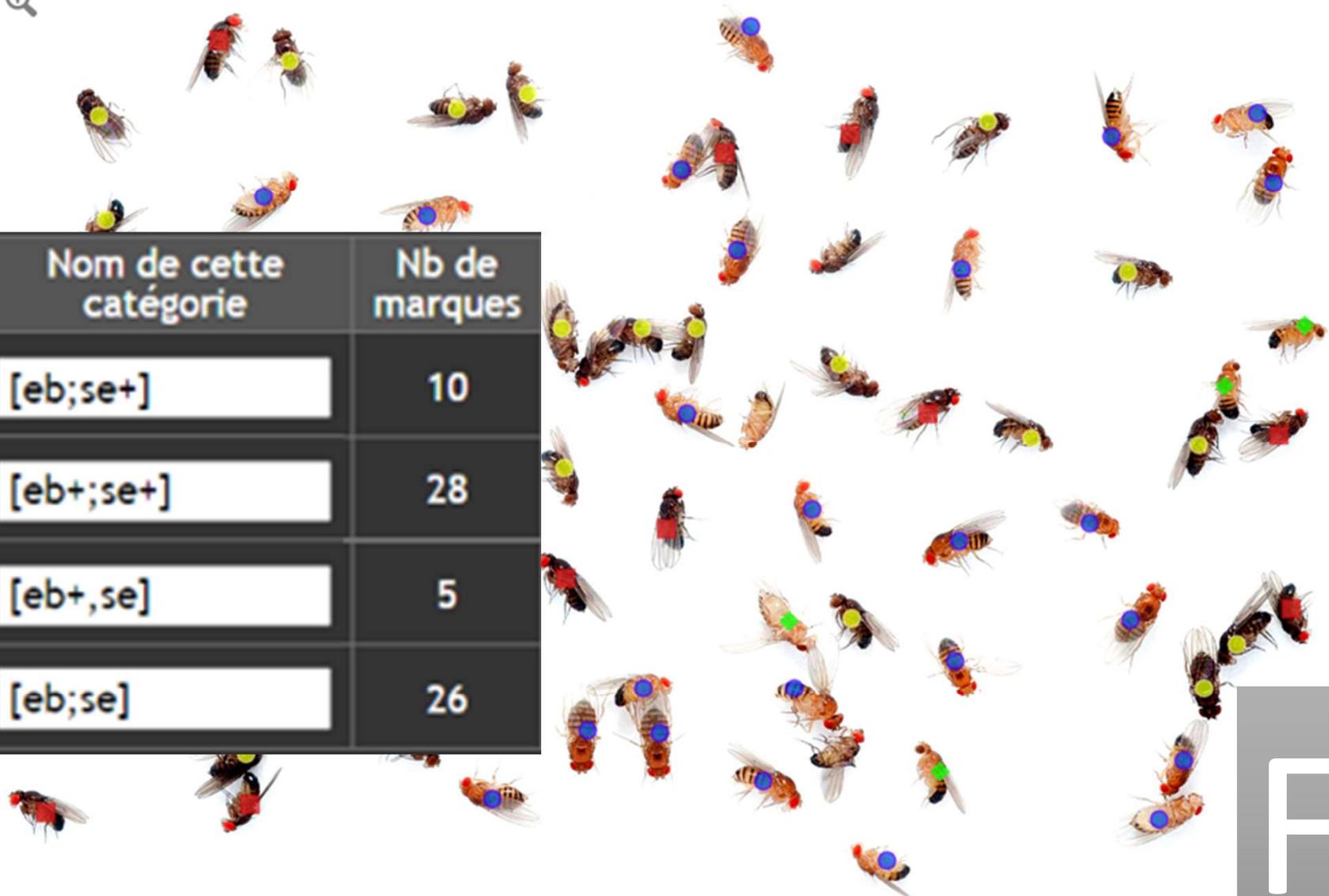
zoom=47% x=228 y=341

Crédits photographiques : CC BY-NC-SA Frédéric Labaune
Mesurim 2, v1.62 (cache : 162.0), CC BY-NC-SA, R. Cosentino

F2

Etape 3

		Nom de cette catégorie	Nb de marques
<input type="radio"/>	■	[eb;se+]	10
<input type="radio"/>	●	[eb+;se+]	28
<input type="radio"/>	◆	[eb+,se]	5
<input type="radio"/>	●	[eb;se]	26



