

Section D

Méthodes d'amélioration génétique en vue d'une utilisation durable

1 Introduction

Cette section présente une vue d'ensemble des méthodes d'amélioration génétique pour une utilisation durable des ressources zoogénétiques. Le premier chapitre décrit les contextes favorables à l'amélioration génétique. Les questions sociales et économiques étant amplement présentées dans d'autres parties du Rapport, elles sont ici décrites de façon succincte, tandis que le cadre scientifique et technologique est abordé de manière plus détaillée. Le deuxième chapitre décrit les stratégies de sélection pour l'amélioration génétique et les éléments des programmes d'élevage en race pure. Ces éléments impliquent la planification, la mise en œuvre et l'évaluation et constituent un processus continu et interactif. Les programmes de sélection pour les principales espèces d'animaux d'élevage dans les systèmes à haute intensité d'intrants sont ensuite examinés et incluent non seulement une description des objectifs de sélection et des caractères à la base des critères de sélection, mais également l'organisation et l'évolution du secteur de l'élevage. On présente ensuite une description des stratégies de sélection des systèmes à faible intensité d'intrants et des stratégies utilisées dans le cadre de la conservation des races. Cette distinction est quelque peu artificielle car les situations et les stratégies parfois se chevauchent. Au dernier chapitre, on tire enfin des conclusions d'ordre général.

2 Le contexte favorable à l'amélioration génétique

L'amélioration génétique implique des changements. Pour qu'un changement soit une amélioration, les effets globaux du changement doivent apporter des avantages aux propriétaires des animaux concernés ou à la communauté des propriétaires. De plus, pour avoir une amélioration, les effets du changement devraient entraîner des avantages à court et à long terme ou, du moins, un avantage à court terme ne devrait pas avoir comme résultat un dommage à long terme. Il est ainsi fondamental que la planification des programmes d'amélioration génétique fasse très attention aux cadres sociaux, économiques et environnementaux où les programmes sont mis en œuvre. Ceci peut mieux se faire en intégrant ces programmes aux plans nationaux de développement de l'élevage qui devraient établir les grands objectifs de développement afférant à chaque environnement de production.

2.1 Changements de la demande

Traditionnellement, la sélection des animaux d'élevage n'intéressait que pour quelques professionnels: les employés des entreprises de sélection, les fermiers et certains zootechniciens. Cependant, la production alimentaire, auparavant l'affaire des producteurs, est à présent influencée par les consommateurs dont, dans de nombreux pays, la confiance dans l'industrie de l'élevage s'est effondrée (Lamb, 2001). Les doutes sur la qualité et la sécurité sanitaire des produits d'origine animale se sont aggravés au cours des

PARTIE 4

dernières années à cause des différentes crises: l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB), la dioxine et, plus récemment, la grippe aviaire hautement pathogène (HPAI). Le bien-être animal est également devenu un élément important de la perception des consommateurs de la qualité des produits, surtout en Europe (produits biologiques et animaux élevés en plein air). En même temps, la plupart des consommateurs sont moins liés au terroir et moins au courant des questions liées à l'agriculture. La demande en production «naturelle» est en hausse, mais elle n'est pas souvent accompagnée d'une compréhension claire de ce que ceci implique.

2.2 Différents environnements de production

Les systèmes durables de production doivent s'adapter aux conditions physiques, sociales et commerciales. Pour les organisations de sélection, la question est de savoir s'il faut diversifier les objectifs de sélection ou sélectionner des animaux qui s'adaptent à une vaste gamme d'environnements (environnement physique, système de gestion et conditions du marché). Cependant, seulement une compréhension limitée de la génétique sous-jacente à l'adaptation phénotypique à l'environnement a été atteinte à ce jour.

2.3 Reconnaissance accrue de l'importance de la diversité génétique

Pour améliorer les caractères d'intérêt, la sélection utilise la variabilité au sein et entre les populations. La diversité génétique est très importante pour satisfaire les besoins présents, mais elle est encore plus importante pour la satisfaction des besoins futurs. Par exemple, si l'attention passe des systèmes de production à forte intensité d'intrants aux systèmes à faible intensité d'intrants, ceci favorisera différentes races et différentes caractéristiques intraraciales. De façon générale, l'importance de plus en plus consacrée à certains facteurs, comme le bien-être animal, la protection de l'environnement, la

qualité spécifique des produits, la santé humaine et le changement climatique, demandera une plus vaste gamme de critères à inclure aux programmes de sélection. Ces critères sont souvent satisfaits par les races locales. Il est ainsi probable que les stratégies les plus appropriées pour la gestion de ces races ne puissent impliquer qu'un changement génétique limité. Par exemple, il serait sage de maintenir les caractères d'adaptation aux défis de l'environnement local et des maladies – et même maintenir le niveau d'un caractère de production, comme la taille ou la production laitière, si ce caractère se trouve au niveau, ou près du niveau, optimal.

2.4 Avancées scientifiques et technologiques

Evolutions des méthodes d'amélioration génétique

Génétique quantitative

Un programme de sélection vise à atteindre l'objectif de sélection par la sélection des animaux qui produiront la génération successive. L'objectif de sélection reflète les caractères que l'éleveur veut améliorer par la sélection. Le taux d'amélioration génétique (ΔG) par rapport à l'objectif de sélection (et aux caractères sous-jacents) dépend de la quantité de variabilité génétique dans la population, la précision des critères de sélection, l'intensité de la sélection et l'intervalle de générations.

Le maintien de la variation génétique est une condition nécessaire pour l'amélioration génétique continue. La variation génétique est réduite par la dérive génétique et accrue par la mutation. Par conséquent, la taille minimale de la population nécessaire pour maintenir la variation génétique est fonction du taux de mutation. (Hill, 2000). Les expériences de sélection sur les animaux de laboratoire ont montré que des progrès substantiels peuvent se maintenir sur de nombreuses générations, même chez des populations ayant une taille effective nettement inférieure à 100, mais que

les réponses augmentent avec la taille de la population (ibid.).

La perte de variation génétique dans une race est liée au taux de consanguinité (ΔF). En l'absence de sélection, ΔF est directement lié au nombre des reproducteurs. Pour les populations soumises à la sélection, cette hypothèse n'est plus valable parce que les parents apportent une contribution inégale à la génération suivante. Une théorie générale pour prévoir les taux de consanguinité des populations soumises à la sélection a été récemment élaborée (Woolliams *et al.*, 1999; Woolliams et Bijma, 2000). Cette approche favorise une optimisation déterministique des réponses à court et à long terme des programmes de sélection.

La recherche sur l'optimisation des programmes de sélection s'est concentrée au début sur le gain génétique, sans prêter beaucoup d'attention à la consanguinité. Il est maintenant reconnu que restreindre la consanguinité est un élément important des programmes de sélection. Meuwissen (1997) a développé un outil de sélection dynamique qui optimise le gain génétique tout en limitant le taux de consanguinité. A partir d'un ensemble de candidats à la sélection, la méthode prévoit la sélection d'un groupe de parents dont la valeur génétique est maximisée tandis que le coefficient moyen d'apparentement est restreint. La mise en œuvre de cette méthode produit un programme de sélection dynamique dans lequel le nombre de parents et le nombre de descendants par parent peuvent varier selon les candidats disponibles dans une génération particulière.

La précision de la sélection dépend en grande partie de la qualité et de la quantité des contrôles de performances disponibles. L'amélioration génétique peut se faire uniquement si la performance et la généalogie sont enregistrées. Sur la base de ces observations, la valeur génétique d'un sujet est prédite et les animaux ayant la plus haute valeur prédite peuvent être sélectionnés en tant que parents.

Il est établi que la méthode de choix pour l'évaluation génétique des caractères linéaires (par exemple, la production laitière et d'œufs,

la taille et l'efficacité alimentaire) est le meilleur prédicteur linéaire non biaisé basé sur un modèle animal (BLUP-AM) (Simianer, 1994). Grâce au développement d'algorithmes et de logiciels, cette méthode est utilisée de nos jours habituellement par les entreprises de sélection ou les programmes de sélection nationaux dans la plupart des pays et pour la plupart des espèces. Les limitations des modèles uni-caractère ont entraîné l'élaboration d'évaluations BLUP-AM multi-caractères basées sur des modèles sophistiqués (incluant, par exemple, les effets maternels, les interactions entre troupeau et père ou les effets de dominance). Ceci a été largement facilité par la plus forte puissance des ordinateurs et les avancées majeures dans les méthodes de calcul. La tendance est aujourd'hui d'utiliser toutes les informations disponibles, y compris les registres des performances journalières, les registres des animaux croisés et une vaste distribution géographique (à travers les pays). Les difficultés considérables associées à l'utilisation de modèles toujours plus complexes sont le manque de robustesse (surtout lorsque la taille de la population est faible) et les problèmes de calcul. A présent, le défi auquel on se confronte est l'élaboration d'outils pour valider systématiquement les modèles utilisés.

La méthode BLUP est optimale uniquement si les paramètres génétiques sont connus. Les méthodes d'estimation non biaisée des composants de la variance (hétérogène) avec des fichiers de données considérables ont été élaborées. Le maximum de vraisemblance restreinte (REML) appliquée au modèle animal est la méthode de choix. Certains caractères importants ne sont pas décrits de façon correcte par les méthodes linéaires (par ex. les caractères basés sur le pointage et la survie). Une grande variété de modèles mixtes non linéaires ont été par conséquent proposés: modèles à seuil, de survie, basés sur le rang, de Poisson, etc. Cependant, les avantages de l'utilisation de ces modèles non linéaires sont encore à prouver.

L'intensité de sélection reflète la proportion d'animaux nécessaires en tant que parents pour la génération suivante. Les capacités et les techniques de reproduction ont une influence

PARTIE 4

importante sur le nombre de parents nécessaires pour la production de la génération suivante et, par conséquent, sur le taux d'amélioration génétique. Pour les volailles, la capacité reproductive élevée implique qu'environ 2 et 10 pour cent des candidats mâles et femelles, respectivement, sont retenus comme parents. Pour les bovins, l'introduction de l'insémination artificielle a entraîné une énorme réduction du nombre de pères. Pour les bovins laitiers et à viande, les taureaux utilisés pour l'IA et les vaches ayant une valeur génétique élevée sont les animaux du noyau de sélection et forment moins de 1 pour cent de la population entière.

L'intervalle de générations est le temps moyen entre deux générations. Pour la plupart des populations, un nombre de groupes d'âges peuvent se distinguer. La quantité d'information disponible change selon les groupes. Généralement, les informations sont moindres pour les groupes d'âges plus jeunes que pour les groupes plus âgés. Par conséquent, la précision des estimations des valeurs génétiques est inférieure pour les générations plus jeunes. Cependant, le niveau moyen de la valeur génétique estimée (VGE) des groupes d'âges jeunes est plus élevé que celui des groupes plus âgés à cause de l'amélioration génétique continue de la population. La sélection à travers les différents groupes d'âges est donc recommandée pour obtenir le différentiel de sélection le plus élevé (James, 1972). La fraction d'animaux sélectionnés de chaque groupe d'âges dépend des différences de précision de la VGE entre les groupes d'âges (Ducrocq et Quaas, 1988; Bijma *et al.*, 2001). L'utilisation des technologies de la reproduction peut accroître les informations disponibles sur la fratrie et, par conséquent, accroître l'exactitude de la VGE des groupes d'âges plus jeunes (van Arendonk et Bijma, 2003). Ceci changera la proportion de parents sélectionnés des groupes d'âges plus jeunes et influencera également l'intervalle moyen de générations. Ainsi, l'intervalle de générations est principalement le résultat de la sélection entre les groupes d'âges disponibles.

Génétique moléculaire

La génétique moléculaire appliquée aux animaux d'élevage a été largement étudiée au cours des 20 dernières années. Ces études font référence à la sélection, basée sur les gènes, des caractères mendéliens (principalement maladies et défauts génétiques), à la sélection assistée par marqueurs et à l'introgression. Les informations moléculaires sont de plus en plus utilisées pour assister les programmes de conservation raciale et améliorer la compréhension des origines et de la domestication des animaux d'élevage.

Sélection basée sur les gènes. La connaissance croissante du génome des animaux accroît les perspectives d'application de cette technique et fournit de nouveaux outils pour sélectionner les animaux sains. Les premières applications sont liées aux caractères mendéliens. Pour les bovins par exemple, le diagnostic de l'ADN est utilisé habituellement pour éliminer les troubles génétiques, comme la déficience d'adhésion des leucocytes chez les bovins (BLAD), la déficience de synthèse d'uridine monophosphate (DUMPS) et la malformation vertébrale complexe (CVM) ainsi que pour la sélection de caractères comme la caséine-kappa du lait et l'hyperplasie musculaire.

Pour les porcs, le gène le plus connu qui a été jusqu'à présent utilisé dans la sélection commerciale est le gène «halothane». On savait qu'un certain nombre de porcs ne pouvaient pas gérer les situations stressantes (par ex. le transport à l'abattoir). Un gène (récessif) – une mutation naturelle, appelée gène «halothane» – a été reconnu comme responsable de ce défaut. En utilisant le test ADN pour savoir si un porc possède la «forme sensible» du gène, il a été possible d'éliminer complètement ce gène de plusieurs races (Fuji *et al.*, 1991).

La tremblante, la maladie à prion des moutons, est la forme naturelle la plus commune des encéphalopathies spongiformes transmissibles, un groupe de maladies qui inclut également la maladie de Creutzfeldt-Jakob chez les humains et l'encéphalopathie spongiforme bovine chez les bovins. La sensibilité génétique à la tremblante est fortement modulée par les variations

alléliques sur trois codons du gène de mouton PrP (Hunter, 1997). La sélection pour la résistance à la tremblante a par conséquent été considérée une option attrayante pour le contrôle de cette maladie (Dawson *et al.*, 1998; Smits *et al.*, 2000). Ceci peut se faire par la sélection de l'allèle associé au plus haut degré de résistance à la tremblante (l'allèle ARR). Comme il a été décrit à la partie 1 – section F: 4, les programmes de sélection visant à éliminer la tremblante peuvent représenter une menace pour les races rares avec une fréquence basse de génotype résistant.

Sélection assistée par marqueurs. Les caractères les plus importants économiquement en production animale sont de nature quantitative et sont affectés par un grand nombre de gènes (loci), dont quelques-uns ont des effets majeurs et la plupart ont des effets faibles (Le Roy *et al.*, 1990; Andersson *et al.*, 1994). Si un gène (locus) ayant un effet majeur peut être identifié et si un test moléculaire peut être conçu, les génotypes des animaux au locus peuvent être utilisés pour la sélection. Dans d'autres cas, une région chromosomique proche du gène d'intérêt peut être identifiée et utilisée en tant que marqueur.

Les modèles mixtes d'hérédité, qui assument un ou plusieurs loci ségrégants identifiés, et une composante additionnelle polygénique ont été élaborés. Si les génotypes à chaque locus identifié sont connus, ils peuvent être traités comme des effets fixes dans un modèle mixte (Kennedy *et al.*, 1992). Si seuls les génotypes aux marqueurs liés sont connus, l'incertitude résultant des haplotypes inconnus et des événements de recombinaison doit être prise en considération (Fernando et Grossman, 1989).

Un gain génétique additionnel est à espérer si les informations sur les gènes ayant des effets moyens à élevés sont incluses au processus d'évaluation génétique. De nombreuses études ont examiné ce problème au cours des dernières années. Les résultats ne sont pas toujours comparables parce que les critères de sélection sont différents selon les études (d'un index basé sur l'information individuelle à un index basé sur le modèle animal), mais tous indiquent que

la connaissance des génotypes au niveau des loci à effets quantitatifs généralement améliore la réponse à court terme en matière de sélection (Larzul *et al.*, 1997). En revanche, quelques divergences ont été observées pour la réponse à long terme à la sélection – voir Larzul *et al.* (1997). Dans les situations moins favorables où seulement les génotypes au niveau des marqueurs liés sont connus, les résultats dépendent en grande partie de circonstances particulières. On peut s'attendre à des gains considérables lorsqu'un déséquilibre de liaison existe au niveau de la population (Lande et Thompson, 1990), et lorsque les caractères sont difficiles à mesurer (par ex. la résistance aux maladies), sont limités au sexe (par ex. les caractères liés à la production d'œufs ou de lait), exprimés tard au cours de la vie des animaux (par ex. la longévité et la persistance de la taille de la portée) ou mesurés après l'abattage (par ex. les caractères liés à la qualité de la viande). Dans d'autres cas, l'avantage de la sélection assistée par marqueurs peut être discutable.

Les gènes au niveau du même locus ou de différents loci interagissent et produisent un effet phénotypique. On sait rarement comment cela se produit. Lorsque, par l'utilisation de modèles statistiques, un effet apparent est assigné à un gène particulier, cette interaction n'est pas prise en compte. Ceci explique, du moins en partie, pourquoi même lorsque les gènes ayant des effets majeurs sont identifiés, leur intégration (ou de leurs marqueurs) à un programme de sélection ne produit pas toujours les résultats souhaités. A cause de ces interactions, on constate souvent un manque apparent de cohérence entre les différentes études sur l'utilisation des marqueurs génétiques (Rocha *et al.*, 1998). Pour évaluer correctement un gène, l'effet moyen sur les possibles génotypes de la population à laquelle les informations doivent s'appliquer (selon leurs fréquences) doit être pris en considération.

L'introgression est recommandée principalement pour améliorer la résistance aux maladies d'une population donnée. Si les marqueurs pour les gènes de la résistance (ou la sonde pour le gène) sont disponibles, la

PARTIE 4

sélection assistée par marqueurs peut être utilisée pour simplifier le processus d'introgression. Dekkers et Hospital (2002) abordent l'usage de rétrocroisements répétés pour l'introgression d'un gène dans une population. Si la race non résistante est considérée la race receveuse et la race qui possède le gène de la résistance est considérée la race donatrice, l'introgression d'un gène désiré de la race donatrice à la race receveuse est accomplie par des rétrocroisements multiples vers la race receveuse, suivis par une ou plus générations d'intercroisements. Le but des générations rétrocroisées est de générer des individus ayant une copie du gène d'un donneur, mais similaires à la race receveuse pour le reste du génome. Le but de la phase d'intercroisement est de fixer le gène du donneur. L'information sur les marqueurs améliore l'efficacité de la phase de rétrocroisement des stratégies d'introgression des gènes par l'identification des porteurs du gène cible (sélection de premier plan) et par l'amélioration de la reprise du fond génétique du receveur (sélection d'arrière-plan). Généralement, il est plus faisable et économiquement sensé d'accoupler, dans des générations successives, les femelles de la race receveuse avec les mâles croisés qui ont le gène souhaité, plutôt que d'entreprendre le processus inverse.

Si le gène de la résistance est dominant, son introgression dans une population peut être efficace même sans marqueur moléculaire pour le gène. Si le gène de la résistance est récessif (ou codominant), les marqueurs sont nécessaires. Dans les cas de résistance polygénique, l'introgression sans marqueurs génétiques n'est probablement pas efficace; au moment où l'influence génétique de la race donatrice est suffisamment élevée pour donner de hauts niveaux de résistance, les caractéristiques souhaitées de la race receveuse seront probablement déjà perdues. En fait, le développement d'une race composée serait plus facile que l'introgression de nombreux gènes dans une race receveuse par le biais du rétrocroisement, même si les marqueurs génétiques sont disponibles. Hanotte et al. (2003) ont dressé une carte des QTL affectant la trypanotolérance dans

un croisement entre la race «tolérante» de N'dama et la race «non tolérante» Boran. Les résultats ont indiqué que pour certains QTL putatifs associés à la trypanotolérance, l'allèle associé à la tolérance provenait de la race non tolérante. Il a été conclu que «la sélection pour la trypanotolérance dans un croisement F2 entre les bovins N'dama et Boran peut produire une race synthétique ayant de plus hauts niveaux de trypanotolérance que ceux qui existent à présent chez les races parentales».

Théoriquement, l'introgression par le biais de la sélection assistée par marqueurs pourrait s'accomplir même sans l'exposition à l'agent de la maladie. Il est toutefois raisonnable de tester la résistance des animaux avec le génotype souhaité.

La caractérisation moléculaire de la diversité génétique est utile pour la planification des programmes de conservation et pour la compréhension de l'origine et de la domestication des espèces d'animaux d'élevage. Une meilleure connaissance de la variation génomique, avec l'élaboration de nouvelles méthodes génétiques quantitatives, peut fournir les moyens de lier les informations sur les marqueurs à la variation fonctionnelle. Par exemple, la combinaison de méthodes moléculaires et d'analyse généalogique a été utilisée pour estimer le niveau de diversité génétique des populations fondatrices des chevaux pur sang (Cunningham et al., 2001).

Evolutions des technologies de la reproduction
 La technologie de la reproduction a un effet direct sur le taux d'amélioration génétique. Pour une taille de population donnée, un taux de reproduction plus élevé implique un nombre moindre d'animaux reproducteurs et, par conséquent, une plus haute intensité de sélection. Un plus grand nombre de descendants par reproducteur favorisent également une estimation plus précise des valeurs génétiques. Un autre avantage de l'accroissement des taux de reproduction est la diffusion plus rapide du matériel génétique supérieur.

Les technologies de la reproduction étant présentées de façon extensive dans d'autres

sections du présent Rapport, ce chapitre se concentre uniquement sur l'utilisation de l'IA et de l'ovulation multiple et le transfert embryonnaire (MOET) et présente simplement une description concise des autres techniques.

Insémination artificielle. L'utilisation de l'IA comme résultat une intensité de sélection plus élevée, une sélection plus précise des mâles basée sur le test sur la descendance et une estimation plus précise de la valeur génétique à travers les troupeaux. Ceci est le résultat de l'échange de sperme entre différents troupeaux permettant l'établissement de liens génétiques entre eux. L'IA est utilisée par les organisations de sélection pour la plupart des espèces. Pour les espèces, comme les bovins, qui possèdent des taux de reproduction faibles, le test sur descendance, basé sur l'IA, est une condition préalable pour obtenir une estimation précise des valeurs génétiques pour les caractères à faible héritabilité, comme les caractères fonctionnels. L'IA favorise la diffusion rapide de la supériorité génétique dans la population commerciale. Entre 60 et 80 pour cent de toutes les IA sont faites chez les bovins. Un mâle supérieur peut avoir des milliers de descendants dans des différentes populations de par le monde.

