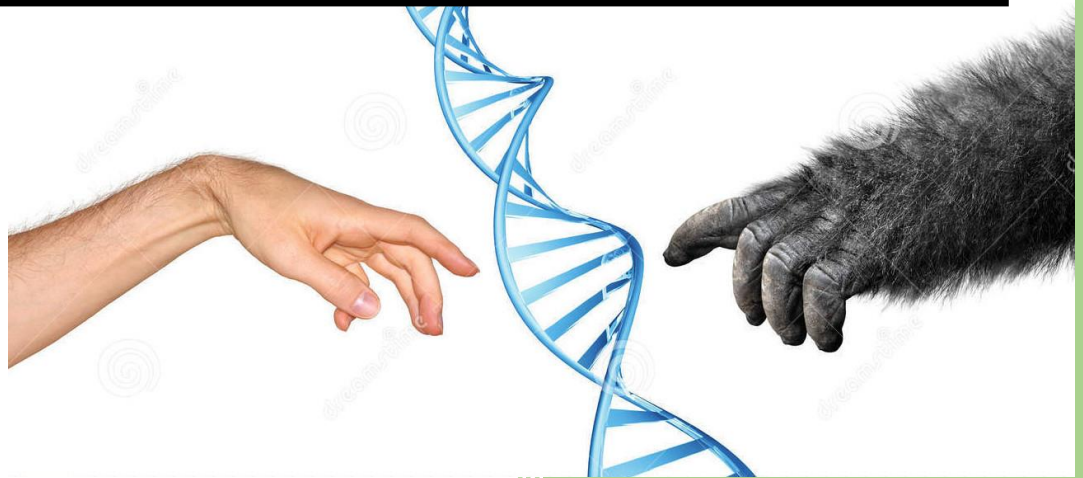


THEME 3

GENETIQUE ET  
EVOLUTION

# Chapitre 6 – Le brassage génétique et la diversité des génomés dans une espèce



Pauline Alméras  
2019-2020

## Table des matières

### *CHAPITRE 6 – LE BRASSAGE GENETIQUE ET LA DIVERSITE DES GENOMES DANS UNE ESPECE*

I – Reproduction sexuée et stabilité de l'espèce.....	2
A – Deux types de cellules.....	2
B – Reproduction sexuée et cycle de vie.....	4
II – La méiose et la formation des gamètes .....	5
III – Méiose et brassage génétique .....	6
A – Étude de la transmission d'un gène unique.....	6
B – Le brassage interchromosomique.....	8
C – Le brassage intrachromosomique.....	11
Point Méthodologie :.....	13
IV – Les anomalies de la méiose.....	16
A - Duplications et familles multigéniques.....	16
1 – Une approche de l'histoire d'une famille multigénique.....	16
2 – Duplication et méiose.....	16
B – Des caryotypes anormaux .....	17
V – Fécondation et diversité des zygotes.....	18
Conclusion : .....	20

# Chapitre 6 – Le brassage génétique et la diversité des génomes dans une espèce

Chaque espèce possède un ensemble de caractéristiques particulières : tous les individus d'une espèce (sauf cas particulier, comme la trisomie) possèdent un même **caryotype** (« cartographie » des chromosomes d'une cellule) et les mêmes gènes.

Néanmoins, chaque individu issu de la reproduction sexuée possède des caractéristiques qui lui sont propres, du fait d'une combinaison unique d'allèles.

Dans ce chapitre, nous allons chercher à comprendre comment la reproduction sexuée peut assurer à la fois la stabilité du caryotype d'une espèce et la diversité des individus qui la composent.

## I – Reproduction sexuée et stabilité de l'espèce

**Quels mécanismes de la reproduction sexuée permettent d'assurer la stabilité du caryotype et donc des caractères d'une espèce ?**

### A – Deux types de cellules

Les cellules germinales correspondent aux cellules impliquées dans la reproduction sexuée. Les autres cellules de l'organisme sont qualifiées de **cellules somatiques**.

➔ **Comparaison des caryotypes.**

#### Caryotypes humains

Cellules somatiques



Cellules germinales



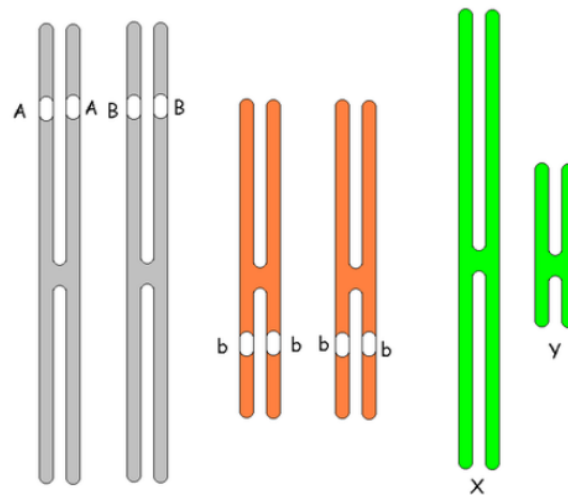
*Dégagez les similitudes et les différences de caryotypes dans les deux types de cellules.*

- Points communs

On constate que dans toutes les cellules humaines, il y a 23 sortes de chromosomes : 22 autosomes (chromosomes non sexuels), + chromosomes sexuels.

- Spécificités

1 - Dans les cellules somatiques, les chromosomes peuvent se regrouper en paires. Les chromosomes d'une même paire sont qualifiés de **chromosomes homologues**. Ils portent les mêmes gènes, mais des allèles qui peuvent être différents.



*Rappel de 1<sup>e</sup> S : Début de cycle cellulaire -> chromosomes avec une seule chromatide.*

*Après la réplication -> chromosomes avec 2 chromatides **strictement identiques**.*

**Attention : dans une cellule somatique, les chromatides d'un chromosome sont identiques (car issues de la réplication).**

De telles cellules sont qualifiées de **diploïdes**. Leur **formule chromosomique** est  $2n = 46$ .

$n$  = sortes de chromosomes différents, 2 = nombre d'exemplaire de chaque sorte, 46 = nombre total de chromosomes dans la cellule.

