

## Evolution des lois de Mendel - Avertissements

**On vous a manipulé !!** Et oui, ce n'est pas très joli mais on assume !! En effet, ce qui passe comme étant les lois de Mendel ne représente fondamentalement que des cas « particuliers ».

Comme précisé plus haut, la génétique est complexe. L'interaction des gènes entre eux peut conduire à des interprétations de transmission qui sont bien différentes de celles proposées par Gregor Mendel. Souvenez-vous de l'introduction sur l'inné et l'acquis dans laquelle nous avons soulevé l'importance de l'épigénétisme...

Evidemment, il faut partir du plus simple pour appréhender ensuite le plus complexe. On ne peut enlever à Mendel le mérite d'abnégation, de résistance, de curiosité qu'il a manifesté dans ses recherches. Mais il n'en reste pas moins que celui-ci a eu beaucoup de chance. **En effet, il a étudié 7 caractères phénotypiques dont les gènes (allèles) se trouvaient sur 7 chromosomes différents !!** Cette chance a pu permettre une interprétation plus aisée des résultats sans connaissance du mécanisme de la méiose, de la structure des chromosomes et des gènes.

Les lois de Mendel vont apparaître finalement comme des cas particuliers mais elles présentent l'avantage d'aborder des fondements de transmission qui influencent d'autres types de transmission plus complexes.

**La codominance et la dominance partielle** apparaissent déjà comme des modes de transmission **différents** mais ils utilisent aussi l'action d'expression de gènes **dominants** ou **récessifs**.

Nous allons aborder dans les pages suivantes des types de transmission de caractère que l'on a tendance à présenter comme des exceptions aux lois de Mendel mais qui devraient plutôt être entrevus comme des modes de transmission différents et plus complexes.

## Polyhybridisme

On peut envisager le croisement d'individus pour  $n$  couples d'allèles... (polyhybridisme). Les résultats statistiques de Mendel prévus peuvent être mis en évidence.

Néanmoins, les lois de Mendel sont globalement respectées pour autant que les gènes se trouvent sur des chromosomes différents et que la transmission respecte la dominance totale de caractères discontinus.

Nombre de couples de caractères	Nombre de catégories de gamètes produits	Nombre de combinaisons en F2	Nombre de génotype en F2	Nombre de phénotypes en F2
1	2	4	3	3+1
2	4	16	9	9+3+3+1
3	8	64	27	$(3+1)^3$
$n$	$2^n$	$(2^n)^2$	$(3)^n$	$(3+1)^n$

$n$  est un entier représentant le nombre de caractères étudiés.

### La drosophile: cobaye des généticiens

La drosophile (*Drosophila melanogaster*) est une petite mouche se nourrissant de levures de fermentation que l'on retrouve le plus souvent sur les fruits mûrs durant l'été. On l'appelle pour cette raison, la mouche du vinaigre. Cette mouche mesure de 3 à 4 mm et possède plusieurs caractéristiques qui font d'elle un excellent support d'étude des lois de la génétique.

#### Caractéristiques intéressantes pour la génétique :

- *Petitesse ne nécessitant pas de coûteuses installations de conservation. Des tubes à essais et des erlenmeyers suffisent à son stockage.*
- *Brièveté de son cycle de vie (de 10 à 15 jours) et une trentaine de cycles par an ;*
- *Proliféricité des femelles qui ont 200 à 300 descendants (utile pour le traitement statistique) ;*
- *Distinction commode des mâles et des femelles ainsi que des caractères morphologiques phénotypiques transmis entre générations ;*
- *Etudes cytologiques facilitées par la présence de chromosomes géants dans les cellules salivaires ;*
- *Peu de chromosomes ( $2n=8$ ) limitant ainsi la complexité des problèmes de transmission de caractères.*



*Distinction mâle femelle évidente (femelle au-dessus)*



*Individu normal et individu aux ailes vestigiales*

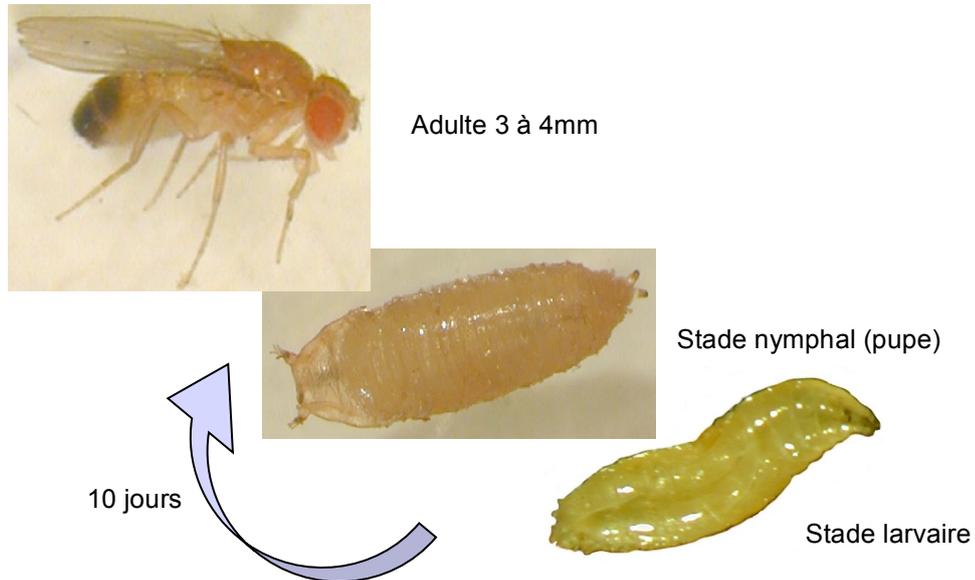


*Corps gris et ébène (au-dessus)*

*Yeux rouges (au-dessous) et yeux blancs*

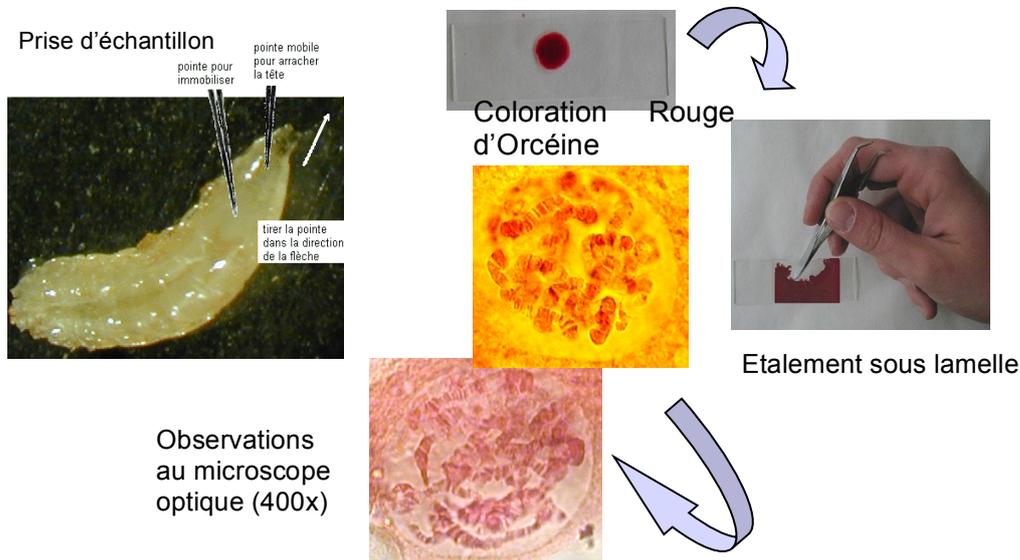


## Cycle de vie court



## Observations cytologiques

Les observations de chromosomes géants issus des cellules salivaires ont favorisé la confirmation de l'hypothèse du support chromosomique des gènes dans la génétique moderne.



## L'explication chromosomique de l'hérédité

Nous avons acquis comme hypothèse de travail qu'à un caractère visible (phénotype) correspond au niveau cellulaire un gène responsable avec d'autres du génotype de l'individu concerné.

Où sont localisés ces gènes ?

### **L'hypothèse chromosomique**

Mendel ne connaissait pas les chromosomes et encore moins l'ADN. Il a fallu attendre la description des structures cellulaires, des chromosomes pour offrir un support réel aux facteurs héréditaires mis en exergue par Mendel bien avant.

La découverte des chromosomes et du mécanisme de la méiose lors de la conception des gamètes a permis de faire un parallélisme entre le comportement des gènes et celui des chromosomes.

Au début du 20<sup>ème</sup> siècle, W.S. Sutton proposa l'hypothèse que les chromosomes seraient porteurs des facteurs héréditaires donc des gènes.

### **Cas du monohybridisme**

**La couleur de la drosophile** (*Drosophila Melanogaster*) (Travaux de Morgan)

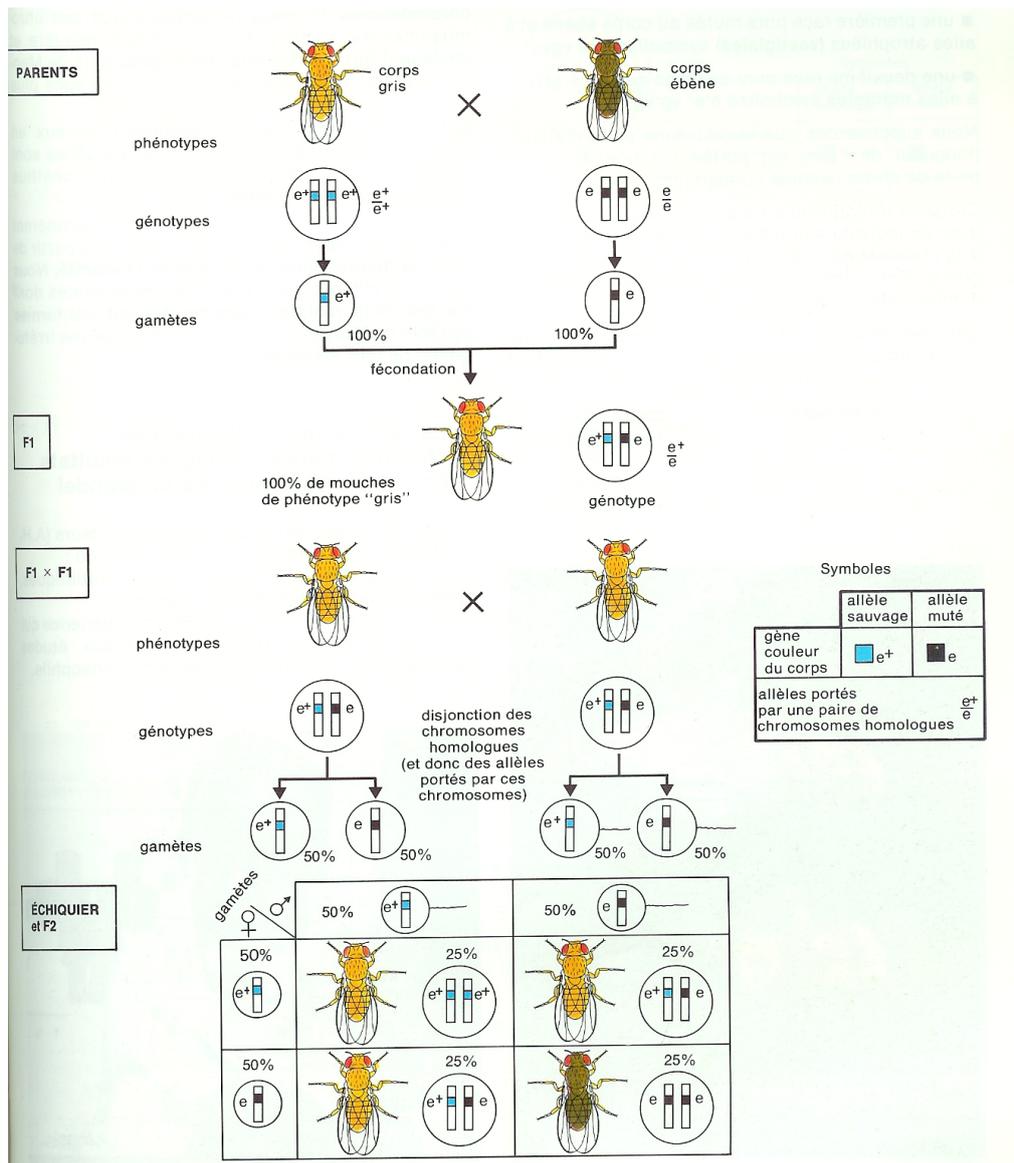
Les deux allèles d'un même couple sont situés en 2 points homologues de chaque chromosome d'une même paire. Cette paire se verra séparée par disjonction lors de la formation des gamètes (méiose).