L'IA requiert la disponibilité de compétences techniques auprès des centres d'IA et dans les exploitations, et de moyens de communication efficaces entre ces deux intervenants. Cependant, dans de nombreux pays, la plupart des producteurs sont des petits fermiers et les compétences et les installations sont probablement inadéquates pour la mise en place d'opérations réussies d'IA. Le fermier doit être en mesure de détecter les chaleurs et de contacter le centre de distribution du sperme qui, à son tour, doit être en mesure d'intervenir en quelques heures. Pour les systèmes de production extensive, il s'agit là d'un processus à forte intensité de main-d'œuvre. Par conséquent, l'IA n'est probablement pas utilisable dans les systèmes à pâturage extensif pour la production de bovins à viande. De façon semblable, l'IA est difficile à mettre en place pour les moutons, et l'accouplement naturel utilisant des mâles

supérieurs est encore le moyen dominant de diffusion de l'amélioration génétique.

L'utilisation de l'IA affecte la structure de propriété du secteur de la sélection. Là où l'IA est utilisée, la propriété des reproducteurs est souvent transférée aux plus grandes organisations de sélection, comme les coopératives ou les entreprises de sélection du secteur privé. Au cours des 20 dernières années dans les pays développés, les centres d'IA ont été responsables de l'identification des jeunes taureaux pour le test sur la descendance et la commercialisation du sperme provenant des reproducteurs reconnus.

Ovulation multiple et transfert embryonnaire. L'accroissement du taux de reproduction des femelles par la MOET est principalement utile pour les espèces ayant des taux faibles de reproduction, comme les bovins. Les avantages sont une intensité de sélection plus élevée chez les femelles et une estimation plus précise des valeurs génétiques. Comme les tailles des familles sont plus élargies, il y a plus d'informations disponibles sur la fratrie, ce qui favorise l'obtention de valeurs génétiques raisonnablement fiables à un âge plus jeune, surtout lorsque les caractères sont enregistrés uniquement pour un sexe (femelle). En pratique, ceci signifie qu'il n'est pas nécessaire d'attendre le test sur descendance pour sélectionner les mâles – ils peuvent être choisis à un âge plus jeune en se basant sur les informations relatives à leurs demi-sœurs. Le gain obtenu dans l'intervalle de générations est considérable et compense la perte de précision de la sélection résultant du remplacement du test sur descendance par un test de frères-sœurs. La capacité de sélection à un âge jeune, même parmi les embryons, est la raison principale de l'application de la MOET à la sélection des porcs. Le transfert embryonnaire est également utilisé pour diffuser les gènes désirables des femelles supérieures avec un risque moindre de maladies, car les animaux ne doivent pas être transportés.

La MOET est coûteuse et demande des compétences techniques hautement développées. La difficulté logistique consiste dans le fait qu'au moment du transfert embryonnaire, il faut avoir

PARTIE 4

à disposition un groupe de vaches receveuses synchronisées, ce qui peut se faire uniquement chez les grands troupeaux fondateurs centralisés. Dans de nombreux cas, il vaudrait mieux investir les ressources dans des conditions préalables plus basiques – contrôle des performances et des caractères, extension et diffusion. Ceci est d'autant plus vrai car la MOET semble moins efficace de l'IA pour ce qui est de l'amélioration des progrès génétiques. Dans tous les cas, l'introduction de l'IA et/ou de la MOET doit être rentable et acceptée par les fermiers locaux.

La congélation du sperme et des embryons donne aux organisations de sélection la possibilité de créer des banques de gènes en tant que stockages de secours de la diversité génétique dans les programmes de sélection. De plus, la cryoconservation des gamètes et des embryons facilite l'échange et le transport internationaux du matériel génétique des ruminants et est une condition préalable pour une utilisation habituelle de l'IA et du TE à l'échelle mondiale.

Le clonage (cellules somatiques) est une nouvelle technologie qui n'est pas utilisée au niveau commercial, en partie pour des raisons techniques et économiques, en partie à cause du refus du public pour ce genre de développements. Le clonage peut s'appliquer dans le domaine de la conservation, car d'autres tissus sont probablement plus simples à préserver que les embryons.

Le sexage des embryons ou du sperme facilite la production de plus grands nombres d'animaux d'un sexe déterminé. Par exemple, les préférences pour les descendants mâles ou femelles sont claires chez les bovins – les femelles pour la production de lait et les mâles pour la production de la viande. De nombreuses tentatives ont été effectuées pour développer une technologie fiable. A présent, il est possible d'identifier les embryons mâles et femelles par des méthodes différentes. Cependant, à quelques exceptions près, cette technologie n'a pas été encore largement utilisée par les sélectionneurs ou les fermiers. Différentes tentatives ont été mises en place pour séparer le sperme sur la base des caractéristiques qui déterminent le sexe. Cependant, d'autres

avancées sont nécessaires avant d'appliquer cette technologie à grande échelle.

L'utilisation des techniques de reproduction et de conservation décrites ci-dessus réduit le besoin de transporter les reproducteurs. De plus, ces technologies offrent la possibilité de sauvegarder l'état de santé des troupeaux, même lorsque les embryons proviennent de pays ayant des situations sanitaires complètement différentes.

2.5 Considérations économiques

Toute évaluation économique devrait prendre en considération les coûts et les rendements. La sélection étant un processus à long terme, les retombées des décisions de sélection peuvent se réaliser après de nombreuses années, comme pour les bovins laitiers. De plus, les différents coûts et rendements sont réalisés à des moments différents et avec des probabilités différentes, et un certain nombre de considérations, qui ne sont probablement pas importantes pour les processus à court terme, ont parfois une importance majeure à plus long terme.

Jusqu'à l'introduction des biotechnologies de la reproduction, les principaux éléments de coût des programmes de sélection étaient la mesure et l'enregistrement des caractères, le test sur descendance et l'élevage des animaux. Bien que l'objectif principal de la plupart des systèmes d'enregistrement soit la sélection, il faudrait constater qu'une fois les informations disponibles, elles sont également utiles pour la gestion de l'exploitation, comme la réforme et la prévision de la production.

L'élevage dans les pays développés est devenu de plus en plus sophistiqué et professionnalisé et, donc, coûteux. Les considérations économiques sont par conséquent le moteur de la plupart, sinon de toutes les activités de sélection et la théorie économique y a été incorporée. Les bases d'une évaluation économique sont le profit, la rentabilité ou le rendement des investissements. Lorsque les objectifs de sélection ont été déterminés par et pour les producteurs (ou leurs groupes), l'accent est mis sur la maximisation du profit. Dans les pays en développement, les

Cadre 80**Changements de la taille des bovins à viande aux Etats-Unis**

En 1900, la grande majorité des bovins à viande aux Etats-Unis d'Amérique étaient de races Shorthorn, Hereford ou Angus. Les bovins, à cette époque, étaient plutôt grands. Les taureaux de 1 100 kg et les vaches de 730 kg étaient communs. Les bovins étaient finis (engraissés) principalement à l'herbe et la production de bovins finis à un âge plus jeune et à un poids plus léger était considérée intéressante. La tendance était de sélectionner des bovins avec une ossature plus petite et une plus grande capacité à engranger. Une grande partie de la sélection se concentrerait en fait sur les victoires aux salons. La sélection était efficace et des changements majeurs ont été atteints. Après quelques générations (vers la fin des années 20 et au début des années 30), les bovins étaient probablement d'une taille plus appropriée aux conditions de production dans lesquelles ils étaient détenus. Cependant, la sélection a poursuivi dans la même direction et, autour des années 50, les bovins des troupeaux les plus prisés étaient beaucoup trop petits et prédisposés à engranger pour être rentables dans tout programme de gestion commerciale.

Un changement majeur dans l'industrie de la viande de bœuf aux Etats-Unis d'Amérique s'est vérifié vers la moitié des années 50 par la mise en place de grandes unités d'embouche aux états des Grandes Plaines. Si l'on voulait que les bovins soient rentables dans ces nouvelles unités, ils devaient grandir à un taux plutôt élevé au cours d'une longue période d'affouragement (quatre à cinq mois) sans

devenir trop gras. Les petits bovins qui engrassaient rapidement et avaient été auparavant très populaires n'étaient plus acceptés pour l'industrie des unités d'embouche. La race Charolais et d'autres races européennes continentales sont devenues à la mode et les races à viande britanniques ont été sélectionnées pour leur taille et leur croissance plus importantes. Entre la moitié des années 50 et la fin des années 60, les bovins plus grands étaient favorisés tant que leur structure était compacte. Cependant, à la fin des années 60 les bovins plus grands étaient favorisés même si leur taille était plus grande et leur structure très différente de celle des bovins à la mode de la période précédente. En quelques années, les bovins étaient sélectionnés pour une taille plus grande, même les races européennes continentales. Cette sélection a également été assez efficace et a produit des animaux extrêmement grands.

Entre la moitié et la fin des années 80, plusieurs organisations majeures de sélection ont compris que l'évolution était allée trop loin et l'on a pris des mesures pour produire des animaux de taille plus raisonnable. Au cours des dix dernières années, d'autres éleveurs ont reconnu qu'une taille intermédiaire est préférable aux deux extrêmes. Cependant, ils sont encore une minorité et les bovins extrêmement grands sont toujours favorisés dans de nombreux troupeaux importants.

Marchés sont habituellement plus locaux, mais les mécanismes sont les mêmes. Il est donc conseillé d'opter pour la maximisation des profits à moins qu'il n'y ait des raisons claires qui poussent à s'écartez de cette stratégie.

Une considération économique fondamentale est la suivante: qui paiera pour l'amélioration génétique? Cette question est particulièrement importante lorsque les troupeaux-noyau, les troupeaux multiplicateurs et les troupeaux commerciaux sont complètement intégrés.

Cependant, dans toutes les autres situations, où l'intégration verticale n'existe pas, il n'est pas rare que ceux qui ont investi dans les activités de sélection soient incapables de recouvrer de façon adéquate leur investissement, ce qui fournit habituellement la justification de l'engagement du secteur public dans un ou plusieurs aspects de l'amélioration génétique.

Dans un système de libre marché, les organisations de sélection doivent s'adapter aux demandes de leurs clients – les producteurs

PARTIE 4

commerciaux, qui sont normalement prêts à payer pour des reproducteurs ou du sperme améliorés seulement s'ils augmentent leurs profits. Cependant, il est intéressant de constater que même si une évolution de la sélection ne semble pas économiquement justifiée, elle peut se prolonger au cours d'une longue période (cadre 80). Dans les systèmes subventionnés par les gouvernements, tous les coûts, ou simplement une partie, sont pris en charge par les contribuables. Dans ce cas, les programmes de sélection devraient être contrôlés pour s'assurer qu'ils produisent des prestations sociales réelles. Ces prestations pourraient inclure, par exemple, la fourniture de produits plus sûrs, plus nutritifs ou moins coûteux pour les consommateurs, ou la réduction des impacts négatifs de l'élevage sur l'environnement.

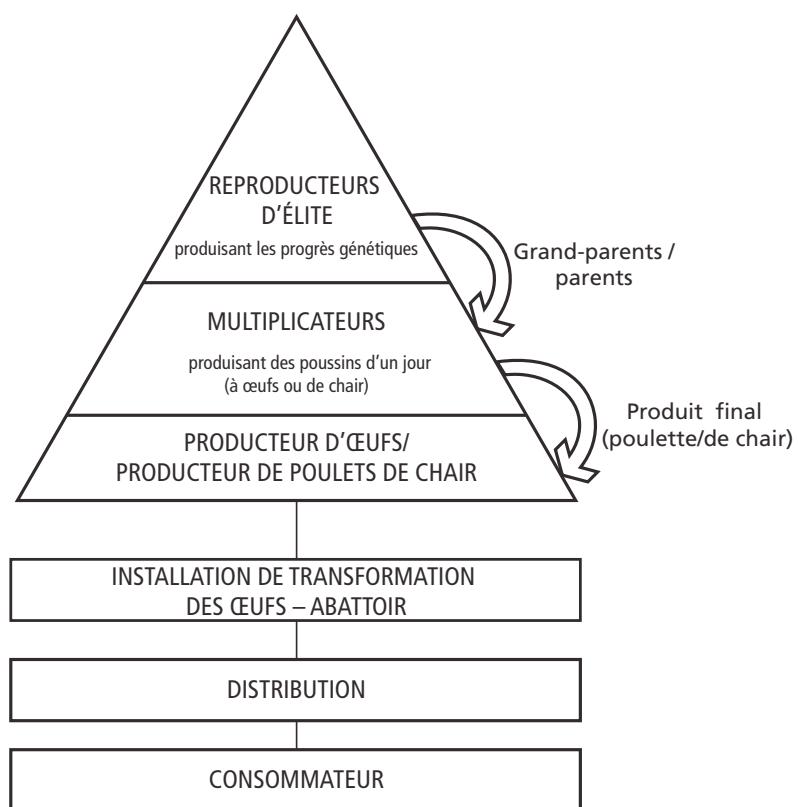
3 Éléments d'un programme de sélection

Les éléments nécessaires pour un programme de sélection dépendent du choix de la stratégie globale de sélection. Ainsi, la première décision à prendre est liée au choix entre les trois principales stratégies d'amélioration génétique à appliquer: la sélection entre les races, la sélection au sein des races ou les lignées, ou le croisement (Simm, 1998).

La sélection interraciale, l'option la plus radicale, est le remplacement d'une race génétiquement inférieure par une race supérieure. Ceci peut se faire en une fois (lorsque, comme pour les volailles, le coût est abordable) ou graduellement, par des rétrocroisements répétés avec une race supérieure (pour les grands animaux).

FIGURE 48

Structure de l'industrie avicole



Le croisement, la deuxième méthode la plus rapide, tire des avantages de l'hétérosis et de la complémentarité entre les caractéristiques raciales. Les systèmes conventionnels de croisement (systèmes en rotation et systèmes basés sur les mâles terminaux) ont été largement discutés (par ex. Gregory et Cundiff, 1980). L'accouplement entre animaux de races composées nouvellement établies a été suggéré comme une forme alternative de croisement (Dickerson, 1969; 1972).

La troisième méthode, la sélection intraraciale, produit l'amélioration génétique la plus lente, surtout si l'intervalle de générations est long. Cependant, cette amélioration est permanente et cumulative, ce qui n'est pas le cas pour les programmes de croisement.

L'amélioration génétique graduelle est la forme la plus durable d'amélioration, car elle donne aux acteurs impliqués le temps d'adapter le système de production au changement souhaité. Lorsque les caractères d'intérêt sont nombreux, et/ou certains sont antagonistes, différentes lignées peuvent être créées et maintenues par la sélection intralignée. Ces lignées peuvent être ensuite croisées pour produire des animaux commerciaux. Cette stratégie est utilisée dans la sélection des porcs et des volailles.

La mise en place d'un programme de sélection implique la définition d'un objectif de sélection (Groen, 2000) et la conception d'un programme capable d'apporter des progrès génétiques en accord avec cet objectif. En termes pratiques, le programme implique la gestion des personnes et des ressources, et l'application des principes de génétique et de sélection animale (Falconer et Mackay, 1996). Chaque aspect du programme de sélection implique de nombreux processus, individus et parfois institutions. Le succès dépend de la façon dont les ressources disponibles sont maîtrisées et administrées pour atteindre les buts des intervenants.

Les acteurs impliqués dans un programme de sélection sont tous ceux qui sont affectés, d'une façon ou d'une autre, par son succès et sont: les

utilisateurs finals des produits du programme (par ex. les producteurs d'animaux d'élevage), les entreprises commerciales et autres qui investissent directement ou indirectement dans le programme, les départements du gouvernement, les sociétés de race et ceux qui sont employés pour la mise en œuvre du programme. D'autres bénéficiaires sont les fournisseurs, les distributeurs et les vendeurs des sous-produits du programme.

La plupart des programmes ont une structure pyramidale (Simm, 1998), avec différents étages selon la complexité du programme. Au sommet de la pyramide se trouve le noyau où se concentrent la sélection et la reproduction pedigree des animaux élites. La multiplication des effectifs se produit aux étages intermédiaires et est nécessaire lorsque le nombre d'animaux fondateurs est insuffisant pour satisfaire les demandes des fermiers commerciaux. L'étage de base comprend les unités commerciales où le produit final est diffusé. La structure pyramidale de l'industrie avicole est illustrée à la figure 48.

Les activités constituant un programme de sélection peuvent se résumer en huit étapes majeures (Simm, 1998):

- le choix de l'objectif de sélection;
- le choix des critères de sélection;
- la conception du plan de sélection;
- l'enregistrement des animaux;
- l'évaluation génétique des animaux;
- la sélection et la reproduction;
- le suivi des progrès; et
- la diffusion de l'amélioration génétique.

Ces étapes sont décrites aux sous-chapitres suivants. Cependant, il est important de savoir que la planification, la mise en œuvre et l'évaluation forment un processus continu, et les éléments devraient s'aborder de façon interactive plutôt que par étapes. Un autre élément critique est le besoin de documenter en détail toutes les parties du plan de sélection et de son exécution dans le temps.

PARTIE 4

3.1 Objectifs de sélection

L'objectif de sélection est la liste des caractères à améliorer génétiquement. Il devrait être en accord avec les objectifs nationaux de développement agricole, et approprié au système de production pour lequel il est défini et aux races adaptées au système de production. Les objectifs de développement d'un pays pour la production agricole incluent traditionnellement des variables économiques, mais ils devraient être élargis pour inclure l'éthique et d'autres aspects sociaux du bien-être de l'homme. Ces objectifs sont utilisés pour formuler les objectifs de sélection. Différents outils sont disponibles dont le plus commun est la fonction de profit. En théorie, la création d'une fonction de profit est directe, surtout dans le cas des programmes de sélection intraraciale, car il s'agit d'une fonction linéaire des valeurs économiques relatives des caractères à améliorer. En pratique, toutefois, il n'est pas facile d'obtenir ces valeurs économiques, en partie parce qu'elles peuvent varier dans le temps et dans l'espace, en partie, par le manque de temps, de compétences, de connaissance, de ressources, etc. Ainsi, les éleveurs définissent la direction de changement d'une manière empirique basée sur les demandes et les préférences perçues du marché. Amer (2006) présente d'autres outils pour la formulation des objectifs de sélection, comme le modèle bioéconomique et le modèle des flux de gènes.

L'amélioration des animaux d'élevage est mesurée par rapport à un ensemble donné de caractères, généralement appelés «les caractères d'importance économique». En réalité, les caractères et leur importance économique varient aussi largement que les programmes de sélection. Pour de nombreuses espèces d'animaux d'élevage, les caractères d'importance économique sont ceux qui affectent la productivité, la longévité, la santé et la capacité de reproduction des animaux.

Pour la plupart des caractères, l'objectif est une amélioration continue mais, pour certains caractères, l'objectif est d'atteindre des valeurs intermédiaires. Pharo et Pharo (2005) appellent ces alternatives, respectivement, la sélection en fonction de la «direction» et en fonction de

la «destination», dont un exemple est le poids des œufs pour les poules pondeuses. Le marché valorise les œufs dans une fourchette de poids spécifique – par exemple, entre 55 et 70 grammes. Les œufs plus petits ne peuvent pas se vendre et aucune prime n'est prévue pour les œufs plus grands. La taille des œufs étant négativement corrélée au nombre d'œufs, à la solidité de la coquille et au taux d'éclosion, la sélection pour des œufs plus grands non seulement est une perte d'intensité de sélection, mais également est contre-productive. Un autre exemple est la taille corporelle. Pour les animaux à viande, la taille à l'abattage est un important déterminant de la valeur. La taille a un effet majeur sur les exigences nutritionnelles à cause de son effet sur les besoins d'entretien. Elle peut également affecter la fertilité qui (fertilité nette comme la production de veaux ou d'agneaux sevrés) est un déterminant de l'efficacité biologique et de la rentabilité. La taille étant associée aux coûts et aux bénéfices, il est difficile d'établir une valeur optimale, surtout dans les systèmes basés sur le pâturage, à cause de la difficulté impliquée dans la description adéquate de l'apport en fourrage. Une autre considération à faire est que la plupart des marchés d'abattage sont défavorables aux animaux ayant un poids de carcasse (ou vivant) en dehors de la fourchette souhaitée. Par exemple, le marché européen exige un poids minimum de carcasse que certaines races ne satisfont pas (par ex. les races Sanga de la Namibie). Même si la taille de ces bovins est optimale pour l'efficacité biologique, les bovins plus grands sont plus profitables.

Le choix de l'objectif de sélection peut être une activité ponctuelle ou une activité révisée de temps en temps. La décision est prise par les sélectionneurs, avec un retour d'informations de la part de tous les étages de la pyramide de sélection. Dans la sélection des volailles et des porcs, cette décision est prise par les cadres supérieurs des entreprises de sélection (cadres de la recherche et du développement en accord avec les cadres technique et commercial). Pour

la sélection des bovins, la décision est prise au sommet, mais habituellement en consultation avec les parties prenantes dans tous les autres étages de la pyramide, y compris l'étage commercial, de façon à refléter le modèle de propriété du programme.

Le résultat des programmes de sélection, surtout pour les bovins laitiers et à viande, se réalise nombreuses années après la prise de décision de la sélection. Même pour les volailles, qui ont un intervalle de générations plus court, un changement génétique mis en œuvre au noyau n'atteindra le niveau commercial que trois ans après, au plus tôt. Ceci met en évidence le besoin d'anticiper les demandes lors de la définition des objectifs de sélection.

Dans un marché concurrentiel comme l'industrie avicole, l'identification des caractères d'intérêt et la concentration des efforts de sélection dépendent en grande partie non seulement des signaux provenant du marché (par ex. des producteurs commerciaux), mais également de la performance des produits des programmes de la concurrence.