*Remarque : le nombre de chromatides n'intervient pas dans la formule chromosomique.*

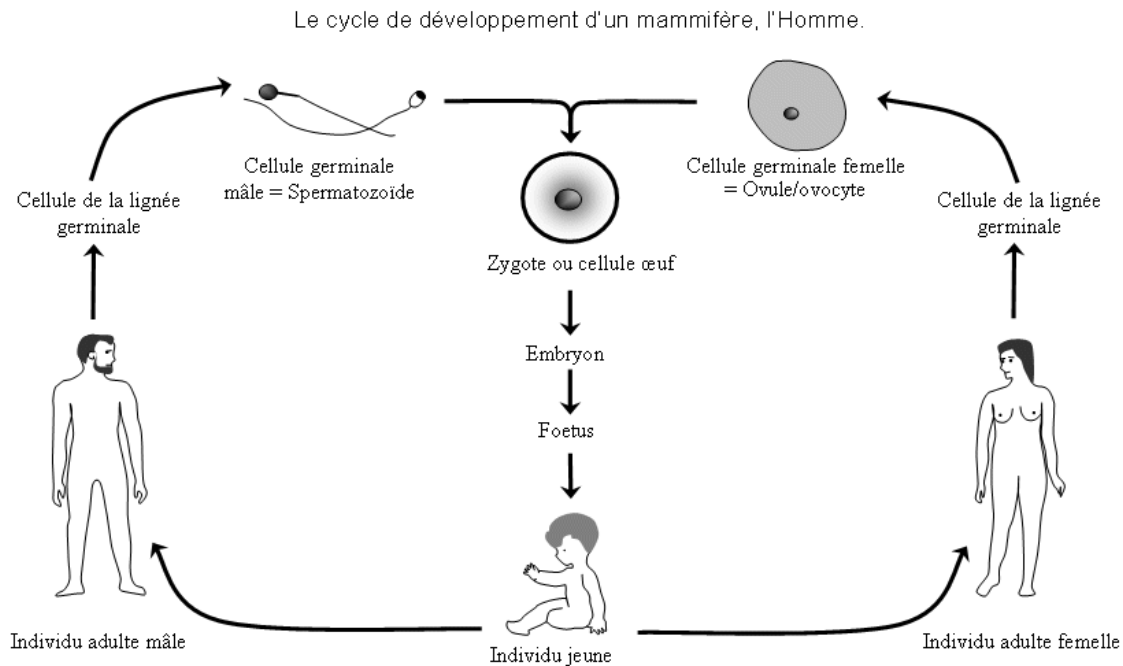
*Remarque 2 : les chromosomes sexuels sont considérés comme une seule sorte de chromosomes, même s'il y a un X et un Y.*

2 - Dans les cellules germinales (= gamètes), chaque sorte de chromosome n'est présente qu'en un seul exemplaire. Ces cellules sont qualifiées d'**haploïdes**. Leur formule chromosomique est  $n = 23$ .

## B – Reproduction sexuée et cycle de vie

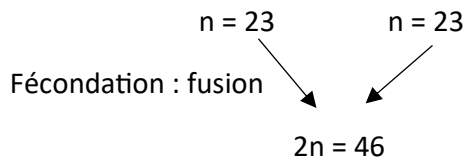
→ Etude du cycle de vie et identification des phases.

### Cycle de vie de l'Homme



- Colorez en jaune les phases haploïdes, et en rouge les phases diploïdes (hors cellules particulières).
  - Indiquez par un astérisque vert sur le cycle l'emplacement des mécanismes permettant de passer d'une phase à l'autre. Notez le nom de ces phénomènes si vous les connaissez (vous en connaissez au moins un !)
- > Positionner fécondation et méiose

La fécondation correspond à la fusion de 2 gamètes haploïdes. Elle entraîne la formation d'une cellule-œuf = zygote, qui est diploïde. Suite à de nombreuses mitoses, elle donnera un organisme diploïde.



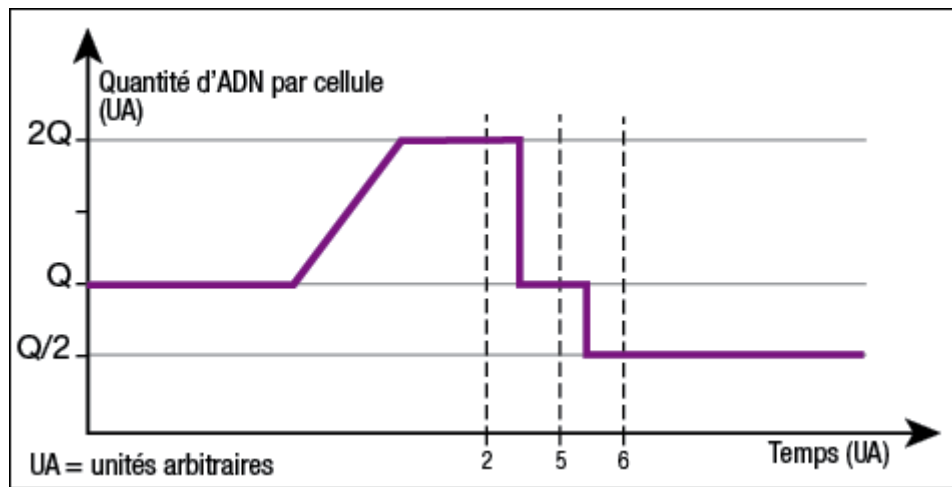
Lors de la production des gamètes, la **méiose** permet la production de 4 cellules haploïdes à partir d'une cellule diploïde.

Cellule mère de la lignée germinale à  $2n = 46$  -> 4 gamètes à  $n = 23$

**L'alternance de la méiose et de la fécondation au cours de la reproduction sexuée permet de conserver la stabilité du caryotype de l'espèce.**

## II – La méiose et la formation des gamètes

*Comment la méiose permet-elle de passer de la phase diploïde à la phase haploïde ?*



Comme la mitose, la méiose est précédée d'une réplication. Elle débute donc avec des chromosomes ayant deux chromatides strictement identiques et qui vont par paires. En revanche, elle ne conserve pas l'information génétique puisque la quantité d'ADN par rapport à la cellule mère en début de cycle est divisée par deux.

La méiose comporte 2 divisions :

Lors de la 1<sup>ère</sup> division de méiose, il y a séparation des chromosomes homologues au moment de l'anaphase.

Lors de la deuxième division de la méiose ce sont les chromatides de chaque chromosome qui migrent aux pôles.

