

## Section F

## Méthodes de conservation

## 1 Introduction

La mise en valeur d'une race est un processus dynamique de changement génétique entraîné par les conditions environnementales et la sélection de la part des humains, qui est à son tour façonnée par la culture et la situation économique. Les écosystèmes dynamiques et complexes et les changements de préférence de l'homme ont eu pour résultat l'évolution des races et, jusqu'à récemment, une croissance nette de la diversité dans le temps. Cependant, au cours des 100 dernières années, la perte de diversité a été marquée à cause de la hausse du taux d'extinction de races et variétés. En Europe et Caucase seulement, 481 races de mammifères et 39 races aviaires ont déjà disparu, et 624 autres races de mammifères et 481 races aviaires sont en danger. Les pertes ont été accélérées par l'intensification rapide de la production de l'élevage, par le manque d'évaluation des races locales et par le remplacement ou le croisement inapproprié de races, simplifiés par la disponibilité de races hautement performantes et des biotechnologies de la reproduction (cadre 95).

## Cadre 94

## Glossaire: conservation

Dans le présent Rapport, les définitions suivantes sont utilisées:

**Conservation des ressources zoogénétiques:** fait référence à toutes les activités humaines, y compris les stratégies, plans, politiques et actions entreprises pour maintenir la diversité des ressources zoogénétiques pour la production et la productivité alimentaires et agricoles ou pour maintenir d'autres valeurs présentes et futures de ces ressources (écologiques, culturelles).

**Conservation *in situ*:** fait référence à la conservation des animaux d'élevage par l'usage continu de la part des éleveurs dans le système de production dans lequel ces animaux ont évolué ou sont habituellement présents et élevés.

**Conservation *ex situ in vivo*:** fait référence à la conservation par le maintien de populations d'animaux vivants non élevés dans des conditions de gestion normales (par ex. parcs zoologiques et, dans certains cas, exploitations gouvernementales) et/ou en dehors de la zone dans laquelle ils ont évolué ou se trouvent encore de manière habituelle.

Il n'y a souvent aucune délimitation claire entre la conservation *in situ* et la conservation *ex situ in vivo* et il faut faire très attention pour décrire les objectifs de conservation et la nature de la conservation dans chaque cas.

**Conservation *ex situ in vitro*:** fait référence à la conservation externe à l'animal vivant dans un environnement artificiel, dans des conditions cryogéniques incluant, entre autres, la cryoconservation des embryons, du sperme, des ovocytes, des cellules ou des tissus somatiques ayant le potentiel de reconstituer dans l'avenir des animaux vivants (y compris des animaux utilisables pour l'introgession des gènes et le développement de races synthétiques).

## PARTIE 4

### Cadre 95 Moutons Red Maasai – menaces imminentes

La race Red Maasai, connue par sa rusticité et sa résistance aux maladies, surtout pour sa résistance aux parasites gastrointestinaux, est élevée de façon prédominante par les pasteurs Masaï et par les tribus voisines des régions semi-arides du Kenya et de la République-Unie de Tanzanie. Un certain nombre de projets de recherche ont démontré sa résistance aux maladies et sa haute productivité dans des environnements extrêmement difficiles là où d'autres races, comme la race introduite Dorper, ont des performances très faibles. Jusqu'à la moitié des années 70, la race pure Red Maasai était présente dans toutes les terres pastorales du Kenya et se composait probablement de plusieurs millions de têtes. Vers la moitié des années 70, un programme subventionné pour la diffusion des béliers Dorper a été établi au Kenya. Il s'en est suivi de nombreux croisements indiscriminés. Aucune information n'a été fournie aux fermiers sur les moyens de maintenir un programme de croisement continu et de nombreux fermiers ont continué à croiser leurs troupeaux avec des béliers Dorper, ce qui s'est ensuite révélé inapproprié dans de nombreuses zones de production. En 1992, et de nouveau plus récemment, l'Institut international de recherches sur l'élevage a entrepris une recherche au Kenya et dans les régions au nord de la République-Unie de Tanzanie, mais seulement un très petit nombre d'animaux de race pure a pu être localisé. L'Institut a établi un petit troupeau de «race pure», mais ce troupeau a ensuite montré des signes de contamination génétique. La race Red Maasai est clairement en danger, mais les bases de données pour les animaux d'élevage DAD-IS et DAGRIS ne l'identifient pas ainsi et la race n'apparaît pas non plus à la Liste mondiale d'alerte (FAO/PNUE 2000). Ce fait est lié à l'incapacité des systèmes disponibles à documenter la dilution des races.

Fourni par John Gibson.

Si la perte de diversité génétique des animaux d'élevage s'est largement accrue au cours des dernières années, l'ampleur du problème n'a pas encore été complètement évaluée. Les informations sur les ressources zoogénétiques fournies par les pays membres de la FAO sont disponibles au public dans la base de données DAD-IS. Bien qu'un appel spécifique pour des informations sur les races disparues ait été publié en 1999, avant la préparation de la troisième édition de la Liste mondiale d'alerte (FAO/PNUE 2000), les listes des races disparues sont probablement encore incomplètes – des populations locales non caractérisées qui se trouvent dans les régions en développement rapide ont probablement disparu sans même avoir été enregistrées. Les raisons de l'extinction ne sont ni documentées ni facilement accessibles et, par conséquent, n'ont pas été analysées en profondeur. L'état de danger de nombreuses races peut seulement être estimé, car les données sur le recensement des populations raciales sont souvent absentes ou peu fiables. Le manque de connaissance freine les actions concertées et l'établissement des priorités pour la conservation.

## 2 Arguments en faveur de la conservation

La ratification de la CDB par 188 Etats indique un engagement international croissant en faveur du soutien et de la protection de la biodiversité. La CDB lance des appels en faveur de la conservation et de l'utilisation durable de tous les éléments de la diversité biologique, y compris ceux qui sont utilisés pour l'agriculture et les forêts. En reconnaissant l'importance de la diversité au niveau génétique, elle donne mandat pour la conservation des ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture. L'article 2 reconnaît de façon spécifique les «espèces domestiquées et cultivées» comme une composante importante de la diversité biologique globale.

Cependant, il a été constaté que «bien qu'un consensus international significatif sur

les politiques se soit apparemment dégagé, ce consensus ne repose pas sur une échelle de valeurs consensuelle qui expliquerait pourquoi la protection de la biodiversité, bien que fortement soutenue, devrait représenter la première des priorités des politiques environnementales» (Norton, 2000 dans FAO, 2003, p. 105). Par exemple, l'argument utilisé en faveur du maintien de la diversité biologique juste pour elle-même est tempéré par le concept selon lequel si aucune raison claire n'explique l'utilité d'une race, sa disparition ne devrait pas être un souci. Ce chapitre présente une vue d'ensemble des différents types d'arguments avancés en faveur de la conservation. La justification d'un programme de conservation peut inclure une combinaison des arguments suivants.

### 2.1 Arguments liés au passé

Les races des animaux d'élevage reflètent l'identité culturelle et historique des communautés qui les ont développées et font partie intégrante des moyens d'existence et des traditions de nombreuses sociétés. La perte de races typiques, par conséquent, signifie la disparition de l'identité culturelle des communautés concernées et la perte d'une part du patrimoine de l'humanité.

Un autre argument est lié au fait que la mise en valeur des races, particulièrement pour les espèces avec des longs intervalles de générations, représente des investissements considérables en termes de temps, de dépenses financières et/ou de ressources institutionnelles. De plus, les conditions rencontrées au cours du temps peuvent avoir créé des productions uniques difficiles à recomposer. Sur cette base, la décision d'abandonner de telles races ne devrait pas, par conséquent, être prise à la légère. Il existe également une dimension historique liée au développement des caractères adaptatifs – plus une population d'animaux a été exposée à un défi environnemental, plus il est possible que des caractères adaptatifs spécifiques aient évolué. Les régions avec des conditions climatiques extrêmes ou des maladies particulières ont donné lieu à des troupeaux locaux génétiquement adaptés et

uniques. Ces races ont évolué ensemble, dans un environnement et un système agricole particuliers; elles représentent donc une accumulation de patrimoine génétique et des pratiques d'élevage et connaissances locales associées entre eux.

### 2.2 Sauvegarder pour les besoins futurs

*“Predicting the future is a risky business at best, particularly where human activities are involved” (Clark, 1995 dans Tisdell, 2003, p. 369). (Prévoir le futur est au mieux une affaire risquée, surtout lorsque les activités humaines y sont impliquées)»*

Il est notoirement difficile de prévoir le futur et les attentes des populations sont très différentes. Des attentes très négatives sont parfois plus liées à des peurs injustifiées qu'à des arguments rationnels. Cependant, la grande préoccupation sur la perte de la diversité des ressources zoogénétiques peut se défendre:

*«From a long-term point of view, it is possible that concentration on high yielding environmentally sensitive breeds will create a serious problem for the sustainability of livestock production ... it is possible that farmers will lose their ability to manipulate natural environmental conditions. If all environmentally tolerant breeds are lost in the interim, the level of livestock production could collapse (Tisdell, 2003, p. 373). (d'un point de vue à long terme, il est possible que la concentration de races à haut rendement sensibles à l'environnement crée un problème sérieux pour la durabilité de la production de l'élevage ... il est possible que les fermiers perdent leur capacité à manipuler les conditions naturelles de l'environnement. Si toutes les races tolérantes à un environnement donné sont perdues entre temps, le niveau de production de l'élevage pourra s'effondrer)».*

Des situations imprévues peuvent se produire par des changements de l'écosystème, des demandes du marché et des réglementations

## PARTIE 4

qui y sont associées, par les changements de disponibilité des intrants externes, par les maladies émergentes ou par une combinaison de tous ces facteurs. Dans l'avenir, le changement climatique de la planète et l'évolution de la résistance des pathogènes et des parasites au contrôle chimique affecteront presque certainement les systèmes de production de l'élevage, bien que la nature des changements ne soit pas encore claire (FAO, 1992). Le risque de pertes catastrophiques des ressources zoogénétiques résultant d'épidémies majeures de maladies, de guerres, du bioterrorisme ou des troubles civils, indique le besoin de disposer d'une réserve protégée, comme une banque de gènes, pour les races qui ont à présent une grande importance économique. Le manque de sécurité sur l'avenir et la nature irréversible d'événements comme l'extinction des espèces ou des races, soulignent le besoin de sauvegarder la valeur d'option<sup>17</sup> de la diversité.

Des exemples de besoins imprévus incluent le déplacement des intérêts des sélectionneurs d'animaux des pays développés, qui passent de l'amélioration génétique axée sur la production à l'adaptation, à la résistance aux maladies et à la capacité d'utilisation de fourrages. Dans certains pays développés, l'importance du pâturage de conservation a atteint une ampleur absolument imprévisible, il y a 40 ans, lorsque les races rares ont commencé à être utilisées dans ce but. Au Royaume-Uni, plus de 600 sites de conservation sont pâturés (mais tous ne le sont pas avec des races rares ou traditionnelles) et environ 1 000 sites bénéficient au total de ces pâturages (Small, 2004). Les races spécifiques qui étaient un temps menacées, mais dont l'importance économique est reconnue, incluent le porc Piétrain. Cette race très maigre, utilisée à présent dans un grand nombre de programmes de croisement, était à peine connue en dehors de la province Brabant, en Belgique, avant 1950. Elle avait presque disparu au cours de la deuxième guerre mondiale

la demande allait vers des animaux gras (Vergotte de Lantsheere *et al.*, 1974). Un autre exemple est donné par le mouton Lley du pays de Galles qui, au cours des années 60, était en déclin rapide et dont la population n'atteignait plus que 500 brebis de race pure (cadre 96). Au cours de ces dernières années, la race est devenue de plus en plus à la mode parmi les éleveurs de moutons au Royaume-Uni et sa population est passée à plus de 230 000 animaux. La Wiltshire Horn, une autre race britannique de moutons pour un temps en déclin, est également devenue intéressante à cause des changements des conditions du marché. Ce mouton perd sa laine, ce qui constitue une caractéristique attrayante lorsque les coûts de la tonte peuvent excéder le prix obtenu par la toison.

Les possibilités fournies par les développements futurs de la biotechnologie doivent également être considérées. Les technologies émergentes de reproduction et de génétique fournissent de plus en plus de possibilités d'identifier et d'utiliser la variation génétique des ressources zoogénétiques et de telles technologies devraient conduire à des avancées majeures à l'avenir. Si les différentes ressources zoogénétiques restent disponibles, ces technologies devraient permettre aux pays en développement d'éliminer l'écart de productivité qui existe encore avec les pays développés en associant, de façon sélective, les meilleures caractéristiques des différentes races.

Il est aujourd'hui largement accepté que la valeur d'option future des ressources zoogénétiques constitue une bonne justification pour favoriser la conservation de ces ressources. Pour l'avenir, il est raisonnable de penser que les changements des circonstances et les progrès technologiques rapides justifieront l'utilisation de ressources zoogénétiques conservées.

<sup>17</sup> La valeur d'option de la diversité est la valeur attribuée à la sauvegarde d'un bien avec l'option de l'utiliser à un moment donné à l'avenir.

**Cadre 96****Mouton Lleyn du pays de Galles – retour à meilleure fortune en accord avec les demandes modernes**

Au cours du dernier demi-siècle, la race de moutons Lleyn de la partie nord-ouest du pays de Galles est passée de la presque extinction à une importance nationale dans l'industrie britannique du mouton. Après la deuxième guerre mondiale, la race a perdu l'importance locale considérable qu'elle avait eu au cours de la première moitié du siècle et, au cours des années 60, à peine sept troupeaux de race pure et 500 brebis ne survivaient. Par contre, en 2006 les sélectionneurs de race pure étaient supérieurs à 1 000, répandus dans tout le Royaume-Uni et les ventes de la Société régionale indiquaient un commerce annuel de plusieurs milliers de moutons Lleyn.

Ce retour a été atteint par la détermination et l'enthousiasme d'un petit groupe composé initialement de douze éleveurs et conseillers techniques locaux. Ils ont créé en 1970 une société des éleveurs de la race pour coordonner les politiques de sélection, enregistrer les troupeaux de race pure et améliorer les moutons croisés (par des rétrocroisements répétés en utilisant des béliers Lleyn). Les particularités principales de la race étaient au début sa taille moyenne, ses qualités maternelles (à son apogée, elle était traitée après avoir sevré l'agneau) et sa fécondité, ainsi que la qualité de la viande et de la laine. Un autre intérêt pour la biosécurité du troupeau était l'adaptabilité de la race Lleyn aux opérations «à troupeau fermé» où les seuls animaux achetés sont des béliers de première qualité.

Ces particularités ont été intensifiées par une sélection organisée, en partie par la mise en place d'un nucléus de sélection de type néo-zélandais impliquant l'enregistrement de l'objectif (Meat and Livestock Commission - Commission de la viande et

des animaux d'élevage) et une rotation rapide des générations. Le grand intérêt résultant de brebis faciles à gérer, optimales pour les propriétaires de petits et de grands troupeaux, associé à une utilisation efficace de terres coûteuses, a été favorisé par la Société des éleveurs. Ceci a impliqué une commercialisation perspicace avec des ventes bien organisées et des informations aux acheteurs potentiels et aux sélectionneurs membres.

Un autre élément important, car la race a rapidement élargi sa couverture géographique, a été l'encouragement donné à la décentralisation locale. Des groupes ou des clubs ont été créés dans tout le pays. A ce jour, sept clubs sont présents au total, bien que la société des éleveurs de la race d'origine ait gardé son rôle de coordination et les liens avec sa base dans la partie nord-ouest du pays de Galles.

Fourni par J.B. Owen.

Pour de plus amples renseignements sur la race, voir: <http://www.lleysheep.com>



Photo: David Cragg

### 2.3 Arguments liés à la situation présente

L'importance de maintenir les ressources zoogénétiques menacées n'est pas nécessairement liée à leur utilisation potentielle à l'avenir dans des

conditions différentes. Il existe un certain nombre de raisons pour lesquelles l'utilisation de ces ressources peut être aujourd'hui sub-optimale. Ces

## PARTIE 4

raisons rentrent dans trois catégories principales: le déficit d'information, les dysfonctionnements du marché et les distorsions politiques (Mendelsohn, 2003). Il existe de nombreuses failles dans la connaissance des caractéristiques des races locales et des caractères ou gènes qui peuvent être importants pour la production, les finalités de la recherche ou encore pour satisfaire d'autres besoins de l'être humain (Oldenbroek, 1999). Les informations inadéquates peuvent avoir pour résultat la surestimation de la performance d'une race dans un environnement de production particulier où son introduction est envisagée, ce qui peut conduire à une décision inappropriée sur son adoption. Il est naturellement aussi possible que des informations inadéquates poussent les fermiers à conserver leur race traditionnelle et à ne pas adopter de races alternatives qui pourraient améliorer leurs moyens d'existence.

