

1 INTRODUCTION

Le rôle que joue l'aquaculture en faveur de la production vivrière, du développement économique et de la sécurité alimentaire est désormais communément reconnu. L'aquaculture étant le secteur de production vivrière dont la croissance est la plus rapide, son avenir est prometteur quant à l'aide qu'elle peut apporter à une population humaine croissante en lui fournissant une alimentation, et ce, dans la mesure où un bon nombre de pêches de capture ont atteint leur limite de production ou ont été épuisées par la surpêche et par la dégradation de l'habitat. En revanche, le rôle de l'aquaculture dans la conservation et le rétablissement des espèces menacées d'extinction est bien moins admis puisqu'à de nombreux égards, l'aquaculture a contribué à la mise en danger de la biodiversité aquatique.

Les avancées réalisées par le secteur aquacole sont significatives dans l'amélioration de la production et de la protection de l'environnement. Le secteur est toutefois accusé de dégrader l'habitat aquatique par le rejet des effluents (dont la nourriture non consommée), des déchets et des produits pharmaceutiques, ainsi que par la fuite de poissons cultivés. Il existe un réel potentiel d'amélioration de la production, de l'efficacité et de la durabilité environnementale du secteur, la gestion efficace des ressources génétiques aquatiques (ou aquagénétiques) pouvant par ailleurs contribuer à affronter les questions susmentionnées. Les poissons génétiquement améliorés (chapitres 4, 5 et 6) grossissent plus rapidement et utilisent la nourriture de façon plus efficace, ce qui produit moins de déchets. Les poissons résistants aux maladies ont besoin de moins de traitements pharmaceutiques. Il est possible de rendre certains poissons stériles afin de réduire le risque de reproduction avec des espèces indigènes ou d'établissement de populations férales. La gestion du stock de géniteurs (chapitres 3 et 8), les programmes d'amélioration génétique (chapitres 4, 5 et 6), et la constitution d'une banque de gènes (chapitre 10) contribueront à améliorer la production et la rentabilité; ces aspects apporteront également leur assistance dans la protection et la conservation des ressources sauvages (chapitre 9). L'évaluation des risques (chapitre 7), l'adhésion aux directives internationales (chapitre 2) et une approche de précaution (chapitre 11) aideront à assurer une prise de décisions rationnelles en mesure de protéger la société et l'environnement, tout en permettant au secteur de se développer.

Les ressources génétiques halieutiques (ou FiGR en anglais) comprennent tout le matériel génétique des poissons à nageoires et invertébrés aquatiques qui ont une valeur réelle ou potentielle pour les pêches de capture et pour l'aquaculture. Cela comprend l'ADN, les gènes, les gamètes, les organismes individuels, les populations sauvages, les populations cultivées et celles utilisées à des fins de recherche, ainsi que les espèces et les organismes qui ont été génétiquement modifiés (par exemple à travers l'élevage sélectif, l'hybridation, la manipulation du lot chromosomique et le transfert de gènes). La façon dont ces ressources peuvent être utilisées afin d'aider l'aquaculture à réaliser son plein potentiel et à conserver une diversité génétique sauvage de valeur est précisément l'objet de ces directives.

Ces directives se donnent comme objectif de fournir une brève série d'instructions fournissant un cadre susceptible de guider les décideurs politiques et les dirigeants principaux de ressources vers une gestion améliorée des ressources génétiques halieutiques. Tout au long de ces directives, la gestion s'entend d'une activité comprenant l'usage et la conservation. La gestion des ressources génétiques est abordée d'un point de vue holistique et comprend l'économie, la conservation, l'analyse des risques et des incertitudes, ainsi que l'amélioration de la production et de la rentabilité.

1.1 Valeur de la diversité génétique et besoin de gestion des ressources génétiques

Sur les 230 espèces de plantes et animaux aquatiques cultivées sur lesquelles la FAO dispose de statistiques, quelques-unes seulement ont fait l'objet de programmes délibérés de gestion des ressources génétiques. La barbotte d'Amérique, le tilapia du Nil, le saumon de l'Atlantique et de nombreuses carpes cultivées sont autant de cas attestant des gains significatifs dans la production rendus possibles grâce aux programmes d'amélioration génétique. Celle des salmonidés mises à part, peu de pêches fondées sur l'élevage, généralement, qui optent délibérément pour le relâchement des stocks, de façon à ce que ces stocks correspondent ou bien diffèrent entièrement des poissons indigènes. D'après une estimation effectuée par un éminent généticien, le déficit de l'offre causé par la diminution de la production des pêches de capture et l'accroissement de la population humaine pourrait être aisément comblé par l'intégration de programmes d'amélioration génétique dans les systèmes aquacoles existants (c.à.d sans

qu'aucun système d'élevage supplémentaire, ni d'utilisation de l'eau et de la terre ne soient requis).

La gestion des ressources génétiques halieutiques sert à bien plus qu'à l'augmentation de la production. Si cette gestion est essentielle aux programmes d'amélioration génétique utilisés en aquaculture, les ressources génétiques, quant à elles, sont les ingrédients bruts permettant aux espèces de s'adapter aux changements à court et à long terme dans leur environnement; elles offrent aux espèces, aux populations et aux individus une certaine flexibilité pour pouvoir affronter et s'adapter aux changements survenus dans leur environnement, changements provoqués tant par des causes humaines que naturelles. En d'autres termes, la diversité génétique est nécessaire à l'évolution continue des espèces. La diversité génétique interagit avec la variation environnementale pour produire cette variété de formes, de tailles, de caractéristiques ancrées dans le passé, de comportement, et de couleurs qui rendent les espèces aquatiques si précieuses et intéressantes. Chez les poissons, certaines de ces variétés se manifestent par des différences de couleurs ou de modèles d'écaille, tandis que d'autres se manifestent par des différences dans les modèles de migration ou dans les comportements de reproduction. Sans la diversité génétique, il n'y aurait pas de diversité d'espèces, ni d'adaptation, de races ou d'évolution; à terme on assisterait à son extinction à mesure que le climat et les habitats subiraient des modifications résultant d'actions naturelles ou humaines.

Le cas de la carpe commune est de loin l'histoire la plus ancienne de domestication et d'amélioration génétique pratiquée en aquaculture. Le saumon de l'Atlantique, la barbue d'Amérique et le tilapia du Nil cultivés ont fait l'objet d'une amélioration génétique plus récemment. Cependant, avec le succès de ces programmes d'amélioration (c.à.d. la modification de la structure génétique d'un poisson sauvage) et l'emploi inévitable de ces races améliorées dans de nombreux systèmes d'élevage, se pose le problème d'interactions entre les stocks aquacoles génétiquement améliorés et leurs parents sauvages. Ces derniers interviennent souvent pour contribuer à la viabilité des pêches et fourniront de nouveaux matériels génétiques susceptibles d'être utiles à l'aquaculture. Le secteur aquacole se trouve dans une situation avantageuse pour réduire au minimum l'extinction des parents sauvages des espèces cultivées, comme cela a été possible pour un bon nombre d'espèces dans les secteurs du bétail et des cultures.

La gestion des ressources génétiques aquatiques doit se fixer des objectifs bien définis afin de planifier des programmes et de d'en juger le succès et l'impact. Ces objectifs dépendront du but de l'exploitation aquacole: s'il s'agit de maximiser la production, maximiser l'efficacité, réduire les intrants, relâcher des poissons pour une pêche fondée sur l'élevage, ou aider à repoissonner des espèces menacées d'extinction ou mises en danger. Chacun de ces objectifs exigent des programmes de gestion différents portant sur les ressources génétiques aquatiques.

1.2 Articles du Code concernés

Ces directives sont organisées par domaines généraux essentiels à la gestion des ressources génétiques, plutôt que par articles spécifiques du Code. Ce qui permettra aux personnes amenées à prendre des décisions et aux planificateurs de ressources de trouver rapidement des avis sur un domaine spécifique de la génétique utilisée en aquaculture. Étant donné l'importance de la gestion des ressources génétiques pour une variété d'objectifs aquacoles, plusieurs chapitres du Code peuvent être concernés par la mise en œuvre d'un chapitre en particulier. Ces directives fournissent des renseignements sur les articles du Code indiqués ci-après (les chapitres concernés sont indiqués).

ARTICLE 2 - OBJECTIFS DU CODE

2e faciliter et promouvoir la coopération technique et financière ainsi que d'autres formes de coopération, en matière de conservation des ressources halieutiques (dont l'aquaculture) et d'aménagement et de développement de la pêche (chapitres 2, 5, 6, 7, 9, 10 et 11).

