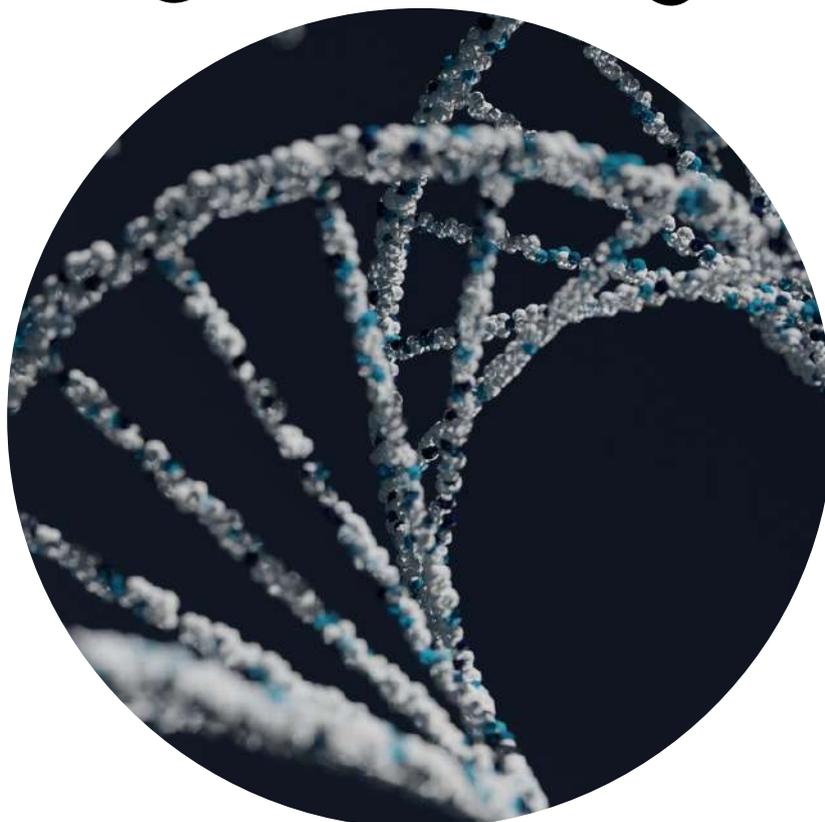


# Génétique



## SCIENCES DE LA VIE



### Shop



- Cahiers de Biologie + Lexique
- Accessoires de Biologie



### Etudier



Visiter [Biologie Maroc](https://www.biologie-maroc.com) pour étudier et passer des QUIZ et QCM en ligne et Télécharger TD, TP et Examens résolus.



### Emploi



- CV • Lettres de motivation • Demandes...
- Offres d'emploi
- Offres de stage & PFE



*UNIVERSITE ABDE LMAEK ESSAADI*  
*FACULTE DES SCIENCES*  
*DEPARTEMENT DE BIOLOGIE*



**CHAPITRE II:**  
**GENETIQUE FORMELLE:**  
**LES PRINCIPES DE BASE DE**  
**L'HEREDITE**

Pr. BENIOURI R.  
2016

# I- INTRODUCTION

Deux aspects contradictoires de la reproduction biologique :  
tendance à *produire* de l'identique et tendance à *varier*.

Ces deux aspects apparaissent intimement associés dans  
les actes de reproduction :  
ceux qui concernent la succession des générations chez  
l'Homme ou les animaux supérieurs.

Un enfant est semblable à ses parents: *l'hérédité*.

D'un autre côté, il n'est vraiment identique ni à l'un ni à  
l'autre et, pour certains caractères,  
peut ne ressembler à aucun d'entre eux: *variation*.

## A- Hérité des caractères biologiques

L'aptitude à varier au cours de la reproduction est en effet une autre propriété générale des êtres vivants, au premier abord moins apparente peut-être que la propriété qu'ils ont de se reproduire semblables à eux-mêmes, mais toujours associée avec elle.

C'est alors en étudiant la variation, le mécanisme de son apparition et de sa transmission dans les différentes formes de reproduction que la génétique est parvenue, en collaboration avec d'autres disciplines biologiques, à la connaissance des mécanismes fondamentaux qui assurent aussi bien le maintien de la vie que sa transmission d'une génération à l'autre

## B- Les deux modalités de la variation génétique

- Dans toute forme de reproduction biologique, la tendance à varier vient ainsi se superposer à l'aptitude fondamentale à la reproduction conforme.
- Une des premières tâches de la génétique consiste alors à distinguer clairement les diverses modalités de la variation.
  - Deux étapes fondamentales dans ce domaine ont consisté,
    - § l'une à bien séparer la variation génétique de la variation acquise,
    - § l'autre à distinguer deux processus fondamentaux responsables de la variation génétique :  
***les mutations*** et ***les recombinaisons***.

# 1- Mutation

**Une mutation est une variation génétique qui résulte d'événements accidentels survenus dans un système biologique unique.**

La mutation désigne toute variation brutale d'un caractère qui se transmet de façon stable à la descendance.

De tels événements, capables de modifier les caractères héréditaires, parce qu'ils ont touché ce que l'on appelle le matériel génétique, se produisent spontanément, mais leur fréquence peut être augmentée par l'action de certains agents qualifiés de ***mutagènes***.

Elle est un changement localisé à l'intérieur d'un gène qu'elle transforme en un autre allèle.

Les nouveaux individus sont appelés mutants.

Le terme **mutation** désigne tout changement héréditaire dans un gène (ou, plus généralement, dans le matériel génétique) ; le terme désigne aussi le processus par lequel survient un tel changement.

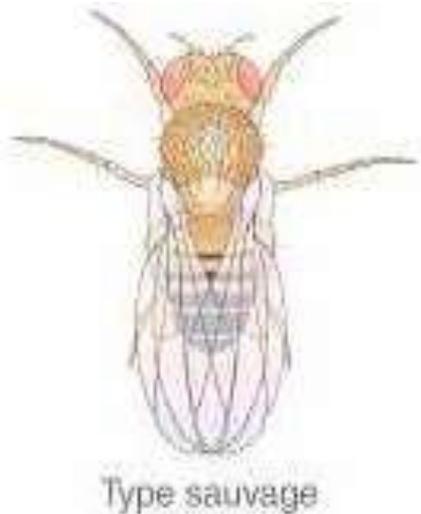
**Un type de mutation particulier résulte en un changement dans la séquence de bases de l'ADN.**

Le changement peut être simple, comme, par exemple, \*- la **substitution** d'une paire de bases dans une molécule duplex par une paire de bases différente.

Ainsi, une paire C-G dans une molécule duplex peut être mutée en T-A, A-T ou G-C.

Le changement dans la séquence de bases peut aussi être \*- plus complexe, comme dans le cas d'**une délétion** ou d'une **addition** de paires de bases.

Bien que se produisant rarement, leurs implications biologiques sont considérables puisque, responsables de la variation au sein d'une population, elles sont, selon la théorie néo-darwinienne, les causes de l'évolution.



Elles sont spontanées ou induites:

- accident lors de la réplication
- utilisation d'un agent physique ou chimique

Elles peuvent être

- faciles à identifier:
  - Mutations affectant la morphologie
  - Mutation affectant la viabilité
- ou plus subtiles...

## **MESSAGE**

Dans de nombreux cas,  
une différence allélique portant sur un seul gène peut  
aboutir à des formes phénotypiques discrètes qui  
facilitent l'étude du gène et  
de la fonction biologique associée.

## **MESSAGE**

De nouveaux allèles formés par mutation peuvent  
aboutir à l'absence de la fonction correspondante,  
à la diminution de cette fonction ou  
encore à l'apparition d'une nouvelle fonction  
au niveau protéique

## 2- Recombinaison

- La **recombinaison génétique** est « le phénomène conduisant à l'apparition, dans une cellule ou dans un individu, de **gènes** ou de caractères **héréditaires** dans une association **différente** de celle observée chez les cellules ou individus parentaux ».

Cette définition recouvre deux processus complémentaires

\*- que sont **les brassages intrachromosomiques**

\*- et **les brassages interchromosomiques**

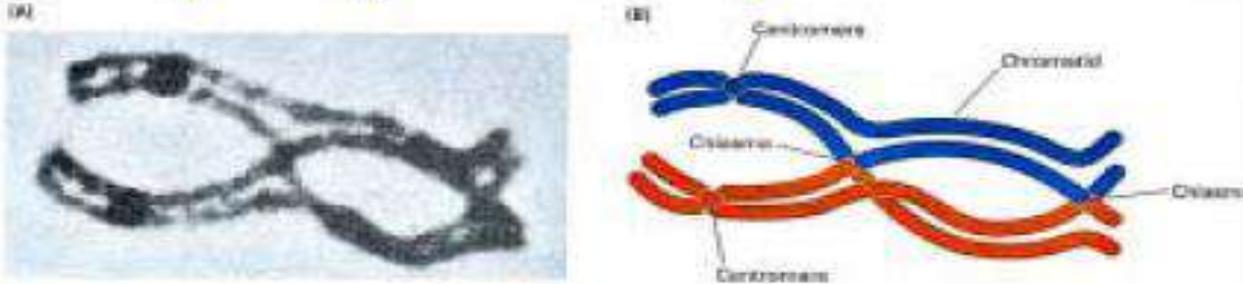
**Recombinaison génétique**: est un échange d'**information génétique** entre deux **génomes** différents ou bien entre **deux chromosomes homologues**.

Il s'agit en général d'un échange entre fragments d'ADN.

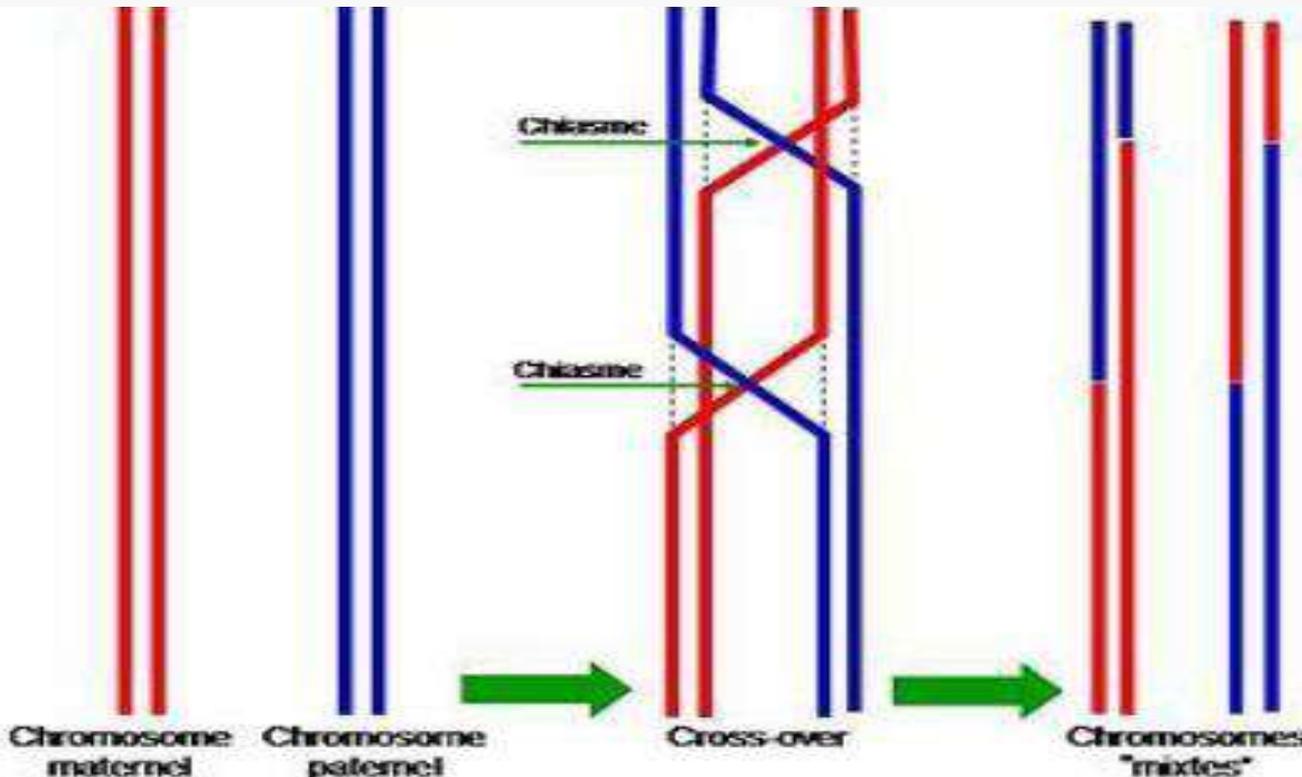
# La variabilité génétique grâce à l'enjambement

## La formation des tétrades qui permettent l'enjambement.

### Cytologie et interprétation

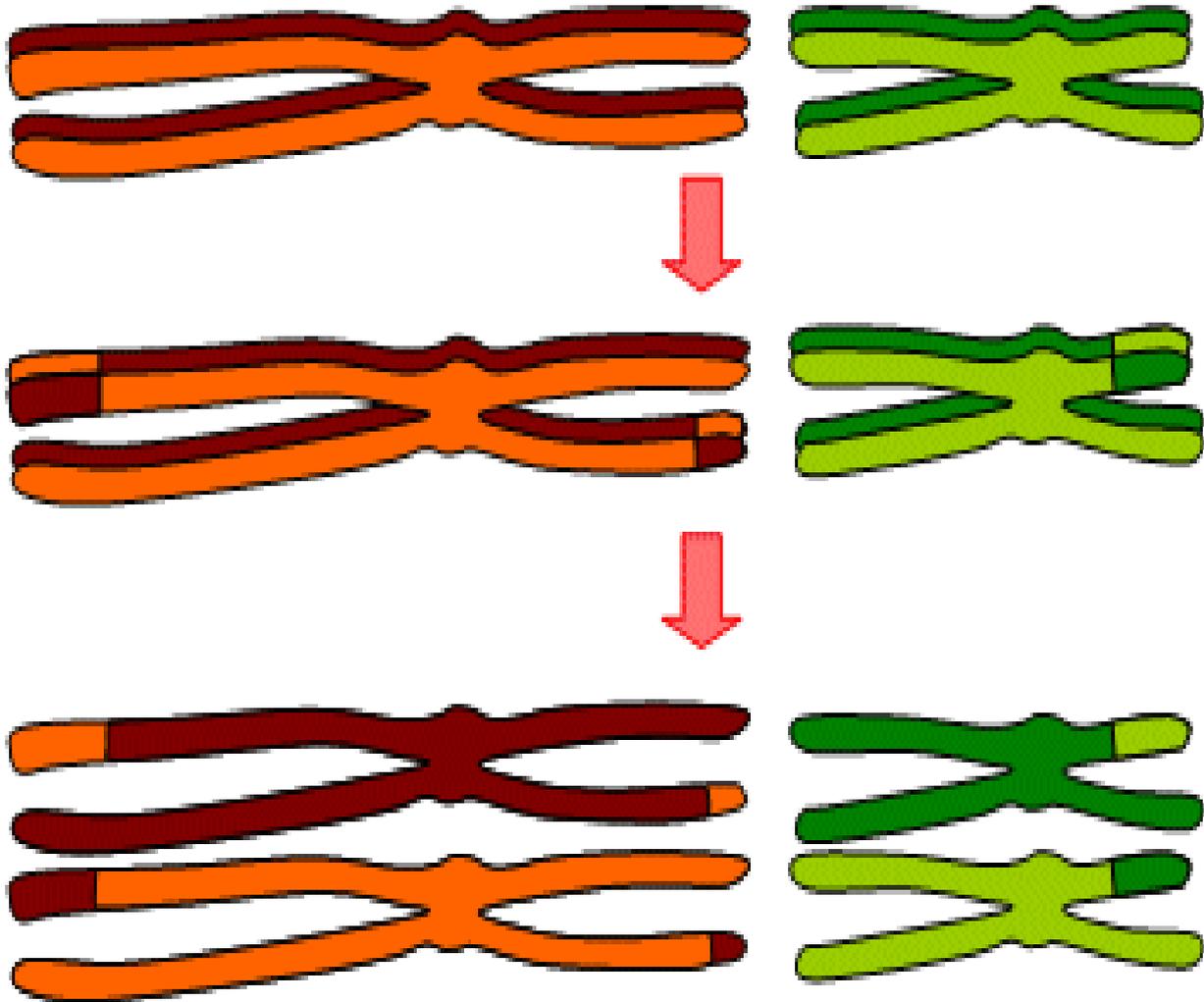


Le chiasme ou (le synapse) entre deux chromosomes homologues mais deux chromatides non-soeurs



<<Cross-over>> signifie l'enjambement \*se passe à la prophase 1 de la méiose

La recombinaison  
Durant  
l'enjambement



Les chromosomes homologues forment un tétrade

Par enjambement et formation de chiasmata, les chromosomes homologues échangent des fragments d'ADN

Chaque chromatide possède les mêmes gènes que son homologue, mais des allèles différents, ce qui permet le brassage génétique

**L'enjambement des tétrades en prophase I de la méiose assurent la variabilité génétique**

# Les caractères sont affectés par l'environnement aussi bien que par les gènes.

. La plupart des caractères sont déterminés par **l'interaction entre les gènes et l'environnement.**

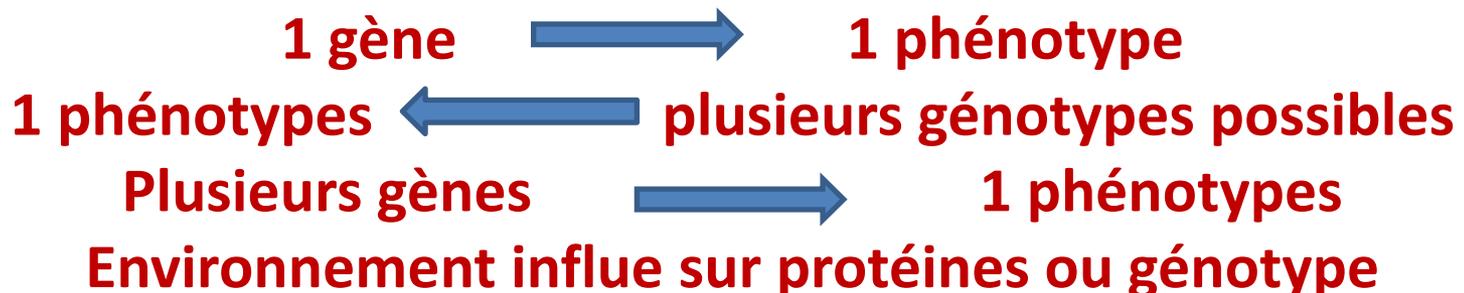
La plupart des caractères visibles des organismes résultent de l'action conjointe de nombreux gènes en combinaison avec des facteurs liés à l'environnement.

La relation entre les gènes et les caractères est souvent complexe car

(1) chaque gène affecte potentiellement de nombreux caractères (**pléioïotropie**),

(2) chaque caractère est potentiellement affecté par de nombreux gènes, et

(3) de nombreux caractères sont affectés de façon importante par des facteurs liés à l'environnement aussi bien que par des gènes.



## MESSAGE

Lorsqu'un organisme, au cours de son **développement**, passe d'un état à un autre, ses gènes interagissent avec l'environnement dans lequel il vit à chaque moment de sa vie.

**L'interaction des gènes et de l'environnement détermine les organismes.**

**\*- Un même phénotype peut correspondre à différents génotypes.**

**\*- Variation phénotypique =  
variation génotypique + variation environnementale  
→ Le phénotype est multifactoriel.**

## MESSAGE

Lorsque l'on utilise les termes de ***phénotype*** et de ***génotype***, on fait en général référence à un « **phénotype** partiel et à un « **génotype** partiel » et l'on désigne un seul ou un petit nombre de caractères et de gènes qui nous intéressent.

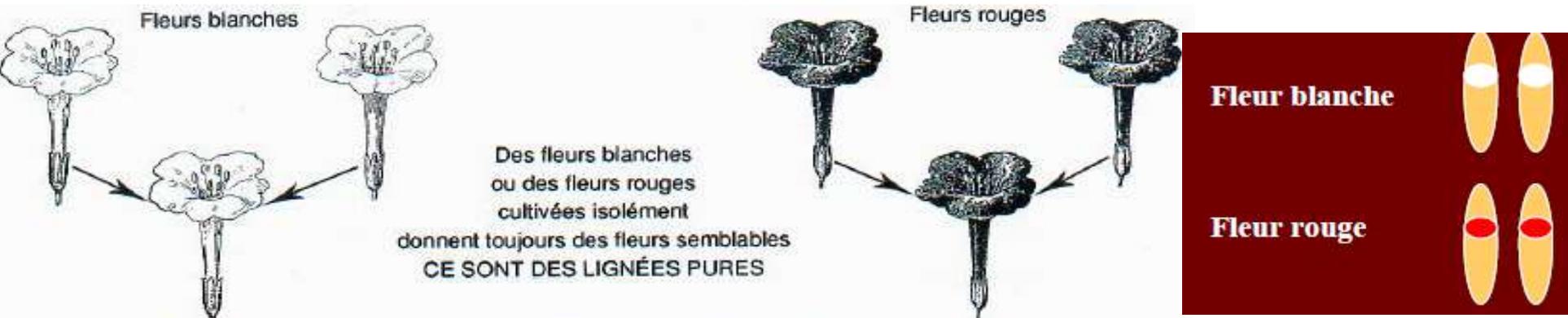
## C- Notion : ESPECE, RACE, VARIETE, LIGNEE PUR

**L'espèce** est conçue comme «un ensemble des individus qui se ressemblent entre eux autant qu'ils ressemblent à leurs parents.» Les individus d'une même espèce sont interféconds.

**Les races** (animaux) ou **variétés** (végétaux) groupant des ensembles ayant des caractères très voisins (couleur du pelage des Vaches,

hauteur et aspect des pieds chez les végétaux...).

On peut encore sélectionner des lignées homogènes pour un ou plusieurs caractères: que l'on appellera **lignées pures**



## II- MONOHYBRIDISME: croisement deux lignées pures ne différant que par un seul caractère



la forme de la graine  
(lisse ou ridée)



la couleur de la graine (jaune ou verte)



la couleur de la fleur  
(pourpre ou blanche)



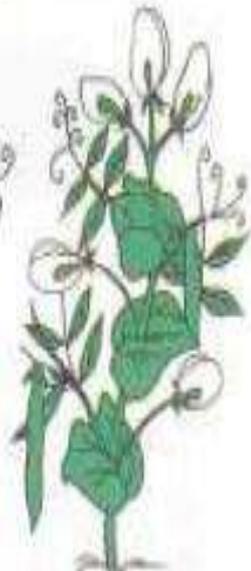
la forme de la gousse mûre  
(uniforme ou présentant  
des tâches)



La couleur de la gousse  
(verte ou jaune)



la position de la fleur et de la  
gousse (axiale ou terminale)



la longueur de la tige  
(longue ou courte).