F2

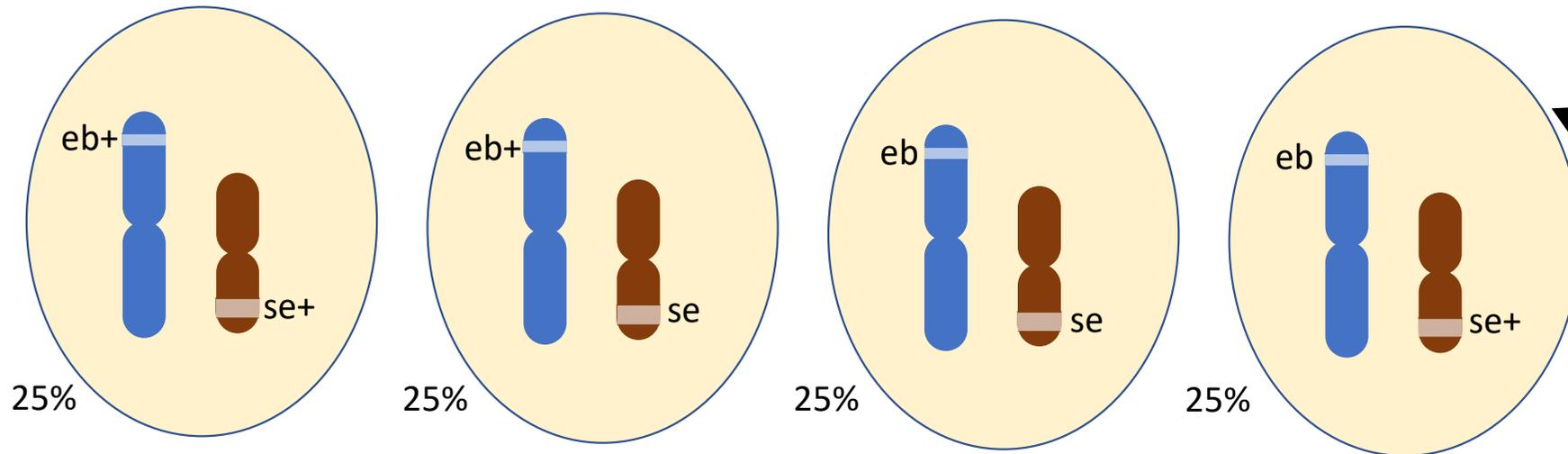
Etape 3 - Présentation des résultats sous forme de tableau de croisement

- *Quels sont les gamètes produits par chaque individu du test-cross ?*

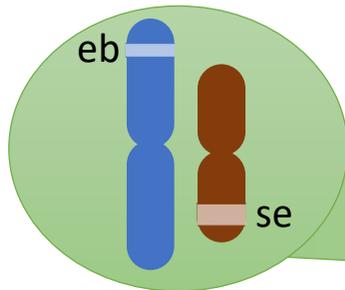
- *Quels sont les résultats théoriques puis observés des fécondations possibles entre ces gamètes -> A présenter sous forme de tableau (dit échiquier) de croisement*

Etape 3 - Présentation des résultats sous forme de tableau de croisement

➤ Quels sont les gamètes produits par chaque individu du test-cross ?



Les ovocytes fabriqués par les mouches F1 sont de 4 génotypes possibles



Les spermatozoïdes fabriqués par les mouches Pr (parent récessif) sont d'un seul génotype possible

Etape 4

Tableau dit échiquier de croisement du test-cross (F1 x parent double récessif) des Drosophiles étudiées

Tableau de croisement

Gamète F1		(;)	(;)	(;)	(;)
	Gamète Pr				
(;)					
	Génotype F2				
	Phénotype F2				
	Résultats théoriques				
	Résultats observés				

