

# **Mobiliser les notions essentielles de l'amélioration génétique pour en comprendre les démarches**

## **Objectif 1 : Décrire des caractères monogéniques**

### **1 Le matériel génétique**

- 1.1 L'ADN
- 1.2 Les structures de l'ADN
  - La structure primaire
  - La structure secondaire
- 1.3 Les chromosomes
- 1.4 L'expression du matériel génétique
- 1.5 La transmission du matériel génétique
  - La réplication par mitose
  - La méiose

- 1.6 Les mutations génétiques

### **2 La transmission d'un caractère monogénique**

- 2.1 Définitions
- 2.2 Interactions entre allèles (situés au même locus)
  - 2.2.1 La dominance
  - 2.2.2 La codominance
  - 2.2.3 Pénétrance et expressivité
- 2.3 Transmission des gènes qualitatifs : les lois de Mendel
  - 2.3.1 Le mono-hybridisme
  - 2.3.2 Le di-hybridisme
- 2.4 Sexe et hérédité liée au sexe

### **3 Caractères qualitatifs et améliorations génétiques**

#### **1 Déterminisme des caractères quantitatifs**

- 1.1 Définition du caractère quantitatif
- 1.2 Population et distribution du caractère
  - 1.2.1 La population
  - 1.2.2 La distribution normale : la courbe de Gauss

#### **2 Origine de la variabilité des performances**

- 2.1 Variabilité d'origine génétique

- 2.1.1 Effets additifs des gènes = A

- 2.1.2 Effets non additifs des gènes : les interactions = I

- 2.2 Effets du milieu = M

- 2.3 La valeur phénotypique = P

- 2.4 Conséquences sur l'amélioration des performances

### **3 L'héritabilité**

- 3.1 Définition

- 3.2 Les valeurs de l'héritabilité

- 3.3 Héritabilité et sélection

### **1 Le progrès génétique**

- 1.1 La variabilité génétique

- 1.2 L'intensité de sélection

- 1.3 La précision de sélection

- 1.4 L'intervalle de génération

- 1.5 Les corrélations génétiques

- 1.6 Effet de la reproduction sur la sélection

### **2 Les méthodes de sélection**

#### **3 L'indexation**

#### **4 Programmes de sélection**

- 4.1 Bovin viande : Midablond

- 4.2 Ovin lait : CIOP

#### **5 Organisation**

- 5.1 EDE

- 5.2 Centre d'IA

- 5.3 OS = ex-UPRA

- 5.4 Autres organismes

### **1 Accouplements en race pure**

#### **2 Accouplements par croisement**

- 2.1 Les croisements à finalité génétique

- 2.2 Les croisements à finalité commerciale

- 2.3 La consanguinité

## Objectif 1 : Décrire l'hérédité des caractères monogéniques

La génétique, ou science de l'hérédité, cherche une réponse aux 3 questions suivantes :

- Quelle est la structure du matériel cellulaire support de l'hérédité ?
- Comment ce matériel est-il transmis d'une génération à la suivante ?
- Par quels processus assure-t-il la réalisation des caractères d'un individu ?

### 1 Le matériel génétique

#### 1.1 L'ADN

**ADN = Acide DésoxyriboNucléique**

Présente en quantité et en qualité égales dans le noyau de toutes les cellules d'un individu. Chaque séquence de l'ADN est responsable d'une fonction de la vie.

L'ADN est composée : P + D + Base = Nucléotide

- Acide phosphorique  $H_3PO_4$
- Désoxyribose, un sucre en  $C_5$
- 4 bases organiques azotées : Adénine, Cytosine, Thymine et Guanine (ACTG)

Il n'existe que 4 possibilités de nucléotides.

L'ADN est donc une chaîne de nucléotides : environ 6 milliards chez le bovin.

#### 1.2 Les structures de l'ADN

##### La structure primaire

Les nucléotides sont reliés entre eux et forment une chaîne de plusieurs millions d'éléments.

Tous les individus de la même espèce ont le même nombre de nucléotides.

Un **gène** est une série de nucléotides (1000 environ) : il a une fonction particulière.

Il occupe toujours la même place sur l'ADN, un **locus**.

Un gène peut avoir plusieurs variantes, des **allèles** : ils ont la même fonction mais pas la même expression.

##### La structure secondaire

La structure est composée de 2 chaînes associées par des liaisons entre les bases et qui ne se font pas au hasard.

L'A est toujours associée à la T ; et la C à la G.

Une chaîne est donc complémentaire de l'autre.

L'association forme une structure en double hélice = structure hélicoïdale.

#### 1.3 Les chromosomes

Chaque chaîne de l'ADN se divise en  $n$  chromosomes. Un ADN complet est donc composé de  $2n$  chromosomes.

Les cellules sont diploïdes ou à  $2n$  chromosomes.

Le nombre de chromosomes est constant pour une espèce :

Homme	$2n = 46$	Porcin	$2n = 38$
Bovin	$2n = 60$	Equin	$2n = 64$
Ovin	$2n = 54$	Poule	$2n = 78$

Les 2 chromosomes d'une paire ont la même longueur et les mêmes locus, donc les gènes et les mêmes fonctions.

*Remarque : seuls les chromosomes sexuels ne forment pas une paire identique (X et Y)*

*Remarque : seules les gamètes sont haploïdes ou à  $n$  chromosomes.*

#### **1.4 L'expression du matériel génétique**

Un gène a une fonction précise et participe au métabolisme : synthèse des enzymes ou des protéines, la sécrétion d'hormones ou d'anticorps.

L'ADN ne sort pas du noyau mais son exacte copie, l'ARN-messager, est lu par les ribosomes.