Pour ses expériences, Mendel choisit sept paires de variétés chacune étant une lignée pure pour un caractère différent. Les caractères alternatifs se rapportent à

Souche parentale dominante

Souche parentale récessive

Caractère exprimé  
chez les descendants F<sub>1</sub>  
d'un croisement monohybride

Forme  
de la graine



Lisse



Ridée



Lisse

Couleur  
de la graine



Jaune



Verte



Jaune

Couleur  
de la fleur



Pourpre



Blanche



Pourpre

Forme  
de la gousse



Uniforme



Présentant des étranglements



Uniforme

Couleur  
de la gousse



Verte



Jaune



Verte

Position  
de la fleur  
et de la gousse



Axiale (le long de la tige)



Terminale (à l'extrémité de la tige)



Axiale

Longueur  
de la tige



Longue



Courte



Longue

BIBLIOTHEQUE

Lignée pure à graines lisses

Lignée pure à graines ridées

Carène renfermant les structures reproductrices

Stigmate (structure femelle)

Anthère (structure mâle)

Ovaire (forme la gousse du pois)

Fleur d'une plante obtenue à partir d'une graine lisse

Fleur d'une plante obtenue à partir d'une graine ridée

Ouvrir la fleur et éliminer les anthères

Ouvrir la fleur et recueillir le pollen

Polliniser de façon croisée en saupoudrant le stigmate de pollen

Le croisement produit des graines monohybrides

P

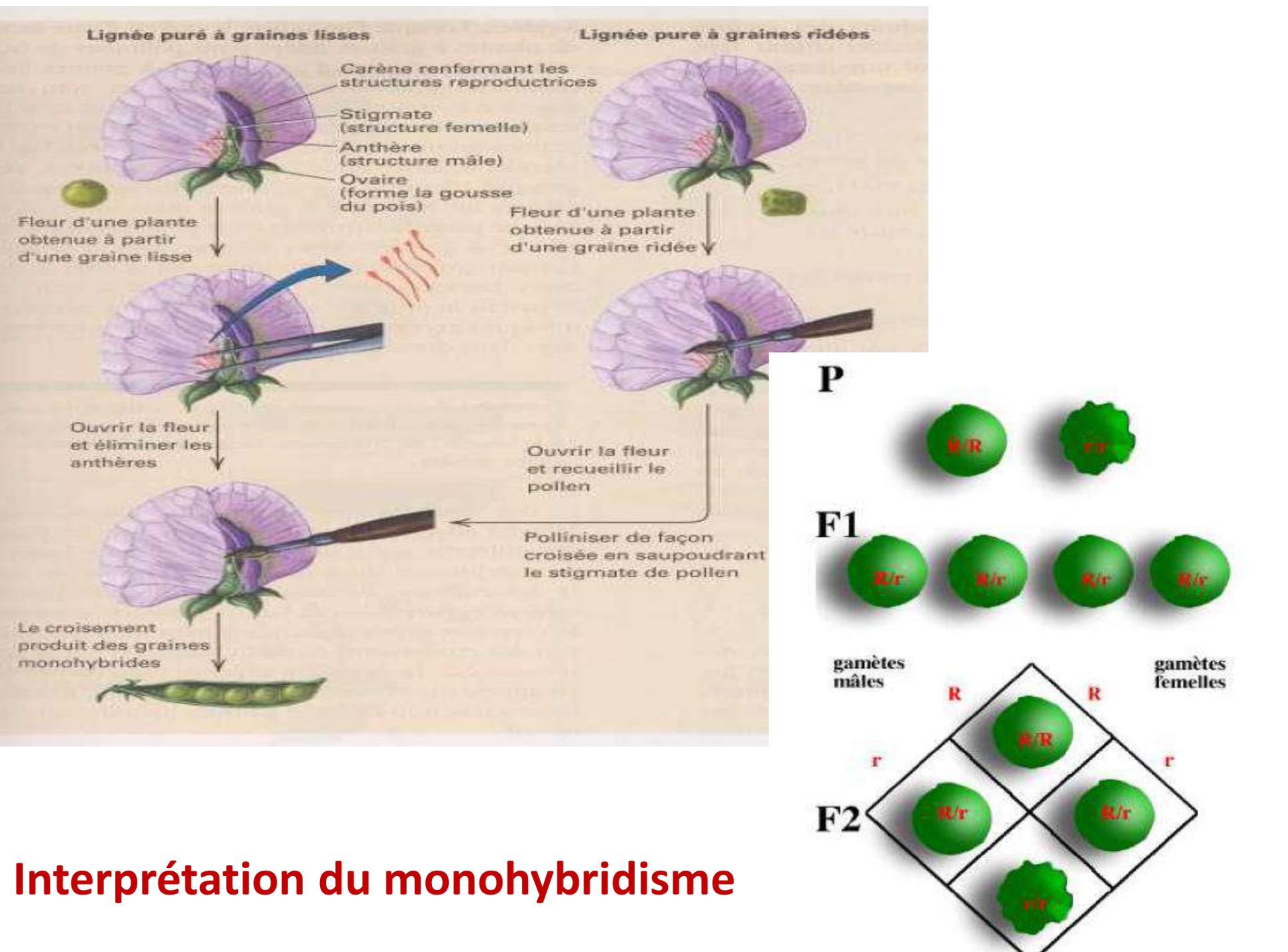
F1

F2

gamètes mâles

gamètes femelles

# Interprétation du monohybridisme



# Notions de génération parentale, génération filiale (F1), F2, F3, etc.

Les parents P  
(lignées pures)



**uniformité des hybrides de première génération F1**

Première génération ou F1



AUTOFÉCONDATION

Seconde génération ou F2



et



Troisième génération ou F3



OU



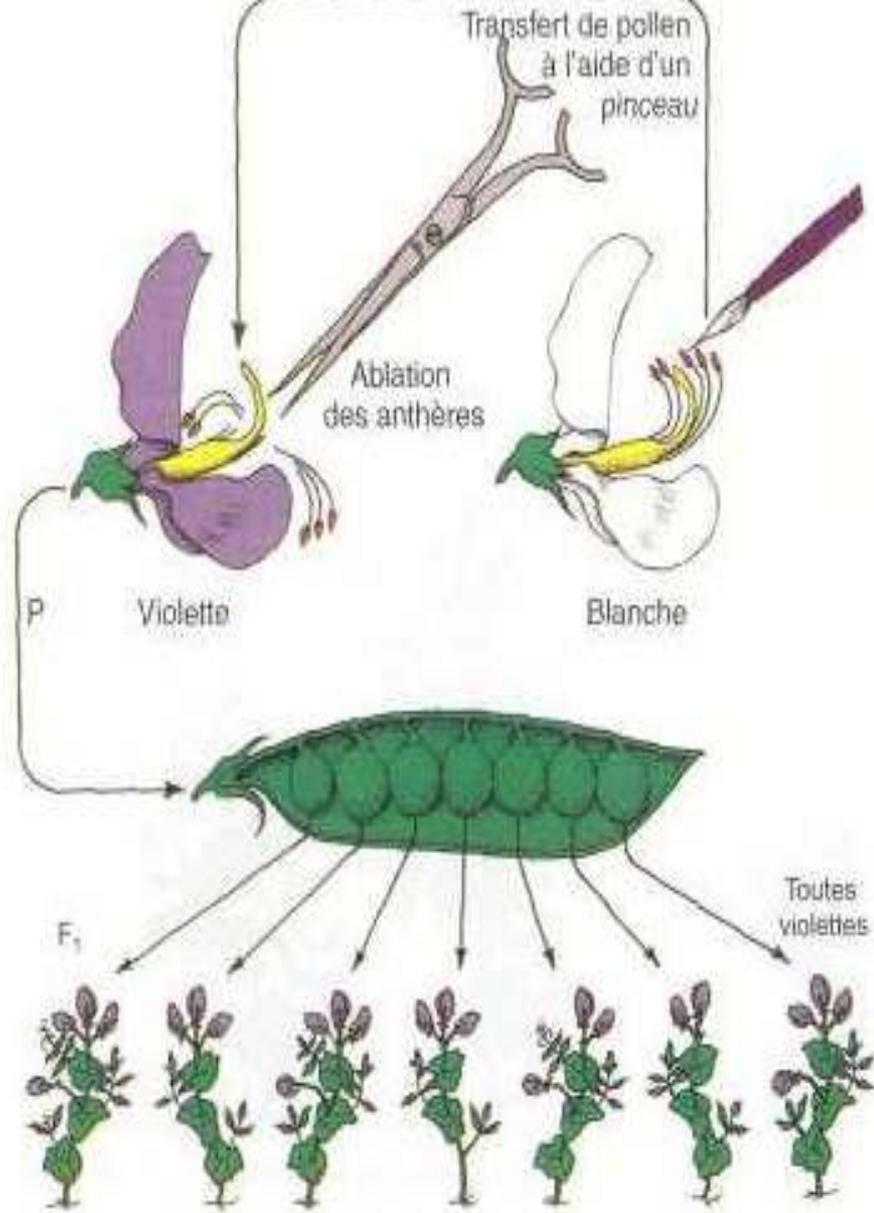
et



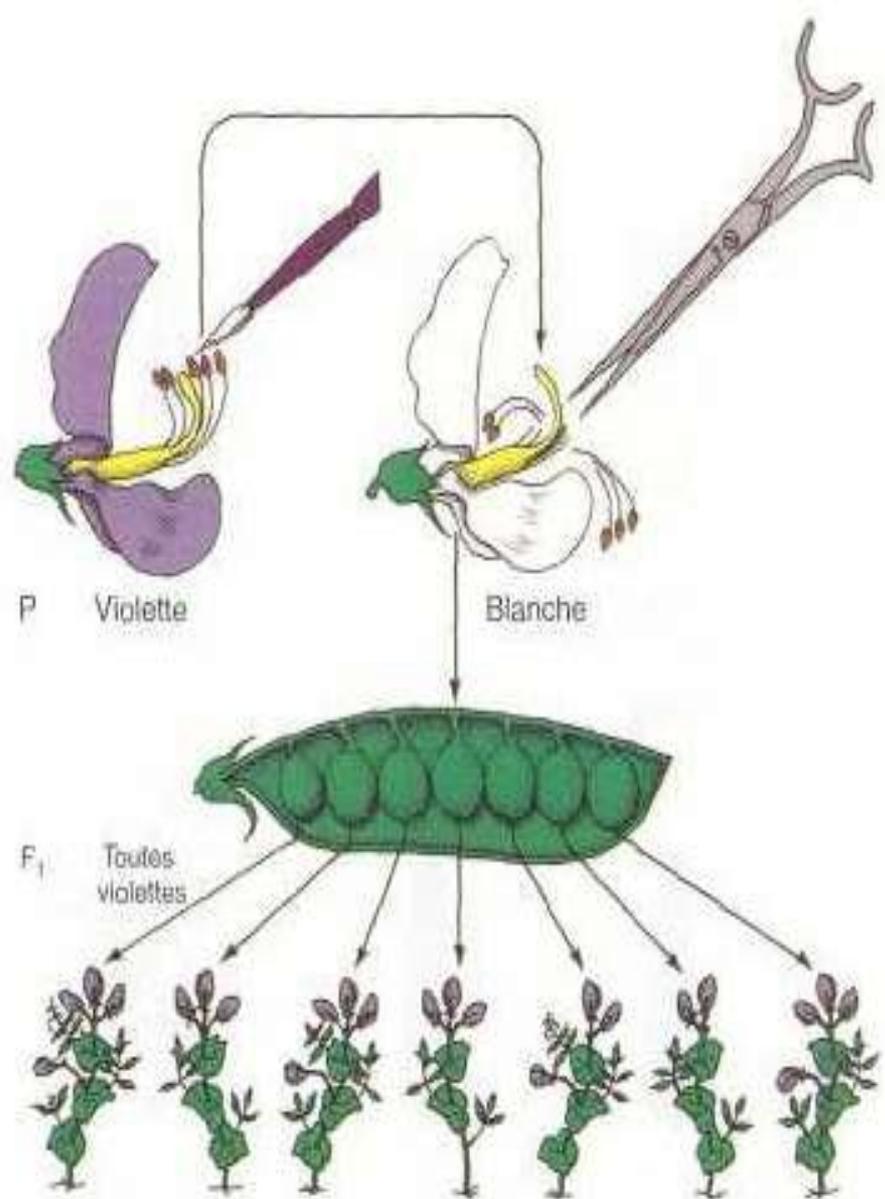
## les résultats obtenus par Mendel à l'issue de ces expériences monohybrides

| Caractères différentiels des parents                 | Caractères observés en F1 | Caractères observés en F2                            | Rapport de F2 |
|--|---------------------------|--|---------------|
| Forme des graines: lisse ou ridée                    | Graines lisses            | 5 474 graines lisses<br>1 850 graines ridées         | ~ 3:1         |
| Couleur des cotylédons: jaune ou verte               | Cotylédons jaunes         | 6 022 graines jaunes<br>2 001 graines vertes         | ~ 3:1         |
| Couleur de la fleur: violette ou blanche             | Fleurs violettes          | 705 fleurs violettes<br>224 fleurs blanches          | ~ 3:1         |
| Couleur des gousses avant maturation: verte ou jaune | Gousses vertes            | 428 gousses vertes<br>152 gousses jaunes             | ~ 3:1         |
| Forme des gousses: plate ou bosselée                 | Gousses plates            | 882 gousses plates<br>229 gousses bosselées          | ~ 3:1         |
| Position des fleurs: axillaire ou terminale          | Fleurs axillaires         | 651 fleurs axillaires<br>207 fleurs terminales       | ~ 3:1         |
| Hauteur du pied                                      | Tiges longues             | 787 plants à tige longue<br>277 plants à tige courte | ~ 3:1         |

**L'obtention d'un rapport 3 : 1 pour chacune des paires de la génération F2.**



du pollen d'une plante à fleurs blanches pour polliniser une plante à fleurs violettes.



Le croisement réciproque

♀ A et ♂ B ou ♀ B et ♂ A

**Parents de lignée pure**

**P 1**



**Fleurs violettes**

**X**



**Fleurs blanches**

**P:**  
fleur violette X fleur blanche

**F 1**



**100% de fleurs violettes**

**F 1** → **P 2**

**F1:** fleur violette

**F 2**



**75% de fleurs violettes**



**25% de fleurs blanches**

**F2:**  
fleur violette et  
fleur blanche  
rapport 3 : 1

**3**



**:**

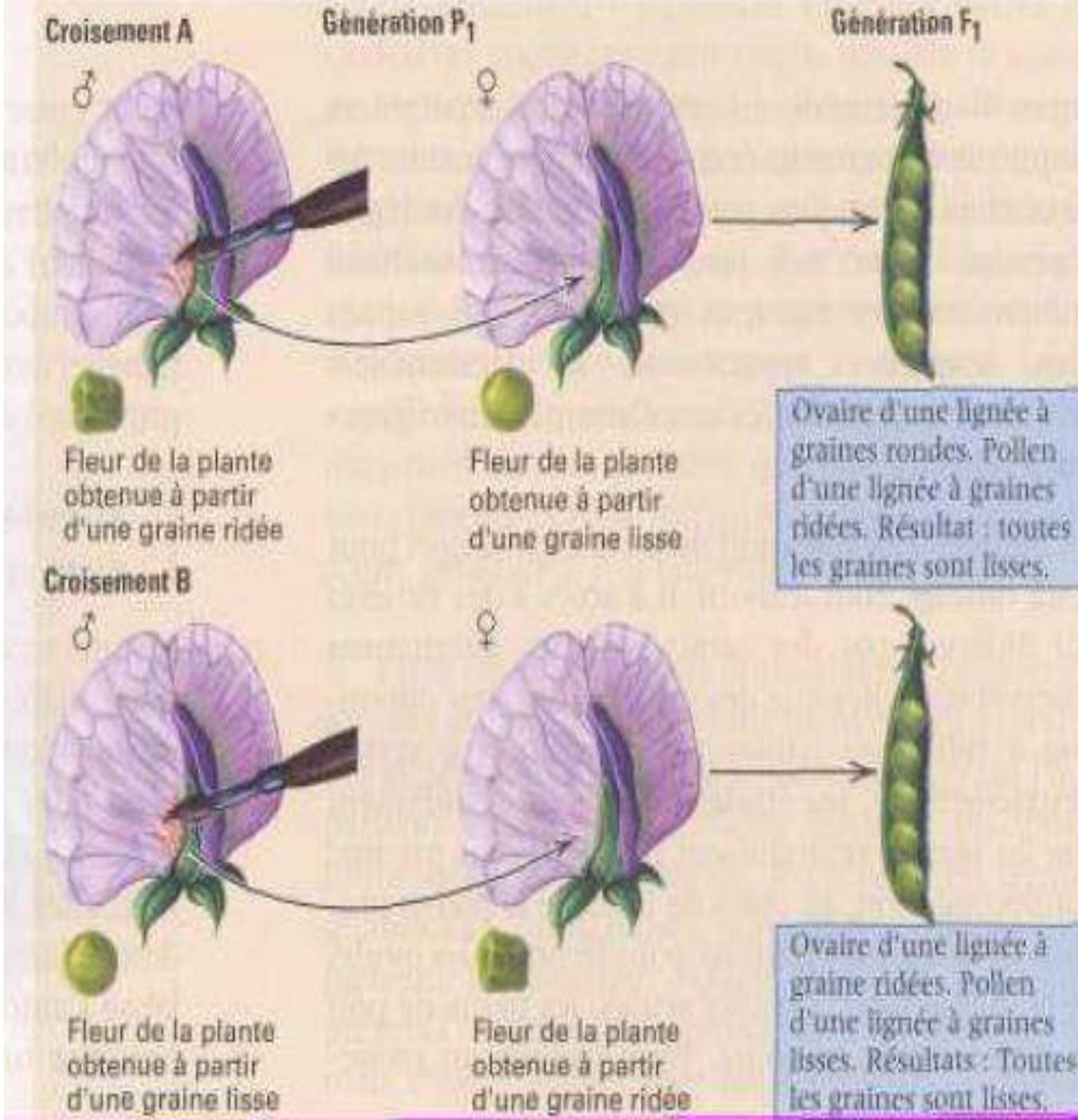
**1**



Mendel inventa les termes dominant et récessif

Les croisements  
réciproques  
produisent  
les mêmes types  
de descendants.

La première loi de  
Mendel:  
**uniformité des  
hybrides de  
première  
génération F1**  
issus de parents  
de lignées pures.



L'hypothèse de la transmission génétique que Mendel développe pour expliquer la réapparition du caractère récessif est résumée dans deux éléments.

- Le premier élément de l'hypothèse est que chaque cellule reproductrice, ou **gamète**, contient un représentant de chaque type de déterminant héréditaire chez la plante. Mendel propose que dans la variété pure à graines lisses, toutes les cellules reproductrices contiennent le «**facteur lisse**» (**R**) et que dans la variété pure à graines ridées, toutes les cellules reproductrices contiennent le «**facteur ridé**» (**r**).

Lorsque les variétés sont croisées, l'hybride **F1** reçoit, en principe, un **R** et un **r** et possède donc la composition génétique **Rr**

|              |       | Gamètes ♂  |  |   |   |
|--------------|-------|--|--|---|---|
|              |       | 1/2 J  | 1/2 j  |   |   |
| ♀<br>Gamètes | 1/2 J | 1/4 J/J<br> | 1/4 J/v<br> |  3/4 |   |
|              | 1/2 j | 1/4 J/v<br> | 1/4 v/v<br> |   |  1/4 |

En reprenant le cas où deux hybrides de F1 à graine jaune (J/j) sont croisés ensemble,

on obtient ainsi **1/4 de J/J, 1/2 de J/j et 1/4 de j/j,**  
soit **3/4** d'individus possédant le **phénotype « graine jaune »**  
et **1/4** le phénotype **« graine verte »**.

# Les paires de gènes se séparent (ségrégent) lors de la formation des cellules reproductrices.

La deuxième caractéristique clé de l'hypothèse de Mendel est que lorsqu'une plante F1 s'autoféconde,

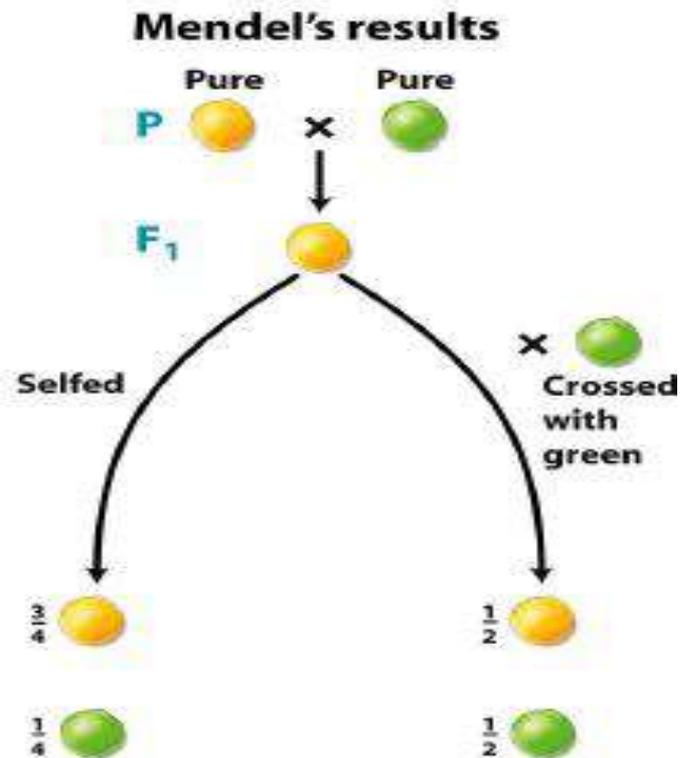
les déterminants R et r se séparent l'un de l'autre et sont inclus dans les gamètes en nombres égaux.

Cette séparation des éléments héréditaires est au cœur de la génétique mendélienne.

Ce principe est appelé **ségrégation**.

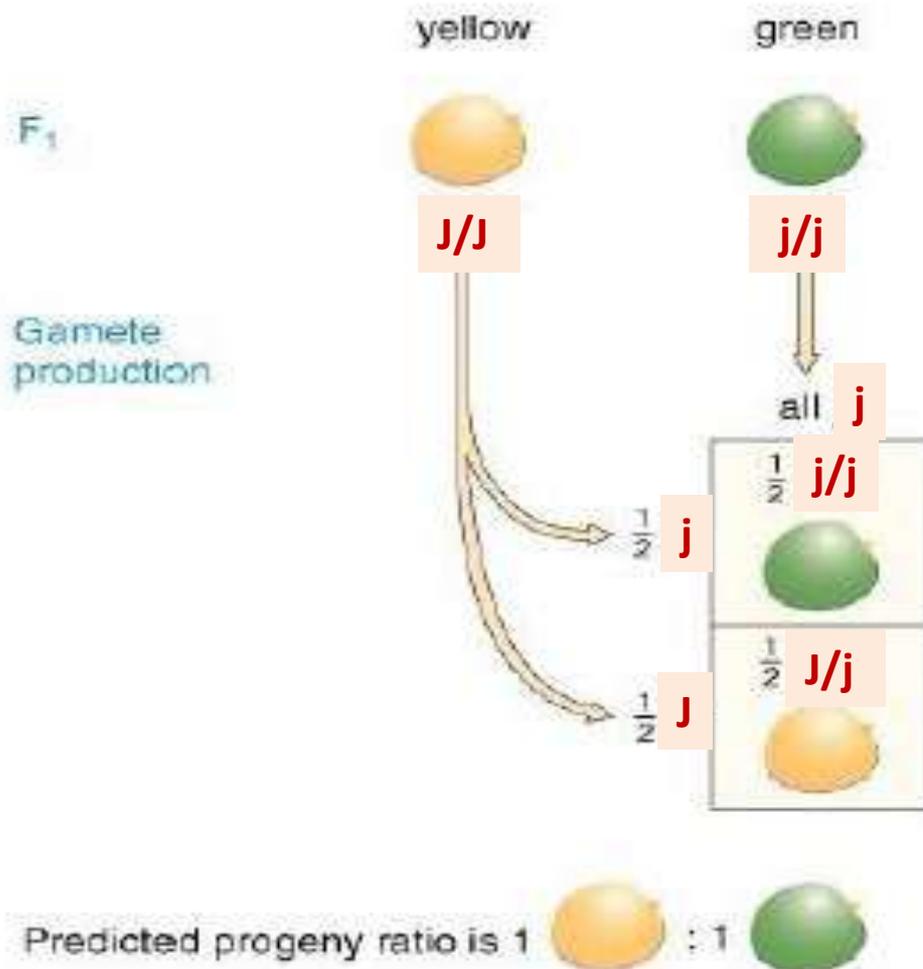
**Principe de ségrégation :**

**Au cours de la formation des gamètes, les déterminants héréditaires formant un couple (gènes) se séparent (ségrégent) de telle façon que chaque gamète a une probabilité égale de contenir chaque membre d'une paire.**



## Autre exemple

# Utilisation de lignées pures pour déduire les génotypes ainsi que la dominance et la récessivité



## Le croisement-test

Un croisement mettant en jeu **un individu de génotype inconnu et un homozygote entièrement récessif** est désigné par le terme croisement-test.