**Soit le caractère e pour le corps d'ébène : ee (homozygote) (allèle de la variété sauvage)**

**Soit le caractère e<sup>+</sup> pour le corps gris : e<sup>+</sup>e<sup>+</sup> (homozygote)**

*Re : Le « petit signe plus (+) » signifie que l'on a le caractère dominant. On prend généralement la première lettre du caractère récessif auquel on associe le signe en question.*

**Formalisme :**



Les résultats obtenus **sont conformes** aux lois de Mendel et tendent à prouver que les allèles sont portés séparément sur chaque chromosome d'une **même paire** (homologues) séparée indépendamment lors de la méiose.

### Cas du dihybridisme

Tentons de vérifier l'hypothèse chromosomique au travers du croisement de deux lignées pures pour deux caractères : **couleurs de corps et longueur d'ailes**

- Couleur de corps :  $e$  (ébène) ;  $e^+$  (gris)
- Longueur d'aile :  $vg$  (vestigiale) ;  $vg^+$  (normale)

Soit le croisement d'une lignée pure mutée **au corps d'ébène et aux ailes atrophiées (vestigiales)** symbolisée par **ee vgv** ; avec une lignée pure au **corps gris et aux ailes normales** symbolisée par **e<sup>+</sup>e<sup>+</sup> vg<sup>+</sup>vg<sup>+</sup>**

**Nous supposerons que la deuxième paire d'allèle (longueur des ailes) est portée par une deuxième paire différente de chromosomes homologues.**

**Précisez F1 et faites l'échiquier F1 x F1** en représentant symboliquement les chromosomes. On remplace donc les facteurs Mendéliens par leur équivalent en tant que gène sur des chromosomes dans la notation (comme à la page précédente).

### **Interprétation**

Après manipulation formalisée, on constate que la représentation des chromosomes portant les caractères conduits aux mêmes résultats (Mendel).

Ce constat ne constitue pas une preuve irréfutable mais un argument sérieux en faveur de l'hypothèse chromosomique. Cette hypothèse chromosomique fut renforcée par la suite par la découverte réelle des gènes, de la découverte des mécanismes de la synthèse des protéines, de la découverte de l'ADN dans les années 50.

## « Exceptions aux lois de Mendel »

Re : rappelez-vous l'importance des guillemets dans ce titre !!

**Plusieurs exceptions aux lois de Mendel** ont dû être envisagées dans la mesure où des résultats inattendus se sont manifestés lors de croisements d'individus.

Il faut bien rappeler à nouveau que Mendel, sans diminuer la qualité de ses interprétations et de son travail, a fait preuve de chance car les caractères étudiés chez le pois étaient tous indépendants car situés sur des gènes différents. Il a étudié 7 caractères et  $2n=14$  chez le pois !!!

Quelles sont ces « **exceptions** » aux lois de Mendel ?

- **Hérédité liée au sexe**

- Caractères portés par les chromosomes **sexuels**; (première loi de Mendel non vérifiée).

- **Hérédité par « liaison » des gènes (linkage)**

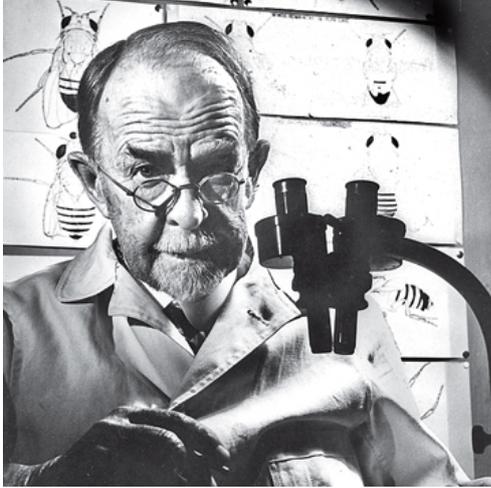
- Des caractères différents (gènes) peuvent être portés par le **même** chromosome; (troisième loi de Mendel non vérifiée).
- Toutes les conclusions de Mendel ont été faites à partir de gènes (caractères) présents sur des chromosomes **différents**.

- **Hérédité par « liaison » partielle (crossing-over)**

- Certaines **recombinaisons** et **déplacements partiels de gènes** entre chromosomes sont possibles lors de la méiose et dès lors influent sur les résultats attendus.

**Cette dernière exception est présentée à la fin de ce thème mais elle ne sera PAS étudiée dans ce cours.**

## « Exception » à la première loi de Mendel (hérédité liée aux chromosomes sexuels)



**Thomas Hunt-Morgan** (1866 – 1945), zoologiste de formation, professeur d'embryologie au Caltech, a étudié les modes de transmission des caractères chez la drosophile en essayant de comparer les résultats avec les travaux de Mendel. Il a pu asseoir les fondements de la théorie chromosomique des gènes. Il a réussi également à proposer un mécanisme d'étude de la position relative des gènes sur les chromosomes et les conséquences sur les résultats d'hybridation.

Prix Nobel de Médecine et de Physiologie en 1933.

### Expériences et observations

On croise deux races pures de drosophiles qui diffèrent par la couleur de l'œil. Une première race sauvage possède des **yeux rouges**, une seconde possède les **yeux blancs (white)**. Les deux races sont symbolisées pour ce caractère :

Yeux rouges :  $w^+w^+$  (homozygote)

Yeux blancs :  $ww$  (homozygote)

### Croisement F1

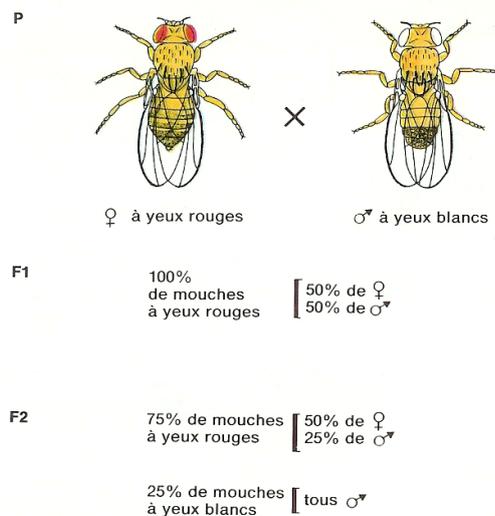
On croise une **femelle aux yeux rouges** avec un **mâle aux yeux blancs**. En F1, **tous les individus ont des yeux rouges** et statistiquement 50% sont mâles et 50% sont femelles. **Le caractère yeux rouge ( $w^+$ ) est dominant.**

## Croisement F2

On observe en F2, les deux phénotypes parentaux avec les fréquences prévues :

75% ou  $\frac{3}{4}$  d'individus aux yeux rouges (50% de femelles, 25 % de mâles) ;

25% ou  $\frac{1}{4}$  d'individus aux yeux blancs (**MAIS** tous mâles) ;



## Croisement réciproque

Faisons l'inverse, croisons une **femelle aux yeux blancs** et un **mâle aux yeux rouges**.

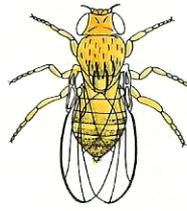
### Croisement F1

On observe en F1 :

50% d'individus aux yeux rouges (tous femelles)

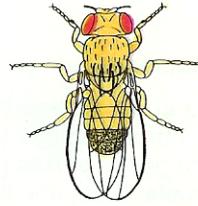
50 % d'individus aux yeux blancs (tous mâles).

P



♀ à yeux blancs

×



♂ à yeux rouges

F1

50% de mouches à yeux rouges [ tous ♀

50% de mouches à yeux blancs [ tous ♂

F2

50% de mouches à yeux blancs [ 25% de ♀  
25% de ♂

50% de mouches à yeux rouges [ 25% de ♀  
25% de ♂

## Croisement en F2

50% d'individus aux yeux rouges (25% femelles, 25 % mâles)

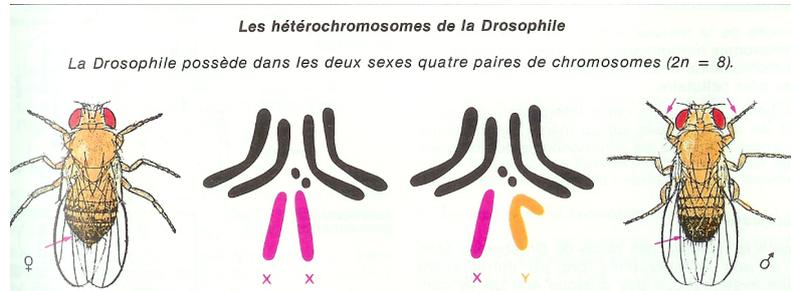
50 % d'individus aux yeux blancs (25% femelles, 25 % mâles)

## Interprétation

**Le croisement réciproque ne répond pas à la première loi de Mendel.** Dès lors que F1 **n'est pas homogène**, les résultats obtenus en F2 sont imprévus. On obtient des résultats statistiques différents (50 ;50) au lieu de (25, 75).