2g promouvoir la protection des ressources bioaquatiques et de leurs environnements, ainsi que des zones côtières (chapitres 2, 5, 7, 9, 10 et 11).

ARTICLE 6 - PRINCIPES GÉNÉRAUX

6.2 L'aménagement des pêcheries devrait promouvoir le maintien de la qualité, de la diversité et de la disponibilité des ressources halieutiques en quantités suffisantes pour les générations présentes et futures, dans un contexte de sécurité alimentaire, de réduction de la pauvreté et de développement durable. Les mesures d'aménagement

ne devraient pas seulement assurer la conservation des espèces visées, mais aussi celle des espèces appartenant au même écosystème que ces espèces, ou qui dépendent d'elles ou leur sont associées (chapitres 7, 9, 10 et 11).

6.8 *Tous les habitats critiques pour les pêcheries dans les écosystèmes aquatiques marins et d'eau douce, tels que les zones humides, les mangroves, récifs, lagons, nurseries et frayères, devraient être protégés et régénérés, autant que possible et là où nécessaire. Un effort particulier devrait être fait pour les protéger de la destruction, de la dégradation, de la pollution et d'autres effets significatifs résultant des activités humaines qui menacent la santé et la viabilité des ressources halieutiques (chapitres 9 et 10).*

6.12 *Les États devraient, dans les limites de leurs compétences respectives et conformément au droit international, coopérer aux niveaux sous-régional, régional et mondial dans le cadre des organisations s'occupant de l'aménagement de la pêche, d'autres accords internationaux ou autres arrangements, pour promouvoir la conservation et la gestion, et pour assurer des pratiques de pêche responsable et une conservation et protection efficaces des ressources bioaquatiques dans toute leur aire de distribution, compte tenu de la nécessité de prendre des mesures compatibles dans les zones s'étendant à l'intérieur et au-delà des limites de la juridiction nationale (chapitres 2, 5 et 9).*

ARTICLE 7 - AMÉNAGEMENT DES PÊCHERIES

7.2.2.d *La diversité biologique des habitats et écosystèmes aquatiques est conservée et les espèces menacées d'extinction sont protégées (chapitres 9 et 10);*

7.4 **Collecte de données et avis en matière d'aménagement (chapitres 9 et 10)**

7.5.1 *Les États devraient appliquer largement l'approche de précaution à la conservation, la gestion et l'exploitation des ressources bioaquatiques afin de les protéger et de préserver l'environnement aquatique. L'insuffisance d'informations scientifiques appropriées ne devrait pas être une raison de remettre à plus tard ou de s'abstenir de prendre des mesures de conservation et de gestion (chapitre 11).*

7.6.8 *L'efficacité des mesures de conservation et d'aménagement et leurs interactions possibles devraient être examinées en permanence. Ces mesures devraient être, selon qu'il convient, révisées ou abolies en fonction de nouvelles données (chapitres 8, 9 et 11).*

ARTICLE 9 - DÉVELOPPEMENT DE L'AQUACULTURE

9.1.2 *Les États devraient promouvoir le développement et la gestion responsables de l'aquaculture, y compris des évaluations préalables des effets du développement de l'aquaculture sur la diversité génétique et l'intégrité des écosystèmes, fondées sur l'information scientifique disponible la plus fiable (tous les chapitres).*

9.1.3 *Les États devraient élaborer et mettre régulièrement à jour des stratégies et plans, ainsi que de besoin, afin d'assurer que le développement de l'aquaculture soit écologiquement durable et permettre l'utilisation rationnelle des ressources partagées entre l'aquaculture et d'autres activités (chapitres 7, 8, 9 et 11).*

9.3.1 *Les États devraient conserver la diversité génétique et maintenir l'intégrité des communautés et écosystèmes aquatiques grâce à un aménagement approprié. Ils devraient notamment s'efforcer de réduire au minimum les effets nuisibles de l'introduction dans les eaux d'espèces non indigènes ou de stocks génétiquement modifiés utilisés en aquaculture, y compris la pêche fondée sur l'élevage, spécialement lorsqu'il existe une forte probabilité que ces espèces non indigènes ou ces stocks génétiquement modifiés se propagent dans les eaux appartenant, à la fois à la juridiction de l'État d'origine et celle d'autres États. Les États devraient, chaque fois que possible, favoriser la prise de mesures qui réduisent au minimum les effets négatifs génétiques, sanitaires et autres que peuvent faire courir aux stocks naturels les poissons d'élevage au cas où ceux-ci s'échapperaient (chapitres 2, 5, 8, 9 et 10).*

9.3.3 *Les États devraient, afin de réduire au minimum les risques de transmission de maladies, ainsi que d'autres effets nuisibles, aux stocks naturels et à ceux des élevages, encourager l'adoption de pratiques appropriées pour l'amélioration génétique des stocks de reproducteurs et l'introduction d'espèces non indigènes, et pour la production, la vente et le transport des œufs, des larves ou du fretin, des reproducteurs ou autre*

matériel vivant. Ils devraient faciliter à cet effet l'établissement et la mise en œuvre de procédures et codes de pratique nationaux appropriés (chapitres 3, 4, 5, 8 et 9).

9.3.5 Les États devraient, lorsqu'il y a lieu, promouvoir la recherche et, lorsque c'est possible, la mise au point de techniques d'aquaculture pour protéger, régénérer et accroître les stocks d'espèces menacées d'extinction, en tenant compte de la nécessité impérieuse de conserver la diversité génétique des espèces menacées d'extinction (chapitres 3 et 9).

2 CONTEXTE INTERNATIONAL

Le Code de conduite pour une pêche responsable (CCPR) et la communauté internationale ont reconnu le rôle vital que jouent les ressources génétiques, y compris les ressources génétiques halieutiques (ou FiGR en anglais), dans la conservation et le développement durables. Des mécanismes internationaux, des directives et des codes de pratiques ont ainsi été développés. Le Sommet de la terre de 1992 est à l'origine de la Convention sur la diversité biologique (CDB)¹ qui compte plus de signataires que n'importe quelle loi internationale. Cette Convention est un instrument juridiquement contraignant qui exige la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique (y compris de la diversité génétique), et le partage juste et équitable des avantages qui découlent de cette utilisation. En reconnaissant le besoin d'avis scientifiques et technologiques afin de mettre en œuvre les articles de la Convention, la Convention a institué l'Organe subsidiaire chargé de fournir des avis scientifiques, techniques et technologiques (ou SBSTTA en anglais). La Convention a établi par la suite le Protocole de Carthagène sur la Biosécurité², une série de protocoles internationaux contraignants sur les déplacements internationaux des organismes vivants modifiés, qui incluraient les organismes génétiquement modifiés (OGM) (à savoir les organismes transgéniques). De même que le Code de conduite pour une pêche responsable, la Convention sur la diversité biologique reconnaît tant le besoin d'utiliser que de conserver la biodiversité.

L'approche de précaution en matière de développement constitue une caractéristique essentielle de la Convention sur la diversité biologique et du Code de conduite pour une pêche responsable. Les voix sont unanimes sur le besoin de procéder avec précaution et d'utiliser les meilleures informations disponibles, les opinions diffèrent cependant fortement sur ce que signifie cette approche dans la pratique; question qui est à la base du chapitre 11.

La Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES), autre instrument international d'importance, a des répercussions sur la gestion des

¹ www.biodiv.org

² www.cbd.int/biosafety/default.shtml. Dès l'août 2008, aucun GMO n'était produit pour la consommation humaine.

ressources génétiques halieutiques. La CITES impose en effet des restrictions sur le commerce international des espèces sauvages menacées d'extinction – le degré de danger ou de menace d'extinction indique le niveau de restriction qui sera appliqué. Certaines des espèces aquatiques sauvages qui sont menacées d'extinction sont également cultivées, les esturgeons par exemple (*Acipenseriformes*), et le poisson dragon (*Scleropages formosus*). Le commerce international de ces espèces doit veiller à ce que les espèces faisant l'objet de commerce proviennent réellement d'exploitations certifiées et non de la nature, et que le commerce des espèces cultivées n'entraîne pas la création d'un marché des espèces sauvages menacées d'extinction. Les marqueurs génétiques et l'identification génétique des stocks sont utilisés pour aider à différencier les espèces et les stocks cultivés des espèces sauvages.