L'individu récessif est appelé une **souche-test**.

Puisque la souche-test apporte seulement des allèles récessifs, les gamètes de l'individu inconnu peuvent se déduire directement des phénotypes des descendants.

Un déterminant héréditaire d'un caractère donné est appelé un gène.

Les différentes formes d'un gène particulier sont appelées les allèles.

***R*** et ***r*** sont des allèles car ils correspondent à des formes alternatives

du gène déterminant la forme de la graine.

Le génotype est la composition génétique d'un organisme ou d'une cellule (sa composition moléculaire).

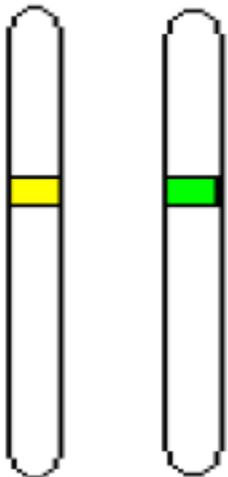
En ce qui concerne la forme des graines chez les pois, ***RR***, ***Rr*** et ***rr*** sont des exemples de génotypes possibles pour les allèles ***R*** et ***r***.

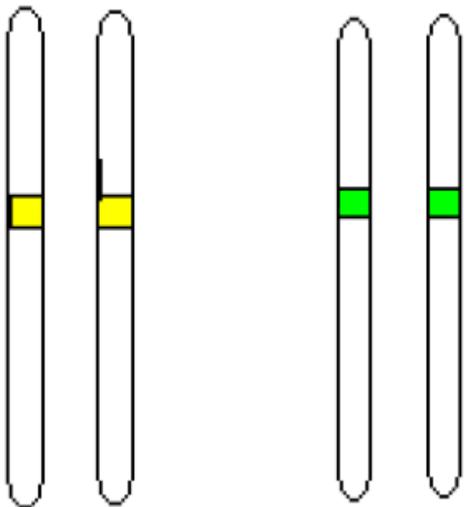
Étant donné que les gamètes contiennent seulement un allèle de chaque gène,

***R*** et ***r*** sont des exemples de génotypes des gamètes.

Un génotype dans lequel les membres d'une paire d'allèles sont différents, comme dans

les hybrides ***Rr*** est dit hétérozygote;





un génotype dans lequel les deux allèles sont semblables est dit homozygote.

Un organisme homozygote peut être homozygote dominant (**RR**) ou homozygote récessif (**rr**).

Termes *homozygote* et *hétérozygote* ne peuvent s'appliquer aux gamètes, puisque les gamètes ne contiennent qu'un allèle de chaque gène.

Les propriétés observables d'un organisme (y compris les caractères visibles) constituent son phénotype.

Les graines lisses ou ridées sont des phénotypes. Il en est de même pour les graines jaunes et vertes. Le phénotype d'un organisme n'implique pas nécessairement quoi que ce soit sur son génotype.

Par exemple, une graine ayant le phénotype [lisse] peut avoir le génotype **RR** ou **Rr**.

L'hypothèse que Mendel fournit pour expliquer le rapport **1 : 2 : 1** est la suivante :

***1- L'existence des gènes.***

Ce sont des déterminants héréditaires d'une nature particulière. Aujourd'hui, nous appelons ces déterminants des *gènes*.

***2- Les gènes existent par paires.***

Les phénotypes alternatifs d'un caractère sont déterminés par différentes formes d'un même gène.

Les différentes formes d'un gène sont appelées **allèles**.

Dans les plants de pois adultes, chaque gène est présent en deux exemplaires dans chaque cellule, ce qui constitue une **paire de gènes**.

Les plantes de la F<sub>1</sub>, par exemple, devaient posséder un allèle responsable du phénotype dominant et un autre allèle, responsable du phénotype récessif.

### ***3- Le principe de la ségrégation.***

Les membres de chaque paire de gènes se disjoignent (ou ségrègent) de manière égale lors de la formation des gamètes (cellules sexuées), ovules ou spermatozoïdes.

### ***4- Contenu génétique.***

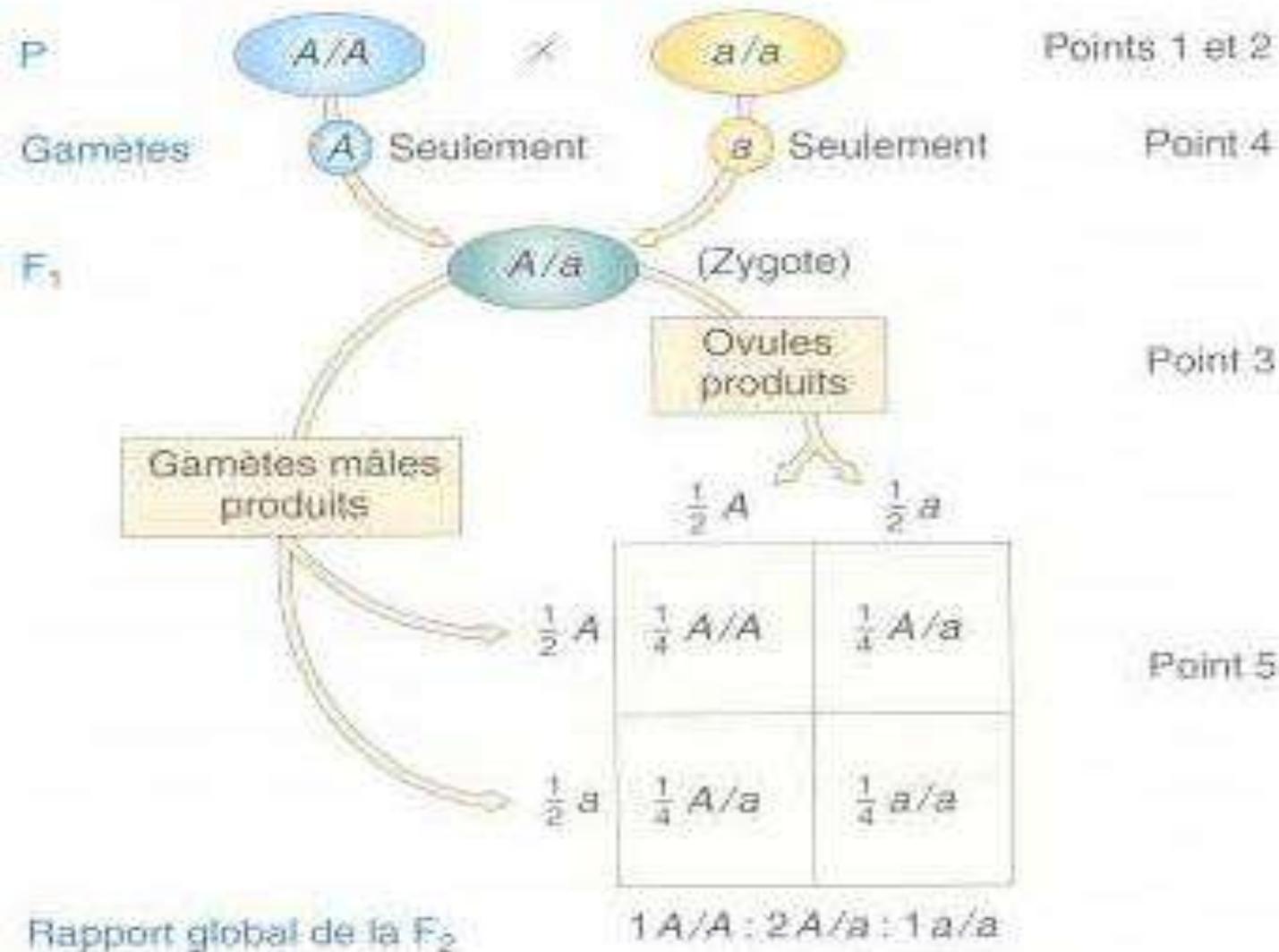
Par conséquent, chaque gamète ne porte qu'un seul membre de chaque paire de gènes.

### ***5- Fécondation aléatoire.***

L'union de deux gamètes parentaux pour former la première cellule (zygote) d'un nouveau descendant est aléatoire

— c'est-à-dire que les gamètes se forment sans tenir compte du membre de la paire de gènes porté.

# Représentation mendélienne des déterminants héréditaires d'une différence de caractère dans les générations P, F<sub>1</sub> et F<sub>2</sub>.



**1- L'existence des gènes**

**2- Les gènes existent en paires**

**3- Le principe de la ségrégation**

**4- Contenu génétique**

**5- Fécondation aléatoire**

# Origine moléculaire de la génétique Mendélienne

Les séquences d'ADN et la variation allélique:



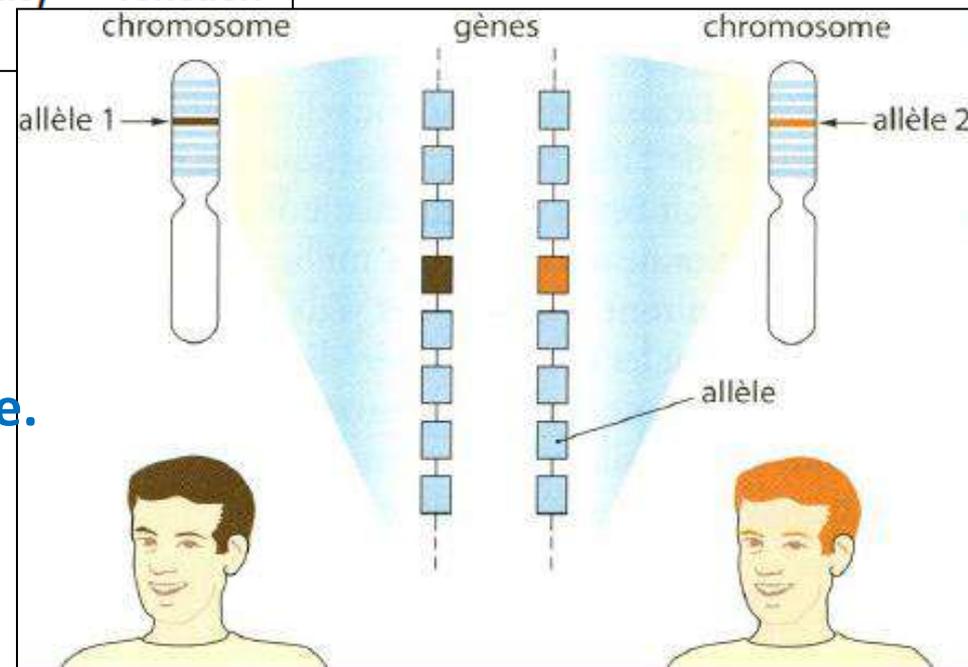
Les notions d'allèle **dominant** et **récessif**:

**A** + **a** = **A/a**  
(protéine fonctionnelle) (protéine non fonctionnelle) = fonction

**LOCUS** : position spécifique d'une séquence d'ADN sur un chromosome.

Souvent employé pour définir l'emplacement d'un gène sur un chromosome.

- **ALLELES** : correspond aux différentes versions d'un gène à un locus particulier. Les différents allèles diffèrent entre eux par leur composition nucléotidique. On décrit des systèmes bi-alléliques (à deux allèles) et des systèmes multi-alléliques



**HOMOZYGOTIE** : si deux allèles à un locus sont identiques, l'individu est homozygote à ce locus.

**HETEROZYGOTIE** : si deux allèles à un locus diffèrent par une mutation, l'individu est hétérozygote à ce locus.

**DOMINANCE** : un caractère muté est dominant lorsqu'il s'exprime même à l'état hétérozygote.

**RECESSIVITE** : un caractère est récessif lorsqu'il ne s'exprime qu'à l'état homozygote.

**GENOTYPE** : définit la constitution ou la composition génétique d'un individu.

On peut parler du génotype à un locus donné.

**PHENOTYPE** : ensemble des caractères apparents permettant de reconnaître un individu.

**Monohybridisme** : quand les deux souches parentales ne diffèrent que par les allèles d'un seul gène.

**Polyhybridisme**: quand les souches parentales diffèrent de deux ou plusieurs loci.

**Dihybridisme** : quand un croisement fait intervenir deux couples d'allèles (2 gènes)

# **TABLEAU : Résumé du mode opératoire à suivre pour pouvoir conclure à une hérédité mendélienne simple**

**Procédure expérimentale:**

- 1- Choisir des lignées pures montrant une différence de caractère (fleurs blanches ou violettes).**
- 2- Croiser les lignées.**
- 3- Laisser les individus de la F1 s'autoféconder.**

**Résultats:** **Toute la F1 a des fleurs violettes,  $\frac{3}{4}$  de la F2 a des fleurs violettes et  $\frac{1}{4}$  des fleurs blanches.**

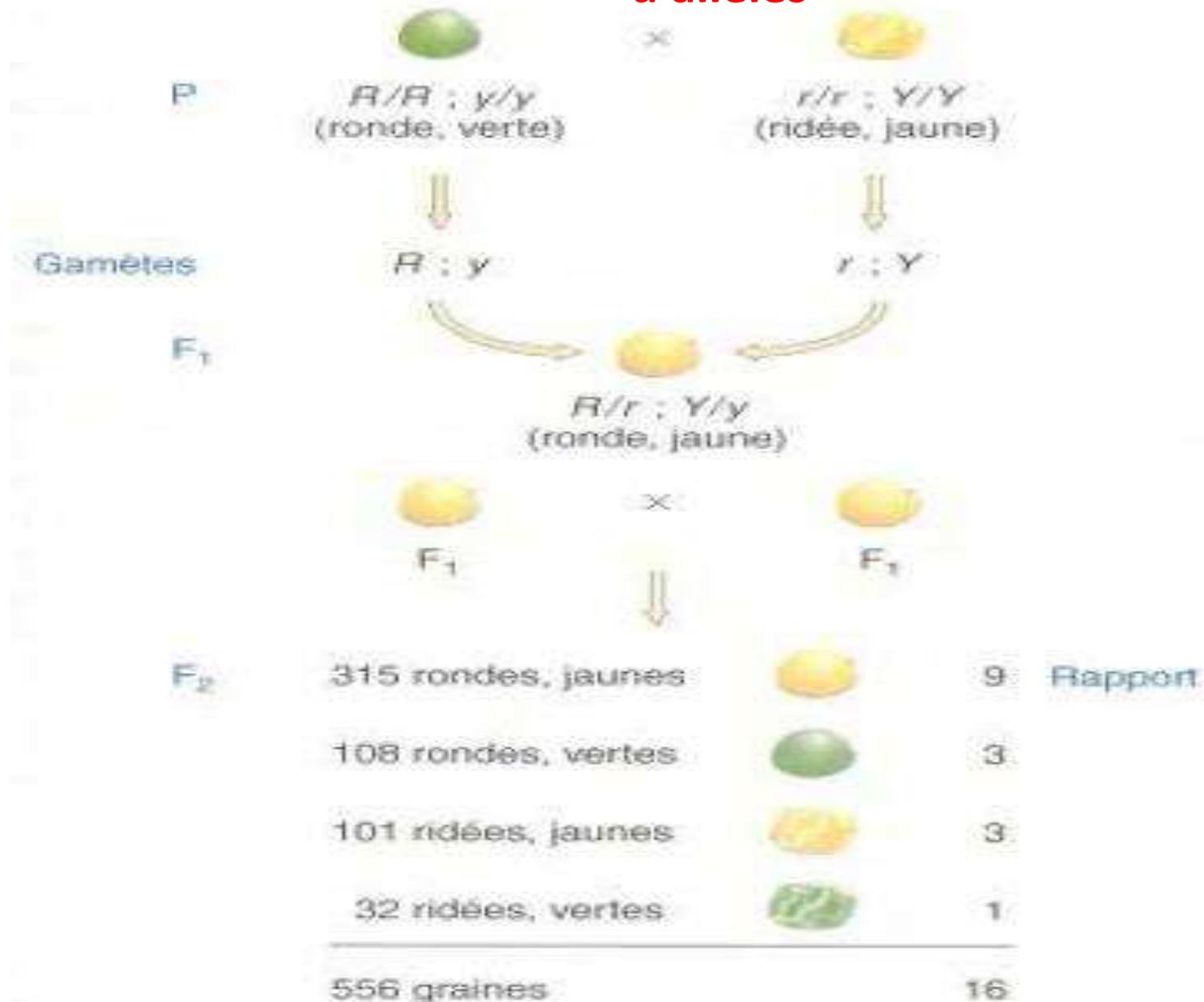
**Déductions:**

- 1- La différence de caractère est contrôlée par un gène essentiel déterminant la couleur des fleurs.**
- 2- L'allèle dominant de ce gène détermine des pétales violets, l'allèle récessif, des pétales blancs.**

**Interprétation symbolique:**

| <b>Caractère</b>    | <b>Phénotype</b>  | <b>Génotype</b>           | <b>Allèle</b> | <b>Gène</b>                            |
|---------------------|-------------------|---------------------------|---------------|--|
| Couleur de la fleur | Violet (dominant) | C/C (homozygote dominant) | C (dominant)  | Gène déterminant la couleur des fleurs |
|                     |                   | C/c (hétérozygote)        | c (récessif)  |  |
|                     | Blanc (récessif)  | c/c (homozygote récessif) |               |  |

### III- Dihybridisme : Cas d'un croisement faisant intervenir deux couples d'allèles



**Parents de lignée pure**

**P 1**

Graines jaunes  
et rondes



X

Graines vertes  
et ridées



**F 1**



100% de  
graines jaunes  
et rondes

**F 1** → **P 2**

**F 2**



56,25% de  
graines jaunes  
et rondes



18,75% de  
graines jaunes  
et rondes



18,75% de  
graines jaunes  
et rondes



6,25% de  
graines jaunes  
et rondes

9



:

3



:

3



:

1



# Les allèles de gènes différents ségrègent indépendamment

- [lisses] : [ridées]

$$(315 + 108) : (101 + 32) = 423 : 133 = 3,18 : 1$$

- [jaunes] : [vertes]

$$= (315+101) : (108+ 32) = 416 : 140 = 2,97 : 1$$

- De plus, dans la descendance F2 du croisement dihybride, les rapports 3 : 1 indépendants pour les deux caractères sont combinés au hasard.

- $3/4 \times 3/4$  à  $3/4 \times 1/4$  à  $1/4 \times 3/4$  à  $1/4 \times 1/4$

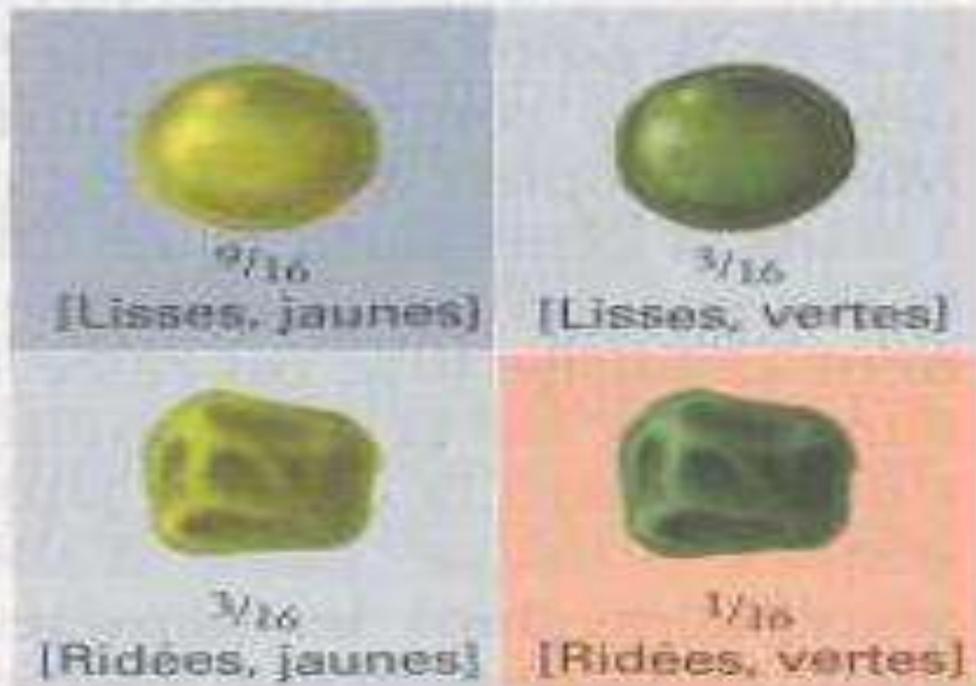
Ou

$$9/16 : 3/16 : 3/16 : 1/16$$

## Phénotypes de couleur des graines



## Phénotypes de forme des graines



Les proportions des phénotypes des descendants  $F_2$  d'un croisement dihybride sont 9 : 3 : 3 : 1.

