

Les expériences de Mendel

Introduction

Gregor Mendel a proposé pour la première fois en 1865 le terme de gène.

Mendel découvrit les principaux mécanismes de l'hérédité en reproduisant des pois de jardin dans le cadre d'expériences soigneusement planifiées. A la suite de ces recherches, Mendel proposa une théorie particulière de l'hérédité. Dans la théorie de Mendel, les caractères sont déterminés par des unités discrètes qui se transmettent intactes au fil des générations.

L'importance des idées de Mendel ne fut reconnue qu'aux environs de 1900, bien après sa mort. Le travail de Mendel est le prototype de l'analyse génétique. Il établit les règles d'une approche expérimentale et logique qui est toujours d'usage aujourd'hui.

1. Approche expérimentale de Mendel

Mendel étudia le pois de jardin pour deux raisons principales :

- il existe un vaste éventail de variétés de pois, de formes et de couleurs distinctes, facilement identifiables;
- les pois peuvent s'autoféconder ou être croisés (pollinisation), au choix de l'expérimentateur.

2. Variétés différant par un caractère: MONOHYBRIDISME

Mendel choisit d'étudier 7 caractères (ou traits) différents chez le pois :

- Le caractère désigne une propriété particulière d'un organisme (caractéristique, trait distinctif). Il les cultiva pendant deux ans pour s'assurer d'obtenir des lignées pures.

Une lignée pure est une population dont les individus donnent des descendants identiques à eux-mêmes en ce qui concerne la forme du caractère considéré, appelée phénotype, que ce soit par autofécondation ou par croisement de deux individus de la lignée.

Monohybridisme

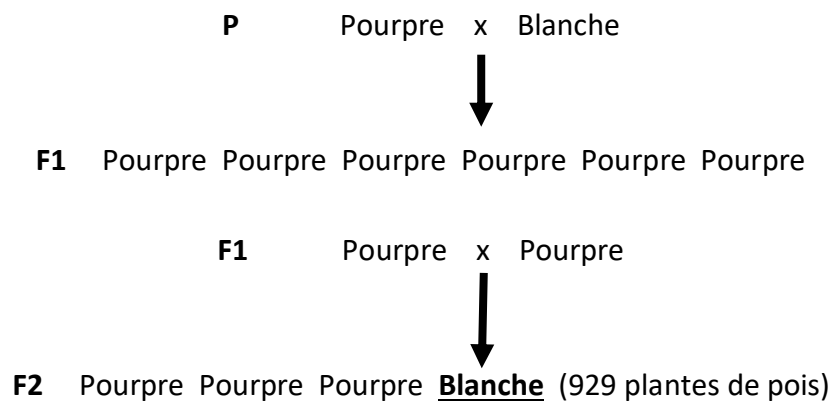
Par exemple, deux lignées obtenues par Mendel étaient pures pour la couleur de la fleur :

- Une à fleurs pourpres, l'autre à fleurs blanches. Une plante de la lignée à fleurs pourpres donnait des graines, après autofécondation ou croisement avec une plante de la même lignée, qui se développaient en des plantes à fleurs pourpres, elles-mêmes donnant des descendants à fleurs pourpres, et ainsi de suite.
- De même la lignée à fleurs blanches produisait uniquement des Pois à fleurs blanches.

Au total Mendel obtint soit 7 paires de lignées correspondant à 7 paires de phénotypes :

| Caractère | Phénotypes | |
|-------------------------|------------|-----------|
| 1) Forme de la graine | ronde | anguleuse |
| 2) Couleur de la graine | jaune | verte |
| 3) Couleur des fleurs | pourpre | blanche |
| 4) Forme des gousses | arrondie | ridée |
| 5) Couleur des gousses | verte | jaune |
| 6) Position des fleurs | axiale | terminale |
| 7) Longueur des tiges | longue | courte |

2. 1. Les expériences de croisement des monohybrides



Résultat : 705 plantes à fleurs pourpres et 224 à fleurs blanches

$$705/224 \longrightarrow 3 : 1$$

Pour chaque caractère, Mendel a ensuite effectué une pollinisation croisée entre les deux variétés de pois de lignée pure;

Par exemple, en ce qui concerne le caractère couleur des fleurs, il provoqua la pollinisation entre des pois à fleurs pourpres et des pois à fleurs blanches. Ce croisement entre deux variétés est appelé hybridation.