3.2 Critères de sélection

L'objectif de sélection est distinct des critères de sélection utilisés pour la prise de décision sur le choix des animaux qui doivent devenir les parents de la génération suivante. Cette décision implique habituellement la création d'un «index de sélection». Les animaux candidats et leurs apparentés sont mesurés et ces mesures sont pondérées selon les coefficients de l'index, calculés pour maximiser la corrélation entre l'index et les objectifs de sélection. Il faudrait souligner que certains caractères des objectifs de sélection peuvent être différents de ceux qui ont été utilisés pour créer l'index de sélection. Par exemple, les porcs sont sélectionnés sur l'adiposité de leurs carcasses, qui est un caractère de l'objectif de sélection. Cependant, il ne peut pas être contrôlé chez les candidats à la sélection car il faudrait les abattre. Un caractère prédicteur, l'épaisseur du lard sous-cutané mesurée par ultrasons est, par conséquent, enregistré. Lorsqu'il

est difficile ou coûteux d'obtenir les informations sur les relations entre animaux, et si les caractères sont suffisamment hérétiques, la sélection peut se baser sur la performance individuelle (sélection massale). La création de l'index de sélection est une question technique et demande du personnel ayant les compétences nécessaires.

Dans de nombreuses circonstances, au moment de la sélection, plusieurs caractères qui ne sont pas pertinents pour l'objectif de sélection sont pris en considération, ce qui peut sérieusement réduire l'intensité réelle de sélection et, par conséquent, restreindre l'amélioration génétique. Parfois, ceci est acceptable (par ex. un défaut génétique est une raison valable pour la réforme), tandis que dans d'autres cas, ces critères sont douteux (par ex. le «volume du corps» comme indicateur de la productivité) ou non recommandables (par ex. la taille de l'ossature ou le «facteur laitier»).

3.3 Conception d'un programme de sélection

La conception d'un programme de sélection demande la prise de nombreuses décisions différentes dans un ordre logique. Le concepteur du programme devrait savoir qu'un tel processus évolue avec le temps – des niveaux simples aux niveaux les plus complexes selon le développement de l'organisation et des capacités. La plupart des décisions impliquent le choix des meilleures façons d'utiliser la structure de la population pour générer, de façon fiable, l'amélioration et/ou la restructuration nécessaires. L'évaluation économique fait partie intégrante de ce processus et devrait se réaliser avant la mise en œuvre, et pour évaluer le changement obtenu au cours de l'exécution du programme.

Les décisions sur les investissements à consacrer au programme de sélection devraient être évaluées par rapport aux trois éléments qui contribuent au taux de changement génétique: l'intensité de sélection, la précision de sélection et l'intervalle de générations. Sur la base de ces composantes, des scénarios alternatifs sont ensuite évalués. La connaissance théorique de la génétique quantitative est utilisée pour

PARTIE 4

prévoir les gains attendus des différents scénarios (Falconer et Mackay, 1996). A cet effet, les paramètres génétiques des populations, comme l'héritabilité et la variation phénotypique des caractères, sont nécessaires pour créer l'index de sélection (des hypothèses raisonnables peuvent également se présenter) (Jiang *et al.*, 1999). Un plan d'accouplement approprié est ensuite préparé. Ce plan doit prévoir des enregistrements adéquats à l'évaluation génétique et des animaux d'élite en quantité suffisante pour le noyau et pour la multiplication dans les niveaux plus bas de la pyramide de sélection. Il faut constater que, dans la mise en place de ces activités, le concepteur du programme se trouve déjà dans la phase de l'optimisation.

Lors de la conception d'un programme de sélection, il ne faudrait pas oublier que la plupart des aspects sont directement influencés par le taux de reproduction des reproducteurs. Un taux de reproduction plus élevé implique moins de reproducteurs. Plus on dispose de descendants par reproducteur, plus l'estimation de la valeur génétique est précise.

3.4 Enregistrement et gestion des données

L'enregistrement des données de performance et des généralogies est le moteur de l'amélioration génétique. Des mesures abondantes et précises entraînent une sélection efficace. En pratique, toutefois, les ressources sont limitées. La question alors est la suivante: quels caractères devraient-ils être mesurés et sur quels animaux? De préférence, les caractères de l'objectif de sélection devraient être mesurés, mais ceci dépendra de la facilité et du coût de la mesure. Au moins les animaux du noyau de sélection devraient être mesurés pour la performance et la généalogie.

La collecte des données de performance sur lesquelles baser les décisions de la sélection est une composante clé de tout programme de sélection et l'on devrait la considérer ainsi, plutôt que comme un sous-produit des systèmes d'enregistrement conçus principalement pour soutenir la gestion à court terme (Bichard, 2002). La tâche de collecter,

assembler et utiliser les données pour l'évaluation génétique demande une bonne organisation et des ressources considérables (Wickham, 2005; Olori *et al.*, 2005). Dans de nombreux cas, il faudra mettre en place des plans spéciaux pour générer et enregistrer les données requises. Le coût et la complexité de ces plans varient selon le type d'organisation de sélection, le type de caractères et la méthode de test.

Type d'organisation de sélection. Les entreprises de sélection des porcs et des volailles possèdent des structures internes pour la collecte et le stockage de toutes les données requises tandis que d'autres organisations de sélection dépendent des ressources détenues par plus d'un intervenant, comme pour les programmes typiques de sélection de bovins laitiers (voir sous-chapitre 4.1).

Type de caractère. Lorsque le poids des animaux vivants est le caractère d'intérêt, tout ce qu'il faut est une balance. Cependant, pour mesurer l'efficacité alimentaire, il faudra du matériel plus sophistiqué pour mesurer la consommation individuelle.

La performance individuelle versus le test sur la descendance ou de frères-sœurs. Dans un plan de contrôle de la performance, les caractères d'intérêt sont enregistrés directement pour chaque sujet. Par exemple, le poids et la croissance sont souvent enregistrés au cours d'une période déterminée de la vie des bovins à viande, des porcs, des poules de chair ou des dindes. Un groupe d'animaux est essentiellement géré ensemble dans des conditions semblables, sur une période de temps au cours de laquelle est mesurée la performance individuelle. Ceci peut se faire à l'exploitation, ou dans un centre de contrôle de la performance où les bovins ou les porcs de différents troupeaux sont réunis pour une comparaison directe dans les mêmes conditions.

Parfois, l'information d'intérêt ne peut pas être mesurée directement chez le candidat de sélection soit parce que l'expression du caractère est limitée par le sexe, comme dans le cas de la production de lait et d'œufs, soit parce que les caractères peuvent être enregistrés uniquement après la mort de

l'animal (par ex. composition de la carcasse). Dans ces circonstances, l'enregistrement indirect par le test sur la descendance et/ou des frères-sœurs est nécessaire. Ceci est également utile pour les caractères à faible héritabilité, qui demandent plusieurs mesures pour évaluer le sujet avec précision. Le test sur la descendance fait référence à un plan dans lequel un sujet est évalué sur la base des données de performance obtenues de sa descendance. Il est principalement associé aux mâles (Willis, 1991), car il est plus facile de générer de grands nombres de descendants d'un seul mâle que d'une seule femelle. Habituellement, les mâles ne sont pas tous testés sur la descendance, mais uniquement les mâles issus des «accouplements d'élite». Le test sur la descendance est très utile pour accroître la précision de la sélection des espèces ayant des taux de reproduction faibles et pour tester les interactions entre génotype et environnement.

Pour de nombreuses espèces de ruminants, le coût d'une installation centrale pour le test sur la descendance peut être inabordable. Il est, par conséquent, répandu d'impliquer le plus grand nombre possible de fermiers ou de producteurs commerciaux. Les fermiers sont encouragés à accepter le sperme d'un groupe de jeunes reproducteurs pour une part de leurs femelles. Les jeunes reproducteurs n'ayant pas une valeur génétique prouvée, les fermiers impliqués dans le test sur la descendance demandent souvent des incitations pour y participer (Olori *et al.*, 2005). Dans ces circonstances, les coûts totaux (plusieurs centaines de milliers de dollars EU) sont souvent pris en charge par les propriétaires des jeunes reproducteurs à tester.

Information généalogique. En plus des données de performance, l'évaluation génétique dans un programme de sélection nécessite des informations généalogiques. La qualité de l'information généalogique dépend de sa profondeur et de son exhaustivité. Que l'objectif de la sélection implique l'amélioration génétique ou la prévention de l'extinction de la race découlant d'une perte de la variation génétique, la généalogie de tous les reproducteurs doit être enregistrée et maintenue.

Systèmes d'information. Lorsque les ressources sont disponibles, une base de données centralisée ayant un accès partagé s'avère avantageuse et rentable (Wickham, 2005; Olori *et al.*, 2005). Les informations complètes sur la gestion provenant d'un tel système encouragent la participation aux plans d'enregistrement des données. Les petits programmes de sélection ont simplement besoin d'un ordinateur personnel avec des tableurs adéquats, un logiciel pour la gestion des données et l'établissement des rapports, tandis que les programmes au niveau national requièrent un département spécialisé avec la technologie moderne d'information (Grogan, 2005; Olori *et al.*, 2005).

3.5 Evaluation génétique

Le progrès dans un programme de sélection exige que les animaux de génotypes supérieurs pour les caractères d'intérêt soient identifiés et sélectionnés pour reproduire la génération suivante. Pour l'identification de ces animaux, il faut séparer la contribution environnementale de l'observation phénotypique. Ceci est accompli par la prédiction de la valeur génétique ou par l'évaluation génétique. Il s'agit d'une activité fondamentale pour tout programme de sélection.

L'évaluation génétique devrait être fiable. La méthodologie BLUP, appliquée à une grande variété de modèles selon les caractères et les données disponibles, est devenue la méthode standard pour presque toutes les espèces. L'évaluation devrait également être disponible à temps pour utiliser au mieux l'investissement effectué dans la collecte des données et la gestion des bases de données. Un système d'évaluation génétique utilisant le BLUP dépend de mesures et de structures de données adéquates. Si ces conditions préalables sont en place, les investissements dans le BLUP sont d'habitude hautement rentables.

L'évaluation intertroupeaux a l'avantage de permettre des comparaisons équitables des valeurs génétiques prédictes de troupeaux différents, ce qui porte à la sélection de plus

PARTIE 4

d'animaux provenant de troupeaux d'animaux génétiquement supérieurs. Pour ce faire, les liens génétiques (usage des animaux issus de différents troupeaux et au cours des ans) sont critiques. Pour utiliser les informations de troupeaux différents, il faut disposer d'une structure organisationnelle adéquate, ce qui peut être atteint par une étroite collaboration entre les éleveurs, leurs associations, et les universités ou les centres de recherche. Il est essentiel d'avoir une identification unique de tous les animaux qui fournissent les données pour le programme de sélection. Les analystes des données, avec l'assistance du personnel des associations de races, attribuent les animaux à des groupes contemporains (groupes d'animaux ayant environ le même âge, élevés ensemble avec le même traitement). Cette attribution peut être cruciale pour avoir une évaluation génétique précise. Les éleveurs présentent les données à l'association et, après avoir vérifié des erreurs évidentes, l'information est envoyée à l'équipe d'évaluation pour l'analyse. Pour les ruminants, les évaluations s'effectuent une ou deux fois par an, mais pour les programmes des porcs et des volailles de chair, où la sélection s'accompagne sur base mensuelle, hebdomadaire ou bihebdomadaire, les évaluations sont réalisées de façon continue.

Les résultats des prédictions génétiques (valeurs génétiques prédictives et indices globaux) sont habituellement imprimés sur les certificats d'enregistrement des animaux. Il est normal d'imprimer les valeurs génétiques prédictives dans les catalogues de vente et de sperme. Ceci signifie que les utilisateurs finals (fermiers) doivent comprendre et accepter les VGE (valeur génétique estimée) produites et savoir comment les utiliser. Il est inutile de réaliser une évaluation génétique si les résultats ne sont pas exploités par les utilisateurs finals.

Une unité typique d'évaluation génétique requiert du personnel qualifié et des ressources matérielles adéquates pour réaliser l'analyse des données et produire des rapports adéquats facilitant la prise de décision sur la sélection. De

nombreux programmes de sélection de grande échelle possèdent une unité interne consacrée à l'évaluation génétique. Cependant, il est également facile de donner l'évaluation en sous-traitance à une institution externe. De nombreuses universités et centres de recherche fournissent un service d'évaluation génétique pour les programmes de sélection nationaux et non nationaux. Ces services s'occupent de plusieurs races ou espèces différentes, car le principe d'évaluation génétique et le logiciel impliqué sont similaires. L'unité d'évaluation génétique probablement la plus connue et ayant une réputation internationale est l'International Bull Evaluation Service (INTERBULL). Le centre, basé à l'université suédoise d'agriculture, à Uppsala, a été créé en qualité de sous-comité permanent du Comité international pour le contrôle des performances en élevage (ICAR) et fournit l'évaluation génétique internationale qui favorise la comparaison et la sélection des taureaux laitiers à l'échelle internationale. Un autre exemple est BREEDPLAN, un service commercial d'évaluation génétique de bovins à viande ayant une base opérationnelle en Australie et des clients dans de nombreux pays.

3.6 Sélection et accouplement

La reproduction devrait surtout se baser sur le critère de sélection. Pour maximiser l'intensité de sélection, il faudrait sélectionner le plus petit nombre possible de reproducteurs de chaque sexe, les seules restrictions étant le nombre d'animaux nécessaires pour une taille minimale de population et pour la reproduction. Les taux de reproduction des mâles étant généralement beaucoup plus élevés que ceux des femelles, on sélectionne habituellement beaucoup moins de mâles reproducteurs que de femelles.

Les candidats de sélection peuvent avoir des âges différents, et par conséquent les informations qui les concernent peuvent être différentes. Par exemple, les mâles plus âgés peuvent avoir un test sur la descendance tandis que pour les plus jeunes, leur propre performance ou celle de leur mère ou de leurs frères/sœurs sera

la seule information disponible. Si on utilise la BLUP, de tels candidats peuvent être facilement et équitablement comparés. La sélection de plus d'animaux avec des VGE précises et uniquement les animaux les meilleurs avec des VGE moins précises représente probablement la meilleure approche.

Il est largement reconnu que l'utilisation des informations sur la famille, comme pour le BLUP, augmente la probabilité de cosélection de parents proches qui, à son tour, conduit à une consanguinité accrue. Différentes méthodes sont utilisées pour réduire la consanguinité tout en maintenant des taux élevés de gain génétique. Toutes ces méthodes se basent sur le même principe – réduire la relation moyenne entre les sujets sélectionnés. Des programmes informatiques ont été élaborés pour optimiser les prises de décisions sur la sélection d'une liste donnée de candidats pour lesquels les informations généalogiques et les VGE sont disponibles. Les méthodes spécialement conçues pour contrôler la consanguinité sont: la sélection d'un nombre suffisant de mâles car le taux de consanguinité dépend de la taille effective de la population; ne pas surexploriter les mâles du noyau; limiter le nombre de parents proches sélectionnés, surtout le nombre de mâles sélectionnés par famille; limiter le nombre de femelles accouplées à chaque mâle; et éviter l'accouplement entre frères et sœurs ou demi-sœurs. Ces simples règles se sont montrées assez efficaces pour maintenir un faible niveau de consanguinité dans la sélection commerciale des volailles et des porcs.

L'accouplement d'animaux sélectionnés peut être aléatoire ou non aléatoire. S'il n'est pas aléatoire, les meilleurs mâles sélectionnés sont accouplés aux meilleures femelles sélectionnées – ce qu'on appelle accouplement préférentiel. La valeur génétique moyenne de la descendance née à la génération suivante ne change pas, mais la variance au niveau de la descendance sera plus importante. Lorsque des caractères multiples sont inclus dans l'objectif de sélection, l'accouplement préférentiel peut être utile – en regroupant les qualités des différents parents pour des caractères différents.

Toute stratégie d'accouplement exigera des installations adéquates. Pour l'accouplement naturel, les animaux à accoupler doivent être réunis dans le même enclos, mais séparés des autres animaux en âge de reproduction. L'IA peut être utilisée, mais demande également une vaste gamme de ressources et de compétences (collecte de sperme, congélation et/ou stockage, et insémination).

3.7 Suivi des progrès

Le suivi implique l'évaluation périodique du programme par rapport aux progrès réalisés vis-à-vis de l'objectif. Si nécessaire, il conduit à une réévaluation de l'objectif et/ou de la stratégie de sélection. Le suivi est également important pour assurer la détection précoce d'effets non voulus au sein du processus de sélection, par exemple la sensibilité accrue aux maladies ou la réduction de la variation génétique.

Pour évaluer les progrès, les évolutions phénotypiques et génétiques sont habituellement obtenues par une simple régression des valeurs moyennes annuelles sur l'année de naissance. En plus de cette information, les éleveurs organisent des contrôles des performances réguliers, internes et externes. Un plan de contrôle externe doit couvrir une vaste gamme d'environnements de production pour assurer que les animaux sélectionnés puissent produire de façon adéquate dans des conditions très différentes. D'autres sources d'informations et, probablement les plus importantes, sont les résultats du terrain et le retour d'information des clients. En fin de compte, le client est le meilleur juge du travail effectué.

3.8 Diffusion des progrès génétiques

La valeur des animaux supérieurs est limitée s'ils ne contribuent pas de façon efficace à l'amélioration de toute la population cible. Le grand impact de l'amélioration génétique dépend de la diffusion du matériel génétique. Les technologies de reproduction, l'IA particulièrement, sont très importantes dans ce cadre. Cependant, leur impact varie selon les espèces. Pour la sélection des moutons et des chèvres, l'échange de matériel

PARTIE 4

génétique dépend en grande partie du commerce des animaux vivants. Pour les bovins, l'IA favorise l'utilisation de taureaux sélectionnés dans toute la population. En principe, il n'y a aucun problème pour permettre à un taureau exceptionnel d'avoir de nombreux descendants au sein de la population. Cependant, l'IA utilisant le sperme des taureaux de la même famille de façon très intensive conduira finalement à la consanguinité.

Il devrait être possible d'appliquer les éléments décrits ci-dessus, même dans des conditions de base. Les structures de sélection ne demandent pas nécessairement des systèmes complexes d'enregistrement des données et d'évaluation génétique ni, initialement, l'utilisation des technologies de reproduction. La structure de sélection devrait s'établir selon ce qui est possible et ce qui est optimal. Les restrictions environnementales ou liées aux infrastructures, les traditions et les conditions socio-économiques doivent être prises en considération lors de la planification des programmes de sélection.

4 Programmes de sélection dans les systèmes à forte intensité d'intrants

Dans les systèmes à forte intensité d'intrants, l'amélioration génétique continue est générée principalement par la sélection en race ou lignée pure. Pour les ruminants, c'est en grande partie le résultat d'une position forte et d'un travail actif des associations de races et des résultats spectaculaires obtenus par cette méthode. Le croisement s'utilise pour bénéficier de la vigueur hybride (hétérosis) et de la complémentarité. Pour les volailles et les porcs, les sélectionneurs concentrent leurs efforts sur la sélection intrarace ou intralignée, et sur l'utilisation du croisement pour bénéficier de l'hétérosis pour les caractères de «fitness» et de la complémentarité pour d'autres caractères.

Le nombre d'entreprises de sélection des animaux d'élevage dans le monde est relativement

faible, mais elles revêtent une grande importance économique et opèrent de plus en plus à l'échelle mondiale. Comme indiqué aux sous-chapitres suivants, la structure, y comprise la propriété, des organisations de sélection est très différentes selon les espèces.

4.1 Sélection des bovins laitiers et à viande

Critères de sélection

Pour les bovins laitiers, la production moyenne de lait, de gras et de protéines par vache et par an a augmenté énormément au cours des dernières années, grâce à l'utilisation répandue de races comme la Holstein Frisonne et à la sélection intensive intraraciale. Cette hausse reflète également le fait que la productivité a été, pendant de nombreuses années, un objectif important de sélection, la sélection étant principalement utilisée pour les caractères productifs et morphologiques.

Au cours des dernières années, les consommateurs se sont de plus en plus préoccupés des questions de bien-être animal et d'utilisation

Cadre 81

Problèmes de vêlage chez le bovin Blanc-Bleu Belge

Pour les bovins à viande, la demande en viande de haute qualité a favorisé l'utilisation de races, comme le Blanc-Bleu Belge, ayant des phénotypes extrêmes. Cependant, cette race possède un taux élevé de césariennes (Lips *et al.*, 2001). A court terme, ce taux ne peut pas se réduire de façon significative. La grande vigueur musculaire du bovin Blanc-Bleu Belge est principalement due au gène myostatine, un gène simple autosomique récessif localisé sur le chromosome 2. Il est donc difficile de savoir si une réduction des problèmes de vêlage peut se réaliser tout en maintenant la grande muscularité. Pour cette raison, et pour les préoccupations évidentes sur le bien-être animal, l'avenir de cette race est en doute.

Cadre 82**Les croisements pour aborder les problèmes de consanguinité des bovins Holstein**

La race Holstein, composée presque complètement des gènes Holstein américains, a largement remplacé d'autres races de bovins laitiers dans une grande partie de la planète. Les caractères de production et de structure ont été les principaux critères dans la sélection des Holstein à cause de l'héritabilité assez élevée et la facilité de la collecte des données. Cependant, la fertilité des femelles, la facilité de vêlage, la mortalité des veaux, la santé et la survie ont été ignorées jusqu'à très récemment. La combinaison des problèmes liés aux caractères fonctionnels et de l'accroissement de la consanguinité à l'échelle

internationale ont eu comme résultat un formidable intérêt des producteurs laitiers commerciaux pour le croisement. Les reproducteurs de race pure continueront d'être recherchés pour accoupler presque toutes les génisses et les vaches laitières pour le croisement. La plupart des systèmes de croisement des bovins laitiers utiliseront trois races pour optimiser le niveau moyen d'hétérosis entre les générations.

Pour de plus amples renseignements, voir: Hansen (2006).

des antibiotiques dans l'élevage. Les organisations de sélection ont également réalisé que la sélection centrée uniquement sur le rendement des produits par animal conduit à la détérioration de la santé et de la performance reproductive des animaux, à l'accroissement du stress métabolique et à la baisse de la longévité (Rauw *et al.*, 1998). Le résultat a été une plus grande attention pour les caractères fonctionnels et une attention plus faible pour les caractères de production. La sélection pour les caractères fonctionnels est à présent basée sur l'enregistrement direct de ces caractères plutôt que sur les caractères de conformation, comme c'était le cas dans le passé. Les valeurs génétiques d'une vaste gamme de caractères fonctionnels ont été développées et appliquées dans la plupart des pays. Ceci permet aux organisations de sélection et aux fermiers de s'intéresser directement à ces caractères lors de la prise de décision sur la sélection.