Les distorsions politiques peuvent désavantager les systèmes de production moins intensifs et fournir des mesures dissuasives pour une allocation efficace des ressources. La concentration sur les races à haut rendement peut être favorisée par des politiques, comme les importations de céréales subventionnées, les services de soutien gratuits ou subventionnés (par ex. l'IA) ou les prix de soutien pour les produits des animaux d'élevage qui favorisent les processus d'intensification. Par exemple, dans certains pays asiatiques à industrialisation rapide, d'importantes subventions en capitaux ont clairement favorisé un mode industriel de développement; les capitaux à bon marché avaient eu pour résultat des investissements dans les grandes unités commerciales ayant une utilisation à forte intensité d'intrants et des produits uniformes. De plus, les programmes de développement ou les programmes d'urgence favorisent parfois les races exotiques des pays donateurs. Enfin, l'instabilité politique et les politiques défavorables aux populations d'animaux d'élevage vulnérables peuvent retarder l'utilisation efficace des ressources zoogénétiques (Tisdell, 2003).

Les marchés ne représentent pas toujours de façon précise les coûts ou les avantages externes. Citons en exemple de coûts externes les impacts négatifs sur l'environnement et les effets indésirables sur la distribution et l'équité des revenus. Les avantages externes associés à certaines races peuvent par exemple inclure leur contribution à la gestion du paysage. Mendelsohn (2003, p. 10) suggère que:

*«Conservationists must focus on what the market will not do. They must identify and quantify the potential social benefits of AnGR that have been abandoned by the market (les écologistes doivent se concentrer sur ce que le marché ne fera pas. Ils doivent identifier et quantifier les avantages sociaux potentiels des ressources zoogénétiques qui ont été abandonnées par le marché)».*

La préservation de la diversité, y compris la diversité intraraciale, sert à maintenir la stabilité des systèmes de production. Les populations variées présentent une plus grande capacité de survie, de production et de reproduction dans des conditions de ressources fluctuantes en aliment et en eau; en cas de températures extrêmes, d'humidité et d'autres facteurs climatiques; et dans le cas de faibles niveaux de gestion (FAO, 1992). Il est évident que de telles populations sont également moins sensibles aux épidémies majeures (Springbett *et al.*, 2003). Généralement, les populations génétiquement uniformes sont moins capables de répondre aux fortes pressions de sélection résultant des changements de l'environnement. La maintenance de la diversité de race permet aux populations humaines d'exploiter les différentes niches écologiques ou économiques. Ceci est particulièrement vrai dans les régions marginales et fragiles d'un point de vue de l'environnement, comme les terres arides, où se trouvent la plupart des animaux d'élevage détenus par les fermiers pauvres et qui sont caractérisées par une grande diversité et de hauts niveaux de risque.

Avec les arguments en faveur des valeurs d'existence et de transmission pour les ressources

zoogénétiques<sup>18</sup>, il n'est plus nécessaire d'identifier des avantages tangibles ou non tangibles pour justifier la conservation:

*«Biological diversity has intrinsic value and should be conserved for its own sake to the maximum extent possible, regardless of whether any given component can be shown to produce tangible economic benefits» (FAO, 2003, p. 104) (la diversité biologique a une valeur intrinsèque et devrait se conserver juste pour elle-même pour autant que possible, sans égard si tout élément donné peut se montrer capable de produire des avantages économiques tangibles)».*

Cependant, la mise en valeur des races dans les espèces domestiquées est en premier lieu le produit de l'intervention humaine en vue de satisfaire ses objectifs et ses valeurs. L'argument selon lequel la diversité actuelle devrait être préservée sur la base de sa valeur d'existence est, par conséquent, probablement plus difficile à défendre que pour la biodiversité des écosystèmes naturels.

Les arguments et les moyens en faveur de la conservation varient selon les régions. Dans les sociétés occidentales, les traditions et les valeurs culturelles sont des moteurs importants qui garantissent le développement de mesures de conservation des races rares et favorisent l'émergence de marchés de niche pour les produits de l'élevage. En revanche, dans les pays en développement, les préoccupations immédiates sont la sécurité alimentaire et le développement économique. Cependant, la plupart des pays en développement sont déjà en phase d'évolution économique et l'on peut penser que leurs économies seront dans l'avenir assez développées pour soutenir la conservation basée sur leur patrimoine culturel et autres référents. Il reste nécessaire de garantir que les ressources zoogénétiques ne soient pas perdues avant que ce stade d'autoconservation soit atteint.

<sup>18</sup> La valeur d'existence est dérivée de la satisfaction de savoir qu'un bien particulier existe; la valeur de transmission est l'avantage donné à tout individu de la connaissance que d'autres pourraient tirer de la ressource dans l'avenir.

### 3 L'unité de conservation

Un premier pas crucial dans la conception des programmes de conservation des ressources zoogénétiques est la prise de décision sur ce qui doit être conservé. Au niveau génétique moléculaire, la diversité génétique présente dans une espèce d'animaux d'élevage est le reflet de la diversité allélique (c.-à-d. les différences dans les séquences d'ADN) entre environ 25 000 gènes (c.-à-d. les régions fonctionnelles de l'ADN) affectant le développement et la performance des animaux. Par conséquent, du point de vue conceptuel, l'unité la plus basique de la conservation est l'allèle. Un objectif pourrait être la conception de programmes de conservation qui permettent en même temps le maintien d'une prépondérance des allèles déjà présents dans une espèce et qui produiraient l'accumulation normale et la rétention potentielle de nouveaux allèles mutants, qui constituent la base de l'évolution et de l'amélioration continues des animaux. La diversité allélique pourrait théoriquement être quantifiée par comptage du nombre et des fréquences des différents allèles, mais cette tâche reste impossible pour le moment. En définissant l'unité de conservation, il faut donc reconnaître que les allèles n'agissent pas de façon isolée et que la performance des animaux dans la plupart des cas est considérée, de façon correcte, comme le résultat des interactions des allèles présents dans le génome. Ainsi, le processus de développement d'une ressource génétique implique la création de combinaisons alléliques qui soutiennent les niveaux souhaités spécifiques de la performance et de l'adaptation des animaux. La conservation efficace de la ressource génétique, par conséquent, implique la création de structures permettant la maintenance des combinaisons génétiques existantes d'une valeur adaptative ou productive connue et l'accès facile à ces combinaisons pour soutenir les besoins futurs de production des animaux.

Les races d'animaux d'élevage existantes sont génétiquement moins uniformes que la plupart des variétés de plantes cultivées, mais

## PARTIE 4

elles représentent aussi l'aboutissement d'un ensemble différent de procédés adaptatifs. Jusqu'à la moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, la structure de la population des principales espèces d'animaux d'élevage se conformait étroitement à la structure de la population prévue pour maximiser le potentiel évolutif. Il y avait de nombreuses sous-populations partiellement isolées (les races), maintenues dans des conditions différentes, mais avec des échanges périodiques d'animaux entre populations aboutissant à des recombinaisons périodiques des races générant de nouvelles combinaisons génétiques. Ainsi, l'adoption de la race comme l'unité de la conservation devrait maximiser le maintien du potentiel évolutif des espèces d'animaux d'élevage et maximiser de cette manière l'accès à un large panel de combinaisons alléliques.

#### 4 La conservation des plantes par rapport à la conservation des ressources zoogénétiques

L'organisation et la mise œuvre du processus d'évaluation de *L'état des ressources zoogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde* ont été fondées sur les enseignements tirés de l'évaluation mondiale des ressources phytogénétiques et du Rapport sur l'état des ressources phytogénétiques dans le monde qui en a découlé (FAO, 1998a). Par conséquent, le processus de *L'état des ressources zoogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde* s'est concentré sur la préparation du premier Rapport et la mise en place au niveau national d'actions découlant du processus de préparation des Rapports nationaux. Cependant, les approches en faveur de la conservation des ressources phytogénétiques ne peuvent pas s'appliquer directement aux ressources zoogénétiques.

Dans les systèmes de production traditionnels, les ressources phytogénétiques et zoogénétiques sont utilisées de façon analogue. Les races et les variétés adaptées localement sont prédominantes;

les semences pour les plantations et les animaux proviennent des champs et des troupeaux des paysans et la diversité génétique des races primitives qui en sont issues est considérable. La plupart des activités de sélection et de mise en valeur sont «participatives» (FAO, 1998a) dans le sens où les décisions sur les semences pour sauvegarder les plantations et les animaux à conserver en sélection sont prises par les paysans plutôt que par des sélectionneurs professionnels de plantes et d'animaux. Cependant, l'intensification de l'agriculture a conduit à des changements importants dans les modèles d'utilisation et de développement des ressources génétiques. Pour les plantes, l'intensification de la production agricole a généralement été accompagnée par l'émergence d'un secteur de production des semences fortement institutionnalisé et centralisé, dominé par des centres nationaux et internationaux financés par les fonds publics, et des entreprises du secteur privé. En revanche, l'intensification du secteur de l'élevage est à présent moins avancée et a été un résultat, plutôt qu'une condition préalable, du développement économique. Le secteur de l'élevage est beaucoup moins centralisé et institutionnalisé que le secteur des semences pour les plantes, bien que le mouvement vers la centralisation soit considérable dans les secteurs des volailles, des porcs et, à un moindre niveau, des bovins laitiers. L'engagement direct des fermiers dans l'élevage reste considérable pour les autres secteurs et l'utilisation et le développement des ressources zoogénétiques restent fortement «participatifs» dans certains environnements de production. Les différentes structures des secteurs des semences et des collections de semences pour les plantes et pour les animaux ont des importantes implications pour la conservation des ressources génétiques mondiales.

Le tableau 104 compare un certain nombre de facteurs biologiques, opérationnels et institutionnels qui influencent les activités de conservation pour les plantes et pour les animaux. Les différences biologiques justifient clairement des approches différentes pour la



TABLEAU 104

Comparaisons des facteurs biologiques, opérationnels et institutionnels influençant la conservation des ressources phytogénétiques et zoogénétiques

Facteur	Plantes	Animaux
Valeur économique de la production par individu	Basse à très basse	Modérée à élevée
Taux de reproduction (nombre de descendants par individu par génération)	Elevé à très élevé (en milliers)	Très bas (<10) à modéré (<200) à l'exception des mâles des espèces (surtout les bovins) où l'usage répandu d'insémination artificielle est faisable (en dizaines de milliers)
Intervalle de génération	0,25 à 1 an	1 à 8 ans
Diversité génétique dans la lignée	Très limitée dans la plupart des variétés des plantes	Très considérable dans la plupart des races d'animaux d'élevage
Coût pour enregistrer la performance d'un individu ou d'une famille	Très bas à bas	Elevé à très élevé
Coût pour évaluer l'adaptation ou la résistance aux maladies d'un individu ou d'une famille	Très bas à modéré	Très élevé
Capacité de conserver la diversité des espèces sauvages apparentées dans des conditions naturelles	Commune pour les plantes	Rare pour les espèces animales
Capacité de s'autofertiliser et de développer des lignées consanguines	Possible et de routine dans de nombreuses espèces	L'autofertilisation n'est pas possible; à cause de la dépression, il faut éviter de hauts niveaux de consanguinité; dans des cas spécifiques, les lignées consanguines sont utilisées pour les croisements
Propagation clonale	Possible et de routine pour de nombreuses espèces	Techniquement faisable, mais trop inefficace même pour la recherche
Capacité à collecter le matériel génétique	Simple dans la plupart des cas	Techniquement faisable, mais il faut des installations et du personnel qualifié
Capacité à stocker le matériel génétique <i>in vitro</i>	Le stockage des semences au frais est faisable chez la plupart des espèces; quelques espèces nécessitent une culture tissulaire; dans certains cas, le stockage dans l'azote liquide est possible	Faisable pour les gamètes mâles de la plupart des espèces et pour les gamètes femelles de certaines espèces; le stockage des embryons est faisable chez la plupart des espèces de mammifères, mais à un coût beaucoup plus élevé par rapport aux spermatozoïdes; tout le matériel biologique doit être stocké dans l'azote liquide
Exigences pour la régénération du matériel stocké	La plupart des espèces requièrent une restauration périodique pour régénérer le matériel stocké et maintenir la viabilité	Essentiellement stockage permanent
Coût d'extraction, de régénération et de testage du matériel d'une banque de gènes	Relativement facile à des coûts relativement faibles; dizaines de milliers d'obtentions sont extraites et testées chaque année	La régénération et le testage sont difficiles et longs; peu d'expérience dans l'extraction et l'utilisation du matériel stocké
Statut et champ d'application des banques de gènes	Les grandes collections de plusieurs localités dans le monde incluent des millions d'obtentions pour des centaines d'espèces impliquant surtout le stockage des semences à des coûts de collecte et de stockage relativement faibles	Limité à un petit nombre de pays développés, impliquant surtout le sperme congelé
Collecte continue de matériel génétique sauvage et indigène	Niveaux plus faibles par le passé, mais encore un effort significatif surtout pour les espèces négligées	Très peu d'activité, surtout dans les pays en développement
Soutien institutionnel pour la conservation	Substantiel, bien organisé et stable	Limité, souvent peu organisé, à l'exception de quelque pays développés

Dans ce tableau, le mot «plantes» fait référence de façon spécifique aux plantes annuelles qui dominent la production alimentaire et agricole, mais il est reconnu que les plantes vivaces à vie longue, comme les arbres, ont des éléments importants en commun avec les animaux. De façon semblable, le mot «animaux» inclut les espèces relativement fécondes, comme les poules, qui ont certains éléments en commun avec les plantes (par exemple le potentiel de remplacement annuel pour les troupeaux commerciaux) et les espèces à vie longue dirigées de façon très extensive, comme les dromadaires.

## PARTIE 4

conservation. Cependant, la différence la plus significative entre les secteurs des cultures et de l'élevage est la capacité institutionnelle à gérer les ressources génétiques. De nombreuses institutions du secteur des semences maintiennent déjà de grandes collections de ressources phylogénétiques et contribuent activement au développement et à la mise en commerce des variétés végétales. Les bases de données du Système mondial d'information et d'alerte rapide sur les ressources phylogénétiques (WIEWS) enregistrent la localisation de plus de 5,5 millions d'obtentions de ressources phylogénétiques, dans environ 1 410 collections *ex situ* de par le monde (FAO, 2004).

L'établissement d'une banque de gènes pour animaux implique un stockage à long terme des gamètes, des embryons ou des cellules somatiques dans l'azote liquide. Les aspects techniques d'une telle conservation *in vitro* pour les animaux sont présentés en détail ci-dessous, mais les coûts nécessaires pour collecter, cryoconserver puis reconstituer le matériel génétique des animaux sont beaucoup plus élevés, par génome préservé, que les coûts nécessaires pour collecter, stocker puis utiliser les semences. De plus, les financements en faveur de la conservation du matériel génétique des animaux sont insuffisants. Par conséquent, la conservation des ressources zoogénétiques a été beaucoup plus concentrée sur les approches *in situ*. Cependant, à l'exception d'un petit nombre de pays développés, les actions mises en place en faveur de l'établissement de programmes de conservation *in situ* ont été rares et la durabilité à long terme de ces plans reste aléatoire.

Le DAD-IS énumère 4 956 races existantes de mammifères et 1 970 races aviaires. Quelques-unes sont bien représentées dans les collections *in vitro*, mais presque aucune n'a été échantillonnée à des niveaux cohérents selon les directives de la FAO (1998b) concernant l'échantillonnage *in vitro*. Des ressources très importantes seraient nécessaires pour mettre en place des collections *in vitro* des races les plus menacées parmi ces presque 7 000 races d'animaux d'élevage. Par exemple, les directives de la FAO (1998b) sur la gestion des

petites populations en danger recommandent, pour produire des embryons congelés, la collection de sperme congelé d'au moins 25 mâles par race et l'utilisation du sperme de ces mâles sur d'autres 25 femelles par race. Pour les bovins, dont 300 races sont menacées, la cryoconservation du sperme de 7 500 mâles et d'environ 100 000 embryons serait nécessaire. Les directives politiques sur la propriété, l'utilisation et la gestion des collections *in vitro* doivent encore être élaborées.

