

Chapitre 3

Génétique quantitative

I- Caractéristiques des caractères quantitatifs

I-1- Principales différences entre un caractère qualitatif et un caractère quantitatif

Caractéristiques	Caractère qualitatif	Caractère quantitatif
Possibilité de mesure	Non (couleur, forme, présence ou absence, etc.)	Oui (poids, taille, volume etc.)
Intérêt économique	Secondaire	Important
Classement	Facile et par groupe	Difficile et multiple
Sensibilité au milieu	Aucune	Forte
Déterminisme génétique	Monogénique (un petit nombre de gènes)	Polygénique (plusieurs gènes)
Exemples	<i>Cornage</i> <i>Couleur de la robe chez les bovins</i>	<i>Production laitière</i> <i>Rusticité</i>

I-2- Variation des caractères quantitatifs

I-2-1- Distribution des valeurs d'un caractère quantitatif

Pour les caractères qualitatifs, la variation entre les individus d'une même population est discontinue, c'est-à-dire que les individus peuvent être classés en un petit nombre de catégories ou groupes bien distinctes (animaux avec ou sans corne).

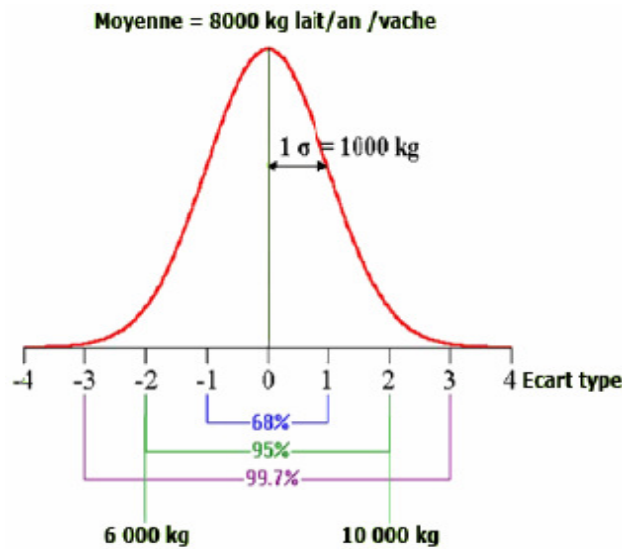
Au contraire, pour les caractères quantitatifs, la variation est généralement continue. Les différentes performances (appelées aussi valeurs phénotypiques ou phénotypes), que peuvent prendre les animaux pour un caractère donné, variant progressivement entre des valeurs extrêmes (minimum et le maximum), toutes les valeurs intermédiaires pouvant être rencontrées.

La distribution de ces caractères suit en général, **une loi Normale** (distribution Gaussienne, schéma ci dessous), dont la description peut être synthétisée par :

- La moyenne = \sum valeurs du caractère étudié/nombre d'observations
- La variabilité ou la dispersion autour de la moyenne qui peut s'exprimer par deux paramètres statistiques:

- l'écart type
- la variance
-

Dans l'exemple ci-dessous la distribution schématise le caractère 'Production laitière' de vaches laitières de race Prim'Holstein (Pie noire).



- Interprétation

Pour interpréter cette courbe, on utilise des paramètres mathématiques :

- La moyenne de la production laitière $\mu\sigma$, dans ce cas elle de 8000 kg et elle correspond souvent à la tranche la plus importante.
- L'écart type de la production laitière σ , dans ce cas il est de 1000 kg. 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

Selon les caractéristiques d'une distribution gaussienne :

- 68% des mesures de ce caractère dans la population sont comprises dans un écart de valeurs correspondant à la moyenne -1 fois la valeur de l'écart type soit [7 000 kg – 9 000 kg],
- 95% des mesures de ce caractère dans la population sont comprises dans un écart de valeurs correspondant à la moyenne -2 fois la valeur de l'écart type soit [6 000 kg – 10 000 kg],.
- 99,7% des mesures de ce caractère dans la population sont comprises dans un écart de valeurs correspondant à la moyenne -3 fois la valeur de l'écart type soit [5 000 kg – 11 000 kg],

II- Déterminisme génétique des caractères quantitatifs

II-1- Principes

Les caractères qualitatifs sont gouvernés par un petit nombre de gènes, voire un gène à quelques allèles, voire par un seul gène à deux allèles, expliquant le nombre réduit de phénotypes observables.