Les sélectionneurs rencontrent des difficultés dans deux domaines – la sélection (y compris l'enregistrement) et la commercialisation. Par rapport à la sélection, les problèmes sont associés aux réponses corrélées à la sélection. Pour la plupart des programmes de sélection des bovins, l'index global inclut des caractères comme la croissance, le rendement laitier, la

fertilité, la conformation, le nombre de cellules somatiques du lait, la facilité de vêlage et la durée de la vie productive (pour plus de détails, voir le tableau 99). Pour les bovins laitiers, l'attention principale a été concentrée (et elle l'est encore) sur le rendement laitier, malgré les corrélations génétiques négatives entre le rendement laitier et les caractères liés à la reproduction et à la santé. Par conséquent, des effets collatéraux non souhaités ont été observés – incluant la baisse de fertilité et la hausse de sensibilité à la mammite, aux problèmes de pattes et de ketosis.

Pour les bovins à viande et les moutons, la sélection sur la croissance a engendré une hausse des poids à la naissance et un risque accru de problèmes à la naissance. Les taux de croissance plus élevés devraient également accroître la taille adulte des femelles reproductrices. Ceci peut entraîner des taux de reproduction plus faibles, si les animaux plus grands ne satisfont pas leurs exigences nutritionnelles à cause de la quantité ou la qualité faible du fourrage disponible. Ces effets non souhaités peuvent être évités, ou du moins réduits, par l'augmentation de l'importance des caractères fonctionnels dans les indices de sélection, ce qui présume que ces caractères peuvent être mesurés directement. L'enregistrement des caractères fonctionnels

PARTIE 4

TABLEAU 99

Objectifs de sélection pour les ruminants

Objectifs/produit	Critères	D'autres clarifications
Caractères de production		
Lait	Quantité	Production de lait
	Teneur/qualité	% protéines, % gras, titre en cellules somatiques, coagulation du lait
Viande	Taux de croissance	A différents âges
	Qualité de la carcasse	Teneur en matières grasses, proportion viande-os
	Qualité de la viande	Tendreté, jutosité
Laine	Quantité	Longueur, diamètre
	Qualité des fibres	
Caractères fonctionnels		
Santé et bien-être	Défauts génétiques	BLAD, pied de mule et CVM
	Incidence de la mammite	
	Conformation du pis	Adhérence, profondeur du pis et traits du trayon
	Problèmes de pieds et de pattes	
	Locomotion	Indicateur de problèmes aux sabots
Efficacité de reproduction	Fertilité des femelles	Chaleurs, taux de grossesse
	Fertilité des mâles	Taux de non-retour
	Facilité de vêlage	Effets directs et maternels, mortalité
	Nombre de descendants vivants	
Efficacité alimentaire	Taux de conversion alimentaire Persistance de la production de lait	
Capacité de travail	Aptitudes à la traite Comportement	Vitesse de lactation
Longévité	Vie fonctionnelle de troupeau	

reste souvent un problème sérieux qui freine leur inclusion dans les programmes de sélection. Ceci est illustré par l'exemple de l'efficacité d'utilisation des aliments. L'enregistrement de la consommation alimentaire est jusqu'à présent impossible dans les troupeaux ayant un grand nombre d'animaux – rendant ainsi impossible une sélection efficace pour ce caractère.

Il y a également des problèmes liés à la commercialisation. Pour le lait, de bonnes pratiques de gestion ont été mises en place depuis longtemps dans de nombreux pays et la qualité du produit a un impact direct sur le prix payé aux producteurs. Pour la viande, cependant, la traçabilité et l'organisation dans la chaîne de production ont été traditionnellement faibles. Ceci limite les possibilités d'amélioration de la qualité. En général, les fermiers ne sont pas

récompensés pour la qualité de la viande et très faiblement récompensés pour la qualité de la carcasse.

Organisation et évolution du secteur de la sélection

La structure organisationnelle de la sélection des bovins est plus complexe et plus ouverte que celle des volailles ou des porcs, à cause du faible taux de reproduction, du long intervalle de générations et du grand espace nécessaire pour loger chaque animal. Le flux de gènes peut se produire de l'éleveur vers le producteur et vice-versa. Les ressources d'information sont partagées entre les intervenants aux différents niveaux. Dans un programme typique de sélection de bovins laitiers, les informations généalogiques sont souvent enregistrées, détenues et

Cadre 83**Les bovins de race Pie rouge (NRF) de Norvège – sélection pour les caractères fonctionnels**

La Pie rouge (NRF) de Norvège est une race de bovins laitiers hautement productive dont la fertilité et la santé ont été incluses dans l'indice de sélection (connu comme l'indice génétique total) en vigueur depuis les années 70. Le cas des NRF donne un exemple pratique du fait que les caractères productifs et fonctionnels peuvent être équilibrés avec succès dans un programme de sélection durable. Ce résultat est fondé sur un système efficace d'enregistrement et sur la volonté de donner assez d'importance aux caractères fonctionnels. Le programme est mis en place par GENO, une coopérative dont les fermiers laitiers norvégiens sont les propriétaires et les dirigeants. A présent, dix caractères sont inclus dans l'indice génétique total. La liste suivante indique l'importance relative donnée à chaque caractère:

Indice laitier	0,24
Résistance à la mammité	0,22
Fertilité	0,15
Pis	0,15
Viande (taux de croissance)	0,09
Pattes	0,06
Tempérament	0,04
Autres maladies	0,03
Mortalité	0,01
Facilité de vêlage	0,01

Les caractéristiques clés du programme sont: plus de 95 pour cent des troupeaux sont inscrits aux systèmes de contrôle et inclus dans un plan d'accouplement informatisé; 90 pour cent des accouplements sont effectués en utilisant l'IA; et 40 pour cent d'utilisation de taureaux testés. Tous les diagnostics et les enregistrements sanitaires sont effectués par des vétérinaires et les bases de données sont maintenues pour la généalogie et les informations sur l'IA. Environ 120 jeunes taureaux sont testés chaque année avec des groupes de descendants de 250 à 300 filles – permettant ainsi l'inclusion de caractères à faible héritabilité (comme la mammité, avec une héritabilité de 0,03 et d'autres maladies, avec 0,01) tout en fournissant un indice de sélection de grande précision.

La production de lait par lactation des meilleurs troupeaux dépasse 10 000 kg, les meilleures vaches produisant plus de 16 000 kg. L'évolution génétique est positive par rapport à la fertilité – le taux moyen de 60 jours de non-retour chez la population est de 73,4 pour cent. Entre 1999 et 2005, l'incidence de la mammité chez les vaches NRF était passée de 28 pour cent à 21 pour cent, et l'on estime que, sur cette réduction, 0,35 pour cent par an était le résultat d'une amélioration génétique. Les principales difficultés de vêlage sont rapportées dans moins de 2 pour cent des vêlages, et moins de 3 pour cent des veaux sont morts-nés.

La durabilité du programme de sélection est encouragée par un certain nombre de facteurs.

- La production et la fonction sont exprimées par de nombreux caractères et les deux sont fortement prises en considération dans la stratégie de sélection.
- De nombreuses combinaisons différentes peuvent donner lieu à une valeur génétique totale élevée, ce qui facilite la sélection d'animaux de différentes lignées et réduit ainsi automatiquement le risque de consanguinité.
- Le travail de sélection se base sur les données des troupeaux laitiers communs, ce qui assure la production d'animaux adaptés aux conditions normales de production.

Fourni par Erling Fimland.

Pour de plus amples renseignements, voir:
http://www.geno.no/genonett/presentasjonsdel/engelsk/default.asp?menyvalg_id=418



Photo: Erling Fimland.

PARTIE 4

gérées par les sociétés de race, tandis que les enregistrements de la production laitière sont détenus par les fermiers, mais collectés et gérés par les organisations d'enregistrement laitier. Les informations sur la fertilité et sur la performance de reproduction sont conservées par les entreprises qui fournissent les services d'IA, tandis que les informations sanitaires sont toujours conservées par les vétérinaires. Ces organisations sont souvent situées dans des localités décentralisées et stockent les informations dans des systèmes différents.

La production des bovins étant une entreprise agricole traditionnelle majeure et la sélection ayant un impact considérable sur cette entreprise, les programmes de sélection des bovins reçoivent plus d'intrants des organismes gouvernementaux que les programmes de sélection des volailles ou des porcs et, par conséquent, leur structure est spécifique aux pays. La plupart des programmes ont été lancés ou soutenus avec l'appui ou les dons des organismes gouvernementaux au niveau national (Wickham, 2005). Des organisations, comme l'Animal Improvement Programs Laboratory (AIPL) du département de l'agriculture des Etats-Unis, le Réseau laitier canadien (CDN), le Cr-Delta aux Pays-Bas et l'Institut de l'élevage (IE) en France, jouent un rôle principal dans les programmes de sélection des bovins dans leurs pays respectifs, surtout pour ce qui concerne la gestion des données et l'évaluation génétique. Ceci est également vrai pour les sociétés de sélection, qui ont joué un rôle de chef de file dans le maintien et l'amélioration de l'intégrité de leurs races respectives. Le succès de la race Holstein Frisonne, qui est de loin la race dominante dans la plupart des troupeaux laitiers du monde occidental, est le témoin du dynamisme de la Fédération mondiale de la race Holstein Frisonne (WHFF). La création de livres généalogiques avec des membres dédiés et l'importance de la performance dans les foires et salons (qui sont des affaires strictement intraraciales) ont contribué à soutenir la valorisation de la race pure et la maintenance de toutes les principales races de bovins laitiers et à viande.

Les programmes de sélection mis en place par les centres d'IA sont passés de projets locaux à des projets nationaux et opèrent de plus en plus au niveau international. La diffusion du matériel génétique des animaux «supérieurs» est aujourd'hui mondiale. Il est possible qu'au cours des prochaines 10 à 15 années, les centres d'IA seront unifiés dans quelques entreprises de sélection mondiales, comme elles existent à présent pour les secteurs des porcs et des volailles. Par exemple, au début des années 90, le programme de sélection «Genus» était le principal programme de bovins au Royaume-Uni. Au cours des années, Genus s'est uni à ABS, une société nord-américaine, pour créer une société internationale, qui fournit à présent la génétique bovine de différentes races de bovins laitiers et à viande à plus de 70 pays. Récemment, Genus a racheté Sygen, une société de biotechnologie.

Les programmes de sélection des bovins dépendent des producteurs commerciaux pour générer des données suffisantes pour l'évaluation génétique. L'enregistrement des données, par conséquent, se produit à tous les étages de la pyramide de sélection. Cette exigence revêt la plus grande importance pour les programmes laitiers, qui demandent de grands groupes de descendants pour effectuer une évaluation précise des taureaux (surtout pour les caractères à faible héritabilité) ou pour estimer les effets directs et maternels chez les bovins à viande. L'utilisation de l'IA dans la diffusion de sperme à de nombreux troupeaux est répandue, ce qui facilite la comparaison des animaux élevés dans des environnements différents. L'IA permet également une plus forte intensité dans la sélection des mâles.

Une sélection réussie chez les races des bovins laitiers est le résultat de programmes bien organisés en matière de mesure de la production, de testage de jeunes taureaux et d'évaluation génétique efficace. La qualité de l'alimentation des vaches laitières favorise l'expression d'une part élevée du potentiel génétique, ce qui à son tour permet une sélection particulièrement efficace.

Les études sur les croisements des bovins laitiers ont trouvé systématiquement des niveaux significatifs d'hétérosis entre les races laitières pour les caractères de production de lait, de fertilité et de survie. Cependant, la sélection réussie à long terme pour de hauts niveaux de production laitière chez les Holstein Frisonne a conduit à l'utilisation répandue d'animaux de race pure. Pourtant, la pression croissante des producteurs commerciaux, qui souffrent des pertes liées à une fertilité et une longévité faibles, et le besoin de flexibilité pour l'élaboration des produits auront probablement pour résultat un développement accru de bovins hybrides au niveau des programmes de sélection.

Les croisements appliqués aux bovins à viande sont souvent mis en place en l'absence de programmes bien conçus. Pour les bovins à viande, les programmes de croisement sont difficiles à mettre en œuvre dans les troupeaux qui utilisent moins de quatre taureaux. Même pour des exploitations plus grandes, la gestion séparée des troupeaux, comme il est requis dans les programmes organisés de croisement, peut être difficile (Gregory *et al.*, 1999).

Pour les bovins, l'introduction de l'IA a eu pour résultat une énorme réduction du nombre de reproducteurs et a contribué à l'échange de matériel génétique entre les régions et les pays. Par le biais de l'IA, les taureaux sélectionnés dans le noyau sont utilisés dans la population générale. La sélection des taureaux contribue 70 pour cent du changement génétique total dans les populations de bovins laitiers et à viande à cause de leur taux élevé de reproduction.

4.2 Sélection des moutons et des chèvres

Critères de sélection

Les moutons et les chèvres sont élevés pour la viande, le lait et la laine ou les fibres (voir tableau 99 pour les objectifs de sélection correspondants). Le lait de mouton est un produit important dans les pays méditerranéens. Il est surtout transformé

en différents fromages (par ex. Roquefort, Fiore Sardo, Pecorino Romano et Feta). La production et la qualité du lait sont d'importants critères de sélection. Les moutons laitiers peuvent également être sélectionnés sur la croissance, les caractères de reproduction comme le taux de gémellité, et les caractères de conformation comme la forme du pis (Mavrogenis, 2000). En revanche, en Europe du Nord-Ouest, la viande est le produit le plus recherché chez les moutons. Les objectifs de sélection spécifiques dépendront de l'environnement de production (par ex. les montagnes ou les plaines) et peuvent inclure le taux de croissance, la qualité de la carcasse, la performance de reproduction et les qualités maternelles. La production commerciale de laine est dominée par l'Australie et la Nouvelle-Zélande, par le biais de leurs troupeaux spécialisés de moutons à laine fine de race pure du type Mérino. Bien que les animaux descendent tous du mouton Mérino d'Espagne, des souches différentes ont été développées au cours des années. Le besoin d'animaux adaptés à des conditions environnementales spécifiques a modelé le développement des races. En Australie, par exemple, des souches distinctes de Mérino ont été sélectionnées pour l'adaptation à l'environnement des différentes parties du pays. Par rapport à la production de laine, les critères de sélection incluent habituellement le poids de la toison et le diamètre des fibres. L'importance économique croissante de la viande par rapport à la laine a déplacé les objectifs de sélection en direction de critères comme le taux de reproduction et le poids.

Dans les pays méditerranéens, en Asie du Sud et dans certaines régions de l'Amérique latine et de l'Afrique, les chèvres sont surtout élevées pour le lait. Dans les pays méditerranéens et en Amérique latine, le lait de chèvre est souvent utilisé pour la production de fromage, tandis qu'en Afrique et en Asie du Sud, il est consommé cru ou acidifié. Dans d'autres régions de l'Asie et de l'Afrique, les chèvres sont surtout élevées pour la production de viande. Dans ces régions, les

PARTIE 4

compléments alimentaires pour les animaux sont très limités et les pâtures pourvoient une part significative des éléments nutritifs. Les animaux ont une taille allant de modérée à petite, et une masse musculaire allant de modérée à légère. Une exception est le développement des chèvres Boer pour la production de viande en Afrique du Sud. La race a été introduite dans d'autres pays d'Afrique et d'autres régions dans le monde, par exemple en Australie.

Organisation du secteur de la sélection

Les principaux programmes de sélection pour les moutons à laine fine sont basés dans l'hémisphère sud (Australie et Nouvelle-Zélande). Ces programmes se fondent sur la sélection intrarace. Cependant, dans les exploitations de moutons à laine fine, où une partie importante du revenu provient des agneaux (pour l'abattage), la production autonome de F1 a été utilisée. Dans ce genre de programme, toutes les brebis sont sélectionnées pour la laine fine. Une grande part des brebis sélectionnées sont accouplées à des bêliers à laine fine pour produire les femelles de remplacement. Les brebis restantes sont accouplées aux mâles terminaux et tous les agneaux sont vendus.

Pour la sélection des moutons à viande, la taille moyenne des troupeaux est généralement trop petite pour permettre une sélection intensive au sein du troupeau. Ce problème a été surmonté par les programmes coopératifs de sélection. Les programmes de sélection en troupeaux-noyau sont très bien établis (par ex. James, 1977), mais les dispositifs père de référence (SRS) ont récemment gagné en popularité. Dans ces programmes, les liens génétiques entre les troupeaux sont créés par l'utilisation partagée de bêliers spécifiques (reproducteurs de référence). Ces liens génétiques favorisent une évaluation génétique comparable entre les troupeaux, offrant un plus ample choix de candidats à la sélection selon les objectifs collectifs. Environ deux tiers des moutons pour lesquels la performance est contrôlée au Royaume-Uni, incluant toutes les races à viande majeures, appartiennent aujourd'hui à ces programmes (Lewis et Simm, 2002).

Le croisement est la base de l'industrie stratifiée des moutons du Royaume-Uni (Simm, 1998). Le système fonctionne sur la base d'une structure ouverte impliquant plusieurs sociétés de sélection, organismes gouvernementaux et autres institutions. Les races traditionnelles de colline comme la Scottish Blackface sont sélectionnées dans les conditions de production difficiles des collines. Les brebis de ces races pures sont vendues aux fermiers des «plateaux» (où le climat est moins difficile et le pâturage est meilleur). Là, elles sont croisées avec les bêliers des races de croisement intermédiaires, comme la Blueface Leicester. Les femelles F1 sont vendues pour la reproduction dans les troupeaux des plaines où elles sont accouplées aux reproducteurs terminaux, comme le Suffolk et le Texel. La plupart des enregistrements de données et des évaluations génétiques visent l'amélioration des races de reproducteurs terminaux pour produire des bêliers de qualité génétique supérieure. L'enregistrement des données et les évaluations génétiques sont mis en place par les organisations commerciales, comme Signet, ou par des institutions de recherche soutenues par les fonds publics.

La plupart des chèvres laitières se trouvent dans les pays en développement. Cependant, les programmes de sélection sont concentrés en Europe et en Amérique du Nord. Le programme de sélection français, basé sur l'IA avec du sperme congelé et la synchronisation des oestrus (60 000 chèvres inséminées par an) et le programme norvégien, basé sur la rotation des reproducteurs dans plusieurs troupeaux (cercles de boucs) sont des exemples de programmes organisés de test sur la descendance. Ils incluent une définition formelle des objectifs de sélection et des accouplements organisés pour produire de jeunes reproducteurs et leurs descendants. Probablement, le meilleur exemple de programme de sélection structuré de chèvres à viande est celui que dirige l'Association des sélectionneurs de chèvres Boer en Australie. La production de cashmere et de mohair se base sur la sélection directe des races respectives. Il n'existe presque aucun croisement impliquant les Angoras.

4.3 Sélection des porcs et des volailles

Critères de sélection pour les porcs

De la même façon que pour les ruminants, les programmes de sélection des porcs ont eu beaucoup de succès dans l'atteinte de l'amélioration génétique de caractères économiquement importants, en particulier le gain journalier, l'épaisseur du gras postérieur, l'efficacité alimentaire et, au cours des dix dernières années, la taille de la portée (pour plus de détails, voir le tableau 100). A présent, l'objectif est la sélection d'animaux plus robustes et plus efficaces pour répondre aux différentes conditions d'environnement. Ceci signifie qu'il faut trouver une stratégie appropriée pour gérer l'interaction entre génotype et environnement, et placer plus d'attention sur les caractères secondaires qui, jusqu'à présent, ont eu une importance économique négligeable. Les caractères secondaires incluent la survie des

porcelets, l'intervalle entre le sevrage et le premier oestrus, la longévité des truies, la conformation (surtout les pattes), la vitalité des porcs jusqu'au poids d'abattage, la couleur de la viande et la perte en eau. La santé des porcs devient de plus en plus importante, ce qui signifie qu'il faudra non seulement améliorer l'état d'hygiène des fermes de sélection, mais également sélectionner pour la résistance générale aux maladies dans des conditions commerciales.

Comme pour les ruminants, des difficultés sont rencontrées dans la mise en œuvre d'une sélection efficace pour les caractères «fonctionnels». Les instruments appropriés pour sélectionner pour une meilleure résistance aux maladies ou pour réduire les troubles métaboliques ne sont pas encore disponibles. La connaissance des aspects génétiques liés au bien-être est insuffisante. Les méthodes de contrôle du stress doivent être améliorées – par exemple par l'utilisation de méthodes non invasives pour mesurer les

TABLEAU 100

Objectifs de sélection pour les porcs

Objectifs	Critères	Détails supplémentaires
Caractères de production		
	Taux de croissance	A différents âges
	Poids de la carcasse	
	Qualité de la carcasse	Uniformité, maigreur de la carcasse
	Qualité de la viande	Capacité de rétention hydrique, couleur, goût
Caractères fonctionnels		
Santé et bien-être	Résistance générale	Robustesse
	Vitalité des porcelets Survie des porcs	Capacité maternelle, nombre de trayons
	Stress	Gène (halothane) de l'élimination du stress dans les lignées maternelles et, si possible, dans les lignées des mâles
	Effets congénitaux	Exemples: atrésie anale, cryptorchidie, dysplasie, hermaphrodisme et hernie
	Problèmes des pattes	Faiblesse des pattes et claudication
Efficacité	Taille de la portée	Nombre de porcs abattus par truie et par an
	Efficacité de conversion alimentaire	
Longévité	Vie de troupeau fonctionnelle	Rendement total avec problèmes sanitaires minimaux

PARTIE 4

TABLEAU 101

Objectifs de sélection pour les volailles

Objectifs/produit	Critères	Détails supplémentaires
Caractères de production		
Œufs	Nombre d'œufs	Nombre d'œufs commercialisables par poule
	Qualité externe des œufs	Poids moyen des œufs, solidité de la coquille et couleur
	Qualité interne des œufs	Composition des œufs (part de blanc et de jaune), fermeté du blanc et exemption d'inclusions (points de sang et de viande)
Viande	Taux de croissance	Gain en poids; âge au poids d'abattage
	Qualité de la carcasse	«Rendement» en termes de parties de valeur, surtout filet; sélection contre les ampoules au bréchet et d'autres défauts pour réduire le taux de saisie
Caractères fonctionnels		
Santé et bien-être	Résistance aux maladies	Pas habituellement utilisé
	Défauts génétiques monofactoriels	
	Problèmes de pattes des poulets de chair et des dindes	
	Ostéoporose chez les pondeuses	
	Insuffisance cardiaque et pulmonaire	Incidence de la «mort subite» et des ascites chez les poulets de chair et du «cœur rond» chez les dindes
	Cannibalisme, picage	
Efficacité alimentaire	Taux de conversion par <ul style="list-style-type: none"> masse d'œufs (kg) chez les pondeuses, gain moyen (kg) chez les poulets de chair et les dindes 	
	Consommation résiduelle d'aliments	
Longévité	Longueur de la vie productive	

indicateurs du stress, la détermination des niveaux de catécholamine et le contrôle des battements du cœur par des puces sous la peau. Une meilleure connaissance des capacités cognitives et des stratégies d'adaptation des porcs pourrait permettre aux caractéristiques individuelles de devenir indicatives des capacités d'adaptation aux différentes conditions de logement et aux difficultés sociales, et être incluses aux critères de sélection. De plus, il est nécessaire de disposer d'une évaluation supplémentaire de l'impact de la sélection sur la résistance aux maladies spécifiques et sur les objectifs de bien-être.