**Grâce à la succession de ses deux divisions très particulières, la méiose permet la formation de 4 gamètes haploïdes à partir d'une cellule mère diploïde.**

### III – Méiose et brassage génétique

Pour comprendre comment la méiose intervient dans la diversité des gamètes, on étudie des résultats de croisements entre individus.

#### A – Étude de la transmission d'un gène unique

##### Quels sont les enseignements apportés par les croisements ?



→ Etude à partir d'un exemple : la transmission de la couleur chez la souris

Le cas étudié par la suite est un exemple de **monohybridisme** : on étudie la transmission d'un seul caractère, ici la couleur du pelage de la souris.

##### Les enseignements des croisements : exemple de l'étude du pelage d'une souris

Pour étudier les transmissions des allèles, les laboratoires utilisent souvent des individus dont le génotype est connu et stable au cours des générations. Ceci implique que ces individus soient **homozygotes** pour le gène étudié. Ils sont dits de **lignée pure**, notée **P**.

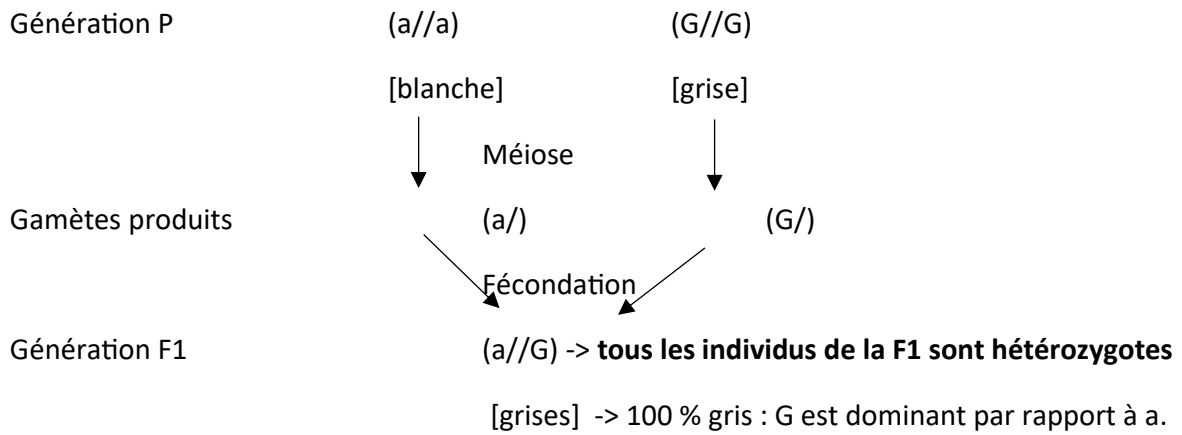
On souhaite étudier la transmission du caractère [couleur] chez la souris. Ce caractère est gouverné par un gène dont il existe deux allèles : a et G. On dispose des lignées suivantes :

Génération : P Phénotype : [albinos] Génotype : (a//a) 	Génération : P Phénotype : [grise] Génotype : (G//G) 
---	--

- 1- Proposez une expérience permettant d'établir les règles de dominance, récessivité ou codominance entre ces deux allèles.
- 2- Proposez une expérience permettant de déterminer le génotype d'une souris grise.

1 – Pour établir les règles de dominance, on peut croiser deux individus de lignées pures différentes. On appelle les descendants d'un tel croisement génération F1. Ils sont tous hétérozygotes pour le gène étudié.

*Rappel conventions d'écriture : génotype entre parenthèses, phénotype entre crochets.*



2 – On croise la souris x avec une souris albinos.

Gamètes produits par le parent récessif (albinos)	(a/)	(a/)
Gamètes produits par le parent testé (souris x)	(G/)	(/a)
Phénotypes observés chez les descendants	[gris] (50 %)	[albinos] (50 %)
Génotype des descendants	(G//a)	(a//a)

Ce qu'on sait    *Ce qu'on déduit*

Un **croisement-test**, ou **test-cross** est réalisé entre le parent à tester et un parent récessif de lignée pure (donc homozygote). Le parent récessif ne produit qu'un seul type de gamète.

1. En observant le phénotype des descendant, on peut donc déterminer leur génotype.
2. On en déduit quels sont les gamètes qui ont été produits par le parent testé (souris x).
3. Cela permet de déterminer le génotype du parent testé (souris x).



## B – Le brassage interchromosomique

### Comment se répartissent les chromosomes lors de la formation des gamètes ?

Pour le comprendre, on étudie la transmission de 2 gènes (cas de dihybridisme), chacun étant sur une paire de chromosomes différente.

#### TP 11 : Etude d'un brassage interchromosomique chez la drosophile

Hypothèses :

- Les chromosomes d'origine maternelle et les chromosomes d'origine paternelle sont répartis dans des gamètes différents (hypothèse de Camille).
- Les chromosomes d'origine maternelle et les chromosomes d'origine paternelle sont répartis de façon aléatoire (hypothèse de Paul).

*Explications des implications de chacune des hypothèses lors du TP.*

#### Etape 1 :

Pour commencer, il faut déterminer quels sont les allèles qui sont dominants et lesquels sont récessifs. Pour cela on observe le phénotype de la F1.

Dans un second temps, pour déterminer quels sont les allèles produits par la F1, on fait un croisement test entre la F1 et le parent double-récessif. Enfin on observe les phénotypes chez les descendants.

Si c'est Camille qui a raison, la F1 produit deux types de gamètes donc on pourra observer 2 types de phénotypes chez les descendants. Si c'est Paul qui a raison, la F1 produit 4 types de gamètes donc on pourra observer 4 types de phénotypes chez les descendants.

Etapes 3 et 4 : Faire attention à la présentation : tableau ou schéma correctement représentés, informations complètes, lisibles, titré... *Attention, pas de texte seul. Mais pas de schéma ni de tableau sans commentaire !*

- La F1 a pour phénotype [jaune, ailes longues]. Or elle a pour génotype (eb+//eb vg+//vg). On en déduit que eb+ est dominant sur eb, et vg+ est dominant sur vg. Le parent double-récessif est P2 : [ébène, ailes vestigiales].
- On étudie le résultat du croisement F1 x P2 pour déterminer les gamètes produits par la F1.