Les capacités institutionnelles pour la conservation des ressources zoogénétiques sont limitées et les quelques collections nationales *ex situ* existantes se trouvent essentiellement dans les pays développés. Parmi les institutions du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (GCRAI), seuls l'Institut international de recherches sur l'élevage (ILRI) et le Centre international de recherches agricoles dans les régions sèches (ICARDA) s'occupent activement de la meilleure gestion des ressources zoogénétiques et aucune des institutions ne possède aucun programme actif pour le stockage à long terme du matériel génétique. La propriété des ressources zoogénétiques est presque exclusivement du secteur privé. Une mise en valeur substantielle des capacités mondiales en faveur de la conservation et de la meilleure utilisation des ressources zoogénétiques, avec des nouveaux modèles institutionnels et la collaboration parmi les institutions publiques et entre les institutions publiques et les fermiers du secteur privé, est donc nécessaire si les recommandations du processus de *L'état des ressources zoogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde* doivent être mises en œuvre.

## 5 Informations nécessaires pour la prise de décisions sur la conservation

L'établissement des priorités pour la conservation des ressources zoogénétiques nécessite l'identification des races qui contribuent le plus à la diversité génétique mondiale et qui ont les

### Cadre 97 Prise de décision pour la conservation et l'utilisation – emploi des données sur la diversité génétique

La valeur des données sur la diversité génétique pour la conservation et l'utilisation des ressources zoogénétiques a été reconnue et appliquée récemment. Le Fonds pour l'environnement mondial (FEM) soutient un projet de conservation de bovins, de moutons et de chèvres trypanotolérants dans quatre pays de l'Afrique de l'Ouest, lancé en 2005. Dans une grande partie de la région, la pureté des races trypanotolérantes a été diluée par des rétrocroisements effectués par le passé avec des races non trypanotolérantes. Cependant, ce manque de pureté n'est pas immédiatement évident en regardant les animaux. Les marqueurs génétiques moléculaires sont utilisés pour cartographier la diversité de ces races et identifier les populations les plus pures qui représenteront ensuite le centre de la conservation et de la valorisation. Entre-temps, un programme en cours de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) cartographie la diversité génétique moléculaire des races de moutons et de chèvres asiatiques. Les données sur la diversité génétique seront ensuite associées aux données sur les phénotypes pour identifier les races qui ont évolué les différents mécanismes de résistance à la même maladie. Ces races seront ensuite croisées et les marqueurs génétiques moléculaires seront utilisés pour cartographier les gènes contrôlant la résistance et confirmer que les différentes races ont créé des mécanismes différents de résistance. Une fois ces mécanismes confirmés, ils pourront être utilisés dans d'autres programmes d'amélioration génétique.

Fourni par John Gibson.

plus grandes potentialités pour une utilisation future efficace et un développement plus poussé de cette diversité. D'autres critères, comme les valeurs culturelles ou de patrimoine d'une race affecteront également les priorités pour la conservation.

L'évaluation de la diversité génétique probable d'un ensemble de races se base sur plusieurs critères dont:

- la diversité des caractères, c'est-à-dire la diversité des combinaisons reconnaissables des caractéristiques phénotypiques définissant l'identité raciale;
- la diversité génétique moléculaire, basée sur les mesures objectives des relations génétiques entre les races au niveau de l'ADN; et
- les éléments prouvant l'isolement génétique passé, créé par l'isolement géographique ou par les politiques de sélection et par les préférences culturelles appliquées dans les communautés où les races ont été valorisées.

La diversité des caractères se base sur les différences phénotypiques hérissables entre les races. Lorsque les races sont comparées dans des conditions semblables d'environnement, la diversité des caractères est forcément indicative de la diversité génétique fonctionnelle sous-jacente. Pour cette raison, les races qui possèdent des combinaisons de caractères uniques ou distinctives devraient être considérées prioritaires pour la conservation, parce que leurs caractéristiques phénotypiques uniques reflètent sans doute des combinaisons génétiques uniques. La diversité de caractères exprimée au niveau de caractères quantitatifs complexes, comme la résistance aux maladies, la production de lait ou le taux de croissance, est généralement prioritaire lors des décisions sur la conservation, par rapport à la diversité de caractères associés aux traits simplement hérités, comme la couleur du manteau ou du plumage, la forme des cornes ou le type de corps. Ces caractères simplement hérités peuvent changer rapidement en réponse aux préférences du propriétaire tandis que les différences des caractères quantitatifs complexes impliquent généralement un grand nombre de gènes, ont besoin de plus de temps pour changer et, par conséquent, peuvent refléter la diversité génétique sous-jacente.

## PARTIE 4

## Cadre 98

## Analyse spatiale de la diversité génétique

La cartographie des informations génétiques moléculaires d'un Système d'information géographique (SIG) favorise l'analyse spatiale des informations génétiques. Le SIG peut être utilisé pour étudier les structures spatiales, la distribution et la distance des données génétiques; pour simuler les migrations des populations animales dans le paysage; pour visualiser et analyser les structures géographiques des populations; pour définir les zones de diversité; pour détecter les régions de différenciation génétiques; et pour examiner l'interaction entre environnement et variantes génétiques.

Le projet Econogene (<http://lasig.epfl.ch/projets/econogene/>) a été conçu pour associer la génétique moléculaire et l'analyse spatiale pour documenter la distribution spatiale et les corrélations de la diversité génétique parmi les petits ruminants d'Europe. L'ADN de plus de 3 000 animaux répartis entre le Portugal et la Turquie orientale a été échantillonné. Un ensemble de 30 microsatellites, 100 AFLP et 30 SNP ont été dosés chez ces animaux et plus de 100 variables environnementales ont été enregistrées. Les instruments de géovisualisation ont été ensuite utilisés pour observer les modèles d'association physique entre les différentes composantes de la variation génétique et les facteurs environnementaux variant dans l'espace. De telles visualisations ont eu pour résultat l'élaboration d'hypothèses sur les associations causales entre, d'une part, les facteurs environnementaux et anthropiques et, d'autre

part, la variation génétique. Par exemple, on a testé l'association d'allèles de plusieurs marqueurs moléculaires avec des variables environnementales sélectionnées. Le testage incluait un ensemble de marqueurs moléculaires AFLP qui n'étaient liés à aucun caractère spécifique et une variété de variables environnementales (température moyenne, amplitude diurne de la température, humidité relative, ensoleillement direct, fréquence de gel au sol, vitesse du vent et précipitations). Trois marqueurs AFLP sont apparus associés de manière significative avec une ou plusieurs variables, probablement en relation avec l'adaptation à un environnement humide (par exemple, le coefficient de variation des précipitations, le nombre de jours humides, l'humidité relative, l'ensoleillement direct et l'amplitude diurne de la température moyenne).

Les résultats ont été comparés avec ceux qui avaient été obtenus par l'application d'une méthode complètement indépendante de génétique des populations. Deux marqueurs génétiques ont été sélectionnés par les deux approches, validant 31 pour cent des associations significatives identifiées par l'analyse spatiale. Ces résultats sont particulièrement encourageants, car ils semblent valider une approche indépendante de tout modèle de la génétique des populations (voir Joost (2005) pour de plus amples détails).

Fourni par Paolo Ajmone Marsan et le consortium ECONOGENE.

Les mesures directes des relations génétiques moléculaires entre les races sont de plus en plus disponibles et fournissent également une indication de la diversité génétique. Ces mesures sont basées sur la variation des séquences d'ADN, habituellement dans les régions neutres de l'ADN qui ne devraient pas influencer la performance ou le phénotype des animaux. Pour cette raison, les mesures moléculaires de la diversité

génétique reflètent les différences dans l'histoire de l'évolution, mais fournissent seulement des indications indirectes de la diversité génétique dans les régions fonctionnelles ou potentiellement fonctionnelles de l'ADN. Les races qui semblent étroitement liées sur la base des fréquences alléliques aux loci neutres peuvent néanmoins différer de façon importante aux loci fonctionnels, à cause des histoires divergentes

de sélection. Par exemple, les informations sur la distance génétique, dérivées en utilisant quelques marqueurs génétiques sélectionnés au hasard, ne fournissent pas les informations sur les variations génétiques spécifiques, comme l'allèle de l'hyperplasie musculaire pour les bovins Belgian Blue ou le gène nain pour les Dexter (Williams, 2004). Pour cette raison, la diversité des caractères justifie généralement la première considération dans le choix des candidats pour la conservation. Cependant, les races semblables du point de vue phénotypique peuvent évoluer à cause des différents mécanismes génétiques et les mesures de la diversité génétique moléculaire facilitent l'identification des races superficiellement similaires, mais génétiquement différentes. La conservation de races génétiquement uniques est également justifiée parce que ces races montreront probablement plus de diversité génétique fonctionnelle pour les caractères précédemment non mesurés ou non exprimés, mais qui peuvent avoir une importance future dans les nouveaux marchés en contact avec des nouvelles maladies ou dans des différentes conditions de production.

Les mesures de diversité génétique moléculaire sont intéressantes à utiliser comme base pour les décisions sur la conservation parce qu'elles donnent des mesures quantitatives de relation qui peuvent, à leur tour, être utilisées pour évaluer la diversité génétique d'un ensemble de races. Par contre, la diversité des caractères est plus difficile à quantifier de façon objective, surtout pour ce qui est des caractères quantitatifs et pour les races à petits effectifs. Les efforts du passé visant à quantifier les différences phénotypiques se sont principalement concentrés sur les mesures morphologiques au niveau des espèces et des sous-espèces des populations naturelles. En l'absence d'accès aux informations génétiques moléculaires, les résultats sont considérés des indicateurs de la distance évolutive, mais sont moins utiles pour les animaux domestiques car la sélection artificielle peut avoir pour résultat des changements morphologiques rapides,

comme pour les chiens domestiques et les oiseaux d'ornement. Une évaluation objective de la diversité génétique sur des sites fonctionnels ou potentiellement fonctionnels demandera ainsi d'autres élaborations de méthodes objectives pour associer les informations sur la diversité des caractères et la diversité génétique moléculaire (voir section F: 8).

Les informations historiques ou les preuves d'un isolement génétique à long terme peuvent être utilisées en l'absence d'informations sur la diversité des caractères ou génétique moléculaire, mais elles peuvent aussi être trompeuses. La théorie de la génétique des populations montre que même des mouvements très faibles d'animaux entre des populations isolées peuvent suffire pour empêcher une différenciation génétique significative. Ainsi, les races ayant une histoire d'isolement génétique sont des candidats importants pour la caractérisation de caractères et de génétique moléculaire, mais les décisions finales sur l'unicité sont plus faciles à prendre si l'on utilise des instruments plus objectifs. Il faudrait reconnaître, cependant, que les races d'animaux d'élevage mises en valeur à partir des préférences culturelles des communautés rurales isolées peuvent représenter une part importante de l'identité et du patrimoine communs. La conservation de telles races doit mériter quelque considération en tant que part d'efforts plus larges du développement communautaire, quelle que soit sa valeur prédictive en tant que ressource génétique unique au niveau mondial.

## 6 Conservation *in vivo*

Le terme «conservation *in vivo*» décrit la conservation d'animaux vivants et englobe les méthodes de conservation *in situ* et *ex situ in vivo*.

### 6.1 Renseignements généraux

La conservation des ressources zoogénétiques a lieu dans plusieurs contextes différents et

## PARTIE 4

change selon les espèces, les races, les régions géographiques et les systèmes agricoles, sociaux et économiques. La conservation a également une grande variété d'objectifs. L'accent peut être placé sur la conservation des ressources génétiques ou de la diversité en tant que telle; sur les services pour l'environnement par lesquels les animaux d'élevage contribuent à la conservation d'un écosystème plus étendu; sur les conséquences socio-économiques de la conservation; ou sur l'importance culturelle attachée à la maintenance de races particulières d'animaux d'élevage. Les approches de la conservation des ressources zoogénétiques peuvent être très différentes dans leur capacité à atteindre les différents objectifs de conservation et dans leur aptitude à s'appliquer aux différents contextes.

Il est possible de considérer les techniques de conservation *in vivo* comme étant un ensemble de différentes approches dont la partie *in situ* recouvre à son extrême le maintien des races au sein de leurs systèmes de production originaires, alors que l'approche opposée *ex situ in vivo* vise à maintenir les races dans des jardins zoologiques. Entre ces deux extrêmes, on trouve: le maintien des espèces dans des exploitations mais en dehors de l'environnement dans lequel elles ont évolué; la maintenance d'un nombre limité d'animaux dans des exploitations spécifiques de conservation, au sein de troupeaux expérimentaux ou destinés à l'enseignement; et l'élevage de races pour la gestion des pâturages ou du paysage en zones protégées. La diversité des mesures disponibles pour la conservation étant très large, il est parfois difficile de faire une distinction nette entre les approches *in situ* et *ex situ in vivo*. Par exemple, on peut considérer que les stations gouvernementales appliquent des méthodes de conservation *in situ* ou *ex situ in vivo* selon le lieu et les pratiques habituelles d'élevage.

Il n'existe aucune formule spéciale pour réussir un programme de conservation. De nombreuses formes de conservation des races ont été mises en œuvre, surtout à partir des années 80. Cependant, presque aucune tentative n'a été entreprise pour analyser de façon adéquate les facteurs sous-

jacents au succès ou à l'échec des programmes de conservation *in vivo*. De telles analyses ont été également freinées par la disponibilité limitée des données.

## 6.2 Gestion génétique des populations

Oldenbroek (1999) fournit des informations détaillées sur les nombreuses exigences requises pour la gestion génétique des populations.

### *Petites populations et variation génétique*

Chaque fois que les races sont conservées *in vivo*, qu'il s'agisse de conservation *in situ* ou *ex situ*, il faudrait les gérer de façon à maintenir leur variation génétique dans le long terme. Il est bien établi qu'une taille limitée de population peut avoir pour résultat la perte de la diversité allélique et une hausse de la consanguinité. Le maintien d'une taille suffisante de population est un point fondamental de la gestion de la race à long terme. En plus d'augmenter le nombre d'animaux de la population, les techniques de gestion visant à maintenir la diversité génétique incluent le maintien d'un sex ratio équilibré parce que, même si le nombre des femelles d'une population est élevé, les programmes de sélection intensive peuvent considérablement réduire le nombre des mâles reproducteurs, ce qui peut entraîner de fait une dimension de population réduite et des augmentations conséquentes de la consanguinité. Une autre méthode consiste à minimiser la variance des nombres des descendants produits par les reproducteurs, ce qui réduit la relation moyenne entre les animaux destinés à la reproduction de la génération suivante.

La population devrait être assez grande pour permettre la sélection naturelle si l'on veut éliminer les mutations néfastes pouvant s'accumuler dans la population à cause de la dérive génétique. Il est important de savoir que, pour la gestion des petites populations, il existe une grandeur limite aux effectifs d'une population au-dessous de laquelle la population diminue régulièrement. Selon les estimations les plus récentes des taux de mutation, cette grandeur limite de la population est comprise entre 50 et 100. La taille minimale de

population nécessaire sera donc supérieure à 50.

Une autre technique de gestion est l'utilisation de matériel génétique cryoconservé dans les programmes de conservation *in vivo* pour accroître la grandeur limite des effectifs d'une population. L'utilisation combinée des informations génétiques moléculaires et généalogiques a été également proposée. De telles techniques, toutefois, demandent des compétences et des dépenses considérables et peuvent être trop coûteuses pour de nombreux pays. La plupart des modèles théoriques et pratiques élaborés font référence aux populations reproductrices de race pure avec un haut degré de gestion des troupeaux et des animaux. De tels modèles sont probablement pertinents pour un nombre limité d'espèces dans un nombre limité de pays. Il faut élaborer des programmes de gestion qui peuvent être mis en œuvre pour les populations dont les informations généalogiques sont limitées (Raoul *et al.*, 2004). Cependant, les essais sur le terrain et d'autres évolutions méthodologiques sont nécessaires pour les adapter aux situations dont les capacités organisationnelles et les financements sont limités.