Les caractères quantitatifs ont certaines particularités :

Exemple :

1 locus à deux allèles A1 et A2 peut générer :

- 3 phénotypes en cas de co-dominance et qui correspondent aux 3 génotypes A1A1; A2A2; A1A2
- 2 phénotypes en cas de dominance. dans le cas de A1 dominant : A1A1 et A1A2 correspondent à un phénotype alors qu'A2A2, correspond à l'autre.

Les principes génétiques qui régissent l'hérédité des caractères quantitatifs ne sont pas différents de ceux régissant les caractères qualitatifs. Les gènes se transmettent de la même façon, qu'ils gouvernent un caractère qualitatif ou un caractère quantitatif.

Mais, on considère qu'un caractère quantitatif est sous influence d'un très grand nombre de gènes (centaines, voir des milliers) ayant chacun plusieurs allèles différents dans la population. Chaque allèle a un effet, sur le caractère, de faible amplitude, et l'ensemble de ces effets s'additionne. L'addition de ces effets détermine ainsi la contribution du génotype à la performance de l'animal ou phenotype (cf. schéma ci-dessous).

Cette composante génétique de la performance s'appelle valeur génétique de l'animal pour le caractère et est notée **G**. Ainsi, la valeur génétique **G** d'un animal pour un caractère est égale à la somme des petits effets des allèles possédés par l'animal aux différents loci gouvernant le caractère.

Exemple en production laitière

Soit 2 gènes ou loci, A et B, gouvernant la production de lait.

Soit deux animaux ayant les génotypes ci dessous, les effets "de faible amplitude" de chacun des allèles à ces deux loci, sur la production laitière, sont :

- A1 apportant + 10 kg de lait,
- A2: + 30 kg,
- B1: + 5 kg,
- B2: +15 kg.

La valeur génétique **G** de chaque animal pour la production laitière est calculée par la somme des effets des allèles possédés par chaque individu aux différents loci gouvernant le caractère.

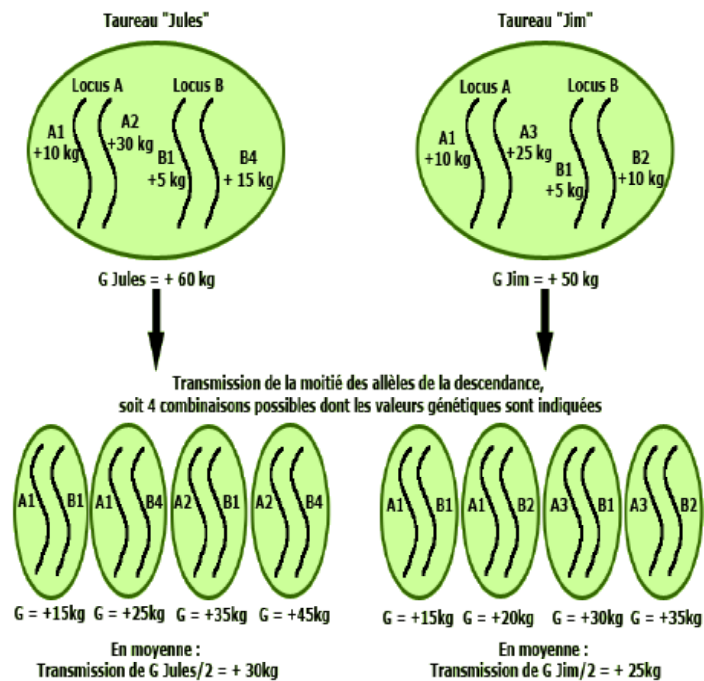
Taureau 'Jules'	Taureau 'Jim'
A1 A2 B1 B4 +10 +30 +5 +15	A1 A3 B1 B2 +10 +25 +5 +10
G Jules = + 60	G Jim = + 50

- Taureau 'Jules' à comme génotype A1A2 B1B4, où chaque allèle contribue respectivement de +10, +30, +5, +15 Kg de lait, et donc la valeur de son génotype est de +60 kg de lait.
- De la même manière pour le taureau 'Jim' la valeur de son génotype est de +50 kg de lait.

