

BILAN 8 - LE BRASSAGE GENETIQUE ET SA CONTRIBUTION A LA DIVERSITE GENETIQUE

La méiose et la fécondation sont les deux étapes fondamentales de la reproduction sexuée. Elles assurent le **maintien du nombre de chromosomes (=caryotype)** au cours des générations successives et la **diversité des individus** d'une espèce.

Cette diversité résulte de **plusieurs facteurs génétiques et non génétiques**, (comme nous le montrerons au cours des TP qui suivent). Nous savons déjà (voir 1S) que les **mutations** aléatoires des séquences nucléotidiques de l'ADN, sont à l'origine de la diversité des allèles (ou **polymorphisme** des gènes).

La méiose intervient à chaque génération, en **brassant les allèles** des individus lors de la fabrication des gamètes. De cette façon, chaque gamète possède une **combinaison unique d'allèles**. La fécondation en permettant la **fusion de gamètes** variés, **accroît encore la diversité des individus**. Les individus d'une espèce partagent le **même caryotype** mais une **combinaison unique d'allèles -le génotype-** et par conséquent des **phénotypes** très variés.

La méiose et la fécondation constituent **un des rouages essentiels de la diversité génétique des espèces**.

I- LA MEIOSE A L'ORIGINE D'UN BRASSAGE GENETIQUE IMPORTANT

Au cours de la première division de méiose, se produisent **deux mécanismes** à l'origine de la grande diversité des gamètes produits :

Les crossing over en prophase I; la séparation des chromosomes homologues en anaphase I.

A l'issue de la 2^{ème} division de méiose, chaque **cellule germinale haploïde** -spermatozoïde ou ovocyte- ne possède plus que l'un ou l'autre des 2 allèles parentaux de chaque gène. Il y a donc eu **disjonction des allèles** parentaux (= ségrégation).

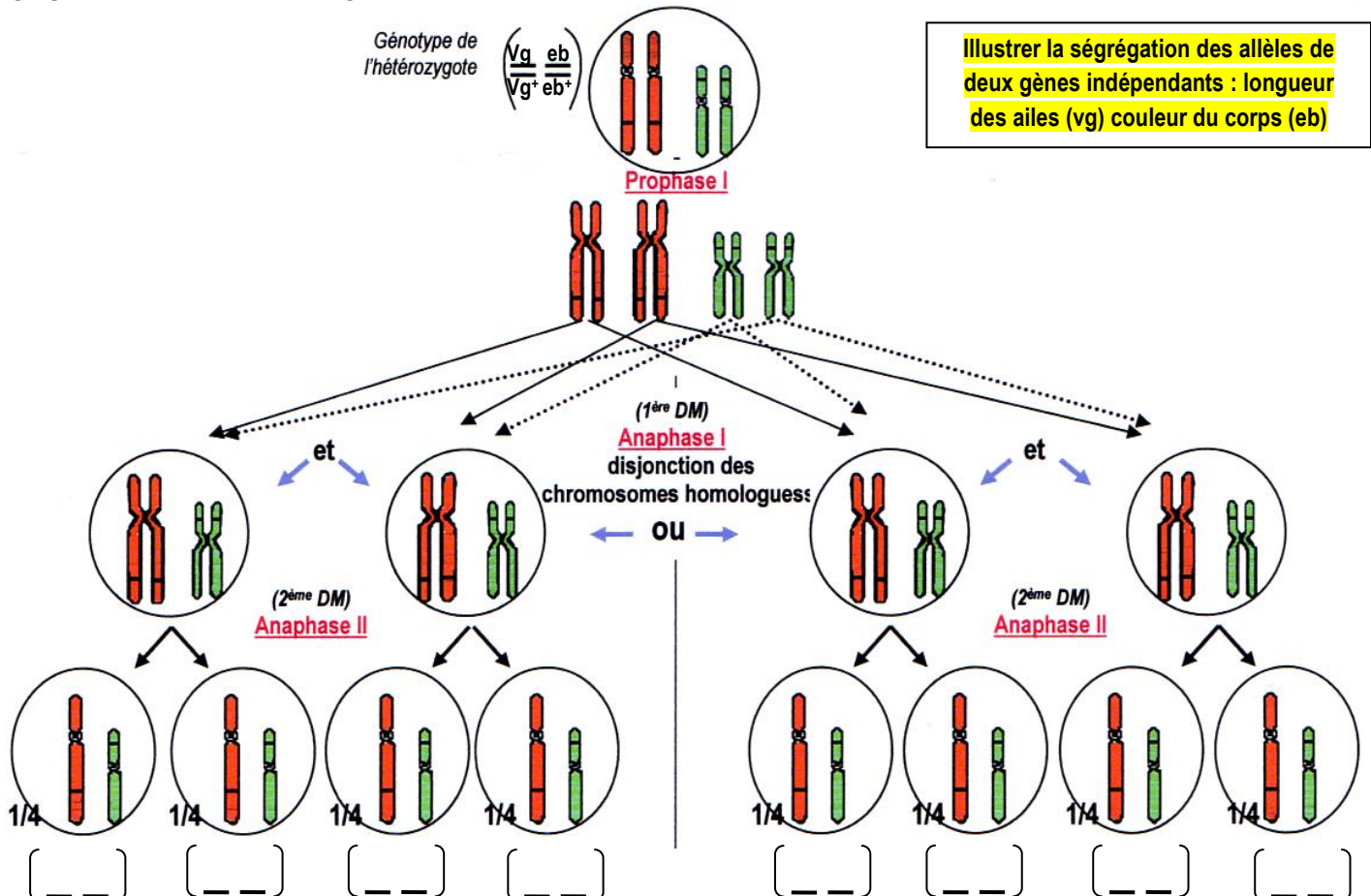
Pour chaque gène hétérozygote¹ (présence de deux allèles différents dans la cellule souche des gamètes), il y a production de gamètes différents.