On nomme génération P (parentale) les parents de lignée pure, et on appelle génération F1 (première génération filiale) les hybrides qui en sont issus, qualifiés aussi de monohybrides du fait que leurs parents se différencient par un seul trait.

En permettant l'autofécondation de ces hybrides F1, on obtient une génération F2 (deuxième génération filiale). C'est l'étude des plantes de la génération F2 qui a permis à Mendel de formuler le principe fondamental de l'hérédité aujourd'hui connu sous le nom de loi de ségrégation.

Résultats des croisements effectués par Mendel entre parents différant par un seul caractère

| Phénotype parental | F1 | F2 | Rapport |
|---------------------------------------|---------|----------------------------|---------|
| 1. Pois ronds x Pois ridés | Ronds | 5174 ronds/1850 ridés | 2,96/1 |
| 2. Pois jaunes x Pois verts | Jaunes | 6022 jaunes/2001 verts | 3,01/1 |
| 3. Pétales pourpre x Pétales blancs | Pourpre | 705 pourpre/224 blancs | 3,15/1 |
| 4. Gousses pleines x gousses plissées | Pleines | 882 pleines/299 plissées | 2,95/1 |
| 5. Gousses vertes x Gousses jaunes | Vertes | 428 vertes/152 jaunes | 2,95/1 |
| 6. Fleurs axiales x Fleurs terminales | Axiales | 651 axiales/207 terminales | 3,14/1 |
| 7. Tiges longues x tiges courtes | Longues | 787 longues/227 courtes | 2,84/1 |

2.2. Description des résultats

Tous les descendants issus du croisement d'une plante à fleurs pourpres avec une plante à fleurs blanches eurent des fleurs pourpres. Aucun hybride ne présenta de couleur intermédiaire.

Mendel qualifia le phénotype "fleurs pourpres" de dominant et le phénotype "fleurs blanches" de récessif.

Le même phénomène se produisit lors du croisement des deux lignées pures de chacune des 7 paires : les hybrides présentèrent tous le même phénotype, identique à celui de l'un des deux parents, le phénotype dominant par définition.

Ensuite, Mendel fit se reproduire les hybrides par autofécondation. Dans la génération F2, deux phénotypes étaient présents : les phénotypes des deux lignées pures parentales. Le phénotype récessif était réapparu. Mendel compta alors le nombre de plantes correspondant à chaque phénotype.

Le fait remarquable est que le rapport entre le nombre de plantes de phénotype dominant et le nombre de plantes de phénotype récessif est proche de 3 dans toutes les expériences.

De plus, des études supplémentaires montrèrent que les plantes de phénotype récessif étaient de lignée pures et que parmi les plantes de phénotype dominant il y avait en réalité deux groupes : un premier tiers correspondait à des plantes de lignée pure et les deux tiers restant à des plantes similaires aux hybrides F1 c'est-à-dire dont les descendants portent les caractères dominants et récessifs dans le rapport 3 à 1.

2.3. La théorie de Mendel

Pour expliquer ces résultats, le botaniste proposa de modéliser la transmission d'un caractère donné comme suit :

- Existence des gènes : il existe des déterminants de l'hérédité de nature particulière, les gènes. Un gène a deux formes possibles, ou allèles, chacune correspondant à un phénotype, soit A l'allèle du phénotype dominant et a l'allèle du phénotype récessif.
- Une plante adulte possède une paire (non ordonnée) de gènes, le génotype de la plante, qui peut donc être : AA, Aa, aa.
- Le phénotype d'une plante est déterminé par son génotype : le phénotype récessif est observé seulement si le génotype est aa, les autres génotypes donnent le phénotype A.