Il semble que le caractère de couleur ( $w$  ou  $w^+$ ) ne soit pas « insensible » au sexe de l'individu qui le porte. **Cette anomalie de résultat par rapport à la première loi de Mendel bien que semblant incompatible avec la théorie chromosomique a tout au contraire étayé cette théorie...**

Quand on étudie de plus près les chromosomes de la drosophile, on constate qu'il y a chez la femelle et le mâle, une **carte génétique chromosomique différente (souvenez-vous des caryotypes chez l'Homme)**. Chez la femelle, les hétérochromosomes (chromosomes sexuels) sont semblables et appelés XX. Par contre ceux-ci sont dissemblables chez le mâle dès lors on les nomme de manière différente X et Y.



**L'interprétation chromosomique des résultats n'est plus mise en défaut** si on admet que le gène déterminant la couleur est situé (porté) par le seul chromosome X (Y étant dépourvu d'un tel gène). Cette supposition fut étayée par l'étude biochimique approfondie des gènes. Le chromosome Y est porteur de gènes qui vont déterminer le sexe mâle.

**Quels sont les génotypes rencontrés à partir des phénotypes observés dans les deux expériences?**

**A partir de ces génotypes, reconstruisez les échiquiers de Punnett des deux expériences : (F1 et F2)**

### **Conclusion**

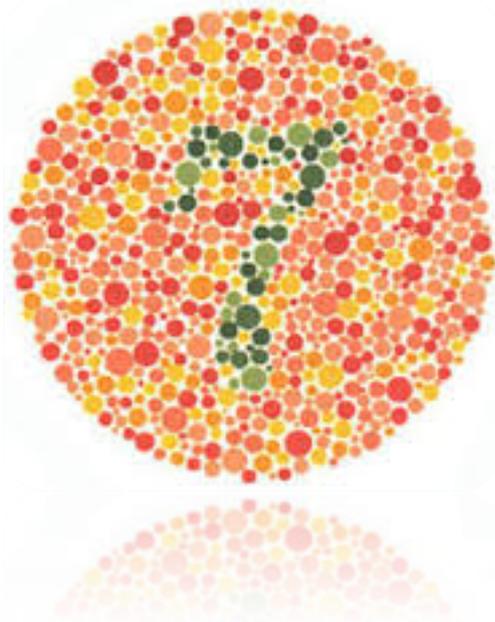
On peut établir un rigoureux parallèle entre la répartition des chromosomes sexuels et la distribution de certains gènes portés justement par ces chromosomes sexuels. **C'est une des premières preuves visibles de la théorie chromosomique.** Les gènes sont donc bien transportés par des chromosomes lors de la méiose. Cela conditionne la répartition des gènes dans les gamètes qu'il soit sur des chromosomes différents, sur des chromosomes identiques (voir exception suivante), sur des chromosomes sexuels (X).

**Re :** *Lorsque la transmission concerne des caractères portés par des chromosomes non sexuels (chez l'Homme, les 22 premières paires), on parlera de transmission **AUTOSOMALE**. Lorsque les gènes étudiés se trouvent sur les chromosomes sexuels, en l'occurrence X (paire 23 chez l'Homme), on parlera de transmission **HETEROSOMALE**. La transmission hétérosomale est toujours asymétrique puisque le gène n'est porté que par le chromosome X. Certains caractères ne concerneront à quelques rares exceptions près, **les mâles** puisque Y porte uniquement les gènes définissant les caractéristiques phénotypiques primaires et secondaires du mâle.*

## Un exemple chez l'Homme, le daltonisme.

***Ce caractère est lié au sexe car dans la population, à quelques rares exceptions près, ce sont les garçons qui sont touchés.***

**Le daltonisme est un trouble génétique** (on ne parle pas de maladie génétique car les conséquences sont faibles pour la personne concernée) dans lequel il y a une altération de la vision des couleurs. Plusieurs altérations sont possibles mais nous citerons notamment l'altération de la vision du rouge et du vert qui a une fréquence plus élevée dans la population.



Voyez-vous le **sept** en **vert** au centre ?

Pour cela, il faudrait ne pas avoir la photocopie en niveau de gris...



Soit une **jolie dame à la vue normale** et n'ayant jamais eu d'ascendants daltoniens rencontre un jeune **homme daltonien**.

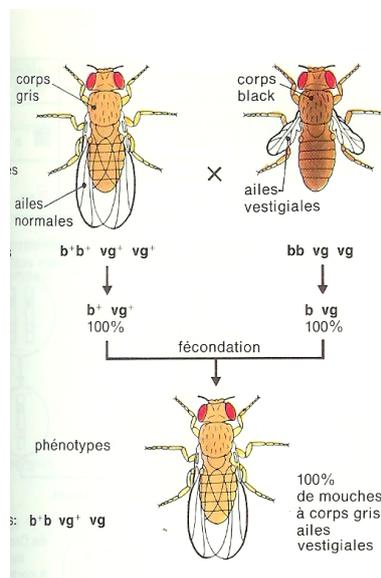
Quelles sont les possibilités pour la descendance ? N'oublions pas que le gène est lié au sexe.

**Formalisme :**

## Une seconde « exception » mais à la troisième loi de Mendel (liaison entre les gènes)

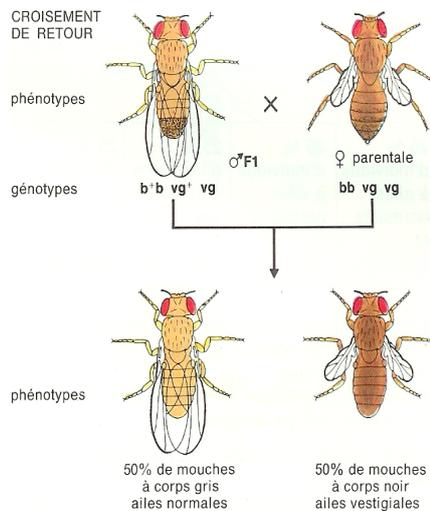
On réalise le croisement entre 2 drosophiles de **lignée pure** pour deux gènes. La première est de race pure grise et aux ailes normales, l'autre noir et aux ailes vestigiales.

Tous les individus de première génération (F1) sont de même phénotype corps gris – aile normale. Les allèles gris et normaux sont donc dominants. Rien de particulier à ajouter si ce n'est que la première loi de Mendel est bien vérifiée.



On effectue ensuite un **croisement retour** entre un **mâle hybride** et une **femelle doublement récessive homozygote parentale**. L'observation de la descendance montre l'apparition de deux phénotypes du premier croisement, dans les proportions **50/50**.

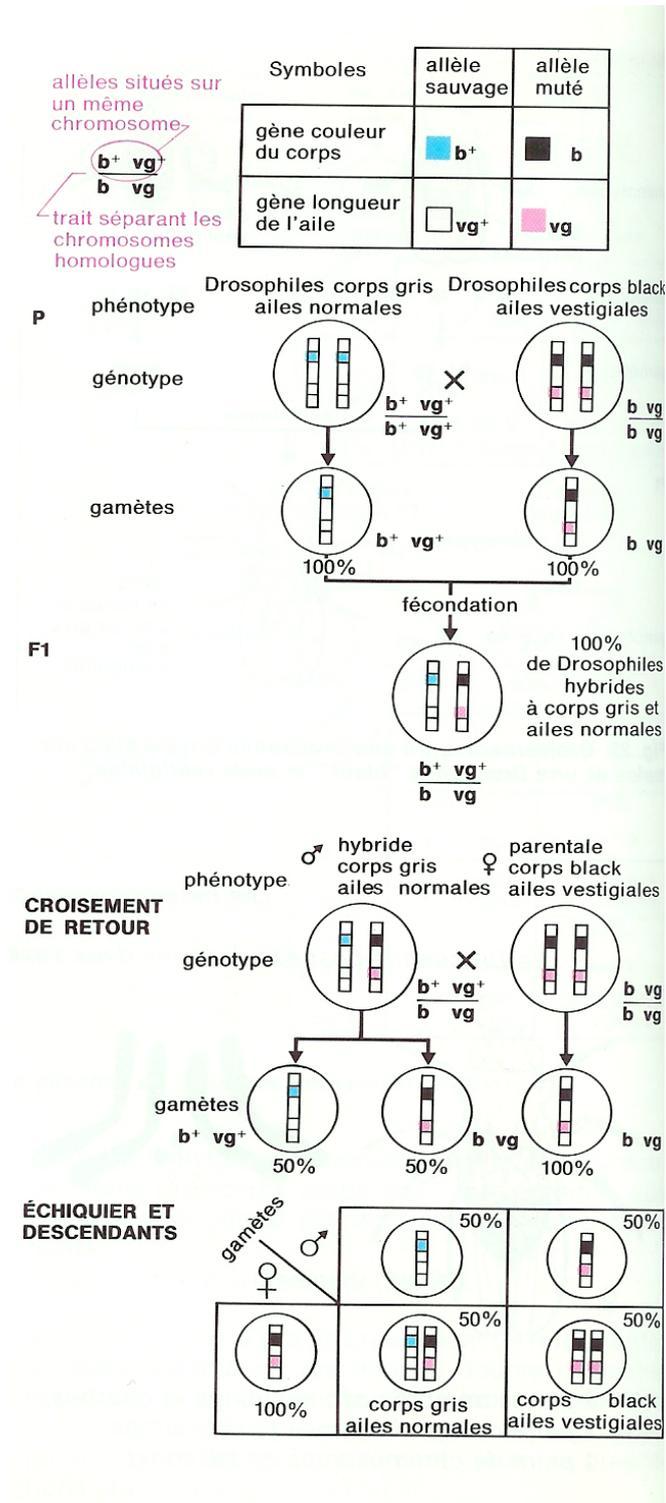
Ce résultat est surprenant car la loi d'indépendance des caractères (Mendel) signifie que le mâle doublement hétérozygote devrait fournir **4 types de gamètes différents pendant que la femelle de race pure récessive ne fournit qu'un seul type de gamète**. Nous **devions** en principe observer 4 phénotypes de fréquence égale en F1. Lesquels étaient attendus ?



Deux des phénotypes attendus n'apparaissent pas. Ceci tend à prouver que le mâle n'a produit que deux types de gamètes. **Il n'y a pas eu disjonction indépendante des caractères observés chez les pois de Mendel.** Les **allèles noirs et vestigiaux** se trouvent en fait sur le **MÊME chromosome** mais sur des portions différentes (locus) et donc **ne sont pas séparés** et migrent vers le même pôle cellulaire lors de la méiose et la création des gamètes. Ce phénomène s'appelle le **LINKAGE (liaison)**.

Dans cette situation, moins de gamètes différents sont envisageables car toutes les associations « prévisibles » des allèles deviennent impossibles car certaines allèles (de deux caractères différents) se trouvant maintenant sur un même chromosome ne peuvent plus être dissociées. **La disjonction aléatoire si importante dans l'interprétation ne convient plus.** Ceci renforce l'assise chromosomique des gènes (allèles différents).

