

La liaison entre les gènes et le crossing-over

Voici une situation expérimentale :

On croise des lignées pures de drosophiles (P) :

- Sauvage : corps gris (G) et ailes longues (L)
- Mutée : corps noir (n) et ailes vestigiales (v)

En F1 : on a 100% d'individus à corps gris et ailes longues.

Croisement :

Génotype parents : GG LL x nn vv

Gamètes parents :

Génotype F1 :

On fait ensuite un croisement test. On croise des hybrides mâles de F1 avec une lignée pure de drosophiles femelles corps noir et ailes vestigiales.

Résultats attendus :

		Hybride mâle F1 Gn Lv	Gamètes			
			GL	Gv	nL	nv
Gamètes	Lignée pure femelle nn vv		25% GnLv	25% Gnvv	25% nnLv	25% nnvv
	nv					

Or dans la réalité, on obtient 50% de mouches à corps gris et ailes longues et 50% de mouches noirs et ailes vestigiales.

Comment pouvez-vous expliquer cela ?

.....

Quelle loi de Mendel n'est pas respectée ?

.....

Pourquoi ?

.....

Résultats réels :

Lignée pure femelle nn vv		Hybride mâle F1 Gn Lv		Gamètes	
				GL	nv
Gamètes	nv			50% GnLv	50% nn vv

Le crossing-over

Reprenons l'exemple précédent.

On croise ici une femelle F1 et un male corps noir et ailes vestigiales.

Résultats du croisement :

Lignée pure mâle nnvv		Hybride Femelle F1 GnLv		Gamètes			
				GL	Gv	nL	nv
Gamètes	nv			GnLv 41.5 %	Gnvv 8.5 %	nnLv 8.5 %	nnvv 41.5 %

Dans le cas où l'hybride est un male, on ne retrouve pas les recombinants, les gènes sont 100% liés (taux de recombinaison = 0).

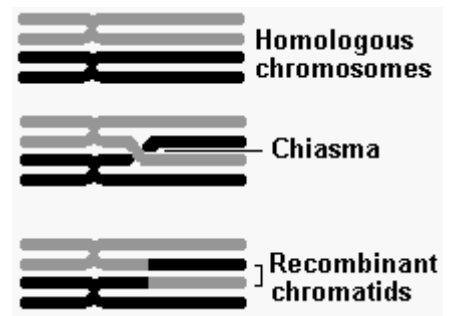
Dans le cas où l'hybride est une femelle, il y a une liaison partielle entre les gènes.

La liaison entre les deux allèles (gris-ailes longues) ou (noir-ailes vestigiales) n'est vérifiée que dans 83% des cas. Et dans 17% des cas, il y a eu **recombinaison** des allèles.

On dit alors que le **taux de recombinaison** est de 17%.

Interprétation cytologique :

Lors de la formation des gamètes, les chromosomes homologues peuvent se croiser l'un sur l'autre et effectuer un « échange » de segments situés après le chiasma (zone de croisement). Ce phénomène d'enjambement suit pas un échange c'est le **crossing-over**.



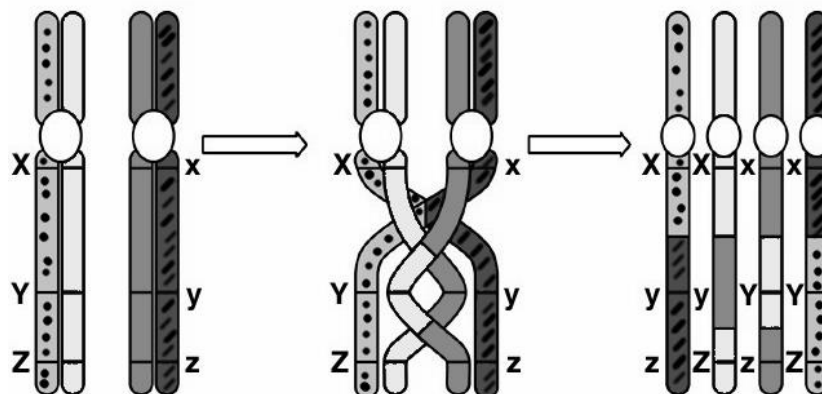
Les cartes génétiques

Une **carte génétique** est un alignement linéaire des gènes sur un chromosome, basé sur les fréquences de recombinaison.

