

La génétique... un mot qui vient souvent à la bouche des éleveurs... et encore plus souvent à la bouche des éleveurs "sélectionneurs"... Mais sait-on pour autant ce que ce terme signifie et quelles sont les potentialités qu'il nous offre ? Quels outils a-t-on aujourd'hui en main pour faire de la génétique ? A-t-on intérêt à y consacrer du temps et de l'argent ? Est-ce réservé aux sélectionneurs, voire même à l'élite, ou est-ce l'affaire de tous ? Voici quelques-unes des questions auxquelles ce texte a la prétention de tenter de répondre, sans entrer dans les détails et notions complexes qui constituent cette science. Pour que demain, la génétique nous concerne tous... en connaissance de cause !

LA GÉNÉTIQUE EN ÉLEVAGE OVIN :



POURQUOI ? COMMENT ? POUR QUI ?

Christel DANIAUX - FICOW

La génétique : kesako ?

La génétique, c'est l'étude des **caractères¹ héréditaires** des gènes, de leur transmission au fil des générations et de leurs variations (mutations).

Le **gène**, lui, est une « **unité d'hérédité** » contrôlant un caractère particulier. Cet élément génétique correspondant à un segment d'ADN, situé à un endroit bien précis (appelé locus) sur un chromosome donné. Plus exactement, chaque région de l'ADN qui permet de produire une molécule d'ARN fonctionnelle (et ultérieurement une « protéine codée ») est un gène. L'ADN contient toute l'information génétique et est renfermé dans le noyau de chaque cellule d'un individu. Cet ADN est constitué de séquences de paires de bases ou nucléotides. Chaque cellule de l'ovine possède 26 paires de chromosomes homologues et 1 paire de chromosomes sexuels, soit un total de 54 chromosomes.

Au figuré, le noyau de chaque cellule vivante est « la bibliothèque » qui renferme tout le patrimoine héréditaire de l'individu, toute son information génétique. Le chromosome est « un livre » de cette bibliothèque, le gène « une phrase » de ce livre et les nucléotides « les lettres »

de cette phrase qu'il faut pouvoir décoder pour donner le sens à la phrase...

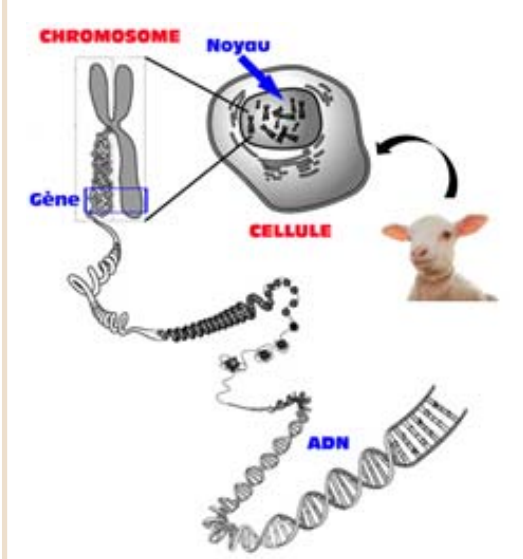
Détailler quelques notions théoriques élémentaires de génétique est une étape préalable obligatoire pour comprendre l'importance de la génétique dans le quotidien de l'éleveur... Allons-y !

Vous avez dit « allèle » ?!

Chaque paire de chromosome est constituée d'un chromosome d'origine maternelle et d'un chromosome d'origine paternelle. Chacun de ces 2 chromosomes possède donc les mêmes gènes mais pas forcément la même information génétique. Le

gène maternel et le gène paternel peuvent en effet posséder des **allèles** différents. Par l'exemple, le gène commandant le caractère « couleur de la laine » pourra présenter les allèles « blanc », « noir » ou « roux ». Si, pour un gène donné (ex. « couleur de la laine »), un individu possède les 2 mêmes allèles (ex. « roux »), il sera dit **homozygote** pour ce gène. L'expression du gène sera alors facile à déterminer : dans ce cas, la laine sera rousse. S'il ne possède pas les mêmes allèles pour un gène donné, l'individu sera dit **hétérozy-**

LA STRUCTURATION DE L'INFORMATION GÉNÉTIQUE AU SEIN DE LA CELLULE : DU CHROMOSOME À L'ADN.



¹ Caractère = aspects anatomique, physiologique, moléculaire ou comportemental, qui peut être analysé.

gote pour ce gène (ex. « blanc » de par la mère et « roux » de par le père). Dans ce cas, un allèle peut avoir priorité sur l'autre et sera alors dit **dominant** (ex. « blanc » est dominant, « roux » est **récessif** ; « blanc » de par la mère et « roux » de par le père donnera une laine blanche chez l'individu). Deux allèles peuvent aussi s'exprimer simultanément dans un même trait ; on parlera alors d'allèles **codominants** (ex. : les allèles « A » et « B » du gène déterminant le caractère « groupe sanguin » donneront un groupe sanguin « AB » chez l'individu). Par définition, un allèle récessif ne pourra s'exprimer que sous la forme homozygote (un individu à laine rousse devra avoir reçu l'allèle roux de son père ET de sa mère). Par contre, l'expression d'un allèle récessif ne nécessite pas forcément que cet allèle soit exprimé chez les parents de l'individu (un animal roux pourra avoir deux parents blancs mais aura des ascendants roux).

Un gène ou des gènes ?

Les exemples cités ci-dessus sont extrêmement simples sur le plan de la génétique. En effet, pour un caractère mentionné (couleur de la laine, groupe sanguin), nous n'avons parlé que d'un seul gène. On parle de **caractère monogénique** ou à **déterminisme simple**. C'est souvent le cas des caractéristiques physiques (couleur de la laine, couleur des yeux, etc.) qui ne dépendent donc de l'expression que d'un seul gène. Ce sont les lois de l'hérédité telles que l'a défini Mendel à la fin du 19^{ème} siècle.