Cette interprétation du linkage peut être symbolisée dans la « **notation chromosomique** » en plaçant les deux caractères en question sur le même chromosome :



## Une « exception » à la liaison entre caractères ou à la disjonction indépendante : la liaison partielle et le phénomène de recombinaison (crossing-over)

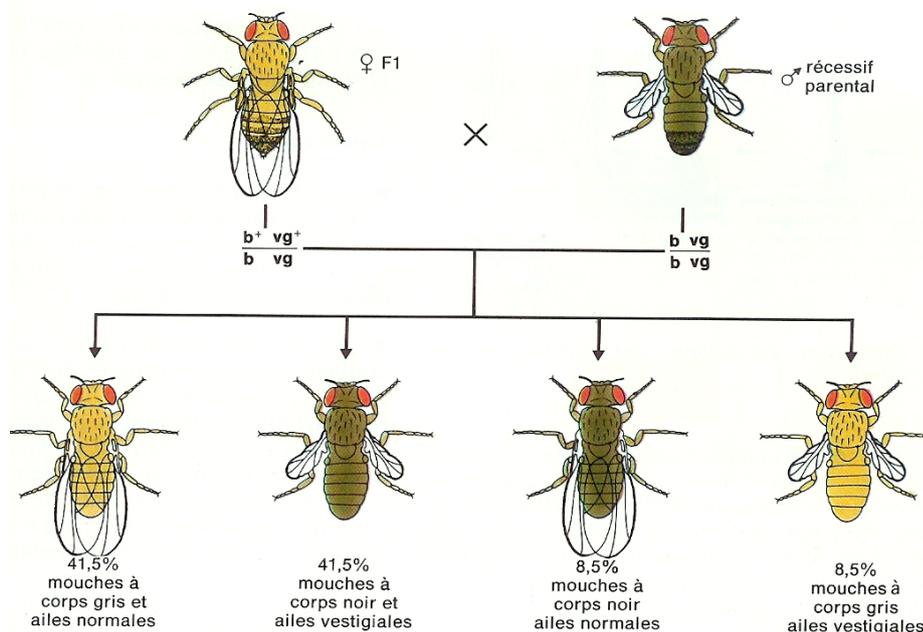
### (Pour Information)

En considérant les mêmes caractères (noir, gris, normale, vestigiale), on croise une femelle **hybride** (F1) avec un mâle **homozygote doublement récessif**. Nous pourrions attendre le même résultat que le croisement précédent. Il n'en est rien.

On observe en fait 4 phénotypes aux proportions statistiques particulières :

- 41,5 % de mouches aux ailes normales – corps gris ;
- 41,5 % de mouches aux ailes vestigiales – corps noirs ;
- 8,5 % de mouches aux ailes normales – corps noirs ;
- 8,5 % de mouches aux ailes vestigiales – corps gris ;

Ces résultats ne coïncident ni avec une disjonction indépendante qui devait conduire à 25 % de chaque phénotype, ni avec une liaison absolue. La vérité est celle que part entre les deux : **la liaison partielle entre les caractères dont les locus se trouvent sur le même chromosome.**



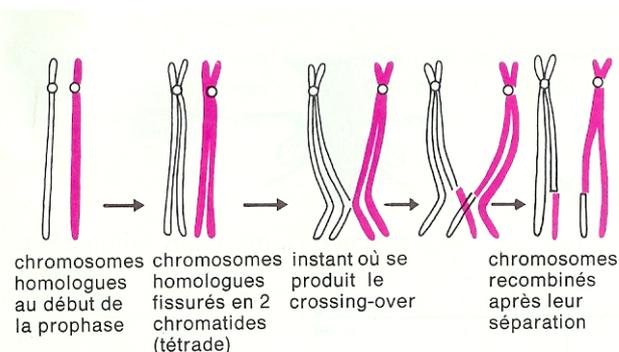
Il semble que la liaison entre les caractères n'est absolue que dans 83% des cas (41,5 + 41,5). Dans 17 % des cas (8,5 + 8,5), la liaison n'a pas joué (« indépendance » retrouvée)

Il faut admettre une recombinaison des allèles, assurant la naissance de 17% de phénotypes inattendus (**phénotypes recombinés**). **Le taux de recombinaison est de 17% dans ce cas.**

### Interprétation cytologique et chromosomique

Il faut trouver une interprétation cytologique et chromosomique à ces résultats. Lors de la méiose et la création des gamètes, les **chromosomes analogues** (toujours par deux) peuvent subir des phénomènes d'échange d'une partie de segments d'ADN portant les gènes dont le locus se trouvait sur le même chromosome (caractères liés). Ce phénomène est appelé **CROSSING – OVER**.

Le crossing-over se produit au moment de la prophase de la première division de la méiose. Au début de la prophase, les deux chromosomes homologues sont étroitement accolés. Puis chaque chromosome apparaît fissuré en deux chromatides (tétrade). On peut admettre que pour des raisons de croisement (chiasmata) des chaînes d'ADN provenant de chaque chromatide interne, une réaction biochimique d'échange de segments d'ADN s'opère entre les chromatides. Cet échange conduirait au déplacement « indépendant » d'un locus de caractère.

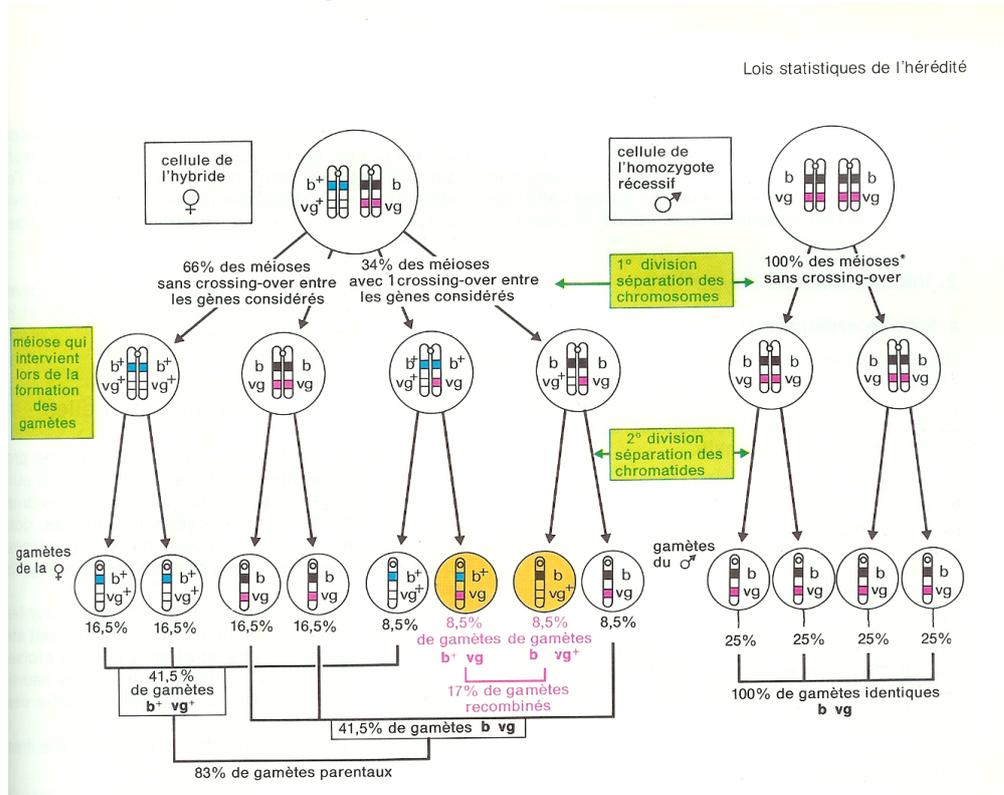


### Remarques sur le crossing-over

- Les taux de recombinaison (%) se retrouvent avec une totale régularité pour un croisement donné. Ils ne dépendent donc pas de la nature des gènes étudiés mais uniquement de la position qu'occupent les gènes sur les chromosomes.
- Les taux de recombinaison varient entre 0 et 50%. 0% correspond à une liaison absolue des caractères sur un même chromosome. 50% correspondrait à l'indépendance totale de caractères portés par un même chromosome, ce qui est impossible puisque cela correspondrait à un scénario de caractères présents sur des chromosomes différents.
- L'étude du crossing-over ne peut se faire que chez des hybrides. **Pourquoi ?**
- La liaison partielle ou absolue ne dépend pas du sexe sauf dans quelques exceptions comme dans le cas de la drosophile. Les pourcentages de recombinaison sont les mêmes quelque soit le sexe de l'individu. **La distinction et l'exception chez la drosophile étaient des opportunités**

## pour mettre en évidence les phénomènes de linkage et de recombinaison (crossing-over)

### Lecture chromosomique du croisement



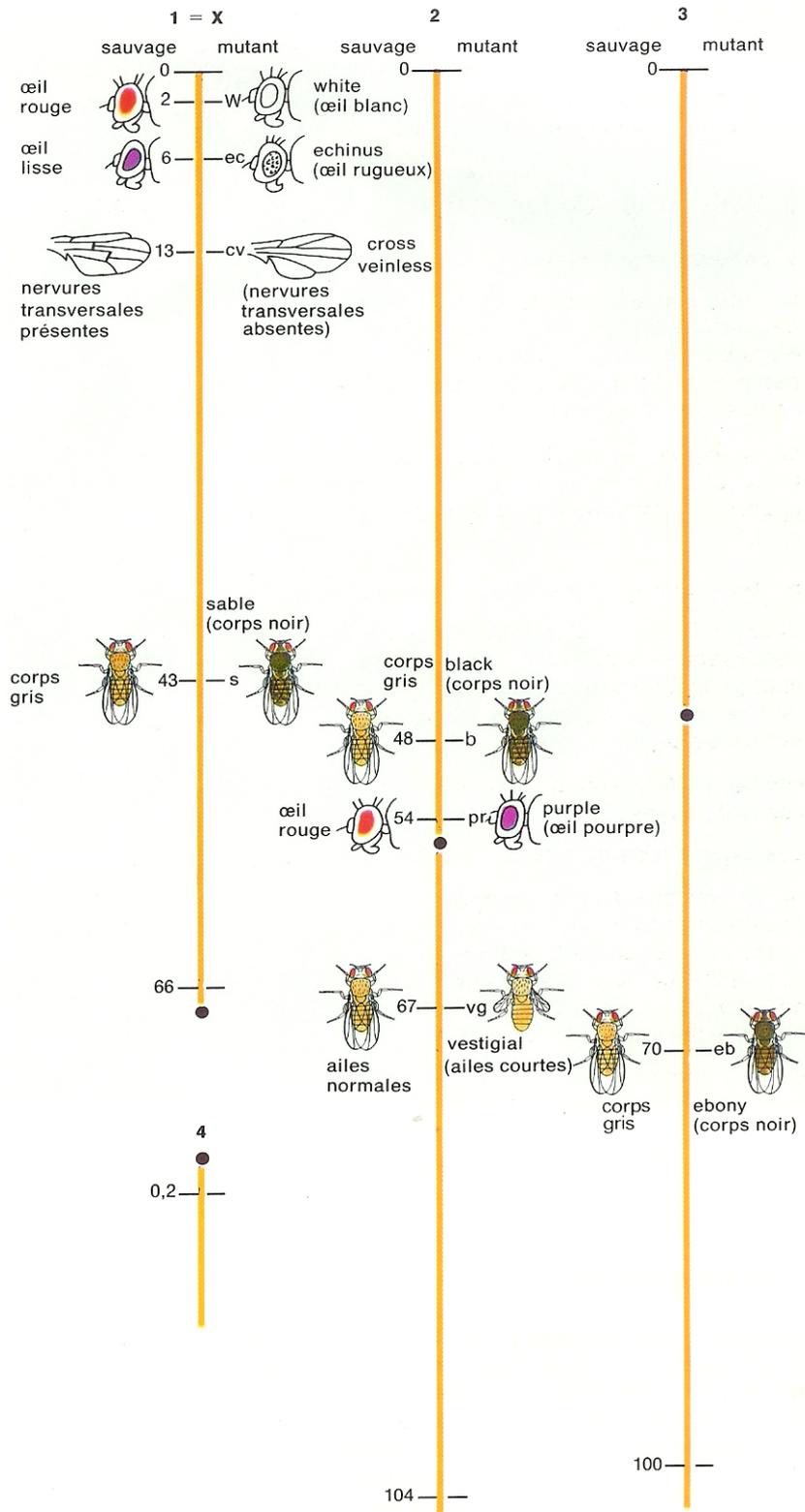
### Principe de la carte factorielle et de la carte chromosomique