L'unité de distance utilisée en cartographie génétique est le centimorgan (cM) en honneur de Thomas Hunt Morgan. Donc 1% de recombinaison correspond à 1 centimorgan.

Dans l'exemple précédent, le pourcentage de recombinaison était de 17% pour les gènes (corps noirs et ailes vestigiales) donc ces 2 gènes sont éloignés de 17 centimorgan.

Remarque : si les gènes sont très éloignés les uns des autres il peut se produire des doubles crossing-over. Donc dans ce cas les pourcentages de recombinaison sont inférieurs à ceux que l'on obtiendrait s'il y avait eu un seul crossing-over. La distance entre les gènes est donc sous-évaluée. C'est l'étude d'un 3^{ème} caractère qui permettra de rétablir la distance.



Comparaison entre cartes physique et génétique

Diverses expériences de génétique ont permis de déterminer la distance génétique de nombreux marqueurs, chez des organismes modèles. Les programmes de séquençage systématique ont ensuite permis de comparer la distance physique (nombre de bases) et la distance génétique (fréquence de recombinaison) qui reflète l'activité des mécanismes de recombinaison.

Correspondance entre distance physique et génétique chez différents organismes.

Organisme	Nombre moyen de Kbp par cM
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	10
<i>Arabidopsis thaliana</i>	162
<i>Oriza sativa</i>	270
<i>Drosophila melanogaster</i>	640
<i>Homo sapiens</i>	1000
femme	880
homme	1 050

L'examen du tableau montre que, si dans un organisme donné la valeur d'un centimorgan est à peu près constante, elle est très différente d'un organisme à un autre. Elle est fonction de l'activité de recombinaison de cet organisme. On peut remarquer que dans l'espèce humaine la recombinaison est plus active chez la femme que chez l'homme ce qui entraîne pour un même chromosome des tailles différentes en cM, mais pas en Mbp.

Dans un même organisme si les marqueurs sont dans le même ordre sur les deux cartes, les distances ne sont pas toujours exactement proportionnelles.

Sur la figure 2 on peut vérifier qu'entre les marqueurs 06455, pCITd104 et g3088 on trouve respectivement 214Kbp et 285 Kbp alors que sur la carte génétique ces 3 points sont confondus (aucune recombinaison observée). Inversement, les marqueurs m518 et BIO206 qui sont éloignés de 142,8Kbp sont génétiquement distants de 5,2 cM. Il y a donc d'importantes variations locales, des points où le génome présente plus d'événements de recombinaison (condensation de l'ADN, séquence particulière, ... ?).