La Convention de Ramsar relative aux zones humides confie aux pays le soin d'identifier et de protéger les zones humides, y compris les zones côtières et intertidales d'importance nationale. Pour définir cette importance, on se base, comme critère principal, sur les rôles que jouent les zones humides dans la conservation de la biodiversité sauvage, principalement des oiseaux aquatiques. La convention de Ramsar a toutefois ajouté comme critère celui de l'utilisation historique des zones humides comme ressource halieutique³ et considère désormais l'aquaculture des espèces indigènes comme une activité acceptable dans les sites de Ramsar. L'élevage d'espèces indigènes pourrait toutefois conduire à terme à leur domestication et à leur altération génétique par le biais de la sélection naturelle en milieux d'exploitation et au sein de programmes d'amélioration de races.

Des directives plus spécifiques ont été développées par la FAO et autres institutions impliquant indirectement la gestion des ressources génétiques halieutiques (FiGR). Les Directives techniques relatives à l'aquaculture ont été développées traitant des questions générales liées aux FiGR⁴. La FAO, le WorldFish Centre (WFC) et d'autres partenaires ont institué la Déclaration de Nairobi (annexe 1) sur les recommandations concernant l'importation de tilapia génétiquement amélioré en Afrique. Ces résolutions non contraignantes dressent un cadre qui est élaboré

³ www.ramsar.org/res/key_res_vi.2.htm

⁴ FAO. 1998. Développement de l'aquaculture. FAO Directives techniques pour une pêche responsable. No. 5. Rome, FAO. 55p.

dans les présentes directives sur l'utilisation responsable du poisson génétiquement amélioré utilisé en aquaculture.

Les préoccupations concernant la santé du poisson jouent un rôle majeur dans le commerce et les déplacements d'espèces aquatiques. La dissémination des stocks génétiquement améliorés (chapitre 5) nécessite l'adhésion à l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE) pour ce qui concerne les agents pathogènes transfrontières. Des directives techniques ont été formulées⁵ de façon à ce qu'elles soient cohérentes avec les exigences de l'OIE et l'Organisation mondiale du commerce (OMC).

Les progrès récemment accomplis par la FAO sont manifestes en ce qui concerne les ressources génétiques aquatiques (ou ressources aquagénétiques). Le manque de cohérence dans la gestion des ressources génétiques halieutiques ainsi que l'absence de politiques dans ce domaine posent un réel problème au regard de l'expansion rapide de l'aquaculture qui est survenue récemment. Les Membres de la FAO ainsi que la communauté internationale préconisent une transition vers une aquaculture responsable, durable et productive. Son succès dépendra dans une large mesure de l'efficacité de la gestion des ressources génétiques halieutiques.

À sa onzième session, la Commission intergouvernementale de la FAO sur les ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture a reconnu l'importance et la vulnérabilité des ressources génétiques aquatiques, le rôle qu'elles jouent dans l'approche écosystémique pour l'alimentation et l'agriculture, ainsi que la contribution qu'elles apportent pour relever les défis posés par le changement climatique. Il a été établi que, en collaboration avec d'autres forums et organisations, tels que le Comité des pêches (COFI) ou la Convention des Nations unies sur le droit de la mer (CNUDM), le Programme de travail pluriannuel de 10 ans de ladite Commission devrait couvrir les ressources génétiques halieutiques impliquées dans le développement des pêches et d'une aquaculture durables et responsables).⁶

⁵ FAO. 2007. Aquaculture development. 2. Health management for responsible movement of live aquatic animals. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 5. Suppl. 2. Rome, FAO. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1108e/a1108e00.pdf>

⁶ FAO/CGRFA. 2007. Rapport de la onzième session ordinaire de la Commission des ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture. CGRFA-11/07/RAPPORT. <ftp://ftp.fao.org/ag/cgrfa/cgrfa11/r11repf.pdf>

Encadré 1. Terminologie

La terminologie utilisée pour décrire les organismes qui sont génétiquement différents des organismes sauvages revêt une grande importance en raison de ses implications juridiques et celles sur les politiques, en raison également de l'influence qu'elle exercera sur la façon dont le grand public acceptera le produit ou le processus. Par conséquent, toute modification génétique par les êtres humains sur les poissons cultivés doit être décrite de façon claire et avec soin. Il est regrettable qu'une variété de termes ait été utilisée pour décrire les modifications génétiques des poissons. L'emploi de la nomenclature n'est pas normalisé et peut conduire à la confusion des consommateurs et à des problèmes de réglementation, notamment lors de demandes de licences d'exploitation et de permis de commerce. Les aquaculteurs et les organismes de contrôle de l'État doivent avoir pleine conscience de ces implications.

Les poissons produits par l'aquaculture ont la possibilité de se différencier d'un point de vue génétique de leurs ancêtres sauvages à travers la sélection survenue en éclosion et dans les milieux des exploitations (chapitres 3 et 9), et/ou à travers des programmes d'amélioration génétique intentionnels (chapitre 4). En aquaculture, le but des pisciculteurs consiste à cultiver, parmi les poissons disponibles, les meilleurs et les plus rentables, ainsi qu'à défendre l'image de marque leurs produits vis-à-vis des consommateurs: à savoir que le produit est sain et naturel. Les consommateurs recherchent de plus en plus ces qualités dans leur alimentation. Cette interface producteurs-consommateurs est généralement assurée par l'étiquetage et le marketing. Les directives du présent ouvrage ne traitent pas des questions d'étiquetage autre que de manière très générale (chapitre 12). Cependant, en vue de la surveillance du poisson cultivé et de sa commercialisation effectuée par le gouvernement, il sera crucial de comprendre les technologies génétiques qui sont utilisées ainsi que les modifications que ces technologies occasionnent sur l'organisme cultivé.

Le terme générique désignant tous les changements induits par les humains est *génétiquement modifié*. Ce terme devrait être utilisé comme un état de fait neutre, sans émettre de jugement sur la bonne ou mauvaise qualité de la modification, ni en préciser sa nature (c.à.d. si la modification est le résultat de la biotechnologie moderne ou de méthodes traditionnelles), ni juger si la modification est intentionnelle ou accidentelle. Ce terme s'entend être très général, reflétant ainsi la possibilité qu'un organisme génétiquement modifié puisse poser des risques sur l'environnement ou sur la population indépendamment de la façon dont il a été modifié (chapitre 7).

Il apparaît essentiel que les termes suivants soient correctement utilisés dans la mesure où leur bonne utilisation est directement liée à la perception des consommateurs et à l'action de surveillance du gouvernement. Des termes supplémentaires peuvent être trouvés dans les glossaires de la FAO¹.

Organisme génétiquement modifié (OGM): Organisme dont le matériel génétique a été modifié par l'homme au moyen de techniques génétiques ou cellulaires. Un poisson génétiquement modifié est généralement un poisson transgénique (à savoir un poisson dont un gène issu d'un autre organisme est inséré d'une manière autre que naturelle). Il n'y a, actuellement, aucun poisson génétiquement modifié disponible pour les consommateurs. Un certain nombre de restrictions sur les déplacements internationaux des OGM existent. Cette classe d'organismes est réglementée par le Protocole de Carthagène de la Convention sur la diversité biologique². En outre, de nombreux groupes de consommateurs s'opposent actuellement à l'utilisation des OGM, y compris celle du poisson *génétiquement* modifié. Par conséquent, un pisciculteur désireux d'importer des poissons génétiquement *améliorés* par la reproduction sélective, ne devrait pas utiliser le terme *génétiquement modifié*, mais bien *génétiquement amélioré à travers la reproduction sélective* (ou à travers la reproduction naturelle).

Hybride: Descendant issu de l'accouplement entre parents appartenant à des espèces ou variétés différentes. Les descendants issus d'accouplements entre parents appartenant aux mêmes espèces sont des **hybrides intraspécifiques**, tandis que les descendants issus d'accouplements entre parents appartenant à des espèces différentes sont des **hybrides interspécifiques**. La distinction est importante car certaines régions sont régies par des lois qui s'opposent à la reproduction entre des espèces différentes, ou à l'importation d'hybrides interspécifiques, alors que la reproduction au sein d'une même espèce ou son importation peut ne pas faire l'objet d'une réglementation.

Organisme vivant modifié (OVM): «Organisme vivant possédant une combinaison de matériel génétique inédite obtenue par recours à la biotechnologie moderne». Synonyme d'OGM, utilisé principalement par la Convention sur la diversité biologique.