Remarque1- Chez l'homme le taux moyen d'hétérozygotie est environ de 70% ce qui représente de nombreuses possibilités de brassage

1- Le brassage interchromosomique

Lors de la méiose, la séparation des chromosomes homologues de part et d'autre du plan équatorial se fait au hasard. De ce fait, en **Anaphase I**, chaque cellule fille reçoit **aléatoirement l'un ou l'autre** chromosome de chaque paire d'homologues. On dit qu'il y a **séparation-ségrégation- aléatoire des couples d'allèles** portés par les chromosomes homologues. (**Exemple à illustrer ci-dessous**)

Ségrégation des allèles de deux gènes indépendants



Lorsque 2 gènes sont indépendants, l'hétérozygote produit toujours **4 types de gamètes équiprobables**: autant de gamètes avec les associations alléliques parentales qu'avec de nouvelles associations (gamètes recombinés).

Cette distribution aléatoire des chromosomes et des allèles qu'ils portent dans les cellules filles, est le **brassage interchromosomique**, il est à l'origine des **nouvelles associations d'allèles** donc de la **diversité des gamètes**.

Plus le nombre de chromosomes d'une cellule est élevé, plus ce brassage est important :

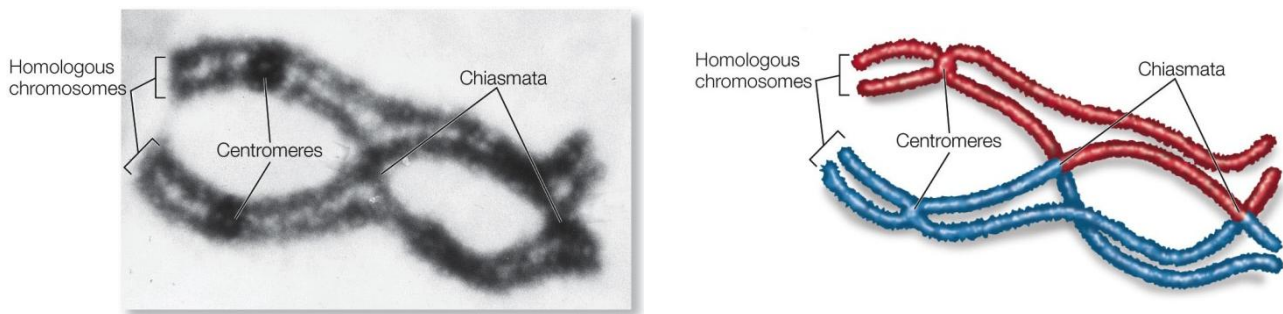
- Pour une cellule souche de gamètes à **2n paires** de chromosomes, **2ⁿ** associations différentes de chromosomes sont possibles.
- Chez l'Homme, il existe **2²³** = plus de **8 millions de combinaisons différentes**, soit **8 millions de gamètes différents**, en tenant compte uniquement du brassage interchromosomique.