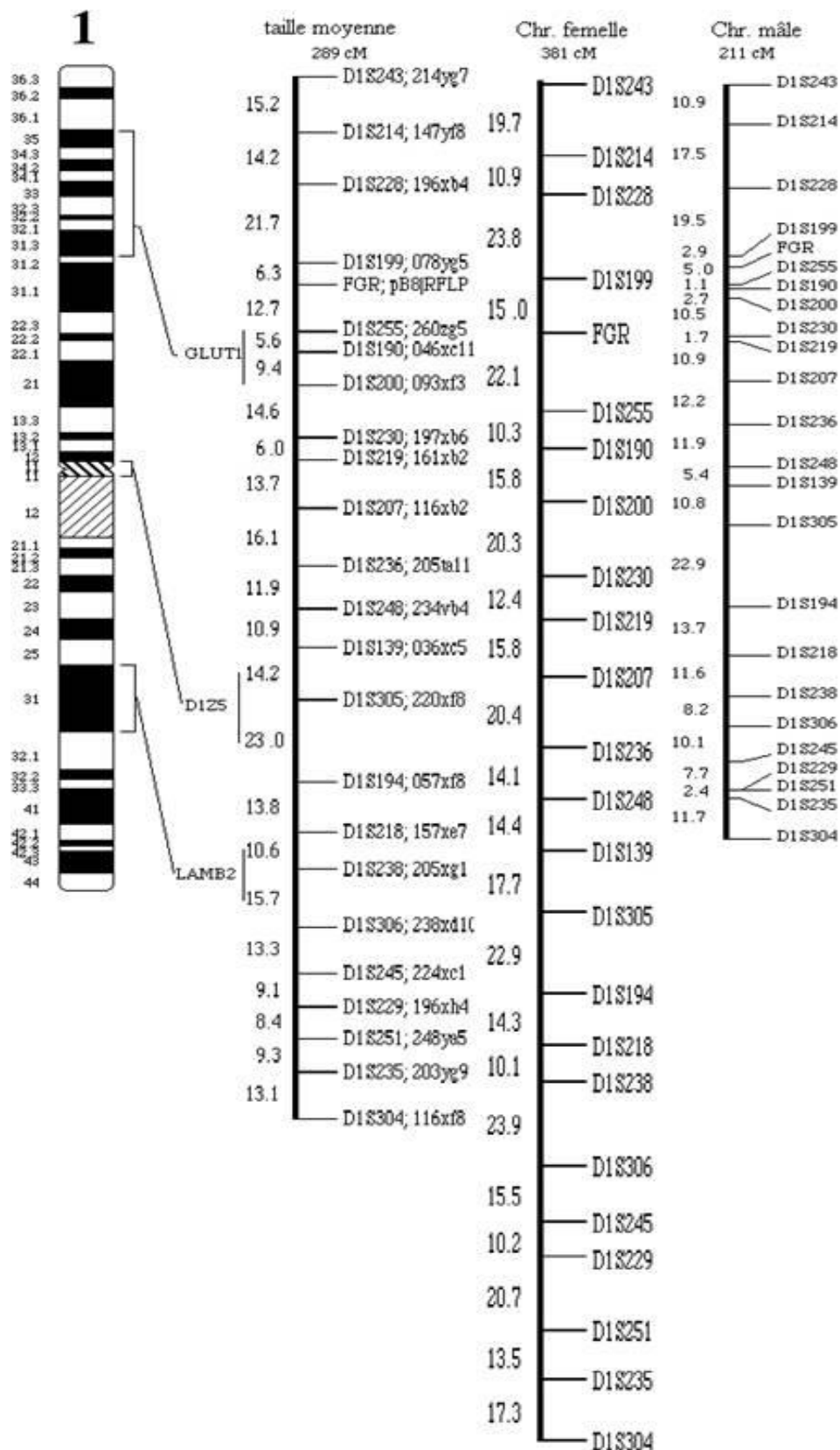


Figure 1. Le chromosome 1 humain représenté à la même échelle chez mâle et femelle.