Présentation des résultats expérimentaux

Etape 4

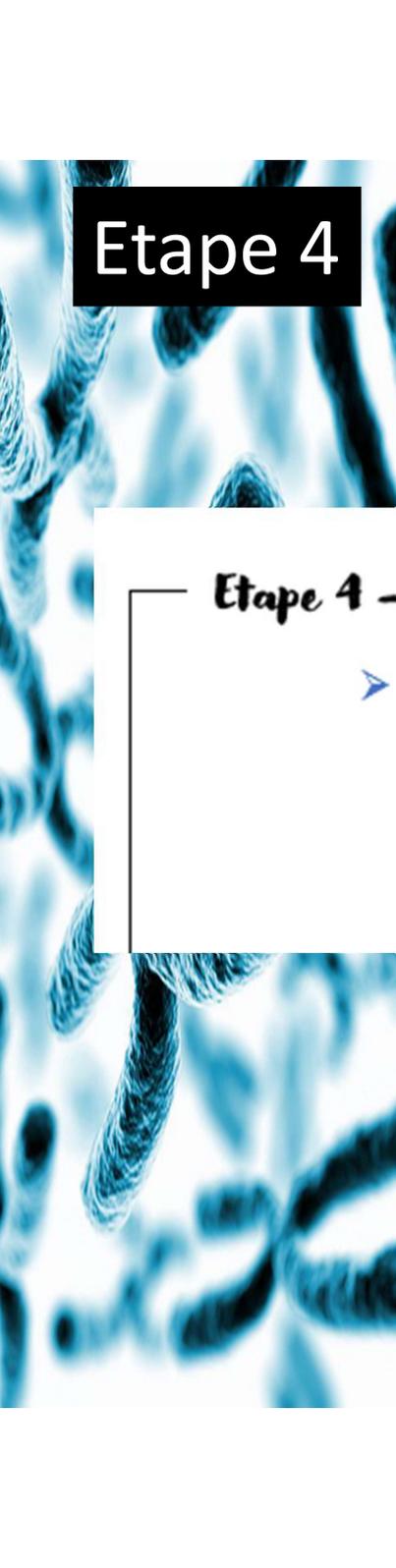
Tableau dit échiquier de croisement du test-cross (F1 x parent double récessif) des Drosophiles étudiées

		Gamète F1			
		(eb+ ; se+)	(eb+ ; se)	(eb ; se+)	(eb ; se)
Tableau de croisement	Gamète Pr				
	(eb ; se)				
Génotype F2					
Présentation des résultats expérimentaux	Phénotype F2				
	Résultats théoriques				
	Résultats observés				

Etape 4

Tableau dit échiquier de croisement du test-cross (F1 x parent double récessif) des Drosophiles étudiées pour les gènes Ebony et Sepia

Gamète F1 Gamète Pr	(eb+ ; se+)	(eb+ ; se)	(eb ; se+)	(eb ; se)
(eb ; se)	(eb+,se+//eb,se)	(eb+,se//eb,se)	(eb,se+//eb,se)	(eb,se//eb,se)
Génotype F2	<i>ou</i> (eb+//eb; se+//se)	<i>ou</i> (eb+//eb; se//se)	<i>ou</i> (eb//eb; se+//se)	<i>ou</i> (eb//eb; se//se)
Phénotype F2	[eb+ se+]	[eb+ se]	[eb se+]	[eb se]
Résultats théoriques <i>si les gènes sont sur des chromosomes différents</i>	25 %	25 %	25 %	25 %
Résultats observés	41 % <i>28 individus</i>	7 % <i>5 individus</i>	14% <i>10 individus</i>	38% <i>26 individus</i>

A blue-tinted microscopic image of chromosomes, showing several X-shaped structures. A black box with the text 'Etape 4' is overlaid on the top left.

Etape 4

On cherche à déterminer chez la *Drosophile* si les deux gènes responsables de la couleur du corps et de la longueur des ailes sont sur le même chromosome ou sur deux chromosomes différents.

Etape 4 – Proposez une réponse cohérente et justifiée

- *Pensez à exploiter vos résultats (je vois que), des connaissances (je sais que) et vos déductions (j'en déduis que)*

Etape 4

On cherche à déterminer chez la *Drosophile* si les deux gènes responsables de la couleur du corps et de la longueur des ailes sont sur le même chromosome ou sur deux chromosomes différents.

Je vois que les résultats observés parmi les individus F2 issus du test-cross sont éloignés de 25% de chaque phénotype, avec deux phénotypes parentaux majoritaires et deux phénotypes recombinés minoritaires.

Je sais que lorsque les proportions des phénotypes de la génération F2 sont **équiprobables** (et proches de 25%) alors cela signifie que les 2 gènes étudiés sont **indépendants**, c'est-à-dire localisés sur **2 chromosomes différents**. Si les proportions de F2 ne sont **pas équiprobables**, alors les deux gènes sont **liés** sur le **même chromosome**.

J'en déduis que le gène de la couleur de corps étudié se situe sur le même chromosome que le gène de la couleur des yeux : les 2 gènes sont liés.