Ce modèle simplifié de caractère monogénique peut toutefois déjà s'avérer complexe. Prenons, par exemple, le cas de la résistance à la Tremblante. Le plus souvent, ce type de caractères « maladies héréditaires » et « résistances héréditaires aux maladies » est régi par un seul gène majeur. Dans le cas de la résistance à la Tremblante, il s'agit du gène PrP qui présente 4 allèles connus :

- Allèle VRQ associé à une hyper-sensibilité à la Tremblante
- Allèle ARQ associé à une sensibilité à la Tremblante
- Allèle AHQ associé à une résistance à la Tremblante
- Allèle ARR associé à une hyper-résistance à la Tremblante

Chez l'individu, la combinaison des 4 allèles en une paire ne donne déjà pas moins de...16 combinaisons

possibles ! Les allèles « résistants » étant dominants par rapport aux allèles « sensibles », la résistance est aujourd'hui majoritairement rencontrée. Un individu ne doit pas être « double ARR » pour être résistant à la Tremblante... un individu « ARR – VRQ » étant aussi résistant que lui... Par contre, ce dernier pourra transmettre un allèle sensible et risque donc de donner une descendance sensible...

Mais, le plus souvent, ce n'est pas un seul gène mais bien tout un **ensemble de gènes** qui vont influencer le caractère observé ou **phénotype**² de l'individu. On parle alors de **caractère multigénique**. C'est notamment le cas des **caractères quantitatifs**³, soit le cas de la majorité des **caractères fonctionnels** (prolificité, vitesse de croissance, qualités laitières, qualités maternelles,...) qui influencent la rentabilité de l'élevage et qui intéressent donc le généticien et le sélectionneur. Plus précisément, ces caractères sont contrôlés par des **gènes majeurs** (qui contrôlent l'expression du caractère) et par des gènes mineurs qui sont supposés très nombreux pour chaque caractère quantitatif et qui auraient chacun un effet faible mais identique et additif. Une région du chromosome où sont localisés un ou plusieurs gènes intervenant dans l'expression d'un caractère quantitatif est appelée locus de caractères quantitatifs (**QTL**). Imaginons un caractère régulé par 10 gènes, chacun d'entre eux possédant 5 allèles...le nombre de combinaisons possible est bien loin des 16 de l'exemple précédent... puisque ce ne sont pas moins de 576 650 390 500 combinaisons qu'on va pouvoir observer !

La sélection : de l'*erectus* au *sapiens*...

S'intéresser à ces caractères fonctionnels demandera le plus souvent de délaissier la sélection tel que la réalisait le sélectionneur « primaire » : choisir les animaux reproducteurs parmi les animaux présentant le meilleur phénotype (animaux les mieux conformés,...) est la méthode de sélection la plus simple mais a ses limites et ne permet souvent pas de réellement améliorer les potentialités de son élevage, de sa race. De fait, les conditions environnementales étant actives sur le phénotype mais non héréditaires, on risque de choisir des reproducteurs chez lesquels c'est le milieu qui a provoqué ou amplifié les bons caractères observés... Nous verrons plus loin que ceci est à nuancer en fonction de l'« héritabilité » du caractère à améliorer et est d'au-

² Phénotype = état d'un caractère observable.

³ Caractère quantitatif = caractère exprimable en unité de grandeur et montrant des valeurs continues (exemple : vitesse de croissance, taux de prolificité,...), en opposition aux caractères qualitatifs qui affichent une variation discontinue (couleur de la laine,...)

tant plus vrai pour les caractères fonctionnels.

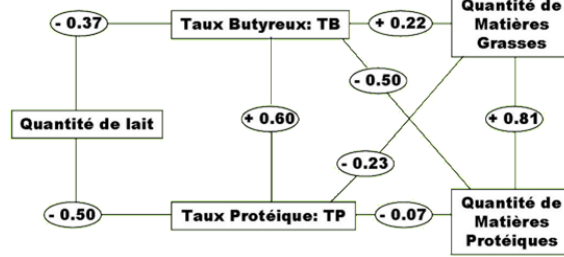
De cette **sélection phénotypique individuelle** (soit basée sur les performances des animaux concernés), le sélectionneur a d'abord évolué vers une **sélection phénotypique généalogique** (basée sur les performances des animaux concernés mais également sur celles de l'en-

semble des animaux aux performances connues qui leur sont apparentés). Puis très vite, dans les années 80, avec le développement des outils informatiques et statistiques, le sélectionneur est passé à une **sélection génétique** (basée non plus sur les performances des individus et apparentés mais bien sur la part de ces performances attribuable à la génétique) qui repose entre autres sur les **index** de sélection. C'est cette sélection génétique qui est encore majoritairement d'actualité aujourd'hui, même si on est à l'aube de la vulgarisation de la **sélection génomique**, soit une sélection basée sur le résultat d'analyses PCR qui permettent de connaître avec certitude les profils alléliques des gènes d'intérêt (*exemple : la sélection en faveur d'une résistance à la Tremblante*). C'est avant tout sur cette sélection génétique que la suite de cet article va se concentrer.

Pour réussir ce passage à la sélection généalogique puis génétique, le sélectionneur a dû intégrer une **sélection organisée** au niveau de toute la population et aux mains de généticiens / statisticiens pointilleux, tant la question est complexe et tant elle demande d'intégrer un maximum d'informations pour donner un minimum de résultats... **Faire de la sélection aujourd'hui, c'est penser :**

- **génétique** : pour les caractères quantitatifs, le phénotype donne peu d'indices sur les performances réelles de l'individu et peut même être trompeur ;
- **population / race** : les potentialités de sélection offertes par un seul élevage sont extrêmement limitées : elles sont à intégrer dans l'ensemble de la population ;
- **organisme de sélection et contrôle des performances** : estimer un progrès génétique potentiel nécessite de connaître un

FIGURE 1 - LA CORRÉLATION GÉNÉTIQUE : L'EXEMPLE DE LA PRODUCTION LAITIÈRE



Une sélection en faveur de la quantité de lait produite impliquera des effets négatifs sur le taux butyreux du lait, sur le taux protéique du lait et sur la fertilité des animaux.

maximum d'informations, toutes rassemblées dans une base de données généralement gérée par un organisme de sélection.