Pour que le métabolisme fonctionne, il faut

- une copie exacte de l'ADN = la transcription
- et une lecture exacte de l'ARN-messager = la traduction

Les nucléotides d'un gène s'enchaînent un ordre bien défini : une séquence. Si la séquence est modifiée, le gène change et le résultat sera différent.

#### **1.5 La transmission du matériel génétique**

A partir de la fécondation et de la création d'un œuf à  $2n$  chromosomes, la cellule doit se diviser et transmettre le même ADN aux futures cellules : c'est la mitose.

#### **La réplication par mitose**

Pendant la division cellulaire, l'ADN se dédouble puis se partage en 2 ADN identiques.

C'est la réplication par mitose équationnelle.

Ainsi, chaque cellule possède  $n$  paires ou  $2n$  chromosomes.

Les 2 nouvelles cellules possèdent chacune un brin nouveau (repliqué) et un ancien brin.

#### **La méiose**

La méiose est la division cellulaire des cellules sexuelles : on passe de  $2n$  à  $n$  chromosomes

La méiose = mitose équationnelle + mitose réductionnelle.

- La méiose permet la transmission du matériel génétique : un spermatozoïde ou un ovule ne contient que la moitié de l'ADN.
- La méiose permet les brassages importants de gènes : entre les chromosomes et entre gènes. Ainsi, les possibilités de transmission sont infinies et chaque gamète est génétiquement unique !

#### **1.6 Les mutations génétiques**

Ce sont les erreurs de transmission de gènes :

- Lors de la transcription, une ou plusieurs paires de nucléotides sont modifiées. Une fonction est perdue ou a changé.
- Lors de la traduction, une fonction change et peut avoir un effet sur l'individu.
- Lors de la réplication, la nouvelle cellule n'est pas identique : elle est éliminée ou perturbe le métabolisme. C'est une cellule mutante.
- Lors de la méiose, le nombre de gènes n'est pas exact et provoque des anomalies génétiques.

## 2 La transmission d'un caractère monogénique

Un caractère monogénique est un caractère gouverné par les 2 gènes du même locus, avec un ou plusieurs allèles.

Le résultat de leur expression n'est pas mesurable, mais juste constatable : ils existent ou sont absents.

Exemples : la couleur, le cornage, le sexe, la résistance aux maladies...

### 2.1 Définitions

#### ■ Le caractère

Un caractère est un élément de description des individus. On juge l'aspect morphologique (taille, conformation), physiologique (production, croissance) et psychologique (docilité, adoption), avec toujours une part d'arbitraire.

C'est l'expression du gène.

#### ■ Le gène

Un gène est une séquence de nucléotides responsable d'une fonction, participant à la synthèse d'une protéine.

Ce gène se trouve à un endroit précis toujours sur le chromosome, son locus.

#### ■ Le génotype

Le génotype est l'identification de l'ensemble des gènes qui agissent sur un caractère.

Dans le cas le plus simple, le génotype est commandé par 2 gènes : même chromosome, même locus.

On exprime le génotype avec un nombre toujours pair de lettres (dans le cas le plus simple, avec 2 lettres) : NN ou rr ou Nr ou si plusieurs gènes NNBB ou rrcc ou NrBc

#### ■ L'allèle

Les allèles sont des gènes qui ont la même fonction et qui occupent le même locus ; mais leurs séquences ne sont pas identiques, leurs effets sont différents.

#### ■ Le génome

Le génome est l'ensemble de tous les gènes d'un individu.

#### ■ Le phénotype

Le phénotype est le résultat visible du génotype. C'est le résultat global de l'action de tous les gènes qui agissent sur le caractère étudié.

#### ■ Homozygote / hétérozygote

Un individu est homozygote si les 2 gènes du même locus sont identiques.

Un individu est hétérozygote si les 2 gènes du même locus sont différents (2 allèles).

### 2.2 Interactions entre allèles (situés au même locus)

Lorsque 2 allèles d'un même locus sont identiques, ils ont le même effet sur le phénotype. Mais s'ils sont différents, il y a compétition ou interaction.

#### 2.2.1 La dominance

Les effets d'un allèle masquent complètement les effets de l'autre.

Il est dominant, l'autre est récessif.

Ex : la couleur de la robe

Un caractère qui définit la couleur de robe a 2 allèles :

Allèle « couleur noire » dominant = **N**

Allèle « couleur rouille » récessif = **r**

Génotype	Phénotype	
NN	noir	homozygote noir
<b>rr</b>	<b>rouille</b>	homozygote rouille
Nr	noir	hétérozygote noir (hétérozygote rouille impossible !)

### 2.2.2 La codominance

Les 2 allèles expriment leurs effets et l'individu montre les 2 manifestations.

Ex : les groupes sanguins A et B et O

Allèle « groupe A » et Allèle « groupe B » = dominant A et B

	A	B	O
A	A	AB	A
B	AB	B	B
O	A	B	O

### 2.2.3 Pénétrance et expressivité

Dans la nature, la dominance totale (à 100%) est plutôt rare. Parfois, un gène ne s'exprime pas ou à certains moment de la vie.

▪ La pénétrance d'un gène est la fréquence avec laquelle ce gène se manifeste.

Elle dépend des interactions avec d'autres gènes.

▪ L'expressivité d'un gène correspond à l'intensité d'expression de ce gène sur le phénotype.

Ex : le gène culard en bovin viande

## 2.3 Transmission des gènes qualitatifs : les lois de Mendel

L'hybridation est un croisement entre 2 individus génétiquement différents, donnant naissance à un hybride.