Ainsi, au niveau de la population, le nombre de génotypes possibles devient alors très grand (voire infini) et devient alors compatible avec une distribution continue des performances et un nombre très grand (voire infini) de phénotypes différents observés dans la population.

Un tel modèle génétique de l'hérédité des caractères quantitatifs qui a été imaginé par les généticiens au début du siècle, est appelé modèle polygénique additif. En conséquence, les caractères quantitatifs sont aussi appelés des caractères **polygéniques**.

L'animal transmet, comme vous pourrez le voir sur le schéma suivant, la moitié de ces allèles à sa descendance. On obtient 4 combinaisons.



II-2- Expression d'un caractère quantitatif (ou son phénotype ou performance) chez un individu :

$$P_i = G_i + E_i$$

L'expression d'un caractère quantitatif ou phénotype, se traduit chez tout individu par une performance dont la mesure est généralement noté **P** (pour Performances ou valeur phénotypique).

Selon les principes évoqués plus haut, la valeur phénotypique **P** d'un individu peut alors être considérée comme la somme de 2 valeurs :

- La valeur génétique G_i :

La somme des petits effets du génotype de l'animal correspondant au caractère d'intérêt. Cette composante correspond donc aux effets du patrimoine génétique, ou génotype, de l'individu dans l'expression du caractère (elle représente la somme des effets additifs et les effets non additifs qui sont les interactions entre les gènes impliqués dans le caractère).

- La valeur environnementale E_i :

Correspond à la somme des effets des facteurs non génétiques que sont les facteurs environnementaux ou de milieu. Cette composante correspond à la part apportée par le milieu dans l'expression du caractère.

Contrairement aux effets de l'environnement ou du milieu, seule la valeur génétique d'un animal pour un caractère donné se transmet en moyenne à sa descendance.

II-3- Expression d'un caractère quantitatif (ou son phénotype ou performance) au niveau de la population:

$$V(P) = V(G) + V(E)$$

Dans une population et pour un caractère donné, la variabilité des performances, ou variabilité phénotypique ($V(P)$) a une double origine:

- La variabilité génétique ($V(G)$) :

Variation des effets des génotypes gouvernant le caractère d'intérêt et correspondant aux individus de la population.

- La variabilité environnement ($V(E)$) :

Variation des effets des facteurs non génétiques auxquels sont soumis les individus de la population

En résumé

<p>Au niveau de l'animal i:</p> $P_i = G_i + E_i$ <p>Seule, la valeur génétique G d'un individu se transmet en moyenne pour moitié à sa descendance</p>	<p>Avec:</p> <p>P_i: valeur phénotypique ou mesure du caractère pour l'animal i</p> <p>G_i: valeur génétique du caractère pour l'animal i</p> <p>E_i: valeur environnementale des facteurs environnementaux</p>
<p>Au niveau de la population :</p> $V(P) = V(G) + V(E)$	<p>V(P): variation de la valeur phénotypique</p> <p>V(G): variation de la valeur génétique</p> <p>V(E): variation de la valeur environnementale</p>

II- Paramètres génétiques

II-1- L'héritabilité

Nous venons de voir pour un caractère quantitatif que la valeur phénotypique **P** d'un animal est telle que **P = G + E**. Par conséquent sa variation dans une population donnée est telle que :

$$- V(P) = \text{Variabilité génétique} + \text{Variabilité due à l'environnement} = V(G) + V(E)$$