# F2

### Parents :



Phénotypes  
Génotypes

### Gamètes :



### Descendants F<sub>1</sub> :



Double hétérozygote

### Gamètes femelles



### Gamètes mâles

|          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| $1/4 RV$ |
| $1/4 RV$ | $RR VV$  | $RR Vv$  | $Rr VV$  | $Rr Vv$  |
| $1/4 Rv$ | $RR Vv$  | $RR vv$  | $Rr Vv$  | $Rr vv$  |
| $1/4 rV$ | $Rr VV$  | $Rr Vv$  | $rr VV$  | $rr Vv$  |
| $1/4 rv$ | $Rr Vv$  | $Rr vv$  | $rr Vv$  | $rr vv$  |

### Phénotypes

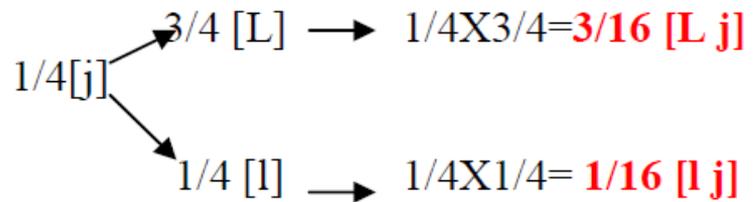
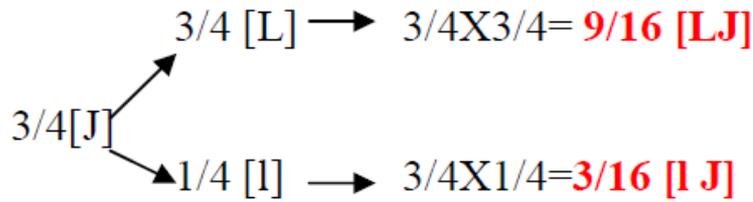
- =  $9/16$  [lisses, jaunes]
- =  $3/16$  [ridées, jaunes]
- =  $3/16$  [lisses, vertes]
- =  $1/16$  [ridées, vertes]

### F<sub>2</sub> :

### Génotypes

- $1/16 RR VV + 2/16 RR Vv + 2/16 Rr VV + 4/16 Rr Vv$
- $1/16 rr VV + 2/16 rr Vv$
- $1/16 RR vv + 2/16 Rr vv$
- $1/16 rr vv$

Pour les **phénotypes** on aura :



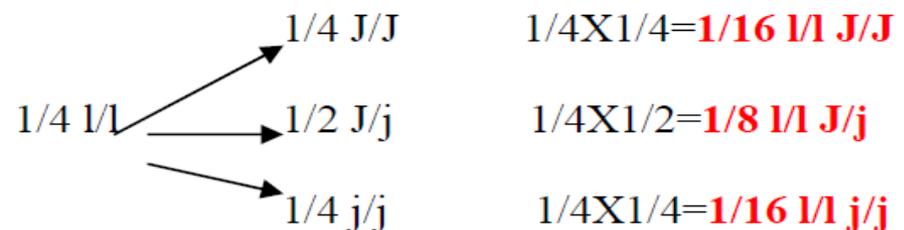
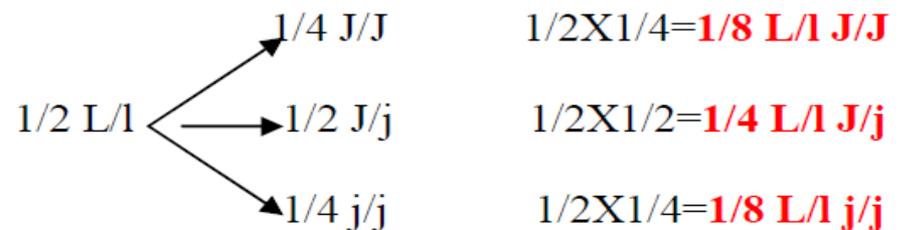
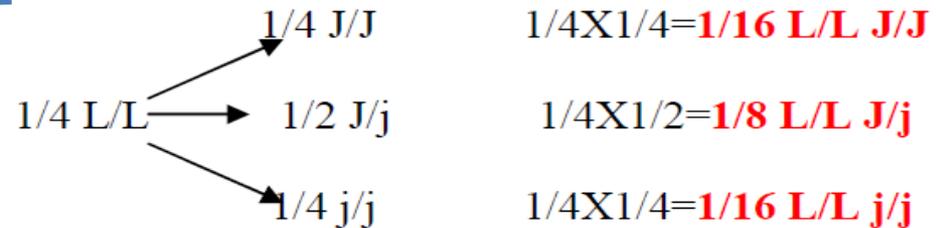
Le **nombre de génotypes** sera donc égal a **3n**, "n" étant le nombre de caractères. Dans notre cas **n = 2** et **3n = 9**, il y a donc **neuf génotypes**.

## LE SYSTEME BRANCHE

Le **nombre de phénotypes** sera donc égal a **2n**,

"n" étant le nombre de caractères. Dans notre cas **n = 2** et **2n = 4**, il y a donc **quatre phénotypes**.

Pour les **génotypes** on aura



## **Règle de l'addition :**

La probabilité de réalisation de l'une ou l'autre de deux possibilités mutuellement exclusives, A ou B, est la somme de leurs probabilités individuelles.

Exprimée en symboles, avec Prob signifiant *probabilité*, la loi de l'addition s'écrit:

$$\text{Prob } \{A \text{ ou } B\} = \text{Prob } (A) + \text{Prob } (B)$$

## **MESSAGE**

### **La règle de la somme :**

**La probabilité que l'un ou l'autre de deux événements mutuellement exclusifs se produise est égale à la somme de leurs probabilités respectives.**

# **La règle de la multiplication:**

La règle de la multiplication s'applique également aux événements indépendants.

la règle de la multiplication est

$$\text{Prob } \{A \text{ et } B\} = \text{Prob } \{A\} \times \text{Prob } \{B\}$$

## **MESSAGE**

**La règle du produit :**

**La probabilité que deux événements indépendants se produisent simultanément est le produit de la probabilité de chacun de ces événements.**

Parents :

$Rr$   $Vv$   $\times$   $rr$   $vv$

Gamètes

$rv$

Gamètes

$\frac{1}{4}$   $RV$



$Rr Vv$

=  $\frac{1}{4}$  [lisses, jaunes]

$\frac{1}{4}$   $Rv$



$Rr vv$

=  $\frac{1}{4}$  [lisses, vertes]

$\frac{1}{4}$   $rV$



$rr Vv$

=  $\frac{1}{4}$  [ridées, jaunes]

$\frac{1}{4}$   $rv$



$rr vv$

=  $\frac{1}{4}$  [ridées, vertes]

Tous les gamètes provenant du parent homozygote récessif sont  $rv$ .

# Le croisement-test

Les gamètes provenant du parent hétérozygote manifestent un assortiment indépendant.

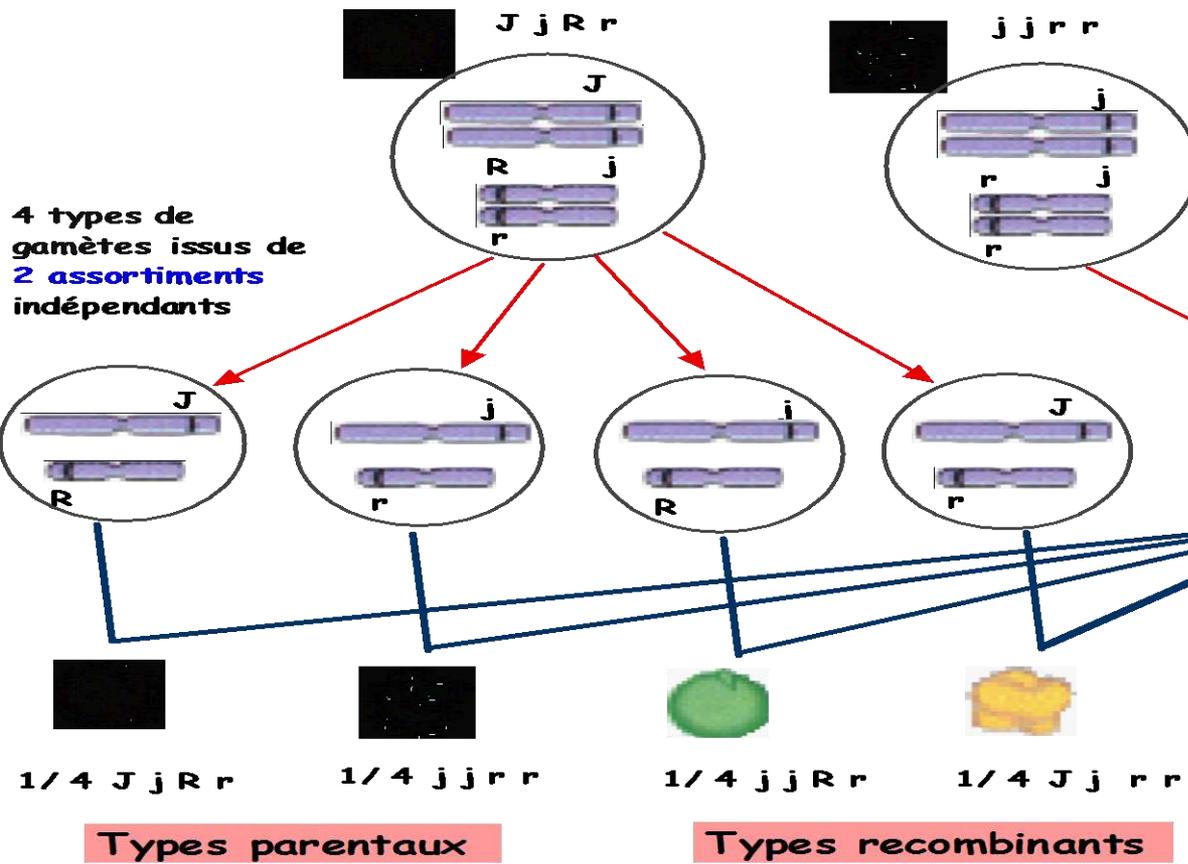
Jaune domine vert et Rond domine ridé

# Le croisement-test

la fréquence et les types de gamète donnés par l'individu testé (en rouge),

1 seul type de gamète issu de 2 assortiments indépendants

4 types de gamètes issus de 2 assortiments indépendants



correspondent aux fréquences phénotypiques des individus de La descendance.

|                      |           |           |           |           |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Testé $\gamma$       | (J L)     | (J l)     | (j L)     | (j l)     |
| testeur              | 1/4       | 1/4       | 1/4       | 1/4       |
| gamètes (j l) 1      | J/j L/l   | J/j l/l   | J/j L/l   | J/j l/l   |
| Phénotypes individus | [J L] 1/4 | [J l] 1/4 | [j L] 1/4 | [j l] 1/4 |

## Parents **P1** x **P2**:

[ailes longues, corps gris] x [ailes vestigiales, corps ebony]

Première génération **F1**: [ailes longues, corps gris]

### **PARENTS**

(souche pure)

Drosophile sauvage  
♂ ou ♀  
(ailes longues,  
corps gris)



x



Drosophile double  
mutante ♂ ou ♀  
(ailes vestigiales,  
corps ébène)

### **F1**

(première génération  
de descendants)



100% de drosophiles aux  
ailes longues et au corps gris

Les parents sont homozygotes  
pour  
ces deux gènes car en F1 il n'y  
a pas de diversité génétique.  
**vg+** a des effets dominant sur  
**vg**,  
idem **eb+** sur **eb**.

♀ Femelle  
hétérozygote



FI X FI

♂ Male  
hétérozygote

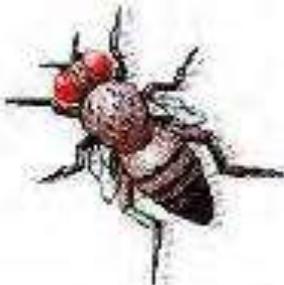


Ailes longues  
et corps gris

Ailes longues  
et corps gris



F2

| Corps gris et ailes longues   | Corps ébony et ailes longues   | Corps gris et ailes vestigiales  | Corps ébony et ailes vestigiales   |
|---|--|--|--|
|  |  |  |  |
| 730/1299 soit 56.19 %<br>soit près de 9/16  | 245/1299 soit 18.86 %<br>soit près de 3/16   | 245/1299 soit 18.78 %<br>soit près de 3/16   | 81/1299 soit 6.23 %<br>soit près de 1/16   |

9 : 3 : 3 : 1

2 Gènes indépendants

On va alors **utiliser le test cross**,  
car il donne directement les gamètes produits par  
l'hétérozygote de la génération F1.

F1 a fabriqué 4 types de gamètes après méiose en quantité égale →  
**gamètes de types parentales** : (vg+, e+) et (vg, e) et  
des **gamètes recombinés** (non parentale) : (vg, e+) et (vg+, e)

**\*Test cross :**

**F1 x P2:** [ailes longues, corps gris] x [ailes vestigiales, corps ebony]

|           |  |  |  |   |
|-----------|--|--|--|---|
| <b>F2</b> | 25%<br>[ailes<br>longues,<br>corps gris] | 25%<br>[ailes<br>longues,<br>corps noir] | 25%<br>[ailes<br>vestigiales,<br>corps gris] | 25 %<br>[ailes<br>vestigiales,<br>corps noir] |
|-----------|--|--|--|---|

**\*Tableau de croisement des gamètes :**

|                          |               |             |              |              |
|--------------------------|---------------|-------------|--------------|--------------|
| gamètes F1<br>gamètes P2 | 1/4(vg+, eb+) | 1/4(vg, eb) | 1/4(vg, eb+) | 1/4(vg+, eb) |
| 1(vg, eb)                | vg+vg, eb+eb  | vgvg, ebeb  | vgvg, eb+eb  | vg+vg, ebeb  |

← 2 zygotes de type parental →

← 2 zygotes de type recombiné →

# RAPPELS

## Le but de la méiose

**1. La production des gamètes** qui contiennent la moitié du nombre de chromosomes de la cellule somatique.

Deux gamètes se combinent pour donner un zygote.

## 2. La variabilité:

- **La recombinaison génétique** due à la formation de tétrade et l'enjambement entre des chromatides non-soeurs durant la synapse de la prophase I.

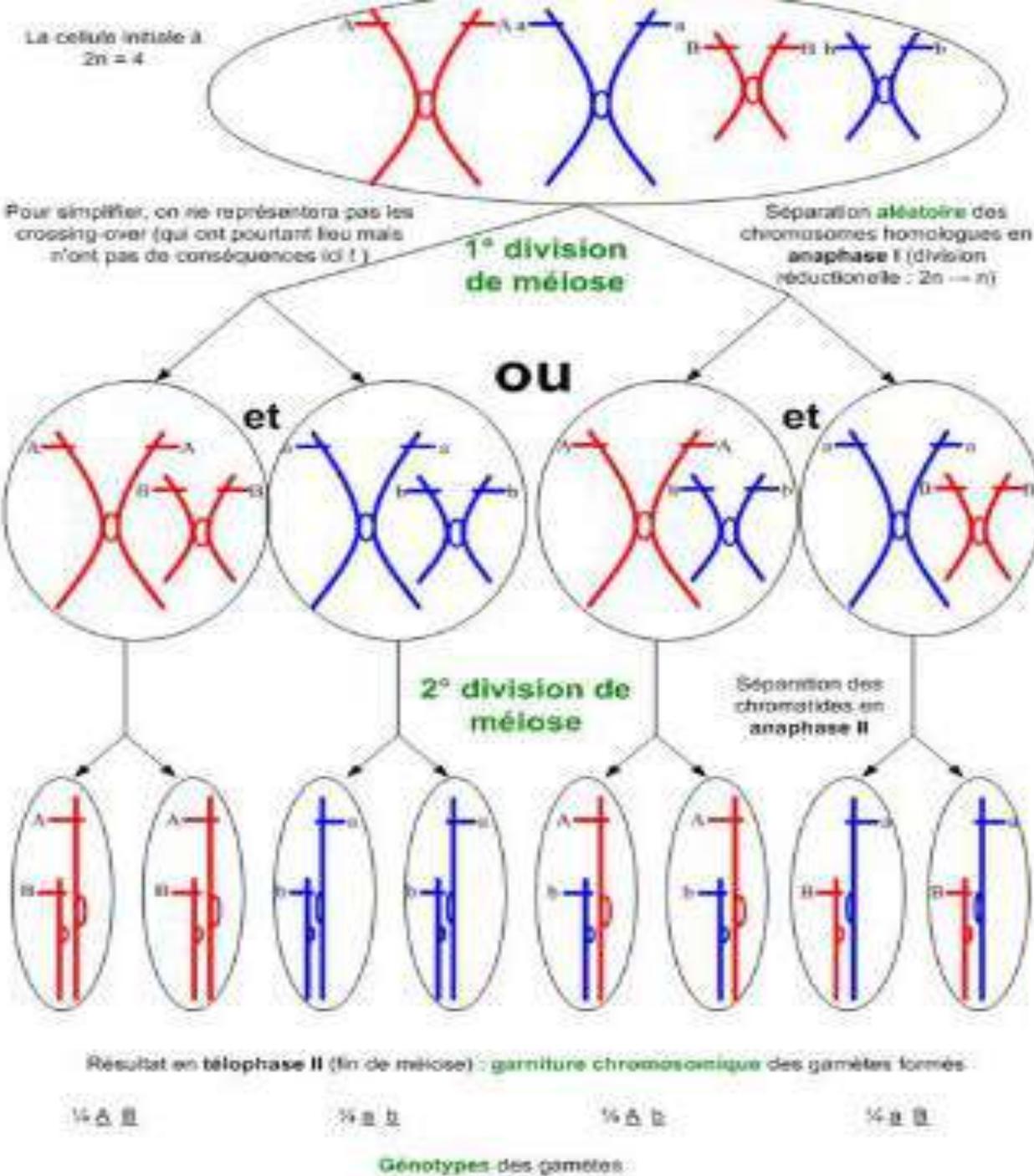
- **La loi de l'assortiment indépendant:** Dans chaque paire, le chromosome d'origine maternelle est orienté vers un pôle de la cellule, et le chromosome d'origine paternelle est orienté vers l'autre pôle.

**L'orientation d'une paire de chromosome est indépendante de l'orientation des autres paires de chromosomes.**

Donc, deux gamètes se combinent pour former des génotypes qui ne sont pas nécessairement présents dans la génération précédente).

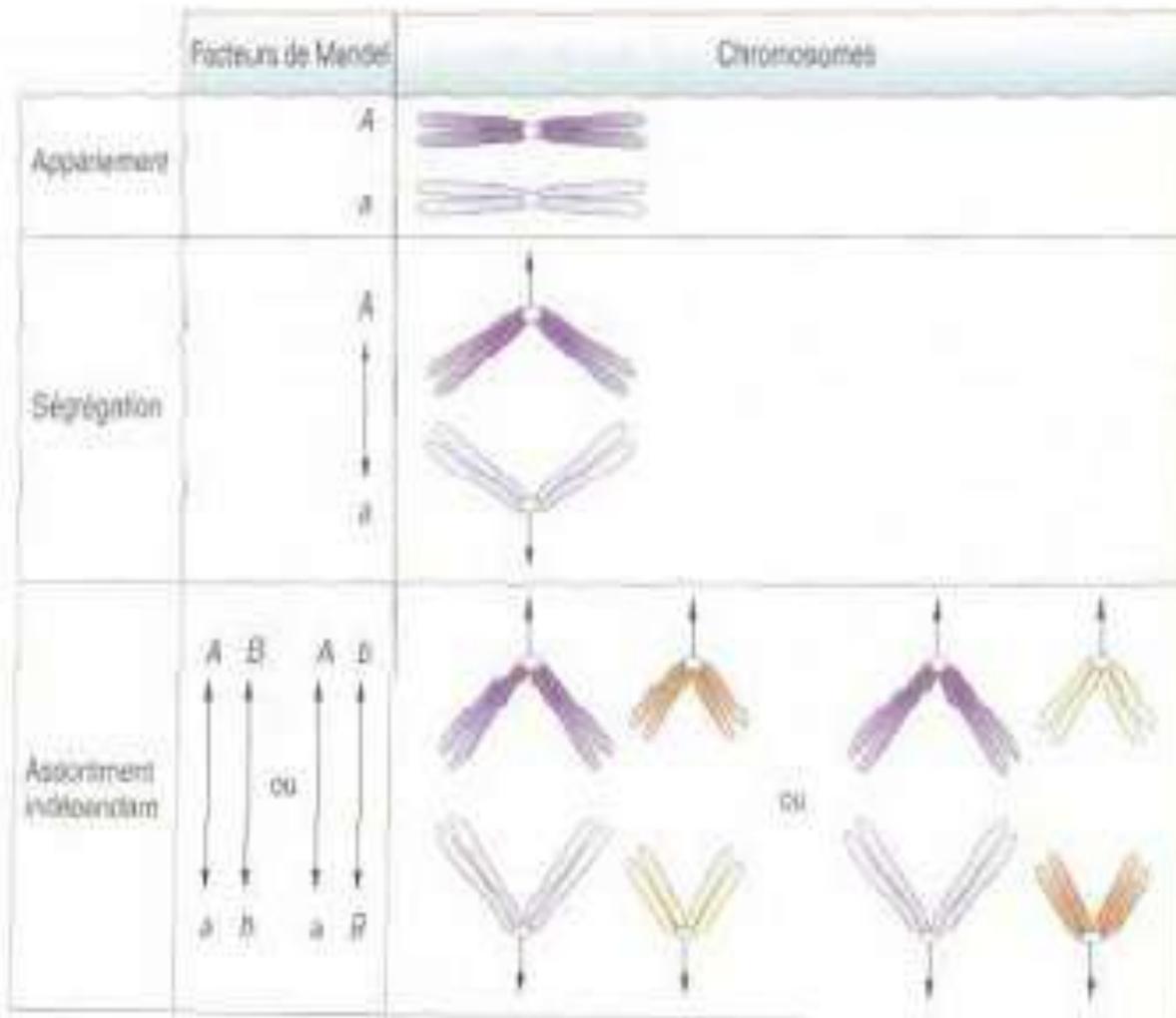
Qu'est-ce que la ségrégation indépendante ?

La loi de l'assortiment indépendant (permet une variabilité génétique)



# Principe de l'assortiment indépendant :

La ségrégation des membres de toute paire d'allèles est indépendante de la ségrégation d'autres paires d'allèles lors de la formation des cellules reproductrices.