Y a-t-il une corrélation entre le taux de recombinaison et la distance entre les gènes sur un même chromosome (distance entre locus) ?

On pourrait supposer qu'un **crossing-over** aura d'autant **plus de chance** de se produire **entre 2 gènes** que ceux-ci sont **plus éloignés** l'un de l'autre. Autrement dit, plus la distance entre les gènes (locus) sur un même chromosome est importante, plus le taux de recombinaison peut-être élevé.

Un centimorgan (distance) arbitraire correspondrait à un taux de recombinaison de 1%.

En multipliant les croisements et en étudiant notamment les pourcentages de recombinaison (liaisons partielles), Morgan et ses collaborateurs ont réussi à établir les cartes factorielles donnant pour chaque chromosome (4), **la position relative des gènes portés**. Il faut garder à l'esprit que les positions de gènes étudiés ne concerne qu'une infime partie du patrimoine génétique des individus. **Seuls les caractères phénotypiques visibles ont été étudié.**



## La transmission de maladies génétiques et les arbres généalogiques chez l'Homme

(**PAS** pour information)

Il y a de très nombreuses maladies génétiques de la plus banale et sans conséquence réelle comme le daltonisme jusqu'à des maladies graves grevant fortement l'espérance de vie en passant par des maladies génétiques orphelines.

Malheureusement, il est impossible de guérir de ce type de maladie actuellement. Elles peuvent parfois apparaître de manière tout à fait fortuite dans une branche familiale par simple mutation (accident génétique) par la modification d'un gène dans les cellules de reproduction (gamète) et donc affecté la génération suivante. En général, on soigne les symptômes ou l'on cherche à obtenir une hygiène de vie qui permet de contrer les effets secondaires lorsque cela est possible.

Il est très difficile de se prémunir de ce type d'accident génétique. Par contre, lorsqu'un trouble génétique est présent dans une famille, cette maladie peut être connue sous son mode de transmission entre génération. Il est dès lors possible de conseiller les personnes afin de les soutenir dans leur volonté de procréer et d'en évaluer ainsi les risques. C'est notamment pour cette raison que beaucoup de maladies génétiques ont une prévalence faible dans la population. Si le risque est important, on évite généralement d'avoir des enfants et la maladie dès lors ne connaît pas de génération suivante.

Pour comprendre les modes de transmission, **basons-nous sur les arbres généalogiques sur quelques cas de maladies génétiques étudiées.**

**Attention**, tirer des conclusions sur le mode de transmission d'une maladie à partir d'un seul arbre généalogique doit être considéré comme hasardeux. En effet, pour s'assurer du mode de transmission, il faut des échantillons représentatifs de cas et donc étudier de nombreux arbres généalogiques. A partir d'un arbre, vous ne pourrez donc émettre que des hypothèses.

**De plus**, on peut aisément concevoir qu'il n'est pas possible de faire des expériences en génétique humaine et effectuer des croisements. Dès lors, il faut se contenter des données réellement disponibles dans la population.

Nous étudierons donc quelques cas :

- La chorée de Huntington ;
- La surdité – mutité ;
- La mucoviscidose ;
- La phénylcétonurie ;
- D'autres cas éventuellement...

**Exemples de prévalence** de troubles ou de maladies dans la population (pas uniquement génétiques).

Numéro ORPHA	Maladie ou groupe de maladies	Prévalence estimée (/100 000)
79457	Mastocytose cutanée maculopapulaire	450.0 <i>PN*</i>
1480	Communication interventriculaire	272.0 <i>PN*</i>
853	Thrombopénie materno-foetale et néonatale allo-immune	112.5 <i>PN*</i>
268810	Méningocèle postérieur	100.0 <i>PN*</i>
648	Syndrome de Noonan	70.0 <i>PN*</i>
182130	Tumeur des glandes endocrines	64.0 *
2014	Fente vélo-palatine	53.6 <i>PN*</i>
535	Lupus érythémateux cutané	50.0 *
706	Persistance du canal artériel	50.0 <i>PN*</i>
8	Syndrome 47,XYY	50.0 <i>PN*</i>
48	Absence congénitale bilatérale des canaux déférents	50.0 *
63259	Iniencéphalie	50.0 *
90066	Pneumonie due à une infection à <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	50.0 *
93100	Agénésie rénale unilatérale	50.0 <i>PN</i>
67037	Carcinome épidermoïde de la tête et du cou	49.0 *
209893	Déficit congénital isolé en globuline liant la thyroxine	46.0 *
1531	Craniosynostose	45.0 <i>PN*</i>
275555	Pré-éclampsie	45.0 *
93108	Dysplasie rénale	43.5 <i>PN*</i>
3375	Trisomie X	42.5 *
801	Sclérodermie	42.0
90058	Lésion de la moelle épinière	42.0 *
217071	Carcinome rénal	42.0 *
363999	Anasarque foeto-placentaire non immunologique	42.0 <i>PN</i>
1646	Délétion partielle du chromosome Y	41.65
768	Syndrome du QT long familial	40.0 <i>PN*</i>
294	Embryopathie à cytomégalovirus	40.0 *
98497	Neuropathie périphérique génétique	40.0
97292	Choc cardiogénique	40.0 *
101016	Syndrome de Romano-Ward	40.0 *
3189	Sténose valvulaire pulmonaire congénitale	39.3 <i>PN*</i>
442	Hypothyroïdie congénitale	38.0 <i>PN*</i>
98715	Uvéite	38.0 *
90056	Lésion traumatique modérée ou sévère du cerveau	37.8 *
567	Syndrome de délétion 22q11.2	37.5 <i>PN</i>
226295	Hypothyroïdie congénitale primitive	37.5 *

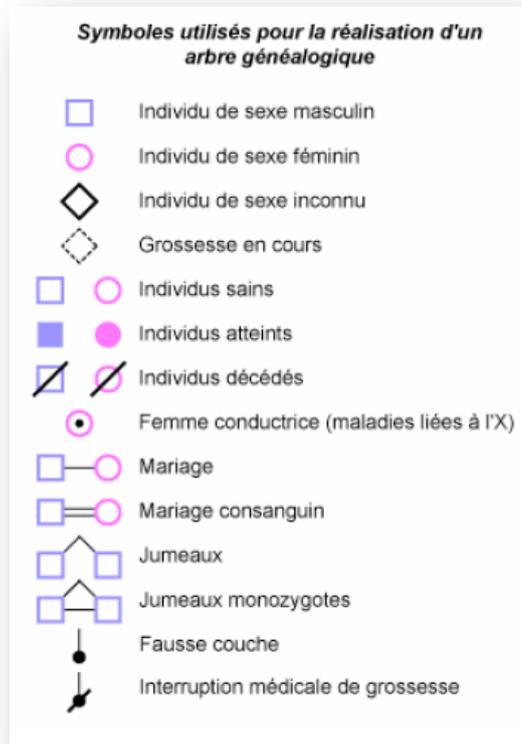
*PN* : Prévalence à la naissance

(\*) : Données pour l'Europe

**Source** : *Les Cahiers d'Orphanet - Prévalence des maladies rares : Données bibliographiques - Juillet 2015 - Numéro 2 (extrait)*

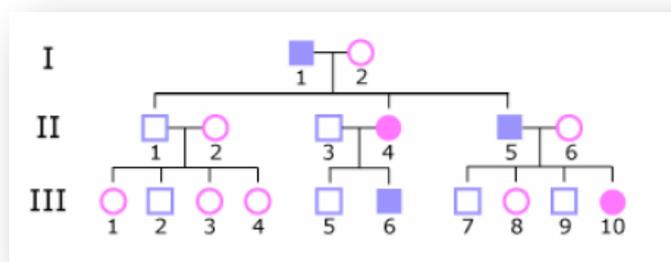
## Principe d'un arbre généalogique

Le mode de fonctionnement et de lecture d'un arbre généalogique est très simple : chaque génération (descendants) est présentée **horizontalement** en lien avec les générations précédentes (ascendants) se trouvant **toujours au-dessus**.



Symboles utilisés pour représenter les résultats dans un arbre

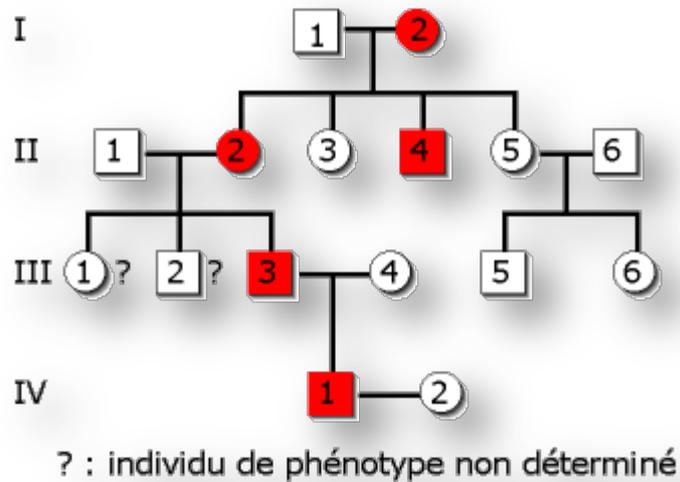
Exemple de lecture:



Dans cet arbre, il y a **trois générations**, le père de première génération est **atteint** d'une maladie génétique. Il aura avec sa femme saine, **trois enfants**, deux garçons et une fille. **Un** de ces garçons sera **touché** par la maladie. Chaque enfant se mariera et les trois couples engendreront 10 petit-enfants en troisième génération, 5 filles dont une malade et 5 garçons dont un malade.