Critères de sélection pour les volailles

Les poules pondeuses ont été surtout sélectionnées pour la productivité. Au cours de plusieurs années, les programmes de sélection ont été affinés et d'autres caractères ont été inclus aux objectifs de sélection. A présent, les principaux objectifs de sélection sont: le nombre d'œufs commercialisables par poule et par an, l'efficacité de conversion des aliments en œufs, la qualité externe et interne des œufs et l'adaptabilité aux différents environnements (pour plus de détails, voir le tableau 101).

Pour les volailles de chair, des améliorations génétiques substantielles en termes de poids d'abattage à un âge plus précoce et l'efficacité alimentaire corrélée ont été atteintes par une simple sélection massale pour le taux de croissance juvénile et la «conformation». Au cours des années 70, la sélection directe pour l'efficacité alimentaire a été introduite. Au cours des 20 dernières années, l'accent de la sélection est passé de plus en plus sur les caractères de première importance pour les ateliers de transformation – rendement du filet, valeur totale de la carcasse, efficacité de la production de viande maigre, uniformité du produit et taux faibles de mortalité et de saisie. Le développement de lignées spécialisées mâles et femelles et l'introduction de l'alimentation contrôlée des parents sont des outils efficaces pour surmonter la corrélation négative entre le taux de croissance juvénile et les caractères de reproduction.

Les difficultés les plus évidentes pour l'industrie avicole sont liées aux maladies. Les principales entreprises de sélection ont éliminé les agents de maladies transmises par les œufs, comme le virus de la leucose, le mycoplasme et *Salmonella*, de leurs troupeaux élites, et continuent de surveiller l'absence de ces problèmes. D'autres maladies, comme la maladie de Marek, *E. coli*, *Campylobacter*, et la grippe aviaire hautement pathogène sont plus difficiles à contrôler.

Dans le domaine du bien-être des animaux, les difficultés principales des sélectionneurs sont l'adaptation des poules pondeuses à des systèmes de gestion alternatifs – par exemple, pour réduire le picage et le cannibalisme dans les systèmes au sol (le picage et le cannibalisme sont également des problèmes graves pour les dindes et les pintades) et pour réduire l'incidence des insuffisances cardio-vasculaires (syndrome de la mort subite et ascites) et les problèmes de pattes pour les poulets de chair et les dindes. Cependant, les causes de ces problèmes sont probablement multifactorielles et des recherches plus approfondies sont nécessaires.

Organisation et évolution des secteurs de la sélection des porcs et des volailles

L'industrie avicole moderne a une structure typiquement hiérarchique, à plusieurs étages. Les entreprises de sélection basées principalement en Europe et en Amérique du Nord, avec des branches dans les régions principales de production, possèdent les lignées pures. Elles doivent tenir compte de toute la chaîne de production – couvoirs, producteurs d'œufs et de poulets de chair, entreprises de transformation, détaillants et consommateurs. Les couvoirs (multiplicateurs) sont localisés près des centres urbains partout dans le monde. Ils reçoivent soit les parents soit les grand-parents de la part des sélectionneurs en tant que poussins d'un jour et produisent les croisements finals pour les producteurs d'œufs et les éleveurs de poulets de chair, de dindes ou d'oies. A présent, les ateliers de transformation d'œufs, les abattoirs et les fournisseurs d'aliments pour animaux ont développé des relations contractuelles avec les producteurs d'œufs et les éleveurs de volailles de chair, ce qui donne une plus grande sécurité financière, mais laisse moins d'initiative et de liberté.

Le secteur des porcs possède une structure pyramidale semblable, résultant en grande partie de l'introduction des croisements, de l'IA et des exploitations spécialisées de sélection. Cependant, certaines différences existent entre les secteurs des porcs et des volailles. Par exemple, un producteur de porcs obtient habituellement les animaux «commerciaux» en accouplant les truies d'une lignée femelle spécialisée et les verrats d'une lignée de mâles spécialisée – en les achetant d'une entreprise de sélection (et pas d'un système multiplicateur comme pour les volailles).

Contrairement aux volailles, les associations de sélection pour les porcs existent encore et l'évaluation génétique au niveau national est mise en place. Si les évaluations génétiques pour les grandes entreprises de sélection peuvent s'effectuer à l'intérieur de l'entreprise même, les évaluations génétiques au niveau de la race pure sont conduites par des institutions gouvernementales (par ex. le National Swine

PARTIE 4

Registry aux Etats-Unis d'Amérique) ou par les associations de race.

Les programmes de sélection des porcs et des volailles sont parfois définis comme des programmes de sélection «commerciaux», à cause de leur structure d'actionnariat. Au cours des années, ces programmes ont fusionné et sont devenus de grandes compagnies. Pour les volailles, par exemple, seulement deux ou trois groupes de sélectionneurs représentent environ 90 pour cent des pondeuses, des poulets de chair et des dindes produites par an. De plus, certaines de ces entreprises appartiennent au même groupe. L'industrie de sélection des porcs possède plus d'entreprises de sélection et moins d'entreprises de grande taille (comme PIC et Monsanto), mais l'évolution est la même. L'entrée récente dans ce secteur du géant Monsanto indique clairement cette évolution. A cause de la nature concurrentielle de ce secteur et le haut niveau d'investissements, les entreprises de sélection «commerciales» sont habituellement les premières à utiliser les nouvelles technologies. Ces entreprises chef de file sont sur le point d'incorporer les informations génomiques dans leurs programmes de sélection, au moment où de nombreux sélectionneurs sont simplement en train de discuter la faisabilité de cette approche.

Les activités de ces entreprises de sélection commerciales sont caractérisées par les points suivants.

- La sélection généalogique se produit uniquement au noyau.
- La sélection se produit uniquement au sein des lignées (ou races) spécialisées. Ces lignées sont désignées comme lignées de mâles et de femelles et sont sélectionnées avec des intensités différentes. Pour les volailles élevées de chair et pour les porcs, les lignées mâles sont sélectionnées pour la croissance et la production de viande maigre alors que les lignées femelles sont sélectionnées pour la reproduction. De nouvelles lignées sont constamment développées soit par le croisement entre

lignées existantes soit par la sélection dans une direction donnée.

- Le produit final est un croisement entre deux lignées de race pure ou plus.

Pour des raisons économiques, chaque entreprise de sélection commercialisera ses produits sous plusieurs marques (accumulées par des acquisitions et des fusions), mais ne possède en fait qu'un nombre restreint de produits différenciés. En effet, les entreprises de sélection des porcs ou des volailles développent des lignées pour satisfaire quelques (deux ou trois) objectifs de sélection, qui varient selon l'étendue de la part du marché mondial et le degré de variation des environnements de production de leurs clients. Par exemple, un sélectionneur peut développer une lignée à haut rendement et à croissance rapide pour des conditions à forte intensité d'intrants où les aliments de qualité supérieure favorisent l'expression du potentiel génétique des animaux, et une lignée pour des environnements plus difficiles, plus «robuste», mais ayant une plus faible production.

5 Programmes de sélection des systèmes à faible intensité d'intrants

5.1 Description des systèmes à faible intensité d'intrants

Nombreux animaux d'élevage dans le monde continueront d'être élevés par des petits exploitants et des pasteurs. Ces producteurs ont souvent un accès limité aux intrants externes et aux marchés. Même si les intrants externes sont localement disponibles, l'argent est habituellement insuffisant pour les acheter. En citant LPPS et Köhler-Rollefson (2005):

«Cash products are often of secondary importance, especially in marginal and remote areas. Traditional breeds generate an array of benefits that are more difficult to grasp and to quantify than outputs of

meat, milk, eggs or wool. These include their contribution to social cohesion and identity, their fulfilment of ritual and religious needs, their role in nutrient recycling and as providers of energy, and their capacity to serve as savings bank and insurance against droughts and other natural calamities (les apports en espèces ont souvent une importance secondaire, surtout dans les zones marginales et éloignées. Les races traditionnelles génèrent un ensemble d'avantages qui sont plus difficiles à saisir et à quantifier que les rendements en viande, lait, œufs ou laine et incluent leur contribution à la cohésion et à l'identité sociales, l'accomplissement des besoins rituels et

religieux, leur fonction dans le recyclage des nutriments et en tant que fournisseurs d'énergie, et leur capacité à servir comme des caisses d'épargne et assurances contre les sécheresses et d'autres catastrophes naturelles)».

Les animaux d'élevage des petits propriétaires et des pasteurs peuvent être autochtones ou provenir des races exotiques introduites dans la région. Les éleveurs traditionnels n'ont aucune formation technique en génétique et nombreux sont analphabètes. Cependant, ils possèdent une connaissance locale de grande valeur sur les races et sur leur gestion. Ils ont des objectifs de sélection et des stratégies, même s'ils ne sont pas «formalisés» ou écrits. Par exemple, ils peuvent partager les mâles reproducteurs (rarement ils

Cadre 84

Gestion communautaire des moutons dans la région des Andes péruviennes

L'agriculture des Andes centrales du Pérou est gravement entravée par les baisses de températures et la sécheresse, et les revenus de la plupart des ménages ruraux dépendent des animaux d'élevage. Les moutons de parcours sont l'espèce la plus importante du point de vue économique et sont utilisés comme source alimentaire, comme un moyen d'échange pour obtenir des biens, et pour générer des recettes grâce à la vente des animaux vivants ou de la laine. A un niveau moindre, ils sont également utilisés pour les activités culturelles, les loisirs et le tourisme. Les moutons Criollo représentent 60 pour cent de la population de moutons au Pérou. Ils sont principalement élevés dans les exploitations familiales et par des fermiers individuels qui apprécient beaucoup la race locale. Une race à double fin, développée par un croisement entre les moutons Criollo et les moutons Corriedale importés d'Argentine, d'Australie, du Chili, de la Nouvelle-Zélande et de l'Uruguay entre 1935 et 1954, est également disponible. Les fermiers maintiennent la race Criollo et également la race composée.

Dans cette partie du Pérou, les communautés paysannes se sont organisées de façon indépendante pour améliorer la gestion de leurs moutons, avec un soutien limité du gouvernement. Les entreprises multicomunales et communales, les coopératives et les exploitations familiales et individuelles sont répandues. Les fermiers échangent le matériel génétique, les expériences et les technologies. Les entreprises multicomunales et communales ont des taux de production beaucoup plus élevés que ceux des fermiers individuels et ont mis sur pied avec succès des programmes participatifs d'amélioration de la race basés sur des plans techniquement efficaces à noyau ouvert, maintiennent leurs pâturages dans des bonnes conditions et utilisent une partie de leurs profits pour améliorer le bien-être social de leurs membres – par exemple, en achetant des matériaux pour les écoles, vendant le lait et la viande à prix réduit, et fournissant de l'assistance aux personnes âgées.

Fourni par Kim-Anh Tempelman.

Pour de plus amples renseignements, voir: FAO (2007).

PARTIE 4

Cadre 85

Amélioration génétique d'une race indigène d'animaux d'élevage – les bovins Boran du Kenya

La Boran, une race de bovins de taille moyenne originaire de l'Afrique de l'Est, est la race la plus répandue, élevée surtout pour la production de viande dans les zones semi-arides du Kenya. Les éleveurs commerciaux préfèrent la Boran aux races *Bos taurus* à cause de leur adaptabilité à l'environnement local – obtenue par des générations de sélection naturelle et artificielle dans des conditions de hautes températures, faible qualité des aliments pour animaux et difficultés graves créées par les maladies et les parasites. Le matériel génétique de la Boran est recommandé pour améliorer la production de viande d'autres races indigènes et exotiques dans les tropiques. Les exportations de matériel génétique vers la Zambie, la République-Unie de Tanzanie, l'Ouganda, l'Australie et les Etats-Unis d'Amérique ont eu lieu entre les années 70 et 90, les exportations d'embryons de Boran au Zimbabwe et en Afrique du Sud ont eu lieu en 1994 et 2000.

Ces potentialités ont poussé les fermiers à améliorer la race. Avant les années 70 déjà, la Boran avait été croisée avec les types *B. taurus*, rétrocroisée et sélectionnée intrarace (principalement en se basant sur l'évaluation visuelle conduite par l'expérience). Au cours des années 70, un plan de contrôle a été lancé. Les producteurs ont régulièrement envoyé les contrôles de performance des animaux au Centre de contrôle des animaux d'élevage pour l'évaluation génétique. Cependant, à cause des incohérences et des retards dans la publication des résultats de l'évaluation et des dépenses associées, la plupart des producteurs ont quitté le programme. En 1998, un projet de test de performance des taureaux a été mis en œuvre par le Centre national de recherche sur la viande bovine pour évaluer les taureaux des différents troupeaux. Cependant, le test de performance n'a pas pu se poursuivre par manque de fonds.

Récemment, les objectifs de sélection pour les systèmes de production de la Boran ont été élaborés. Les systèmes sont classifiés selon l'âge de vente des animaux (24 ou 36 mois), les niveaux d'intrants (faible, moyen, haut) et le but final (viande ou double fin). Les caractères d'importance économique ont été identifiés et les paramètres génétiques ont été estimés pour certains

d'entre eux. Ces caractères sont le poids à la vente pour les taurillons et les génisses, le rendement à l'abattage, le pourcentage de viande consommable, le rendement du lait dans les systèmes de production à double fin, le poids de la vache, le taux de sevrage des vaches, le taux de survie des vaches, le taux de survie après sevrage et l'apport en aliments des taurillons, des génisses et des vaches.

L'amélioration génétique de la Boran au Kenya est facilitée par la Société d'éleveurs de bovins Boran. L'appartenance à la société est restreinte aux fermiers qui détiennent les bovins Boran et à d'autres acteurs intéressés. A présent, les activités de la société se concentrent sur l'administration, le maintien des standards de la race et la recherche de nouveaux marchés pour la viande et le matériel génétique. Les fermiers sont encore indépendants par rapport à la sélection et à l'amélioration génétique. Des échanges occasionnels de matériel génétique entre les troupeaux pour la prévention de la consanguinité est probablement la seule forme d'interaction entre les exploitations. Dans la plupart des fermes, la sélection se concentre largement sur les poids au sevrage et les intervalles entre vêlages. Pour évaluer leurs animaux, certains fermiers ont acheté des programmes informatiques qui leur permettent de réorienter le contrôle de performance dans l'exploitation et l'adapter à leurs fins de gestion.

La Société d'éleveurs est parmi les associations de sélection les plus actives au Kenya. Elle n'est pas à présent subventionnée, mais elle est impliquée dans la coopération stratégique avec le Centre de contrôle des animaux d'élevage qui stocke et évalue les contrôles de performance pour les producteurs encore inscrits à ce plan de contrôle. La Société coopère également avec le Système national de recherches agricoles pour l'échange des informations – en particulier sur la nutrition et la sélection. La recherche sur l'élaboration de programmes d'amélioration génétique appropriés pour la Boran et sur la mise à jour des programmes actuels est en cours.

Fourni par Alexander Kahi.

Pour de plus amples renseignements sur les bovins Boran et la BCBS, voir: www.borankenya.org

Cadre 86**Programme de sélection des lamas à Ayopaya, en Bolivie**

Sur les hautes terres des Andes en Bolivie, l'élevage des lamas est une partie importante et intégrante de l'agriculture mixte pratiquée par les ménages ruraux. Les lamas fournissent aux petits propriétaires le fumier, la viande et les fibres; ils sont utilisés comme animaux de somme et jouent également un rôle social important. Les lamas, qui sont une espèce autochtone, contribuent au maintien de l'équilibre écologique des écosystèmes locaux fragiles. Il existe deux types principaux de lamas – le type «Kh'ara» et le type à laine, connu comme «Th'ampulli».

La région d'Ayopaya (département de Cochabamba) où se déroule le programme de sélection est située entre 4 000 et 5 000 mètres au dessus du niveau de la mer, dans la cordillère des Andes orientales. A cause des conditions géographiques et des infrastructures rudimentaires, la région est difficilement accessible.

En 1998, un programme de sélection des lamas a été lancé de façon conjointe par l'association de 120 producteurs locaux ORPACA (Organización de Productores Agropecuarios de Calientes), l'ONG ASAR (Asociación de Servicios Rurales y Artesanales) et deux universités (université Mayor de San Simon, de Cochabamba, et l'université de Hohenheim, en Allemagne). Le financement initial a été assuré par les institutions mentionnées ci-dessus. La poursuite du

Lamas de la région Ayopaya

Photo: Michaela Nürnberg

Rassemblement de lamas avant le transport

Photo: Michaela Nürnberg

programme dépend de la possibilité de garantir des financements externes.

La première étape a été l'étude du système de production par une observation participative et l'utilisation de questionnaires. Le phénotype de 2 183 lamas du type Th'ampulli a été également caractérisé. Le processus a révélé que les lamas possèdent des fibres d'une qualité extraordinaire – 91,7 pour cent de fibres fines et un diamètre moyen de fibres de 21,08 µm. Cette qualité n'a pas d'égal dans les autres populations de lama en Bolivie. Les animaux, par conséquent, constituent une ressource génétique unique. Les entretiens avec les représentants de l'industrie textile et les commerçants ont fourni des informations sur les potentialités économiques de la toison. La performance des lamas identifiés a été contrôlée et les paramètres de sélection ont été estimés. En 1999, un centre d'accouplement dirigé par ASAR, où les membres d'ORPACA portent leurs femelles, a été établi à Calientes. Les mâles sélectionnés sont détenus dans le centre pendant la saison de l'accouplement. L'évaluation phénotypique des mâles vise à identifier les animaux ayant une couleur uniforme de toison; les pattes, le dos et le cou droits; les testicules de taille égale et pas trop petits; et aucun vice congénital.

• suite

PARTIE 4

Cadre 86 suite

Programme de sélection des lamas à Ayopaya, en Bolivie

Six communautés dans un rayon d'environ 15 km sont desservies par le centre d'accouplement. Les données de performance des descendants sont enregistrées par les fermiers ayant suivis des cours de formation.

Les fonctions des lamas et les objectifs de sélection sont enregistrés, classifiés et évalués avec les éleveurs de lamas. Le programme de sélection a été adapté par une procédure graduelle pour satisfaire les préférences des sélectionneurs, les conditions du marché et les contraintes biologiques. Le progrès génétique n'a pas encore été évalué à cause du long intervalle de générations.

Fourni par: Angelika Stemmer, André Markemann, Marianna Siegmund-Schultze, Anne Valle Zárate. De plus amples renseignements sont disponibles dans les sources suivantes: Alandia (2003); Delgado Santivañez (2003); Markemann (publié prochainement): Nürnberg (2005); Wurzinger (2005), ou de la part de: Prof. Dr Anne Valle Zárate, Institut de la production animale dans les zones tropicales et sous-tropicales, université d'Hohenheim, 70593 Stuttgart, Allemagne.
Adresse électronique: inst480a@uni-hohenheim.de

Troupeau de lamas (d'Emeterio Campos) dans la région Ayopaya



Photo: André Markemann

Mesure linéaire d'un lama



Photo: Javier Delgado

Déparasitage au cours de la sélection des reproducteurs à Milluni



Photo: André Markemann

Cadre 87**Critères de sélection des pasteurs – idées d'un membre de la communauté**

Les pasteurs de l'Afrique de l'Est du groupement Karamoja⁴ ont différents animaux d'élevage, y compris les zébus, les petites chèvres de l'Afrique de l'Est, les moutons Persian Black Head, les ânes gris et les dromadaires marron clair. Certains pasteurs élèvent également des poules indigènes. Les utilisations des animaux d'élevage sont différentes et incluent: l'alimentation, un réservoir de richesse, et une devise pour échanger d'autres biens; une source de loisirs et de prestige; un moyen de paiement des dettes, des amendes et des compensations; un moyen de transport et de traction agricole; une source de peaux et fibres; et une source de fumier pour le carburant, les fertilisants ou la construction. Les animaux ont également de nombreux rôles culturels, comme le don à la famille de la mariée au moment du mariage. Ils sont également abattus au moment des rituels associés aux naissances; aux funérailles; au début de la transhumance; aux rites propitiatoires pour la pluie; contre les mauvais esprits, les épidémies ou les attaques des ennemis; les cérémonies de purification; ou la préparation d'un médicament sur l'ordonnance d'un herboriste du village.

Les critères utilisés pour les décisions de sélection sont multiples et reflètent l'interaction entre les aspects sociaux, économiques et écologiques. Ils incluent non seulement la productivité, mais également le goût de la viande, du sang et du lait; la docilité du tempérament; la couleur du manteau; les exigences religieuses; la résistance aux maladies et aux parasites; les qualités maternelles; les capacités de déplacement; la tolérance aux sécheresses; la

survie si les aliments sont insuffisants; et la tolérance aux températures et aux précipitations extrêmes.