¹ www.fao.org/fi/glossary/default.asp et www.fao.org/biotech/index_glossary.asp

² www.cbd.int/biosafety/default.shtml

Polyploïdes: Plantes ou animaux possédant plus de 2 lots chromosomiques (appelés diploïdes et nommés 2N). Les organismes possédant 3 lots sont appelés triploïdes (3N), ceux avec 4 lots les tétraploïdes (4N). La distinction est de taille car les diploïdes et les tétraploïdes sont généralement fertiles alors que les triploïdes sont généralement stériles. Il est possible de provoquer la reproduction de tétraploïdes avec des diploïdes pour obtenir des triploïdes.

Élevage traditionnel: Se réfère aux programmes d'élevage sélectif qui n'utilisent pas de technologies modernes de manipulation de gènes (chapitre 4). L'élevage traditionnel se pratique et se perfectionne depuis des millénaires dans l'agriculture terrestre.

Un groupe international d'experts a conclu qu'il était plus important de comprendre quels ont été les réels changements que l'altération génétique a causés au poisson cultivé, plutôt que de cerner les techniques utilisées pour produire un tel changement³. Il s'agit en effet d'aborder des questions telles que: la poisson consomme-t-il plus de nourriture ou a-t-il une meilleure efficacité de conversion, a-t-il de plus amples tolérances environnementales, est-il fertile, est-il plus nourrissant, peut-il devenir envahissant, ou produit-il de nouvelles substances que le poisson non modifié ne produit pas. Il y a lieu d'attacher plus d'importance à ces questions en vue de l'évaluation des risques plutôt que d'identifier les technologies qui ont été utilisées pour créer l'organisme en question. Les politiques actuelles, les pratiques piscicoles et la perception du public ne reconnaissent pas nécessairement ce fait; il est donc recommandé d'utiliser des descriptions plus instructives pour décrire les modifications actuelles subies par un organisme résultant des technologies génétiques.

³ Page 253, dans Pullin, R.S.V., Bartley, D.M., Kooiman, J. (éds). 1999. Towards Policies for Conservation and Sustainable Use of Aquatic Genetic Resources. ICLARM Actas de la Conferencia No. 59. Manila, Philippines. «...dans la formulation de politiques et de réglementations relatives à la biosécurité en faveur des organismes vivants modifiés, les considérations sur les caractéristiques des organismes et des environnements potentiellement accessibles sont plus importantes que celles portant sur les procédés utilisés pour produire ces organismes».

3 GESTION DU STOCK DE GÉNITEURS: CONSANGUINITÉ, DÉRIVE GÉNÉTIQUE ET DOMESTICATION ⁷

3.1 Introduction

L'aquaculture n'est pas seulement un secteur critique de la production vivrière, c'est aussi une composante nécessaire aux pêches de loisir et commerciales ainsi qu'un outil de gestion pour les programmes de conservation. Comme c'est le cas pour tous les types d'élevage d'animaux, l'aquaculture implique l'intervention et la gestion humaines dans le cycle de vie des espèces. Dès lors que cela se produit, nous provoquons généralement des changements irréversibles dans le patrimoine génétique des populations. Ces changements peuvent être souhaités, c'est le cas lorsque des programmes d'élevage sélectif sont conduits en vue d'améliorer la croissance (chapitre 4) ou bien lorsque la domestication crée des poissons qui sont plus adaptés à l'environnement en éclosérie. Malheureusement, nous produisons également des changements non souhaités et nuisibles au sein du génome à travers l'élevage en consanguinité et la dérive génétique (section 3.3), ce qui affaiblit la viabilité et la croissance et accroît l'instabilité de développement. Si la domestication est bénéfique dans la pisciculture vivrière, elle est néfaste pour les individus qui sont empoisonnés dans la nature, dans la mesure où des poissons adaptés aux écloséries peuvent ne pas l'être dans la nature (chapitre 8). Dans le présent chapitre, la gestion du stock de géniteurs implique le contrôle de la consanguinité et de la dérive génétique ainsi que du processus de domestication.

3.2 Élevage en consanguinité

La consanguinité est l'accouplement entre individus apparentés. L'élevage en consanguinité figure parmi les trois programmes d'amélioration traditionnels et a été utilisé pour développer de nouvelles races. Il peut être utilisé en combinaison avec le croisement afin d'obtenir des individus uniformes et exceptionnels (chapitre 4). Si l'élevage en consanguinité planifié et dirigé peut être bénéfique, la consanguinité involontaire et non planifiée peut avoir des répercussions néfastes.

⁷ Rédigé par Douglas Tave.

Génétiquement, la consanguinité augmente l'homozygotie de la descendance (c.a.d. la similarité génétique), ce qui signifie également qu'il réduit l'hétérozygotie (c.à.d. la diversité génétique). L'homozygotie est aussi produite en cas d'accouplement de deux individus non apparentés et que les deux formes d'homozygotie sont génétiquement identiques. Bien que ces deux formes soient identiques, on les distingue en raison de la façon dont l'homozygotie est réalisée et en raison de ses conséquences.

Les individus apparentés sont génétiquement plus proches que ceux non apparentés. Par conséquent, en cas d'accouplement d'individus apparentés, la descendance qui est produite est plus homozygote que dans le cas d'accouplement d'individus non apparentés; plus la relation des individus accouplés est proche, plus la descendance est homozygote.

Cette question présente un intérêt certain car tous les animaux possèdent un petit nombre d'allèles récessifs néfastes ou délétères⁸. Dans la plupart des cas, un individu n'en est pas affecté et survit car il ne possède qu'une copie de l'allèle néfaste transmis par l'un de ses parents (il est hétérozygote); deux copies de l'allèle sont nécessaires (un de chaque parent) pour provoquer l'effet nuisible ou mortel (il est homozygote). La similarité des individus apparentés est plus évidente que celle des individus non apparentés, les premiers ayant tendance à avoir en commun les mêmes allèles récessifs délétères. Deux individus non apparentés peuvent n'avoir en commun qu'un ou deux allèles récessifs délétères, tandis que les individus apparentés en ont davantage; plus la relation est proche, plus il y en a en commun. Par l'accouplement d'individus apparentés, l'appariement et l'expression ultérieure de ces allèles récessifs délétères dans leur descendance provoque une dépression consanguine – régression du taux de croissance, de la viabilité et de la fécondité et progression du nombre de poissons difformes. Des études sur les poissons ont indiqué que les poissons consanguins montrent ces signes cliniques classiques de dépression consanguine⁹ ainsi qu'une réduction du taux de retour lorsqu'ils sont empoisonnés dans un environnement naturel¹⁰.

⁸ Un allèle est une des formes alternatives d'un gène.

⁹ Par ex. Kincaid, H.L. 1976. Effects of inbreeding on rainbow trout populations. Transactions of the American Fisheries Society, 105:273-280; Kincaid, H.L. 1976. Inbreeding in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 33:2420-2426; Su, G.-S.; Liljedahl, L.-E, Gall, G.A.E., 1996. Effects of inbreeding on growth and reproduction traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 142:139-148.

¹⁰ Ryman, N. 1970. A genetic analysis of recapture frequencies of released young salmon (*Salmo salar*) L. Hereditas, 5:159-160.

Habituellement, les effets négatifs de la consanguinité ne se font pas sentir immédiatement. La dépression consanguine est souvent retardée (il est possible que les effets négatifs ne se fassent pas sentir avant plusieurs générations suivant le début de l'élevage en consanguinité). La rapidité avec laquelle la dépression consanguine se produit dépend de la quantité de consanguinité produite ainsi que du caractère.

Les idées qui ont été décrites ci-dessus peuvent induire les agriculteurs en erreur, et ce, que nombre de leurs problèmes de production sont dus à la consanguinité; ils en arrivent donc à la conclusion erronée selon laquelle la consanguinité est manifeste et que leur stock n'est plus de bonne qualité lorsqu'ils observent les difformités d'un individu ou le déclin du rendement. Les difformités et le déclin du rendement sont souvent le résultat de facteurs non génétiques tels que les erreurs de développement, les toxines, les carences nutritionnelles ou le climat et peuvent ne pas être imputables à la consanguinité.

Étant donné que la consanguinité est l'accouplement d'individus apparentés, si on donne des tags uniques aux individus, il est relativement aisé d'empêcher la consanguinité ou tout du moins de la réduire au minimum en évitant l'accouplement entre parent/descendant, entre frère/sœur et entre demi-frère/demi-sœurs. Si l'accouplement autorisé le plus proche est entre cousins au deuxième degré, la consanguinité ne posera jamais de problème.