## Exemple de transmission à décrire et comprendre

### La chorée de Huntington



Les hommes sont des □

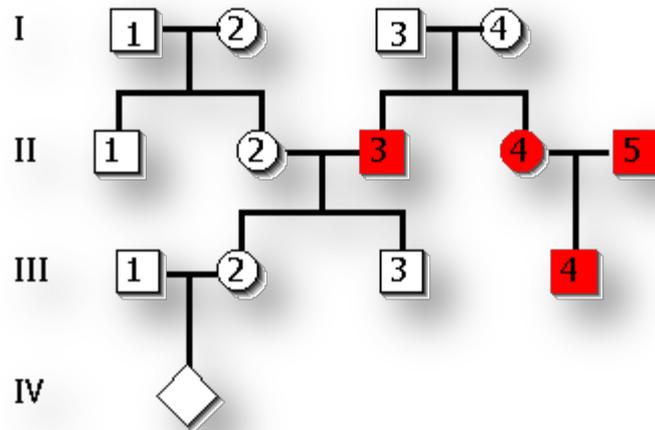
Les femmes sont des ○

Écriture de l'allèle H ou h ou Xh ou XH

- L'allèle responsable de cette maladie est récessif/dominant
- L'hypothèse est certaine ou probable ?
- Le gène mutant de la maladie est porté par un autosome/hétérochromosome
- Le phénotype de III4 est :
- Probabilité pour IV1 et IV2 d'avoir un enfant malade ?

**Interprétation :**

## La surdité – mutité



Les hommes sont des □

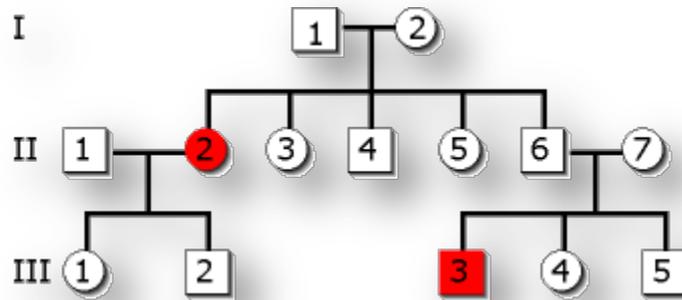
Les femmes sont des ○

Ecriture de l'allèle sm ou SM ou Xsm ou XSM

- L'allèle responsable de la surdité-mutité est :
- Est-ce sûr ?
- Le gène responsable est porté par
- Quel est le génotype de l'individu III3 ?

**Interprétation :**

## La mucoviscidose



Les hommes sont des □

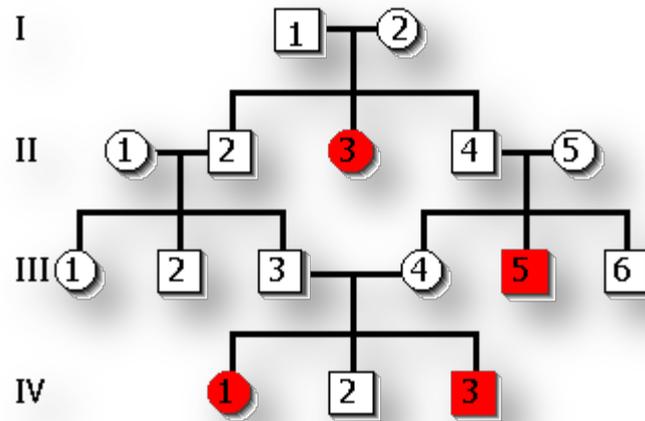
Les femmes sont des ○

Ecriture de l'allèle m ou M ou Xm ou XM

- L'allèle responsable de la mucoviscidose est
- Est-ce sûr ?
- Le gène responsable est porté par :
- Quel est le génotype de l'individu II6 ?
- Quelle est la probabilité pour II6 et II7 d'avoir un nouvel enfant malade ?

**Interprétation :**

## La phénylcétonurie



Les hommes sont des □

Les femmes sont des ○

Écriture de l'allèle m ou p ou P ou Xp ou XM

- L'allèle responsable de la phénylcétonurie est
- Est-ce sûr ?
- Le gène responsable est porté par
- Quel est le génotype de l'individu III4 ?

**Interprétation :**

Régis MACHE



## Les OGM : des éthiques inconciliables

Les questions soulevées à propos des OGM sont de deux ordres : des questions scientifiques et des questions éthiques. Comme Janus, une seule tête, mais deux faces. Les deux ordres sont inséparables. Pour éclaircir le débat sur les OGM, nous devons chercher les présupposés, les non-dits, afin de comprendre pourquoi il y a impossibilité actuelle de dialogue. En effet, à chaque argument avancé par les opposants (aux OGM), une réponse est faite qui conduit les opposants à présenter une autre question. Le débat est sans fin, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de débat possible. Du fait du nombre des facteurs intervenant dans l'environnement, de leur complexité, il y a toujours place à des questions nouvelles, d'où l'impression que les problèmes de l'action sur l'environnement échappent à la rationalité scientifique<sup>1</sup>.

Régis MACHE est professeur émérite de l'Université Joseph Fourier (université des Sciences de la technologie et de la santé), et président du Groupe interuniversitaire d'Éthique de la Recherche à Grenoble. Il a dirigé la publication de *La personne dans les sociétés techniciennes* (L'Harmattan, 2007) et a écrit un essai sur *Physique et biologie. Une interdisciplinarité complexe* (coll., EDP Sciences, 2006).

1. Contrairement à ce que pensait Auguste Comte : « On doit concevoir la connaissance de la nature comme destinée à fournir la base rationnelle de l'action de l'homme sur la nature » (*Cours de philosophie positive*, 2<sup>ème</sup> leçon, I, 34-35).

## Le désarroi des chercheurs en science végétale

Les scientifiques sont habitués à critiquer les conclusions tirées à la suite de résultats expérimentaux. Ainsi, après une première publication sur les effets négatifs d'OGM (insecticides BT) sur les papillons *Monarque*, aux USA, une critique des conditions de l'expérience a été faite. La modification des

conditions expérimentales a conduit à présenter d'autres résultats, et à montrer que les OGM étaient sans effet significatif sur les *Monarque*. Plusieurs publications ont confirmé ces interprétations. La question devrait être résolue, mais l'argument pour justifier l'opposition aux OGM sort toujours dans les cafés du commerce. On pourrait multiplier les exemples de ce type.

Retenons les conclusions du Grenelle de l'environnement (2008) à propos du maïs *MON810*. A titre d'exemple, sur la question de la dissémination des gènes par les pollens, le Grenelle a retenu cinq publications. D'après deux chercheurs, A. Ricroch et A. Bergé<sup>2</sup>, qui ont fait une analyse exhaustive des publications sur les OGM, ces 5 publications ne représentent que 3 % de celles portant sur la dissémination des pollens de maïs. Un examen attentif des travaux sur le sujet contredit les conclusions du Grenelle portant sur l'existence de faits nouveaux. Une analyse similaire est faite par l'AFIS<sup>3</sup>. Les réponses critiques des chercheurs en sciences végétales aux conclusions du Grenelle ne se sont pas fait attendre. Plusieurs pétitions et articles dans les journaux ont eu lieu. Leurs réponses rappelaient celles de plusieurs chercheurs en Suisse à propos du referendum sur les OGM<sup>4</sup>.

Pour montrer le fossé séparant les chercheurs des écologistes politiques, on peut noter que les résultats d'un grand programme européen de recherche sur les questions environnementales posées par les OGM, le SIGMEA<sup>5</sup>, ont été présentés en novembre 2007, à Séville, démontrant que les cultures de maïs avec ou sans OGM sont possibles, à condition de respecter quelques précautions, dont une distance séparant les deux types de culture, variable selon les pays, de 30 à 50 m. A la suite de ce rapport, l'Allemagne a autorisé la culture du maïs *MON810*.

Nous rapportons ces faits, non pour entrer dans la polémique, mais pour bien montrer que les oppositions sont irréductibles<sup>6</sup>. Ce n'est pas l'interprétation des études par la majorité des chercheurs du domaine qui sont déterminantes, mais les apparences pseudo-scientifiques. Plusieurs chercheurs disent que la science est bafouée<sup>7</sup>. Bref, si le débat est scientifique pour les uns, le fond des arguments est d'un autre ordre, pour les autres. C'est ce sur quoi nous voulons insister.

2. Consulter le site : <http://tamise.ujf-grenoble.fr/www/info/lettreinfogm>

3. AFIS : association française pour l'information scientifique, créée en 1968.

4. Voir l'article d'un professeur spécialiste d'écologie végétale, en Suisse, K. AMMANN, titrant un article « L'insoutenable légèreté du demi-savoir » (*in* Neuer Zürcher Zeitung, nov. 2005, trad. J. Günther).

5. Sustainable Introduction of Genetically Modified Crops into European Agriculture, 44 partenaires de 12 pays.

6. Nous avons insisté sur le cas du maïs, parce qu'il a fait débat en France. Mais il faudrait faire état d'autres OGM, notamment les colzas. En effet, les problèmes de dissémination d'un gène de résistance à un herbicide ne sont pas les mêmes que pour le maïs. On comprend qu'à plusieurs occasions, la Commission du Génie Biomoléculaire qui était en charge jusqu'en 2008 de donner son avis pour les essais en champ, ait formulé un avis négatif provisoire à des essais de colza OGM, demandant des compléments d'étude avant de donner une autorisation.

7. « La science bafouée », Ph. JOUDRIER, M. KUNTZ, L-M. HOUEBINE, in *La Croix*, février 2008. L'AFIS parle des « prophètes des fausses sciences ou de l'apocalypse ».

## Une divergence d'évaluation

L'extension des cultures OGM dans le monde, justifiée par leurs avantages, montre une divergence d'évaluation. Le rapport annuel montre que les surfaces cultivées en OGM dans le monde sont en expansion selon une loi quasi-linéaire. La croissance en 2007 a été de 12 %. Il y a 114 millions d'hectares de plantes OGM cultivés dans le monde. Les continents nord- et sud-américains, le continent australien sont les premiers utilisateurs de plantes OGM. En cinquième position vient la Chine. L'Inde est également grande utilisatrice. L'Europe est largement opposée à ce type de culture, à l'exception de l'Espagne, du Portugal et de l'Allemagne. En Afrique, plusieurs pays ont admis la culture de plantes OGM (coton, maïs) à petite échelle, sauf l'Afrique du sud qui les cultive plus abondamment. En tout, douze pays émergents et onze pays développés, ont adopté la technologie des OGM.