Nous détaillerons plus loin (*page 19*) une telle organisation de la sélection permettant l'amélioration des caractères fonctionnels d'une race en l'illustrant par l'organisation

de la sélection en France.

La sélection : des effets collatéraux...

La complexité de la génétique ne s'arrête pas aux caractères majoritairement plurigéniques (déterminés par un ensemble de gènes pouvant interagir entre eux)...Il faut également intégrer une notion d'interaction entre caractères différents ou entre le caractère et son environnement ; c'est la corrélation.

Sur le plan génétique, l'étude de la « simple » transmission héréditaire d'un caractère ne suffit pas : un caractère donné peut en effet avoir une influence sur un autre ; c'est la **corrélation génétique** entre caractères (*figure 1*). C'est pourquoi la sélection ne doit jamais se concentrer sur un seul caractère : la corrélation génétique sera prise en compte dans les objectifs de sélection afin de prédire l'évolution d'un ou plusieurs caractères en fonction de l'évolution des caractères sélectionnés.

Phénotype ≠ génotype

Sur le plan phénotypique (performances observables), deux individus possédant le même potentiel génétique pour un caractère donné n'exprimeront généralement pas les mêmes résultats. Pensons aux vrais jumeaux qui ne sont jamais parfaitement identiques alors qu'ils ont exactement les mêmes gènes !

Les gènes n'assurent donc pas les performances ? Et non... les performances sont souvent fortement – voir davantage – influencées par l'environnement !

L'environnement dans le monde de l'élevage, c'est l'alimentation, les bâtiments, l'état sanitaire

du troupeau, l'âge et l'état de l'animal (primipare / multipare, état d'engraissement,...), les conditions climatiques et la région géographique, les interventions pratiquées sur les animaux (traitements hormonaux (éponges vaginales,...)), l'exploitant,... Ainsi, par exemple, la quantité de lait augmente avec la parité de la brebis, pour diminuer par la suite.

PERFORMANCES = GÈNES + CONDITIONS D'ÉLEVAGE

PHÉNOTYPE = GÉNOTYPE + ENVIRONNEMENT

L'environnement peut jouer un rôle si prépondérant qu'il peut inverser les performances attendues. Prenons par exemple deux races : l'Ardenais Roux et le Texel culard, dans deux milieux distincts : une belle prairie sur le plateau de Herve et une tourbière en Famenne. Sur le premier milieu, comme attendu, la vitesse de croissance du Texel sera supérieure à celle de l'Ardenais Roux. Par contre, sur la tourbière, il est fort à parier que l'Ardenais affichera des performances de croissance supérieures à celles du Texel...

Voilà pourquoi choisir un animal sur base de ses seules performances ou choisir les agnelles de renouvellement sur base des seules performances de leur père / mère est dangereux : on risque de choisir des reproducteurs chez lesquels c'est le milieu qui a provoqué ou amplifié les bons caractères, et le milieu n'étant pas héréditaire, les performances ne seront pas reproductibles... Pensons à certains éleveurs qui affichent une prolificité élevée pour leur race... probablement à attribuer aux éponges vaginales qu'ils appliquent pour synchroniser les chaleurs et mises bas...

À UNE VALEUR PHÉNOTYPIQUE PEUVENT CORRESPONDRE DES VALEURS GÉNÉTIQUES DIFFÉRENTES. UNE BREBIS À 140 LITRES PEUT AVOIR DES VALEURS GÉNÉTIQUES DE 100 À 200 LITRES.

INVERSEMENT, À UNE VALEUR GÉNÉTIQUE PEUVENT CORRESPONDRE DES VALEURS PHÉNOTYPIQUES DIFFÉRENTES. UNE BREBIS DE VALEUR GÉNÉTIQUE 120 LITRES PEUT PRODUIRE DE 80 À 180 LITRES.

Si la génétique ne nous assure pas les performances, pourquoi s'y intéresser ? Parce que le **progrès génétique** est un **acquis** et est **cumulable** dans le temps. Contrairement à l'environnement, le gain obtenu grâce à la génétique pour un animal (progrès génétique) est définitif... on ne sait

pas le lui enlever ! Qui plus est, de génération en génération, les progrès génétiques réalisés vont s'additionner ce qui permettra d'obtenir des animaux de plus en plus performants. Enfin, s'il est vrai que la génétique n'assure pas les performances, il est tout aussi vrai que sous un environnement adapté à l'animal, le potentiel génétique de l'animal s'exprimera pleinement à travers ses performances ! **Une performance exceptionnelle est le résultat à la fois d'un potentiel génétique élevé ET d'un environnement adéquat.**

Evidemment, rien ne sert d'avoir un animal avec un potentiel génétique extraordinaire s'il est élevé dans des conditions défavorables.

Je sélectionne ou je conserve ?

Intégrer la génétique quand on fait de la sélection... oui donc ! Mais comme cité précédemment, la génétique est une science très large. Mettre au point des OGM, c'est aussi du domaine de la génétique. Dans la suite de cet article, nul n'est question d'OGM, de QTL ou encore de clonage... c'est de **génétique quantitative** dont nous allons parler. La génétique quantitative, c'est l'étude de la composante génétique expliquant la variation de caractères quantitatifs (taille, vitesse de croissance, concentration d'une molécule, etc.) et leur héritabilité à l'aide de **modèles mathématiques / statistiques**.

Toutefois, parler de génétique quantitative sans aborder une autre discipline propre à la génétique serait une dérive dangereuse. De fait, la génétique, c'est aussi la « **conservation de la biodiversité** ».

Conserver la biodiversité, ce n'est pas uniquement préserver des races locales menacées telles que l'Ardenais Roux ou l'Entre-Sambre-et-Meuse. Non, faire de la conservation, c'est bien plus large que cela : c'est préserver une variabilité/ diversité génétique aussi large que possible, y inclus les races menacées comme y inclus des individus suffisamment variés au sein d'une race (non consanguins) ou encore y inclus l'ensemble des allèles pour un gène donné (comme l'allèle sensible VRQ à la Tremblante).