Au cours des programmes d'élevage sélectifs, la consanguinité est inévitable, car lorsque l'on ne permet qu'aux meilleurs de se reproduire, ce sont les individus apparentés qui sont impliqués. Réduire au minimum la consanguinité lors de programmes d'élevage sélectifs est important, car on ne veut pas utiliser le gain génétique produit à travers la sélection pour simplement neutraliser la dépression consanguine. Pour éviter cela, un certain nombre de programmes d'amélioration ont été identifiés pour réduire au minimum la consanguinité lors de programmes d'élevage

sélectifs¹¹. S'il est important d'éviter la reproduction systématique d'individus très apparentés dans les programmes d'élevage sélectifs, les accouplements fortuits (aléatoires) d'individus très apparentés (par ex. accouplement frère/sœur) dans les programmes d'amélioration à grande échelle n'est pas un réel problème comme il peut l'être dans de faibles populations, dans la mesure où il est fort probable que la descendance produite par ces accouplements se reproduira avec des individus non apparentés dans la génération suivante, ce qui produira des poissons nullement caractérisés par la consanguinité¹².

S'il est facile d'utiliser des marques individuelles sur le bétail et éviter ainsi l'accouplement entre les individus apparentés, cela l'est bien moins pour le poisson. Par conséquent, les aquaculteurs sont tenus de gérer la population comme un ensemble afin de réduire au minimum l'accumulation de consanguinité. À ces fins, les aquaculteurs doivent gérer le nombre de reproductions effectuées (N_c).¹³

L'identification du N_c peut s'effectuer par le nombre de mâles et le nombre de femelles qui s'accouplent et produisent une descendance viable:

$$N_e = \frac{4(\text{nombre de femelles})(\text{nombre de mâles})}{(\text{nombre de femelles})+(\text{nombre de mâles})}$$

N_c est donc identifié par le nombre de mâles qui produisent une descendance viable, le nombre de femelles qui produisent une descendance

¹¹ Dupont-Nivet, M.; Vandeputte, M.; Haffray, P.; Chevassus, B. 2006. Effect of different mating designs on inbreeding, genetic variance and response to selection when applying individual selection in fish breeding programs. *Aquaculture*, 252:161-170;

Gallardo, J.A.; Lhorente, J.P.; García, X., Neira, R. 2004. Effects of nonrandom mating schemes to delay the inbreeding accumulation in cultured populations of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61:547-553; Gjerde, B., Gjølén, H.M., Villanueva, B. 1996. Optimum designs for fish breeding programmes with constrained inbreeding. *Mass selection for a normally distributed trait*. *Livestock Production Science*, 47:59-72; Tave, D. 1999. Inbreeding and brood stock management. *Fisheries Technical Paper*. No. 392. Rome, FAO. 122p.

¹² Dupont-Nivet, M.; Vandeputte, M. 2005. Does avoiding full sibs matings preserves genetic variability in a selection scheme? Case of single pair matings. *Aquaculture*, 247:12.

¹³ Hallerman, E. 2003a. Inbreeding. Pages 215-237 in E.M. Hallerman, ed. *Population genetics: Principles and Applications for Fisheries Scientists*. Bethesda, MD, American Fisheries Society; Tave, D. 1993. *Genetics for Fish Hatchery Managers*, 2nd ed. New York, Van Nostrand Reinhold; voir note de bas de page 14.

viable, et par le sex-ratio des géniteurs. Ce qui signifie que N_e est porté au maximum en augmentant le nombre à la fois de mâles et de femelles qui se multiplient et en amenant le sex-ratio aussi proche que possible de 1:1. Des sex-ratios mal posés, souvent utilisés en aquaculture, provoquent un N_e bien inférieur au nombre de géniteurs qui sont multipliés. C'est le sexe le moins représenté qui exerce l'influence la plus forte sur N_e (par ex. lorsque peu de mâles sont utilisés, N_e se rapproche du nombre de mâles plutôt que du total).

Le besoin qu'ont les aquaculteurs et les biologistes des pêches de gérer N_e se justifie par le fait que ce dernier est en relation inverse avec la consanguinité:

$$F = 1/2N_e$$

où F est le taux de consanguinité produite (0-100%) dans une génération donnée; F est le taux de croissance de l'homozygotie. Cette formule montre que à mesure que N_e baisse, F augmente (figure 3.1); N_e s < 50 produit de grandes quantités de consanguinité par génération.

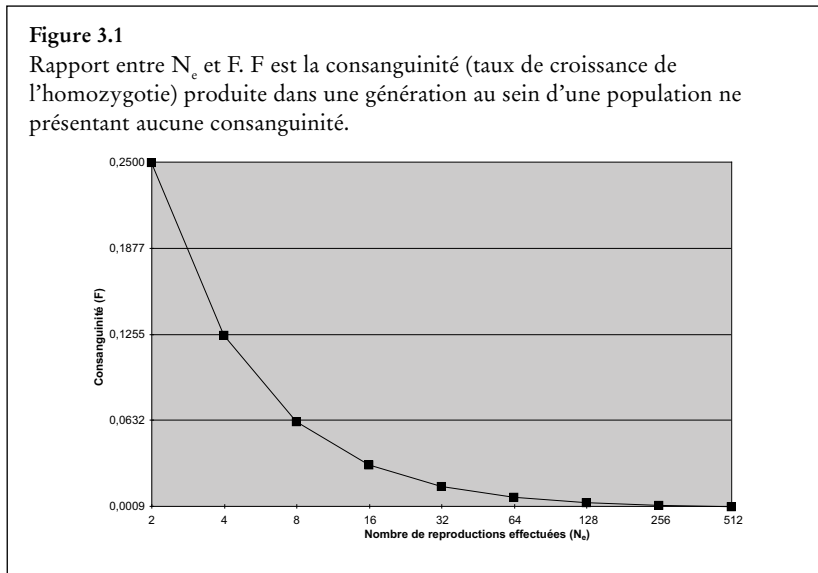
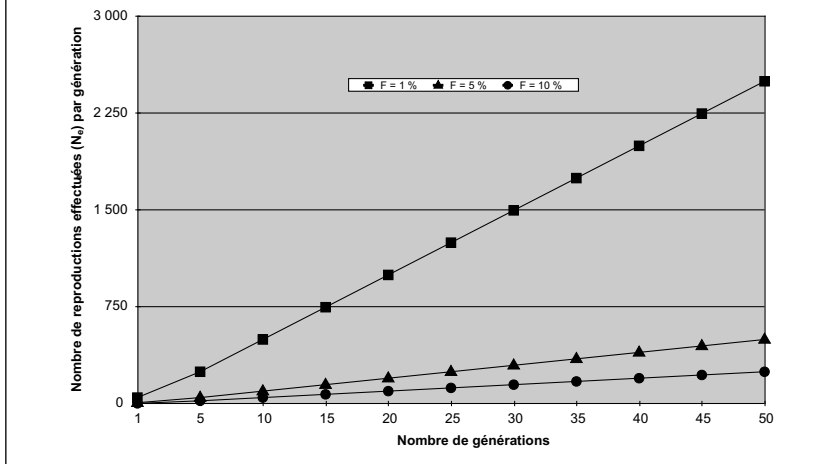


Figure 3.2

N_e nécessaire par génération pour produire un taux F de 1%, 5% et 10% après 1-50 générations.



Dans une population fermée, la consanguinité qui s'est produite fait baisser le N_e de la génération suivante:

$$N_{eF} = N_e / 1 + F$$

où N_e est le nombre de reproductions effectuées dans une population fermée dont $F > 0\%$. Pour des besoins d'ordre pratique, le F total qui est produit sur plusieurs générations peut être calculé en additionnant le F qui est produit dans chaque génération, sans prendre en considération la consanguinité précédente.

Quelle proportion doit avoir N_e pour que la consanguinité soit réduite au minimum? Il n'existe malheureusement pas de valeur universelle de F que les aquaculteurs et les biologistes des pêches veulent éviter; ce qui signifie qu'il n'y a aucun N_e universel. Des N_e variant entre 30 et 500 ont été préconisés, 50 étant le plus fréquent¹⁴. Pour calculer un N_e souhaité, il convient d'identifier le niveau acceptable de risque génétique; dans ce

¹⁴ Voir notes de bas de page 11 et 13.

cas, c'est le taux maximum de consanguinité qui est souhaité après un nombre donné de générations¹⁵. De plus, les préoccupations portant sur la consanguinité, c.a.d. le besoin ou non de gérer N_c et la proportion que doit avoir N_c , dépendent des trois facteurs suivants: de l'intention/du but de l'écloserie ou de la ferme piscicole, de la multiplication ou non des poissons et de la façon dont le stock de géniteurs sera géré.