- Le génotype d'une plante dépend de celui de ses parents de la manière suivante : chacune des deux gamètes (le pollen et l'ovule) intervenues lors de sa création, est porteuse d'un des deux allèles du parent dont elle provient, chaque allèle étant équiprobable, et ce indépendamment de l'autre gamète; le génotype du descendant est la réunion des deux allèles portés par les gamètes.

Le dernier point est nommé aujourd'hui loi de ségrégation (des gènes au niveau des gamètes) et a pour conséquence qu'une plante hérite d'un des deux allèles (avec équiprobabilité) de chacun de ses parents (qui peuvent être la même plante), les deux transmissions étant indépendantes.

Dans le modèle de Mendel, une plante de génotype AA (ou aa) aura, par autofécondation, des descendants de même génotype. Une plante de génotype Aa aura un descendant, par autofécondation, présentant un des trois génotypes possibles avec les probabilités suivantes :

| | | | |
|--------------------|------------|------------|------------|
| Génotype | AA | aa | Aa |
| Probabilité | 1/4 | 1/4 | 1/2 |

Les génotypes AA et aa sont donc ceux des lignées pures, et par suite les hybrides F1 ont comme génotype Aa. Un individu de la génération F2 présente donc un phénotype dominant A avec une probabilité de 3/4 et un phénotype récessif a avec une probabilité 1/4, ce qui justifie le rapport de 3 observé dans les expériences.

La 1^{ère} loi de Mendel :

Les 2 membres d'une paire de gènes se disjoignent (ségréguent) lors de la formation des gamètes, de telle manière qu'une moitié des gamètes portent l'un des membres de la paire et la moitié restante l'autre.

La démarche fondamentale de l'analyse Mendélienne d'un caractère héréditaire est résumée :

| | |
|----------------------------|--|
| Schéma expérimental | <ol style="list-style-type: none"> 1. Choisir des lignées différant par un caractère (Fleurs pourpres ou blanches) 2. Croiser les lignées entre elles. 3. Laisser les individus de la F1 s'autoféconder |
| Résultats | La totalité de la F1 est pourpre, la F2 est pour 3/4 pourpres et pour 1/4 blanches. |
| Déductions | <ol style="list-style-type: none"> 1. La différence de caractère est contrôlée par un gène majeur pour la coloration des fleurs. 2. L'allèle dominant de ce gène détermine des pétales pourpres, l'allèle récessif détermine des pétales blancs. |

| Caractère | Phénotypes | Génotypes | Allèles | Gènes |
|---------------------|--|--|------------------------------------|--------------------------------|
| Couleur de La fleur | Pourpre (dominant) Blanc (Récessif) | CC (homozygote dominant) Cc (Hétérozygote récessif) | C (dominant) c (Récessif) | Gène de la Couleur Des Pétales |

Variétés différent par deux caractères: Dihybridisme

Le dihybridisme :

Les lignées pures parentales se distinguent par 2 gènes contrôlant des caractères différents.

On utilise comme Mendel les symboles:

V et v : pour désigner le génotype de la couleur des grains

R et r : pour désigner leur forme

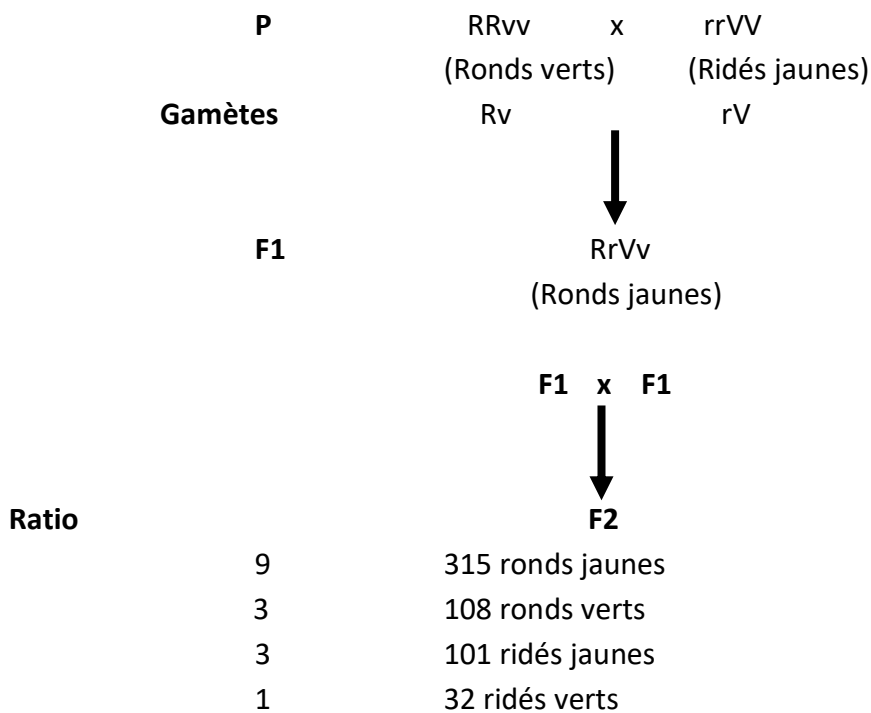
R = grains ronds et r = grains ridés

J = grains jaunes et j = grains verts.

Après fécondation, une lignée pure de plantes

RRvv → grains ronds et verts

Une lignée pure de plantes rrVV → grains ridés et jaunes.



Si on considère les phénomènes ronds et ridés le total est de :

$$315 + 108 = 423 \text{ ronds et } 101 + 32 = 133 \text{ ridés}$$

Le rapport du monohybridisme 3 : 1 est maintenu

Parallèlement le % graines jaunes/graines verts est :

$$(315 + 101) : (108 + 32) = 416 : 140 ; \text{ également proche de } 3 : 1$$

Le % 9 : 3 : 3 : 1 → Combinaison aléatoire de 2% 3 : 1 indépendants.

| | | |
|----------------|-----------|---------------|
| Ronds jaunes 9 | → % 3 : 1 | ronds verts 3 |
| Jaunes ridés 3 | | ridés verts 1 |

Les probabilités

1. Définition de la probabilité :

$$\text{Probabilité} = \frac{\text{Le nombre de cas favorables à l'arrivée d'un évènement}}{\text{Le nombre d'occasions qu'il a de produire (ou le nbre d'essais)}}$$

Exemple :

La probabilité d'obtenir un 4 en un coup de Dé lors d'un essai s'écrit :

$$P(\text{pour un 4}) = 1/6.$$

2. La règle du produit :

Exemple : Si nous jetons 2 fois le même Dé, nous aurons :

$$P(\text{pour deux 4}) = 1/6 \times 1/6 = 1/36.$$

3. La règle de la somme :

Exemple : Si nous jetons simultanément deux Dés :

$$P(\text{deux 4 ou deux 5}) = 1/36 + 1/36 = 1/18.$$

D'après la 1ère loi de Mendel nous aurons :

$$\text{Gamètes } V = \text{gamètes } v = 1/2$$

$$\text{Gamètes } R = \text{gamètes } r = 1/2$$

Une plante RrVv → 4 types de gamètes

La probabilité qu'un gamète porte R et V s'écrit : P (RV)

$$P(RV) = 1/2 \times 1/2 = 1/4$$

$$P(Rv) = 1/2 \times 1/2 = 1/4$$

$$P(rV) = 1/2 \times 1/2 = 1/4$$

$$P(rv) = 1/2 \times 1/2 = 1/4$$

| | | | | |
|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 1/4 RV | 1/4 Rv | 1/4 rV | 1/4 rv |
| 1/4 RV | 1/16 RRVV | 1/16 RRVv | 1/16 RrVV | 1/16 RrVv |
| 1/4 Rv | 1/16 RRVv | 1/16 RRvv | 1/16 RrVv | 1/16 Rrvv |
| 1/4 rV | 1/16 RrVV | 1/16 RrVv | 1/16 rrVV | 1/16 rrVv |
| 1/4 rv | 1/16 RrVv | 1/16 Rrvv | 1/16 rrVv | 1/16 rrvv |

En regroupant tous les types on aboutit au **% 9 : 3 : 3 : 1**
 Ronds jaunes 9/16 ou 9 ridés jaunes 3/16 ou 3
 Ronds verts 3/16 ou 3 ridés verts 1/16 ou 1

La 2ème loi de Mendel :

Pendant la formation des gamètes, la ségrégation des allèles d'un gène donné s'opère indépendamment de celle des allèles d'un autre gène.