Les différences ainsi observées entre les différents continents peuvent être interprétées en un double sens. Le premier est en rapport avec le concept de nature : d'un côté les utilitaristes (ou pragmatistes) qui ne voient pas avec les OGM péril en la demeure, et de l'autre, ceux pour qui les OGM sont une nouvelle peste imposée par des technocrates, mettant la nature en péril. La deuxième interprétation des différences entre continents est économique : d'une part, les continents utilisateurs y voient un moyen de développement des pays émergents, et d'autre part, la riche Europe s'oppose au développement d'une nouvelle technologie affectant le mode de vie rural.

Parmi les OGM, il y a quatre plantes de grande culture : le coton, le soja, le maïs, le colza. Deux de ces plantes, le coton-BT et le maïs-BT, renferment un gène produisant une protéine insecticide originaire d'une bactérie (*Bacterium thuringiensis* : BT). Il permet de se protéger de larves d'insectes (chrysomèle, sésamie) qui autrement font de grands dégâts. Les cultures de ces plantes lorsqu'elles sont sans OGM, nécessitent plusieurs traitements insecticides par épandage, utilisant la même protéine BT. Ainsi, les OGM évitent l'aspersion de tonnes de protéine BT sur les sols. Toutes les études s'accordent pour dire que le coton-BT conduit à une diminution de la quantité d'insecticide utilisé et est de ce fait favorable à l'environnement.

Pour le maïs-BT, la situation n'est pas si claire. D'après une conférence de son ministre de l'Agriculture<sup>8</sup>, le Burkina Faso a décidé d'adopter le coton BT pour la raison que les rendements sont meilleurs. Le coton BT permet d'éliminer d'un coup quatre des six ravageurs des cotons non OGM dans le pays. La technologie aurait été apprise auprès de « firmes américaines » par des chercheurs du Burkina Faso. Maintenant ils produiraient des OGM « locaux », utilisant des variétés locales. Ainsi la semence serait produite dans le pays.

8. Interview de Salif DIALLO, Ministre de l'Agriculture du Burkina Faso, dans le quotidien *Le Pays*, n° 3718 du 29/09/2006 ; voir aussi : [www.lefaso.net](http://www.lefaso.net)

Une deuxième catégorie d'OGM cultivés produit une protéine herbicide, le round-up ou ses variantes. C'est le cas du maïs, du soja et du colza. Le gain sur l'épandage d'herbicide est très positif pour certains, pour d'autres, la question mettant en jeu de nombreux facteurs, doit être approfondie. Pour le soja, l'extension très importante des OGM (près de 80 % des surfaces cultivées) montre qu'ils contribuent à l'essor économique de plusieurs pays. Comme le note l'économiste J. Szigard<sup>9</sup>, « le Brésil n'a pas à renoncer à son développement économique pour satisfaire les ONG bien-pensantes venues des pays riches ».

9. J. SZGARD, *Espirit*, février 2007, p. 25.

On voit par ces exemples que l'adoption par de nombreux pays de cultures OGM est motivée par des avantages économiques (moins de pesticides à utiliser) auxquels s'ajoutent des avantages environnementaux. Ce sont les mêmes avantages économiques qui ont incité des agriculteurs du sud-ouest de la France à cultiver des maïs OGM-insecticide, le gain obtenu allant jusqu'à 35-40 % les années de forte attaque de la pyrale.

L'utilisation des maïs BT (transgène produisant un insecticide) a un autre avantage important concernant l'alimentation animale et la santé en général. En effet, le maïs BT permet d'éviter les attaques des insectes foreurs (pyrale et sésamie) que les maïs normaux, traités par épandage de l'insecticide, ne peuvent éliminer aussi bien. Or, les anfractuosités provoquées par les chenilles de ces insectes sont des nids de champignons microscopiques qui contiennent des toxines nombreuses (fumonisine, aflatoxine, ochratoxine). Ces toxines sont dangereuses pour la santé, certaines étant cancérigènes. Elles provoquent des maladies graves chez les ruminants et chez les porcs. Le contrôle de la contamination se fait dans les pays développés et beaucoup moins bien dans les autres pays. Les grains contaminés ne ré-

pondant pas aux normes peuvent être utilisés comme fourrage. La FAO<sup>10</sup> estime qu'en moyenne un quart de tous les grains dans le monde, est contaminé par les mycotoxines. Un rapport de l'AFSSA<sup>11</sup> faisait déjà état de ces observations en 2004 et notait les effets positifs de maïs OGM sur l'élevage de porcs. Ces avantages sont largement reconnus. Ces éléments contribuent à favoriser l'extension de cultures OGM dans le monde.

10. L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, ou FAO : Food and Agriculture Organisation, a été créée en octobre 1945.

11. AFSSA est l'Agence française pour la sécurité sanitaire des aliments. Elle fournit des rapports annuels.

## **Le riz doré, exemple d'OGM de deuxième génération**

Les recherches en cours s'orientent vers la production d'OGM, dits de deuxième génération, ayant des propriétés utiles à des consommateurs, et non plus d'abord aux agriculteurs. Elles sont lentes à se développer du fait des difficultés technologiques et des obstacles rencontrés dans les pays européens. En effet, on ne peut oublier qu'un champ d'essai de maïs OGM construit pour lutter contre la mucoviscidose a été détruit par des « volontaires » près de Clermont-Ferrand. Pourtant ces maïs ne produisaient plus de pollens (risque nul de dispersion de gènes) et avaient reçus toutes les autorisations des comités compétents. Les essais en cours, évidemment hors de France, visent à produire des anticorps, des anticorps monoclonaux, des antigènes à usage médical, des plantes permettant la détoxification des sols pollués, etc.

Le riz doré est un projet lancé par un chercheur suisse, Igo Potrikus, visant à augmenter par transgénèse la quantité de provitamine A dans le riz, lui donnant une couleur dorée. Cela permettrait de combattre les conséquences graves d'une insuffisance de vitamine A, allant jusqu'à conduire à la cécité chez des enfants mal nourris dans les pays asiatiques. Le projet est généreux et vise à donner (et non à vendre, ni à breveter) ces riz OGM aux pays demandeurs. Mais sa réalisation est longue et délicate. Le riz décortiqué ne contient pas de provitamine A, et le riz brun avec ses enveloppes en renferme 0,1 µg/g. Les riz OGM produits par Potrikus produisent 37µg/g de provitamine A. Le projet n'est pas loin d'aboutir. Les riz dorés seraient importants pour combattre un fléau actuel au cours des prochaines années. Espérons que ce fléau disparaîtra.

## Des éthiques divergentes et inconciliables

Pour comprendre les raisons de l'incompréhension, impossible à dépasser depuis plusieurs années, à propos des OGM, nous ferons l'hypothèse de points de vue éthiques divergents, souvent masqués, qui empêchent une saine discussion. Aux arguments scientifiques des uns s'oppose une argumentation pseudo-scientifique qui n'est qu'un paravent cachant une éthique différente.

**Les scientifiques défendent ce qu'on pourrait appeler une éthique de la connaissance.** J'entends par là les valeurs motivant l'activité de recherche de connaissances nouvelles. Nous avons parlé de science bafouée, de science déshonorée. Certes, il se trouve aussi une minorité de scientifiques de métier qui soutiennent les arguments de mouvements anti-OGM, mais leurs propos ne tiennent pas après confrontation. La science serait-elle aveugle ? Elle n'est pas figée. Elle est continuellement en devenir, confrontée à des incertitudes, lesquelles tracent le chemin de nouvelles investigations, réfutées ou non. Des publications peuvent montrer des résultats négatifs qui, lorsque les protocoles expérimentaux sont critiqués, conduisent à de nouveaux travaux qui permettent de corriger les premières conclusions. Le corpus des résultats sur un sujet donnent une conviction scientifique. Cette conviction n'évite pas de devoir conduire des vérifications dans le temps, car les aspects environnementaux impliquent mille facteurs dont certains ne sont décelables que dans la durée.

Globalement, les avis des hautes personnalités scientifiques devraient être mieux accueillis. Or, c'est le contraire qui se passe. Cette contradiction pose un véritable problème et donnent *a priori* l'impression d'une mauvaise foi, c'est-à-dire, d'une foi qui s'ignore ou qui n'ose pas s'affirmer. A chaque argument avancé selon des méthodes scientifiques, un contre-argument est apporté sans faire la synthèse nécessaire. Cette guerre d'arguments et de contre-arguments introduit évidemment le doute chez les personnes non vraiment impliquées dans les débats, ou dont les activités sont éloignées de la biologie génétique ou environnementale.

A cela s'ajoute l'intervention des médias, pour lesquels la vérité scientifique n'est pas le premier souci. Que bien des scien-

tifiques aient la conviction que les principes gouvernant l'activité scientifique soient bafoués dans le débat sur les OGM, c'est une évidence. Suivant l'esprit des Lumières, le désir de connaissances a pour corollaire le développement des applications<sup>12</sup>. Chez J. Monod, la connaissance a une valeur éthique: « La définition même de la connaissance 'vraie' repose en dernière analyse sur un postulat d'ordre éthique » dit-il dans *Le Hasard et la Nécessité*. On comprend alors que plusieurs des réactions de scientifiques à des actions destructrices d'OGM contiennent l'accusation d'obscurantisme.

Cette éthique de la connaissance peut paraître quelque peu hautaine, voire arrogante, et provoquer des réactions qui cachent une contestation du pouvoir de la rationalité scientifique sur les modes de vie. Pour Janicaud<sup>13</sup>, la rationalité est l'« objet d'une gigantesque captation au profit de la Puissance ». C'est là le cœur du problème: la puissance du rationnel est jugée arrogante. Il est parfois reproché aux généticiens, et plus généralement aux biologistes moléculaires, de négliger les questions environnementales. Ces arguments, valables un temps, ne le sont plus, mais resurgissent fréquemment.

La philosophe Isabelle Stengers, qui a participé au fiasco d'OGM en Belgique, pense que l'expertise est dominée par des « biologistes de laboratoire » (entendons, des biologistes moléculaires) qui n'ont pas d'expérience de l'environnement ni des « conséquences socio-économiques des innovations agricoles » et, reproche significatif, ce seraient ces biologistes « qui jugent que leurs 'réussites' biotechnologiques sont synonymes de progrès ». Le fond de la critique rejoint les thèses de Jacques Ellul, qui voit dans le développement inéluctable et aveugle de la rationalité scientifique une mise en cause des valeurs sociétales par une croyance non réfléchie en l'idée de progrès, dérivée des Lumières. Les protagonistes d'un progrès ininterrompu auraient perdu le sens de la vie.