**Croisement F1 x P2**

Gamètes produits par le parent récessif (albinos)	(eb/ vg/)	(eb/ vg/)	(eb/ vg/)	(eb/ vg/)
Gamètes produits par le parent testé (souris x)	(eb+/ vg+/)	(eb+/ vg/)	(eb/ vg+/)	(eb/ vg/)
Phénotypes observés chez les descendants	[jaune, ailes longues]	[jaune, ailes vestigiales]	[ébène, ailes longues]	[ébène, ailes vestigiales]
Génotype des descendants	(eb+//eb vg+//vg)	(eb+//eb vg//vg)	(eb//eb vg+//vg)	(eb//eb vg//vg)

Ce qu'on sait *Ce qu'on déduit*

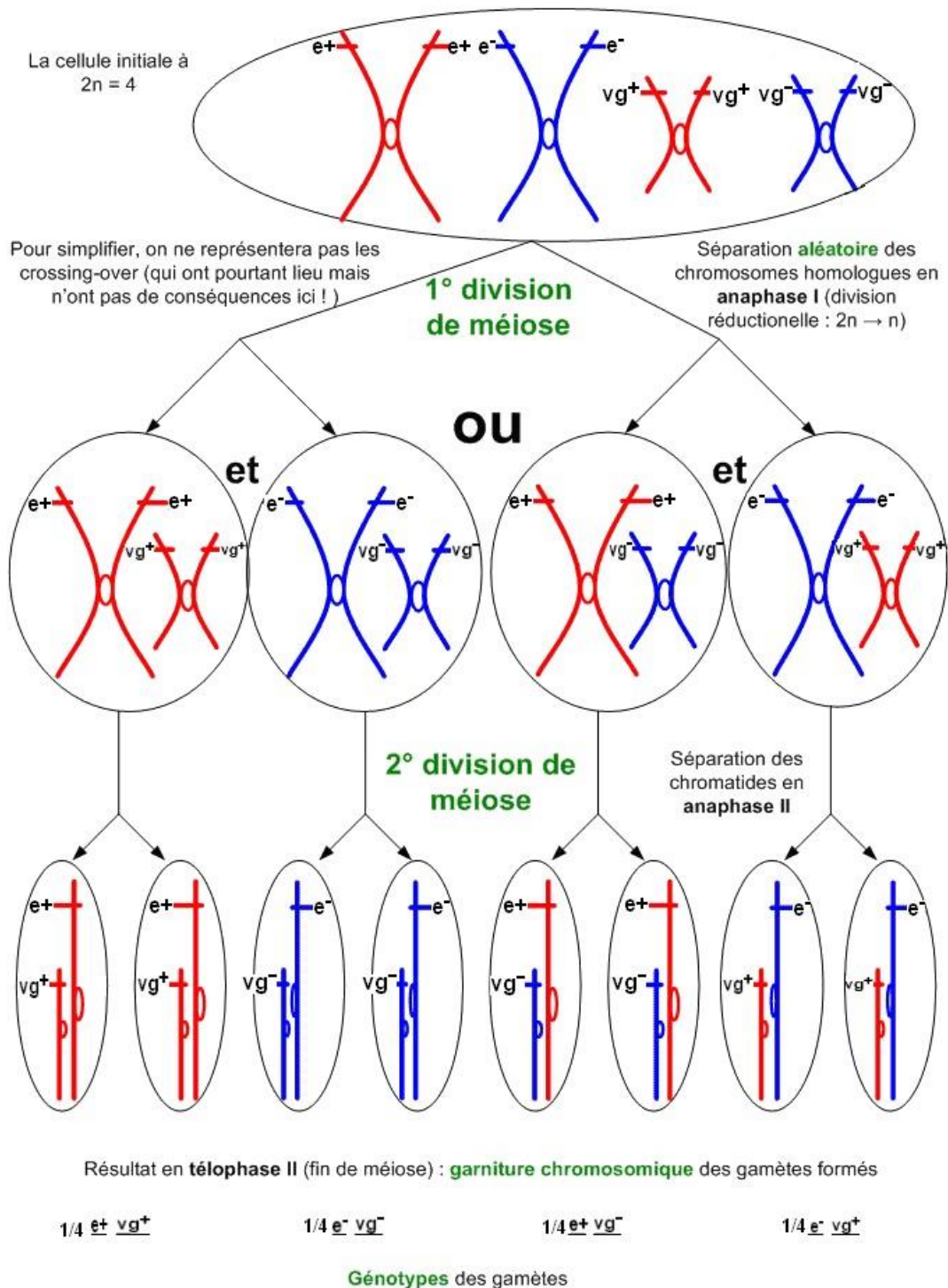
On observe 4 phénotypes différents à l'issue du croisement-test.

Le parent P2, double récessif, ayant produit uniquement des gamètes (vg/ eb/), on en déduit que les individus de F1 ont produit 4 types de gamètes : (vg+, eb+), (vg+, eb/), (vg/, eb+), (vg/, eb/).

C'est donc Paul qui a raison.

*Voir schéma du brassage interchromosomique page suivante : deux types de répartition des chromosomes sont possibles lors de la méiose.*

Les drosophiles de F1 produisent de nombreux gamètes, ce qui implique de nombreuses méioses. Les deux types de méioses ont lieu. Au final les drosophiles produisent 4 types de gamètes de façon équiprobable (25 % de chaque).



### Bilan du B

Lors de la méiose, les chromosomes de chaque paire se répartissent au hasard durant l'anaphase 1. On appelle cela le **brassage interchromosomique**.

Pour une cellule initiale à  $2n = 4$ , on peut former  $2^2 = 4$  gamètes différents. Pour une cellule initiale à  $2n=46$  (23 paires de chromosomes), le brassage interchromosomique peut mener à  $2^{23}$  soit plus de 8 millions de gamètes différents possibles. La répartition aléatoire des chromosomes de chaque paire lors de l'anaphase 1 de la méiose entraîne donc un fort brassage génétique.

## C – Le brassage intrachromosomique

→ Pages 22-23

Autres cas de dihybridisme = croisement impliquant deux caractères : longueur des ailes et couleur des yeux. On effectue un croisement P2 (double récessif) x F1 (double hétérozygote).

Les deux gènes impliqués sont situés sur la même paire de chromosomes : on dit qu'ils sont **liés**.

La couleur du corps chez la Drosophile est gouvernée par un gène dont on connaît deux allèles : l'allèle « b+ » qui détermine la couleur gris-jaune du corps, et l'allèle « b » qui détermine la couleur noire du corps. L'allèle « b+ » est dominant sur l'allèle « b ».