### **Sélection pour les races locales**

Les races sont dynamiques car elles sont soumises à des changements génétiques continus en réponse aux facteurs environnementaux et à la sélection des éleveurs. Les races indigènes des pays en développement sont rarement soumises aux techniques modernes de sélection. Cependant, les programmes de sélection peuvent accroître la fréquence des gènes désirables pour la productivité et la rentabilité des races locales. De telles mesures seront sans doute nécessaires si les races locales continuent de représenter des moyens d'existence viables pour les fermiers qui les élèvent. Les programmes de sélection doivent prendre en considération le maintien de la variation génétique intraraciale et les risques associés aux taux élevés de consanguinité. Les caractères à sélectionner doivent être enregistrés avec exactitude et les réponses les plus satisfaisantes à la sélection résultent de l'utilisation des estimations génétiques statistiques

de la valeur génétique. La sélection contrôlée, basée sur les estimations de la valeur génétique, donne des taux de consanguinité deux à quatre fois supérieurs aux taux obtenus par la sélection aléatoire des parents. Cependant, des techniques ont été élaborées pour optimiser la sélection et atteindre un équilibre acceptable entre consanguinité et amélioration génétique. De telles méthodes seraient particulièrement utiles pour les petites populations, mais les actions visant à déterminer les meilleures méthodes d'utilisation dans les pays en développement sont très limitées. En généralisant, l'amélioration génétique des races locales impliquera souvent d'accorder plus d'intérêt aux caractères<sup>19</sup> favorisant des coûts de production faibles et aux valeurs d'environnement et de culture des systèmes agricoles qui y sont associés. Les caractères proposés pour la sélection devront être évalués avec précision pour leurs relations génétiques avec les caractères qui déterminent la valeur de conservation de la race afin d'éviter des possibles effets négatifs sur les caractères d'adaptation clés.

### **6.3 Stratégies d'autogestion durable des races locales**

La durabilité d'une race donnée est dépendante de différents facteurs comme les changements culturels, sociaux et de la demande alimentaire; la transformation de la chaîne alimentaire; les changements des politiques et des cadres légaux nationaux et internationaux pour les importations de matériel génétique et de produits des animaux d'élevage; le développement économique; et les changements technologiques. Dans la plupart des cas, c'est la combinaison des changements au sein des systèmes de production avec le manque de rentabilité économique qui joue le rôle majeur dans le déclin d'une race. On se pose alors la question: quelles sont les alternatives permettant

<sup>19</sup> L'amélioration génétique de races plus commerciales porte aujourd'hui une plus grande attention à la résistance aux maladies, à la capacité d'utilisation du fourrage et à l'adaptation générale à cause des risques d'échec des mesures de contrôle des maladies, la loi sur la réduction ou l'élimination des antibiotiques et les risques concernant les coûts des intrants externes, en particulier ceux qui concernent l'utilisation des combustibles fossiles.

## PARTIE 4

d'arrêter et d'inverser le processus de déclin d'une race? Les options possibles pour atteindre une autogestion durable sont décrites ci-dessous.

### **Identification et promotion de produits de qualité**

De nombreuses races locales peuvent fournir des produits uniques de qualité supérieure aux produits obtenus par les races commerciales à haut rendement. Les races locales et leurs produits peuvent également être valorisés en tant que représentants des systèmes agricoles traditionnels. De plus, de nombreuses races locales ont joué pendant longtemps un rôle clé dans la vie sociale et culturelle des populations rurales – y compris les traditions religieuses et civiques, le folklore, la gastronomie, les produits spécialisés et l'artisanat (Gandini et Villa, 2003).

Potentiellement, ces caractéristiques peuvent être la base d'une production d'élevage diversifiée et d'une plus grande rentabilité des races locales. Les objectifs de conservation ont été favorisés par des subventions directes (voir ci-dessous) et par la promotion de produits de spécialité à forte valeur ajoutée. Cette dernière approche a connu un succès particulier dans les régions méditerranéennes où la diversité des races des systèmes de production est encore associée à la variété des produits d'origine animale, des préférences alimentaires et des traditions culturelles. Malheureusement, il est probable que la plupart de ces associations qui existaient encore au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle dans cette partie de la planète est à présent perdue. Cette stratégie est aujourd'hui soutenue par les systèmes européens de certification des produits agricoles, comme l'AOP (appellation d'origine protégée) et l'IGP (indication géographique protégée) et également par le développement de marques commerciales spécifiques.

Dans le cas de l'Europe, ces efforts de conservation sont mis en œuvre au sein d'une économie hautement développée qui peut soutenir divers produits de grande valeur ainsi que des actions pour favoriser des objectifs culturels et environnementaux. Les possibilités d'appliquer de telles approches sont probablement plus

limitées dans les économies moins développées; mais des exemples existent, comme le prix majoré pour la viande de porc Creole au Yucatan (Mexique) et celui de la viande de poulet local dans plusieurs pays asiatiques et africains. Avec le développement économique, l'identité culturelle des races deviendra probablement plus importante en tant qu'aspect de la commercialisation et objectif politique et, par conséquent, offrira de plus grandes possibilités pour atteindre leur autogestion durable.

### **Services écologiques**

Les races adaptées aux conditions locales de production sont souvent les mieux placées pour fournir des services en faveur de l'environnement, comme la gestion du paysage et la stimulation de la croissance d'une végétation spécifique, le contrôle des incendies et des avalanches, et le nettoyage des broussailles des lignes électriques et des couloirs de passages des animaux sauvages (réduisant ainsi l'utilisation des herbicides). Même dans les économies moins développées, on peut soutenir plusieurs races importantes du point de vue culturel par le biais du tourisme écologique et culturel, ou d'autres approches novatrices consacrées à la génération de revenus pour les éleveurs. Par exemple, l'utilisation des bovins locaux pour maintenir les écosystèmes qui favorisent l'accroissement de la densité et de la diversité d'animaux dans les parcs d'animaux sauvages. Il est cependant difficile de réussir à transformer ces services en retombées économiques pour les éleveurs.

### **Mesures d'incitation**

Le manque de rentabilité liée aux races et, par conséquent, le manque de popularité auprès des fermiers participent souvent au déclin des effectifs d'une population raciale. Une approche possible pour la conservation est d'offrir aux éleveurs des incitations financières pour compenser les pertes de revenu entraînées par l'élevage d'une race moins rentable. Cette approche est possible uniquement si les ressources sont suffisantes et la volonté politique prête à dépenser des



fonds publics pour satisfaire des objectifs de conservation; si la caractérisation des races permet d'identifier et de classer les populations de races selon leur niveau de risque à disparaître; et si les capacités institutionnelles sont en mesure d'identifier les éleveurs éligibles, surveiller leurs activités et administrer les paiements. Il n'est peut-être pas surprenant que les plans de soutien à la conservation des races soient limités

principalement à l'Europe. Dans l'UE, ces plans sont en place depuis 1992 (pour de plus amples renseignements sur la législation de l'UE relative aux soutiens financiers incitatifs, voir partie 3 – section E: 3). De tels soutiens ont arrêté le déclin de certaines, mais pas de toutes les races locales. Un certain nombre d'initiatives nationales ont été également mises en place, toujours en Europe (voir cadre 100 pour des exemples). Cependant,

### Cadre 99

#### Conservation *in situ* du mouton Norwegian Feral

Le mouton Norwegian Feral est ce qui reste des populations de moutons élevées en Norvège aux temps des Vikings. En 1995, il a été confirmé que la race était menacée d'extinction. On estimait que 2 000 animaux se trouvaient alors dans le pays, la plupart détenus dans la partie ouest de la Norvège.

Quelques personnes dévouées, issues d'une communauté active d'éleveurs de moutons établie depuis longtemps à Austevoll, dans le comté de Hordaland, ont décidé de sauver ce mouton et de développer une industrie de niche basée sur sa race. Au mois de juin 1995, l'Association du mouton Norwegian Feral a été établie. L'association, à structure coopérative et nationale, compte ayant environ 300 membres. Ses objectifs sont de conserver la race et d'améliorer sa rentabilité, en adaptant les méthodes de production et les produits aux demandes du marché et en sensibilisant le public.

L'association a rapidement créé un ensemble de normes de production qui devaient être satisfaites, si l'on voulait obtenir la certification de la marque «Feral Sheep». Ces normes incluent une description de la race et des prescriptions sur les méthodes de production. Un aspect important des normes des producteurs de l'association est également la sauvegarde des méthodes agricoles traditionnelles qui perpétuent les méthodes d'élevage utilisées en Norvège au cours des siècles. Les prescriptions spécifient que les moutons sont détenus en plein air tout au long de l'année et ont accès, pour les protéger, à une bergerie, si aucun abri naturel n'est disponible. Comme règle, l'utilisation des aliments concentrés est également interdite. La viande de ce mouton a

été bien accueillie par les consommateurs. La viande, à goût agréable et prononcé, est considérée comme un produit de niche à la mode. Un autre important objectif de l'association est de maintenir les bruyères côtières et autres paysages culturels. Les paysages, grâce à la présence du mouton pâturant, sont de plus en plus fréquentés par les touristes.

En 2003, huit années seulement après l'introduction des premières mesures de conservation, la population du mouton Norwegian Feral avait dépassé 20 000 animaux. La plupart de ces moutons se trouvent encore dans la partie ouest de la Norvège, mais des initiatives visant à introduire cette forme particulière d'élevage dans les régions côtières des parties centrales et du nord de la Norvège sont en cours dans le cadre du développement des industries agricoles de cette région.

Fourni par Erling Fimland.



Photo: Erling Fimland

## PARTIE 4

la durabilité à plus long terme de ces systèmes d'incitations est contestable en dépit de leur réussite. Il paraît opportun d'étudier l'utilisation d'incitations plus spécifiques; en Europe, par exemple, l'élimination des quotas de production laitière pour les races menacées pourrait en promouvoir une utilisation plus élargie. De manière générale, les incitations économiques devraient être conçues pour accélérer la mise en place d'une autogestion durable d'une race plutôt que pour lui fournir simplement un soutien économique temporaire.

#### **Utilisation dans les systèmes de production**

La plus haute productivité résultant de l'amélioration génétique des races locales peut avoir comme conséquence une gestion plus intense et le besoin d'infrastructures de soutien. À l'inverse, l'amélioration des systèmes et des infrastructures de production peut favoriser l'amélioration de la race locale et/ou l'importation de nouvelles races. Un tel développement peut représenter en même temps une opportunité et une menace pour la maintenance des races locales. Par exemple, les croisements indiscriminés peuvent constituer une menace majeure. Cependant, si les croisements sont structurés de façon appropriée, ils peuvent faciliter le maintien de la race locale, par exemple une race maternelle efficace et pleinement adaptée à un programme de croisement continu. Malheureusement, on ne dispose pas de connaissances suffisantes sur les moyens de développer des systèmes et des infrastructures de production pour que les populations locales puissent améliorer leurs moyens d'existence et atteindre la sécurité alimentaire tout en conservant les ressources zoogénétiques autochtones.

#### **6.4 Approches *in situ* par rapport aux approches *ex situ* pour la conservation *in vivo***

Si l'on considère les relations étroites et complexes entre d'une part les communautés autochtones, l'environnement et les animaux d'élevage et d'autre part le manque fréquent de services et

d'infrastructures destinés à la sélection, la gestion des ressources zoogénétiques communautaire est souvent considérée comme une solution (Köhler-Rollefson, 2004) et est largement favorisée par les ONG. De telles approches communautaires

#### **Cadre 100**

#### **Exemples de plans de primes au niveau national**

Au Royaume-Uni, le plan Traditional Breeds Incentive (incitations destinées aux races traditionnelles) dirigé par English Nature (un organisme gouvernemental pour la conservation de la nature) vise les animaux d'élevage élevés dans ou près des sites d'intérêt scientifique spécial (English Nature, 2004). Le principe de base est que les races traditionnelles sont souvent mieux adaptées pour paître le fourrage de ces sites et donnent de meilleurs résultats s'il doit y avoir pâture pour raison de conservation. Dans ce cas, l'objectif est de plus ample portée que la simple conservation de race et les primes aux éleveurs peuvent être considérées, en partie, comme des financements pour services rendus à des fins environnementales plus larges.

En Croatie, les éleveurs enregistrés de races locales menacées reçoivent des subventions de l'Etat d'environ 650 000 euros par an (RN Croatie, 2003). Quatorze races, dont les bovins Istrien, Slavonian-Podolian, les chevaux Posavina et Murinsulaner, les porcs Turopolje et Black Slavonian, les moutons Istrien et Ruda, les dindes Zagorje et certaines races d'ânes, sont inscrites au plan. De manière analogue, en Serbie et Monténégro, le Département des ressources génétiques des animaux et des plantes a organisé un plan de primes pour soutenir la conservation dans l'exploitation de races locales de chevaux, de bovins, de porcs et de moutons (Marczin, 2005).

Au Myanmar, les effectifs de la population de bovins Shwe Ni Gyi ont été accrus par la fourniture de sperme subventionné et le paiement d'un petit montant (équivalent à 1 dollar EU) aux propriétaires au moment de l'enregistrement d'un animal de race pure (Steane et al., 2002).

pour la conservation sont certainement l'option la plus adaptée si elles soutiennent la mise en valeur de la race et sa capacité à augmenter le niveau de vie. De nombreuses stratégies de conservation décrites ci-dessus, basées sur des produits ou sur des services à la production ayant une valeur élevée ont été conçues dans le cadre de la conservation communautaire *in situ*. Il faut garantir que le maintien des races locales favorise, à court et à long terme, les moyens d'existence des communautés qui les élèvent. Si ceci n'est pas possible, de telles stratégies seront non durables, car les communautés s'occuperont finalement de races alternatives qui fournissent des moyens d'existence plus appropriés.

Les approches communautaires de gestion existent de fait dans les régions en développement. L'exemple décrit au cadre 102 montre que même si les systèmes de production traditionnels sont menacés, des progrès sont constatés dans la réalisation d'objectifs comme la gestion des zones de pacage communal, l'amélioration des ressources génétiques et le renforcement du développement social. Cependant, l'exemple du Népal (cadre 103) indique que, dès que les conditions de production changent, l'introduction de ressources génétiques importées peut parfois être une option viable pour les petits éleveurs. Si, dans ce cas spécifique, les moyens d'existence des fermiers en sont améliorés, les ressources génétiques du buffle local ne sont plus utilisées. L'exemple montre que la réalisation de stratégies qui, en même temps, améliorent les moyens d'existence et réalisent les objectifs de conservation, est souvent difficile.

Même si la conservation *in situ* reste la méthode de conservation la plus fréquemment adoptée en Europe, il y a également plusieurs exemples de programmes de conservation *ex situ in vivo* dans les parcs animaliers et, dans quelques cas, les jardins zoologiques. Au Royaume-Uni, 17 Rare Breeds Survival Trust Approved Centres (centres reconnus compétents de la coalition pour la sauvegarde des races rares)<sup>20</sup> sont

<sup>20</sup> [http://www.rbst.org.uk/html/approved\\_centres.html](http://www.rbst.org.uk/html/approved_centres.html)

### Cadre 101 Un indice de potentiel de développement économique pour cibler les investissements en conservation *in situ*

Le projet Econogene associe l'analyse moléculaire de la biodiversité, la socio-économie et la géostatistique pour s'occuper de la conservation des ressources génétiques des moutons et des chèvres et du développement rural des agrosystèmes marginaux partout en Europe. Des échantillons de matériel génétique ont été collectés dans 17 pays d'Europe et du Proche et Moyen-Orient. (<http://lasig.epfl.ch/projets/econogene/>)

Un des objectifs était l'utilisation plus efficace des fonds. Le projet a élaboré un indice du potentiel de développement qui constitue un instrument simple pouvant être utilisé pour déterminer les situations où l'argent public pourrait être mieux dépensé pour optimiser la réponse. Son utilisation est possible à différents niveaux, allant d'une simple exploitation jusqu'à une région entière. L'indice est une somme pondérée de trois sous-indices qui évaluent 1) les caractéristiques économiques de l'entreprise ou de l'exploitation (individuelle ou la moyenne d'une région), 2) les caractéristiques sociales de l'entreprise ou de l'exploitation, 3) les stratégies de commercialisation. Chaque sous-indice est basé sur plusieurs intrants. Dans le cas de l'étude d'Econogene des races de moutons et de chèvres européennes, le poids relatif du développement économique était de 50 pour cent pour la dimension économique, 30 pour cent pour la dimension sociale et 20 pour cent pour les stratégies de commercialisation dans le poids total de l'indice. L'indice n'inclut pas les facteurs environnementaux, comme les conditions climatiques, la disponibilité de terres agricoles ou de pâturage ou les facteurs liés à l'administration publique. Ces facteurs peuvent affecter les résultats lorsque les instruments politiques sont appliqués, mais l'indice évalue uniquement le potentiel économique résultant des caractéristiques et du comportement du secteur privé.