Pourquoi la « conservation » est-elle importante pour le sélectionneur ?

Premièrement car les potentialités de sélection et d'amélioration doivent être maintenues pour le fu-

tur. A l'extrême, imaginons une population constituée d'individus « parfaits » tous identiques... il ne sera plus possible de tendre vers des individus « plus que parfaits » puisque tous les individus sont identiques... **A faire de la sélection sans faire de conservation**, on brûle donc la chandelle par les deux bouts et, à terme, on anéantit son objectif premier de sélection : **on réduit les possibilités de progrès génétique**, les possibilités de réponse à la sélection désirée. Evidemment, la situation figurée présentée ici est extrême et impossible en pratique... mais une nette réduction des potentialités de sélection est, elle, réellement observée dans certaines populations animales. Pensons à la race bovine Holstein au sein de laquelle la consanguinité⁴ est connue comme très forte suite à l'utilisation massive de certains reproducteurs à haut potentiel laitier. En 2008 en France, cette population de plus de 2 millions de têtes ne correspondait qu'à une population de 46 individus non apparentés, soit en-deçà du seuil fatidique des 50 à partir duquel une race est menacée d'extinction !! L'Holstein est donc considérée comme menacée d'extinction par certains généticiens... et il en est de même du Blanc Bleu belge culard !!! Quid du Texel culard pour lequel ce type d'étude n'a, à notre connaissance, pas été mené ?

La situation a davantage été explorée pour nos races ovines locales. En ce qui concerne l'Ardennais Roux par exemple, le seuil de 5 % de consanguinité à ne pas dépasser n'a jamais été atteint (4,7% de consanguinité pour la population mâle en 2008). Toutefois, le niveau de connaissance des généalogies étant globalement faible, le niveau de consanguinité de la race est proba-

blement sous-estimé. Pour la race Ardennais Tacheté, le niveau de consanguinité est nettement plus préoccupant.

Pourquoi ce risque d'extinction dans ces races à fort effectif, telle la Holstein, me direz-vous ? Parce que la consanguinité, en sus de provoquer un amoindrissement du progrès génétique, est, lorsqu'elle atteint un certain niveau, à l'origine d'un phénomène de « **dérive génétique** » : à savoir une baisse de la fertilité et une mortalité accrue...ces deux éléments menant à une extinction progressive de la race, quel que soit le nombre d'animaux qui la constitue... La consanguinité est également à la base d'apparition de tares, suite à la concentration de certains allèles peu favorables. Pensons, par exemple, aux défauts de gueule (animaux brachygnates).

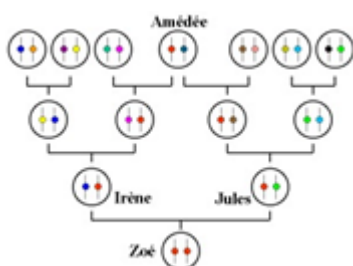
PENSER « SÉLECTION DURABLE », C'EST PENSER « CONSERVATION » DANS LE SENS « DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE »!

Si se préoccuper de la conservation est crucial quand on veut faire de la sélection, c'est aussi parce que la sélection occasionnée ne va jamais porter sur un seul gène mais bien sur un ensemble de gènes (notion de corrélation génétique abordée ci-haut)... Perdre une certaine diversité génétique à travers la sélection peut donc également être synonyme de suppression de certains gènes d'intérêt méconnus...dont nous aurions peut-être bien besoin dans le futur !

Et en pratique ?

Concrètement, la large diffusion du progrès génétique via les inséminations artificielles,... induit inévitablement une baisse de la variabilité génétique. Pour sortir de cette impasse, les organismes de sélection cherchent à avoir un taux de **consanguinité le plus faible possible** des produits issus des **accouplements programmés**. Citons, par exemple, la méthode de sélection à parenté minimale utilisée par certaines UPRA⁵ françaises.

CONSANGUINITÉ ET PROGRÈS GÉNÉTIQUE NE FONT PAS BON MÉNAGE !



Probabilité d'être consanguin si issu d'un accouplement entre :

- frère et sœur : 1 chance sur 4
- père et fille : 1 chance sur 4
- demi-frère et demi-sœur : 1 chance sur 8
- cousins germains : 1 chance sur 16
- demi-cousins germains (voir schéma) : 1 chance sur 32

⁴ Consanguinité = probabilité pour qu'en un locus donné, les deux allèles qui s'y trouvent soient identiques par descendance (probabilité d'autozygotie). Ce locus est donc obligatoirement homozygote AiAi et un individu est donc consanguin si ses deux parents possèdent un ou plusieurs ancêtres communs.

⁵ L'organisme français UPRA Sélection est le gestionnaire de l'ensemble des races d'élevage (bovines, ovines, canines,...). Elle est constituée d'une section par espèce. La section ovine rassemble 47 races ovines, aujourd'hui regroupées en 29 UPRA. Toutes les races françaises, à l'exception des races en conservation n'ayant pas de structure propre, y adhèrent.

En l'absence de tels accouplements programmés par des généticiens, on veillera toujours à limiter au maximum la consanguinité, quels que soient les objectifs de sélection poursuivis. Pour ce faire, on veillera également à examiner les pedigrees avec un maximum de profondeur (les ancêtres communs pouvant se cumuler tout au long de la généalogie).

Quand la génétique se combine à la mathématique...

Retour à notre fameuse « génétique quantitative » qui nous permettrait d'évaluer la **valeur génétique vraie** des individus pour les caractères que nous désirons sélectionner... Rappelons que cette valeur génétique n'est ni observable, ni mesurable, et que reste donc comme seule alternative son estimation.