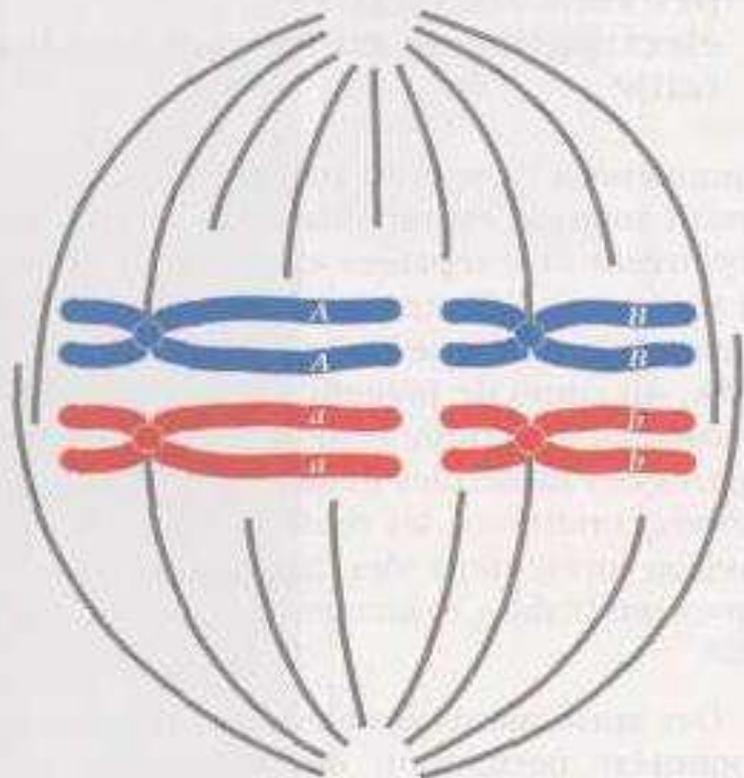
## MESSAGE

**Les paires de gènes situées sur des paires différentes de chromosomes sont réparties indépendamment lors de la méiose.**

**La descendance des test-cross présente le résultat d'un assortiment indépendant.**

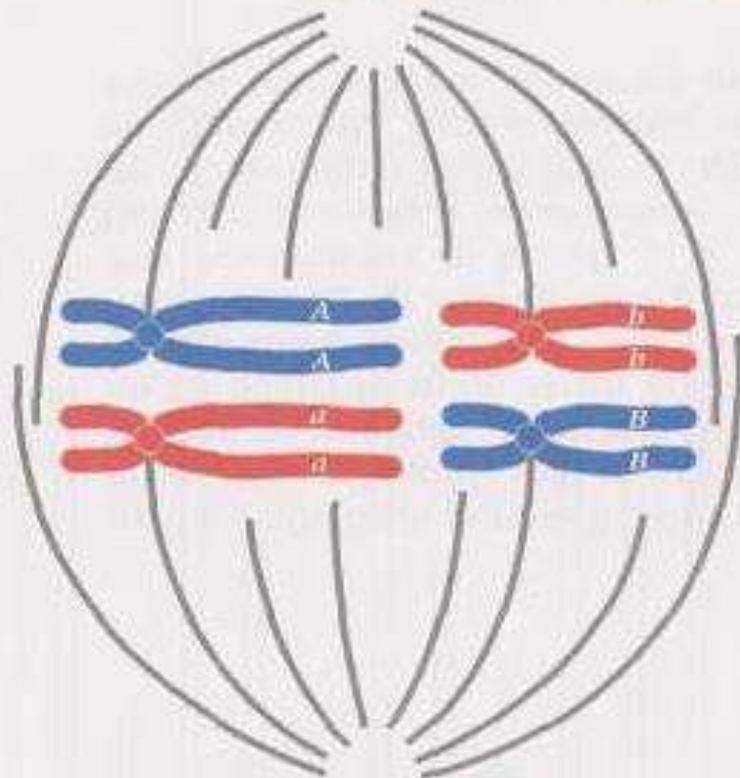
L'alignement métaphasique des gènes portés par différents chromosome peut se faire :

Possibilité 1



ou

Possibilité 2



Les gamètes qui seront issus de cet alignement seront

$AB : AB : ab : ab$

Les gamètes qui seront issus de cet alignement seront

$Ab : Ab : aB : aB$

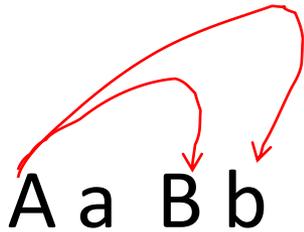
Les deux alignements étant équiprobables, les proportions finales de gamètes seront

$AB : Ab : aB : ab = 1 : 1 : 1 : 1$

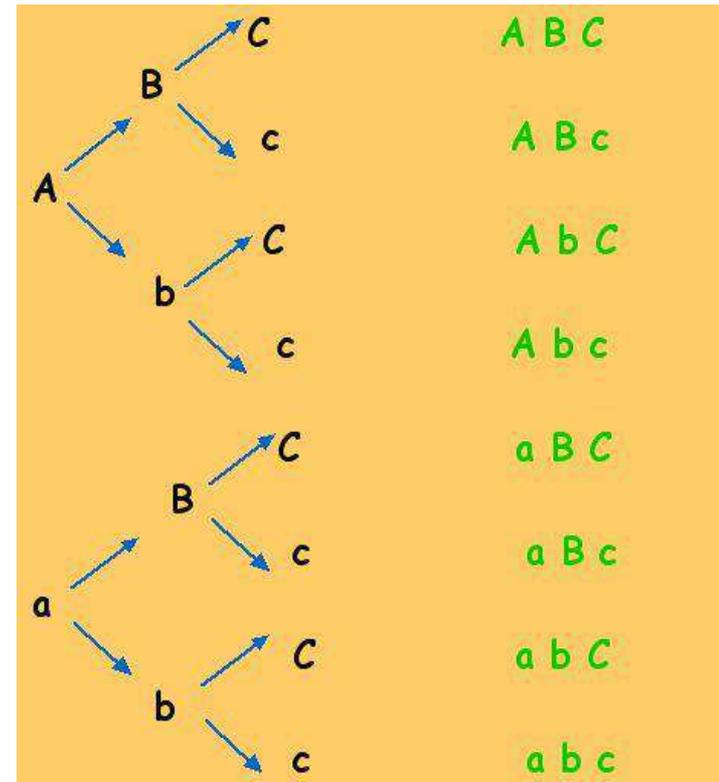
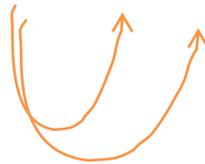
Ces proportions sont caractéristiques d'une répartition indépendante.

**Un truc simple pour trouver les gamètes**  
**(Dans un problème donné de génétique donné)**  
séparer les paires et garder un membre de chaque  
paire

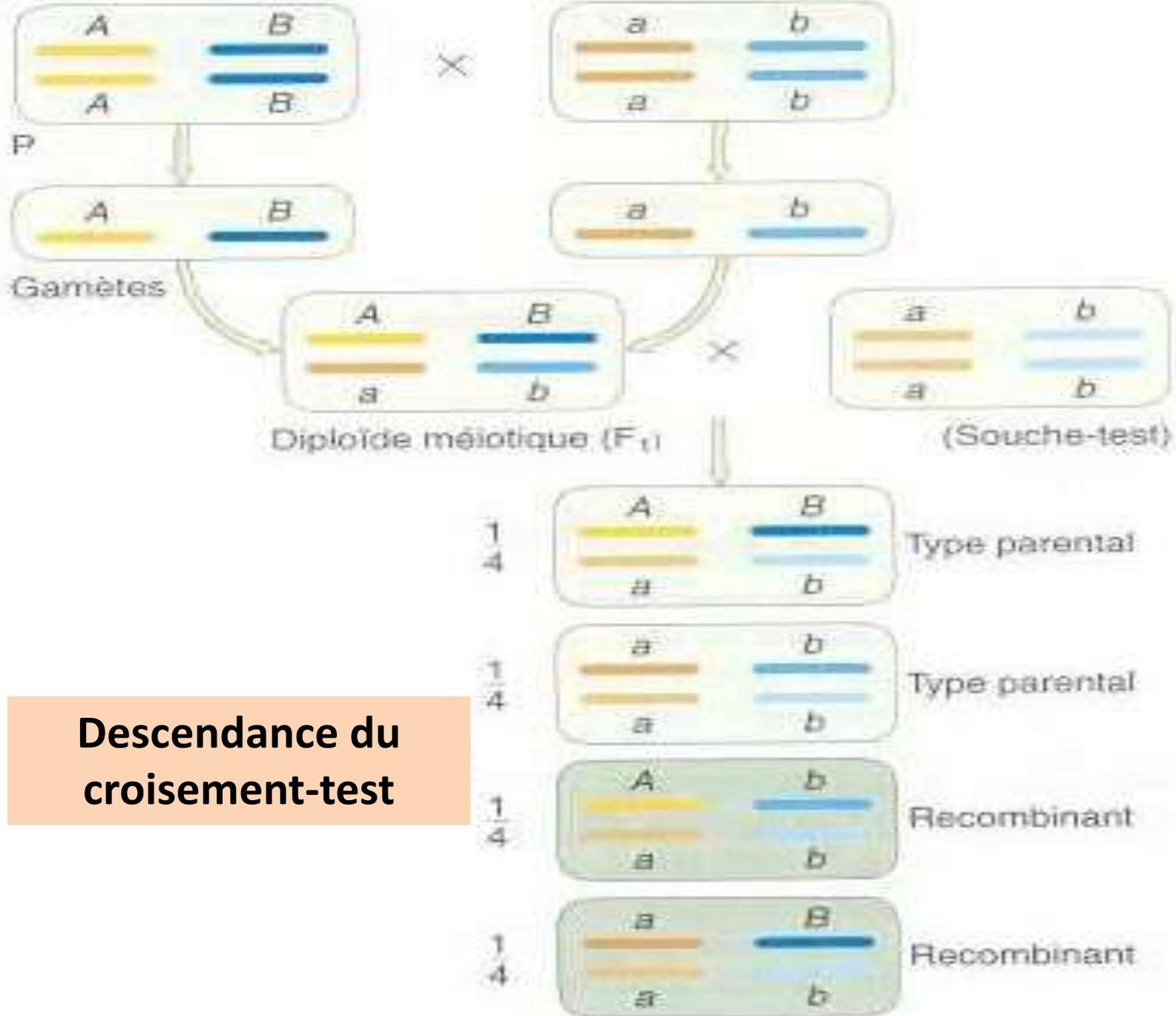
**Quels sont les gamètes d'un individu ayant le  
génotype Aa Bb ?**



A a B b



**Quels sont les gamètes d'un individu ayant le génotype Aa  
Bb Cc ?**



**Descendance du croisement-test**

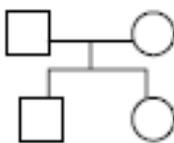
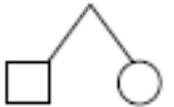
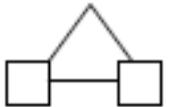
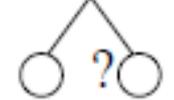
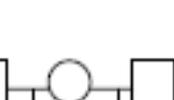
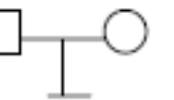
L'Analyse de phénotypes des individus issus du **test-cross** entre individus F1 et individus double récessifs, donc homozygotes pour les gènes considérés.

- Si les F1 ont produit **4** types de gamètes en **quantité égale**, c'est que les gènes **sont indépendants**, non liés ; expliquer alors la fabrication des 4 types de gamètes par le **brassage interchromosomique**.

- Si les F1 ont produit **4** types de gamètes **en quantité inégales** (plus de gamètes parentaux que de gamètes recombinés), c'est que les gènes considérés **sont liés** ; expliquer alors les proportions différentes des 4 types de gamètes par le **brassage intrachromosomique**.

# IV- Les résultats de la ségrégation peuvent être observés dans les pédigrées humains

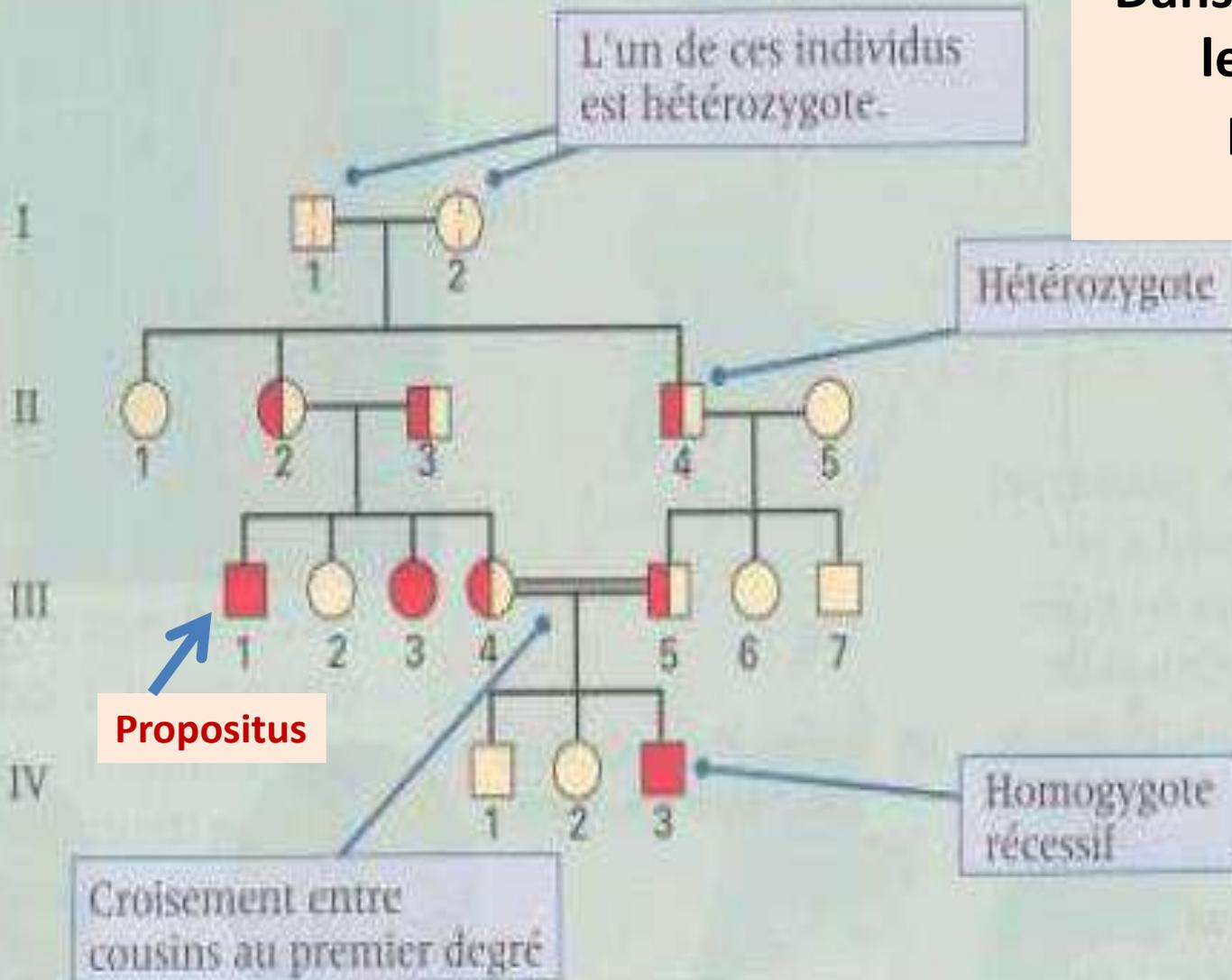
## Symboles habituellement utilisés dans les arbres généalogiques

|  |  |   |   |
|--|--|---|---|
|    | Mariage  |    | Homme   |
|    | Mariage consanguin                                   |    | Femme   |
|    | Parents et enfants<br>(dans l'ordre de la naissance) |    | Sexe indéterminé                              |
|    | Jumeaux dizygotes                                    |     | Individu atteint                              |
|    | Jumeaux monozygotes                                  |    | Proposant                                     |
|   | Jumelles dont la zygosité est inconnue               |      | individu décédé                               |
|  | Jumelles dont la zygosité est inconnue               |     | individu décédé                               |
|  | Une femme avec ses enfants des deux <b>enfants</b>   |     | Hétérozygote pour un caractère autosomique    |
|  | Epoux sans enfants                                   |    | Hétérozygote pour un caractère autosomique    |
|  |  |  | Porteur d'un gène récessif lié à l'X          |
|  |  |  | Avortement et foetus mort de sexe indéterminé |

# Dans l'analyse d'arbre généalogique

**Propositus:** Premier membre d'une famille qui retient l'attention d'un généticien

Dans la plupart des cas, le phénotype du propositus est exceptionnel.

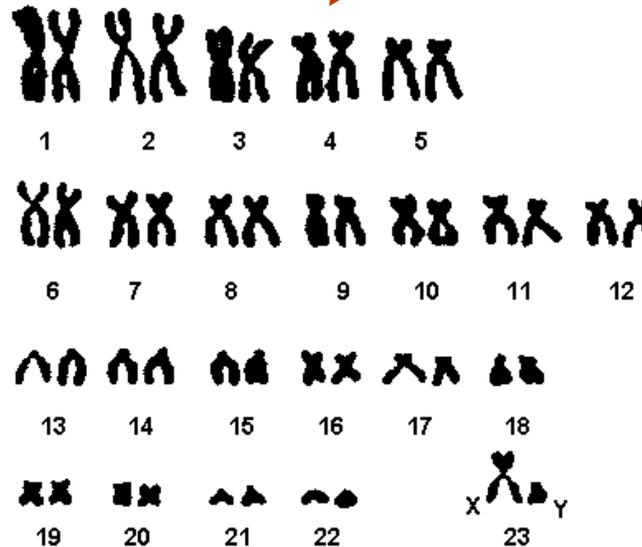


# Les chromosomes et l'hérédité

Provient du père

Provient de la mère

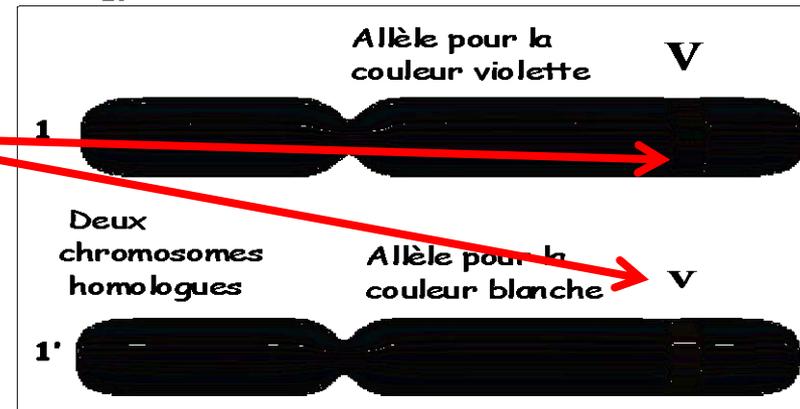
Chaque cellule humaine contient 2 lots de 23 chromosomes pour un total de 46 chromosomes.



Pour chaque paire, un chromosome vient du père et l'autre vient de la mère.

Les allèles sont les versions alternatives d'un gène.

Les deux allèles déterminent (ou contribuent à déterminer) l'apparence de l'individu pour ce caractère



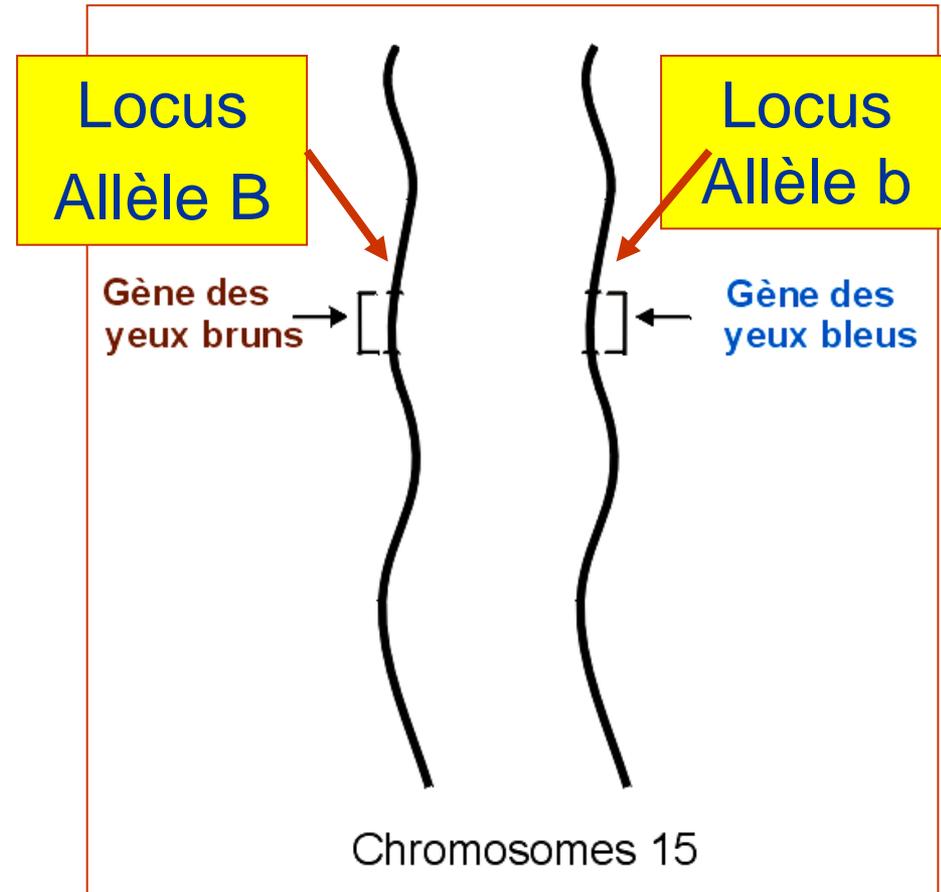
Les chromosomes d'une même paire sont dits **homologues**.

Deux chromosomes homologues sont **presque** identiques.

La plupart des gènes sont identiques, mais certains peuvent être légèrement différents.

Ex. Un chromosome peut porter un gène codant pour les **yeux bleus** et son homologue le gène des **yeux bruns**.

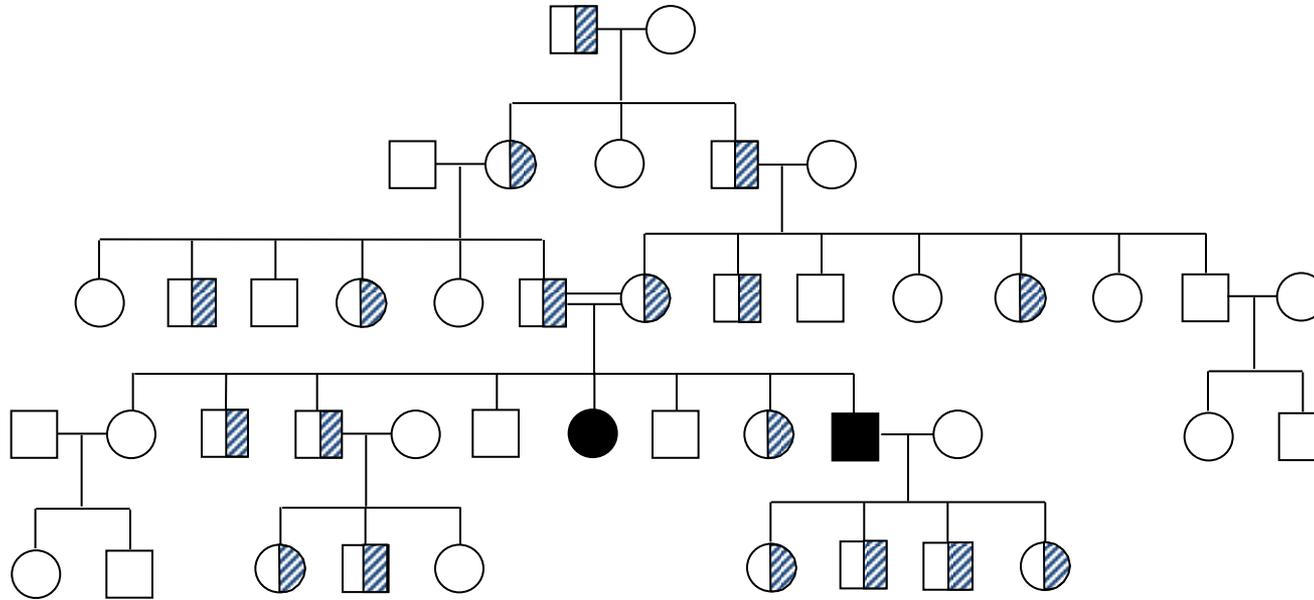
B et b occupent le même locus sur le chromosome 15



Ce gène déterminant la couleur des yeux existe en deux variétés différentes (notées B et b) appelées **allèles**.