Définition de l'héritabilité notée h^2

Dans une population et pour un caractère donné, l'héritabilité correspond à un paramètre génétique qui quantifie la part de la variabilité génétique ($V(G)$) dans la variabilité observée du caractère $V(P)$ soit;

$$h^2 = \frac{V(G)}{V(P)} \quad [0;1]$$

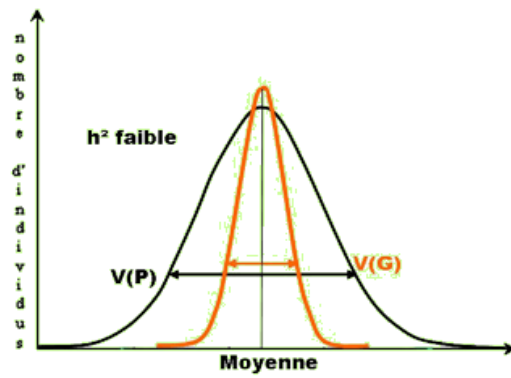
En somme, être héritable, c'est présenter une variation dans la population qui soit transmissible à la génération suivante.

L'héritabilité indique également quelle est, en moyenne, la part de la supériorité phénotypique qui est d'origine génétique et donc transmise aux descendants.

$$- \text{ Si } h^2 = 0$$

Cela signifie que $V(G) = 0$, et donc $V(P) = 0 + V(E)$, Dans ce cas, toute la variation phénotypique observée est d'origine environnementale et par conséquent, il n'y a pas d'amélioration génétique possible.

D'une autre manière, **si $h^2 = 0$** ; Cela signifie que les performances sont expliquées par l'environnement (facteurs de l'environnement ou milieu).



- **Si h^2 est faible**

On remarque nettement sur ce graphique (répartition gaussienne) que la variabilité génétique de la population pour un caractère donné est très faible par rapport à la variabilité phénotypique du caractère.

- **Si $h^2 = 1$**

Alors $V(G) = 1$ et donc le progrès est maximum

- **Si h^2 est élevée :**

Valeur variant 0.6-0.7, la part de la variabilité génétique est nettement plus importante dans l'expression de la variabilité phénotypique d'un caractère quantitatif.

- **Valeurs de h^2 selon le caractère**

Le tableau suivant présente les différentes valeurs de h^2 pour différents caractères

$h^2 \leq 0.15$ Caractères dits faiblement voire pas héritable	$0.2 \leq h^2 \leq 0.4$ caractères dits moyennement héritable	$h^2 \geq 0.4$ caractères dits fortement héritable
Caractères de reproduction Durée de lactation (VL) Intervalle entre vêlage (VL) Taille de la portée (lapins, ovins) Fertilité (VL, ovins) Fécondité (ovins)	Caractères de production: Quantité de lait par lactation Temps de traite (VL) Vitesse de croissance (ovins, volailles) Poids: - la naissance - au sevrage IC (volailles) Finesse de la laine (ovins)	Caractères de qualité et de Morphologie: TP, TB, Equilibre des quartiers Rendement à l'abattage Longueur carcasse Conformation (ovins)

A retenir :

- L'estimation h^2 d'un caractère varie plus selon le caractère que selon l'espèce étudiée.
- L'héritabilité permet donc de prédire si l'amélioration génétique par sélection sera efficace. C'est un outil indispensable pour savoir si la sélection est une stratégie adaptée pour améliorer ce caractère dans une population donnée.

2- 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)

II-2- Corrélations génétique entre caractères quantitatifs

Cette notion permet d'évaluer la réponse indirecte à la sélection d'un caractère sur d'autres caractères qui lui sont génétiquement corrélés. Par exemple, la sélection de la croissance (GMQ) engendre une réponse indirecte et favorable sur l'efficacité alimentaire mesurée par l'indice de consommation IC.

Le coefficient de corrélation génétique entre deux caractères A1 et A2, noté $R_g(A1, A2)$ mesure le sens et l'importance de la liaison entre leurs valeurs génétiques additives dans une population :

$$-1 \leq R_g \leq +1$$

- Si R_g est proche de 0, les deux caractères varient indépendamment l'un de l'autre
- Si R_g est proche de -1 ou de +1, ils sont étroitement liés dans leurs variations. Le signe + précise qu'ils varient dans le même sens, ou en sens contraire avec le signe -.