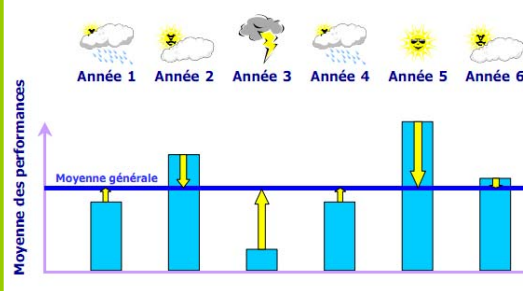
Rien ne sert ici de s'attarder sur les modèles mathématiques complexes qui permettent d'aboutir à de telles estimations. Sachons simplement que cette démarche utilise conjointement des concepts de génétique, de statistique, de zootechnie, de calcul numérique et d'informatique. Sachons également que la méthode utilisée s'appelle le « Best linear unbiased predictor » ou **BLUP « modèle animal »**. Insistons encore sur le fait que, comme pour tout estimateur statistique, il s'agit d'**estimations** et non de valeurs vraies.

Le nœud du problème, comme mentionné en début de cet article, est de connaître la part de la performance de l'animal qui est attribuable à ses gènes, et qui est donc intéressante puisque reproductible, et de pouvoir la dissocier de la part de la performance qui est attribuable à l'environnement, et qui n'est pas intéressante pour le sélectionneur puisque non reproductible... On en revient donc à « **phénotype = génotype + environnement** » et tout part de l'équation :

$$\text{caractère}_i = \mu + a_i + e_i,$$

où la performance mesurée chez l'animal i pour le caractère qui nous intéresse est fonction à la fois du phénotype global de la population μ (ex. : un

PRINCIPE DE LA CORRECTION DES DONNÉES



Pour connaître la performance intrinsèque à l'animal, celle qui est due à ses gènes, il faut soustraire les effets positifs ou négatifs de l'environnement sur la performance. Seuls les éléments connus, c.-à-d. les éléments communiqués par l'éleveur à son organisme de sélection, pourront être corrigés ! **Pensez-y lors de vos déclarations de luttés et de naissances...**

*Swifter est globalement plus prolifique qu'une autre race ovine), de la valeur génétique de cet animal a_i (ex. : au sein de la race Swifter, certains individus sont génétiquement plus prolifiques que d'autres) et de l'environnement de cet animal e_i (ex. : un Swifter génétiquement plus prolifique sera peu prolifique dans des conditions de sous-alimentation). C'est donc la valeur « a_i », valeur génétique de l'animal – et même plus exactement **valeur génétique additive de l'animal** –, que l'équation va permettre de déterminer. Pour cela, il sera nécessaire de mettre tous les animaux sur un pied d'égalité en corrigeant leurs performances brutes pour les effets des facteurs de l'environnement qui les influencent.*

Deux concepts importants vont pouvoir être calculés à partir de ces modèles mathématiques.

Le premier de ces concepts est l'**héritabilité d'un caractère** donné, à savoir la probabilité que la variabilité phénotypique d'un caractère soit transmise aux descendants. Autrement dit, cette héritabilité mesure la part de variance phénotypique relevant de la variance génotypique. Elle ne doit pas être confondue avec l'hérédité qui concerne la transmission des caractéristiques d'une génération à la suivante. Si l'hérédité ne dépend que du caractère mesuré, l'héritabilité, elle, dépend aussi d'autres paramètres. De ce fait, l'héritabilité estimée pour un caractère ne sera valable que pour une population donnée, des fréquences alléliques données, voir pour un milieu donné. **L'héritabilité définit donc à un moment donné et sur une population donnée la part respective des gènes et de l'environnement, de l'inné et de l'acquis.**

Le coefficient d'héritabilité est compris entre 0 et 1, 1 signifiant que le caractère est intégralement transmissible à la descendance, 0 signifiant qu'il ne l'est absolument pas et donc qu'aucune sélection ne sera possible. Un coefficient d'héritabilité compris entre ces deux extrêmes signifie que le caractère sera partiellement transmissible, des effets environnementaux influençant les performances observées. Un

coefficient égal à 1, soit l'absence totale de l'effet de l'environnement, n'est pas possible en pratique.

Le second concept émanant des modèles mathématiques est l'**index individuel** d'un animal, à savoir l'estimation de la performance de l'animal corrigée pour les effets de milieu, ou, autrement dit, l'estimation de sa **valeur génétique vraie**. Puisqu'il s'agit d'un calcul statistique, l'index n'est pas une certitude mais bien une estimation, une **prédiction**. Cet index ne peut donc être interprété sans faire référence à une mesure de la précision de cette prédiction (confiance/ fiabilité à lui accorder): c'est le **coefficient de détermination** (ou indice de fiabilité) qui l'accompagne. Ce coefficient est compris entre 0 et 1, 1 correspondant à une confiance absolue et 0 à une confiance nulle. On considèrera cette fiabilité comme forte si ce coefficient est de 0,7 ou plus. Ce coefficient de fiabilité reflète la quantité d'informations utilisée pour l'évaluation de l'animal : plus le nombre de performances utilisées pour l'estimation est grand, plus la fiabilité est élevée. Ce coefficient de fiabilité va donc évoluer dans le temps en fonction des informations complémentaires qui vont venir s'ajouter (performances des descendants,...). De même, l'index d'un animal ne sera pas constant dans le temps: il variera en fonction des performances des animaux qui lui sont apparentés ainsi qu'en fonction de la population de référence (*voir article de l'AWEOC, page 16*). En effet, l'index est une valeur utilisée pour classer un animal par rapport aux autres. **Ce n'est pas la valeur de l'index en elle-même qui est importante, c'est le classement par rapport aux autres animaux qui est important.**

Pour aboutir à ces estimations de valeurs génétiques, la **qualité de l'information** est primordiale ! Un maximum de paramètres doivent être connus et intégrés dans le modèle mathématique. Il s'agit entre autres :