Fourni par Paolo Ajmone Marsan et le consortium d'ECONOGENE.

## PARTIE 4

## Cadre 102

Programme communautaire de conservation *in situ* – le cas de la Patagonie

Les chèvres criollo Neuquén sont la source principale de revenus et de protéines animales pour de nombreux ménages au nord de la province Neuquén, dans la Patagonie argentine. Les chèvres sont adaptées aux transhumances qui ont traditionnellement façonné la vie des éleveurs de chèvres ou *crianceros*. La durabilité du système est toutefois menacée par les changements qui limitent les mouvements des animaux d'élevage, notamment le clôturage des zones de pâturage traditionnelles. Les perspectives d'éducation, d'emploi et de logements de meilleure qualité offertes par les modes de vie urbanisés favorisent également la sédentarisation. Au cours des années 80, les tentatives d'introduire les chèvres Angora et Anglo-Nubian pour la production de fibres et de lait ont été un échec à cause des conditions défavorables. Néanmoins, les croisements non raisonnés sont une menace pour les ressources génétiques locales.

Un programme pour la conservation et l'amélioration de la chèvre criollo Neuquén a été lancé en 2001, sous les auspices de l'Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) et de l'Office agricole provincial. Les innovations organisationnelles et technologiques favorisant le maintien du système traditionnel dans des conditions changeantes ont été introduites. Les éleveurs de chèvres ont été engagés dans la mise en œuvre du programme dès son début par l'établissement d'associations de producteurs qui jouent un rôle de chef de file dans l'élaboration et la diffusion de nouvelles technologies.

Le travail d'amélioration génétique est orienté vers la conservation de la variabilité génétique de la race, sa rusticité et l'efficacité de sa production dans le cadre du système traditionnel. Le programme développe un système qui fournit des souches améliorées d'écotypes locaux en se basant sur les critères de sélection proposés par les *crianceros* eux-mêmes. Les préférences vont vers des animaux de grande taille mais rablés, qui ont un rendement acceptable de viande et peuvent supporter des conditions d'environnement difficiles. Les *crianceros* prêtent également attention à l'aptitude des femelles pour la reproduction et l'agnelage. La



Photo: María Rosa Lanari

préférence pour les chèvres blanches est liée à la commercialisation du poil. En revanche, les chèvres ayant des robes colorées sont considérées plus faciles à élever dans les pâturages enneigés. Cette préférence est plus marquée dans les zones où la neige dure plus longtemps. Les orientations futures comprennent des mesures visant à accroître la valeur des produits caprins. La viande de chevreau est à présent vendue avec une «indication géographique» distincte. Cette innovation commerciale-légale favorise la rentabilité du produit traditionnel issu du système.

Un nouvel engagement des éleveurs de chèvres concerne la récolte de cashmere. Des études récentes de la fibre issue de cette race ont révélé les potentialités de ce produit. Les *crianceros* ont reçu des peignes et ont été formés pour la récolte et le classement de la fibre.

Le but est ainsi de prévenir la dilution génétique de la race en tant que partie intégrante des efforts visant à préserver le système de production sous-jacent. La race de chèvres, l'environnement local, la culture et les pratiques traditionnelles des *crianceros* sont considérés comme des ressources valorisables qui peuvent être utilisés pour favoriser le développement de cette région rurale.

Fourni par María Rosa Lanari.  
Pour de plus amples renseignements, voir FAO (2007a).

**Cadre 103****Changements des systèmes de production conduisant au remplacement de buffles locaux – le cas du Népal**

La parcellisation des terres de pâturage disponibles causée par la croissance démographique a eu un impact considérable sur les systèmes traditionnels d'élevage de la région Mid-Hills au Népal. Les ménages ruraux qui ont accès à des marchés urbains en croissance ont remplacé les bovins et les buffles locaux, à faible rendement, par des buffles laitiers à haut rendement qu'ils peuvent alimenter à l'étable. En moins de 30 ans, plus de 95 pour cent des ménages ruraux de la région ciblée pour cette étude de cas ont remplacé leurs bovins locaux et les buffles Lime par un à trois buffles laitiers Murah à haut rendement provenant des plaines indiennes. Environ 65 pour cent des ménages achètent chaque année de nouveaux animaux en lactation, et vendent les animaux taris pour une nouvelle mise en reproduction ou pour la viande. Les buffles importés sont reproduits dans les plaines indiennes et sélectionnés par les commerçants indiens qui les transportent vers les hauts-plateaux du Népal et achètent les animaux taris. Ces commerçants privés ont joué un rôle bien plus important que le gouvernement dans la promotion de l'utilisation des animaux à haut rendement. Les races locales de bovins et de buffles restent importantes dans les régions rurales plus éloignées où elles continuent de fournir la force de trait et une quantité suffisante de lait pour la subsistance du ménage.

Les obstacles initiaux à la gestion de la race nouvellement introduite ont été surmontés et les éleveurs ne veulent plus revenir vers l'utilisation d'animaux produits localement. Les éleveurs ont depuis longtemps réussi l'introduction de ces buffles améliorés et, en échange, ils ont obtenu un meilleur niveau de vie. Leur priorité est à présent de développer des stratégies de sélection pour les buffles Murah afin d'atteindre une productivité encore plus élevée, ce qui demande la collaboration entre les éleveurs du Népal et de l'Inde.

Les changements socio-économiques ont poussé les éleveurs à abandonner leurs pratiques d'élevage traditionnelles et à chercher des alternatives. Les nouvelles stratégies de gestion ont fourni une rentabilité économique plus élevée et les éleveurs ont finalement préféré une race introduite à leurs animaux locaux. Cette étude de cas montre que, dès que les conditions de production changent, de nouvelles races ayant des caractéristiques différentes fournissent parfois de meilleures conditions d'existence que les races locales.

\_\_\_\_\_ Fourni par Kim-Anh Tempelman.

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

aujourd'hui fonctionnels, l'un d'entre eux, la ferme Cotswold Farm Park<sup>21</sup>, attirant plus de 100 000 visiteurs tous les ans. En Allemagne, Falge (1996) a signalé l'existence de 124 institutions qui maintiennent 187 races et neuf espèces d'animaux d'élevage. Des institutions similaires existent dans de nombreuses autres parties de l'Europe, par exemple en Italie, en France et en Espagne, et également en Amérique du Nord. Une importante fonction des parcs animaliers est leur contribution à sensibiliser le public envers la conservation des ressources zoogénétiques.

<sup>21</sup> <http://www.cotswoldfarmpark.co.uk>

Pour certaines espèces, comme les volailles, des organisations enthousiastes d'amateurs jouent un rôle important dans la conservation des races locales. Le premier exemple d'une zone protégée centrée sur les races locales rares a été celui de la Hongrie où les races indigènes sont conservées dans la Putza (une zone de terres humides herbeuses et de plaines, dans la partie orientale du pays). De tels schémas existent aujourd'hui dans d'autres parties de l'Europe mais aussi en dehors de celle-ci.

Dans les régions en développement, les activités de conservation *ex situ in vivo* les plus communes

## PARTIE 4

sont celles qui sont mises en place pour des bandes d'animaux ou des troupeaux conservés par les institutions d'Etat. Les informations fournies par les Rapports nationaux laissent penser que les informations sont insuffisantes pour déterminer la durabilité de tels programmes de conservation. Il semble que toutes les activités de conservation *ex situ in vivo* dans les régions en développement soient virtuellement consacrées à soutenir l'utilisation continue des ressources zoogénétiques par les fermiers – ce qui pose la question de la viabilité de la conservation *ex situ in vivo* pour la conservation des ressources zoogénétiques n'étant plus utilisées. Il est très clair qu'il faut développer une compréhension beaucoup plus approfondie de la manière de concevoir et mettre en œuvre les activités de conservation *in vivo*, surtout dans les régions en développement.

## 7 Etat actuel et perspectives de la cryoconservation

A partir des premiers développements de l'IA vers la moitié des années 40 jusqu'aux récentes potentialités offertes par le stockage et le transfert d'ADN, les biotechnologies de la reproduction ont toujours contribué au transfert de matériel génétique *in vivo* et *in vitro*. Les techniques à présent accessibles et économiquement praticables pour la conservation *in vitro* des ressources zoogénétiques sont celles qui concernent la cryoconservation de cellules, d'embryons et de tissus de la reproduction. Les matériels conservés en utilisant ces techniques peuvent préserver leur capacité de vie et leur état fonctionnel pendant des dizaines d'années ou même des siècles. Cependant, à cause du recul relativement court dont on dispose vis-à-vis de ces technologies, une évaluation précise de cette longévité putative reste à établir. Les biotechnologies plus récentes, y compris le clonage, la transgénèse et le transfert de cellules somatiques, ont de grandes potentialités pour

les applications futures dans la conservation des ressources zoogénétiques, mais ne restent aujourd'hui accessibles que dans quelques laboratoires. La faible fiabilité et les coûts extrêmement élevés de ces technologies sont deux éléments qui limiteront probablement leur utilisation dans la conservation des ressources zoogénétiques au cours des prochaines années. Ce chapitre, par conséquent, est principalement centré sur l'état de l'art actuel des biotechnologies de la reproduction qui sont économiquement et techniquement accessibles dans la plupart des régions géographiques. Des documents précédemment publiés, comme le «Lignes directrices pour le développement de plans de gestion des ressources génétiques animales au niveau national» (FAO, 1998c) et les «Lignes directrices pour la création de programmes de cryoconservation nationaux pour les animaux domestiques» (ERFP, 2003) fournissent plus de détails sur ces applications.

### 7.1 Gamètes

#### Sperme

Le sperme de toutes les espèces de mammifères d'élevage a été congelé avec succès au cours des dernières années, ainsi que le sperme de certaines espèces de volailles (poules, oies). Les procédures de congélation pour la cryoconservation du sperme sont spécifiques à chaque espèce, mais les procédures générales sont les suivantes:

- après collecte, le sperme est dilué dans une solution ionique (sel) ou non ionique (sucre) dont l'osmolarité est proche de l'état physiologique;
- on ajoute un cryoprotecteur approprié – le glycérol est le plus commun, mais le diméthyl sulphoxide (DMSO), le diméthylacétamide (DMA) ou le diméthylformamide (DMFA) sont, selon les espèces, d'un grand intérêt pratique;
- le sperme dilué est refroidi, échantillonné et ensuite congelé dans l'azote liquide (-196 °C);

- les doses individuelles de sperme sont généralement congelées en paillettes plutôt qu'en granules pour garantir des conditions sanitaires optimales et l'identification permanente de chaque dose.

Après l'IA avec du sperme congelé et décongelé, les taux de conception dans le monde sont en moyenne de 50–65 pour cent sur plus de 110 millions d'inséminations premières par an chez les bovins; de 70–80 pour cent sur plus de 40 millions d'inséminations chez le porc; de 50–80 pour cent (IA intra-utérines) ou 55–65 percent (IA cervicales) sur plus de 120 000 inséminations chez la chèvre; de 50–80 pour cent (IA intra-utérines) ou 55–60 pour cent (IA cervicales) sur plus de 50 000 inséminations chez le mouton; et de 35–40 pour cent sur plus de 5 000 inséminations chez le cheval (Ericksson *et al.*, 2002; Thibier, 2005; G. Decuadro, communication personnelle, 2005). Les résultats chez la poule révèlent une grande variabilité inter et intraraciale qui va de 10 à 90 pour cent (Brillard et Blesbois, 2003).

Les doses de sperme qui doivent être stockées sont fonction des doses requises par parturition ou par éclosion, de la production totale espérée des femelles reproductrices fertiles et du nombre de mâles et de femelles souhaités dans la population reconstituée. Si le sperme est utilisé pour reconstituer les races par rétrocroisement, un certain pourcentage des gènes de la population de femelles utilisées dans le rétrocroisement sera retrouvé dans la race reconstituée. Par exemple, il faut cinq générations de rétrocroisements pour obtenir des animaux qui ont plus de 95 pour cent du génotype de la race restaurée à partir du sperme congelé. Il faut stocker du sperme en quantité suffisante pour produire le nombre de générations rétrocroisées requises. Pour les espèces aviaires où les femelles possèdent les hétérochromosomes ZW (les mâles sont ZZ), les gènes transportés par les chromosomes W ne peuvent pas être transférés par cryoconservation classique du sperme. De plus, pour toutes les espèces, certains effets cytoplasmiques de la race donatrice peuvent se perdre ou être altérés.

Malgré ces limitations, cette technique doit être considérée comme jouant un rôle prédominant dans la conservation *ex situ in vitro* des ressources zoogénétiques grâce à la disponibilité d'une technologie avancée fiable et faciles à appliquer. Cependant, si le nombre de doses disponibles par mâle est faible ou si le nombre de femelles pouvant être obtenues par mère est aussi faible, la reconstitution de la race par le transfert embryonnaire est, si possible, plus souhaitable comme moyen d'assurer la reprise totale des gènes originaires.

### Ovocytes

Dans le cas des oiseaux, malgré des évolutions techniques intéressantes, il n'a pas encore été possible d'obtenir des poussins éclos avec succès à partir d'œufs congelés puis décongelés, ce qui résulte en partie de la grande quantité de lipides présents dans le vitellus. En revanche, les embryons de certaines espèces de mammifères peuvent être produits *in vitro* à partir d'ovocytes mûrs collectés au moment de l'abattage ou bien encore par ponction folliculaire à partir de femelles vivantes. De tels ovocytes peuvent se congeler pour des périodes prolongées avant leur fécondation *in vitro* (FIV) pour produire des embryons. Deux méthodes de congélation qui se distinguent par la vitesse des procédures de congélation sont disponibles. Les procédures à congélation lente sont aujourd'hui utilisables chez les bovins et potentiellement applicables aussi aux moutons et aux chèvres, mais les taux de réussite dans l'obtention de descendants sont extrêmement faibles (moins de 10 pour cent). Ceci est en partie le résultat de taux de réussite limités du transfert embryonnaire et de la forte mortalité des embryons après fécondation. De plus, de telles techniques, qui demandent la maturation de l'ovocyte avant la FIV, doivent être effectuées par des techniciens hautement qualifiés. Les procédures de congélation ultra-rapide, appelée également vitrification, sont à présent utilisées de manière expérimentale pour limiter les dommages de l'ovocyte causés par les chocs thermiques et

## PARTIE 4

la toxicité des cryoprotecteurs. La plupart des protocoles utilisent des concentrations élevées de cryoprotecteurs et de sucres pour enlever l'eau des cellules. Des résultats prometteurs ont été obtenus chez les bovins. Cependant, les procédures de travail qui rendraient utile la cryoconservation des ovocytes pour la préservation des ressources zoogénétiques, doivent encore être validées à grande échelle.

## 7.2 Embryons

A la différence des espèces aviaires, les embryons de tous les mammifères peuvent être virtuellement congelés, décongelés puis transférés dans les femelles receveuses pour produire des descendants. Aujourd'hui cependant, l'utilisation répandue de la cryoconservation des embryons est limitée aux bovins, aux moutons et aux chèvres. La collecte des embryons de porc exige le sacrifice de la femelle et le procédé reste expérimental chez les chevaux. Un certain nombre de facteurs, incluant la méthode de collecte des embryons (par biopsie, production *in vitro* ou clonage) et l'étape de maturation affectent largement les chances d'obtenir des descendants vivants. Plusieurs protocoles de congélation et décongélation des embryons des animaux d'élevage ont été proposés et, comme pour les ovocytes, ils peuvent être classés en deux catégories principales basées sur la rapidité des procédures de congélation.