Critères utilisés pour les décisions relatives à la sélection (par ordre d'importance)

Un taureau reproducteur devrait:

- être actif et agile – pour s'accoupler avec toutes les femelles du troupeau au cours d'une période de reproduction donnée (de tels taureaux devraient être tolérants aux maladies et aux parasites, et les maladies qui les affectent devraient être facilement détectées);
- produire des descendants qui peuvent maintenir leur poids (et le rendement de lait chez les femelles) même au cours des périodes de carence alimentaire;
- avoir une taille et un poids considérables – importants pour la possibilité de commercialité et pour le rang, mais pas trop lourds pour pouvoir entreprendre ses fonctions reproductives;
- être grand, avec une poitrine large et un dos droit – de nouveau pour satisfaire les fonctions reproductives;
- avoir la couleur du manteau et la configuration des cornes selon l'identification du propriétaire⁵ ou de la communauté;
- avoir la couleur et la qualité du manteau acceptables pour la commercialisation ou d'autres utilisations;
- avoir un tempérament adéquat – agressif⁶ contre les prédateurs, mais non agressif avec les autres animaux ou les humains

• suite

⁴ «Groupement Karamoja»: toute la population Ateker en Ouganda, au Kenya, en Ethiopie et au Soudan qui généralement partage des moyens d'existence communs. Populations «Ateker»: (diversement appelées «Ngitunga/Itunga» = la population). Les populations ayant une origine commune qui vivent en Ouganda (NgiKarimojong y compris Pokot, Iteso), au Kenya (NgiTurukana; Iteso, Pokot); en Ethiopie (NgiNyangatom/NgiDongiro) et au Soudan (NgiToposa) et leurs voisins; qui parlent des langues similaires et font référence à leurs clans comme Ateker (pl. Ngatekerin/Atekerin). Certains clans de la population Ateker sont répandus dans tout le groupement Karamoja.

⁵ Les pasteurs basent également leur nom sur la couleur ou la configuration des cornes de leurs taureaux préférés ce qui est typique du groupement Karamoja. De tels noms ont un préfixe Apa- qui signifie «le propriétaire du taureau ayant la couleur du manteau ou la configuration des cornes...». Par exemple, le nom «ApaLongor» signifie «l'homme ayant un taureau avec la couleur du manteau marron». Le taureau de reproduction préféré a de nombreux priviléges de la part du propriétaire, comme le fait d'être paré d'une cloche ou les soins immédiats lorsqu'il est malade.

⁶ Les agressions indiscriminées ne sont pas acceptables, même si d'autres caractères sont favorables.

PARTIE 4

Cadre 87 suite

Critères de sélection des pasteurs – idées d'un membre de la communauté

- De plus, les taureaux élevés pour reproduire des descendants pour la traction, devraient avoir un poids considérable, être forts et accepter le trait.
- Les taureaux de reproduction devraient rester dans le troupeau du propriétaire et ne devraient pas changer de zone ou combattre les autres taureaux.

Les femelles reproductrices devraient:

- avoir un rendement élevé et stable de lait qui n'ait pas seulement un bon goût et une grande teneur en matière butyreuse, mais qui soit également en mesure de maintenir une croissance saine et rapide de la descendance;
- être capables de vêler régulièrement et de produire des descendants à croissance rapide;
- être tolérantes à la maladie, à la chaleur, au froid et aux longues sécheresses;
- survivre avec peu d'aliments et maintenir un rendement de lait élevé, surtout au cours de la saison sèche lorsque la quantité et la qualité des aliments sont faibles;
- avoir un pis large et des trayons toujours complets;

- être dociles (les vaches) avec les humains et d'autres animaux d'élevage, mais agressives contre les prédateurs;
- pour les petits troupeaux (chèvres, moutons), donner régulièrement naissance à des jumeaux⁷.

Le rôle que les pasteurs jouent dans la durabilité par l'utilisation unique de leurs races adaptées devrait être apprécié de par le monde. Ces animaux, en plus de garantir la sécurité alimentaire et les revenus de leurs éleveurs, contribuent au maintien de la diversité génétique et apportent une ressource supplémentaire aux programmes futurs d'amélioration génétique. A cet égard, les pasteurs ont besoin d'un soutien approprié des services d'élevage fournis par les gouvernements nationaux, les organisations de la société civile et la communauté internationale.

Fourni par Thomas Loquang (membre de la communauté de pasteurs Karimojong).

Pour de plus amples renseignements, voir: Loquang (2003); Loquang (2006a); Loquang (2006b); Loquang et Köhler-Rollefson (2005).

ont plus d'un mâle d'une espèce donnée) avec leurs voisins ou avec la communauté entière.

En conclusion, la formalisation de l'amélioration génétique dans ces conditions est une tâche sûrement difficile, mais absolument pas impossible ni inappropriée.

5.2 Stratégies de sélection

Il est important de se rappeler que, quelle que soit la stratégie prise en considération, elle aura du succès seulement si certaines conditions sont satisfaites. Et encore, le fait de satisfaire ces conditions ne garantit pas le succès, mais le fait de les négliger conduira certainement à un échec. Les propriétaires d'animaux d'élevage devraient être impliqués le plus possible, et de préférence dès le début du programme. La structure sociale de la région et les objectifs des producteurs devraient

être soigneusement pris en considération. Le système entier, et non seulement un élément du système, doit être considéré. Par exemple, dans la conception d'un plan de croisement d'une région éloignée, il est nécessaire de garantir que la descendance des animaux croisés soit viable dans ces conditions.

Le programme devrait être le plus simple possible. Dans certains cas, il peut être faisable

⁷ A noter que les petits ruminants ne peuvent pas donner naissance aux jumeaux à la première grossesse. Il est permis à partir des naissances suivantes. De façon semblable, les bovins ne peuvent pas donner naissance aux jumeaux, que ce soit la première ou les grossesses suivantes. Ces situations (naissance de jumeaux) porteraient à l'abattage des animaux concernés par le lancement de pierres ou par des coups. Un animal dans une telle situation est considéré une sorcière et il doit ainsi être subitement éliminé!

Cadre 88**Le zébu Bororo des WoDaaBe au Niger – sélection pour la fiabilité dans un environnement extrême**

Cet exemple fait référence à la sélection de bovins dans un système pastoral spécialisé au Niger. Les WoDaaBe sont des éleveurs de bovins à temps plein. La commercialisation du bétail est une pierre miliare de leurs stratégies d'existence. Les troupeaux contribuent pour une part substantielle aux exportations nationales de bovins, particulièrement vers les grands marchés du Nigeria où les animaux Bororo sont vendus à un prix élevé.

«L'environnement extrême» fait ici référence à la combinaison d'un écosystème difficile caractérisé par des événements stochastiques et un accès relativement faible aux ressources de base et aux intrants externes. Les pasteurs WoDaaBe exploitent un territoire semi-aride caractérisé par des pluies variables et imprévisibles. Au cours d'une année normale, l'herbe fraîche n'est disponible que pendant deux à trois mois dans toute localité. L'accès au fourrage, à l'eau et aux services demande un certain niveau de pouvoir d'achat et de négociation avec les acteurs économiques voisins, en concurrence pour ces ressources. Les WoDaaBe se trouvent habituellement du côté faible lors de ces transactions.

Il a été proposé que le concept de «fiabilité» soit la clé pour la compréhension des stratégies de gestion des pasteurs dans de telles conditions (Roe *et al.*, 1998). Les systèmes pastoraux à «haute fiabilité» sont réglés plus par une gestion active des difficultés que par le fait de les éviter, et pour garantir un flux régulier de production d'élevage. Dans ces systèmes, la sélection doit être étroitement liée à l'environnement et à la stratégie de production. Le but principal des WoDaaBe est d'optimiser la santé et la capacité de reproduction du troupeau pendant toute l'année. Leur système de gestion vise à garantir que les animaux mangent la plus grande quantité d'aliments possible au régime le plus riche possible pendant toute l'année (cf. FAO, 2003). Ceci implique un travail spécialisé, basé sur la gestion de la diversité et de la variabilité des ressources en pâturage et des capacités du bétail.



Photos: Saverio Kräfli

La valeur nutritionnelle du pâturage est optimisée en déplaçant le troupeau dans les zones avec une distribution hétérogène, du point de vue spatial et temporel, du fourrage. De plus, la capacité d'embouche des animaux est prolongée au-delà du niveau naturel. Si la capacité alimentaire a en partie une base génétique (par exemple, le système enzymatique ou la taille et la structure de la bouche), elle est également affectée

• suite

PARTIE 4

Cadre 88 suite

Le zébu Bororo des WoDaaBe au Niger – sélection pour la fiabilité dans un environnement extrême

par l'apprentissage, basé sur l'expérience individuelle et l'imitation entre les partenaires sociaux (par exemple, un comportement efficace de déplacement et de pâturage et les préférences de régimes). La motivation alimentaire des animaux est manipulée en optimisant leur retour digestif et en garantissant la meilleure qualité de fourrage et les conditions d'alimentation préférées. Un régime soigneusement diversifié d'herbes et de jeunes pousses est favorisé pour corriger les déséquilibres nutritionnels qui, surtout au cours de la saison sèche, pourraient affaiblir la motivation alimentaire par le déclenchement de retours digestifs négatifs. Le régime d'eau de la saison sèche est également façonné pour aiguiser la performance digestive des bovins et satisfaire ainsi le but stratégique à long terme, qui est de maximiser la production.

La stratégie de production est très exigeante pour les populations et pour le troupeau. Au début de la saison sèche, tandis que les autres groupes de pasteurs partageant le même écosystème se déplacent vers les points d'eau, où l'eau est plus accessible mais les pâturages sont maigres, les WoDaaBe se déplacent dans l'autre direction, cherchant à maintenir leurs camps près des fourrages de qualité supérieure. Ceci porte à une mobilité de longue distance et à un régime d'eau qui, au moment culminant de la saison chaude, souvent exige des déplacements de 25–30 kilomètres pour atteindre le puits et la possibilité de boire une fois tous les trois jours.

Il est donc essentiel pour la stratégie de production des WoDaaBe que les modèles comportementaux fonctionnels du troupeau soient maintenus. Par conséquent, leur système de sélection se concentre sur le soutien de l'organisation et de l'interaction sociales au sein du troupeau. Il encourage le partage des capacités alimentaires des animaux entre le réseau de sélection et cherche à garantir la continuité génétique et «culturelle» des lignées bovines réussies. Ces lignées ont prouvé leur capacité à se développer dans le système de gestion du troupeau des WoDaaBe et, au cours d'une période assez longue, à surmonter des épisodes de stress grave. La stratégie se concentre plus sur la garantie de fiabilité de la performance reproductive du troupeau que sur la maximisation de la performance individuelle pour des caractères spécifiques.

La sélection implique l'accouplement sélectif de vaches avec des reproducteurs assortis, et une politique de commercialisation qui vise les vaches non productives. Moins de 2 pour cent des mâles sont utilisés pour la reproduction. Une surveillance attentive du troupeau favorise la détection rapide de la chaleur et assure que plus de 95 pour cent des naissances proviennent d'accouplements avec des mâles sélectionnés. Un reproducteur différent est utilisé pour presque chaque chaleur d'une vache particulière, avec un rapport global d'environ un reproducteur pour toutes les quatre naissances. Les reproducteurs enregistrés sont prêtés à l'intérieur de réseaux élargis d'éleveurs (souvent liés). L'emprunt des reproducteurs reste fréquent (affectant environ la moitié des naissances) même lorsqu'un sélectionneur possède lui-même des reproducteurs enregistrés. L'accouplement avec des reproducteurs non enregistrés (possédés ou empruntés) affecte environ 12 pour cent des naissances. Les deux pratiques sont maintenues explicitement pour préserver la variabilité. Les éleveurs se souviennent habituellement des généralogies matrilinéaires et du père de chaque animal du troupeau, avec les généralogies des reproducteurs spéciaux, et de l'identité et du propriétaire de tous les reproducteurs empruntés.

La productivité d'une vache dépend de la capacité de l'animal à réagir au système de gestion. En adoptant une stratégie de production qui manipule la connaissance des animaux de l'écosystème, l'éleveur expose ses animaux à des environnements naturels différents qui impliquent des combinaisons de conditions de fourrage et d'eau favorables et défavorables. Au cours des années, certaines vaches se développent et produisent de nombreux descendants tandis que d'autres meurent ou survivent avec difficulté et sont vendues. Ainsi, les WoDaaBe sont en mesure de contrôler la pression de la sélection naturelle selon leurs objectifs de sélection.

Fourni par Saverio Kräli.

Pour de plus amples renseignements, voir: Kräli (2007).

Cadre 89**Programmes communautaires de sélection pour les races locales de porcs au Viet Nam du nord**

Dans les régions montagneuses du Viet Nam du nord-ouest, la sélection des animaux et les programmes de gestion peuvent contribuer à l'amélioration des moyens d'existence ruraux, s'ils respectent les objectifs de production, l'intensité et la disponibilité de ressources des systèmes d'agriculture mixte des petits propriétaires qui vivent dans un environnement faible en ressources. La race locale de porcs Ban, qui montre une considérable rusticité, mais possède une performance de reproduction et de croissance faibles, est de plus en plus remplacée par des truies Vietnamese Mong Cai à plus haut rendement, provenant du delta de la rivière Rouge.

Dans le cadre d'un projet de collaboration entre l'Institut national de l'élevage d'Hanoï et l'université d'Hohenheim, en Allemagne⁸, des programmes communautaires de sélection des porcs ont été établis dans sept villages différents par leur éloignement et leur accès au marché.

A présent, 176 ménages participent aux programmes. Les plans de test de performance dans l'exploitation ont été élaborés. Les fermiers reçoivent des fiches de données sur lesquelles ils enregistrent la performance de leurs porcs (surtout la date de mise bas et le nombre de porcelets). Les chercheurs vietnamiens et allemands entrecouperont les données et collectent, lors des visites aux villages, des données supplémentaires par la pesée et l'identification des animaux. Des fermiers spécialement formés intègrent les données dans la banque de données du projet en utilisant le logiciel PigChamp® et les chercheurs analysent ensuite les données.

Au Viet Nam, les fermiers reçoivent souvent de l'argent pour leur participation aux projets; dans le cas de ce projet, les compensations sont graduellement réduites. Les résultats sont communiqués aux fermiers lors des séminaires et des cours de formation et sont ensuite utilisés pour optimiser la sélection (sélection des

cochettes et optimisation des plans d'accouplement). Pour garantir la durabilité à long terme, les partenaires locaux, comme le Département provincial de l'agriculture et du développement rural et le sous-département de la santé animale de la province de Son La, sont activement impliqués et formés. La coopération avec les services de vulgarisation provinciaux sera renforcée pendant la phase courante du projet. Au cours des phases précédentes, la forte orientation du service vers une gestion intensive dans les régions favorisées a limité les échanges. Le soutien financier pour l'avenir du projet semble disponible grâce au mandat officiel de l'Institut national de l'élevage à entreprendre des projets pour la conservation des ressources zoogénétiques. De plus, l'élément commercial du projet vise à garantir la viabilité économique à long terme.

Le test de performance initial indique que la Mong Cai et leurs descendants croisés (reproduits par des verrat exotiques) sont plus adaptés aux conditions de production semi-intensive et axée sur le marché, où sont accessibles les niveaux plus élevés d'intrants nécessaires pour atteindre une plus haute production. Ils semblent moins robustes aux climats difficiles des hautes terres et aux conditions d'intensité d'intrants faible et variable. Les porcs Ban sont uniquement adaptés aux conditions extensives d'agriculture de subsistance des environnements faibles en ressources. Au cours du projet, on s'occupera de développer les objectifs de sélection, d'optimiser les programmes de sélection stratifiés et de mettre en œuvre des programmes de commercialisation. Près de la ville, la viande maigre est produite à partir de descendants croisés des truies Mong Cai. La production de porcs Ban se poursuit dans les localités éloignées avec des animaux de race pure ou croisés, qui sont commercialisés comme une appellation d'origine – contribuant ainsi à la «conservation par l'usage» de cette race locale.

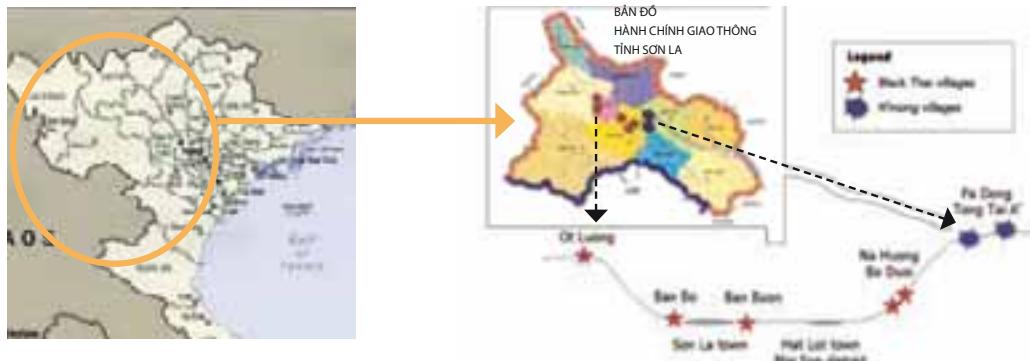
• suite

⁸ Financé par l'Association allemande de recherche dans le cadre du programme de collaboration sur la recherche entre Thaïlande, Viet Nam et Allemagne SFB 564 et par le Ministère des sciences et des technologies du Viet Nam.

PARTIE 4

Cadre 89 suite

Programmes communautaires de sélection pour les races locales de porcs au Viet Nam du nord

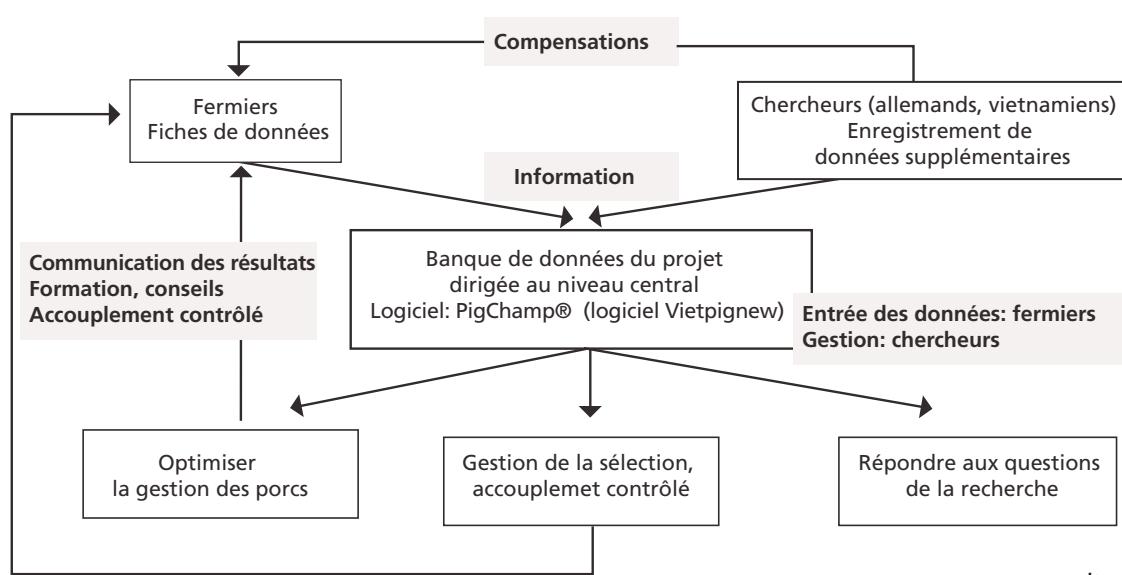


Truie Mong Cai



Photos fournies par Ute Lemke

Porcs d'engraissement Ban



• suite

Cadre 89 suite**Programmes communautaires de sélection pour les races locales de porcs au Viet Nam du nord****Porcs dans le district de Song Ma**

Photo: Pham Thi Thanh Hoa

Pesage des porcs à Pa Dong, district de Mai Son

Photo: Regina Rößler

Fourni par Ute Lemke et Anne Valle Zárate.

De plus amples renseignements sont disponibles dans les sources suivantes: Huyen, *et al.* (2005); Lemke, (2006); Rößler. (2005), ou de la part de: Prof Dr Anne Valle Zárate, Institut de la production animale aux tropiques et aux sous-tropiques, université d'Hohenheim, 70593 Stuttgart, Allemagne. Adresse électronique: inst480a@uni-hohenheim.de

de croiser les femelles avec des mâles d'autres races disponibles dans les environs, mais les programmes qui demandent l'utilisation continue de mâles de plus d'une race ne sont pas faisables dans les systèmes à faible intensité d'intrants.

Stratégies de sélection

La décision des objectifs de sélection est la tâche la plus importante et la plus difficile de tout programme d'amélioration génétique et la marge d'erreur est encore plus limitée dans les systèmes à faible intensité d'intrants. Les questions qui doivent être considérées dans ces conditions incluent: qu'est-ce qu'il faudrait changer (s'il le fallait) et qu'est-ce qu'on pourrait vraiment considérer comme une amélioration dans ces conditions?

Un système à faible intensité d'intrants est également un système à faible production, ce qui ne signifie pas forcément une faible productivité. Pour un système à faible intensité d'intrants, il ne faut pas penser à l'amélioration génétique

uniquement en termes d'augmentation des caractères de production, comme le poids, la production de lait et d'œufs ou le poids de toison. L'efficacité est également un critère clé. Malheureusement, les connaissances sur l'amélioration génétique de l'efficacité intrinsèque sont insuffisantes. L'efficacité accrue est habituellement mesurée en termes d'efficacité brute accrue. L'augmentation de l'efficacité brute observée chez les animaux hautement productifs résulte de l'utilisation d'une part plus limitée de l'apport en nutriments des animaux pour la maintenance et d'une part plus élevée pour la production, ce qui ne signifie pas que l'animal doit être moins nourri pour atteindre un niveau donné de performance.

La sélection basée sur la consommation résiduelle a été proposée en tant que moyen d'amélioration de l'efficacité intrinsèque. Ceci est un critère important pour toutes les espèces et pour tous les systèmes de production. La sélection, pour réduire la consommation résiduelle, permet

PARTIE 4

de produire des animaux qui mangent moins sans réduire la croissance ou la production (Herd et al., 1997; Richardson et al., 1998). Par exemple, contrairement au rapport gain en poids/apport alimentaire, la consommation résiduelle est relativement indépendante de la croissance. La consommation résiduelle est par conséquent une mesure plus sensible et précise de l'utilisation des aliments pour animaux (Sainz et Paulino, 2004).