La figure 3.2 montre les N_c constants qui sont nécessaires à la production d'un taux F de 1%, de 5% et de 10% pour 1-50 générations. La recommandation fréquente de $N_c = 50$ est efficace pour réduire au minimum la consanguinité pour une seule génération ($F = 1\%$), mais les résultats sont négligeables après 10 générations ($F = 10\%$).

Les exploitants qui achètent des géniteurs provenant d'un centre de reproduction (chapitre 5), qui les font frayer une fois et se procurent ensuite de nouveaux géniteurs, ou les exploitants qui achètent simplement des fingerlings génétiquement améliorés pour le grossissement provenant d'écloseries de «multiplication» à chaque saison de grossissement (chapitre 6) ne doivent se préoccuper ni de la consanguinité ni de gérer N_c . Les centres d'élevage ou les centres de multiplication doivent gérer leurs stocks afin de réduire la consanguinité au minimum, mais ces exploitants ne doivent pas se préoccuper de la consanguinité.

Il peut s'avérer difficile pour les exploitants de subsistance et à petite échelle de maintenir ou de faire frayer leur propre stock de géniteurs en vue de gérer le taux de consanguinité, ils devraient être toutefois encouragés à le faire dans la mesure où l'amélioration de leurs compétences de culture animale se traduira par une augmentation de la productivité. S'ils maintiennent de façon constante un $N_c = 50$ pour 5 générations, ils maintiendront un taux $F \leq 5\%$. Cette recommandation produit une bonne gestion à court terme (5 générations) et n'est pas excessive, de telle façon que de nombreuses exploitations à petite échelle pourraient l'englober dans leurs plans de travail annuels.

Les grands exploitants commerciaux et ceux qui produisent des fingerlings ou conduisent des programmes d'élevage sélectif devraient s'efforcer de maintenir un taux $F = 5-10\%$, $F = 5\%$ étant le but souhaité pour 10-20

¹⁵ Voir notes de bas de page 11 et 13.

génération, de façon à ce que la sélection et la domestication ne soient pas simplement utilisées pour amortir l'effet de la dépression consanguine. La culture du poisson dans le cadre de programmes de conservation et de pêches devrait s'efforcer de maintenir un taux $F = 1-5\%$, $F = 1\%$ étant le but souhaité pour un minimum de 20 générations, puisque le principal effort de gestion dans ces entreprises est d'éviter des changements au sein du patrimoine génétique sur une longue période.

L'élément crucial qui ressort de la figure 3.2 est que les N_e sont des N_e constants. N_e peut être supérieur au nombre souhaité, mais s'il est inférieur pour une génération seulement, l'objectif de consanguinité se sera pas atteint. Ceci est dû au fait que la moyenne du N_e sur une série de générations t n'est pas la moyenne arithmétique mais la moyenne harmonique:

$$N_{e \text{ moyen}} = 1/t(1/N_{e1} + 1/N_{e2} + \dots 1/N_{et})$$

Cette formule indique que la génération possédant le plus petit N_e a un impact disproportionné sur le N_e moyen.

Il existe un certain nombre de techniques de gestion en mesure de faire augmenter N_e . La manière la plus évidente est d'augmenter le nombre de poissons qui fraient et qui produisent une descendance viable ainsi que de faire frayer un sex-ratio de 1:1. Une manière d'accroître le nombre de géniteurs qui fraient de façon à satisfaire les quotas de production et de ne conserver qu'une partie réduite de chaque famille. Ces conceptions relativement simples sont contraires à la gestion type de la pisciculture; les pisciculteurs ont tendance à faire frayer le moins de poissons possible en raison de la fécondité des poissons, et utilisent souvent un sex-ratio fortement faussé, leur permettant ainsi de conserver moins de géniteurs.

Une deuxième technique consiste à passer à l'accouplement au hasard (la pratique standard dans la plupart des écloséries) à l'accouplement pédigré¹⁶. Dans l'accouplement pédigré, chaque mâle produit un fils et chaque femelle produit une fille, lesquels seront utilisés comme géniteurs pour la prochaine génération (le nombre de fils/fille produits peut être supérieur à 1 tant que tous produisent le même nombre). L'accouplement

¹⁶ Tave, D. 1984. Effective breeding efficiency: An index to quantify the effects that different breeding programs and sex ratios have on inbreeding and genetic drift. *Progressive Fish-Culturist*, 46:262-268.

pédigré fait considérablement augmenter N_e , et lorsque le sex-ratio est de 1:1, N_e est le double du nombre de frais. Pour ce faire cependant, chaque famille doit être cultivée dans une unité de culture séparée jusqu'à ce que les poissons soient marqués afin de veiller à ce que chaque parent produise une descendance du bon sexe.

Une troisième technique consiste à équilibrer le nombre de descendants issus de chaque accouplement, car un résultat inégal de reproductions fait baisser N_e ¹⁷. Pour ce faire toutefois, chaque famille doit être cultivée dans une unité de culture séparée jusqu'à ce que la taille de la famille soit équilibrée.

Une quatrième technique consiste à modifier les pratiques de stripping¹⁸. Si les poissons sont concernés par le stripping, la laitance ne devrait pas être rassemblée ni ajoutée de manière séquentielle. Ces pratiques entraînent une compétition des gamètes, un mâle pouvant féconder la plupart des œufs, produisant un N_e bien inférieur au N_e escompté.

Une cinquième technique consiste à allonger les générations. Les N_e souhaités à la figure 3.2 sont indiqués par génération et non par année. Une génération est l'espace de temps nécessaire au remplacement des parents par leur descendance. Si l'objectif est de maintenir la consanguinité en deçà d'une valeur donnée pour 20 ans et que la procédure standard est d'utiliser un écart de générations de 2 ans, 10 générations seront produites au cours du projet d'une durée de 20 ans. Mais si l'écart entre les générations pouvait être allongé à 3 ans, 7 générations seulement seraient produites au cours des 20 années, ce qui signifie qu'un N_e inférieur pourrait être utilisé pour atteindre l'objectif désiré.

Une sixième technique consiste à passer d'une population fermée à une population ouverte. La discussion exposée ci-dessus présupposait une population fermée. Si 10 à 25% de nouveaux géniteurs sont importés à chaque génération, le degré de consanguinité produit peut être

¹⁷ Fiumera, A.C.; Porter, B.A.; Looney, G.; Asmussen, M.A.; Avise, J.C. 2004. Maximizing offspring production while maintaining genetic diversity in supplemental breeding programs of highly fecund managed species. *Conservation Biology*, 18:94-101.

¹⁸ Withler, R.E. 1988. Genetic consequences of fertilizing Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) eggs with pooled milt. *Aquaculture*, 68:15-25; Withler, R.E. 1990. Genetic consequences of salmonid egg fertilization techniques. *Aquaculture*, 85:326.

considérablement réduit¹⁹. Dans la gestion de la conservation et des pêches, l'une des approches consiste à capturer et à faire frayer des géniteurs sauvages ou à collecter des œufs fécondés par le frai dans la nature et à les cultiver. Il convient de veiller à ce que l'épuisement des géniteurs soit évité au cas où les géniteurs seraient collectés (c.à.d. réduire le nombre de poissons qui vont frayer naturellement dans la nature à un niveau considéré comme dangereux).

Septièmement, un pisciculteur peut maintenir deux populations non apparentées et produire des hybrides. Les hybrides sont caractérisés par un degré de consanguinité de l'ordre de zéro; l'hybridation est souvent utilisée dans des programmes d'amélioration végétale et animale afin d'éliminer ou de neutraliser la consanguinité. Si de multiples lignées non apparentées sont maintenues, un programme d'accouplements en rotation peut être utilisé pour éviter la consanguinité au cours de générations successives²⁰.

Enfin, un modèle d'accouplement factoriel peut être utilisé pour accroître N_e , ce qui réduira la consanguinité au minimum²¹.

3.3 Dérive génétique

La dérive génétique se caractérise par des changements fortuits dans la fréquence des gènes – changements qui ne sont pas dus à la sélection, à la migration ni à la mutation. Les causes des changements fortuits peuvent être naturelles, telles qu'un glissement de terrain divisant une population, ou un orage tuant une bonne partie de la population ou détruisant des portions de son habitat; les causes peuvent aussi être d'origine humaine, ce qui se produit lorsque les aquaculteurs achètent ou font frayer leurs poissons.