Exemples et conséquences :

- 1- Les aptitudes d'élevage ont des corrélations nulles ou plus souvent défavorables avec les caractères d'engraissement et de carcasse.
Chez les bovins par exemple les conditions de vêlage et la musculature sont assez corrélés et de façon défavorable R_g à peu près de -0.4. Donc, sélectionner sur la conformation bouchère dégrade en moyenne, les aptitudes à la mise bas.
- 2- La croissance des veaux jusqu'à l'âge de 04 mois, comme celle des agneaux jusqu'à 1mois, sont fortement corrélés avec la production laitière de leurs mères (R_g à peu près de 0.8). il est donc possible de sélectionner indirectement la valeur laitière des vaches et des brebis d'après la croissance de leurs produits, mesurée respectivement par le poids à 120j et 30j.
- 3- En production laitière, la quantité de lait (QL) a une corrélation négative et défavorable sur la composition TP et TB (R_g à peu près de -0.4).

II-3- Valeur génétique

1- Définition :

La **valeur génétique** pour un caractère quantitatif donné est la somme des effets additifs des gènes contrôlant ce caractère. Ces effets tout comme la valeur génétique s'exprime en écart par rapport à la moyenne de la population. La valeur génétique (VG) mesure donc la supériorité génétique de l'individu (ou son infériorité) par rapport à la population à laquelle il appartient.

Cette définition, de nature théorique, devient plus concrète, si l'on considère la descendance à devenir des individus considérés. Car la supériorité génétique d'un individu se réalise chez ses descendants à travers les gènes qu'il leur transmet. La valeur moyenne attendue des descendants d'un couple donné pour le caractère sélectionné est égale à la moyenne arithmétique des valeurs génétiques des deux parents. Il s'agit donc d'une valeur moyenne qui est-elle même une moyenne, qui aura donc d'autant plus de chance de se réaliser que le nombre de descendants sera plus élevé. Le raisonnement suppose implicitement que la caractère est mesuré dans les mêmes conditions de milieu sur tous les individus. Notons que le milieu doit être entendu dans un sens très large, incluant par exemple, les effets de l'âge, du sexe pour les caractères qui s'expriment dans les deux sexes. Si les conditions du milieu changent, par exemple de la génération parentale à celle des descendants, la définition des valeurs génétiques parentales ne tiendra que moyennant l'hypothèse que les effets des gènes ne sont pas affectés par les conditions du milieu. On dira alors qu'il n'y a pas d'interaction génotype-milieu.

2- Estimation de la valeur génétique ou index

Les effets individuels des gènes que porte l'individu ne sont pas mesurables, la valeur génétique ne peut être mesurée directement. Elle peut seulement **être estimée** statistiquement (prédite) à partir des mesures prises sur l'individu lui-même ou sur des individus qui lui sont apparentés :

- **Cas de l'individu lui-même mesuré** : si sa supériorité par rapport à la population est S , sa valeur génétique est Sh^2 ;
- **Cas du caractère mesuré sur sa descendance** : Si la supériorité des descendants de l'individu par rapport à la population est S , la valeur génétique du père (ou de la mère) est obtenue en multipliant $2S$ par l'héritabilité de la moyenne des descendants. Cette héritabilité, aussi appelée *coefficient de détermination* (CD), dépend de h^2 et du nombre de descendants. Dans ce raisonnement, il est supposé implicitement que le père est accouplé au hasard avec les femelles de la population (ou la mère avec les males) dont la valeur génétique est donc nulle.

Le **coefficient de détermination** mesure la précision de l'estimation de la valeur génétique. Il varie entre 0 et 1 et est fonction de la qualité et de la quantité des informations disponibles (nombre d'apparentés, nombre de performances). D'une autre manière, le coefficient de détermination génétique exprime la précision de l'index (estimation de la valeur génétique additive) qui est égale à :

$CD = R^2(A, \hat{A})$, le carré du coefficient de corrélation entre la vraie valeur génétique additive et sa valeur estimée. Plus, il est élevé, plus l'index est précis.