- des **performances mesurées sur l'animal** (ex : gain quotidien moyen via les pesées, taux de prolificité via les déclarations de lutte et de naissance, cotations linéaires via les expertises, statut allélique au gène relatif à la résistance à la Tremblante via un typage moléculaire, autres performances spécifiques via un séjour en station de testage, etc.) ;
- des **performances mesurées sur les ascendants, descendants et collatéraux** (frères, sœurs,...) de l'animal. Les mesures ayant le plus de poids pour déterminer la va-

leur génétique d'un animal ne sont pas celles faites sur lui-même mais bien celles faites sur sa descendance ;

- des **généalogies** aussi précises et complètes que possibles pour pouvoir faire le lien entre les performances mesurées sur des animaux apparentés ;
- des **effets du milieu** : conditions climatiques, taille de la portée (y inclus les mort-nés), allaitement naturel ou artificiel, traitements hormonaux (éponges,...), etc.
- une population de **taille suffisante** (un nombre minimal d'animaux doit intégrer le système de mesures des performances, entre autres via l'inscription à un organisme de sélection) ;

Au vu de cette liste, on comprendra que c'est donc majoritairement l'éleveur, à travers les informations qu'il est seul à détenir au niveau de l'animal, qui est responsable de la qualité et de la véracité de l'index fourni pour sa race et ses animaux !

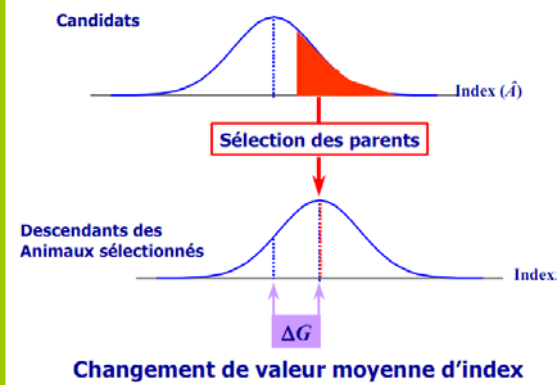
SANS INFORMATIONS SUFFISANTES, PRÉCISES ET PROFONDES (PEDIGREES COMPLETS), PAS D'INDEX - OU PAS D'INDEX PROBANT - ET DONC PAS DE SÉLECTION POSSIBLE SUR LES PARAMÈTRES D'ÉLEVAGE ! PENSEZ-Y LORSQUE VOUS REMPLISSEZ VOS DÉCLARATIONS DE LUTTES OU DE NAISSANCES (Y COMPRIS POUR LA MISE À JOUR DE L'INVENTAIRE : ANIMAUX MORTS, CÉDÉS), OU ENCORE LORS DU CONTRÔLE DES PERFORMANCES (PESÉES) QUI PERMETTRAIT DE DÉVELOPPER UN INDEX DE CROISSANCE ! L'INDEX EST AU SERVICE DU SÉLECTIONNEUR... MAIS LE SÉLECTIONNEUR DEVRAIT NE PAS OUBLIER ÊTRE AU SERVICE DE L'INDEX !

Le progrès génétique : avec ou sans BLUP ?

Voilà quelques pages que nous parlons « sélection »... mais au fait, c'est quoi exactement « sélectionner »... ?! Dixit Wikipédia, la sélection, c'est une conduite de reproduction visant à l'amélioration des performances zootechniques des animaux d'élevage à l'échelle d'un collectif animal (cheptel, race) et pas seulement au résultat exceptionnel d'un individu.

L'objectif premier de tout sélectionneur sera donc d'avoir une réponse à la sélection la plus efficace possible, soit une amélioration des performances choisies la plus forte possible ou, autrement dit, un **progrès génétique** le plus élevé possible. Pour ce faire, irréfutablement, l'**outil principal du sélection-**

FIGURE 2 - EFFET DE LA SÉLECTION SUR UNE GÉNÉRATION



Grâce au choix des parents génétiquement supérieurs à la moyenne via leurs index, la génération suivante sera en moyenne plus performante que leurs parents. On considérera généralement comme améliorateurs les 25% d'animaux présentant le meilleur index et comme fortement améliorateurs les 10 % d'animaux présentant le meilleur index.

neur sera l'**index** ! En effet, seul l'index permettra de **choisir les individus génétiquement supérieurs** de la population (figure 2). Comparées à l'index, les observations phénotypiques des performances présentent le double inconvénient primo, d'englober les effets des gènes et de l'environnement et, secundo, de ne se limiter à la comparaison que d'une franche restreinte de la population.

Attention, rappelons ici que l'index n'est pas un outil miracle...mais a plutôt pour fonction de donner une prédiction moyenne. Pour exemple, un bélier qui a un index de prolificité supérieur à la moyenne signifie que la majorité de ses filles seront génétiquement plus prolifiques que la moyenne de la race... mais cela n'exclut pas que certaines de ses filles auront un potentiel de prolificité génétiquement inférieur à la moyenne. Même avec un animal supérieur, il se peut que le descendant présente des performances médiocres, celles-ci étant à attribuer à la valeur génétique non additive et/ou à l'environnement.

Mais qu'en est-il **quand il n'y a pas d'index** pour orienter les choix du sélectionneur ? Les index ne sont en effet généralement pas disponibles pour tous les paramètres... Prenons le cas de la Wallonie : seul un index de prolificité est évalué...et que pour 4 races... Quid pour tous les autres animaux ? Et pour les autres paramètres ? Doit-on pour autant abandonner l'idée de faire de la sélection sur le rendement en carcasse ou quand on a des Swifter ?! OUI et NON...tout ça étant avant tout une histoire d'héritabilité !

Souvenez-vous... il y a quelques lignes... l'héritabilité... cette notion permettant de faire la part entre l'inné et l'acquis, entre les gènes et l'environnement pour un caractère donné. Repartons de sa définition... : si un caractère a une **forte héritabilité** ($> 0,4$), cela signifie qu'une part importante des performances observées pour ce caractère

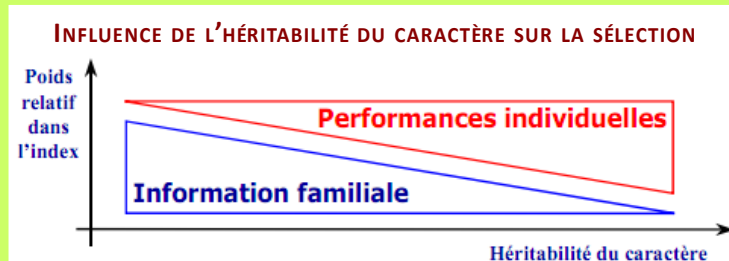
est d'origine génétique. L'éleveur pourra alors se risquer à la **sélection individuelle** : en choisissant une bonne femelle sur ses performances propres, il aura peu de chance de se tromper. C'est par exemple le cas de la longueur de dos.