### 2.3.1 Le mono-hybridisme

Le mono-hybridisme concerne les allèles du même locus. On croise donc 2 individus ayant un génotype différent pour un caractère.

Ex : le cornage des bovins

Le locus cornage peut porter 2 allèles :

Le gène **M**, dominant, qui détermine l'absence de cornes (motte = sans corne)

Le gène **c**, récessif, qui détermine la présence de cornes

Ex : un **mâle motte** et une **femelle cornue**, tous deux homozygotes.

		♂ : MM	
♀ : cc	Gamètes	M	M
	c	Mc	Mc
	c	Mc	Mc

#### Obtention de la F1

Le croisement de **MM** et de **cc** donne la 1<sup>ère</sup> génération, la F1. Tous les F1 ont le même génotype **Mc** et le même phénotype sans cornes.

#### Obtention de la F2

Faire les croisement suivants :

- ❑ Vache F1 x taureau motte
- ❑ Vache F1 x taureau cornu
- ❑ Vache F1 x taureau F1

### 2.3.2 Le di-hybridisme

Dans le di-hybridisme, le caractère dépend de 2 gènes. Il est le résultat de l'expression de 2 paires d'allèles sur 2 locus différents.

#### Ex : couleur de robe et de tête dans Montbéliarde x Prim'Holstein

Les gènes d'un locus déterminent la couleur de la robe (N = pie noir ; r = pie rouge) et, sur un autre chromosome, les gènes d'un autre locus déterminent la couleur de la tête (B blanche ; c = colorée).  
Etablir les génotypes et phénotypes des accouplements suivant s :

- ❑ Vache Prim'Holstein x taureau Montbéliarde
- ❑ Vache F1 x taureau Montbéliarde
- ❑ Vache F1 x taureau F1

### 2.4 Sexe et hérédité liée au sexe

Les 2 chromosomes sexuels forment une paire mais ne sont pas identiques.

Chez les mammifères, la femelle possède 2 chromosomes sexuels identiques XX. Les chromosomes du mâle sont différents XY (YY est impossible).

Chez les oiseaux, c'est l'inverse : la femelle est XY et le mâle est XX.!

Pendant la méiose,

- chez la femelle, l'ovocyte se divise en 2 ovules contenant chacun un chromosome X.
- chez le mâle, les spermatozoïdes se divisent en 2 spermatozoïdes différents : l'un contient un chromosome X et l'autre un chromosome Y.

C'est le gamète mâle qui détermine le sexe du produit.

		♂: XY	
		Gamètes	
♀: XX	X	X	Y
	X	XX	XY
	X	XX	XY

L'ovule étant toujours X, la probabilité d'avoir un produit ♂ ou ♀ est toujours de 50 %.

Certains gènes sans rapport avec le sexe sont portés par les chromosomes X ou Y.

Leurs effets sont donc liés au sexe de l'individu.

#### Ex : Gène Booroola chez les ovins

## 3 **Caractères qualitatifs et améliorations génétiques**

Les caractères qualitatifs sont maintenant assez bien connus mais leur importance économique est faible, à part quelques cas intéressants.

### ● Couleur de la peau des poulets de chair

La couleur dépend de la richesse en pigments caroténoïdes dans l'alimentation. Mais aussi des 2 allèles W (blanc dominant) et w (jaune récessif) du locus déterminant la couleur de la peau.

Les animaux WW et Ww sont génétiquement blanc et incapables de fixer les pigments. Ils ont la peau blanche quelle que soit l'alimentation.

Les animaux ww sont génétiquement jaunes, mais leur peau sera jaune si leur alimentation contient des pigments.

### ● Couleur de l'œuf

Les consommateurs français préfèrent les œufs roux alors que les anglais ne mangent que des œufs blancs.

### ● Caractères d'autosexage des poussins

L'éleveur de poules pondeuses achète des poussins femelle d'un jour, mais il ne veut que des ♀. La détermination du sexe des poussins a longtemps été déterminée par examen manuel du cloaque.

L'autosexage est la possibilité de déterminer le sexe des poussins à l'éclosion par une simple et rapide observation du phénotype, les ♂ étant différents des ♀.

Le chromosome X est porteur du gène de la couleur du duvet puis du plumage. Il existe 2 allèles :

- **J** dominant : duvet jaune puis plumage argenté
- **r** récessif : duvet roux puis plumage doré

**Ex** : réaliser l'autosexage des F1 d'une poule argentée et d'un coq doré.

**Ex** : réaliser l'autosexage des F1 d'une poule dorée et d'un coq argenté.

### ● Caséine Kappa du lait de vache

Le lait de vache contient environ 32 g/l de matière protéique, principalement des caséines. L'une de ces caséines est la caséine Kappa k, qui présente 2 formes : kA et kB.

La forme présente dans le lait dépend de la présence d'un des 2 gènes codominants A et B sur un locus.

Une vache homozygote AA produit de la caséine kA.

Une vache homozygote BB produit de la caséine kB.

Une vache hétérozygote AB produit de la caséine kA et de la caséine kB.

Un lait ne contenant que de la caséine kB coagule plus rapidement, présente un caillé plus ferme et donne un meilleur rendement fromager (+4%) qu'un lait contenant la caséine kA.

Le lait avec la caséine kAB a des caractéristiques intermédiaires.

### ● Cornage chez les caprins

La présence de cornes chez les caprins est déterminée par l'allèle P sans cornes (ou motte) et dominant et l'allèle p cornu et récessif.

Pour des raisons d'esthétique et de sécurité, certains éleveurs souhaitent n'avoir que des animaux homozygotes mottes PP.

Mais le gène du cornage est aussi lié à la fertilité des chèvres et des boucs : l' presque tous les mâles PP sont stériles.