Ce nombre est en effet **très sous-estimé** car à chaque méiose chez un individu, le brassage interchromosomique intervient sur des chromosomes homologues **déjà remaniés par le brassage intrachromosomique**.

2- Des remaniements **intrachromosomiques**

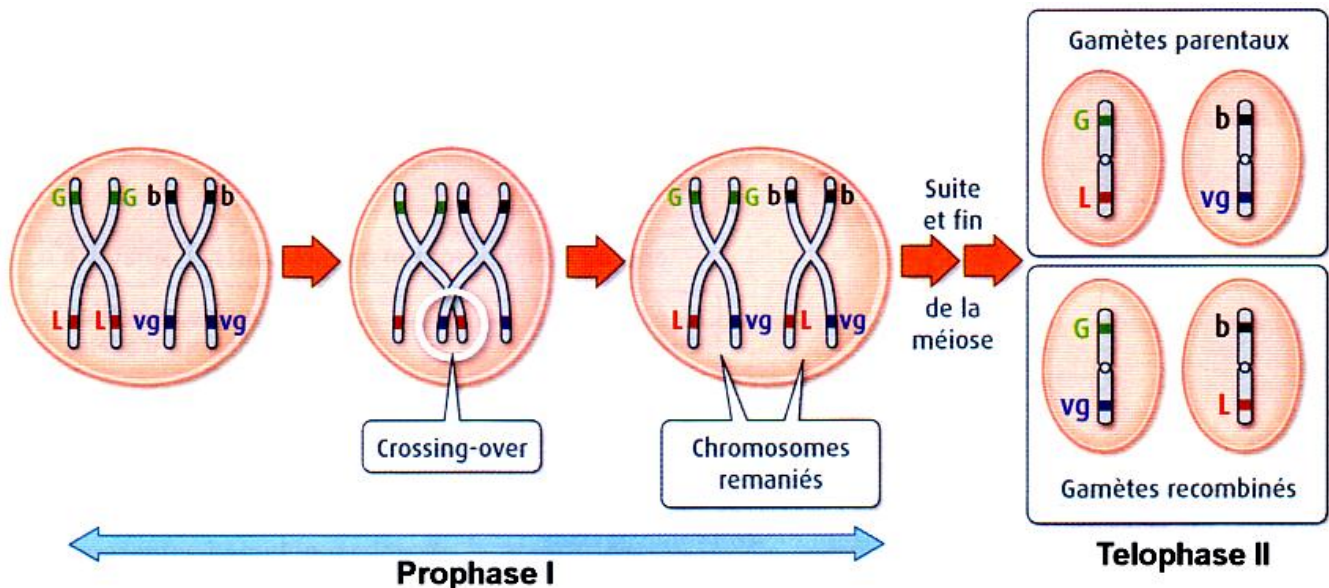
Le **brassage intrachromosomique** entraîne la **séparation des allèles portés par les mêmes chromosomes**, il ne concerne donc que les **gènes liés**.

.Dans les cellules en **prophase I** de méiose, on observe les **chromosomes homologues étroitement appariés en tétrades** de chromatides: **leurs** chromatides s'enchevêtrent et forment des figures appelées **chiasmata**.



UNE TETRADE (photographie et interprétation)

Des échanges de **portion de chromatides** -et donc **d'allèles-** peuvent se produire à chaque méiose, entre les chromosomes homologues au niveau des **chiasmata** : c'est le phénomène du **crossing over**. Les chromatides **sœurs remaniées** sont dites **recombinées**.