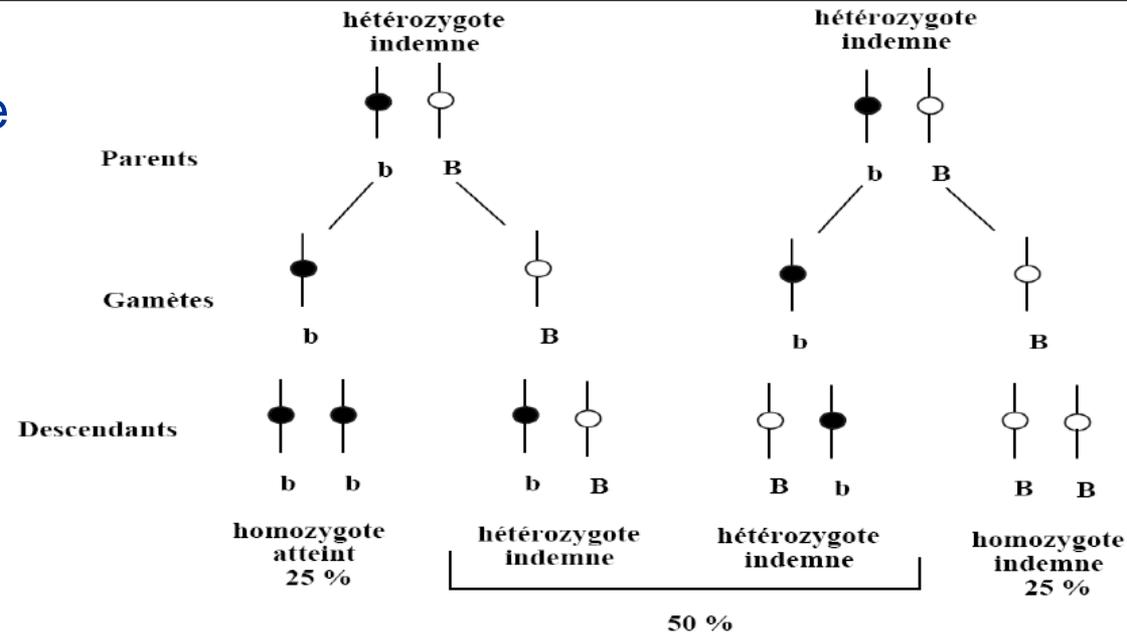
**locus (pluriel loci)**

# Transmission Autosomique Récessive

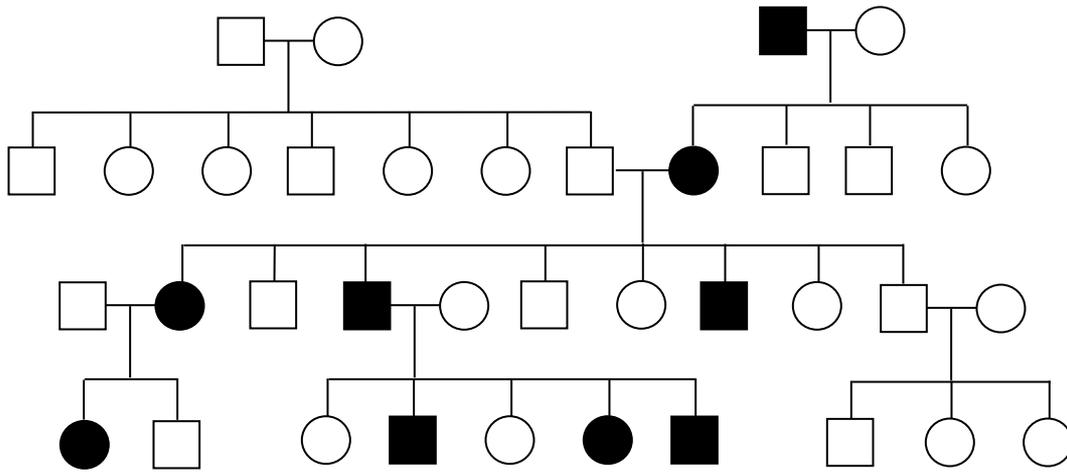


**Albinos = aa**

**Albinisme** = anomalie génétique due à un gène anormal "a"



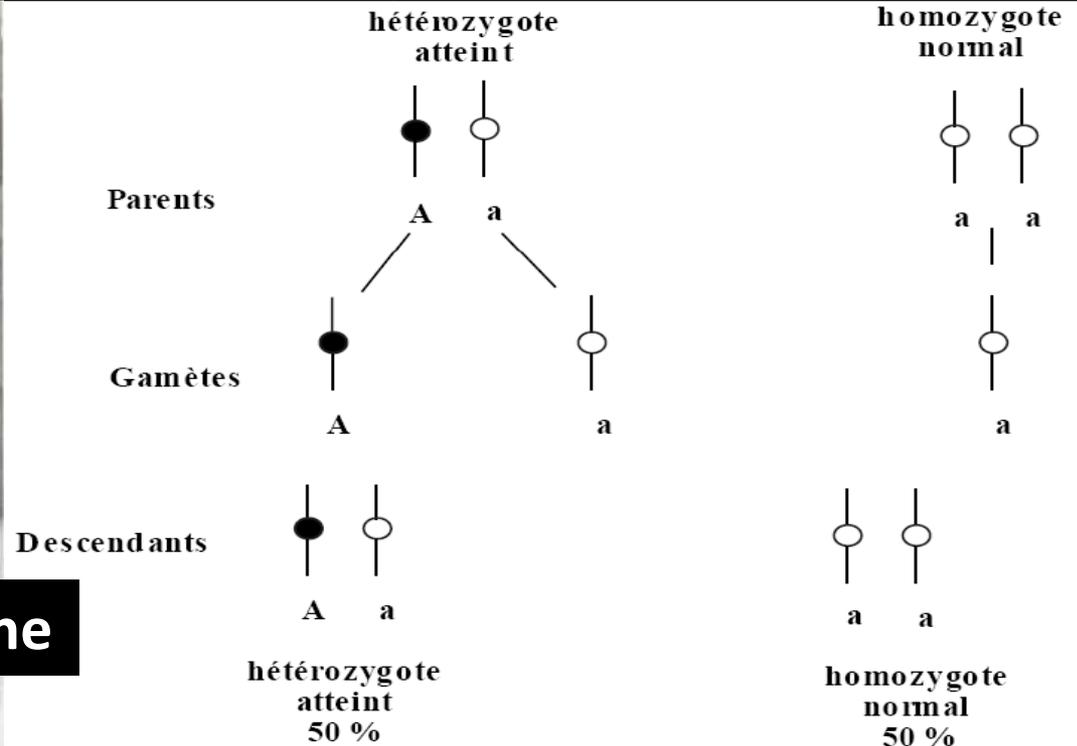
# Transmission Autosomique Dominante



**Dominant** : caractère qui exprime son phénotype lorsqu'il est présent à l'état hétérozygote aussi bien qu'homozygote



**Achondroplasie humaine**



## MESSAGE:

- \*- Croisement de 2 individus différant par 1 seul caractère  
« Monohybridisme »

Si le **test-cross** a **des proportions de 50/50 (1/1)**,  
c'est qu'un **seul gène** est en jeu.

- \*- **Dihybridisme**: 2 gènes indépendants:

**test-cross** a des proportions de **1/4,1/4,1/4,1/4 (1/1/1/1.)**

- \*- Si le **test-cross** conduit à des phénotypes en **proportions inégales**, c'est que **2 ou plusieurs gènes liés** sont impliqués

Il faut alors :

1. Faire l'hypothèse de **2 gènes impliqués**
2. Indiquer, dans ce cas, **le génotype des parents et des individus F1.**
3. Montrer en faisant un échiquier de croisement que cela permet d'expliquer **qualitativement les phénotypes** obtenus lors du test-cross.
4. Exploiter **quantitativement les phénotypes** issus du test-cross pour établir si les gènes en jeu **sont liés ou non.**

## V- La découverte de la liaison au sexe.

- Dans les croisements discutés jusqu'à présent, le sexe du parent appartenant à l'une ou à l'autre souche est sans importance.
- la découverte de l'hérédité en zigzag et de l'existence des chromosomes X et Y par Thomas Hunt Morgan en 1909, chez une mouche du vinaigre:

« *Drosophila melanogaster* ».

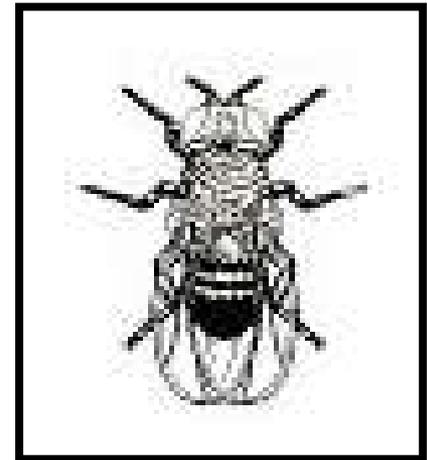
**Gène lié au sexe**

**Gène présent sur le X, mais  
qui n'a pas d'allèle sur le Y.**

**Des croisements réciproques  
(tels que souche A femelle X  
B mâle et A mâle X B femelle)  
produisent des résultats  
différents.**



♀ **Phénotype  
sauvage  $w^+$**



♂ **Phénotype  
mutant  $w$**

# Gènes liés au sexe

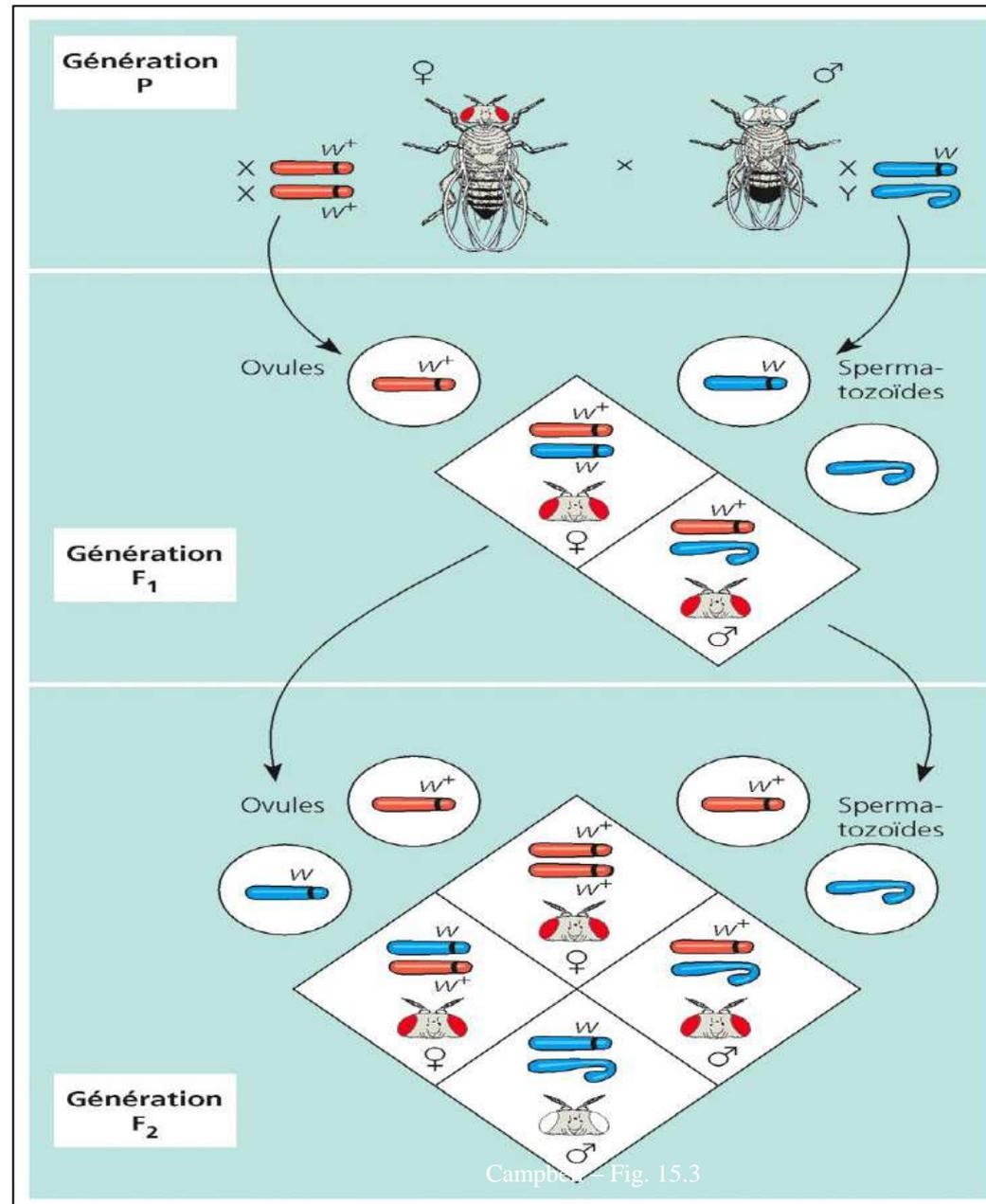
## Croisement monohybride de Morgan

Morgan a croisé un mâle mutant aux yeux blancs avec une femelle homozygote pour les yeux rouges.

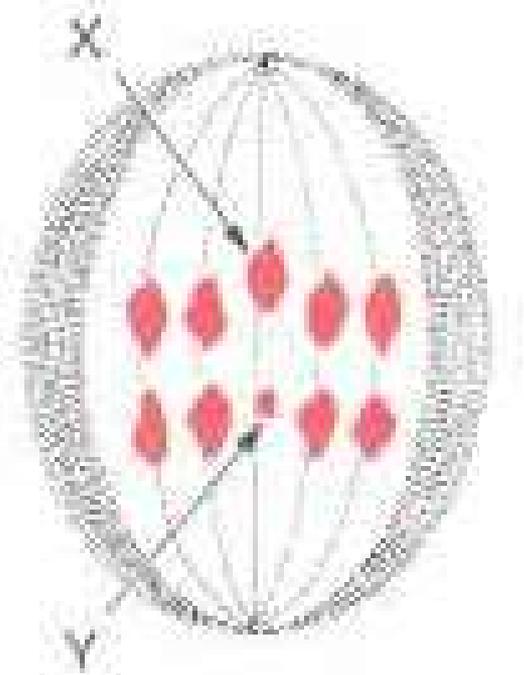
$F_1$  : Tous avaient des yeux rouges  
Donc, le type sauvage devait être dominant par rapport au type mutant.

Morgan a ensuite laissé la  $F_1$  se croiser.  
Le rapport phénotypique de la  $F_2$  était  
**3 yeux rouges : 1 yeux blancs.**

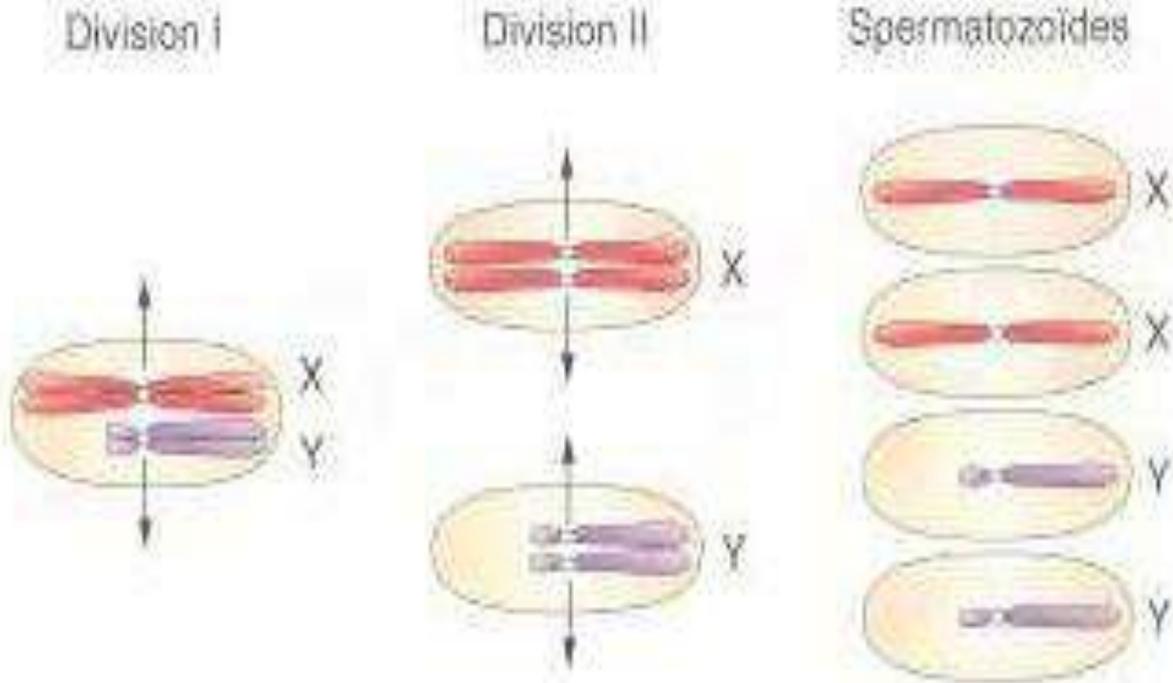
**Mais!!!** Les individus aux yeux blancs étaient tous des mâles!!

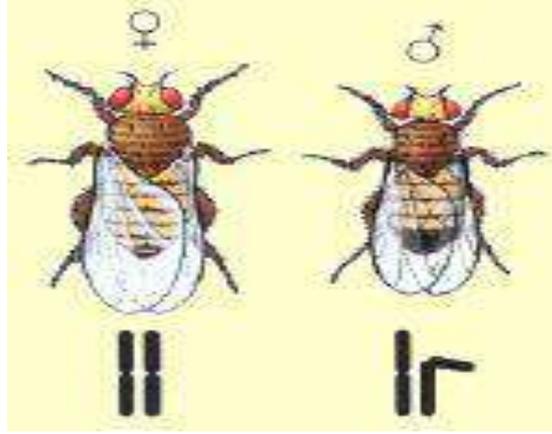


Ségrégation de la paire de chromosomes hétéromorphe (X et Y) pendant la méiose chez un mâle de *Tenebrio*. Les chromosomes X et Y gagnent les pôles opposés lors de l'anaphase I.

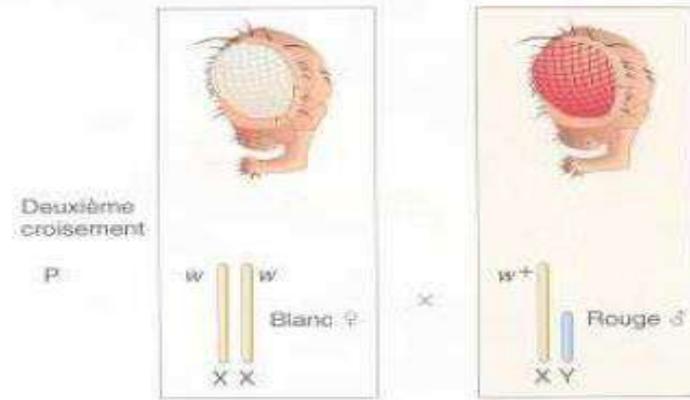
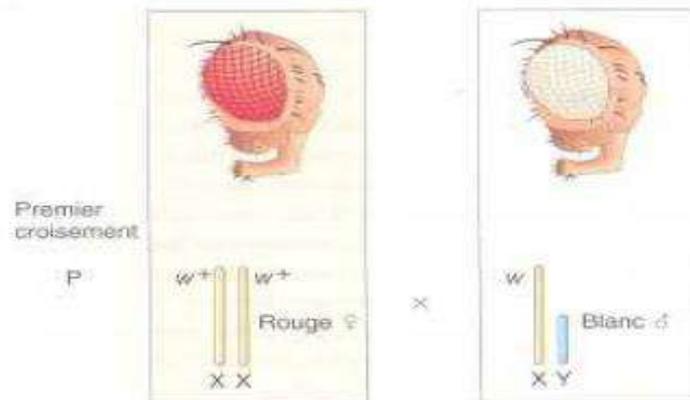


L'appariement méiotique et la ségrégation des chromosomes X et Y entre des nombres égaux de spermatozoïdes.

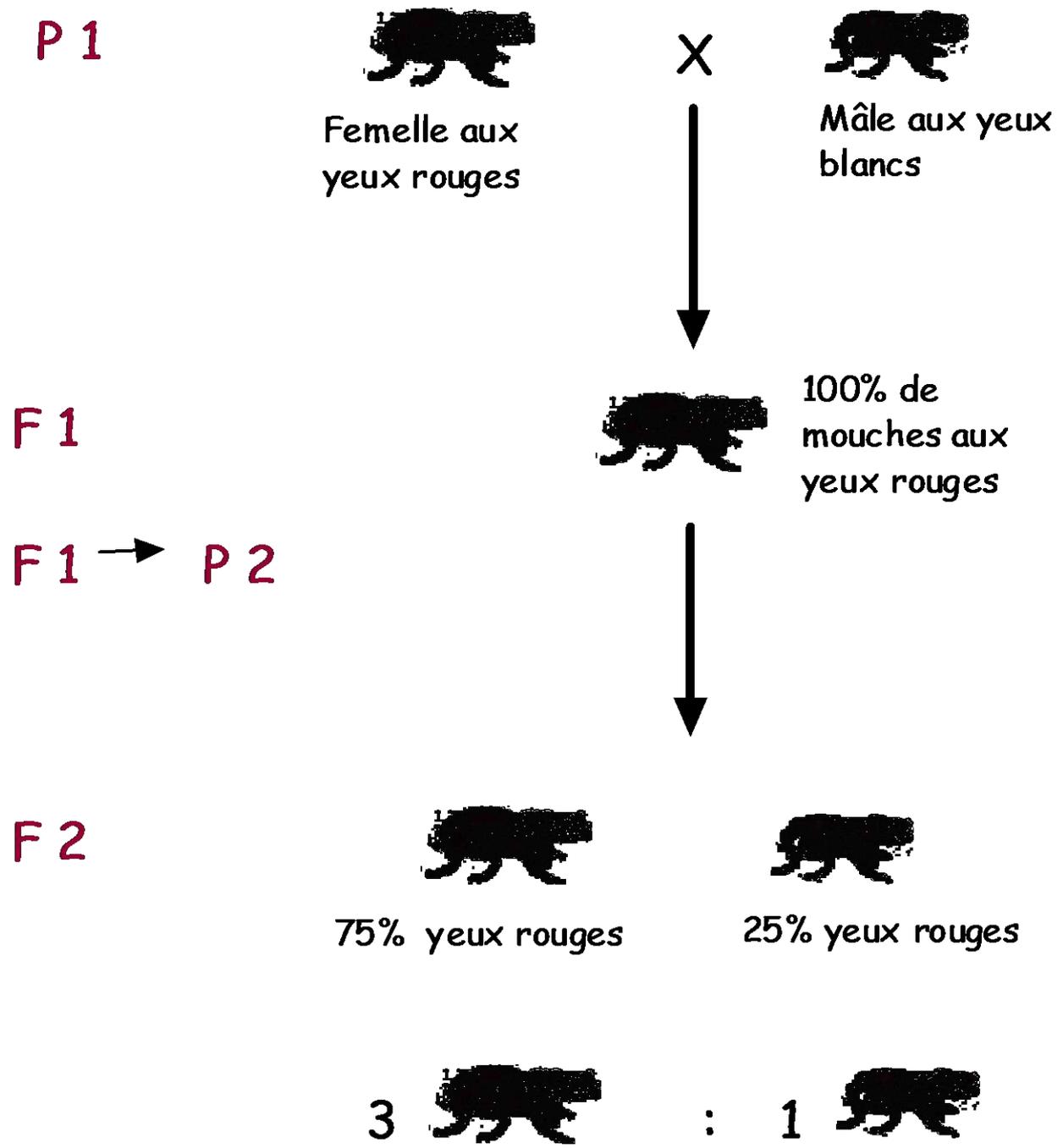




|   |   |  |  |   |   |
|---|---|--|--|---|---|
| <p>mâle <math>w^+/Y</math><br/>de phénotype<br/>[œil brique]</p>  | × | <p>femelle <math>w/w</math><br/>de phénotype<br/>[œil blanc]</p> | <p>mâle <math>w/Y</math><br/>de phénotype<br/>[œil blanc]</p>  | × | <p>femelle <math>w^+/w^+</math><br/>de phénotype<br/>[œil brique]</p> |
| <p><b>Chez la F1</b><br/>tous les mâles sont <math>w/Y</math> [œil blanc]<br/>et toutes les femelles sont <math>w/w^+</math> [œil brique]</p> |   |  | <p><b>Chez la F1</b><br/>tous les mâles sont <math>w^+/Y</math> [œil brique]<br/>et toutes les femelles sont <math>w/w^+</math> [œil brique]</p> |   |   |