### ● Tremblante du mouton

La tremblante du mouton (maladie affectant le système nerveux et due à un prion, forme anormale d'une protéine préexistante dans l'organisme) est caractérisée par l'existence de 5 allèles de la protéine PrP<sup>Sc</sup> :

ARR	}	<b>R</b> (Résistant)
ARQ		
AHQ		<b>S</b> (Sensible)
ARH (rare)		
VRQ		<b>H</b> (Hypersensible)

Les animaux résistants (R/-) ne développent pas la maladie et ne sont pas porteurs du prion. Pour être touché par la Tremblante, l'animal doit être au moins sensible (-/S ou -/H) et infecté par le prion (il ne peut pas la développer seul).

La sélection des béliers reproducteurs (monte naturelle ou insémination) a permis d'augmenter la fréquence de l'allèle R, et diminuer les cas de tremblante.

### ● Caractère culard chez les bovins viande

Le phénomène culard est une anomalie qui présente une pénétrance incomplète et une expressivité qui s'atténue dans le temps.

- Avantages : hypertrophie musculaire de l'arrière-main, meilleur rendement à l'abattage, viande moins grasse, veau culard est plus lourd à la naissance.
- Limites : difficultés de vêlage, faibles manifestations des chaleurs chez la ♀, faible ardeur sexuelle chez le ♂, subfertilité des femelles, production laitière réduite, mortalité des veaux.
- Création de la race INRA 95 pour le croisement industriel sur vache laitière
- Eradication du gène culard dans les races Aubrac et Gasconne.

### ● **Caractère culard chez le mouton viande**

Caractère décodé en 2006 sur race Texel, présentant une hypertrophie musculaire.

Gène de la myostatine : protéine qui limite naturellement la croissance musculaire. Présent chez tous les animaux.

Mutation de ce gène qui empêche son expression : le muscle se développe sans limite.

Intérêts : sélection des mâles d'IA porteurs, meilleure conformation des carcasses, plus de muscles et moins de gras.

Introduction par croisements successifs depuis 2003 dans une population de Lacaune viande.

### ● **Parakératose héréditaire bovine (PkHB)**

Synthèse impossible de l'enzyme responsable du transfert du zinc alimentaire vers l'organisme. Le veau épuise ses réserves en 4/5 semaines, montre des symptômes de carence et meurt à 2 mois.

### ● **Syndrome d'Arthrogrypose et Palatoschisis (SAP)**

Ankylose des membres et fente du palais, très souvent mortelle à la naissance, spécifique à la race Charolaise (avec 25 % de porteurs sains).

Anomalie due à un gène récessif à pénétrance incomplète : 10 % des homozygotes récessifs manifestent les symptômes. Le taux d'apparition est de 0,4 à 0,5 %.



## Objectif 2 : Décrire l'hérédité des caractères polygéniques

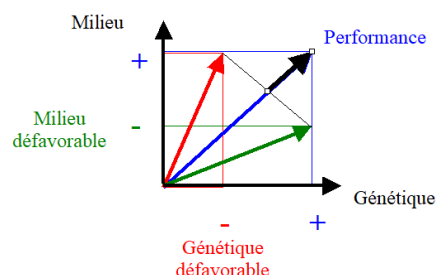
Les caractères polygéniques ou quantitatifs sont l'expression de plusieurs gènes : ils se mesurent. Ex : le GMQ, la rapidité de traite, la taille, la composition du lait, la quantité de lait produite...

### 1 Déterminisme des caractères quantitatifs

#### 1.1 Définition du caractère quantitatif

En prenant l'exemple de la production laitière des brebis.

- Les caractères quantitatifs sont mesurables par le Contrôle Laitier. Le résultat de cette mesure est une performance ou valeur phénotypique ou phénotype.
- Les caractères quantitatifs sont mesurés car ils ont une forte incidence économique.
- Les performances varient du très mauvais à l'excellent, en passant par tous les stades : le classement en 2 ou 3 groupes bien distincts n'est pas possible.
- Le milieu a une action sur l'expression des caractères quantitatifs, comme l'alimentation, le climat, l'hygiène...



	Caractère qualitatif	Caractère quantitatif
Possibilité de mesures	Non	Oui
Intérêt économique	Secondaire	Important
Classement	Facile et par groupe	Difficile et multiple
Sensibilité au milieu	Aucune	Forte
Exemples	Cornage Résistance à la tremblante	Production laitière GMQ

#### 1.2 Population et distribution du caractère

##### 1.2.1 La population

Une population animale correspond à l'ensemble des animaux du groupe étudié : un troupeau, une race, une espèce, un territoire, une tranche (âge, production), une finalité (transhumant)... Tous les individus de cette population sont mesurés puis comparés entre eux.

##### 1.2.2 La distribution normale : la courbe de Gauss

La distribution correspond à la répartition de la population selon une grille de mesures.

Ex : la production laitière d'un troupeau de 250 brebis.

Voici un tableau qui reprend la production laitière contrôlée sur une campagne

La forme de la courbe est classique : c'est la distribution normale souvent observée pour une population, la forme de la courbe de Gauss.

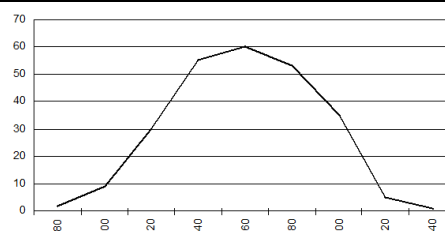
Vers les valeurs extrêmes, il y a de moins en moins d'individus.

La masse se concentre autour de la moyenne.