CROISEMENT TEST

F1 RrVv x rrvv



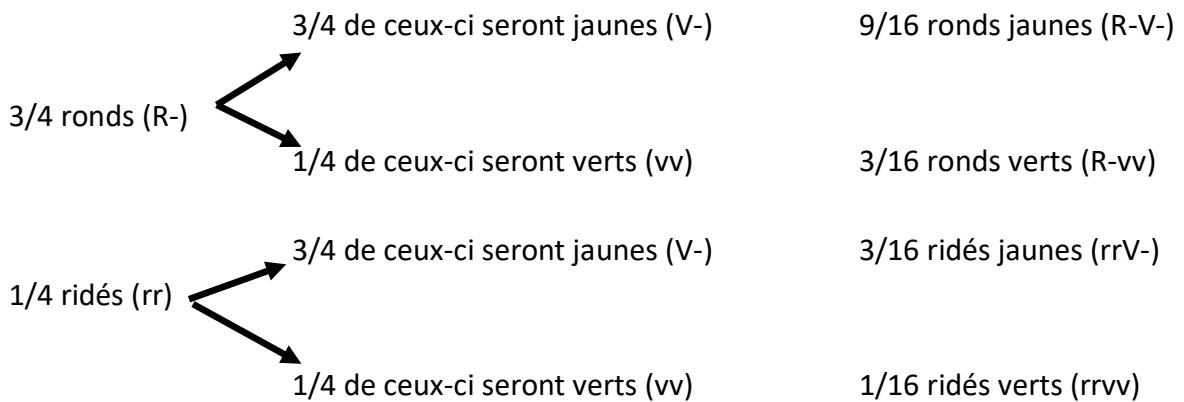
F2 : 1 : 1 : 1 : 1

| | | | | |
|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1/4 RV | 1/4 Rv | 1/4 rV | 1/4 rv |
| 100% rv | RrVv | Rrvv | rrVv | rrvv |

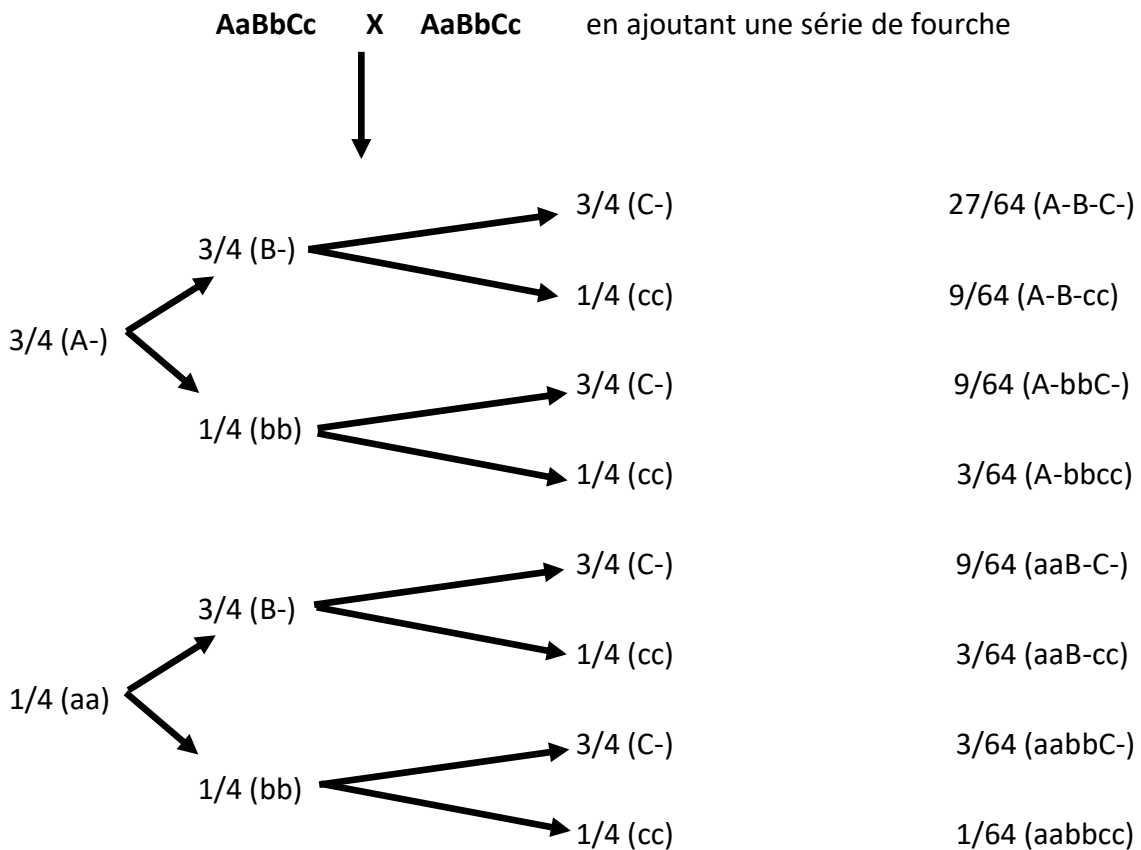
On peut obtenir la composition de la F2 du croisement :