Par contre, si un caractère présente une **faible héritabilité** ($< 0,2$), les performances observées sont fortement influencées par le milieu. Et en choisissant un animal sur base de ses performances et non sur base de son index,

l'éleveur peut commettre de 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 (= prise en compte des seules performances de l'individu) est dans ce cas hasardeuse et peu efficace. C'est pourquoi la sélection sur un tel caractère – *par exemple la prolificité* – doit idéalement passer par un **index** (*par exemple index de prolificité*) !

De manière générale – index ou non -, plus un caractère est héritable, plus la sélection sera efficace ! Concrètement, les caractères associés à la reproduction et à la survie ont des héritabilités généralement basses, les caractères ayant trait à la production laitière et à la taille corporelle précoce ont des héritabilités généralement moyennes, et la taille corporelle à l'âge adulte ainsi que certains caractères affectant la qualité de la production ont des héritabilités généralement élevées.

En l'absence d'index, même face à un caractère à



Plus l'héritabilité du caractère est forte, plus les performances propres de l'animal reflètent sa valeur génétique et plus il sera envisageable de se passer de l'index pour sélectionner les animaux génétiquement supérieurs.

**VALEURS INDICATIVES D'HÉRITABILITÉ
POUR L'ESPÈCE OVINE**

Caractère	Héritabilité
Taux de prolificité	0,10
Viabilité agneaux	0,10
Age au premier	0,10
[IgG1] colostrum	0,19
Poids à la naissance	0,20
GMQ 10 – 30 jours	0,20
Valeur laitière	0,15 à 0,20
Indice de consommation	0,20 – 0,30
Etat d'engraissement	0,30
Conformation	0,30
Proportion de muscle	0,40
Longueur carcasse	0,50
Surface de noix de côte	0,60
Finesse de la laine	0,65

forte héritabilité, la sélection sur ascendance ou descendance est plus appropriée que la sélection individuelle.

Quand le poids de la performance de l'animal vaut 1, le poids de celle de ses parents vaut 0,5 et le poids de celle de ses filles et fils vaut 2 ! Cette remarque est d'autant plus importante que l'héritabilité du caractère décroît.

En l'absence d'index et face à un caractère à très faible héritabilité, le sélectionneur devra simplement veiller à ne pas détériorer la valeur génétique (ex : fertilité) mais ne pourra pas réellement sélectionner pour ce caractère.

UNE MÈRE DONNANT SYSTÉMATIQUEMENT 2 AGNEAUX PAR PORTÉE EST-ELLE PROLIFIQUE ? LE OUI EST TOUT AUSSI PROBABLE QUE LE NON...LES CONDITIONS D'ÉLEVAGE INFLUENÇANT D'AVANTAGE LA PROLIFICITÉ QUE LA GÉNÉTIQUE !

SÉLECTIONNER DES APTITUDES À LA REPRODUCTION (VIABILITÉ, FERTILITÉ, PROLIFICITÉ,...) NÉCESSITE DE PASSER PAR UN INDEX !

1^{er} prix : index de prolificité !

Aujourd'hui, au niveau wallon, seul un index de prolificité est évalué... Et au niveau français, seul l'index de prolificité est disponible pour tous (voir article page 19). Pourquoi cet index de prolificité en premier lieu et non un index portant sur un autre paramètre ?

Bien sûr, les informations relatives à cet index sont parmi les plus faciles à collecter... les seules déclarations de luttés et de naissances correctement complétées suffisent... ce qui est loin d'être le cas pour de nombreux autres paramètres. Pensons par exemple à l'épaisseur de la peau qui ne pourrait être mesurée objectivement que post-mortem !

Mais si cet index de prolificité intéresse tant le

monde de l'élevage, c'est peut-être également pour d'autres raisons... De fait, la sélection en élevage de rente tend avant tout à la recherche de l'optimum économique. Et il se fait que la prolificité est un **déterminant significatif du revenu** de l'éleveur ! A en croire les français, le facteur ayant le plus fort impact sur la marge brute d'une exploitation ovine est ... la **productivité numérique** par brebis ! Ceci bien avant le prix payé au kilo de carcasse ou encore le coût des aliments ! Et cette productivité numérique - soit le nombre d'agneaux produits (vente et agnelles de renouvellement) - est évidemment étroitement liée à la prolificité - soit le nombre d'agneaux nés (vivants et morts) par brebis -. Outre la prolificité, les deux autres composantes de la productivité numérique sont le taux de fertilité des mères et le taux de mortalité des agneaux.

Aussi, n'oublions pas que la prolificité affiche une héritabilité très faible... Et que la sélection sur ce paramètre primordial est donc quasi impossible sans l'aide de l'index... ce qui n'est pas aussi vrai pour d'autres paramètres non négligeables tels que la conformation de l'animal.

Toutefois, la prolificité n'est pas le seul caractère faisant l'objet d'un index « de routine » chez nos voisins français. Si leur premier objectif économique de la sélection est l'amélioration des valeurs d'élevage évaluées à travers l'index de prolificité, leur second objectif économique sera la réduction des charges alimentaires et leur troisième l'amélioration des qualités de carcasse. La recherche de la **réduction des charges alimentaires** sera atteinte à travers l'**index PAT 30** (« Poids à Âge Type à 30 jours »), un agneau « bien démarré » se finissant mieux et plus vite, et donc à moindre coût de concentrés. Ce poids à 30 jours sera fonction du poids à la naissance et du potentiel de croissance de l'agneau, soit des **qualités maternelles** de la brebis. Quant au troisième objectif portant sur les **qualités de la carcasse**, il se concrétisera à travers l'**index PAT 70** (« Poids à Âge Type à 70 jours »). Ce poids à 70 jours permettra également de juger des performances apportées par le père.