Pour interpréter cette courbe, on utilise des paramètres mathématiques :

- La moyenne de la production laitière  $\mu\sigma = 160$  litres

Niveau laitier des brebis									Total
80	100	120	140	160	180	200	220	240	
2	9	30	55	60	53	35	5	1	250



Elle correspond souvent à la tranche la plus importante.

▪ L'écart type de la production laitière  $\sigma = 29$  litres

C'est l'écart autour de la moyenne qui rassemble la population la plus importante. Plus cet écart est faible, plus la population est homogène.

Au delà, les individus sont dans les extrêmes.

## **2 Origine de la variabilité des performances**

La variabilité des performances est causée par plusieurs facteurs.

### **2.1 Variabilité d'origine génétique**

Les caractères quantitatifs se transmettent selon les mêmes principes que les caractères qualitatifs mais, comme ils sont sous l'effet d'un grand nombre de gènes, les possibilités et les interactions sont illimitées.

Chaque gène qui agit sur un caractère a un effet très faible et il ne peut pas être isolé ou identifié.

On s'intéresse donc au groupe de gènes qui agit :

Par additivité ou addition des effets de chaque gène

Par interactions entre tous ces gènes

#### **2.1.1 Effets additifs des gènes = A**

Chaque gène lié à un caractère a un effet plus ou moins différent et plus ou moins marqué. Chacun apporte sa contribution (positive ou négative) sur l'expression du caractère.

La somme de tous les effets de ces gènes est appelée « valeur génétique additive » = A.

**Ex : le GMQ**

Le caractère GMQ dépend de 4 locus indépendants et sur chacun on trouve 2 allèles : Bb, Cc, Dd et Ee.

On sait que les allèles dominants B, C, D et E apportent un GMQ de + 80 g chacun.

Les allèles récessifs b, c, d et e n'apportent que + 30 g chacun.

On accouple un mâle Bb-Cc-Dd-Ee (valeur additive A = 440 g) à une femelle bb-cc-DD-EE (valeur additive = 440 g).

La génération F1 est décrite dans le tableau ci-dessous :

<b>Spermatozoïdes</b> 16 possibilités	b-c-d-e	B-c-d-e b-C-d-e b-c-D-e b-c-d-E	B-C-d-e B-c-D-e B-c-d-E b-C-D-e b-C-d-E b-c-D-E	b-C-D-E B-c-D-E B-C-d-E B-C-D-e	B-C-D-E
Valeur additive A des spermatozoïdes	4 x 30 = <b>120 g</b>	3 x 30 + 80 = <b>170 g</b>	2 x 30 + 2 x 80 = <b>220 g</b>	3 x 80 + 30 = <b>270 g</b>	4 x 80 = <b>320 g</b>
<b>Ovules</b> 1 possibilité	b-c-D-E				
Valeur additive A de l'ovule	2 x 30 + 2 x 80 = <b>220 g</b>				
<b>Valeur additive A des F1</b>	120 + 220 = <b>340 g</b>	170 + 220 = <b>390 g</b>	220 + 220 = <b>440 g</b>	270 + 220 = <b>490 g</b>	320 + 220 = <b>540 g</b>
<b>Probabilité de transmission</b>	<b>1 / 16</b>	<b>4 / 16</b>	<b>6 / 16</b>	<b>4 / 16</b>	<b>1 / 16</b>

De ce tableau, on peut faire plusieurs remarques :

- La valeur additive d'un individu est la somme des valeurs additives des gamètes.
- Pour un caractère déterminé par un très grand nombre de gènes, on peut écrire :

$$A_{\text{individu}} = (A_{\text{père}} + A_{\text{mère}}) / 2$$

Exemple du GMQ :  $A_{F1} = (440_{\text{père}} + 440_{\text{mère}}) / 2 = 440 \text{ g}$  soit 6 cas sur 16, la majorité des cas.

- La distribution des F1 suit une courbe de Gauss : la majorité des F1 est entre 390 et 490 g. Il existe aussi 2 individus extrêmes.
- Le F1 à 540 g a une valeur génétique additive très supérieure à celles de ses parents.
- des individus de même valeur génétique additive produisent des individus de valeurs génétiques additives différentes.
- A une valeur phénotypique peuvent correspondre des valeurs génétiques différentes.
- A une valeur génétique peuvent correspondre des valeurs phénotypiques différentes.
- Comparer des individus en se basant sur leurs performances n'est pas sans risque.

### 2.1.2 Effets non additifs des gènes : les interactions = I

Les interactions entre les gènes ont un effet positif ou négatif sur l'expression du caractère. Mais ces interactions sont aléatoires et propres à chaque individu.

Les gènes se transmettent mais les interactions ne se transmettent pas ! Les combinaisons sont remises en cause à chaque gamétogenèses lors du brassage des chromosomes.

## 2.2 Effets du milieu = M

Le milieu est l'environnement dans lequel se trouve l'animal.

C'est une composante variable et très diverse et joue un rôle important.

Ex : l'alimentation, l'hygiène, le climat, le mode d'élevage, le confort des animaux...

Il existe des milieux « positifs » et des milieux « négatifs ».

Ex : Deux brebis de même valeur génétique 200 sont nourries avec 2 rations différentes : l'une excédentaire (+30) et l'autre déficitaire (-30). Quelles sont les performances des 2 brebis ?

### 2.3 La valeur phénotypique = P

La valeur phénotypique ou performance **P** est le résultat de l'expression du caractère. C'est le résultat de la mesure.

Elle est la somme de 3 composantes : la valeur additive **A** des gènes, les effets des interactions **I** entre ces gènes et les effets **M** du milieu.