Exemple :

- L'héritabilité de la production laitière est 0.25.
- La VG d'une vache produisant 100kg de lait de plus que la moyenne est donc : $100 \times 0.25 = 25\text{kg}$

- Le CD d'un taureau testé sur la production laitière de 20 filles est 0.57, et la VG d'un taureau dont la moyenne de 20 filles dépasse 100 kg la moyenne de la population est donc $2 \times 100 \times 0.57 = 114$ kg
- Le gain de production laitière attendu d'une vache issue de ce couple est $(25 + 114) / 2 = 69.5$.

III-Objectifs et critères de la sélection

Les objectifs de sélection animaux d'élevage incluent le plus souvent des caractères de production, de qualité, de robustesse et d'adaptation des animaux. Ils se sont complexifiés avec le temps, pour prendre en compte des demandes de plus en plus variées.

Quelle différence entre critère et objectif de sélection ?

- **L'objectif de sélection est ce que l'on souhaite obtenir** : par exemple, l'une des composantes de l'objectif peut être la résistance aux mammites des vaches.
- **Un critère de sélection est le caractère mesurable utilisé pour atteindre cet objectif**, comme le comptage de cellules somatiques dans le lait, indicateur d'une infection.

Ainsi, si un éleveur souhaite améliorer son troupeau en vue d'obtenir, aux générations suivantes, de meilleures performances de reproduction (objectif de sélection), il peut prendre en compte les critères de sélection suivants :

- l'âge des femelles à leur entrée en reproduction ;
- le taux de fertilité à chaque reproduction ou l'intervalle de temps entre mise-bas ;
- le nombre de jeunes par portée ;
- la survie des produits de la portée à la naissance, voire jusqu'au sevrage.

Comment différencier l'inné (le génétique) de l'acquis (l'environnement)?

Tout caractère a une **composante génétique** et une composante **non génétique**, souvent assimilée à une composante de milieu. On appelle héritabilité la part (comprise entre 0 et 1) de la variabilité d'origine génétique dans la variabilité totale du caractère. Plus la composante génétique est importante, plus l'héritabilité est élevée, et plus le caractère est facile à sélectionner. D'une façon générale:

- les caractères de production ont une héritabilité modérée (0,2 à 0,4),
- les caractères de composition des produits une héritabilité élevée (>0,5)
- les caractères d'adaptation une héritabilité faible (<0,15).

La facilité de reproduction constitue un objectif de sélection peu héritable (<10 %), elle est donc assez difficile à sélectionner, car elle dépend fortement de facteurs environnementaux et en particulier des conditions d'élevage des animaux (âge, saison, alimentation, conduite, détection des chaleurs, conditions d'insémination...), mais aussi de paramètres mal connus.

Les différences de performances peuvent refléter des différences génétiques mais aussi des différences de milieu. Par conséquent, un éleveur souhaitant classer ses animaux selon leur potentiel génétique, par exemple vis-à-vis de la reproduction, doit comparer leurs performances obtenues dans les mêmes conditions. Par exemple : un éleveur souhaite améliorer son troupeau afin d'augmenter sa production de fromage de chèvre. La production de fromage est directement dépendante de la quantité de

caséines produite. Pour arriver à ses fins, il doit noter diverses informations telles que la production laitière journalière et la teneur du lait en matières grasses et protéines ;

De plus, s'il veut maîtriser sa production sur l'année, il doit maîtriser les dates de mise bas et donc la saisonnalité de la reproduction.

Tous les animaux sont-ils utilisés aux mêmes fins ?

Les bovins et les ovins sont essentiellement sélectionnés pour la production laitière ou pour celle de viande. En France, les caprins sont sélectionnés uniquement pour le lait. Différents types de volailles sont élevés respectivement pour leurs œufs ou leur chair. Elles se reproduisent rapidement, leur sélection est donc très efficace. Les porcins, les lapins sont principalement élevés pour leur viande.