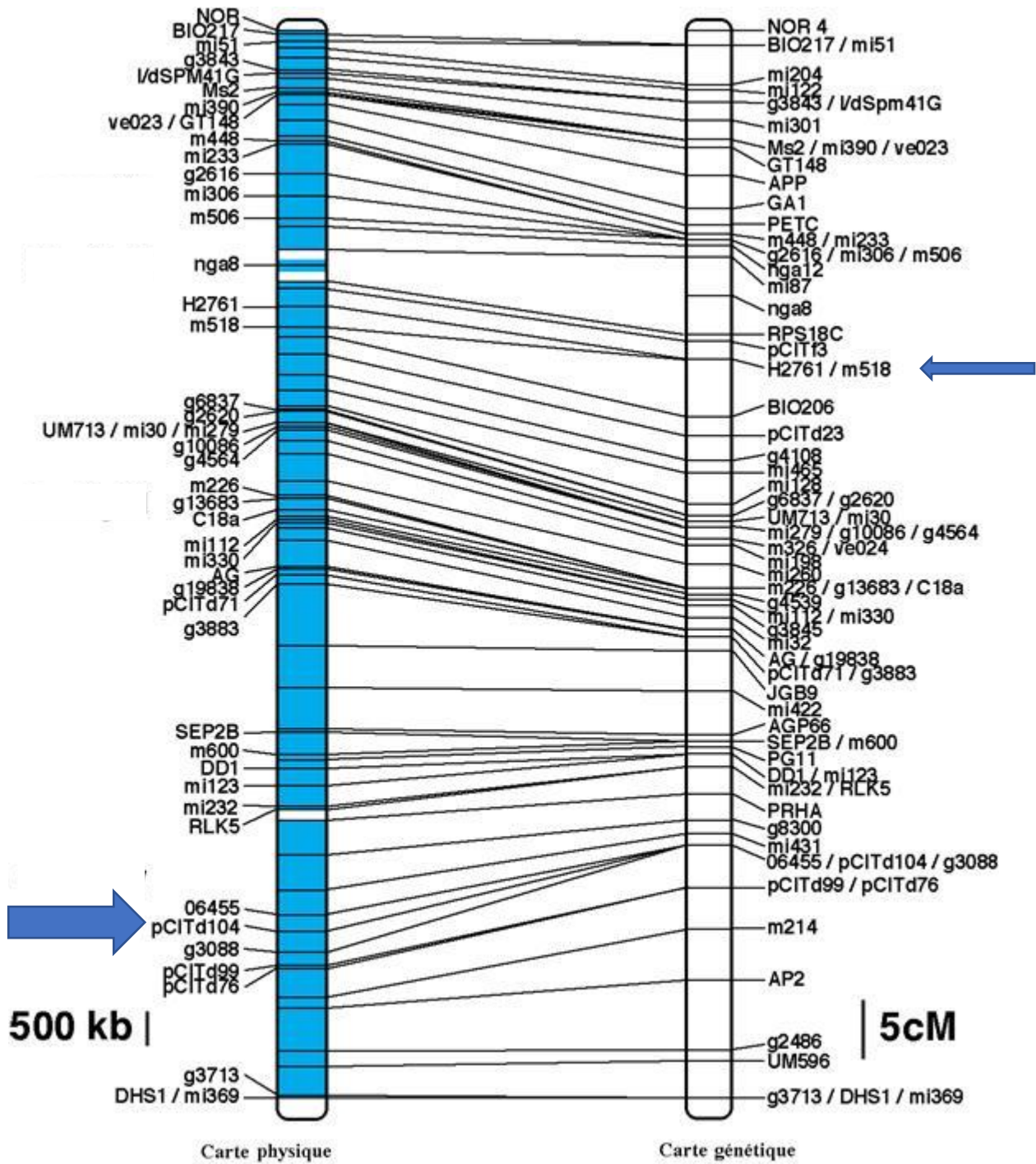


Figure 2. Chromosome 4 humain.

Exercices gènes liés et cartes génétiques

1. Dans une région au climat propice, on cultive deux variétés de tomate : l'une « A », à gros fruits, l'autre « B », à petits fruits. Les plants « A » se sont relevés sensibles à un champignon parasite, le *Fusarium*, qui entraîne une baisse importante de production. En revanche, les plants de la variété « B » sont résistants à ce champignon.

On demande à des agronomes de créer une nouvelle variété de plants de tomates donnant des gros fruits et résistants au *Fusarium*. Ils réalisent une série de croisements entre les deux variétés de plants de tomates « A » et « B ». À la première génération (F1) ils obtiennent seulement des plants de tomates résistants au *Fusarium* et qui produisent des petits fruits.