La longueur des ailes est gouvernée par un gène dont on connaît deux allèles : l'allèle « vg+ » qui détermine la présence d'ailes longues et l'allèle « vg » qui détermine la présence d'ailes vestigiales. L'allèle « vg+ » est dominant sur l'allèle « vg ».

Le parent P2 a pour phénotype [noir, ailes vestigiales] et pour phénotype (b vg//b vg). Il produit 100% de gamètes (b vg/).

Le parent F1 a pour génotype [jaune, ailes longues] et pour phénotype (b+ vg+//b vg). On cherche à déterminer les gamètes qu'il produit.

Croisement-test : F1 x P2

Les descendants présentent 4 phénotypes, mais les pourcentages sont très différents. On observe bien plus de phénotypes parentaux (= identiques à un des parents) que de phénotypes recombinés (= combinant des caractéristiques des deux parents).

Or le parent P2 a produit un seul type de gamètes. Cela implique que la F1 a produit 4 gamètes mais dans des proportions très variables : deux gamètes non recombinés, (b+ vg+/) et (b vg/), mais aussi, dans une moindre proportion, des gamètes recombinés (b vg+/) et (b+ vg+).

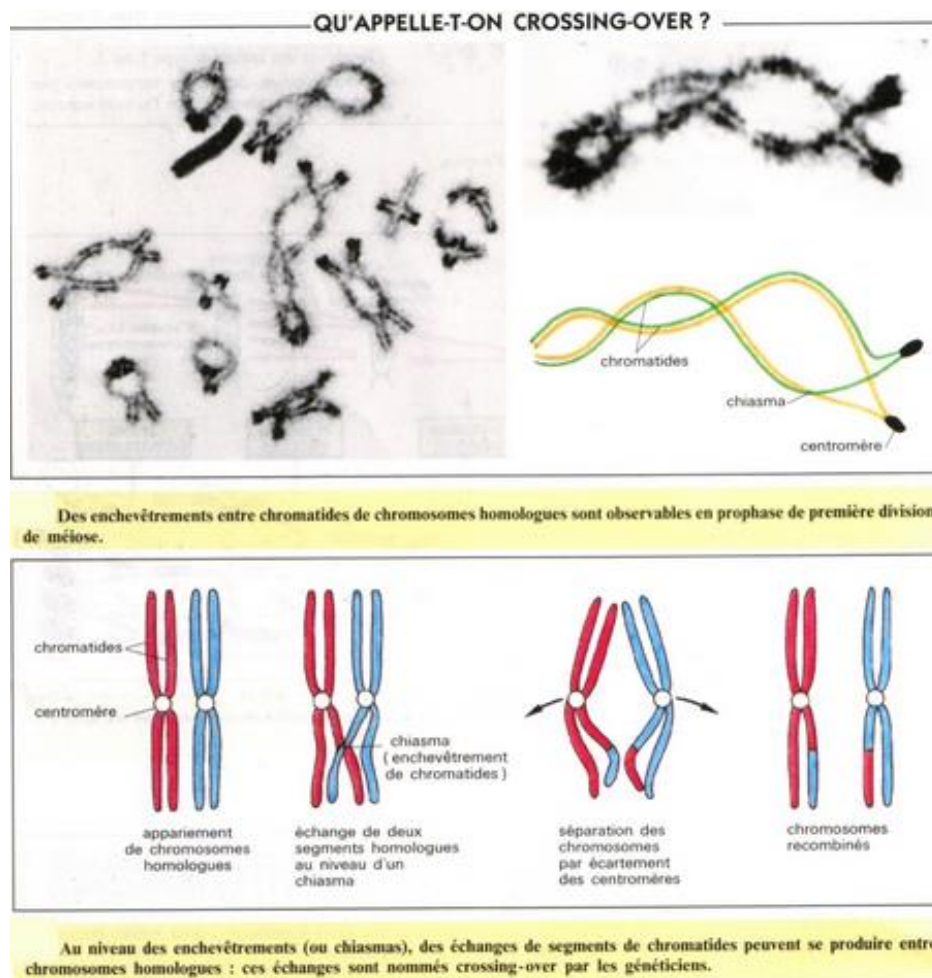
### Comment expliquer que la F1 ait produit des gamètes recombinés ?

Lors de la prophase I de la méiose, les chromosomes homologues s'apparient : ils s'accolent et leurs chromatides se croisent au niveau de zones de contact appelées **chiasmata**. A ce niveau, des portions de chromatides peuvent s'échanger entre les chromosomes homologues. On appelle ce phénomène **crossing-over**, ou **enjambement**. Il se déroule de façon **aléatoire**.

- Sans crossing-over

Les gamètes se forment sans échanges de chromatides. A partir d'une cellule mère on obtient donc uniquement des gamètes avec des chromatides non remaniés : 2 gamètes (b+ vg+/) et 2 gamètes (b vg/)

- Avec crossing-over



Après séparation des chromatides, on obtient 4 gamètes :

- 2 présentant des chromatides non remaniés (un gamète ( $b^+ vg^+$ ) et un gamète ( $b vg$ ))
- 2 avec des chromatides remaniés (un gamète ( $b^+ vg$ ) ainsi qu'un gamète ( $b vg^+$ ))

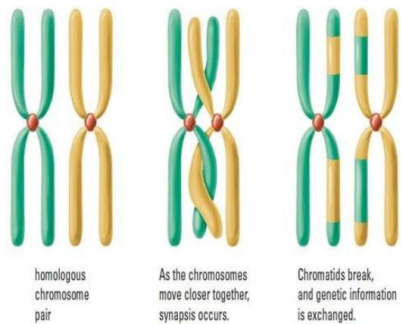
Quand on étudie 2 gènes situés sur le même chromosome, certaines méioses se font sans crossing-over entre ces deux gènes (et dans ce cas on forme uniquement des gamètes avec des chromatides non remaniés), et d'autres se font avec un crossing-over entre ces deux gènes (dans ce cas on produit 2 gamètes avec des chromosomes remaniés et 2 gamètes avec des chromosomes non remaniés).