Dans les approches à congélation lente, l'équilibration des cryoprotecteurs et des solutés entre le milieu qui entoure l'embryon et les compartiments intracellulaires se produit lentement, limitant ainsi les risques de rupture de la membrane à cause de dépôt de glace intracellulaire. Au moment de la décongélation, les embryons sont transférés dans des femelles receveuses avec ou sans l'élimination du cryoprotecteur. Au plan international, ces techniques sont à présent les plus utilisées chez les bovins, les moutons et les chèvres. Les taux de parturition réussite varient selon les espèces, l'origine génétique, la source (*in vivo* ou *in vitro*), et le stade de développement des embryons. Les

embryons cryoconservés à un stade précoce de leur développement donnent des taux de parturition plus faibles que les embryons cryoconservés à un stade plus avancé (Massip, 2001).

Les techniques de congélation rapide (vitrification) impliquent le refroidissement et la congélation ultra-rapides des embryons dans une très petite quantité de milieu de la suspension comprenant les cryoprotecteurs et autres solutés (sucres), généralement à des concentrations élevées. Les embryons de plusieurs espèces mammifères (bovins, moutons et chèvres) ont été vitrifiés et transférés avec succès. Des taux de survie de 59 et de 64 pour cent ont été observés pour des embryons de mouton et de chèvre respectivement, en utilisant la technique de vitrification appelée PS (Pulled-Straw) (Cognié et al., 2003).

Les techniques de préservation des embryons sont d'un intérêt particulier par rapport à la cryoconservation des ressources zoogénétiques parce qu'elles permettent la récupération complète du génome initial. Pour réaliser des taux de congélation lente, il faut avoir des congélateurs programmables coûteux, mais cette technique est plus flexible pour les techniciens n'ayant pas été formés à cause des intervalles relativement longs entre les deux étapes de la procédure. La vitrification requiert au contraire du matériel limité, mais des techniciens hautement formés.

## 7.3 Cryoconservation des cellules somatiques et clonage

Depuis l'obtention du mouton Dolly, le premier animal conçu par clonage des cellules somatiques, cette technologie a fait ses preuves et est adaptée à la plupart des mammifères chez lesquels elle a été testée. Cependant, elle n'a pas connu de succès chez les oiseaux. A ce jour, la technologie reste coûteuse et présente des taux de réussite extrêmement faibles. Si l'on arrive à reconstituer des animaux vivants à partir de cellules somatiques et à rendre le clonage fiable et peu coûteux, la préservation des cellules somatiques deviendra une alternative intéressante pour la



cryoconservation des ressources zoogénétiques. Son avantage majeur serait la possibilité de choisir exactement les animaux à conserver et de reconstituer ensuite une population de clones de ces animaux. Par différence avec la conservation d'embryons, l'ADN cytoplasmique n'est pas préservé chez des animaux dérivés de cellules somatiques. La collecte des cellules somatiques est toutefois beaucoup plus simple que la collecte d'embryons et il serait possible de collecter de façon intensive des échantillons des populations sur le terrain. Les coûts actuels nécessaires pour la création de cultures de cellules somatiques et l'insécurité sur les perspectives futures relatives à la production d'animaux vivants provenant de cellules préservées laissent penser que la conservation de cellules somatiques ne sera probablement pas une priorité pour les espèces chez lesquelles la cryoconservation des gamètes et des embryons est bien développée. Cependant, la cryoconservation de cellules somatiques serait une source de sauvegarde prudente si la cryoconservation de gamètes et d'embryons n'est pas réalisable ou bien présente des taux faibles de réussite.

Le tableau 105 présente une vue d'ensemble de la faisabilité des techniques décrites ci-dessus pour les principales espèces d'animaux d'élevage.

## 7.4 Choix du matériel génétique

Les techniques consacrées à la cryoconservation des gamètes et des embryons sont largement utilisées à des fins commerciales pour la plupart des mammifères domestiqués; il existe cependant quelques exceptions comme le transfert d'embryons congelés d'équidés et de porcs (Thibier, 2004). Pour les programmes de cryoconservation destinés à la gestion des ressources zoogénétiques, une question clé concerne le stockage d'un matériel biologique suffisant pour permettre la reconstitution d'animaux ou de populations ayant les caractères souhaités. Le choix de l'origine et du nombre des donneurs ainsi que le type de matériel à cryoconserver sont, par conséquent, des éléments cruciaux si l'on souhaite tirer parti de ce type d'investissement sur le long terme. Des recommandations utiles sur ces questions sont disponibles à partir des sources suivantes: Blackburn (2004), ERFP (2003) et Danchin-Burge *et al.* (2002).

## 7.5 Sécurité des banques de gènes

Les banques de gènes pour conserver le matériel génétique des ressources zoogénétiques doivent proposer un stockage techniquement sécurisé et satisfaire des prescriptions zoosanitaires rigoureuses.

**TABLEAU 105**

Etat actuel des techniques de cryoconservation par espèce

Espèces	Sperme	Ovocytes	Embryons	Cellules somatiques
Bovin	+	+	+	+
Mouton	+	0*	+	0
Chèvre	+	0	+	0
Cheval	+	0	0	0
Porc	+	0	0	0
Lapin	+	0	+	0
Poule	+	-	-	-

+ Techniques habituelles disponibles; 0 résultats de recherche positifs; - non faisable à l'état actuel de l'art; \* cryoconservation de l'ovaire entier.

## PARTIE 4

*Sécurité technique*

La perte d'azote liquide peut à tout instant (soit en quelques minutes) avoir pour résultat la perte complète du matériel cryoconservé. Le stockage des matériels cryoconservés dans deux récipients et, si possible, dans deux emplacements différents limite les risques de pertes résultant d'un défaut accidentel de fourniture en l'azote liquide.

*Biosécurité*

Les matériels d'origine animale, y compris les liquides biologiques, les gamètes et les embryons peuvent renfermer des pathogènes capables de survivre à la cryoconservation. Une recherche plus approfondie sera nécessaire pour évaluer les risques de transmission par stockage dans les banques de données, mais les recommandations de biosécurité fournies par le Code sanitaire pour les animaux terrestres de l'Organisation

mondiale de la santé animale (OIE) sont d'ores et déjà applicables dans le monde entier. Certaines prescriptions du code restent cependant très difficiles à satisfaire pour de nombreux pays. Ainsi, le code prévoit que les mouvements de matériel génétique entre des pays affectés par une maladie et des régions indemnes sont extrêmement difficiles et prévoit également que les échantillons qui ne satisfont pas aux prescriptions ne peuvent être stockés dans la même installation que celle où sont stockés les échantillons qui, au contraire, les satisfont. Ces questions pourraient représenter un obstacle substantiel à l'établissement de banques de cryoconservation au niveau national, régional et international. Des structures spéciales et peut-être aussi quelques exemptions spéciales aux codes existants seront donc nécessaires.

## Cadre 104

**Reconstitution de la race bovine indigène Red and White Friesian aux Pays-Bas**

En 1800, la population de bovins de la province Friesland était principalement constituée de bovins Red Pied. De nombreux parents rouges étaient importés du Danemark et de l'Allemagne, après les pertes importantes causées par la peste bovine. A partir de 1879, le livre généalogique des Frisonnes a enregistré un phénotype Red et White, mais poussés par les marchés des exportations, les animaux noirs et blancs sont devenus progressivement plus à la mode que les animaux d'origine rouges et blancs. En 1970, seulement 50 fermiers, pour un total de 2 500 bovins, se sont réunis dans l'Association des éleveurs de bovins Red and White Friesian. Peu de temps après, des importations soutenues de Holstein Frisonne depuis les Etats-Unis d'Amérique et le Canada ont contribué à une nouvelle baisse de la population jusqu'à ce qu'en 1993, il ne restait plus que 21 sujets Red et White (4 mâles et 17 femelles). Un groupe de propriétaires a lancé la Fondation pour les bovins

Red and White Friesian. En collaboration avec la banque de gènes pour les animaux nouvellement créée, un programme de sélection a été élaboré. Le sperme des reproducteurs préservé dans la banque de gènes au cours des années 70 et 80 a été utilisé pour sélectionner les femelles *via* un système de contrat. Les descendants mâles ont été élevés par les sélectionneurs qui recevaient une subvention de la banque de gènes. Le sperme de ces mâles a été collecté, congelé et ensuite utilisé *via* de nouveaux contrats. La race s'est accrue jusqu'à atteindre, en 2004, 256 femelles vivantes enregistrées et 12 mâles vivants. Aujourd'hui, 11 780 doses de sperme de 43 taureaux sont stockées dans la banque de gènes et sont disponibles pour l'IA. La plupart des vaches sont élevées par des amateurs pour la production laitière.

Fourni par Kor Oldenbroek.

**Cadre 105****Reconstitution de la race bovine Enderby en Nouvelle-Zélande**

Le cas des bovins de l'île d'Enderby montre qu'il est possible de reconstituer une race à partir d'un matériel génétique extrêmement limité. Cependant, il indique également que le processus est compliqué et exige beaucoup de temps et de ressources.

Enderby est une petite île située 320 kilomètres au sud de la Nouvelle-Zélande. Les bovins ont été tout d'abord transportés sur l'île en 1894, lorsqu'un certain W.J. Moffett d'Invercargill a accepté un bail pastoral et a importé neuf Shorthorn. Au cours des années 30, l'agriculture sur l'île a été abandonnée, mais les bovins sont restés sous forme de troupeau marronisé. Après 100 ans d'exposition au climat difficile d'Enderby et à un régime alimentaire constitué de broussailles et d'algues marines, les bovins sont devenus robustes, petits, trapus et bien adaptés. En 1991, dans le cadre d'une aide à la préservation de l'environnement local, les bovins d'Enderby ont été sacrifiés. Le sperme et les ovocytes des animaux morts ont été collectés pour la cryoconservation, mais les essais de fécondation des ovocytes n'ont pas abouti et l'on a alors pensé que la race Enderby était disparue pour toujours.

L'année suivante, les membres de la New Zealand Rare Breeds Conservation Society (NZRBCS – Société

néo-zélandaise pour la conservation des races rares) ont découvert une vache et un veau sur l'île. Les animaux ont été capturés et transportés par hélicoptère en Nouvelle-Zélande. La mort consécutive du veau a fait de «Lady», comme on appelait la vache, la dernière des bovins Enderby. Les essais d'obtention d'un veau, par l'insémination artificielle et la MOET en utilisant le sperme cryoconservé pris à partir de taureaux sacrifiés sur l'île n'ont pas abouti. De nouveau, la race semblait devoir disparaître. Cependant, en 1997, la NZRBCS, en collaboration avec AgResearch, a produit un veau, Elsie, cloné à partir d'un échantillon des cellules somatiques de Lady. Quatre autres génisses sont nées l'année suivante. Entre-temps, les efforts visant à produire un taureau Enderby par fécondation *in vitro* à partir de sperme cryoconservé et d'ovocytes collectés auprès de Lady ont également eu réussi et «Derby» est né. Deux des clones sont ensuite décédés, mais en 2002 deux autres veaux Enderby sont nés par accouplement naturel des génisses clonées et de Derby.

Pour de plus amples détails, voir: Historical Timeline of the Auckland Islands; NZRBCS, (2002); Wells, (2004).

## **8** Stratégies d'allocation des ressources dans le domaine de la conservation

### **8.1 Méthodes d'établissement des priorités**

La définition claire des objectifs est cruciale pour toutes les activités de conservation. Un critère souvent considéré important concerne la préservation de la diversité génétique. Cependant, la conservation de toute la diversité possible est rarement le seul objectif. D'autres facteurs, comme la conservation de certains caractères spéciaux (par ex. la tolérance aux maladies) et certaines valeurs écologiques ou culturelles des races

doivent également être prises en considération. L'objectif est par conséquent de maximiser l'utilité d'un ensemble de races, l'utilité étant une combinaison pondérée de mesures de diversité et d'autres caractères et valeurs. La définition des pondérations exige l'évaluation de la diversité liée aux autres critères pris en compte.

Une autre importante considération est le niveau de risque qui pèse sur les races concernées. Ceci peut être quantifié sous la forme d'une probabilité d'extinction. Ce paramètre est

## PARTIE 4

principalement déterminé par la taille effective de la population et son évolution démographique (taille de population en hausse ou en baisse), mais il devrait aussi prendre en considération d'autres facteurs comme la distribution géographique, la mise en œuvre de programmes de sélection, les fonctions écologiques, culturelles ou religieuses spécifiques et le risque posé par des menaces externes (Reist-Marti *et al.*, 2003).

Différentes méthodes visant à combiner les différents critères ont été proposés pour établir les races prioritaires qu'il faudra cibler pour les programmes de conservation. Ruane (2000), par exemple, a proposé une méthode dans laquelle un groupe d'experts identifie les priorités raciales au niveau national. Les sept critères suivants sont inclus dans le cadre:

- espèce (quelles races de quelles espèces doivent être incluses dans l'exercice de l'établissement des priorités?);
- niveau de la menace;
- caractères de valeur économique à un moment donné;
- valeurs spéciales de l'environnement;
- caractères de valeur scientifique à un moment donné;
- valeur culturelle et historique; et
- unicité génétique.

Les races hautement menacées devraient être considérées comme prioritaires. S'il est nécessaire d'établir une priorité parmi les races fortement menacées, il est alors suggéré de prendre en considération le degré de recoupement de la race par rapport aux autres critères de la liste. Il peut être nécessaire d'assigner des pondérations aux différents critères pour augmenter les différences entre classements de rang. L'importance relative à donner à chaque critère peut alors être décidée par un groupe d'experts.

Hall (2004) a proposé un cadre basé sur la diversité génétique et fonctionnelle en utilisant comme exemple les races britanniques et irlandaises de moutons et de bovins. Chaque race prise en considération a été comparée à chacune des autres races, en termes de caractères distinctifs fonctionnels et génétiques.

La composante génétique a été évaluée sur la base de l'histoire de la race et la probabilité d'un flux génétique au cours des derniers 200 ans. La composante fonctionnelle a été reliée à ses fonctions économiques, sociales et culturelles. Chez les bovins, le caractère distinctif fonctionnel a été évalué de façon subjective, mais cela était plus difficile à faire pour les moutons. Ainsi, la finesse moyenne des fibres, qui constitue à peu près presque le seul paramètre ayant été mesuré dans l'étude de façon comparable entre les races, a été utilisée comme indicateur du caractère distinctif fonctionnel pour les races de moutons. Les races ayant eu un résultat élevé pour les caractères distinctifs fonctionnels et génétiques étaient considérées les plus appropriées à être incluses à la liste des priorités.

La Rare Breeds Survival Trust (Coalition pour la survie de races rares), au Royaume-Uni, a également établi un ensemble de critères pour la reconnaissance des «races rares», qui requièrent une attention particulière pour ce qui est des mesures de conservation à entreprendre (Mansbridge, 2004). Le temps au cours duquel la race a existé, le nombre de femelles et la distribution géographique de la race sont pris en considération.

## 8.2 Stratégies d'optimisation pour la planification des programmes de conservation

Les programmes efficaces de conservation devraient faire appel aux ressources financières et non financières disponibles pour maximiser l'objectif de conservation. Les questions auxquelles il faut alors répondre sont:

- Parmi les espèces retenues, dans quelles races faudrait-il mettre en œuvre les programmes de conservation?
- Quelle part du budget total devrait-on allouer à chacune des races choisies pour sa conservation?
- Quels programmes de conservation devrait-on mettre en œuvre pour toute race retenue?

Si l'on part du principe que l'objectif des mesures de conservation prises en compte est de conserver

la plus grande diversité génétique possible entre races, la méthode suivante peut alors être utilisée pour identifier les races prioritaires (Simianer, 2002).

La diversité totale d'un ensemble existant de races peut être calculée, ainsi que la contribution de chaque race à la diversité totale. Les probabilités d'extinction et la diversité des différents sous-ensembles de races sont utilisées pour calculer ce que l'on appelle la «diversité prévisible» (cadre 106) qui est la diversité envisagée à la fin de la période de référence en présumant qu'aucune activité de conservation ne soit entreprise. Il peut s'avérer qu'à la fin de la période de référence certaines des races les plus menacées aient disparu. Si, cependant, des efforts de conservation sont engagés, la probabilité d'extinction des races sera réduite et la diversité espérée augmentera. La quantité totale de changement dans la diversité prévisible prise en tant que fonction du changement de la probabilité d'extinction d'une race particulière est appelée la «diversité marginale» de la race. Cette diversité marginale reflète la position phylogénétique de la race. Elle indique également si les races étroitement liées sont en sécurité par rapport à l'extinction, mais elle est indépendante de la probabilité d'extinction propre à la race en question.