Les chercheurs réalisent alors un autre croisement d'individus de la génération F1 avec des plants de la variété « A ». Ils obtiennent dans ces conditions à la deuxième génération les résultats suivants pour 1000 plants

- 403 plants à petits fruits et résistants au *Fusarium*.
- 98 plants à petits fruits et sensibles au *Fusarium*.
- 99 plants à gros fruits et résistants au *Fusarium*.
- 400 plants à gros fruits et sensibles au *Fusarium*.

a. Détermine le génotype de la variété de tomate recherchée (gros fruits et résistants au *Fusarium*) et explique quels mécanismes génétiques ont permis de l'obtenir (échiquier de croisement attendu).

b. Si un agriculteur croise entre eux deux plants à gros fruits et résistants au *Fusarium* (issus du précédent croisement) tous les descendants auront-ils le même phénotype ? Explique.

2. Chez la drosophile, on connaît 3 gènes situés sur un même chromosome dans l'ordre suivant : lz^+ , v^+ , m^+ . Les allèles mutés récessifs donnent un oeil ovoïde (lz), un oeil vermillon (v) et des ailes miniatures (m).

Sur base des résultats des croisements ci-après, établissez la carte génétique (arrondir tous les résultats en ne conservant qu'un seul chiffre significatif après la virgule).

Génotypes des parents	Fréquence des phénotypes chez les descendants du croisement			
♀ $lz^+ lz v^+ v$ X ♂ $lz lz v v$	$lz^+ lz v^+ v$: 80	$lz lz v v$: 81	$lz^+ lz v v$: 5	$lz lz v^+ v$: 4
♀ $v^+ v m^+ m$ X ♂ $v v m m$	$v^+ v m^+ m$: 90	$v v m m$: 96	$v^+ v m m$: 3	$v v m^+ m$: 3
♀ $lz^+ lz m^+ m$ X ♂ $lz lz m m$	$lz^+ lz m^+ m$: 81	$lz lz m m$: 78	$lz^+ lz m m$: 8	$lz lz m^+ m$: 6

Remarque : dans les croisements entre drosophiles, l'individu testeur est généralement un mâle car l'expérience a montré qu'il n'y a jamais de crossing-over lors de la méiose chez les drosophiles mâles.

3. Chez la tomate, les paires alléliques suivantes sont situées sur le chromosome 5 dans l'ordre suivant : F A Hi. L'allèle F donne des tomates rondes, alors qu'avec l'allèle f, les tomates sont fasciées ; l'allèle A donne des tiges pourpres, l'allèle a des tiges vertes ; l'allèle Hi donne des tiges poilues, l'allèle hi des tiges sans poils. Divers croisements tests ont été réalisés et ont donné les résultats suivants :

a) Plants de tomates rondes à tiges pourpres X plants de tomates fasciées à tiges vertes :

- 48 plants de tomates rondes à tiges pourpres ;
- 49 plants de tomates fasciées à tiges vertes ;
- 13 plants de tomates rondes à tiges vertes ;
- 16 plants de tomates fasciées à tiges pourpres.

b) Plants de tomates à tiges pourpres et poilues X plants de tomates à tiges vertes et non poilues :

- 70 plants de tomates à tiges pourpres non poilues ;
- 76 plants de tomates à tiges vertes poilues ;
- 17 plants de tomates à tiges vertes non poilues ;
- 15 plants de tomates à tiges pourpres poilues.

c) Plants de tomates rondes à tiges poilues X plant de tomates fasciées à tiges non poilues :

- 63 plants de tomates rondes à tiges poilues ;
- 60 plants de tomates fasciées à tiges non poilues ;
- 38 plants de tomates rondes à tiges non poilues ;
- 34 plants de tomates fasciées à tiges poilues.

Sur base de ces résultats, établissez la carte génétique de la région chromosomique concernée.

Arrondir tous les résultats en ne conservant qu'un seul chiffre significatif après la virgule.