Dans des conditions normales, le nombre de poissons qui se reproduisent et qui produisent une descendance viable est bien inférieur au nombre

¹⁹ Bartley, D.M.; Kent, D.B.; Drawbridge, M.A. 1995. Conservation of genetic diversity in a white seabass hatchery enhancement program in southern California. *American Fisheries Society Symposium*, 15:249-258.

²⁰ Kincaid, H.L. 1977. Rotational line crossing: An approach to the reduction of inbreeding accumulation in trout brood stocks. *Progressive Fish-Culturist*, 39:179-181. Voir note de bas de page 11.

²¹ Busack, C.; Knudsen, C.M. 2007. Using factorial mating designs to increase the effective number of breeders in fish hatcheries. *Aquaculture*, 273:24-32.

d'adultes; ceci est particulièrement le cas en aquaculture. Lorsque ce sous-échantillon fraie, il est possible que les fréquences de l'un ou de plusieurs gènes soient différentes dans la descendance de celles de la génération des parents; et moins il y en a de frai, plus il y a de chances pour que ces changements se produisent. Le dernier effet de la dérive génétique est la perte d'allèles, et plus la fréquence des gènes est basse, plus il y a de chances que l'allèle soit perdu à travers la dérive génétique. Les aquaculteurs engendrent également la dérive génétique à travers leurs choix d'achat de poissons destinés à constituer leur population de base. L'achat de poissons est une étape décisive, et de petits échantillons produisent souvent ce qui est appelé le founder effect – une condition selon laquelle la dérive génétique génère une population au sein de laquelle les fréquences des gènes sont radicalement différentes de celles de la population dont elles proviennent. Le stock fondateur détermine la variance génétique maximale qui existera au sein d'une population fermée.

La perte de variance génétique rend une population sauvage plus vulnérable à l'extinction, car elle a perdu la variabilité génétique qui aurait pu lui permettre de s'adapter aux changements survenus dans l'environnement. Un certain nombre de stocks d'écloseries ont été évalués, et quel que soit l'effort déployé dans la prévention de la dérive génétique, cette dernière s'est produite, ce qui a réduit la variance génétique²². Il a été démontré que la perte de variance génétique par le biais de la dérive génétique évite la sélection pour un plus gros taux de croissance,²³ et a augmenté le nombre de poissons présentant des troubles du comportement²⁴.

²² Allendorf, F.W.; Phelps, S.R. 1980. Loss of genetic variation in a hatchery stock of cutthroat trout. Transactions of the American Fisheries Society, 109:537-543; Hallerman, E.M.; Dunham, R.A.; Smitherman, R.O. 1986. Selection or drift—isozyme allele frequency changes among channel catfish selected for rapid growth. Transactions of the American Fisheries Society, 115:60-68; Vuorinen, J. 1984. Reduction of genetic variability in a hatchery stock of brown trout, *Salmo trutta*. Journal of Fish Biology, 24:339-348.

²³ Tave, D.; Smitherman, R.O. 1980. Predicted response to selection for early growth in *Tilapia nilotica*. Transactions of the American Fisheries Society, 109:439-445; Teichert-Coddington, D.R.; Smitherman, R.O. 1988. Lack of response by *Tilapia nilotica* to mass selection for rapid early growth. Transactions of the American Fisheries Society, 117:297-300.

²⁴ Leary, R.F.; Allendorf, F.W.; Knudsen, K.L. 1985. Developmental instability as an indicator of reduced genetic variation in hatchery trout. Transactions of the American Fisheries Society 114:230-235.

Le rapport entre N_e et la dérive génétique est:

$$\sigma^2_{\Delta q} = pq/2N_e$$

où $\sigma^2_{\Delta q}$ est la variance du changement dans la fréquence des gènes (la façon dont la dérive génétique est mesurée) et p et q sont les fréquences des allèles p et q pour un gène donné.

Comme cela était le cas pour la consanguinité, la dérive génétique est en relation inverse avec N_e ; plus N_e est petit, plus il est probable que la dérive génétique modifiera les fréquences des gènes. L'effet que la réduction de N_e peut avoir sur les fréquences des gènes par la biais de la dérive génétique est immédiat.

Puisqu'il est difficile d'éviter la dérive génétique dans les populations qui sont gérées, la dérive génétique doit être divisée en changements acceptables d'une part et inacceptables d'autre part, pour des questions de gestion. Un changement survenu dans la fréquence d'un allèle de 0,4 à 0,38, par exemple, pourrait ne pas être considéré comme critique, si bien qu'on peut le classer comme changement acceptable; en revanche, un changement dans la fréquence d'un allèle à 0,0 est critique et doit être évité, ce qui signifie qu'il est classé comme un changement inacceptable. Par conséquent, N_e doit être géré de façon à réduire la perte d'allèles au minimum. Puisque les allèles rares ont plus de chances d'être perdus que les allèles fréquents, la prévention de la perte d'allèles rares à travers la dérive génétique devrait être l'objectif de gestion.

La probabilité de perte d'un allèle de fréquence q à travers la dérive génétique dans une seule génération est:

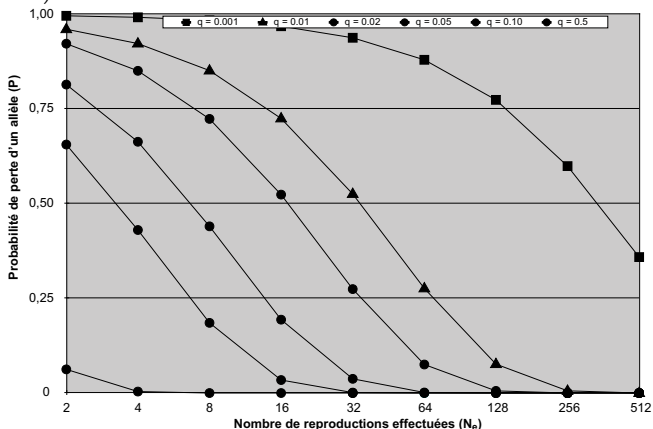
$$P = (1 - q)^{2N_e}$$

Les probabilités de perte d'un allèle ($f = 0,001-0,5$) pour une seule génération sont indiquées à la figure 3.3. La figure 3.3 indique que de petits N_e sont nécessaires pour prévenir la perte d'allèles communs ($f \geq 0,2$) alors que de grands N_e sont requis pour des allèles rares ($f \leq 0,01$).

Dans la gestion du N_e d'une population en vue de réduire au minimum la dérive génétique, il y a lieu de déterminer le degré de risque génétique

Figure 3.3

Probabilités de perte d'un allèle ($f = 0,001-0,5$) pour différents N_e . Ces probabilités concernent un seul événement (saison de frai ou achat de stock de géniteurs).



acceptable. Dans ce cas, c'est la garantie souhaitée de conserver un allèle ($1,0 - P$) d'une fréquence spécifique après un nombre donné de générations²⁵. Les généticiens et les biologistes spécialistes des populations estiment qu'un allèle dont $f = 0,01$ contribuent au polymorphisme; le but des programmes de gestion et de conservation des pêches devrait donc être de sauvegarder les allèles dont $f = 0,01$ (si cela est effectué, davantage d'allèles communs seront également sauvegardés). La sauvegarde des allèles rares ne revêt pas autant d'importance dans la pisciculture vivrière. Si les allèles rares améliorent la viabilité, la croissance et d'autres caractères de culture, la domestication augmentera leur fréquence. C'est pourquoi, le risque génétique pour les producteurs de poisson de consommation peut être de sauvegarder les allèles dont $f = 0,05$.

Des N_e constants nécessaires à la production d'une garantie à hauteur de 95% de sauvegarde des allèles ($f = 0,005-0,1$) pour 1-50 générations sont indiqués à la figure 3.4. La méthodologie utilisée pour calculer ces N_e est décrite dans un ouvrage de la FAO sur la gestion de la consanguinité et de la dérive génétique dans les populations en écloseries²⁶. Il est aisé d'éviter

²⁵ Voir note de bas de page 11.

²⁶ Voir note de bas de page 11.

la perte d'un allèle dont $f \geq 0,05$, mais cela peut se révéler délicat lorsque $f \leq 0,005$.