On peut donc écrire la relation :

$$P = A + I + M$$

### 2.4 Conséquences sur l'amélioration des performances

Pour améliorer la performance P, on peut donc agir sur les 3 composantes :

- En agissant sur A : on cherche à introduire les meilleurs gènes en sélectionnant les individus à haute valeur génétique : la SELECTION.
- En agissant sur I : on recherche des interactions positives en utilisant des animaux parfois différents : le CROISEMENT ou ACCOUPLEMENT
- En agissant sur M : on améliore les conditions de production et de vie : les FACTEURS D'ELEVAGE

## 3 L'héritabilité

Le milieu ayant une action importante sur les performances, il est intéressant d'évaluer la capacité des parents à transmettre leurs gènes à leur descendance : c'est l'héritabilité.

### 3.1 Définition

L'héritabilité ne concerne que la valeur A, c'est la seule intéressante car la seule transmissible.

**L'héritabilité indique le % de génétique dans le progrès réel (phénotypique)**

$$\text{héritabilité} = h^2 = \frac{\text{Supériorité génétique}}{\text{Supériorité phénotypique}}$$

La supériorité génétique est la supériorité théorique de l'individu par rapport au groupe.

La supériorité phénotypique est la supériorité réelle mesurée par les contrôles.

Elle est comprise entre 0 et 1 et est mesurée en %.

Cas particuliers :

$h^2 = 0$  : le progrès n'est pas du à la génétique, elle n'a aucun effet, la sélection est impossible

$h^2 = 1$  : tout le progrès est uniquement génétique, la sélection est très efficace.

Ex : Parmi un troupeau de VL de niveau laitier 6.000 l/an, on isole un lot homogène de 10 VL de niveau 6.500 l/an. On disperse ces animaux dans 10 exploitations avec des différents modes d'élevage (alimentation, hygiène, bâtiment, climat). La moyenne de production de ces 10 VL tombe alors à 6.150 l/an. Quelle est l'héritabilité  $h^2$  de la production laitière ?

Correction : Supériorité phénotypique = 6500 – 6000 = 500 l/an

Supériorité génétique = 6150 – 6000 = 150 l/an    Coefficient  $h^2 = 150 / 500 = 0,3$

### 3.2 Les valeurs de l'héritabilité

Les valeurs sont très variables et se classent en 3 catégories :

- Les caractères à forte héritabilité :  $h^2 > 0,45$

L'influence du milieu est faible et la transmission est forte.

Caractères liés à la qualité des produits (TP, TB, conformation et qualité des carcasses...)

■ Les caractères à faible héritabilité :  $h^2 < 0,20$

L'influence du milieu est forte et la transmission est faible.

Caractères liés à la reproduction (fertilité, prolificité, parturition, rusticité...)

■ Les caractères à héritabilité moyenne:  $0,25 < h^2 < 0,40$

Caractères quantitatifs (GMQ, production laitière, Indice de Conso, poids à âge type...)

Le coefficient  $h^2$  correspond au degré de confiance que l'éleveur peut accorder à la transmission des performances du reproducteur.

On mesure la capacité de transmission de la supériorité génétique.

Ainsi, chez un bélier, un éleveur accordera plus d'importance au niveau de TP du lait qu'à la prolificité.

### **3.3 Héritabilité et sélection**

La connaissance de l'héritabilité permet d'adapter la sélection des individus :

■ Dans le cas d'un caractère à forte héritabilité, une part importante des performances est d'origine génétique. En choisissant une bonne femelle sur ses performances, l'éleveur a peu de chance de se tromper.

C'est la **sélection individuelle**, basée sur les performances d'un individu.

■ Dans le cas d'un caractère à faible héritabilité, l'éleveur peut commettre des grosses erreurs d'appréciation et sélectionner des animaux qui ont un faible potentiel génétique mais dont les bonnes performances sont dues au mode d'élevage et aux interactions aléatoires entre les gènes. La sélection individuelle est hasardeuse et peu efficace.

La **sélection sur ascendance ou descendance** est plus appropriée.

■ Dans le cas d'un caractère à très faible héritabilité, le sélectionneur doit simplement veiller à ne pas détériorer la valeur génétique (ex : fertilité)

La **génomie** est un outil efficace.

## **Objectif 3 : Présenter les notions et les démarches de l'amélioration génétique**

Pour améliorer le niveau de production de son élevage, l'éleveur peut améliorer ses méthodes d'élevage ou accroître le potentiel génétique de ses animaux. Il sélectionne les meilleurs animaux et les croise avec des reproducteurs reconnus pour leurs qualités par des valeurs ou des index : c'est la sélection et les croisements.

La **sélection** est la recherche et l'obtention d'animaux améliorés qui vont mieux exprimer les caractères recherchés, dans les conditions technico-économiques de l'élevage.

### **1 Le progrès génétique**

Pour voir si la sélection est efficace, il faut mesurer le progrès génétique ; il dépend de 4 facteurs :

#### **1.1 La variabilité génétique**

Ce sont les différences génétiques entre les individus d'une même population.

Plus elles sont importantes, plus les résultats des croisements seront expressifs.

Il faut maintenir (ou augmenter) cette variabilité par l'apport de sang neuf : reproducteurs étrangers, nouvelles souches, croisements contrôlés.

**Le progrès génétique est proportionnel à la variabilité génétique.**

#### **1.2 L'intensité de sélection**

C'est la sévérité de sélection des animaux.

Plus le nombre de candidats éliminés est grand, plus l'intensité sera forte.

Elle dépend aussi du niveau de performances exigé pour être retenu.