**Au total il y a donc une production plus importante de gamètes avec les chromatides non remaniés que de gamètes avec les chromatides remaniés.**

**Attention : une méiose normale peut se faire avec ou sans crossing-over.**

La recombinaison de chromatides par crossing-over lors de la prophase 1 de méiose est appelée **brassage intrachromosomique**.

Remarque 1 : dans la pratique, une paire de chromosomes peut présenter plusieurs crossing-over.



Remarque 2 : plus les gènes étudiés sont éloignés sur le chromosome, plus la probabilité qu'un crossing-over se produise entre eux est grande.

#### Point Méthodologie :

Les gènes présents sur des chromosomes différents sont répartis de façon aléatoire dans les gamètes : on dit qu'ils sont **indépendants**.

Les gènes présents sur un même chromosome sont le plus souvent transmis en même temps (sauf s'il y a un crossing-over) : on dit qu'ils sont **liés**.

#### Comment peut-on déterminer si deux gènes sont indépendants ou liés ?

Dans un premier temps, on croise 2 lignées pures : P1 (double dominant) et P2 (double récessif). On obtient la lignée F1 qui est hétérozygote pour les 2 gènes étudiés et qui exprime les allèles dominants.

Ensuite on réalise un croisement-test entre un individu de F1 et un le parent P2 double récessif.

On observe les phénotypes des descendants, et on calcule le pourcentage de chacun de ces phénotypes. On peut ainsi déterminer les gamètes produits par la F1.

- Si les descendant présentent **4 phénotypes équiprobables**, alors la **F1** a produit 4 **gamètes** de façon **équiprobable**. Cela implique que les gènes sont **indépendants** donc portés par des **paires de chromosomes différentes**.
- Si les descendants présentent **davantage de phénotypes parentaux que de phénotypes recombinés**, alors la **F1** a produit des **gamètes** avec des **chromatides non remaniés** (plus fréquents) et des **gamètes** avec des **chromatides non remaniés** (moins fréquents). La présence de chromatides remaniés s'explique par la formation d'un **crossing-over** au cours de la prophase 1 de méiose. Dans ce cas les gènes sont **liés**, donc portés par la **même paire de chromosomes**.
- Si vous obtenez un résultat différent, il vaudrait mieux recompter...

## **Bilan**

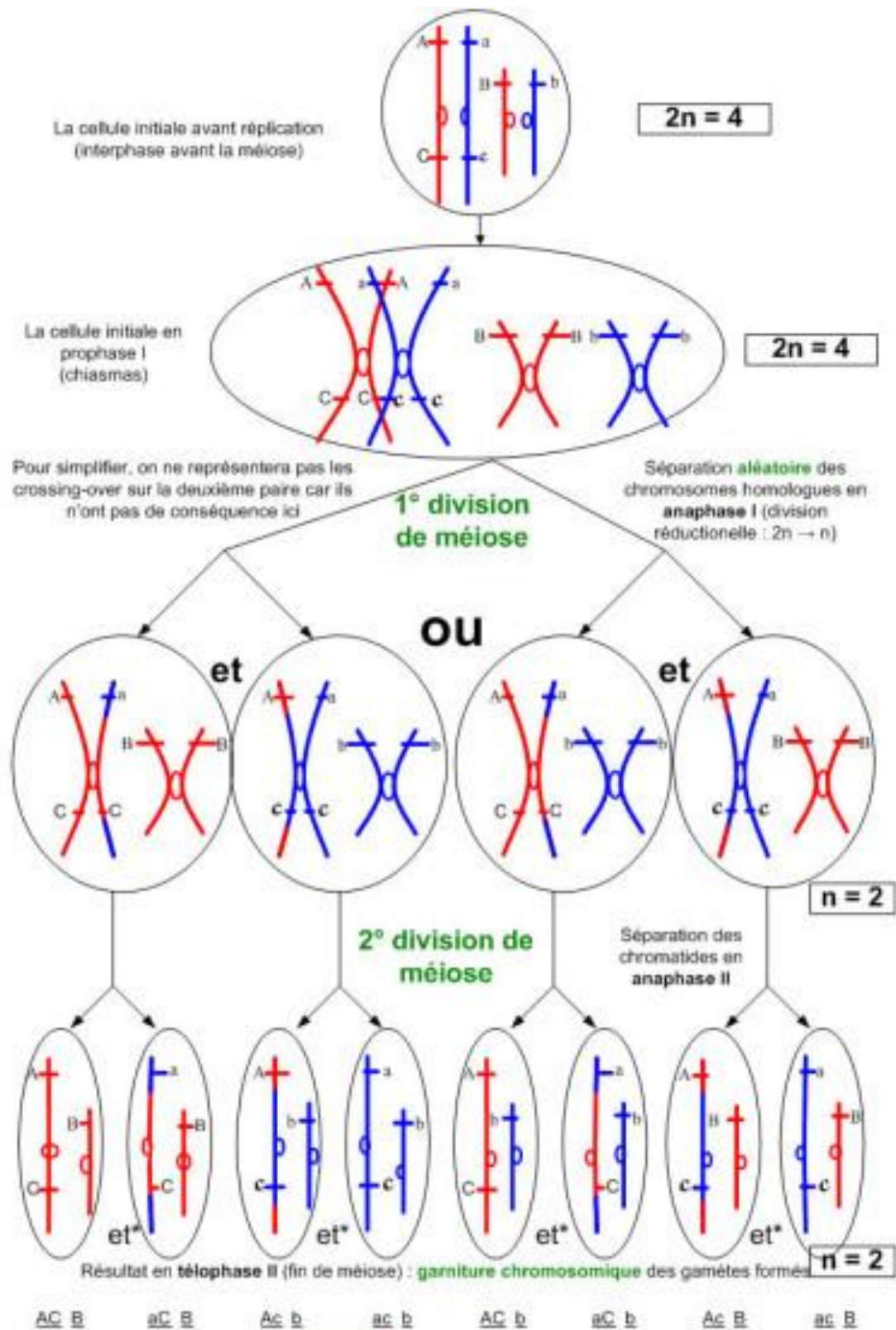
**Lors de la méiose, le brassage intrachromosomique en prophase I puis le brassage interchromosomique en anaphase I se cumulent.**

**Si on prend en compte l'ensemble des gènes (soit environ 20 000 chez un humain) le nombre de combinaisons possibles est immense. Dans la pratique, on peut estimer que chaque gamète produit est unique.**

Page suivante : exemple de brassage avec 3 gènes (2 sur la même paire de chromosomes, le 3<sup>e</sup> sur une autre paire)

Vous avez eu deux autres schémas en cours (le principe est le même, seule la représentation change : vous avez donc plusieurs exemples de brassage).