F1 RrVv x RrVv

Par la règle du produit



Ce diagramme peut être appliqué à un cas de trihybridisme tel que :



Liaison et enjambement (linkage et crossing-over)

Exemple :

Soit une variété de maïs à grains sphérique et colorés et une autre à grains ridés et incolore. Le croisement de ces deux variétés donne des hybrides F1 sphériques et colorés sphérique (R) et coloré (I) sont dominant par rapport au ridés (r) et incolore (i).

On effectue un croisement de retour, l'hybride avec le parent double récessif, on obtient les proportions suivantes :

- 4032 sphériques colorés
- 149 ridés colorés
- 152 sphériques incolores
- 4035 ridés incolores
- TOTAL = 8368

Si la ségrégation était indépendante les proportions seraient

1 : 1 : 1 : 1

On remarque que les combinaisons parentales sont plus nombreuses

$$\frac{4032 + 4035}{8368} \times 100 = 96,4\% \text{ du total}$$

Les recombinés sont moins nombreux càd :

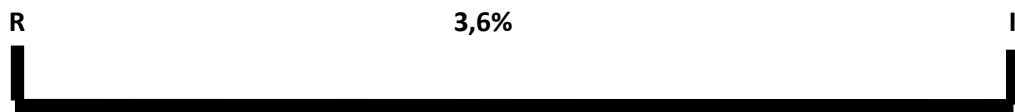
$$149 + 152$$

$$\frac{\quad}{8368} \times 100 = 3,6\% \text{ du total}$$

$$8368$$

Les 2 couples de gènes (R, r) et (I, i) sont liés dans 96,4% des cas et se séparent et se recombinent dans 3,6% des cas.

$$D(R-I) = \frac{\%SR(R-I)}{\text{Total}} \times 100 = \frac{149 + 152}{\text{Total}} \times 100 = 3,6 \text{ U.M}$$



Trihybridisme

Si on a trois gènes (trihybridisme), le calcul de la distance des gènes extrêmes A-C, s'écrit comme suit:

$$D(A-C) = \frac{SR(A-B) + SR(B-C) + DR(A-C)}{\text{Total}} \times 100$$



Si on a quatre gènes le calcul de la distance des gènes extrêmes A-D, s'écrit comme suit:

$$D(A-D) = \frac{SR(A-B) + SR(B-C) + SR(C-D) + DR(A-C) + DR(B-D) + TR(A-D)}{\text{Total}} \times 100$$