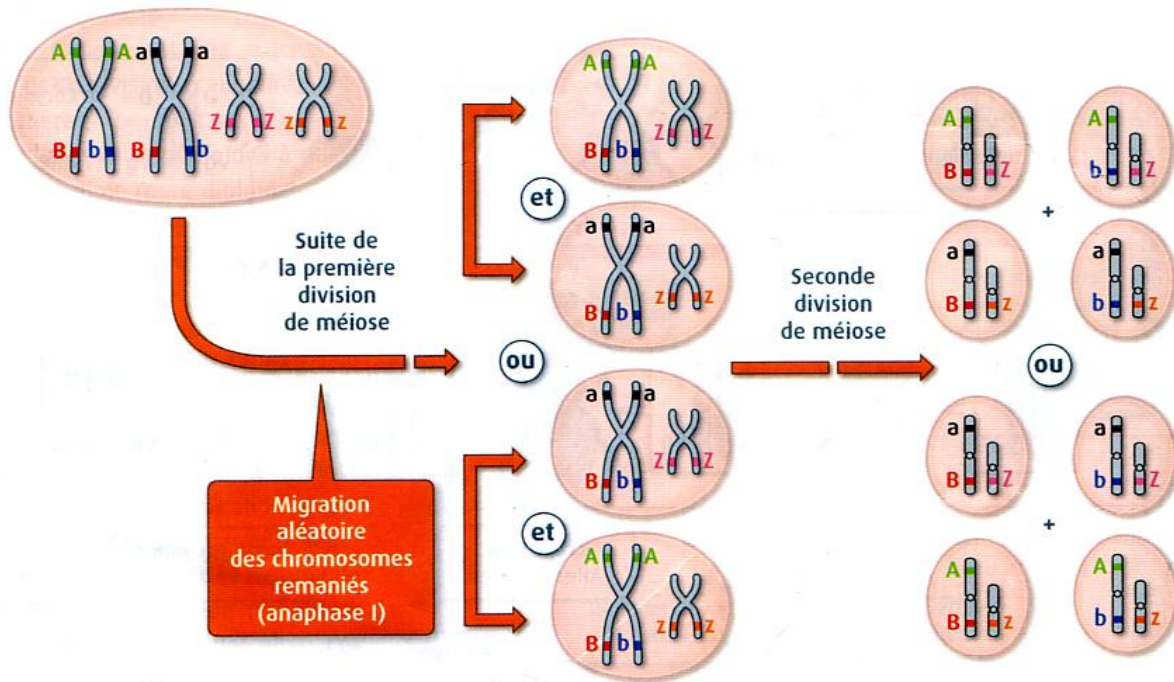


LE CROSSING OVER A L'ORIGINE DE RECOMBINAISONS GENETIQUES (Belin 2011):

Le brassage intrachromosomique entre **deux gènes liés** est d'autant plus **fréquent** que leur locus (position des gènes sur le chromosome) **sont éloignés** l'un de l'autre (et inversement). Les allèles de deux gènes liés ne sont donc pas systématiquement séparés à la méiose, mais c'est un phénomène assez constant.

*Remarque : Une **exception bien connue, la drosophile mâle ne présente jamais de crossing over lors de la spermatogenèse** -fabrication des spermatozoïdes-. Dans ce cas l'étude de la ségrégation de deux gènes liés au cours de la méiose montre que le mâle ne peut produire que deux types gamètes : les gamètes non recombinés, contrairement aux femelles qui produisent des gamètes de type parental et de type recombiné) Dans un exercice, les drosophiles de F1 pour les croisements tests sont donc – sauf précision contraire-des femelles.*

Le brassage intrachromosomique s'ajoute au brassage interchromosomique et amplifie considérablement le brassage génétique. En effet, les crossing-over sont susceptibles d'intervenir à des endroits différents à chaque méiose. Pour chaque individu il existe donc une quasi-infinité de gamètes possibles.



LES BRASSAGES INTRA ET INTERCHROMOSOMIQUE A L'ORIGINE DE LA DIVERSITE DES GAMETES. (Belin 2011)

II- LA FECONDATION AMPLIFIE LE BRASSAGE GENETIQUE

La fécondation permet le **passage de l'haploïdie à la diploïdie**. Réalisée par la fusion de deux cellules parentales haploïdes, ou **caryogamie**, elle s'achève par la **fusion des noyaux** haploïdes des gamètes mâle et femelle. Le **zygote** ou cellule œuf à **2n chromosomes** qui en est issu, entre immédiatement en mitoses pour donner, ces divisions cellulaires achevées, l'**embryon**.

Sur le plan génétique, la fécondation réunit au hasard des gamètes dont la diversité des associations alléliques est aussi importante chez le mâle que chez la femelle. (La fécondation et ses résultats sont représentés par un tableau –ou échiquier- de croisement).

Si on s'intéresse à la **totalité des gènes**, il est pratiquement impossible de calculer la probabilité pour que deux individus puissent engendrer une cellule œuf de génotype donné. **Chaque zygote possède une combinaison d'allèles inédite**, ce qui participe à la diversité des individus au sein d'une espèce.