On distingue trois groupes de races en fonction de leurs aptitudes:

- Certaines races **sont hautement spécialisées**, c'est-à-dire qu'elles ont un potentiel de production très élevé mais elles nécessitent des conditions d'élevage appropriées.
- D'autres races sont **dites "mixtes"**, c'est-à-dire qu'elles ont un potentiel de production modéré mais équilibré et des besoins plus faciles à satisfaire.
- Enfin, d'autres races sont dites **"rustiques"**, leurs performances sont moyennes à réduites mais elles valorisent un milieu difficile, avec une faible présence de l'homme.

VI- Méthodes d'amélioration génétique

VI- 1- Sélection

Au fil des années, les méthodes permettant d'identifier avec précision le potentiel génétique des reproducteurs se sont perfectionnées.

1- La sélection sur performance (Sélection individuelle)

C'est la méthode la plus ancienne et la plus classique, elle ne nécessite pas de connaître les généalogies. Dans un milieu donné, plus la performance est élevée, plus la valeur génétique est élevée, en probabilité. Cette méthode est surtout efficace pour les caractères mesurables sur le candidat et très héréditaires.

2- La sélection sur ascendance

Elle consiste à choisir un reproducteur sur la base de la valeur de ses parents. Cette méthode nécessite de connaître les généalogies et la valeur des parents. Elle est précoce mais sa précision est limitée par le fait qu'une partie de la valeur du descendant ne peut pas être prédite à partir des parents (c'est pour cela que deux frères sont différents). Cette imprécision est due au fait que chaque parent porte deux copies de chaque gène, potentiellement de valeurs différentes, et c'est le hasard qui décide quelle copie est transmise au descendant.

3- La sélection sur descendance

Elle consiste à choisir un reproducteur sur la base des performances de ses descendants. Cette méthode nécessite de connaître les généalogies, de procréer des descendants et de les mesurer. Elle est donc longue et coûteuse, mais sa précision est très élevée, potentiellement totale si le nombre de descendants est suffisant. L'une des principales faiblesses de la sélection sur descendance réside dans sa lenteur.

- Prenons l'exemple de la production laitière des vaches :

Pour sélectionner un taureau en fonction des performances de ses filles, il faut procréer un nombre suffisant de filles, enregistrer pendant plusieurs mois, voire plusieurs années, leur production laitière et autres critères. Il faudra donc plusieurs années (environ 5 ans) pour accumuler les données nécessaires pour estimer le potentiel génétique du taureau.

Conclusion:

Pendant des siècles, seule **la sélection sur performance propre** a été utilisée. La sélection s'est améliorée ensuite en prenant en compte **l'ascendance**. Ce n'est que dans le courant du XIX^{ième} siècle que **la sélection sur apparentés** s'est généralisée dans toutes les espèces.

4- Sélection assistée par marqueurs

Contrairement à la méthode précédente, la sélection assistée par marqueurs ou SAM ne se base pas uniquement sur les performances des apparentés. Elle consiste à repérer, à l'aide de **marqueurs génétiques** (séquences localisées dans le génome dont les variations peuvent être suivies au fil des générations), les régions chromosomiques, appelées **QTL** (quantitative trait locus), qui influent sur les caractères d'intérêt.

Ces régions sont constituées d'un ou plusieurs gènes. Elles sont étudiées dans le but de déterminer le ou les gènes qui influent sur les performances.

5- Sélection génomique

La génomique est une science émergente, qui étudie les fonctions et la structure des gènes et ouvre de nouveaux horizons pour la sélection animale.

Tandis que la **SAM** n'intègre dans l'estimation des valeurs génétiques que l'étude des marqueurs de quelques régions chromosomiques, **la sélection génomique** intègre des marqueurs couvrant le génome dans son ensemble. La sélection génomique est une extension de la SAM. Cette dernière méthode de sélection a été rendue possible grâce aux données récentes de séquençage de génomes et aux progrès des méthodes statistiques et des moyens de calcul (informatique).