**Le progrès génétique est proportionnel à l'intensité de sélection.**

L'intensité de sélection varie en fonction :

- Du sexe : plus forte pour les mâles car 1 bélier pour 40 brebis.
- De l'espèce : bovine < ovine < porcine
- Du mode de reproduction : plus forte en IA qu'en MN
- De la race : Bazadaise < Blonde < Prim'Holstein

#### **1.3 La précision de sélection**

C'est la fiabilité de l'estimation de la valeur génétique que l'on donne à un animal.

Elle est mesurée par le Coefficient de Détermination (CD) : entre 0 (on n'a aucune idée de la valeur génétique) et 1 (on la connaît exactement).

Avec une précision faible (CD < 0,30), l'estimation génétique (amélioratrice ou détérioratrice) peut être fautive. Le choix est risqué.

Avec une précision forte (CD > 0,70), l'estimation est presque juste et le choix est juste. Pour certains taureaux d'IA très utilisés, on a des CD de 0,99.

Le CD s'améliore avec le nombre d'informations (ou de testage). Il dépend aussi de la méthode de sélection (ascendance < descendance)

**Le progrès génétique est proportionnel à la précision de sélection.**

### 1.4 L'intervalle de génération

C'est l'âge des parents à la naissance de leurs produits susceptibles d'être conservés pour la reproduction. C'est donc le temps qui sépare deux générations, à stade identique.

Plus l'intervalle est court, plus la vitesse de sélection est rapide.

L'intervalle de sélection varie en fonction de :

- ✗ L'espèce : âge de la puberté, durée de gestation, nombre de gestation par an
- ✗ La race : bovin lait plus précoce que bovins viande
- ✗ La durée d'utilisation des reproducteurs. Plus elle est longue, plus l'intervalle est long, moins le progrès est rapide (ex : un taureau utilisé pendant 6 ans sur le même troupeau)
- ✗ Le mode de sélection, la sélection sur descendance étant la plus longue car elle demande une génération de plus

**Le progrès génétique est inversement proportionnel à l'intervalle de génération.**

$$\text{Progrès génétique} = \frac{\text{Variabilité} \times \text{Intensité} \times \text{Précision}}{\text{Intervalle de génération}}$$

### 1.5 Les corrélations génétiques

Une corrélation est une influence de la sélection d'un caractère sur un autre.

Elle peut être favorable ou défavorable.

- Corrélations génétiques défavorables : quantité de lait / MSU, poids naissance / facilité de naissance, taille / rusticité, DS / DM, facilité de naissance / Croissance au sevrage
- Corrélations génétiques favorables : TB / TP, Aptitude Laitière / Croissance sevrage

### 1.6 Effet de la reproduction sur la sélection

En OL, la fertilité à l'IA a un effet important sur la sélection et ses paramètres :

Si la fertilité à l'IA d'une campagne est bonne (ex 62-65%), on va avoir les effets suivants :

- + d'agnelles nées d'IA = + de gardées d'IA = + d'info sur les pères / mères = + **précision index**
- + jeunes béliers nés d'IA = + de choix = + **intensité** et + **variabilité**
- **précision x intensité x variabilité = progrès génétique**

## 2 Les méthodes de sélection

L'opération fondamentale de la sélection est l'estimation de la valeur génétique des reproducteurs. Cette estimation doit être la plus fiable possible, dans le respect des contraintes économiques et physiologiques.

Par la sélection, on cherche à connaître la plus juste valeur génétique du futur reproducteur.

Ou ce qu'il est capable réellement de transmettre à sa descendance.

Pour estimer ses animaux, l'éleveur a besoin d'informations. Selon l'origine de ces informations, on distingue 4 méthodes de sélection.

- **La sélection individuelle** (ou massale ou phénotypique)

Choix de l'animal sur ses propres performances.

Avantages : peu coûteuse et rapide, pour des caractères fortement héréditaires

Inconvénients : le milieu gêne l'estimation des caractères à faible hérédité ... et économiques  
Adaptée aux caractères à forte  $h^2$ .

Exemples : sélection des agnelles avant repro, sélection de génisses après 1<sup>er</sup> vêlage

- **La sélection sur ascendance** (ou généalogique)

Choix de l'animal sur les performances de ses parents, avec le livre généalogique de l'UPRa.

Avantages : peu coûteuse et rapide, car les performances sont connues à la naissance. C'est la meilleure méthode pour la sélection des femelles.

Inconvénients : imprécision pour les caractères faiblement héréditaires

Exemples : agnelles au sevrage, génisses laitières

● **La sélection sur collatéraux**

Choix de l'animal à partir des animaux de sa génération (frères, sœurs, ½ frères ou ½ sœurs)

Avantages : bonne approche des caractères moyennement héréditaires si le nombre d'information important (espèces prolifiques comme les lapins ou les volailles)

Inconvénients : peu précise pour les caractères fortement individuels (½ collatéraux)

Exemples : vache dont la sœur gagne un concours, frère d'un bélier pris au Centre d'IA

● **La sélection sur descendance**

Choix de l'animal sur les performances de sa descendance.

On cherche à connaître la valeur génétique du reproducteur.

Par le testage, on mesure les performances des produits ( $\sigma$  et  $\varphi$ ) et on estime sa valeur génétique.

Avantages : bons résultats sur les caractères faiblement héréditaires car le nombre d'informations est important. C'est la meilleure méthode pour la sélection des mâles.

Inconvénients : longue et très coûteuse.

● **La génomique**

Choix de l'animal sur la présence de gènes intéressants dans son génome.

A partir de marqueurs moléculaires (QTL) facilement repérables, on trace certains gènes améliorateurs ou détériorateurs. Un test ADN suffit donc à estimer la valeur génétique.