En F2,  
Morgan  
observe la  
**réapparition**  
**du caractère**  
**disparu** chez  
25% des  
descendants,  
**des mâles**  
**uniquement**

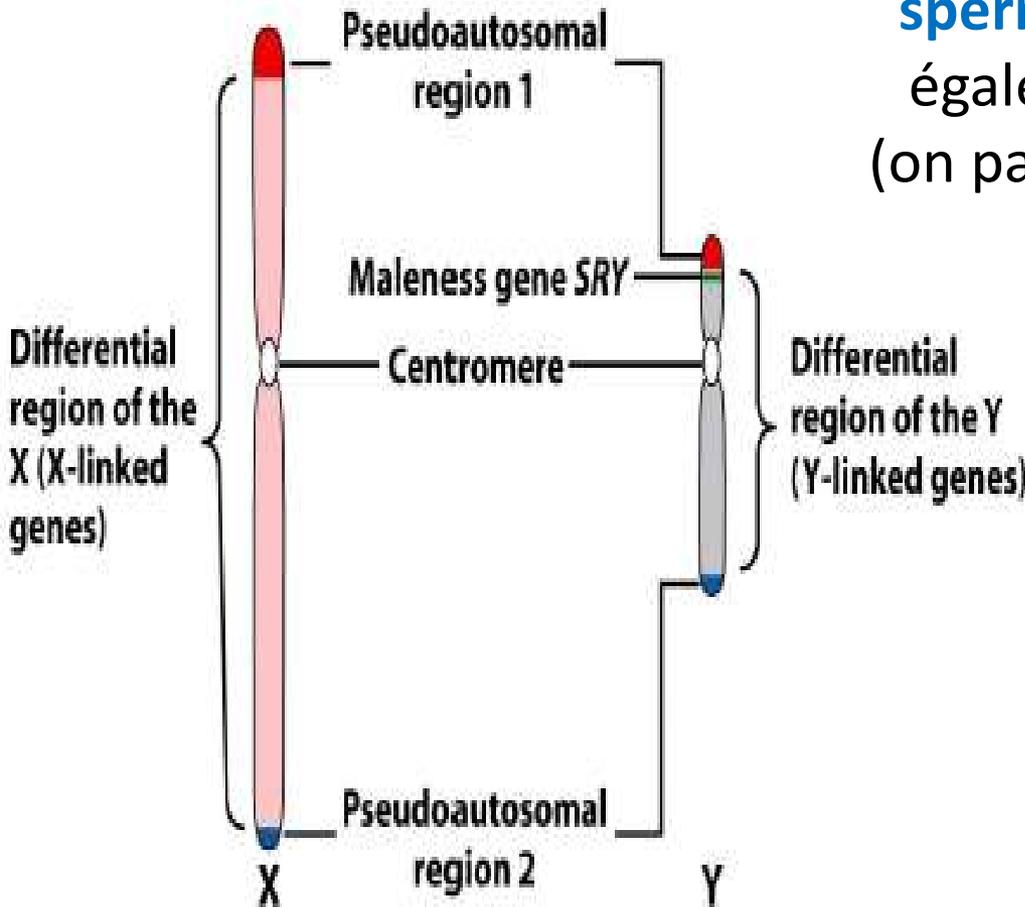


qu'il existe **deux types différents de spermatozoïdes** émis en proportions égales et portant soit "X", soit « Y » (on parle de **mâles hétérogamétiques**),

**et un seul type d'ovule**, portant systématiquement "X" (on parle de **femelles homogamétiques**).

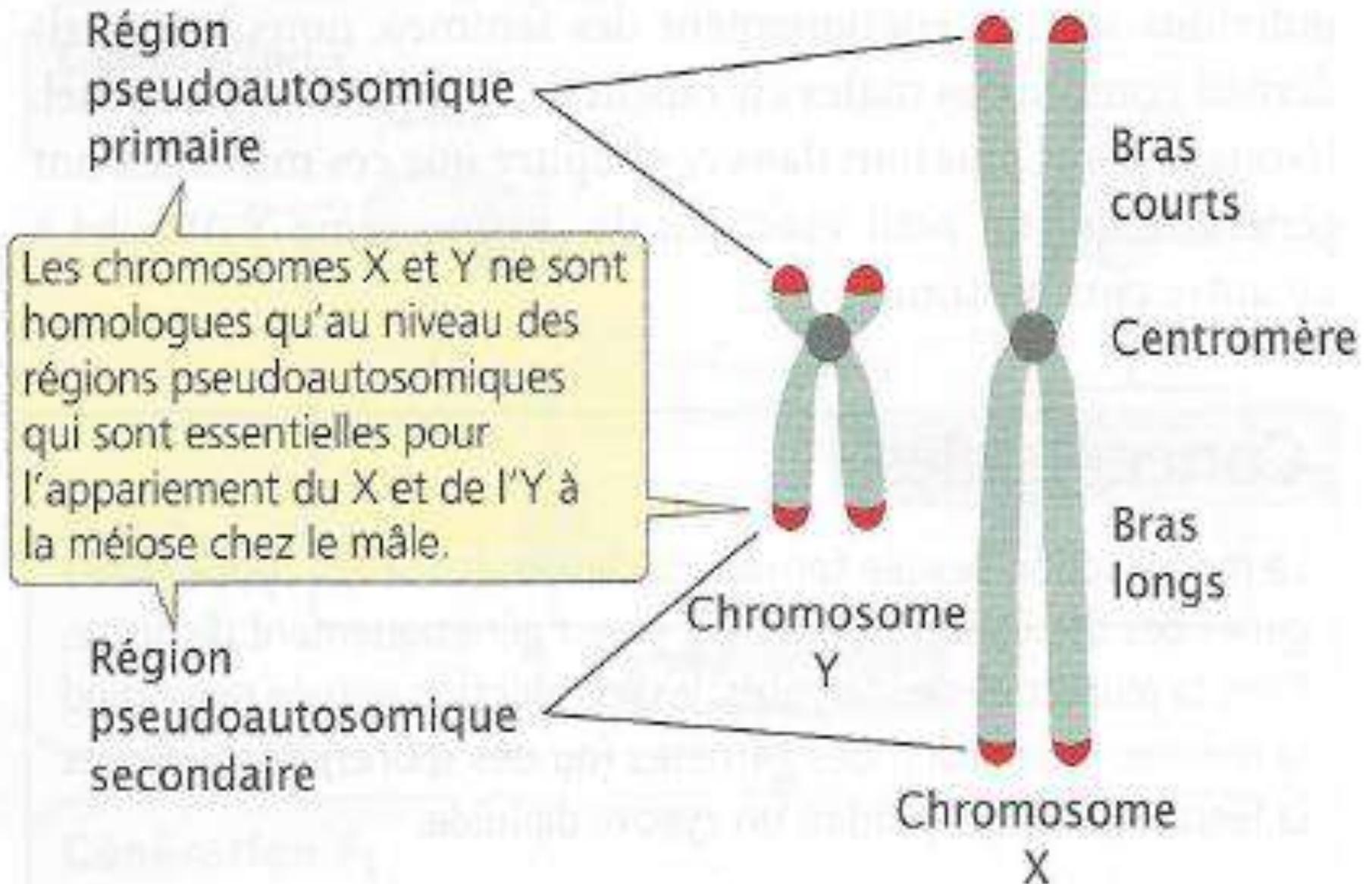
**Il s'ensuit que c'est le spermatozoïde qui détermine, par la nature de son gonosome, le sexe de l'enfant**

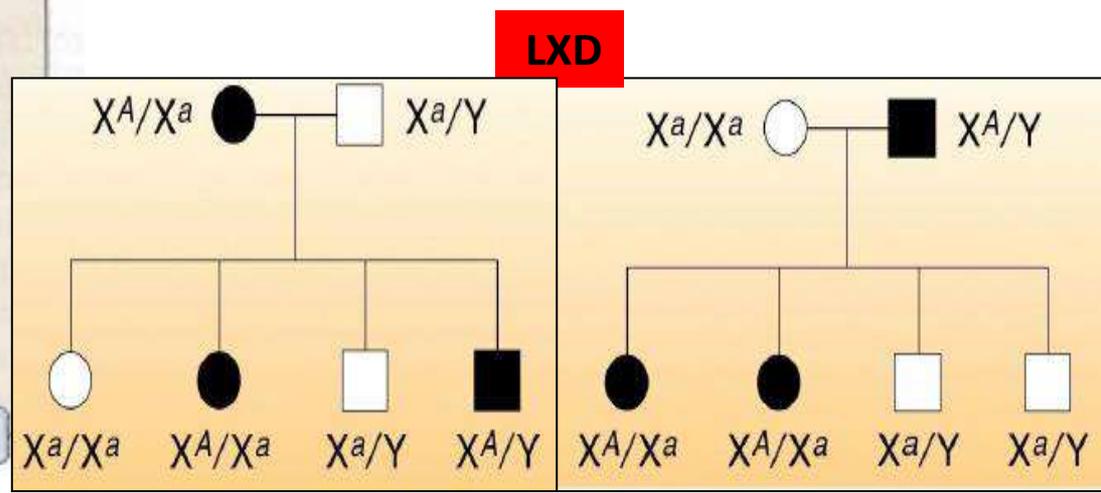
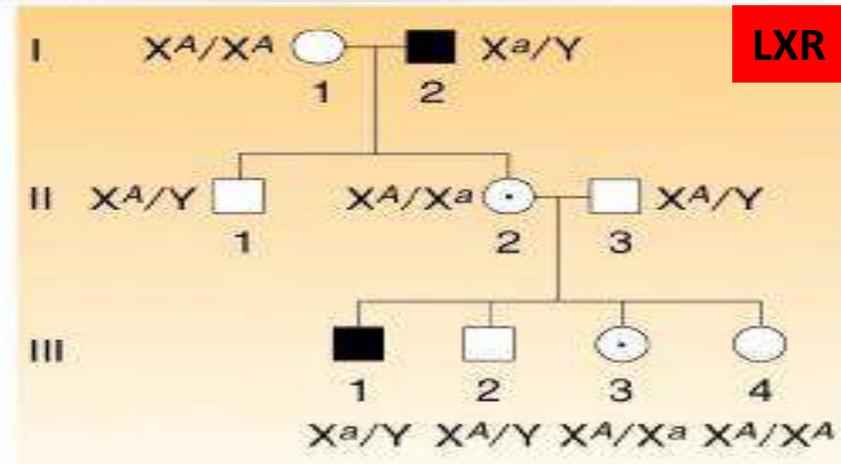
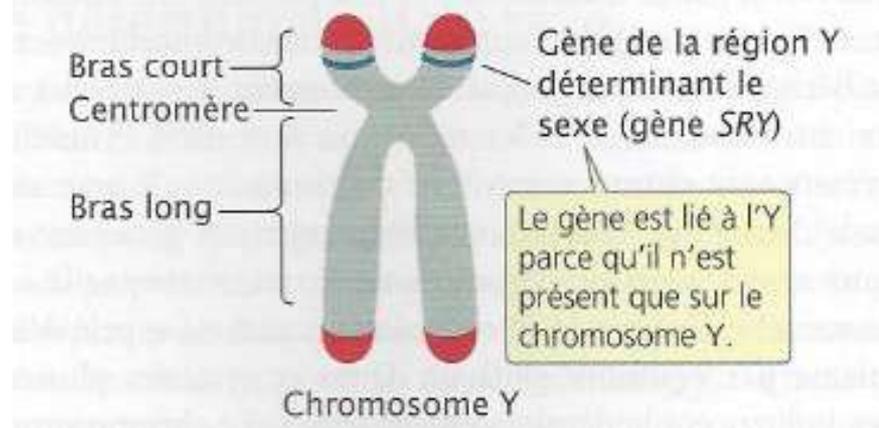
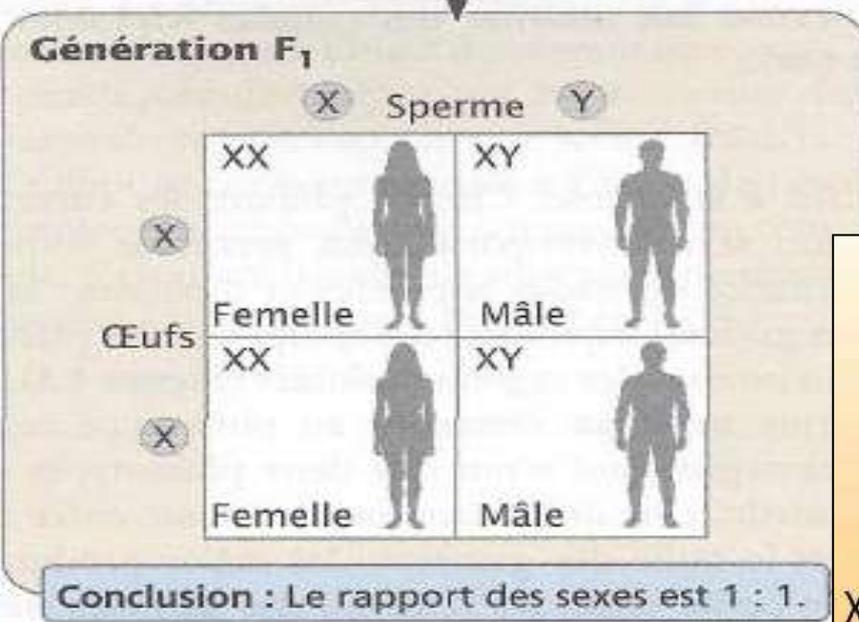
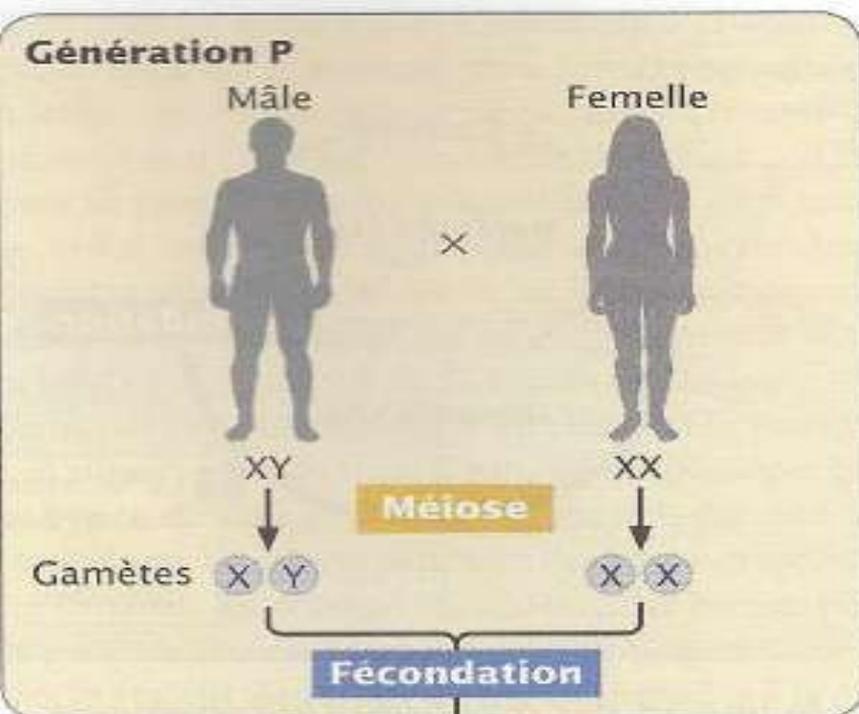
**Les croisements suivant la transmission des gènes situés sur les chromosomes sexuels montrent souvent des rapports phénotypiques différents chez les descendants mâles et femelles.**



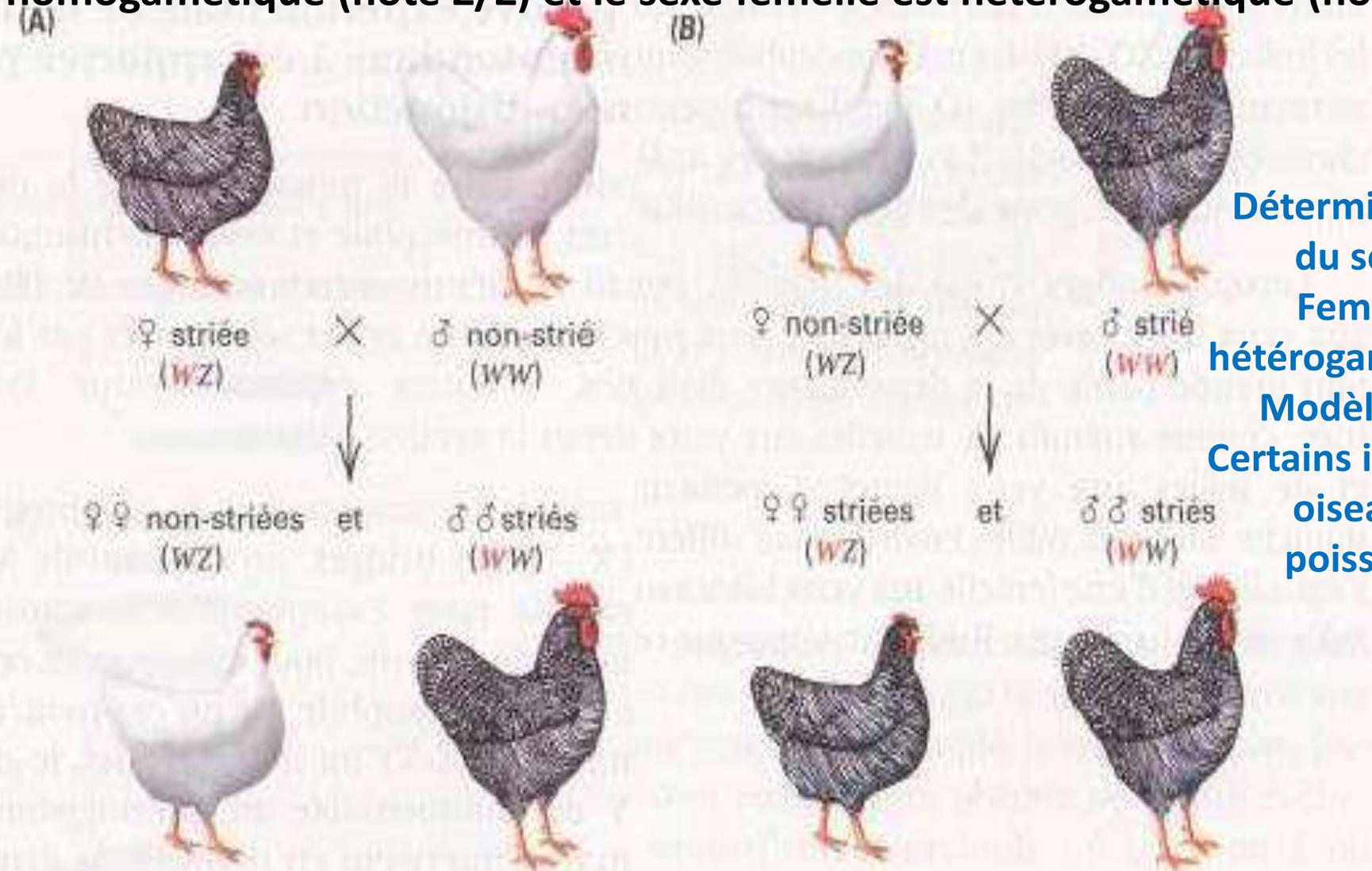
**Hémizygote:** Chez les mâles, gènes situés dans les régions différentielles

# Les chromosomes X et Y ont des portions semblables et des portions différentes





Chez les oiseaux et des insectes comme les papillons, le sexe mâle est homogamétique (noté Z/Z) et le sexe femelle est hétérogamétique (noté Z/W).



Détermination du sexe  
Femelle hétérogamétique  
Modèle ZW  
Certains insectes, oiseaux, poissons

Chez les oiseaux, les mites et les papillons, la détermination du sexe est inversée

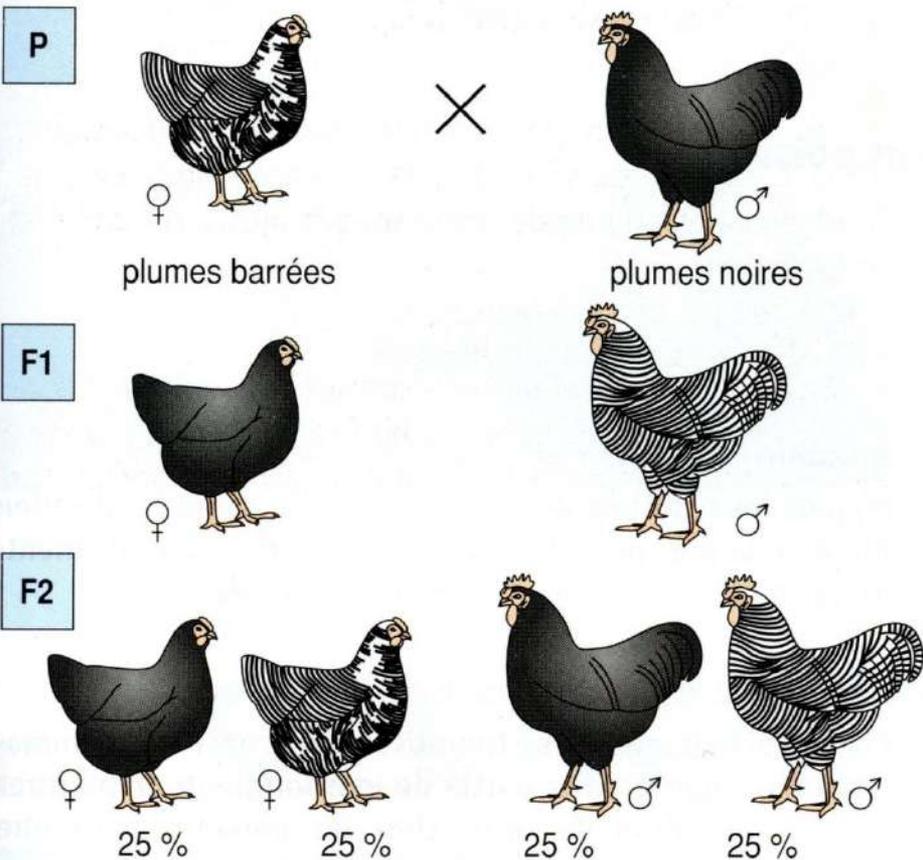
On effectue deux croisements entre poules et coqs de lignées pures différent par la coloration de leur plumage : celui-ci est soit de couleur noire homogène, soit rayé noir et blanc c'est-à-dire barré.

Le phénotype plumage barré est dominant.