Cadre 90 Le coût de l'hétérosis

L'hétérosis a été parfois considérée une possibilité gratuite pour obtenir une rentabilité accrue. Bien qu'elle puisse valoir plus de ce qu'elle coûte, l'hétérosis n'est pas gratuite. Elle implique au moins deux types de coûts.

Premièrement, il y a le coût impliqué pour satisfaire les exigences nutritionnelles pour la performance additionnelle. La performance plus élevée de l'animal croisé tend à réduire le coût de production par unité, parce que le coût de la maintenance représente une plus petite part des besoins totaux, mais il faut ajouter le coût pour la production supplémentaire.

Deuxièmement, il y a le coût associé aux changements potentiels de la structure de la population. Ces coûts peuvent inclure: 1) les réductions de la taille (et une correspondante hausse du niveau de consanguinité) d'une population originale de race pure, se produisant pour satisfaire les besoins de production de la population croisée; et 2) la réduction des possibilités de sélection pour la productivité des femelles dans une population où certaines des femelles croisées ne sont pas considérées des candidats pour la sélection (comme dans tout système de reproducteur terminal).

Enregistrement des données dans les systèmes à faible intensité d'intrants

L'absence d'un plan d'enregistrement plausible et des ressources pour le stockage et la gestion des données appropriés freine le développement de programmes de sélection durables dans les systèmes à faible intensité d'intrants. La gestion d'une base de données informatisée peut être coûteuse et exiger des compétences spécialisées. Dans de nombreux pays africains, la carence des compétences techniques et des ressources financières a été considérée l'obstacle principal à l'établissement de systèmes durables d'enregistrement des animaux (Djemali, 2005). Grâce aux avancées continues de la technologie de l'information, les dispositifs d'enregistrement des données sont de moins en moins coûteux et facilitent l'enregistrement dans les systèmes à faible intensité d'intrants. Quelques petits groupes de personnes pourraient collecter de grandes quantités de données dans des localités éloignées et les transmettre à une base de données centralisée en utilisant des dispositifs électroniques manuels, des ordinateurs portables et l'Internet.

Cadre 91 Plan villageois d'amélioration des volailles au Nigeria

Un plan villageois d'amélioration des volailles visant à croiser la race indigène de poules avec des races améliorées exotiques (Rhode Island Red, Light Sussex et Australorp) a été lancé au Nigeria, vers 1950 (Anwo, 1989). La stratégie était d'abattre tous les mâles indigènes et de les remplacer par les races améliorées importées d'un «programme d'échange de coqs» (Bessei, 1987). Ce plan a été un échec parce que les poussins croisés, bien que meilleurs en performance, ne pouvaient pas survivre dans le système de production extensive de basse-cour semi-sauvage des poules indigènes. Un autre inconvénient majeur a été que le remplacement de la race a provoqué une perte rapide de variation génétique et une diminution des ressources zoogénétiques disponibles.

Cadre 92**Programme communautaire et participatif de croisement des chèvres laitières dans le système à faible intensité d'intrants des petits exploitants des hauts-plateaux de l'est du Kenya**

Le projet Meru de FARM-Africa au Kenya est un exemple de programme de croisement global et flexible. Les génotypes améliorés des chèvres et les pratiques d'élevage améliorées ont été adoptés par les fermiers très pauvres ayant des revenus bien en dessous d'un dollar EU par personne par jour. Les chèvres locales (Galla et East African) étaient difficiles à maintenir dans les fermes de petite taille et en déclin (0,25 à 1,5 acres) et les fermiers ont commencé à abandonner leur production. Par conséquent, le programme de croisement visait à fournir des animaux plus dociles et plus productifs. Soixante-huit femelles et 62 mâles des chèvres Toggenburg ont été importés du Royaume-Uni et croisés avec les chèvres indigènes: la Toggenburg fournissait le potentiel laitier et les chèvres locales l'adaptabilité. Les introductions et les essais précédents avaient indiqué que les Toggenburg étaient mieux adaptées que les autres races exotiques, comme les Saanen et les Anglo-Nubian.

Le projet a adopté une approche participative et communautaire. Les fermiers ont établi les règles, les règlements et les mécanismes du projet. Il a été lié au gouvernement, au NARS et aux instituts de recherche internationaux qui ont fourni la formation en matière

d'élevage (logement, nutrition, production du fourrage, tenue des registres et assistance sanitaire), de dynamiques de groupe, de commercialisation et d'esprit d'entreprise.

Les groupes de fermiers étaient initialement composés de 20 à 25 membres, mais au cours du temps certains groupes sont devenus plus petits, tandis que d'autres ont grandi. Quatre de ces groupes se sont unis dans une unité (principalement pour des raisons administratives et de surveillance) et les représentants ont été élus au sein d'un organisme plus élargi, l'Association d'éleveurs de chèvres Meur. De petites unités de sélection (un bouc et quatre chèvres) étaient fournies (en tant que prêt à payer en nature) à un membre du groupe qui produisait les Toggenburg nécessaires pour les reproducteurs. Un bouc de race pure Toggenburg était fourni à chaque groupe de fermiers et élevé dans un centre de bouc, maintenu par un autre membre du groupe. Les femelles locales étaient amenées au centre pour le service. Les femelles F1 étaient rétrocroisées avec des boucs Toggenburg non liés pour produire des animaux $\frac{3}{4}$ Toggenburg et $\frac{1}{4}$ locaux. Ceux-ci étaient évalués et les mâles supérieurs étaient sélectionnés pour intégrer de nouveaux centres de boucs où ils recevaient des

Données statistiques du projet de 1996 à 2004

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Nouveaux groupes de fermiers	10	34	20	6	12	10	7	18	8
Nouveaux centres de boucs	10	34	10	11	6	16	14	3	22
Nouvelles unités de sélecteurs	5	20	25	10	12	6	2	4	7
Services des boucs		809	1 994	3 376	3 936	3 892	3 253	5 660	6 500
Familles inscrites	250	1 100	1 125	1 400	1 550	1 700	2 050	2 050	2 650
Croisements produits		990	2 894	3 241	3 817	3 736	4 187	5 865	7 200

Source: Projet des chèvres laitières et de l'assistance sanitaire des animaux FARM-Africa; rapports biannuels janvier 1996-juin 2004.

• suite

PARTIE 4

Cadre 92 suite**Programme communautaire et participatif de croisement des chèvres laitières dans le système à faible intensité d'intrants des petits exploitants des hauts-plateaux de l'est du Kenya**

femelles non apparentées ayant une composition génétique similaire ($\frac{3}{4}$ Toggenburg et $\frac{1}{4}$ locale). Les essais initiaux avaient indiqué que de telles femelles produisaient des quantités appropriées de lait et de viande et étaient raisonnablement adaptées aux conditions locales. Par le biais de l'Association d'éleveurs, qui enregistrait également les croisements au livre généalogique du Kenya, les groupes mettaient les boucs en rotation tous les ans, ou après un an et demi, pour éviter la consanguinité. Si les fermiers voulaient encore améliorer la race vers la Toggenburg, ils pouvaient le faire par d'autres rétrocroisements avec les femelles $\frac{3}{4}$ Toggenburg et les boucs de race pure non apparentée.

Deux ans après la sortie de FARM-Africa du projet, le nombre de groupes opérationnels a continué d'augmenter. En 2006, l'Association d'éleveurs avait 3 450 membres qui élevaient des chèvres améliorées produisant entre 1,5 et 3,5 litres de lait par jour. Le groupe produisait environ 3 500 litres de lait par jour, dont une partie était transformée et emballée pour la vente. Les familles membres possédaient plus de 35 000 chèvres améliorées, dont 30 pour cent ont une généalogie et des données de performance fiables. Les données de performance sont utilisées pour calculer les taux de croissance et les rendements de lait. Ces données ont été formellement traitées par FARM-Africa. Après être sortie du projet, l'Association des éleveurs a été encouragée à établir une collaboration avec des universités et des instituts de recherche pour les aider dans le traitement des données. La plupart des propriétaires des chèvres améliorées ne sont plus «pauvres». Certains éleveurs ont utilisé les profits de la production des chèvres pour acheter une ou deux vaches laitières, construire des maisons de meilleur

état et éduquer leurs enfants. La production de yaourt et de lait frais pasteurisé (valeur ajoutée) est indicatif de la possibilité d'autres développements.

Les caractéristiques qui ont favorisé le succès du programme incluent:

- une approche basée sur les fermiers dès son début;
- une concentration sur le renforcement des capacités pour que les fermiers puissent diriger le programme;
- la disponibilité de matériels de sélection produits localement;
- une approche de groupe – les fermiers se forment entre eux et partagent les expériences;
- le renforcement des capacités du personnel de vulgarisation, des messages de vulgarisation centrés sur les fermiers, et des approches participatives; et
- l'établissement dans la communauté d'unités de sélection et des centres de boucs.

Grâce au programme, après la fin du «projet», les fermiers ne dépendent pas des services du gouvernement. Les reproducteurs sont approvisionnés par les fermiers mêmes et un service parallèle d'assistance sanitaire des animaux a été également établi par les opérateurs de santé animale communautaires associés à des paravétérinaires et des vétérinaires plus qualifiés. Un programme intégré de fourrage et reforestation a été également mis en place.

Fourni par Okeyo Mwai et Camillus O. Ahuya.
Pour des lectures supplémentaires, voir: Ahuya *et al.* (2004); Ahuya *et al.* (2005); Okeyo (1997).

Une telle base de données pourrait être basée auprès d'une université ou d'un département gouvernemental. Les gouvernements ou les donateurs pourraient faciliter le développement de programmes de sélection pour les systèmes à faible intensité dans les pays en développement par la fourniture de ce genre de matériels.

Les programmes de sélection

Si le changement génétique est justifié, que faut-il faire pour l'obtenir? Le choix se pose entre la sélection en race pure et le croisement, mais le choix de l'option appropriée est loin d'être simple.

Dans les systèmes à faible intensité d'intrants, l'adaptation à l'environnement est une condition préalable si l'on veut améliorer l'efficacité. Ceci est une question de grande importance, car l'intervention pour réduire les facteurs de stress environnementaux (aliments supplémentaires, soins contre les parasites ou autres intrants de gestion) est souvent inabordable. Dans ces circonstances, la sélection en race pure pour améliorer les races indigènes adaptées peut représenter une option intéressante. La mise en œuvre d'un programme de sélection est une opération à long terme, exigeant des ressources considérables, une organisation efficace et (surtout) l'engagement de tous les acteurs impliqués. Ces exigences tendent à être absentes dans les systèmes à faible intensité d'intrants des pays en développement et les programmes qui existent ont une portée très limitée. Par exemple, le programme de sélection de la chèvre naine ouest-africaine a été mené dans des instituts de recherche (surtout au Nigeria) (Odubote, 1992).

Le croisement avec une race exotique peut paraître un moyen plus rapide pour améliorer la performance, avec une hausse minimale d'intrants. Cependant, la performance plus élevée des croisés est accompagnée par des exigences nutritionnelles et de gestion plus élevées (contrôle des maladies, logements, etc.). Par conséquent, tout système ayant des animaux croisés à plus haute performance aura besoin (entre autres) d'une quantité plus élevée d'aliments ce qui, dans

de nombreux cas, ne peut s'atteindre qu'en ayant un nombre plus restreint d'animaux.

Si, après une analyse soigneuse, le croisement est considéré une option plus intéressante que la sélection de la race locale, le programme devrait être élaboré de façon à se baser sur les intrants disponibles localement. Les croisements avec une race exotique (non adaptée) présentent des difficultés particulières. Même si les animaux F1 sont suffisamment adaptés, les mâles de race pure exotique subiront un stress environnemental qui entraînera souvent la réduction de la vie reproductive. Même si le mâle de la race exotique peut se maintenir avec succès, le rétrocroisement résultant de l'accouplement des femelles F1 avec les mâles ne s'adaptera presque jamais de façon adéquate à la zone. Par conséquent, les femelles F1 devraient être accouplées de préférence aux reproducteurs de la race adaptée.

Une autre possibilité dans ces conditions est d'utiliser les mâles F1, génération après génération. Dans un tel système, les femelles locales originaires sont accouplées aux mâles F1, produisant ainsi des descendants qui sont $\frac{1}{4}$ exotiques. Les femelles $\frac{1}{4}$ exotiques sont à leur tour accouplées aux mâles F1 produisant des femelles qui sont $\frac{3}{8}$ exotiques. Après quelques générations, les animaux seront presque moitié exotiques. Ce système introduit l'influence exotique dans la population, mais n'utilise ni produit jamais des animaux plus de la moitié exotiques.

Une autre possibilité de croisement dans les systèmes à faible intensité d'intrants est le croisement des races différentes qui sont adaptées aux conditions de production. L'avantage évident de tels programmes est la capacité à maintenir et produire les reproducteurs dans la zone, sans intrants additionnels. Il serait logique de penser que de tels croisements produisent des animaux moins productifs et/ou montrent moins d'hétérosis que les croisements entre une race locale et une race exotique. Cependant, Gregory *et al.* (1985) indiquent des estimations d'hétérosis pour le poids du veau sevré par vache de 24 pour cent entre les bovins Boran et Ankole et de 25 pour

PARTIE 4

cent entre la Boran et le petit zébu de l'Afrique de l'Est.

Dans tout programme de croisement, il est important de considérer le système entier et tous les rendements produits. En commentant l'intérêt du croisement pour la production de lait dans les tropiques, LPPS et Köhler-Rollefson (2005) écrivent: «En Inde, de nombreux propriétaires de vaches croisées ne savent pas comment utiliser les veaux mâles, et ils les laissent mourir».

6 La sélection dans le contexte de la conservation

Les programmes de conservation des ressources zoogénétiques sont abordés en détail dans d'autres parties du présent Rapport. Les chapitres suivants, par conséquent, s'occupent particulièrement des aspects de la sélection à considérer lors de la mise en œuvre des mesures de conservation. Un programme de conservation peut simplement viser à garantir la survie d'une population par la surveillance et la maintenance de son intégrité ou peut également avoir comme objectif l'amélioration de la performance de la population.

6.1 Méthodes de surveillance des petites populations

La FAO a produit plusieurs publications sur la gestion des petites populations en danger – voir par exemple FAO (1998). Ces documents fournissent un examen plus détaillé du sujet. Si l'objectif est simplement de garantir la survie de la population et la maintenance de son intégrité (en tant que population de race pure), la stratégie de conservation est limitée à la surveillance de la population et à garantir que la consanguinité et la taille effective de la population restent dans des limites acceptables.

La consanguinité est le résultat de l'accouplement d'animaux apparentés. Dans une petite population, tous les animaux des générations futures seront apparentés et l'accouplement entre ces animaux portera

à la consanguinité. L'effet génétique de la consanguinité est une homozygosité accrue – l'animal reçoit les mêmes allèles des deux parents. Le degré de consanguinité et d'homozygosité des générations futures peut se prévoir à partir de la taille de la population.

Le nombre des mâles reproducteurs étant presque toujours inférieur au nombre des femelles reproductrices, le nombre des mâles reproducteurs est le facteur le plus important déterminant le degré de consanguinité. La taille effective de la population (N_e) est une fonction du nombre des mâles reproducteurs et des femelles reproductrices. Si N_m représente le nombre des mâles reproducteurs et N_f représente le nombre des femelles reproductrices, la taille effective de la population peut se calculer comme:

$$N_e = (4N_m N_f) / (N_m + N_f)$$

Si le nombre des mâles reproducteurs est le même que le nombre des femelles reproductrices, la taille effective de la population équivaut à la taille réelle de la population; si les nombres de mâles et de femelles sont différents, la taille effective de la population est inférieure à la taille réelle de la population. Si le nombre des femelles reproductrices est beaucoup plus élevé que le nombre des mâles, la taille effective de la population est légèrement inférieure à quatre fois le nombre de mâles.

Une baisse de la taille effective de la population dans les populations d'animaux d'élevage peut s'observer dans deux situations. La première et la plus évidente est lorsque la taille de la population réelle baisse. Ceci peut se produire par le remplacement d'une part significative d'une race avec des animaux de reproduction d'une autre race ou par le croisement d'une part significative de la race.

La seconde situation est lorsqu'un reproducteur particulièrement populaire et ses fils et d'autres descendants sont grandement utilisés. A partir du premier établissement des sociétés de sélection jusqu'à la moitié du siècle XIX^e, une grande partie de la popularité de reproducteurs particuliers s'est produite grâce aux succès lors des salons. Au cours des années récentes, la valeur génétique

prévue pour des caractères particuliers a été le facteur décisif. Pour les bovins laitiers, la sélection a été pendant longtemps presque complètement concentrée sur le rendement laitier. Hansen (2001) signale que bien que plus de 300 000 têtes de bétail aient été enregistrées par la Holstein Association USA Inc. en l'an 2000, la taille effective de la population était seulement de 327 têtes. En utilisant les données généalogiques des bovins nés en 2001, Cleveland *et al.* (2005) indiquent une taille effective estimée de la population des Hereford des Etats-Unis d'Amérique de 85 têtes. L'American Hereford Association a enregistré plus de 75 000 têtes en l'an 2001.

Le niveau de consanguinité d'une population donnée dépend plus de la taille effective de la population que de la taille réelle de la population. La croissance du niveau de consanguinité par génération est estimée à $1/2N_e$. Celle-ci est la croissance prévue par génération si chaque animal produit un nombre égal de descendants et les animaux de la population initiale ne sont pas apparentés entre eux. Si ces hypothèses ne sont pas satisfaites, le niveau de consanguinité sera plus élevé. En se basant sur cette relation, Gregory *et al.* (1999) recommandent qu'au moins 20 à 25 reproducteurs soient utilisés par génération. Ceci serait également un nombre raisonnable à utiliser dans la conservation d'une race. L'utilisation de 25 reproducteurs par génération porterait à un taux d'augmentation de la consanguinité d'environ 0,5 pour cent par génération.

Si la perte de la taille effective de la population est une question importante dans la conservation des ressources zoogénétiques, il est intéressant de constater que les sélectionneurs ayant du succès ont toujours accepté un certain niveau de consanguinité dans leurs programmes. Ces sélectionneurs ont mis sur pied des troupeaux qui satisfaisaient leurs standards – les animaux produits dans ces troupeaux fermés devenaient forcément étroitement apparentés, créant ainsi de la consanguinité (Hazelton, 1939).

6.2 Conservation par la sélection

Les objectifs d'un programme de conservation peuvent inclure non seulement la survie et l'intégrité d'une population cible, mais également l'amélioration de son taux de reproduction et la performance, tout en maintenant ses caractéristiques adaptatives. Une grande partie des questions abordées ci-dessus sur la stratégie de sélection pour les systèmes à faible intensité d'intrants sont probablement applicables dans ces circonstances. Ce sous-chapitre se concentre sur les risques potentiels associés aux croisements dans le contexte de la conservation de la race.

Une alternative pour la sauvegarde d'une race est son utilisation comme un des éléments d'un programme de croisements. Cependant, toute utilisation de femelles de race pure pour produire des croisements réduira la taille de la population, à moins qu'il y ait un surplus de femelles. Dans de nombreux cas, les conditions de l'environnement et de la gestion ne laissent pas un surplus important de reproduction – surtout pour les bovins, qui ont des taux de reproduction faibles. Ainsi, la plupart des femelles élevées doivent se retenir comme animaux de reproduction pour maintenir la taille de la population. En fait, l'effet le plus considérable est produit par l'exigence d'avoir un nombre plus faible de mâles indigènes de reproduction, déterminé par le nombre plus faible de femelles indigènes utilisées pour produire des descendants de race pure. Un point de départ logique pour la considération d'un programme de croisement est donc l'estimation du surplus de reproduction des femelles. Ceci se mesure par la part des jeunes femelles disponibles pour l'abattage ou pour la vente en dehors du programme (ou de la région). Par exemple, pour les troupeaux de bovins à viande relativement bien dirigés dans les régions tempérées, environ 40 pour cent des génisses sont nécessaires pour les remplacements si l'on veut maintenir la taille du troupeau.

Une fois connu le surplus de reproduction des femelles et de la fraction de la population totale normalement composée de croisés, on peut

PARTIE 4

calculer la part de races pures pouvant être utilisée pour produire de F1 sans réduire encore la taille de la population de race pure. Par exemple, s'il y a 20 pour cent de surplus de reproduction des femelles, et si la population est composée de 50 pour cent de race pure et 50 pour cent de croisés (incluant toute femelle de race pure utilisée pour les croisements), la population pourrait se composer d'un peu plus de 50 pour cent de race pure produisant des races pures, d'un peu plus de 20 pour cent de races pures produisant F1, et d'un peu moins de 30 pour cent de femelles F1, sans d'autres réductions de la taille de la population de race pure qui produit les races pures. Ces valeurs présument qu'aucune des femelles produites par des femelles F1 soit retenue comme femelle reproductrice; en fait, ceci ne pourrait jamais se produire.

7 Conclusions

Les méthodes et l'organisation de la sélection varient beaucoup entre les systèmes industrialisés de production commerciale et les systèmes de subsistance à faible intensité d'intrants. L'organisation courante du secteur de la sélection est le résultat d'un long processus évolutionnaire. La dernière évolution est la diffusion du modèle de sélection industrialisée, typique du secteur avicole, aux autres espèces.

Le modèle de sélection industrialisée utilise les techniques les plus avancées pour l'amélioration génétique. Les programmes de sélection se basent principalement sur l'élevage en race pure et varient selon les caractéristiques de l'espèce. Les entreprises de sélection commercialisent leurs animaux de par le monde. Cette tendance, qui est bien établie pour les éleveurs «commerciaux» de porcs et de volailles, est de plus en plus vraie pour les bovins à viande et laitiers. Pour sélectionner des animaux robustes, capables de se développer de façon adéquate dans des environnements différents, les sélectionneurs dirigent des programmes de sélection dans les différents environnements et systèmes de gestion. Cependant, il n'est pas possible d'avoir des animaux

qui produisent bien partout et dans toutes les conditions. Des races et lignées différentes peuvent être ainsi développées et satisfaire les demandes des systèmes à forte intensité d'intrants. Jusqu'à présent, les connaissances sur les aspects génétiques de l'adaptation ont été limitées. Au cours des prochaines années, les scientifiques et les entreprises de sélection devraient explorer ces questions de façon plus approfondie dans leurs programmes de recherche et de sélection.