Son avantage tient du fait que la valeur génétique d'un animal peut être prédite précisément dès sa naissance, à partir d'un échantillon d'ADN.

L'analyse des génomes d'animaux d'élevage a pris de l'ampleur ces dernières années et on peut espérer que la sélection génomique sera plus précise, plus efficace et moins coûteuse.

Grâce à **la sélection assistée par marqueurs et à la sélection génomique**, l'analyse d'un échantillon biologique (sang, poils...) permet de prédire la valeur génétique d'un reproducteur potentiel avant même de la vérifier sur sa descendance. C'est un gain de temps considérable. De plus, il y a moins d'erreurs dues à la distinction entre des critères innés et acquis.

En juin 2009, parmi les premiers pays du monde, la France publiait ses premiers index génomiques officiels pour les bovins laitiers. On sait maintenant décoder et localiser une partie des dizaines de milliers de gènes d'un animal et utiliser ces informations pour la sélection génétique. Aujourd'hui, la valeur génétique peut être ainsi estimée directement à partir d'une simple prise de sang dès la naissance du veau. Cette méthode, tout à fait révolutionnaire, est très intéressante pour la stratégie de sélection de chaque éleveur en particulier pour les caractères fonctionnels et qualités d'élevage (fertilité, longévité...). C'est l'aboutissement d'un programme multipartenaires de la recherche et des organisations d'élevage de plus de 10 ans.

VI- 2- Croisement

Un **croisement** est, dans le milieu de l'élevage sélectif des animaux, l'action de faire reproduire deux animaux appartenant à la même espèce mais à des races différentes. Le but du croisement peut être d'améliorer une race existante, d'absorber une race dans une autre ou de créer une nouvelle race.

Le croisement permet d'introduire, lors du croisement de deux races, des améliorations sélectionnées pendant de longues générations dans les races parentes. Par ailleurs, le brassage génétique induit par l'accouplement de deux races éloignées permet le phénomène d'hétérosis, c'est-à-dire l'augmentation de la vigueur du sujet croisé par rapport à ses deux parents. Par exemple, la Prim'Holstein est régulièrement croisée avec les races laitières européennes en vue d'augmenter la production de lait.

1- Croisement d'amélioration

Celui-ci consiste à opérer des croisements entre une race dite améliorante et une race que l'on cherche à améliorer. On peut ainsi obtenir ce progrès plus rapidement qu'avec une simple sélection au sein de la race. La race améliorante doit alors présenter un réel avantage pour les caractères recherchés et ne pas avoir de défauts importants.

Le croisement est réalisé en général sur une seule génération, et pas forcément sur l'ensemble de la population reproductrice de la race. Il ne s'agit pas en effet d'abandonner l'ensemble des caractères de celle-ci.

Comprise ainsi, cette stratégie se distingue donc du croisement de production, où les produits ne sont pas retenus comme reproducteurs, mais aussi du croisement d'absorption qui consiste à répéter le croisement sur plusieurs générations.

2- Croisement d'absorption

Celui-ci consiste à partir d'une race ou population animale existante et disponible, à faire appel sur plusieurs générations à des reproducteurs mâles d'une autre race, vers laquelle on veut faire évoluer la première.

3- Croisement de production

Celui-ci consiste à choisir des reproducteurs dont les produits sont destinés à la consommation ou l'utilisation, mais qui ne seront *a priori* pas conservés eux-mêmes comme reproducteurs. Le croisement de plusieurs races d'une espèce, voire d'espèces différentes a souvent un intérêt pour la production. Les animaux produits présentent ont en général un avantage appelé vigueur hybride ou hétérosis, c'est-à-dire des performances sensiblement meilleures que celles de la moyenne de leurs géniteurs sur de nombreux caractères.

Les croisements faisant intervenir plusieurs espèces sont le mulet, produit de la jument et de l'âne, le canard mulard, produit du canard de barbarie et du canard domestique, ainsi que le croisement chameau de Bactriane et dromadaire.

La poule a ainsi fait l'objet de programmes de croisement fondés sur ce principe.