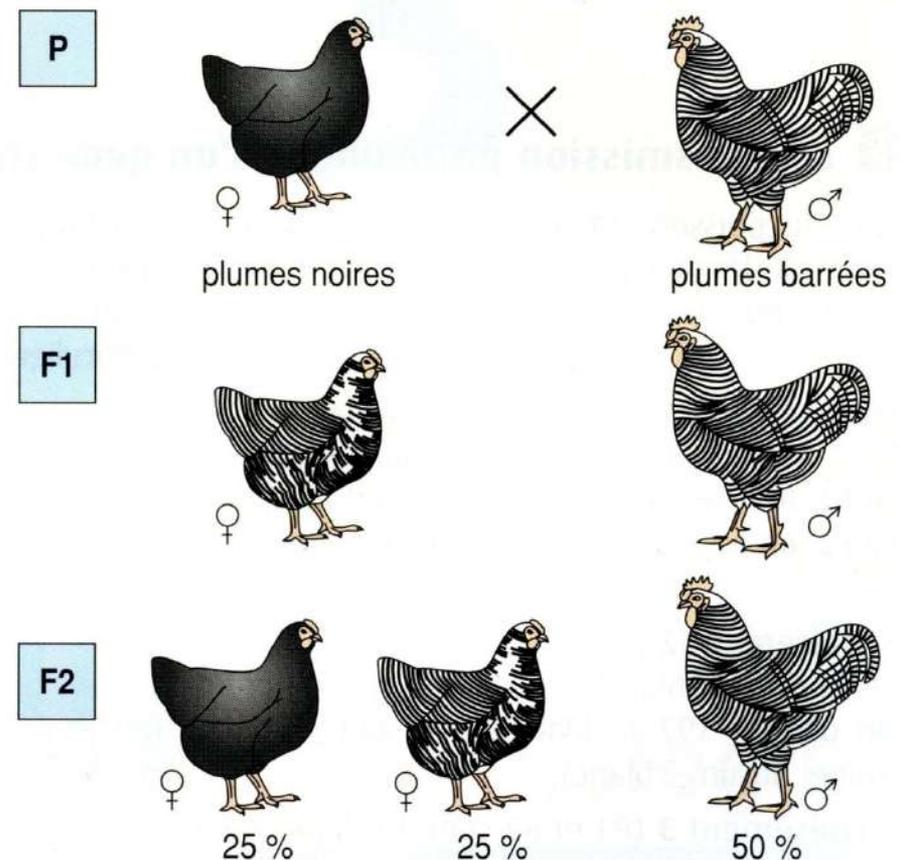
**Croisement 1:** poule à plumage barré x coq a plumage noir

**Croisement 2:** poule à plumage noir x coq à plumage barré

Descendants F1 et F2 du croisement 1

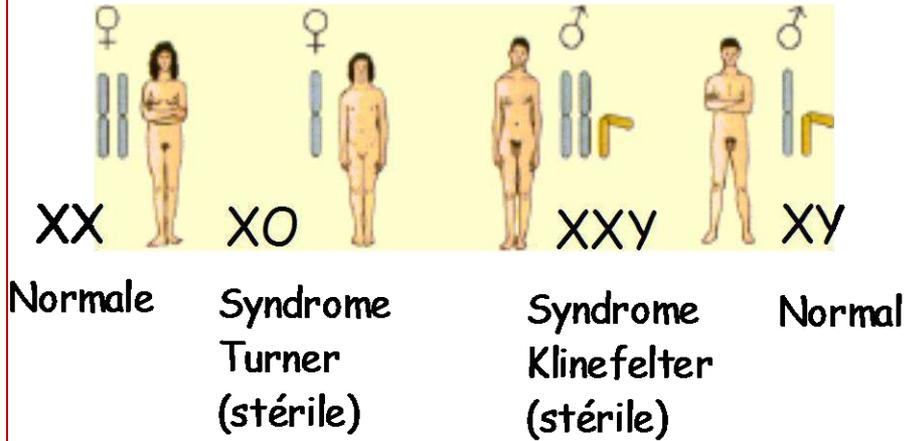


Descendants F1 et F2 du croisement 2



# La détermination du sexe est variable dans la nature !

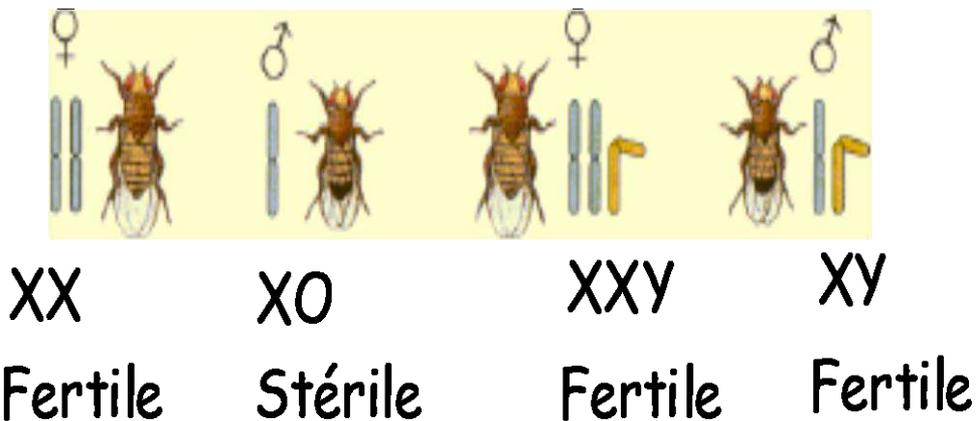
## Humains Système X Y



## Oiseaux Système Z W

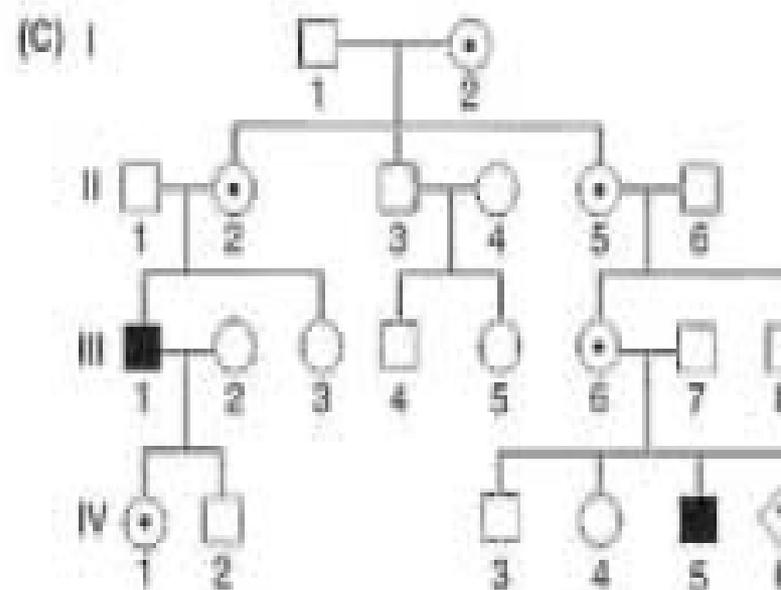
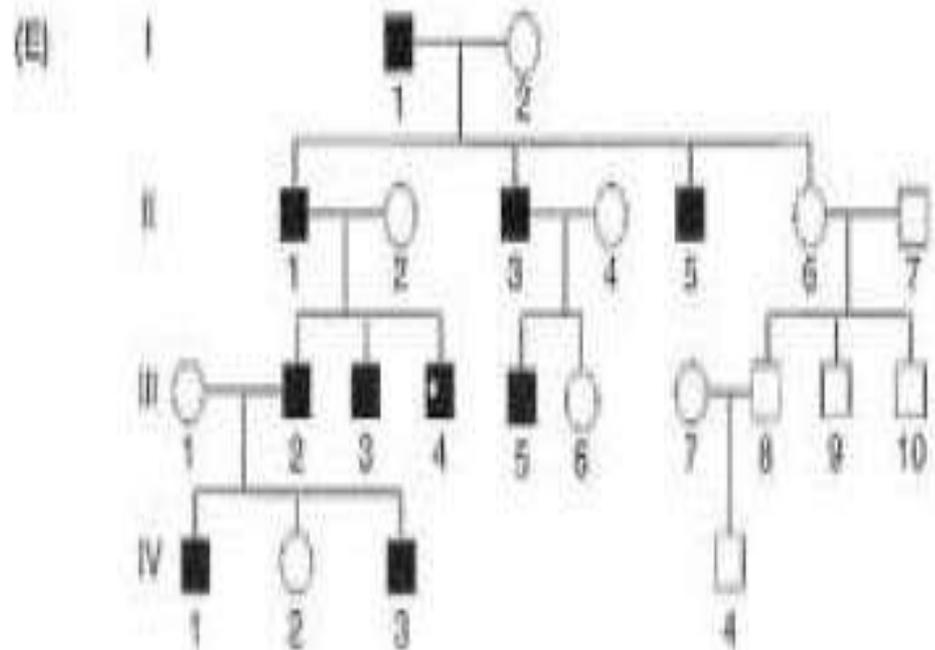
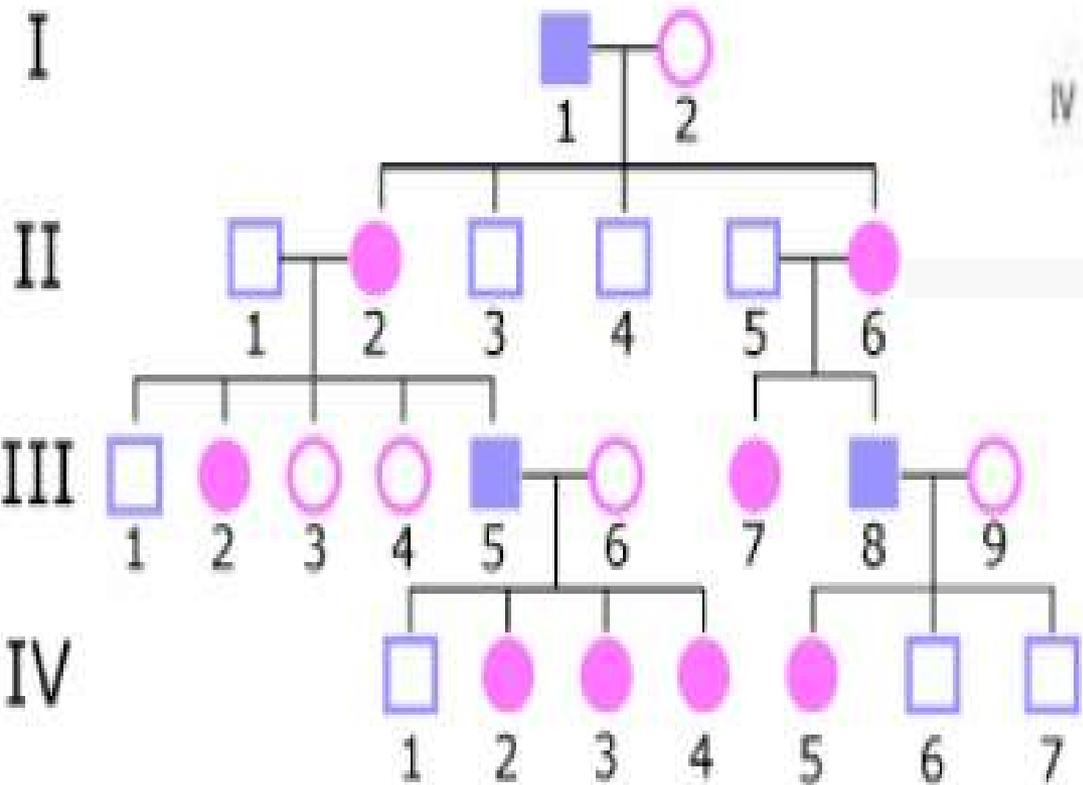


## Drosophiles Système X quantitatif



## Abeilles Système haploïde-diploïde



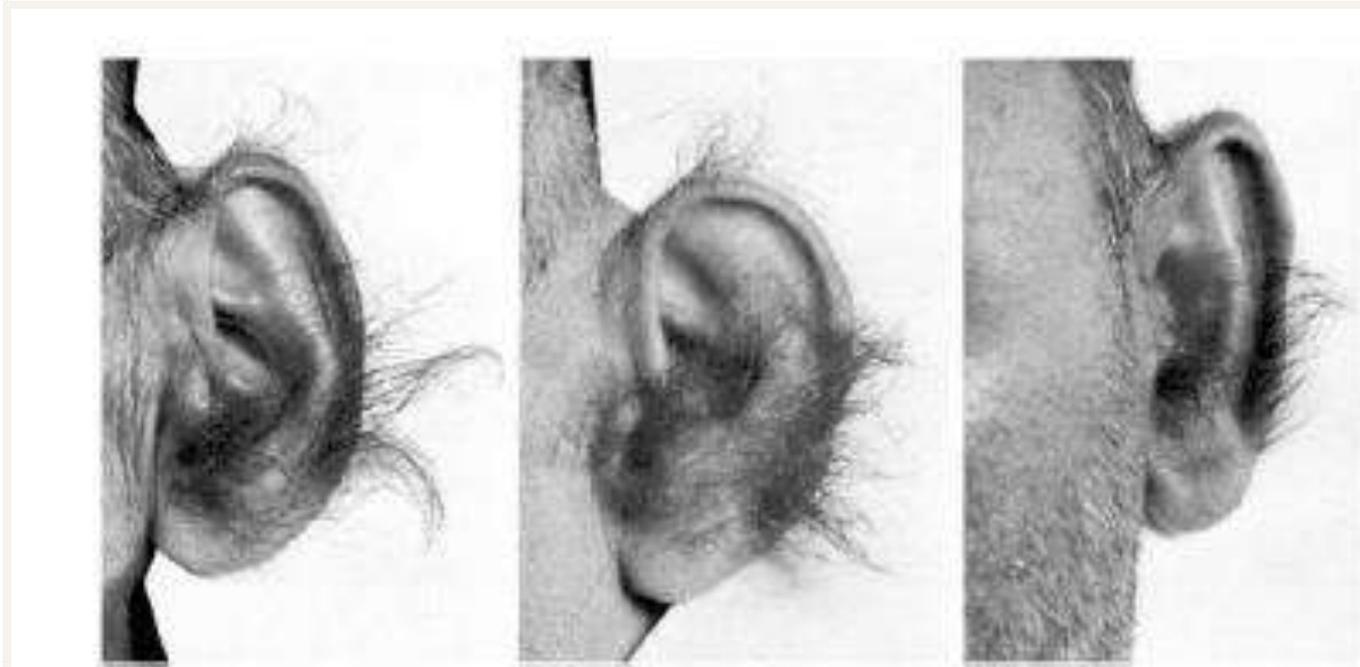


# L'hérédité liée à l'Y

**Gènes situés dans la région différentielle du chromosome Y et transmis uniquement aux garçons de père en fils.**

**Exemple1: facteur de détermination testiculaire (TDF)**

**Exemple2: La pilosité du bord de l'oreille, un caractère lié à l'Y**

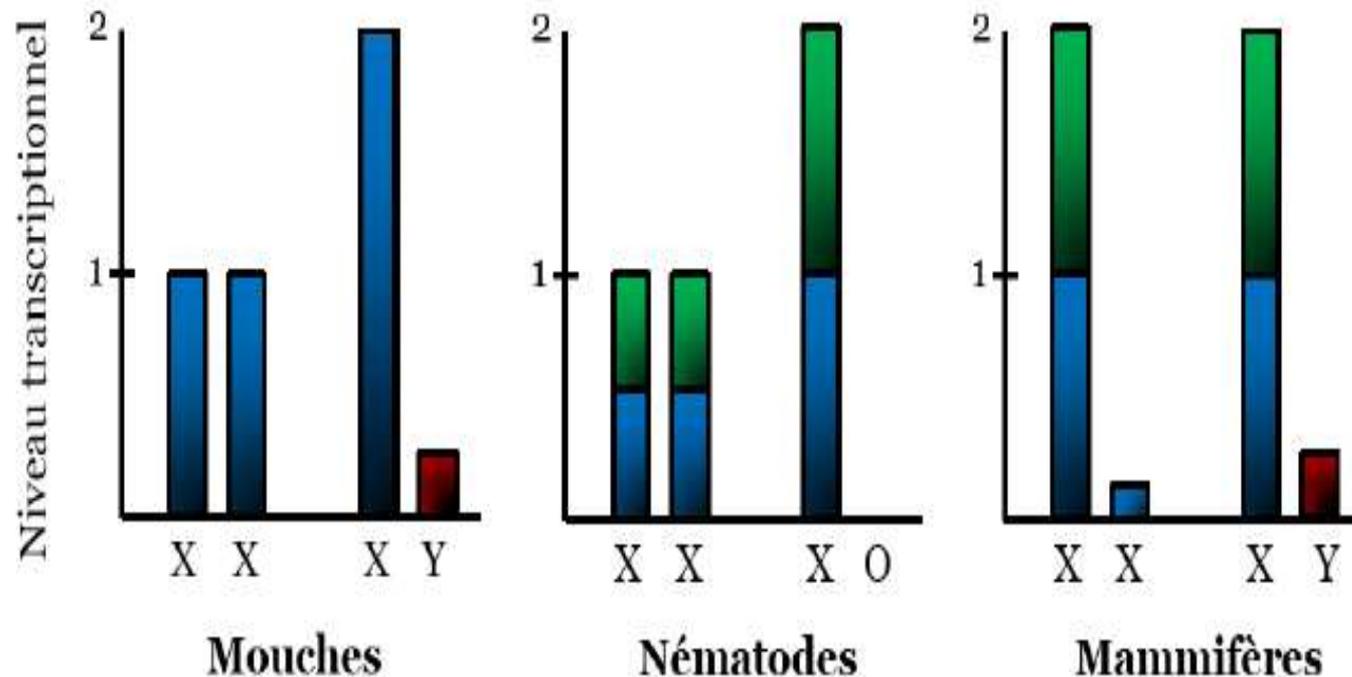


## Différents mécanismes de compensation de dose.

- \*- Chez *Drosophila melanogaster*, l'expression génique provenant du chromosome X est doublée chez le mâle (XY).
- \*- Chez *Caenorhabditis elegans*, la transcription est diminuée d'un facteur 2 à partir des deux chromosomes X de l'hermaphrodite ;
- \*- Chez les mammifères, un des deux chromosomes X est inactivé chez les femelles.

En bleu l'expression due à la compensation de dose gonosomale,

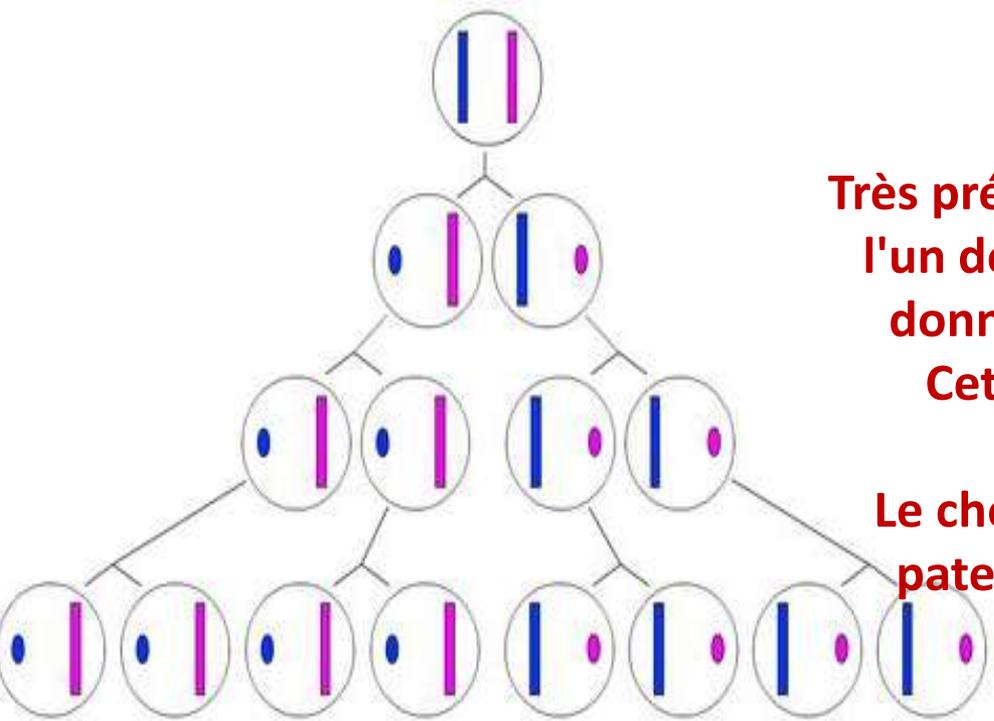
en vert l'expression après prise en compte de la compensation de dose entre autosome et gonosome, et en rouge l'expression du chromosome Y.



Le phénomène de compensation de dose chez les mammifères femelles passe donc par l'inactivation transcriptionnelle d'un des deux chromosomes X.

Cependant, cette inactivation n'est pas totale et la quantité de gènes échappant à celle-ci peut varier d'une espèce à une autre.

l'inactivation du chromosome X est le fruit de son extinction transcriptionnelle quasi-globale lors des phases précoces du développement embryonnaire afin d'atteindre un équilibre transcriptionnel entre les deux sexes.



**Très précocement au cours du développement, l'un des deux chromosome X est inactivé en donnant naissance au corpuscule de Barr. Cette inactivation est alors transmise à la descendance de la cellule. Le choix de l'inactivation du chromosome X paternel (en bleu) ou maternel (en rose), est aléatoire.**



De nombreux gènes gouvernent la couleur du pelage. Chez le Chat, l'un d'entre eux localisé sur le chromosome X existe sous deux variantes (ou allèles), l'une codant pour la couleur noire, l'autre pour la couleur orangée.

une chatte hétérozygote pour les allèles oranges et noir codant la couleur du pelage.

Elle présente un profil de coloration calicot classique, avec ses taches oranges, noires et blanches.

**un des deux chromosomes de la femelle est inactivé afin de réduire de moitié, donc d'équilibrer, le produit des gènes liés au chromosome X.**

Les deux dernières hypothèses nécessitent en plus que les gènes situés sur le chromosome Y soient peu nombreux.

## Caractères influencés par le sexe

Il ne faut pas confondre l'**hérédité liée au sexe** et l'**hérédité influencée par le sexe**, c'est-à-dire la dominance ou la récessivité d'un allèle autosomique déterminée par le sexe.

Ainsi, chez certaines races de bovins et d'ovins, l'allèle déterminant la formation des cornes est dominant chez le taureau et récessif chez la vache.

Dans l'espèce humaine, l'allèle de la **calvitie** précoce est dominant chez l'homme et récessif chez la femme.

Certains allèles ne s'expriment jamais chez un sexe. Les taureaux, par exemple, possèdent, comme les vaches, plusieurs caractères influençant la production de lait. Ils transmettent les allèles de ces caractères à leur descendance bien que l'expression de ces allèles soit **limitée au sexe femelle**.

l'une des formes de calvitie est déterminée par un gène autosomal existant sous les deux formes alléliques B, b qui s'expriment différemment selon le sexe de l'individu.

Les génotypes et phénotypes correspondants sont donnés dans le tableau ci-dessous.

| Génotypes | Phénotypes |            |
|-----------|------------|------------|
|           | femme      | homme      |
| B/B       | Chauve *   | Chauve     |
| B/b       | Non chauve | Chauve     |
| b/b       | Non chauve | Non chauve |

\* chez les femmes la calvitie est moins prononcée que chez les hommes et se manifeste plus tard

## **Exemple de phénotype limité à l'un des sexes :**

La puberté précoce limitée aux garçons  
(testotoxicose familiale).

- dès l'âge de 4 ans, les garçons atteints ont des caractères sexuels secondaires et une poussée de croissance habituellement observés à l'adolescence.

Les filles hétérozygotes ne manifestent pas ce syndrome.

# Bon courage



## LIENS UTILES 🙌

### Visiter :

1. <https://biologie-maroc.com>

- Télécharger des cours, TD, TP et examens résolus (PDF Gratuit)

2. <https://biologie-maroc.com/shop/>

- Acheter des cahiers personnalisés + Lexiques et notions.
- Trouver des cadeaux et accessoires pour biologistes et géologues.
- Trouver des bourses et des écoles privées

3. <https://biologie-maroc.com/emploi/>

- Télécharger des exemples des CV, lettres de motivation, demandes de ...
- Trouver des offres d'emploi et de stage