Musil dans *L'homme sans qualités* (1930)<sup>14</sup> disait: « tout ce qu'il y a de décisif dans la vie se produit au-delà de l'intelligence rationnelle ». Cette phrase dit brièvement ce que bien d'autres pensent, distinguant la connaissance par la science de la connaissance de la vie. Les progrès spectaculaires de la biologie et de leurs applications dans le domaine de la santé atténuent ou

12. Comme le concevait déjà Descartes, cf. le contexte de la citation célèbre « devenir comme maître et possesseur de la nature » dans *Le Discours de la Méthode* (Gallimard, La Pléiade, p. 126).

13. JANICAUD, *La puissance du rationnel*, 1985, Gallimard.

14. Cité par AUDI, in *Supériorité de l'éthique*, Champs, Flammarion, 2007.

15. « La technologie supposée neutre a bouleversé dans un sens et non dans un autre la vie des paysans (...) La société de l'agriculture biologique n'est pas la société de l'agrobusiness, de la chimie, des OGM. Nous avons renoncé à faire progresser notre humanité, notre sensibilité, notre solidarité », site Internet de « Pièces et main d'œuvre », 2007.

16. H. JONAS, dans « Le principe responsabilité », p. 270, souligne que « Le paradoxe profond du pouvoir que procure le savoir (...) a conduit à quelque chose comme une 'domination' sur la nature (c'est-à-dire à son exploitation accrue) mais qu'en même temps il a conduit à la soumission la plus complète à lui-même. Le pouvoir s'est rendu maître de lui-même, alors que sa promesse a viré en menace et sa perspective de salut en apocalypse ».

17. La *deep ecology* (écologie profonde) fut promue dans les années 50 par A. LEOPOLD puis dans les années 70 par A. NAESS, ce dernier réclamant un « égalitarisme dans la biosphère » où tous les vivants ont leur propre valeur intrinsèque et ont des droits similaires pour vivre et se développer.

rendent inopérantes ces critiques. Mais elles ressurgissent quand il s'agit de la nature, en particulier avec les OGM. Les arguments ne sont pas sans intérêt et relèvent d'une posture anti-techniciste qui pose la question des choix de civilisation en rapport avec le développement économique des pays.

**L'opposition aux OGM dans le courant d'une éthique civilisationnelle ou sociétale.** Les critiques formulées contre les techno-sciences trouvent un terrain favorable avec les OGM. Ceux-ci ne dépendent plus de choix individuels, mais constituent pour certains opposants un assujettissement de l'ensemble de la nature à la technologie. Les réactions ne sont pas contre les techniques en soi (le tracteur, le téléphone portable, l'ordinateur, etc.), mais contre la technologie généralisée qui prend possession de la nature et échappe aux choix individuels. En faisant de la nature une chose, on met en péril notre humanité, comme l'affirment certains<sup>15</sup>. Les OGM sont alors un instrument de domination<sup>16</sup>.

L'opposition aux OGM est cohérente avec la défense d'un mode de civilisation. La critique n'est plus seulement négative, elle soutient un humanisme traditionnel qui veut se protéger de la réification du monde par la technique. Le but inavoué est le retour à un monde pré-moderne de la tradition, contre les industriels de l'agriculture, contre la « big-science » aveugle et dominatrice, contre la prétention des scientifiques à infiltrer le monde, à « désenchanter » le monde. Les valeurs défendues forment le corps d'une tendance inscrite dans une éthique civilisationnelle ou sociétale. Les OGM cristallisent l'idée d'une nature attaquée et l'idée que notre civilisation et notre humanité sont mises en péril par les techno-sciences.

**Une éthique intransigeante de la nature.** Pour beaucoup, les OGM sont un risque pour la nature végétale qui constitue notre environnement premier. Cet argument a une force considérable parce qu'il rejoint les thèmes romantiques de la nature sauvage, bonne, apaisante, source de nos vies par les aliments et par l'intime communion avec notre être. Le sentiment de nos liens étroits entre la nature et nous, qui sommes les produits de l'évolution, nous amène à donner une valeur existentielle à la nature. La *deep ecology* va loin dans cette direction<sup>17</sup>. Accorder une valeur morale à l'idée de défense de la nature n'est pas sim-

ple<sup>18</sup>. Surtout pour une nature dont la destruction est inscrite hypothétiquement dans le futur.

Hans Jonas a apporté une contribution majeure avec l'édition du « Principe Responsabilité » paru en 1979<sup>19</sup>. Il a posé une question et apporté une réponse : « La terre nouvelle de la pratique collective, dans laquelle nous sommes entrés avec la technologie de pointe, est encore une terre vierge de la théorie éthique. Dans ce vide... qu'est-ce qui peut servir de boussole ? L'anticipation de la menace elle-même ! C'est seulement dans les premières lueurs de son orage qui nous vient du futur... que peuvent être découverts les principes éthiques... Cela je l'appelle 'heuristique de la peur' ». Ainsi, c'est la prise en considération du futur qui conduit l'action aujourd'hui.

Cet argument éthique a un succès considérable, mais on en perçoit la faiblesse : nous ne sommes pas certains du futur et nos décisions basées sur la peur, peuvent être guidées par des raisons plus ou moins obscures. Mais Jonas donnera un élan considérable aux mouvements écologiques et plus largement il contribuera au réveil de la société sur les questions environnementales. Pour beaucoup, la peur du devenir deviendra le fondement d'une opposition aux OGM. Il est facile pour l'individu de donner à la nature une valeur sacrée, d'en faire un bien intangible, sans rapport avec une idée religieuse, conduisant à une sorte de communion entre la nature et l'homme. Ceci n'est pas démontrable et ne relève pas de la science. Cela relève de la vie, ce qui justement est évacué par les scientifiques qui n'étudient pas la vie<sup>20</sup>.

Notons que l'argument du sacré de la nature n'est pas un argument présentable devant les scientifiques. Encore moins aujourd'hui alors que se met en place une « biologie synthétique », qui cherche à recréer du vivant artificiel. La seule façon de s'en sortir pour les opposants, c'est de contester continuellement les expériences scientifiques par la surévaluation de publications qui introduisent une incertitude. Ceci évite d'entrer dans une démarche scientifique, laquelle ne formule de conclusion qu'après « falsification », c'est-à-dire la mise à l'épreuve des résultats. Mais aux yeux du public, ou même d'hommes politiques, qui ne peuvent faire la différence entre une vraie démarche scientifique et les scories de la science, l'argument des opposants fonctionne,

18. Cf. R. OGIEN, *L'éthique aujourd'hui*, Folio, 2007. Il défend un point de vue minimaliste, reprise du philosophe J. S. Mill pour qui l'éthique se borne à éviter de nuire à autrui.

19. H. JONAS, *Le principe responsabilité*, Champs Flammarion, trad. fr. 1990, Cerf, Préface, p. 16.

20. Comme l'a rappelé François JACOB, dans *La logique du vivant* (Gallimard, 1970), « On n'interroge plus la vie aujourd'hui dans les laboratoires ».

d'autant plus que les médias leur donnent une place privilégiée. Il devient alors inutile de chercher à convaincre, parce que le débat est faussé par les non-dits.

Ajoutons que l'éthique de la connaissance qui fonde les propos des scientifiques n'est possible qu'à partir de la subjectivité humaine. Elle est nécessairement anthropocentrique. Elle est parfaitement cohérente avec l'idée cartésienne de maîtrise de la nature, en accord avec les pouvoirs donnés par Dieu à l'homme dans la Genèse<sup>21</sup>. A l'opposé, se développe une éthique de la nature dont l'homme n'est qu'un élément égal aux autres. Il y a un déplacement considérable qui a de nombreuses conséquences, clairement énoncées par les tenants d'une écologie profonde. L'une d'elle est la nécessaire limitation de l'espèce humaine sur la terre (mais comment?). Une autre est la critique de l'humanisme qui est par essence anthropocentrique. Comme le rappelle Luc Ferry<sup>22</sup>, des sympathies de l'écologie profonde avec les totalitarismes ont existé. Certains des opposants aux OGM se sont manifestés par la violence (les faucheurs volontaires). N'est-ce pas l'aveu que la raison est insuffisante et que des comportements anti-démocratiques sont latents ?

21. Cf. Gn 1,26 : « Dieu dit : faisons l'homme à notre image, comme notre ressemblance, et qu'ils dominent sur les poissons des mers, les oiseaux du ciel, les bestiaux... »

22. Luc FERRY, *Le nouvel ordre écologique*, Grasset, 1992.

Ainsi, je fais l'hypothèse que l'opposition aux OGM résulte de l'alliance de deux courants convergents : le premier caractérisé par la sacralité a-religieuse de la nature et le deuxième caractérisé par l'opposition à l'arraisonnement de la nature par la « big science » (techno-sciences). Chacun de ces courants ne peut publiquement s'énoncer, car les racines philosophiques sont complexes et ne relèvent pas du langage de la science. L'idée de sacré rencontrerait l'opposition des descendants des Lumières et l'idée anti-technicienne rencontrerait l'opposition des bénéficiaires des nouvelles technologies. Par contre, les deux courants se conjuguent sur l'idée de nature de façon synergique.

L'idée de nature est complexe, ancestrale, sensible, elle est le refuge des idéologies perdues qui chantaient l'avenir de l'homme : l'écologie a progressé en même temps que le marxisme a régressé et elle a maintenant pris le front de la scène idéologique. Cette opposition à la technique envahissant la nature est amplifiée par des arguments cumulatifs touchant à l'économie, manifestant le désir d'un retour vers « la tradition ».

## **En conclusion**

1. L'analyse des publications scientifiques très nombreuses concernant les problèmes soulevés à propos des OGM (dont les conséquences sur l'environnement ou sur l'alimentation) ne permettent pas de tirer des conclusions négatives conduisant à l'arrêt de cette nouvelle technologie. Les publications citées par les opposants, et amplifiées par les médias, de même que celles mises en avant par le Grenelle de l'environnement, ne résistent pas à une critique objective. Mais cette conclusion qui justifie les propos des meilleurs scientifiques choqués par les oppositions irrationnelles, doit être complétée par une vigilance expérimentale sur les effets des OGM au cas par cas, afin de ne pas répéter les erreurs du passé qui ont suivi l'adoption trop rapide de nouvelles technologies pour l'agriculture (le DDT en est un exemple). En particulier, les problèmes de dissémination des transgènes conduisant à la résistance à un herbicide, sont à surveiller régulièrement.

2. Les questions soulevées à propos des OGM font état de convictions fondées sur des éthiques non conciliables. Les uns défendent une éthique de la connaissance, les autres une éthique de la nature, anti-techniciste appelant à un retour vers une tradition, caractérisée par un « retour à la terre ». Pour ces raisons, il est vain de vouloir résoudre la question des OGM par une approche purement scientifique. Par contre, il serait nécessaire d'éclairer les opinions en ouvrant les débats sur les véritables choix éthiques qui sont proposés et sur leurs conséquences.

**Régis MACHE**