## Exemple de brassage avec 3 gènes



### Génotypes des 8 types de gamètes

(pas de proportions « générales » car elles dépendent de la distance locus / centromère)

\*deux autres dispositions auraient pu être envisagées dans chaque cas (brassage interchromosomique par séparation aléatoire des chromatides) mais comme il n'y a pas eu brassage au niveau du petit chromosome les génotypes obtenus auraient été les mêmes.



## IV – Les anomalies de la méiose

### Quelles peuvent être les conséquences d'un mauvais déroulement de la méiose ?

#### A - Duplications et familles multigéniques

Certains gènes présentent une grande similitude dans leur séquence car ils ont issus d'un même gène ancestral. On dit qu'ils constituent une **famille multigénique**. Ils codent des protéines proches (mais dont les fonctions peuvent être différentes).

#### TP 13

##### 1 – Une approche de l'histoire d'une famille multigénique

1- On constate que tous ces gènes ont un pourcentage de ressemblance élevé : au moins 40 %. Ceci suggère qu'ils ont une origine commune, donc qu'ils se sont formés à partir d'un gène ancestral. Cette idée est confortée par l'étude des protéines qu'ils codent, qui présentent une forte similitude de structure. On peut donc supposer que les globines constituent bien une famille multigénique.

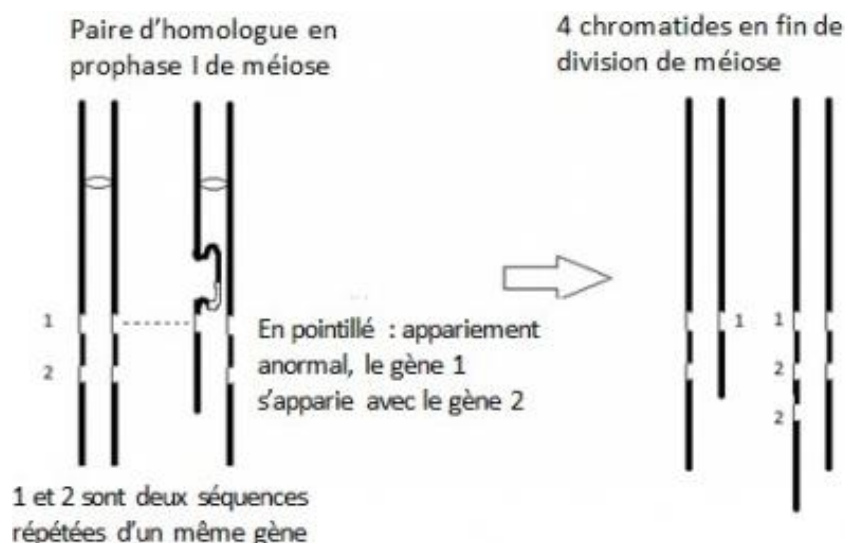
2- Les différences observées dans la séquence de ces gènes s'expliquent par des mutations.

3- Plus les séquences sont proches entre deux gènes, plus leur relation de parenté est récente. Inversement, des séquences éloignées traduisent une divergence plus ancienne : les mutations se sont accumulées sur chacun des gènes.

##### 2 – Duplication et méiose

Avec la pâte à modeler, modéliser une anomalie de méiose aboutissant à la duplication d'un gène.

La duplication d'un gène est due à une anomalie de méiose durant la prophase 1. Elle fait suite à un crossing-over inégal.



Obtention de 4 gamètes : 2 normaux (ici avec les gènes 1 et 2), 1 avec duplication (gène 2 présent en 2 exemplaires), 1 avec perte d'un gène (gène 2 absent).

L'existence des familles multigéniques s'explique par des duplications de gènes dues à des accidents de méiose. Chaque copie dupliquée évolue ensuite indépendamment, et peut accumuler des mutations.

Un crossing-over inégal peut parfois se produire entre 2 chromosomes d'une paire différente : dans ce cas il y a **translocation** ou **transposition** de gènes sur une nouvelle paire.

### B – Des caryotypes anormaux

#### ➔ Recherche de l'origine de deux anomalies chromosomiques : trisomie 21 et syndrome de Klinefelter

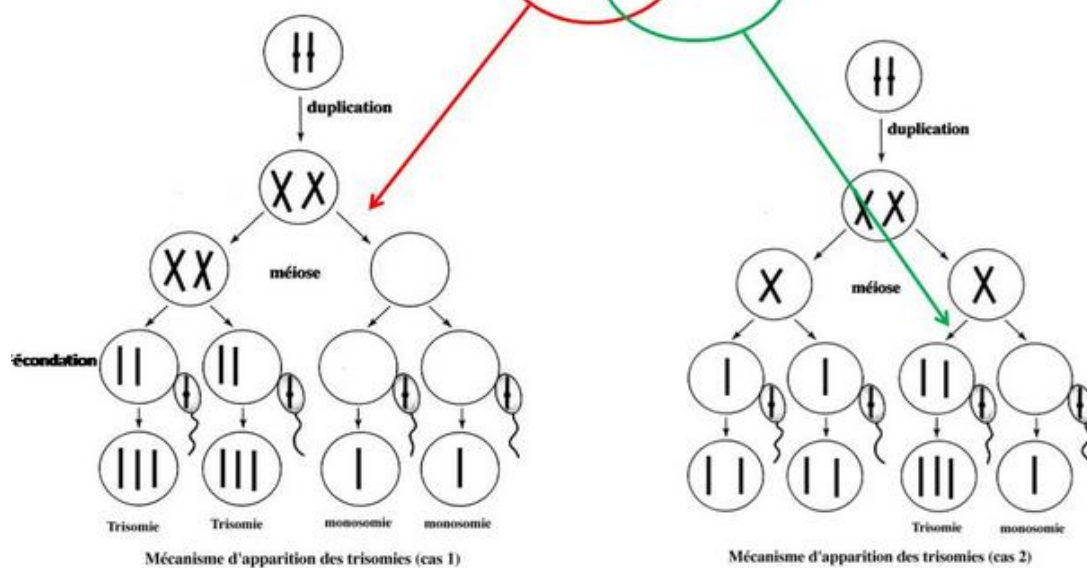
- Trisomie 21 (2n = 47)

La **trisomie** 21 se met en place lorsque l'un des deux gamètes qui participe à la fécondation possède 2 chromosomes 21 au lieu d'un seul. Cette anomalie est due à un mauvais fonctionnement de la méiose. Le problème peut se produire à deux moments :

- Lors de l'anaphase, les deux chromosomes de la paires peuvent migrer du même côté de la cellule
- Ou lors de l'anaphase 2, les chromatides d'un chromosome 21 migrent du même côté de la cellule.