Dans les systèmes à faible intensité d'intrants externes, les animaux détenus par de petits éleveurs représentent un élément important de la sécurité alimentaire du ménage et du tissu social des communautés villageoises. Les petits éleveurs et les pasteurs détiennent surtout des races locales. L'amélioration génétique dans ces conditions est une tâche difficile, mais possible. Des directives détaillées pour la conception et l'exécution des programmes d'utilisation et d'amélioration de race durables pour les systèmes à faible intensité d'intrants sont en voie d'élaboration et de validation. L'élevage en race pure visant à ajuster une race locale aux besoins qui changent des producteurs est l'option la plus viable, non seulement pour la maintenir dans la production et donc pour la sauvegarder, mais également pour améliorer la sécurité alimentaire et lutter contre la pauvreté. Une autre option est de l'utiliser en tant qu'élément d'un programme de croisements bien planifié. Au moment de l'introduction d'un programme de sélection, il faudrait accorder une attention particulière à l'amélioration des conditions de gestion et des pratiques d'élevage.

Une tendance commune dans la recherche liée aux programmes de sélection de toutes les espèces est une concentration croissante sur les caractères fonctionnels – en réponse à l'importance croissante attribuée à facteurs comme le bien-être animal, la protection de l'environnement, les qualités distinctives des produits et la santé humaine. Des exemples de caractères fonctionnels sont la robustesse, la résistance aux maladies et les caractères de comportement, la fertilité, la capacité d'utilisation du fourrage, la facilité

de vêlage et la bonne traite. Généralement considérés comme des caractères secondaires dans les systèmes à forte intensité d'intrants, les caractères fonctionnels revêtent une grande importance dans les systèmes à faible intensité d'intrants. Cependant, l'enregistrement des caractères fonctionnels est encore un obstacle qui freine leur inclusion aux programmes de sélection. Les informations sur la base génétique de la résistance aux maladies, du bien-être, de la robustesse et de l'adaptation aux différents environnements sont insuffisantes. Néanmoins, les industries de bovins laitiers et de porcs ont commencé à utiliser le typage d'ADN des gènes simples et la génomique (SNP) pour contrôler les animaux de reproduction. Ceci soutiendra le déplacement prévu vers la sélection des caractères fonctionnels et durables de productivité.

A cause de la tendance à une utilisation réduite des médicaments chimiques dans le monde développé, les animaux doivent avoir une meilleure résistance, ou du moins tolérance, aux maladies et aux parasites particuliers. Cependant, pour des raisons économiques et de bien-être animal, il est très difficile de sélectionner de tels animaux en utilisant les approches génétiques quantitatives classiques. De grandes attentes sont donc placées sur la génomique. Certaines applications sont déjà utilisées pour éliminer les troubles génétiques d'héritage mendélien. Dans le cas des caractères de résistance pour lesquels les marqueurs génétiques ont été identifiés, comme la maladie de Marek des volailles et *E. coli* pour les porcs, quelques rares entreprises de sélection ont mis en œuvre la sélection basée sur l'ADN.

Le bien-être est devenu un élément important de la perception des consommateurs sur la qualité des produits, surtout en Europe. Les principales difficultés pour les éleveurs sont la sélection pour un meilleur tempérament et la réduction des problèmes de pieds et de pattes et de l'incidence des problèmes cardio-vasculaires (pour les volailles détenues pour la production de la viande). Les causes de ces problèmes sont plurifactorielles.

L'importance croissante des caractères fonctionnels devra inclure une plus vaste gamme

de critères au sein des programmes de sélection. Certains de ces critères sont probablement mieux satisfaits par les races locales. La caractérisation (phénotypique et moléculaire) et l'évaluation de ces races pour les caractères importants favorisent la détection de certains de ces traits avec des caractéristiques uniques. Leur développement par le biais des programmes de sélection garantirait leur disponibilité pour les générations futures. Malheureusement, on assiste en fait à une perte continue de races et de lignées. Le monde développé (où la plupart des efforts concertés d'amélioration génétique se produisent) contribue directement ou indirectement à cette perte en se concentrant sur un nombre très restreint de races. L'effacement des lignées génétiques, qui suit la réduction mondiale du nombre d'entreprises de sélection provoquée par les rachats, a également joué un rôle majeur.

Références

- Ahuya, C.O., Okeyo, A.M., Mosi, R.O. et Murithi, F.M. 2004. Growth, survival and milk breeds in the eastern slopes of Mount Kenya. *Dans T. Smith, S.H. Godfrey, P.J. Butterly, et E. Owen, eds. The contribution of small ruminants in alleviating poverty: communicating messages from research. Proceedings of the third DFID Livestock Production Programme Link Project (R7798) workshop for small livestock keepers. Izaak Walton Inn, Embu, Kenya, 4–7 février 2003, pp. 40–47. Aylesford, Kent, Royaume-Uni. Natural Resources International Ltd.*
- Ahuya, C.O., Okeyo, A.M., Mwangi, N. et Peacock, C. 2005. Developmental challenges and opportunities in the goat industry: the Kenyan experience. *Small Ruminant Research*, 60: 197–206.
- Alandia, E.R. 2003. *Animal health management in a llama breeding project in Ayopaya, Bolivia: parasitological survey*. Institute of Animal Production in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim, Stuttgart, Allemagne. (thèse de MSc)

PARTIE 4

- Amer, P.R.** 2006. Approaches to formulating breeding objectives. *Dans Proceedings of the 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, 13–18 aout 2006. Belo Horizonte, MG, Brésil.
- Andersson, L., Haley, C.S., Ellegren, H., Knott, S.A., Johansson, M., Andersson, K., Andersson-Eklund, L., Edfors-Lilja, I., Fredholm, M., Hansson, I., Hakansson, J. et Lundstrom, K.** 1994. Genetic mapping of quantitative trait loci for growth and fatness in pigs. *Science*, 263: 1771–1774.
- Anwo, A.** 1989. Ministerial speech. In E.B. Sonaiya, ed. *Rural Poultry in Africa: proceedings of an international workshop*, pp 8–9. Ile-Ife, Nigeria. Thelia House Ltd.
- Bessei, W.** 1987. International poultry development. *Dans Proceedings*, 3rd International DLG symposium on poultry production in hot climates, 20–24 juin 1987. Hamelin, Allemagne.
- Richard, M.** 2002. Genetic improvement in dairy cattle – an outsider's perspective. *Livestock Production Science*, 75: 1–10.
- Bijma, P., Van Arendonk, J.A. et Woolliams, J.A.** 2001. Predicting rates of inbreeding for livestock improvement schemes. *Journal of Animal Science*, 79: 840–853.
- Cleveland, M.A., Blackburn, H.D., Enns, R.M. et Garrick, D.J.** 2005. Changes in inbreeding of U.S. Herefords during the twentieth century. *Journal of Animal Science*, 83: 992–1001.
- Cunningham, E.P., Dooley, J.J., Splan, R.K. et Bradley, D.G.** 2001. Microsatellite diversity, pedigree relatedness and the contribution of founder lineages to thoroughbred horses. *Animal Genetics*, 32: 360–364.
- Dawson, M., Hoinville, L., Hosie, B.D. et Hunter, N.** 1998. Guidance on the use of PrP genotyping as an aid to the control of clinical scrapie. Scrapie Information Group. *Veterinary Record*, 142: 623–625.
- Dekkers, J.C.M. et Hospital, F.** 2002. The use of molecular genetics in the improvement of agricultural populations. *Nature*, 3: 22–32.
- Delgado Santivañez, J.** 2003. *Perspectivas de la producción de fibra de llama en Bolivia. Potencial y desarrollo de estrategias para mejorar la calidad de la fibra y su aptitud para la comercialización*. Institute of Animal Production in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim, Cuvillier, Göttingen, Allemagne. (thèse de PhD)
- Dickerson, G.E.** 1969. Experimental approaches in utilizing breed resources. *Animal Breeding Abstracts*, 37: 191–202.
- Dickerson, G.E.** 1972. Inbreeding and heterosis in animals. *Dans Proceedings of Animal Breeding and Genetics Symposium in honor of Dr. J.L. Lush*, pp. 54–77. Blacksburg, Virginia. ASAS, ADSA.
- Djemali, M.** 2005. Animal recording for low to medium input production systems. *Dans M. Guellouz, A. Dimitriadou et C. Mosconi, eds. Performance recording of animals, state of the art*, 2004. EAAP Publication No. 113, pp. 41–47. Wageningen, Pays-Bas. Wageningen Academic Publishers.
- Ducrocq, V. et Quaas, R.L.** 1988. Prediction of genetic response to truncation selection across generations. *Journal of Dairy Science*, 71: 2543–2553.
- Falconer, D.S. et Mackay, T.F.C.** 1996. *Introduction to quantitative genetics*. 4th Edition. Londres. Longman.
- FAO.** 1998. *Secondary guidelines for the development of national farm animal genetic resources management plans: management of small populations at risk*. Rome.
- FAO.** 2003. *Know to move, move to know. Ecological knowledge among the WoDaaBe of south eastern Niger*, par N. Schareika. Rome.

- FAO. 2007. Management of sheep genetic resources in the central Andes of Peru, par E.R. Flores, J.A. Cruz et M. López. Dans K-A. Tempelman et R.A. Cardellino, eds. *People and animals. Traditional livestock keepers: guardians of domestic animal diversity*, pp. 47–57. Groupe de travail interdépartemental de la FAO sur la diversité biologique pour l'alimentation et l'agriculture. Rome.
- Fernando, R.L. et Grossman, M. 1989. Marker-assisted selection using best linear unbiased prediction. *Genetics Selection and Evolution*, 21: 467–477.
- Fuji, J., Otsu, K. et De Zozzato, F. 1991. Identification of a mutation in porcine syanodine receptor associated with malignant hyperthermia. *Science*, 253: 448–451.
- Gregory, K.E et Cundiff, L.V. 1980 Cross-breeding in beef cattle: evaluation of systems. *Journal of Animal Science*, 51: 1224–1242
- Gregory, K.E., Trail, J.C.M., Marples, H.J.S. et Kakonge, J. 1985. Heterosis and breed effects on maternal and individual traits of *Bos indicus* breeds of cattle. *Journal of Animal Science*, 60: 1175–1180.
- Gregory, K.E., Cundiff, L.V. et Koch, R.M. 1999. *Composite breeds to use heterosis and breed differences to improve efficiency of beef production*. Technical Bulletin. No. 1875. Springfield, Virginia. USDA Agricultural Research Service, National Technical Information Service.
- Groen, A.F. 2000. Breeding goal definition. Dans S. Galal, J. Boyazoglu et K. Hammond, eds. *Developing breeding strategies for lower input animal production environments*. Rome. ICAR.
- Grogan, A. 2005. Implementing a PDA based field recording system for beef cattle in Ireland. Dans M. Guellouz, A. Dimitriadou et C. Mosconi, eds. *Performance recording of animals, state of the art, 2004*. EAAP Publication No. 113, pp. 133–140. Wageningen, Pays-Bas. Wageningen Academic Publishers.
- Hanotte, O., Ronin, Y., Agaba, M., Nilsson, P., Gelhaus, A., Horstmann, R., Sugimoto, Y., Kemp, S., Gibson, J., Korol, A., Soller, M. et Teale, A. 2003. Mapping of quantitative trait loci controlling trypanotolerance in a cross of tolerant West African N'Dama and susceptible East African Boran cattle. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 100(13): 7443–7448.
- Hansen, L.B. 2001. Dairy cattle contributions to the National Animal Germplasm Program. *Journal of Dairy Science*, 84(Suppl. 1): 13.
- Hansen, L.B. 2006. Monitoring the worldwide genetic supply for cattle with emphasis on managing crossbreeding and inbreeding. Dans Proceedings of the 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, 13–18 aout 2006. Belo Horizonte, MG, Brésil.
- Hazelton, J. 1939. *A history of linebred Anxiety 4th Herefords of straight Gudgell et Simpson breeding*. Kansas City, MO. George W. Gates Printing Co.
- Herd, R.M., Arthur, P.F., Archer, J.A., Richardson, E.C., Wright, J.H., Dibley, K.C.P. et Burton, D.A. 1997. Performance of progeny of high vs. low net feed conversion efficiency cattle. Dans Proceedings of the 12th Conference of the Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics, Dubbo, Australie, pp. 742–745.
- Hill, W.G. 2000. Maintenance of quantitative genetic variation in animal breeding programmes. *Livestock Production Science*, 63: 99–109.
- Hunter, N. 1997. Molecular biology and genetics of scrapie in sheep. In L. Piper et A. Ruvinsky, eds. *The genetics of sheep*, pp. 225–240. Oxon, Royaume-Uni. CAB International.
- Huyen, L.T.T., Rößler, R., Lemke, U. et Valle Zárate, A. 2005. *Impact of the use of exotic compared to local pig breeds on socio-economic development and biodiversity in Vietnam*. Stuttgart, Beuren, Allemagne.

PARTIE 4

- James, J.W.** 1972. Optimum selection intensity in breeding programmes. *Animal Production*, 14: 1–9.
- James, J.W.** 1977. Open nucleus breeding systems. *Animal Production*, 24: 287–305.
- Jiang, X, Groen, A.F. et Brascamp, E.W.** 1999. Discounted expressions of traits in broiler breeding programs. *Poultry Science*, 78: 307–316.
- Kennedy, B.W., Quinton, M. et van Arendonk, J.A.** 1992. Estimation of effects of single genes on quantitative traits. *Journal of Animal Science*, 70: 2000–2012.
- Krätsli, S.** 2007. *Cows who choose domestication. Cattle breeding amongst the WoDaaBe of central Niger.* Institute of Development Studies, University of Sussex, Brighton, UK. (thèse de PhD)
- Lamb, C.** 2001. Understanding the consumer. *Dans Proceedings of the British Society of Animal Science*, 2001, pp. 237–238.
- Lande, R. et Thompson, R.** 1990. Efficiency of marker-assisted selection in the improvement of quantitative traits. *Genetics*, 124: 743–756.
- Larzul, C., Manfkedi, E. et Elsen, J.M.** 1997. Potential gain from including major gene information in breeding value estimation. *Genetics Selection Evolution*, 29: 161–184.
- Lemke, U.** 2006. *Characterisation of smallholder pig production systems in mountainous areas of North Vietnam.* Institute of Animal Production in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim, Allemagne. (thèse de PhD)
- Le Roy, P., Naveau, J., Elsen, J.M. et Sellier, P.** 1990. Evidence for a new major gene influencing meat quality in pigs. *Genetical Research*, 55: 33–40.
- Lewis, R.M. et Simm, G.** 2002. Small ruminant breeding programmes for meat: progress and prospects. *Dans Proceedings of the Seventh World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, held August 19–23, 2002, Montpellier, France.
- Lips, D., De Tavernier, J., Decuyper, E. et van Outryve, J.** 2001. Ethical objections to caesareans: implications on the future of the Belgian White Blue. *Dans Proceedings of the Third Congress of the European Society for Agricultural and Food Ethics*, Florence, Italie, 3–5 octobre 2001, pp. 291–294.
- Loquang, T.M.** 2003. The Karamojong. *In I. Köhler-Rollefson et J. Wanyama, eds. The Karen Commitment: Part 2. The role of livestock and breeding; community presentations.* Proceedings of a Conference of Indigenous Communities on Animal Genetic Resources. League for Pastoral Peoples and Endogenous Development and Intermediate Technology Development Group Eastern-Africa, Karen, Nairobi, Kenya, 27–30 octobre 2003. Bonn, Allemagne. German Non-Governmental Organisations Forum on Environment and Development.
- Loquang, T.M.** 2006a. *Livestock Keepers' Rights.* Paper presented at the side event during the Fourth Ad Hoc Open-Ended Intercessional Working Group on Article 8(j) and Related Provisions of the Convention on Biological Diversity, COP 8, Granada, Espagne, 23–27 janvier 2006.
- Loquang, T.M.** 2006b. *The role of pastoralists in the conservation and sustainable use of animal genetic resources.* Paper presented at the International Conference on Livestock Biodiversity, Indigenous Knowledge and Intellectual Property Rights; League for Pastoral Peoples and Endogenous Development, Rockefeller Study and Conference Centre, Bellagio, Italie, 27 mars–2 avril 2006.

- Loquang, T.M. et Köhler-Rollefson, I.** 2005. *The potential benefits and challenges of agricultural animal biotechnology to pastoralists*. Paper presented at the Fourth All Africa Conference on Animal Agriculture, Arusha, Tanzanie, 19–26 septembre 2005.
- LPPS (Lokhit Pashu-Palak Sanstham) et Koehler-Rollefson, I.** 2005. Indigenous breeds, local communities: documenting animal breeds and breeding from a community perspective. Sadri, Rajasthan, Inde. Lokhit Pashu-Palak Sanstham.
- Markemann, A.** (forthcoming). *Development of a selection programme in a llama population of Ayopaya region*. Department Cochabamba, Bolivia, Institute of Animal Production in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim, Allemagne. (thèse de PhD)
- Mavrogenis, A.P.** 2000. Analysis of genetic improvement objectives for sheep in Cyprus. *Dans D. Gabiña, ed. Analysis and definition of the objectives in genetic improvement programmes in sheep and goats. An economic approach to increase their profitability*, pp. 33–36. Saragosse, Espagne. CIHEAM–IAMZ.
- Meuwissen, T.H.E.** 1997. Maximizing response to selection with a predefined rate of inbreeding. *Journal of Animal Science*, 75: 934–940.
- Nürnberg, M.** 2005. *Evaluierung von produktionssystemen der Lamahaltung in bäuerlichen gemeinden der Hochanden Boliviens*. Institute of Animal Production in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim, Cuvillier, Göttingen, Allemagne. (thèse de PhD)
- Odubote, I.K.** 1992. *Genetic and non-genetic sources of variation in litter size, kidding interval and body weight at various ages in West African Dwarf Goats*. Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, Nigeria. (thèse de PhD)
- Okeyo, A.M.** 1997. Challenges in goat improvement in developing rural economies of Eastern Africa, with special reference to Kenya. *Dans C.O. Ahuya et H. van Houton, eds. Goat development in East Africa. Proceedings of a workshop held at Izaak Walton Inn, Embu, Kenya, 8–11 décembre 1997*, pp. 55–66. Nairobi. FARM-Africa.
- Olori, V.E., Cromie, A.R., Grogan, A. et Wickham, B.** 2005. *Practical aspects in setting up a National cattle breeding program for Ireland*. Invited paper presented at the 2005 EAAP meeting in Uppsala, Suède.
- Pharo, K. et Pharo, D.** 2005. *Direction vs. destination*. Pharo Cattle Co. Spring 2005 Sale Catalog, pp. 72–73. Cheyenne Wells, Colorado, Etats-Unis d'Amérique. Pharo Cattle Co.
- Rauw, W.M., Kanis, E., Noordhuizen-Stassen, E.N. et Grommers, F.J.** 1998. Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals: a review. *Livestock Production Science*, 56: 15–33.
- Richardson, E.C., Herd, R.M., Archer, J.A., Woodgate, R.T. et Arthur, P.F.** 1998. Steers bred for improved net feed efficiency eat less for the same feedlot performance. *Animal Production Australia*, 22: 213–216.
- Rößler, R.** 2005. *Determining selection traits for local pig breeds in Northern Vietnam: smallholders' breeding practices and trait preferences*. Institute of Animal Production in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim, Allemagne. (thèse de MSc)
- Rocha, J.L., Sanders, J.O., Cherbonnier, D.M., Lawlor, T.J. et Taylor, J.F.** 1998. Blood groups and milk and type traits in dairy cattle: After forty years of research. *Journal of Dairy Science*, 81: 1663.
- Roe E., Huntsinger, L. et Labnow, K.** 1998. High reliability pastoralism. *Journal of Arid Environments*, 39(1): 39–55.

PARTIE 4

- Sainz, R.D. et Paulino, P.V. 2004. *Residual feed intake*. Agriculture et Natural Resources Research et Extension Centers Papers, University of California.
- Simianer, H. 1994. Current and future developments in applications of animal models. Dans *Proceedings of the 5th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*. Guelph. Canada. Vol. 18, pp. 435–442.
- Simm, G. 1998. *Genetic improvement of cattle and sheep*. Tonbridge, Royaume-Uni. Farming Press, Miller Freeman UK Limited.
- Smits, M.A., Bariellet, F., Harders, F., Boscher, M.Y., Vellema, P., Aguerre, X., Hellinga, M., McLean, A.R., Baylis, M. et Elsen, J.M. 2000. Genetics of scrapie susceptibility and selection for resistance. In *Proceedings of the 51st Meeting of the European Association for Animal Production (EAAP)*. 21–24 aout. La Haye, Paper S.4.4. EAAP. Rome
- van Arendonk, J.A.M. et Bijma, P. 2003. Factors affecting commercial application of embryo technologies in dairy cattle in Europe – a modelling approach. *Theriogenology*, 59: 635–649.
- Wickham, B.W. 2005. Establishing a shared cattle breeding database: Recent experience from Ireland. Dans M. Guellouz, A. Dimitriadou et C. Mosconi, eds. *Performance recording of animals, State of the art, 2004*. EAAP Publication No. 113, pp. 339–342. Wageningen, Pays-Bas. Wageningen Academic Publishers.
- Willis, M.B. 1991. *Dalton's introduction to practical animal breeding*. 3rd ed. Oxford, Royaume-Uni. Blackwell Science Ltd.
- Woolliams, J.W. et Bijma, P. 2000. Predicting rates of inbreeding in populations undergoing selection. *Genetics*, 154: 1851–1864.
- Woolliams, J.W., Bijma, P. et Villanueva, B. 1999. Expected genetic contributions and their impact on gene flow and genetic gain. *Genetics*, 153: 1009–1020.
- Wurzinger, M. 2005. *Populationsgenetische analysen in Lamapopulationen zur implementierung von leistungsprüfung und selektion*. University of Natural Resources and Applied Life Sciences (BOKU), Vienne. (thèse de PhD)