La priorité de conservation d'une race s'est avérée proportionnelle à son «potentiel de préservation de diversité» (cadre 106) – une mesure qui reflète la quantité additionnelle de diversité qui serait conservée, si une race devenait complètement protégée du risque d'extinction. Un potentiel élevé de préservation peut résulter soit d'un haut degré de risque soit d'un haut degré de diversité marginale.

Les paramètres présentés ici (diversité marginale, potentiel de conservation, etc.) sont des éléments de la théorie générale de la diversité avancée par Weitzman (1992; 1993), qui a suscité un intérêt considérable en tant que cadre général de la prise de décision pour la conservation des animaux d'élevage. L'approche n'exige pas que la mesure de diversité de Weitzman, qui est la diversité entre races, soit la valeur optimisée. La

méthodologie peut s'appliquer à toute fonction objective, y compris à des mesures plus complètes de diversité ou d'autres paramètres (au sens de somme pondérée d'un élément de la diversité et d'autres valeurs).

Le cadre 107 décrit un exemple dans lequel l'allocation optimale des fonds consacrés à la conservation peut accroître la rentabilité d'au moins 60 pour cent par rapport à celle qui est obtenue en utilisant des approches simplifiées.

La définition des priorités de conservation, en classant les races selon leur potentiel de conservation, suppose que les coûts de conservation soient grosso modo identiques entre races. Plus précisément, l'hypothèse est que les coûts à l'unité pour faire diminuer la probabilité d'extinction sont uniformes entre races. Naturellement, ceci n'est pas vrai: la réduction de la probabilité d'extinction de 0,8 à 0,7 (c.-à-d. de 12,5 pour cent) peut être atteinte par des moyens relativement simples et est beaucoup moins coûteuse que la réduction de la probabilité d'extinction de 0,2 à 0,1 (c.-à-d. de 50 pour cent).

Pour une analyse plus détaillée et réaliste, il est nécessaire de définir le coût des activités de conservation spécifiques (par exemple, l'établissement de la cryoconservation ou les subventions aux fermiers pour maintenir une population *in situ* d'une race en danger) et également d'évaluer l'effet de telles activités pour la réduction de la probabilité d'extinction des races respectives. Si l'allocation de ressources est entreprise dans un cadre international, les coûts, les normes techniques et les taux de change différents doivent être pris en considération: il peut arriver que la cryoconservation soit établie comme application de routine dans un pays tandis que dans un autre il faudra d'abord mettre en place les infrastructures nécessaires. Une autre considération est que les coûts de main-d'œuvre pour les programmes de conservation *in vivo* peuvent varier de façon considérable entre pays.

Un programme de conservation présente toujours un certain nombre de coûts qui varieront de façon marquée selon les espèces et les pays. Les coûts fixes sont ceux qui sont nécessaires

## PARTIE 4

pour établir et diriger le programme en soi (par ex. établir un centre de cryoconservation) tandis que les coûts variables dépendent du nombre d'animaux concernés et du type de matériel génétique (sperme, ovocytes ou embryons) conservé dans le programme. Les différents programmes de conservation varient également selon le niveau des coûts fixes et des coûts variables par unité génétique conservée. Si la répartition des coûts peut être modélisée avec une précision suffisante, les plans de financement optimisés n'assigneront pas seulement une part du budget pour la conservation à une race donnée, mais indiqueront aussi quelles techniques de conservation disponibles seront les plus efficaces pour cette race.

Puisque les procédures de plan de financement optimisés sont basées sur l'optimisation mathématique, il est relativement simple d'inclure certaines restrictions ou conditions secondaires. Celles-ci peuvent être liées à l'équilibre géographique en stipulant, par exemple, que les activités de conservation seront mises en œuvre dans toutes les parties d'une région cible. Pour éviter la perte de certains caractères particuliers, elles peuvent aussi renforcer la solution optimale en imposant une pénalité élevée aux solutions dans lesquelles, par exemple, toutes les races de bovins trypanotolérantes disparaîtraient.

D'autres stratégies visant à définir le meilleur modèle possible pour la distribution des ressources sont limitées à des problèmes plus spécifiques de prise de décision. Eding *et al.* (2002) proposent la sélection d'une population mixte, vivante ou cryoconservée, basée sur les liens de parenté estimés entre marqueurs. Un cœur de population peut se définir comme étant une population mixte vivante ou cryoconservée, constituée de différentes parts de races différentes. Les contributions de la race au cœur de population sont dérivées de façon à maximiser la diversité prévisible de ce cœur de population. L'avantage de cette approche est qu'elle associe la diversité intra et interraciale. Cependant, elle ne prend pas en compte le niveau de risque auquel sont soumises des races particulières, ce qui limite son

## Cadre 106

**Glossaire: aides à la prise de décision des objectifs**

**Diversité:** quantification numérique de la valeur de variabilité génétique dans un ensemble de races couvrant idéalement la diversité intra et interraciale.

**Utilité:** quantification numérique de la valeur totale d'un ensemble de races, par exemple une somme pondérée de la diversité et des différentes composantes de valeur économique.

**Contribution à la diversité:** le montant que l'existence d'une race apporte comme contribution à la diversité de l'ensemble complet des races.

**Probabilité d'extinction:** la probabilité d'extinction d'une race au cours d'une période définie (souvent de 50 à 100 ans). La probabilité d'extinction peut avoir des valeurs entre 0 (la race est complètement en sécurité) et 1 (l'extinction est certaine).

**Diversité prévisible:** la projection de la diversité réelle à la fin d'une période définie, en combinant la diversité réelle avec les probabilités d'extinction. La diversité prévisible reflète la valeur de diversité à s'attendre si aucune mesure de conservation n'est mise en œuvre.

**Diversité marginale:** reflète le changement de diversité prévisible pour l'ensemble total des races, si la probabilité d'extinction d'une race est modifiée (par exemple, par des mesures de conservation).

**Potentiel de conservation de la diversité:** une quantité proportionnelle au produit de la diversité marginale et de la probabilité d'extinction. Ce paramètre donne une assez bonne idée de la valeur prévisible de diversité, si une race a été complètement sécurisée. Weitzman (1993) propose que cette mesure soit «l'indicateur d'alerte le plus utile [pour une race]».

Si l'utilité plutôt que la diversité doit être maximisée, la «contribution de l'utilité», «l'utilité marginale» et le «potentiel de conservation de l'utilité» sont les termes pertinents et le mot «diversité» doit alors être remplacé par le mot «utilité» dans les définitions présentées ci-dessus.

Source: adapté de Simianer (2005).

## Cadre 107

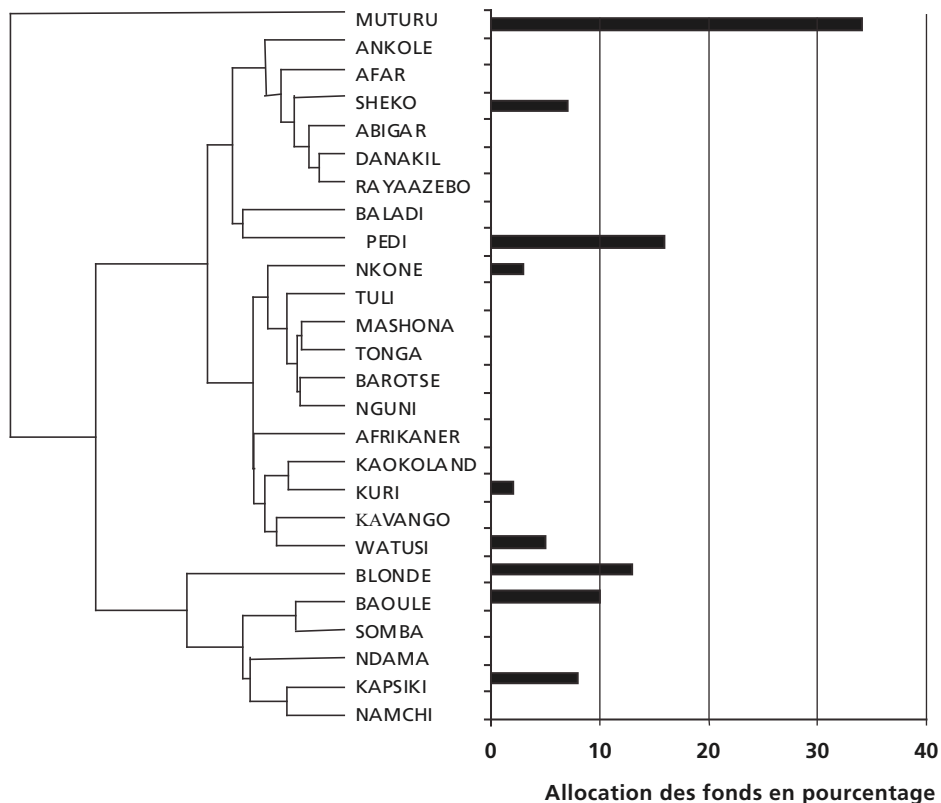
**Allocation optimale des fonds pour la conservation – un exemple lié aux races de bovins africains**

Simianer (2002) a illustré l'application d'un plan de financement optimisé pour un ensemble de 26 races de taureaux africains et de bovins Sanga pour lesquelles les estimations de distances génétiques (basées sur 15 microsatellites) et les probabilités d'extinction avaient été calculées. En utilisant les probabilités d'extinction, la perte prévue de diversité en l'absence d'activité de conservation sur une période de temps supposée de 50 ans a été estimée à 43,6 pour cent de la diversité initiale. Il a été supposé qu'un budget pour la conservation était disponible qui, s'il était réparti de manière égale entre toutes les races, préviendrait environ 10 pour cent de la perte prévue de diversité. Si ce même budget total est alloué seulement pour la conservation des trois races les plus menacées, la diversité conservée diminue légèrement pour atteindre 9 pour cent de la perte prévue ce qui rend ce système 10 pour cent moins efficace que si l'on répartit les

fonds de manière égale entre races. Avec un plan de financement optimisé basé sur le concept de diversité de Weitzman, 10 races sur 26 reçoivent des fonds, 34 pour cent des fonds étant utilisés pour les Muturu et seulement 2 pour cent pour les Kuri (voir figure).

Avec une stratégie de financement optimisé, la perte prévue de la diversité est réduite de 15,7 pour cent. Ceci est 57 pour cent plus efficace que si l'on distribue les fonds de manière égale entre races. Le même impact sur la diversité de la stratégie de l'allocation uniforme pourrait être atteint par une distribution optimale de seulement 52 pour cent des fonds disponibles. L'exemple montre que le financement optimisé peut substantiellement accroître l'efficacité de l'utilisation des fonds pour la conservation.

Fourni par Henner Simianer.



## PARTIE 4

intérêt à des cas particuliers de prise de décision tels que définir la combinaison optimale pour un programme de cryoconservation ayant une capacité de stockage limitée.

L'allocation des ressources pour une conservation efficace de la diversité des ressources zoogénétiques exige des informations validées pour ce qui concerne le fondement phylogénique d'une espèce, sur les facteurs affectant le degré de risque auquel sont confrontées les races en question et plus généralement toute valeur spécifique à une race donnée. Une connaissance approfondie des programmes de conservation potentiels, incluant leurs coûts, est également nécessaire. Plus cette information est complète et fiable, plus la conception du programme de conservation optimale est rentable. Il faut encore résoudre la question liée à l'évaluation des facteurs les plus intéressants à optimiser dans le cadre des activités de conservation, parce que l'utilisation de différents facteurs peut avoir pour résultat des décisions différentes sur la conservation. Une quantité substantielle de travail est également nécessaire pour élaborer les outils facilitant l'optimisation d'une large gamme de mesures portant sur la diversité et l'utilité.

Les décisions finales à prendre sur les investissements destinés à la conservation seront pilotées par de nombreux facteurs économiques, sociaux et politiques. Ainsi, les aides à la prise de décision décrites ci-dessus doivent être considérées comme des outils permettant aux décideurs de mieux comprendre les conséquences du choix d'investir sur telle ou telle stratégie pour la conservation.

## 9 Conclusions

Les traditions et les valeurs culturelles sont des moteurs importants pour la conservation dans les sociétés occidentales et sont également de plus en plus essentielles dans certains pays en développement. Une autre motivation forte, partagée par de nombreux acteurs, est

la sauvegarde d'une diversité aussi large que possible pour un avenir imprévisible.

Théoriquement, l'unité la plus basique de la diversité est l'allèle et ainsi, du point de vue scientifique, la définition de la conservation de la diversité génétique pourrait être le maintien de la diversité allélique. Ceci éviterait les problèmes associés à la définition scientifique d'une race. A présent, cependant, les mesures moléculaires de la diversité génétique ne fournissent que des indications indirectes de la diversité génétique dans les régions fonctionnelles ou potentiellement fonctionnelles de l'ADN. Ainsi, la meilleure mesure indirecte de la diversité fonctionnelle reste la diversité de races ou de populations distinctes s'étant développées dans des environnements distincts et qui possèdent des caractères de production et fonctionnels différents. De plus, les arguments culturels en faveur de la conservation sont liés aux races, et non aux gènes. Néanmoins, il faut utiliser des critères objectifs pour décider si une race donnée présente un intérêt scientifique particulier ou si, par exemple, elle peut être remplacée par des populations voisines. Ceci requiert la combinaison de toutes les informations disponibles sur les caractéristiques, l'origine et la distribution géographique de la race. Chaque fois que cela sera possible, les informations supplémentaires incluant les résultats de la caractérisation moléculaire, devront être également prises en considération.

Les méthodes de conservation *in vivo* et *in vitro* sont clairement différentes en termes de résultats. La préservation des animaux vivants favorise une évolution supplémentaire des races en interaction avec l'environnement, tandis que la conservation *in vitro* préserve l'état génétique à un instant donné. Les méthodes *in vitro* fournissent une importante stratégie de secours, lorsque la conservation *in vivo* ne peut pas se mettre en place ou ne peut pas conserver la taille de la population nécessaire. Elles peuvent également représenter la seule option en cas de situation d'urgence, comme les foyers de maladies ou les guerres. Dans le passé, l'intérêt pour la cryoconservation en



tant que moyen de soutien aux programmes de sélection a entraîné des solutions techniquement solides pour les principales espèces d'animaux d'élevage. Cependant, il est nécessaire d'élaborer rapidement des procédures standard pour toutes les espèces d'animaux d'élevage. La congélation d'échantillons de tissu semble être une méthode attrayante à cause de la facilité avec laquelle le matériel génétique est échantillonné. Cependant, la difficulté de reproduire des animaux vivants à partir de ces échantillons suggère qu'il faudrait la considérer une méthode de dernier ressort.

Il est intéressant de constater que l'on a accepté pendant longtemps que les banques de gènes internationales financées par la communauté internationale préservent la diversité phytogénétique. L'Initiative du Fonds fiduciaire mondial vise à créer le cadre pour un soutien financier à long terme à ces banques de gènes pour les rendre indépendantes des priorités financières à court terme des institutions hôtes. De plus, le gouvernement de la Norvège a offert de fournir un dernier recours pour les ressources phytogénétiques, qui sera mis en place en 2007 (cadre 108).

De manière générale, il faut plus de temps pour créer une race d'animaux d'élevage que pour créer une variété de plante – pour certaines races, il a fallu des siècles. Cependant, la communauté mondiale semble être beaucoup moins préparée à investir dans le temps, les énergies et l'argent nécessaires à sauvegarder ce patrimoine. Pourtant, il s'agit d'une responsabilité internationale qui consiste à s'assurer que les ressources ayant une valeur soient préservées – une responsabilité qui inclut toutes les ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture.

L'analyse des méthodes de conservation *in vivo* indique que la distinction entre les méthodes de conservation *in situ* et *ex situ in vivo* n'est pas claire. Il peut donc s'avérer opportun de considérer les méthodes de conservation *in vivo* comme un continuum allant de la conservation des animaux dans leur environnement de production d'origine (conservation *in situ* comme

elle a été définie plus haut) à l'extrême de la situation *ex situ* qui est la conservation des races d'animaux d'élevage dans les jardins zoologiques. Alors qu'il existe clairement une préférence pour le maintien des races d'animaux d'élevage dans les environnements de production dans lesquels ils se sont développés, il est important d'évaluer avec attention si les objectifs d'une conservation pourraient également être atteints dans un contexte *ex situ*. Ceci dépendra clairement de l'espèce et des conditions *ex situ* spécifiques. Dans les pays en développement, la plupart des exemples de conservation *ex situ* rapportés sont liés à des populations *in situ* et il est difficile de savoir si ces deux types de conservation sont viables indépendamment l'un de l'autre.