Etape 5

Thomas Morgan



Histoire des sciences

Alfred Henry Sturtevant (1891 - 1970) était un généticien américain drosophiliste, connu notamment pour avoir construit la première carte génétique d'un chromosome en 1913. Tout au long de sa carrière, il a travaillé dans l'équipe de **Thomas Hunt Morgan** sur la *Drosophila melanogaster* (mouche du vinaigre).

La distance génétique est la distance qui sépare deux gènes sur un même chromosome. Sturtevant a déterminé l'équation qui permet de déterminer cette distance :

La distance génétique se calcule à partir de la fréquence de recombinaison (f_r), égale à :

$$f_r = \frac{r}{n}$$

avec r = nombre d'individus avec un génotype recombiné* et n = nombre total d'individus

L'unité de distance génétique est le CentiMorgan (cM) en l'honneur de Morgan. Elle correspond à un segment de chromatide sur lequel la probabilité qu'un crossing-over s'effectue est de 1 %.

Par exemple, pour deux gènes si le $f_r = 9,2\%$ alors la distance entre les deux gènes est de 9.2 cM.

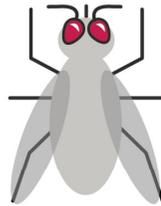
Remarque : plus la distance entre deux gènes est grande plus il y a de probabilité de crossing-over entre ces deux gènes et donc de génotypes recombinés.

**Un génotype recombiné est un génotype qui n'existe pas chez un des deux parents mais qui est issu d'une combinaison nouvelle d'allèles (certains issus du père, d'autres de la mère). On peut aussi parler de phénotype recombiné.*