#### Origine possibles de la trisomie 21

Origine de la trisomie 21 (d'après 170 cas étudiés)			
Maternelle		Paternelle	
1 <sup>ère</sup> division	2 <sup>ème</sup> division	1 <sup>ère</sup> division	2 <sup>ème</sup> division
61,7%	15,3%	11,8%	11,2%



Remarque : toutes les paires de chromosomes peuvent être affectées mais beaucoup de trisomies et de monosomie sont létales.

- Le syndrome de Klinefelter

Les problèmes de méiose peuvent également concerner les chromosomes sexuels. Le syndrome de Klinefelter (XXY) est un exemple de trisomie.

Dans l'exercice, lorsque ce syndrome est lié au père, celui-ci a fourni un gamète (spermatozoïde) avec un chromosome X et un chromosome Y. Ceci n'est possible que si l'anomalie de méiose a eu lieu lors de l'anaphase I (non séparation des chromosomes homologues, donc X et Y se retrouvent ensemble dans certains des spermatozoïdes formés).

*Remarque : la monosomie sexuelle XO est viable. Elle correspond au syndrome de Turner.*

## Bilan

**Les anomalies de la méiose peuvent être létales, ou être à l'origine de troubles (anomalies de caryotype). Mais elles sont également source de diversification et de complexification du génome, comme le montrent les familles multigéniques.**

## V – Fécondation et diversité des zygotes

*En quoi la fécondation participe-t-elle à la diversité des zygotes formés ?*

### → Questions page 25

1 – La fécondation correspond au regroupement des chromosomes d'un gamète mâle et d'un gamète femelle, tous deux haploïdes. Elle aboutit à la formation d'un zygote diploïde.

→ Schéma pour cellule  $2n = 6$  :

Gamète mâle haploïde  $n = 3$

Gamète femelle haploïde  $n = 3$

Zygote diploïde  $2n = 6$

Remarque : lorsqu'un spermatozoïde pénètre dans l'ovocyte, un mécanisme se met en place pour empêcher tout autre spermatozoïde de pénétrer.

Remarque 2 : lorsque ce mécanisme est défaillant, 2 spermatozoïdes risquent de féconder l'ovocyte. On obtient alors un zygote triploïde non viable sur le long terme.

2 – Deux gènes indépendants sont impliqués dans ce croisement :

- Gène à l'origine de la couleur du poil : 2 allèles :  $c+$  = poil agouti,  $c$  = poil noir
- Gène à l'origine du pelage : 2 allèles :  $p+$  = pelage uni,  $p$  = pelage piebald.

En F1, 100 % des individus ont pour génotype ( $c+//c$ ,  $p+//p$ ) et pour phénotype [agouti uni] donc  $c+$  est dominant sur  $c$ ,  $p+$  est dominant sur  $p$ .

Ils produisent 4 types de gamètes de façon équiprobable car les gènes sont indépendants :

(c+/ p+ /), (c+/ p /), (c / p+ /) et (c / p /).

Echiquier de croisement F1 x F1 :

Gamètes mâle	(c+/ p+ /) 25 %	(c+/ p /) 25 %	(c / p+ /) 25 %	(c / p /) 25 %
Gamètes femelles				
(c+/ p+ /)	(c+//c+ p+//p+) [agouti uni]	(c+//c+ p+//p) [agouti uni]	(c+//c p+//p+) [agouti uni]	(c+//c p+//p) [agouti uni]
(c+/ p /)	(c+//c+ p+//p) [agouti uni]	(c+//c+ p//p) [agouti piebald]	(c+//c p+//p) [agouti uni]	(c+//c p//p) [agouti piebald]
(c / p+)	(c+//c p+//p+) [agouti uni]	(c+//c p+//p) [agouti uni]	(c//c p+//p+) [noir uni]	(c//c p+//p) [noir uni]
(c / p /)	(c+//c p+//p) [agouti uni]	(c+//c p//p) [agouti piebald]	(c//c p+//p) [noir uni]	(c//c p//p) [noir piebald]

Chaque case a la même probabilité :  $1/16 = 6.25 \%$

Phénotype	Pourcentage calculé	Pourcentage observé
[agouti uni]	9 cases donc 56.25 %	134 sur 233 donc 51.51 %
[agouti piebald]	3 cases donc 18.75 %	41 sur 233 donc 17.6 %
[noir uni]	3 cases donc 18.75 %	44 sur 233 donc 18.88 %
[noir piebald]	1 case donc 6.25 %	14 sur 233 donc 6 %

Les résultats théoriques sont cohérents avec les résultats observés.

3 – Le brassage génétique aboutit à un très grand nombre de gamètes possible. Or lors de la fécondation 2 gamètes sont réunis au hasard : ceci amplifie encore le brassage.

Si chaque individu produit x gamètes différents, la fécondation peut produire  $x^2$  zygotes différents.

Toutefois seule une fraction des zygotes obtenus lors de la fécondation est viable et se développe. Ce processus participe à la stabilité du caryotype.

## Conclusion :

Les processus de la méiose permettent la formation d'une immense diversité de gamètes haploïdes :

- ➔ Brassage intrachromosomique en prophase I
- ➔ Brassage interchromosomique en anaphase I
- ➔ Anomalies de méiose viables

La fécondation augmente la diversité par rencontre aléatoire des gamètes, et permet le rétablissement de la diploïdie.

Le brassage génétique qui se fait lors de la méiose et la fécondation participe à la fois à la diversité des individus et à la stabilité de l'espèce. Il explique la diversité génétique au sein d'une espèce : on parle de **polymorphisme** des individus d'une espèce.

Mais les anomalies de méiose interviennent aussi dans la complexification du génome, donc dans l'évolution des espèces.

Il existe d'autres mécanismes de complexification : à suivre dans le chapitre suivant !