III- PRINCIPE D'ANALYSE DES CROISEMENTS EXPERIMENTAUX (apprendre les principes illustrés pas les schémas)

L'analyse des croisements expérimentaux et en particulier **du croisement test**, permet de rechercher les mécanismes chromosomiques du brassage génétique en jeu dans chaque cas étudié.

1- Intérêt du croisement test:

Croisement entre un individu de **phénotype récessif** et un individu de **phénotype dominant**, il permet d'attribuer aux gamètes de ce dernier, la réalisation des **phénotypes** observés dans la descendance. Il en découle que la **fréquence d'apparition des phénotypes dans la descendance du croisement test (F'2) traduit fidèlement la fréquence des différents types de gamètes produits par l'individu de F1**.

De ce fait, **l'analyse du croisement test** permet entre autres de connaître :

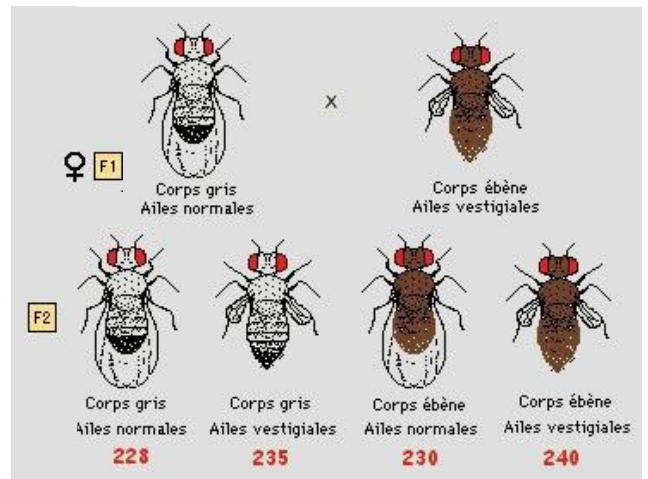
- ➔ Les types de gamètes produits par l'hybride et leur fréquence.
- ➔ La localisation des gènes (si l'on considère la transmission de deux gènes au moins). **Deux hypothèses sont envisageables** :
 - soit les deux **gènes sont indépendants**, c'est-à-dire portés par des **paires différentes** de chromosomes
 - soit les deux **gènes sont liés**, c'est-à-dire portés par la **même paire** de chromosomes

2-Interprétation du croisement test:

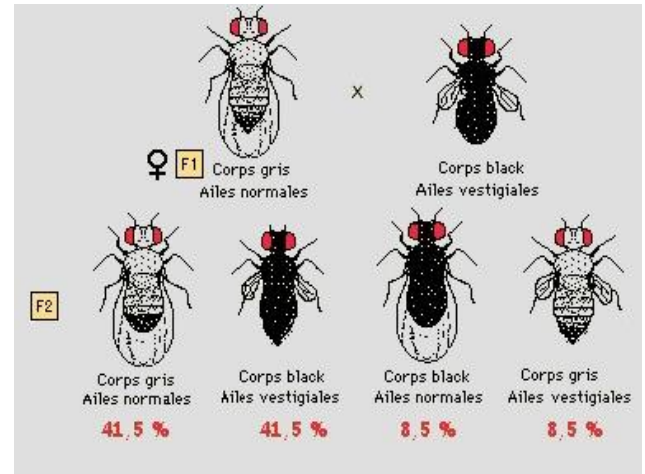
Les résultats obtenus sont des **résultats statistiques** issus de la **compilation d'un grand nombre de croisements** :

➔ Des phénotypes de **même fréquence** pour la descendance d'un croisement test, prouvent que l'individu de F1 produit **4 types de gamètes en quantités égales** (types parentaux et types recombinés). On peut en déduire qu'il y a eu **séparation aléatoire des allèles** lors de la méiose, les gènes sont donc nécessairement indépendants (=situés sur des chromosomes différents).

Des résultats qui illustrent le brassage interchromosomique



➔ Lorsque la fréquence des phénotypes dans un croisement test, est plus élevée pour **les parentaux** que pour **les phénotypes recombinés**, c'est la preuve que **les allèles parentaux ont eu tendance à rester associés**, mais que des crossing over les ont séparés dans certaines méioses : **les gènes sont donc liés**.