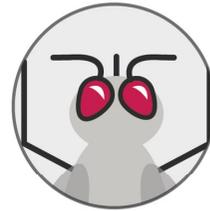
Forme sauvage



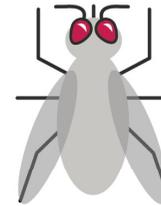
Antennes
longues



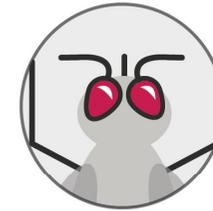
Corps
gris



Yeux
rouges

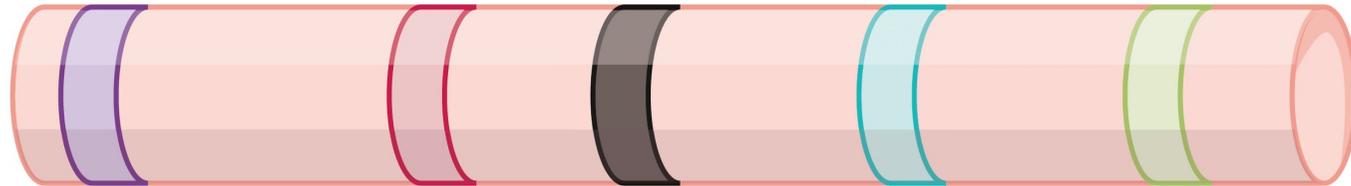


Ailes
normales



Yeux
rouges

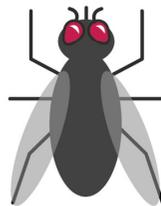
Chromosome



Forme rare



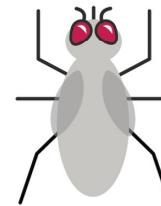
Antennes
courtes



Corps
noir



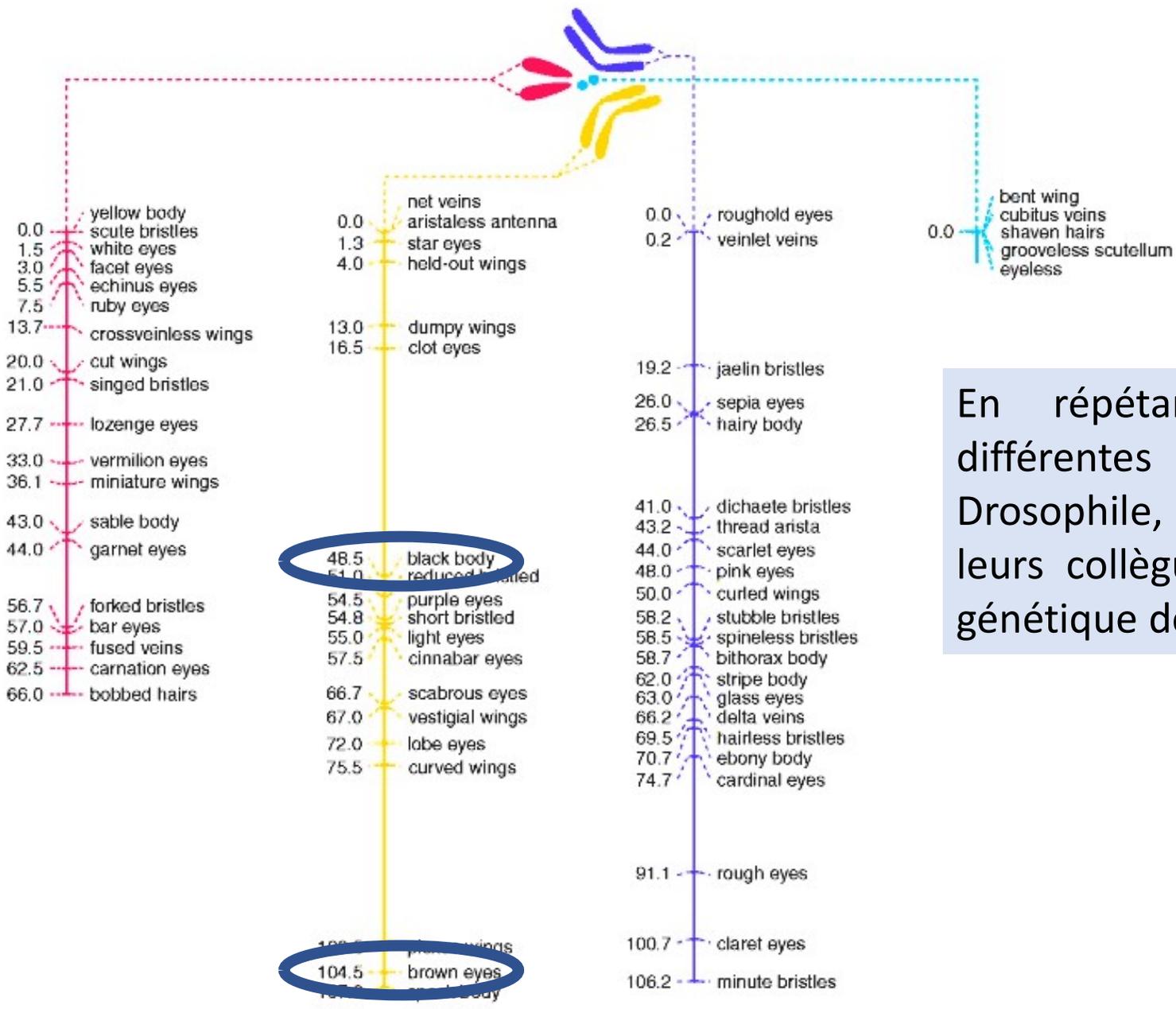
Yeux
cinnabars
(rouge orangé)



Ailes
vertigiales
(courtes)



Yeux
marrons



En répétant les tests-cross pour différentes paires de gènes chez la *Drosophile*, Sturtevant et Morgan et leurs collègues ont pu établir la carte génétique de la *Drosophile*.

Type de brassage	1 ^{er} cas : Brassage inter chromosomique	2 ^{ème} cas : Brassage intra chromosomique
Position des gènes sur les chromosomes	Les gènes sont portés par 2 <u>chromosomes différents</u>	Les gènes sont portés par le <u>même chromosome</u>
Nature du lien entre les gènes étudiés (liés ou indépendants)	Les 2 caractères / les 2 gènes sont indépendants	Les 2 caractères / les 2 gènes sont liés
Résultats théoriques attendus	Résultats attendus : Les proportions <u>théoriques</u> des 4 phénotypes de la F2 sont de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{4}$. Ils sont équiprobables .	Résultats attendus : Les proportions <u>théoriques</u> des 4 phénotypes de la F2 sont non équiprobables avec les phénotypes parentaux supérieurs à $\frac{1}{4}$ et les phénotypes recombinés inférieurs à $\frac{1}{4}$
Moment de la méiose où a lieu ce brassage	Pendant la métaphase 1	Pendant la prophase 1

Bilan : Tableau de comparaison des brassages de la méiose augmentant la diversité des gamètes (caractéristiques et résultats attendus)