Avantages : la fiabilité est excellente, la valeur peut se déterminer à la naissance.

Inconvénients : très coûteuse... au départ, puis accessible. Mais tous les gènes ne sont pas identifiés.

● **Les sélections combinées** entre plusieurs méthodes.

Sélection	Fiabilité	Temps	Facilité	Coût	Caractères
Individuelle					
Ascendance					
Descendance					
Génomique					

### 3 L'indexation

L'index est l'estimation de la valeur génétique d'un animal, valable une période, pour le comparer à d'autres animaux du groupe



## 4 Programmes de sélection

### 4.1 Bovin viande : Midablond

### 4.2 Ovin lait : CIOP

## 5 Organisation

### 5.1 EDE

Etablissement Départemental de l'Élevage. Niveau départemental.

- Identification et filiation : EDE responsable de l'identification, de l'enregistrement (DN) et du contrôle de la filiation.
- Contrôle des performances par Bovin Croissance.
- Développement de la filière et recherches technico-économiques (prospectives)

### 5.2 Centre d'IA

Souvent sous forme de coopérative, les centres d'IA ont deux activités principales : production et mise en place de la semence.

### 5.3 OS = ex-UPRA

Organisme de Sélection

Il est constitué par les éleveurs-utilisateurs de la base de sélection, les centres d'IA et des entreprises en aval de la filière (abattoirs, groupements de producteurs, transformateurs...)

- Etablir la grille de qualification de la race (orientations, aptitudes, évaluations)
- Mise en place des programmes d'amélioration génétique
- Assurer la promotion de la race

### 5.4 Autres organismes

INRA : appui de recherche et modèles mathématiques

DSV : Service vétérinaire pour éviter les contaminations

Contrôle de Performance (Bovin ou Ovin) : collecte de données et de performances

Office de d'Élevage

DDTM

## Objectif 4 : Définir les notions de race pure et de croisements

L'accouplement doit être raisonné pour répondre à deux objectifs :

- produire des animaux pour le renouvellement du troupeau
- et produire des animaux à bonne valorisation économique.

On peut donc travailler en race pure ou en croisement.

### 1 Accouplements en race pure

L'éleveur choisit ses reproducteurs en fonction des critères de race définis. Les produits constitueront la base du renouvellement de son troupeau.

#### Avantages de l'élevage en race pure :

- Adaptation de la race aux conditions régionales
- Homogénéité des troupeaux et du mode d'élevage
- Organisation facile de l'élevage avec des animaux homogènes ayant les mêmes besoins et les mêmes exigences.
- Obtention d'un progrès génétique lent mais irréversible

#### Limites de l'élevage en race pure :

- Rigidité face à l'évolution des conditions économiques ou sanitaires
- Faible efficacité de la sélection pour les caractères à faible héritabilité, avec seulement quelques taureaux agréés par an.
- Difficulté de la sélection simultanée sur plusieurs caractères
- Risque d'insuffisance de la variabilité génétique

### 2 Accouplements par croisement

Les croisements sont des accouplements entre deux individus génétiquement différentes.

Les croisements :

- permettent de profiter de la complémentarité entre les populations  
Par le croisement, on peut exploiter ensemble des caractères importants mais souvent contradictoires, comme les qualités maternelles et les aptitudes bouchères.  
**Ex : ♀ Aubrac x ♂ Charolais, ♀ Préalpes-du-Sud x ♂ Ile-de-France**
- permettent de bénéficier d'un effet hétérosis éventuel  
L'effet hétérosis est caractérisé par la supériorité génétique des produits par rapport à la moyenne génétique des parents.  
Plus les races sont éloignées génétiquement, plus l'effet hétérosis espéré est important.  
L'effet hétérosis est différent selon les caractères : +10 à 20 % pour les caractères d'élevage, +5 à 10 % pour les caractères de production, nul pour les caractères de qualité.
- peuvent être un instrument génétique important par l'utilisation rapide et efficace d'une nouvelle génétique (orientation, variabilité)

#### **2.1 Les croisements à finalité génétique**

Ils visent à rassembler des caractères intéressants pour constituer de nouvelles combinaisons génétiques.

✚ Le métissage : croisements successifs des générations entre elles : F1 x F1, F2 x F2...

Ex : Romanov x Berrichon-du-Cher = INRA-401, race créole

✚ L'amélioration : utilisation momentanée et modérée.

Ex : Red Holstein dans Montbéliarde, Blonde sans corne

- L'absorption : accouplements répétitifs par la même race : A x B, AB x B, ABB x B...  
Ex : FFPN absorbée par la Holstein pour donner la Prim'Holstein

## **2.2 Les croisements à finalité commerciale**

Ils visent produire des animaux destinés à la boucherie.

- Le croisement simple (ou industriel) : les produits F1 sont destinés à la boucherie. On utilise au maximum l'effet hétérosis. Une partie des femelles doit être conduite en race pure.

Ex : ♀ Aubrac x ♂ Charolais, ♀ Manech x ♂ Berrichon

- Le croisement double : les F1 sont croisés avec une race bouchère et les F2 tous vendus. On utilise ainsi la complémentarité de 2, 3 ou 4 races. Organisation complexe.

Ex : ♀ rustique+lait x ♂ prolifique, ♀ F1 x ♂ viande

- Le croisement alternatif : utilisation alternée de 2 races à chaque génération

## **2.3 La consanguinité**

La consanguinité est l'accouplement d'individus apparentés.

C'est le contraire de l'Hétérosis.

L'effet de la consanguinité est +/- fort selon le degré de parenté.

La consanguinité augmente le taux d'homozygotie, diminue la variabilité génétique, favorise l'apparition d'anomalies géniques.