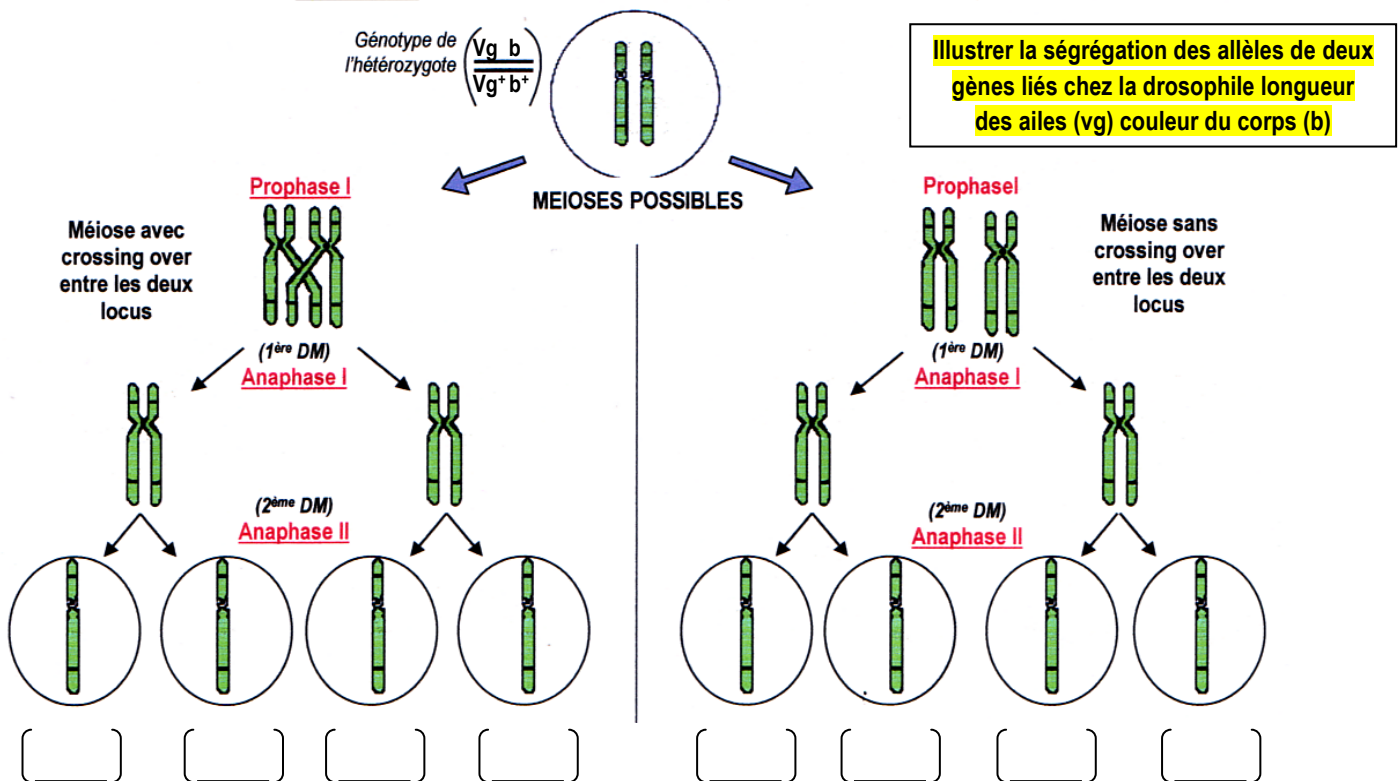
Les crossing over n'ont pas systématiquement lieu entre les locus de deux gènes liés : plus les gènes sont proches sur le chromosome, mais souvent ils sont séparés.

C'est pourquoi la fréquence d'apparition des **phénotypes recombinés** -et donc des gamètes recombinés lors des méioses chez l'individu de F1- dépend du nombre de méioses pour lesquelles il s'est produit un **crossing-over entre les locus des deux gènes étudiés**.

Les résultats obtenus illustrent la notion de brassage intrachromosomique

GAMETES PRODUITS LORS DE LA MEIOSE CHEZ UN INDIVIDU HETEROZYGOTE POUR DEUX GENES

Hypothèse 1 : LES DEUX GENES SONT LIÉS (= sur le même chromosome)



Lorsque les **2 gènes sont liés**, l'homozygote produit toujours **4 types de gamètes non équiprobables** : plus de gamètes portant les associations alléliques parentales que recombinées. Dans ce cas, c'est le brassage intrachromosmique qui est à l'origine des **recombinaisons alléliques**