Si les méthodologies visant à maintenir une diversité maximale dans des petites populations ont été élaborées, les stratégies de mise en œuvre pour maintenir les races en danger dans des systèmes de production traditionnels sont rares. Différents exemples réussis ont été rapportés par les pays développés et par certains pays en développement. Dans les pays développés, plusieurs possibilités, comme les marchés de niche, les zones préservées de pâturages ou les subventions, ont été employées pour accroître la viabilité économique des races menacées. Au contraire, dans les pays en développement les seuls exemples réussis signalés sont liés aux demandes des consommateurs ou du marché pour des produits spécifiques ou traditionnels. Cependant, ces exemples pratiques des résultats n'ont pas encore conduit à des concepts (scientifiques) ou à des modèles pour les stratégies de mise en œuvre. De plus, aucune estimation fiable des coûts ou des avantages des stratégies utilisées pour la conservation n'est disponible. Les tentatives visant à optimiser la mise à disposition de fonds pour la conservation sont basées sur des hypothèses brutes de leur coût et utilisent des fonctions d'objectifs à atteindre plutôt simplifiées. L'élaboration de fonctions d'objectifs plus complexes est limitée par les difficultés rencontrées lors du calcul de coût de critères fonctionnels que l'on souhaite y introduire.

## PARTIE 4

## Cadre 108

**La chambre-forte mondiale des semences de Svalbard: une collection internationale de semences dans l'Arctique**

Le gouvernement de Norvège a récemment lancé la planification de la construction de la chambre-forte des semences de Svalbard en tant que dernière installation de secours «à sécurité intégrée» pour les banques de gènes. L'installation sera établie près de la ville de Longyearbyen, sur les Svalbard, 78 degrés nord, et ouvrira au printemps 2008.

L'installation sera assez grande pour conserver une copie de toutes les acquisitions différentes actuellement détenues dans les banques de gènes de par le monde, et aura de l'espace supplémentaire disponible pour de nouvelles collections. Elle sera localisée dans une «chambre forte», sculptée dans des roches solides à l'intérieur de la montagne et reposant sur du béton armé. Il y aura une porte à sas pneumatique pour le contrôle de l'humidité et un certain nombre de dispositifs de sécurité. La localisation éloignée, la présence des autorités norvégiennes et les promenades occasionnelles de l'ours polaire, feront de cette installation la collection la plus sécurisée et la plus fiable de toute la planète. En conditions normales, les collections seront logées à environ -18 °C. Cependant, la chambre forte étant en pergélisol, même des pannes électriques de longue durée ne pourront accroître graduellement la température que jusqu'à -3,5 °C.

La ville de Longyearbyen, point de départ des expéditions vers le pôle Nord, est desservie par des vols journaliers et est dotée d'une excellente infrastructure et des approvisionnements d'énergie utilisant le charbon acheté localement.

La collection de semences ne sera pas une «banque de gènes» dans le sens normal du terme. Au contraire, elle sera conçue pour loger des obtentions différentes qui sont déjà conservées et dupliquées dans deux banques de gènes traditionnelles qui serviront de

source de semences pour les sélectionneurs de végétaux et les chercheurs. Les matériels de la collection, stockés dans des conditions de «boîte noire» seront disponibles seulement si toutes les autres copies ont auparavant été perdues et seront détenus avec l'intention de fournir une installation sûre et sécurisée garantissant la protection des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture en cas de catastrophes à grande échelle, comme une guerre nucléaire ou des actions majeures de terrorisme.

La participation au plan ne se fera que sur la base du bénévolat. La gestion sera «passive», la collection ne s'occupera ni de la caractérisation, ni de l'évaluation, ni de la régénération ni d'autres activités similaires. La Banque nordique de gènes aura la responsabilité de placer les matériels dans la collection et de les reprendre en fonction des besoins. Elle possède déjà sa collection de secours dans une autre installation à Svalbard, mais les collections dupliquées sont aujourd'hui également stockées ici. A cause de la nécessité de maintenir les opérations et les coûts de gestion à minimum et de conserver l'objectif de réaliser une installation fonctionnant sans l'intervention quotidienne de l'homme, la collection pourra seulement accepter des semences classiques emballées de manière appropriée. L'installation étant conçue pour la communauté internationale, la Norvège ne demandera aucun droit de propriété sur les semences stockées.

La Commission de la FAO sur les ressources génétiques a chaleureusement accueilli cette initiative de la Norvège et de nombreux pays ont, au même titre que les centres du GCRAI, déjà fait part de leur souhait d'utiliser la collection.

\_\_\_\_\_ Fourni par Cary Fowler.

Les concepts scientifiques disponibles pour certains aspects de la conservation ont été élaborés principalement dans le cadre des programmes de sélection. Une recherche véritable dans le domaine de la conservation de la diversité

génétique chez les animaux d'élevage en est encore (à l'exception, sans doute, des méthodes moléculaires) à sa phase initiale.

## Références

- Blackburn, H.D.** 2004. Development of national genetic resource programs. *Reproduction, Fertility and Development*, 16(1): 27–32.
- Brillard, J.P. et Blesbois, E.** 2003. Biotechnologies of reproduction in poultry: hopes and limits. Dans *Proceedings of the 26th Turkey conference*, held Manchester, Royaume-Uni, 23–25 avril 2003.
- Clark, C.W.** 1995. Scale and feedback mechanism in market economics. Dans T.M. Swanson, ed. *The economics and ecology of biodiversity decline: the forces driving global change*, pp. 143–148. Cambridge, Royaume-Uni. Cambridge University Press.
- Cognié, Y., Baril, G., Poulin, N. et Mermillod, P.** 2003. Current status of embryo technologies in sheep and goat. *Theriogenology*, 59(1): 171–188.
- CR Croatia**, 2003. *Country report on the state of animal genetic resources*. (disponible à la bibliothèque de DAD-IS à l'adresse Internet <http://www.fao.org/dad-is/>).
- Danchin-Burge, C., Bibe, B. et Planchenault, D.** 2002. The French National Cryobank: creation of a cryogenic collection for domestic animal species. Dans D. Planchenault, ed. *Workshop on Cryopreservation of Animal Genetic Resources in Europe*, Paris, 23 février 2003, pp. 1-4. Salon International de l'Agriculture.
- Eding, H., Crooijmans, R.P.M.A., Groenen, M.A.M. et Meuwissen, T.H.E.** 2002. Assessing the contribution of breeds to genetic diversity in conservation schemes. *Genetics Selection Evolution*, 34(5): 613–633.
- English Nature.** 2004. *Traditional breeds incentive for sites of special scientific interest*. Taunton, Royaume-Uni. English Nature. (également disponible à l'adresse Internet <http://www.english-nature.org.uk/pubs/publication/PDF/TradbreedsIn04.pdf>).
- ERFP.** 2003. *Guidelines for the constitution of national cryopreservation programmes for farm animals*, par S.J. Hiemstra, ed. Publication No. 1 of the European Regional Focal Point on Animal Genetic Resources.
- Ericksson, B.M., Petersson, H. et Rodriguez-Martinez, H.** 2002. Field fertility with exported boar semen frozen in the new Flatpack container. *Theriogenology*, 58(6): 1065–1079.
- Falge, R.** 1996. Haltung und Erhaltung tiergenetischer Ressourcen in *Ex-situ*-Haltung in Zoos und Tierparks. (Maintenance and conservation of domestic animal resources, *ex situ*, in zoos and domestic animal parks). Dans F. Begemann, C. Ehling et R. Falge, eds. *Schriften zu genetischen Ressourcen*, 5 (Vergleichende Aspekte der Nutzung und Erhaltung pflanzen) – und tiergenetischer Ressourcen), pp. 60–77. Bonn, Allemagne. ZADI.
- FAO.** 1992. *In situ conservation of livestock and poultry*, par E.L. Henson. Animal Production and Health Paper No. 99. Rome.
- FAO.** 1998a. *L'état des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde*. Rome.
- FAO.** 1998b. *Premier recueil de lignes directrices pour l'élaboration de plans nationaux de gestion des ressources génétiques des animaux d'élevage*. Rome.
- FAO.** 1998c. *Secondary guidelines for the development of national farm animal genetic resources management plans: management of small populations at risk*. Rome.

## PARTIE 4

- FAO.** 2003. Effectiveness of biodiversity conservation, par M. Jenkins et D. Williamson. In *Biodiversity and the ecosystem approach in agriculture, forestry and fisheries*. Proceedings of the Satellite Event on the occasion of the Ninth Regular Session of the Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture, Rome, 12–13 octobre 2002, pp. 100–116. Rome.
- FAO.** 2004. *Overview of the FAO global system for the conservation and sustainable utilization of plant genetic resources for food and agriculture and its potential contribution to the implementation of the international treaty on plant genetic resources for food and agriculture*. Point 3.1 de l'ordre du jour provisoire des ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture, Dixième session ordinaire, Rome, 8–12 novembre 2004. Rome.
- FAO.** 2007a. The Neuquén criollo goat and its production system in Patagonia, Argentina, par M.R. Lanari, M.J. Pérez Centeno et E. Domingo. Dans K-A. Tempelman et R.A. Cardellino, eds. *People and animals. Traditional livestock keepers: guardians of domestic animal diversity*, pp. 7–15. Groupe de travail interdépartemental de la FAO sur la diversité biologique pour l'alimentation et l'agriculture, Rome.
- FAO.** 2007b. Managing lowland buffaloes in the hills of Nepal, par K. Gurung et P. Tulachan. Dans K-A. Tempelman et R.A. Cardellino eds. *People and animals. Traditional livestock keepers: guardians of domestic animal diversity*, pp. 27–29. FAO Groupe de travail interdépartemental de la FAO sur la diversité biologique pour l'alimentation et l'agriculture, Rome.
- FAO/PNUE.** 2000. *Liste mondiale d'alerte pour la diversité des animaux domestiques*, 3ème édition, éditée par B. Scherf. Rome.
- Gandini, G.C. et Villa, E.** 2003. Analysis of the cultural value of local livestock breeds: a methodology. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 120(1): 1–11.
- Hall, S.J.G.** 2004. Conserving animal genetic resources: making priority lists of British and Irish livestock breeds. Dans G. Simm, B. Villanueva, K.D. Sinclair et S. Townsend, eds. *Farm animal genetic resources*, pp. 311–320. Nottingham, UK. Nottingham University Press.
- Historical Timeline of the Auckland Islands**  
(disponible à l'adresse Internet <http://www.murihiku.com/Timeline.htm>).
- Joost, S.** 2005. Econogene Consortium. Dans F. Toppen et M. Painho, eds. *Proceedings of the 8th 328 AGILE Conference on GIScience*, tenu 26–28 mai 2005, Estoril Portugal, pp. 231–239. Association of Geographic Information Laboratories for Europe (AGILE).
- Köhler-Rollefson, I.** 2004. *Farm animal genetic resources. Safeguarding national assets for food security and trade*. Summary Publication about four workshops on animal genetic resources held in the SADC Region. FAO/GTZ/CTA.
- Mansbridge, R.J.** 2004. Conservation of farm animal genetic resources – a UK view. Dans G. Simm, B. Villanueva, K.D. Sinclair et S. Townsend, eds. *Farm animal genetic resources*, pp. 37–43. Nottingham, Royaume-Uni. Nottingham University Press.
- Marczin, O.** 2005. *Environmental integration in agriculture in south eastern Europe*. Background document to the SEE Senior Officials meeting on agriculture and environment policy integration, Durres, Albania, April 15-16, 2005. Szentendre, Hongrie. The Regional Environmental Center for Central and Eastern Europe.
- Massip, A.** 2001. Cryopreservation of embryos of farm animals. *Reproduction in Domestic Animals*, 36(2): 49–55.
- Mendelsohn, R.** 2003. The challenge of conserving indigenous domesticated animals. *Ecological Economics*, 45(3): 501–510.

- Norton, B.G.** 2000. Biodiversity and environmental values in search of a universal ethic. *Biodiversity and Conservation*, 9(8): 1029–1044.
- NZRBCS.** 2002. *Enderby Island cattle: a New Zealand Rare Breed Society rescue project*. (disponible l'adresse Interet <http://www.rarebreeds.co.nz/endcattlepro.html>).
- Oldenbroek, J.K.** 1999. *Genebanks and the conservation of farm animal genetic resources*. Lelystad, Pays-Bas. DLO Institute for Animal Science and Health.
- Raoul, J., Danchin-Burge, C., de Rochambeau, H. et Verrier, E.** 2004. SAUVAGE, a software to manage a population with few pedigrees. *Dans* Y. van der Honing, ed. *Book of Abstracts of the 55th Annual Meeting of the European Association for Animal Production*, Bled, Slovenia, 5–9 September 2004. Wageningen, Pays-Bas. Wageningen Academic Publishers.
- Reist-Marti, S.B., Simianer, H., Gibson, J., Hanotte, O. et Rege, J.E.O.** 2003. Analysis of the actual and expected future diversity of African cattle breeds using the Weitzman approach. *Conservation Biology*, 17(5): 1299–1311.
- Ruane, J.** 2000. A framework for prioritizing domestic animal breeds for conservation purposes at the national level: a Norwegian case study. *Conservation Biology*, 14(5): 1385–1393.
- Simianer, H.** 2002. Noah's dilemma: which breeds to take aboard the ark? *Proceedings 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (WCGALP)*. CD-Rom Communication No. 26–02.
- Simianer, H.** 2005. Decision making in livestock conservation. *Ecological Economics*, 53(4): 559–572.
- Small, R.** 2004. The role of rare and traditional breeds in conservation: the Grazing Animals Project. *Dans* G. Simm, B. Villanueva, K.D. Sinclair et S. Townsend, eds. *Farm animal genetic resources*, pp. 263–280. Nottingham, Royaume-Uni. British Society of Animal Science.
- Springbett, A.J., MacKenzie, K., Woolliams J.A. et Bishop, S.C.** 2003 The contribution of genetic diversity to the spread of infectious diseases in livestock populations. *Genetics*, 165(3): 1465–1474.
- Steane, D.E., Wagner, H. et Khumnirdpetch V.** 2002. Sustainable management of beef cattle and buffalo genetic resources in Asia, *Dans* J. Allen et A. Na-Chiangmai, eds. *Developing strategies for genetic evaluation for beef production in developing countries*. Proceedings of an International Workshop held in Khon Kaen Province, Thaïlande, 23–28 juillet 2001, pp. 139–147. Canberra. Australian Centre for International Agricultural Research.
- Thibier, M.** 2004. Stabilization of numbers of *in vivo* collected embryos in cattle but significant increases of *in vivo* bovine produced embryos produced in some parts of the world. *Embryo Transfer Newsletter*, 22: 12–19.
- Thibier, M.** 2005. The zootechnical applications of biotechnology in animal reproduction: current methods and perspectives. *Reproduction, Nutrition and Development*, 45(3): 235–242.
- Tisdell, C.** 2003. Socioeconomic causes of loss of animal genetic diversity: analysis and assessment. *Ecological Economics*, 45(3): 365–376.
- Vergotte de Lantsheere, W., Lejeune, A. et Van Snick, G.** 1974. L'élevage du porc en Belgique: amelioration et sélection. *Revue de l'Agriculture*, 5: 980–1007.
- Weitzman, M.L.** 1992. On diversity. *Quarterly Journal of Economics*, 107: 363–405.

## PARTIE 4

**Weitzman, M.L.** 1993. What to preserve? An application of diversity theory to crane conservation. *Quarterly Journal of Economics*, 108: 157–183.

**Wells, D.N.** 2004 The integration of cloning by nuclear transfer in the conservation of animal genetic resources. In G. Simm, B. Villanueva, K.D. Sinclair et S. Townsend, eds. *Farm animal genetic resources*, pp. 223–241. Nottingham, Royaume-Uni. Nottingham University Press.

**Williams, J.L.** 2004. The value of genome mapping for genetic conservation of cattle. Conservation of farm animal genetic resources – a UK view. In G. Simm, B. Villanueva, K.D. Sinclair et S. Townsend, eds. *Farm Animal Genetic Resources*, pp. 133–149. Nottingham, Royaume-Uni. Nottingham University Press.