LE CONTRÔLE DES PERFORMANCES (E.A. PESÉES) EST UN PRÉ-AMBULE INDISPENSABLE À LA SÉLECTION GÉNÉTIQUE DES ANIMAUX POUR LEURS QUALITÉS MATERNELLES AINSI QUE POUR LE POTENTIEL DE CROISSANCE DES AGNEAUX.

Par ailleurs, comme en élevage bovin, l'élevage

ovin voit aujourd'hui se développer des index synthétiques. Tel est l'exemple de l'index expérimental développé pour la race Blanche du Massif Central, première race ovine française allaitante en termes d'effectifs. Cet index synthétique a pour objectif d'améliorer la marge brute de l'atelier ovin. Il est d'ailleurs exprimé en euros (gain marginal par femelle) ! La construction de cet index prend en compte le poids économique de chacun des critères influençant la rentabilité de l'exploitation (*figure 3*) ainsi que l'héritabilité de ceux-ci. Le résultat est donné par la formule :

$$IS (\text{€}) = 50,1 \times \text{Index proliféricité} + 0,13 \times \text{Index PAT 30}$$

La génétique pour l'éleveur, mode d'emploi...

Faire de la génétique pour l'éleveur, c'est avant tout chercher à améliorer les performances de son troupeau et donc les résultats économiques de son exploitation. **La génétique devrait donc concerner tout éleveur !** A titre d'exemple, pour une troupe de 200 mères, un gain de +0,15 en productivité devrait mener à un gain de marge brute de 1570 €.

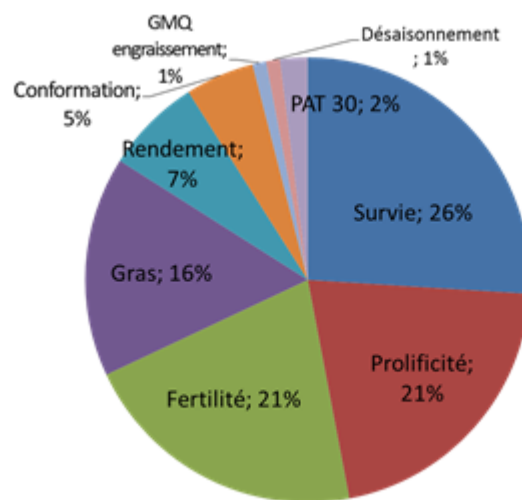
S'impliquer dans la génétique de sa race pour l'éleveur, cela commence lorsqu'il remplit ses déclarations de luttés et de naissances ou lorsqu'il intègre un système de pesées des agneaux ou de contrôle laitier,...

Mais au-delà de ces déclarations, que peut-on appliquer au quotidien au niveau de son exploitation ?

Primo, **pensez index** ! Oui, l'index, ça fonctionne bien davantage que la consultation des carnets d'élevage ou que les résultats de concours... pour autant que la qualité de l'information fournie pour calculer cet index suive. L'éleveur doit donc d'abord être responsable face aux informations qu'il transmet et face aux contrôles des performances auxquels il participe ou devrait participer. Rappelons que chez nous, ces index se limitent à la proliféricité et ce pour seulement 4 races (Suffolk, Texel, Bleu du Maine et Hampshire). Qu'on intègre ou non un organisme de sélection (e.a. l'AWEOC), choisir des reproducteurs qualifiés et indexés mérite réflexion.

Secundo, **pensez carnet d'élevage**... ou plutôt, à notre époque, outil informatique de gestion de troupeaux, ce qui peut passer par un logiciel spécifique complexe mais aussi par un simple tableur Excel. **Enregistrer** autant qu'il se peut les **performances** et les **observations** (croissance, proliféricité, maladies,

FIGURE 3 - PONDÉRATION DES CARACTÈRES INTERVENANT DANS L'INDEX SYNTHÉTIQUE EN FONCTION DE LEUR POIDS ÉCONOMIQUE DANS LA MARGE BRUTE DE L'ATELIER OVIN.



verminoses, difficultés à l'agnelage, etc.), en relation avec les liens de parenté. A défaut de participer au système de pesées officiel, rien ne vous empêche de peser vos agneaux à 30 jours et à 70 jours. Outre les informations fournies sur les qualités maternelles de la brebis, la pesée à 30 jours est très utile pour établir une conduite par lots.

Tertio, **pensez descendance** ! Quand le poids de la performance de l'animal vaut 1, le poids de celle de ses parents vaut 0,5 et le poids de celle de ses filles et fils vaut 2 ! Jugez donc un animal avant tout sur base de sa descendance.

Dernièrement, **ce qui est vrai chez soi n'est pas vrai chez le voisin**... Les performances observées au sein de son cheptel sont, en général, soumises à des conditions environnementales assez homogènes. Grossièrement dit, on peut donc supposer que les différences phénotypiques observées au sein de son propre troupeau sont davantage à attribuer à des différences génétiques qu'à l'environnement, ce dernier étant semblable pour tous. Un choix des reproducteurs au sein de son troupeau sur base des performances observées peut donc se raisonner. Evidemment, ceci n'est absolument plus vrai lorsqu'on compare les performances de ses animaux à celles des animaux d'un autre élevage...le seul choix objectif des reproducteurs nous ramène alors...aux index !

CE SUJET FÛT L'OBJET D'UNE CONFÉRENCE DONNÉE PAR LA FICOW À L'AHPSO EN NOVEMBRE 2012. LA FICOW EST À LA DISPOSITION DE CES MEMBRES POUR DONNER DES CONFÉRENCES SUR CE THÈME OU D'AUTRES. PENSEZ-Y LORS DE L'ORGANISATION DE VOS ÉVÈNEMENTS !