Comme cela a été le cas pour la gestion de la consanguinité, les exploitants qui ne font pas frayer le poisson ou qui ne le font frayer qu'une seule fois et achètent ensuite un nouveau stock ne sont pas tenus de gérer leur population en vue de réduire la dérive génétique au minimum. Bien que la plupart des exploitants de subsistance ou à petite échelle ne comprendra pas la dérive génétique ni ses conséquences, nombreux sont ceux qui peuvent facilement intégrer une gestion qui en réduira les effets au minimum. S'ils maintiennent de façon constante un $N_e = 45$ au cours des 5 générations successives, ils produiront une garantie de 95% de sauvegarde d'un allèle dont $f = 0,05$. Cette recommandation n'est en aucun cas excessive et produit une bonne gestion génétique à court terme (5 générations).

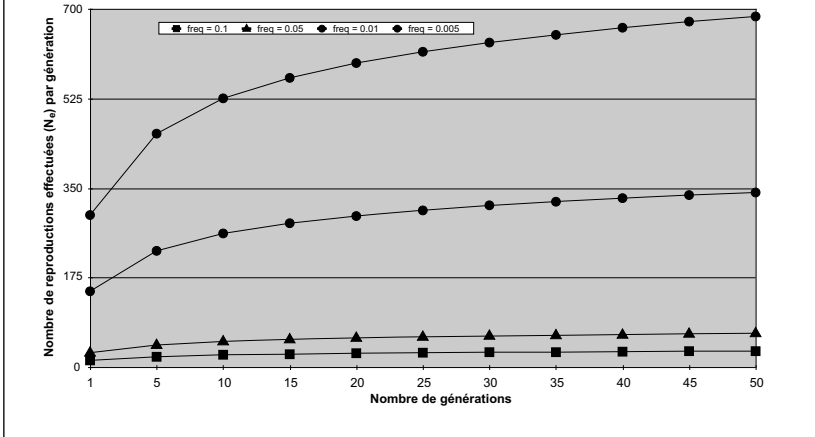
Pour les grands exploitants commerciaux et ceux qui produisent des fingerlings ou conduisent des programmes d'élevage sélectifs, l'objectif de sauvegarder des allèles dont $f = 0,05$ peut être facilement atteint; $N_e = 59$ produira une garantie de 95% pour les 20 générations à venir. L'objectif de sauvegarde des allèles dont $f = 0,01$ devrait pouvoir être atteint pour les programmes de pêches/conservation; $N_e = 297$ produira une garantie de 95% pour les 20 générations à venir. Les valeurs figurant à la figure 4 concernent un allèle unique. S'il y a 100 allèles de la sorte, une garantie de 95% signifie que 95 d'entre eux seront sauvegardés tandis que 5 seront perdus. Les techniques de gestion qui ont été décrites dans la section concernant la consanguinité peuvent également être utilisées pour augmenter le N_e afin de réduire la dérive génétique au minimum.

Les proportions recommandées de N_e visant à réduire la dérive génétique au minimum se sont situées entre 500 et 5 000, la plus fréquente étant 500²⁷. La figure 3.4 indique que la recommandation fréquente d'un $N_e = 500$ produira de bons résultats pour réduire la dérive génétique au minimum; elle produira une garantie de sauvegarde d'un allèle dont $f = 0,01$ pour

²⁷ Lande, R. 1995. Mutation and conservation. *Conservation Biology* 9:782-791; Hallerman, E. 2003b. Random genetic drift. Pages 197-214 dans E.M. Hallerman, ed. *Population genetics: Principles and Applications for Fisheries Scientists*. Bethesda, MD, American Fisheries Society; National Research Council. 2002. *Science and the Endangered Species Act*. Washington, DC. National Academy Press; voir notes de bas de page 11 et 13.

Figure 3.4

Le N_e nécessaire par génération pour 1-50 générations pour atteindre une garantie de 95% de conserver un allèle dont $f = 0,1-0,005$.



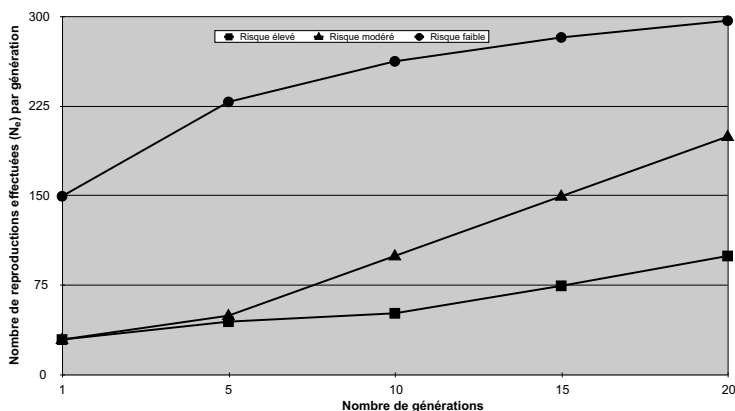
> 50 générations. Toutefois, en fonction de l'objectif génétique (risque), le N_e souhaité peut se situer à moins de 500, ce qui est souvent le cas pour la pisciculture vivrière.

Puisque tant la consanguinité que la dérive génétique sont en relation inverse avec N_e , ce dernier devrait être géré de façon à réduire au minimum les deux conditions. Les informations présentées aux figures 3.2 et 3.4 peuvent être cumulées afin de créer un N_e constant, ce qui permettrait d'atteindre les deux objectifs; pour ce faire, le plus grand N_e doit être utilisé. Sur la base de différents niveaux de risque génétique, les figures 3.5 et 3.6 classifient des N_e constants nécessaires à la pisciculture vivrière et à l'aquaculture de conservation/pêches.

La figure 3.5 indique que les N_e requis pour réduire au minimum les effets néfastes de la consanguinité et de la dérive génétique ne sont pas excessifs et peuvent être intégrés dans la plupart des opérations impliquant le poisson de consommation. Bien que l'on considère souvent la gestion génétique comme une activité à faible valeur ou comme une technologie inadaptée aux exploitants de subsistance ou à petite échelle, ceux qui conservent ou font frayer leur propre stock de géniteurs peuvent aisément intégrer une

Figure 3.5

N_e requis par génération pour réduire au minimum la consanguinité et la dérive génétique dans les populations en écloséries dans les exploitations de poisson de consommation. Les N_e sont indiqués pour trois choix (niveau de risque génétique): risque élevé— $F \leq 10\%$ et 95% de garantie de conserver un allèle dont $f = 0,05$; risque modéré (accepté)— $F \leq 5\%$ et 95% de garantie de conserver un allèle dont $f = 0,05$; risque faible— $F \leq 5\%$ et 95% de garantie 95% de conserver un allèle dont $f = 0,05$.

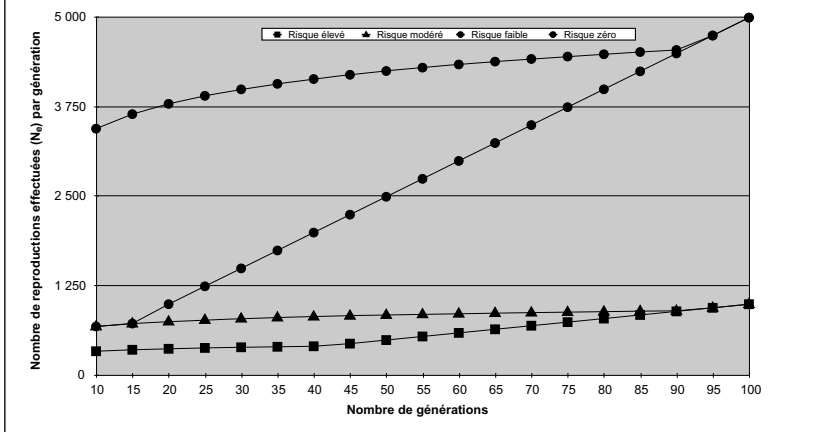


gestion à «risque modéré» (figure 3.5) et à court terme (5 générations) dans le cadre de leurs plans de travail de routine. Un $N_e = 50$ maintiendra $F \leq 5\%$ et produira une garantie de 95% de sauvegarde d'un allèle dont $f = 0,05$ pour les 5 générations successives. Dans ce cas, le N_e nécessaire à la gestion de la consanguinité est supérieur au N_e nécessaire à la gestion de la dérive génétique, le N_e utilisé étant donc le N_e de consanguinité. Par conséquent, les vulgarisateurs ne sont tenus d'expliquer la gestion génétique qu'en termes de réduction au minimum de la consanguinité, un concept qui peut facilement être saisi dans la mesure où la plupart des sociétés ont des tabous concernant les mariages en consanguinité (de liens de sang).

Si les grands exploitants commerciaux ainsi que ceux qui produisent des fingerlings ou ceux qui conduisent des programmes d'élevage sélectifs maintiennent de façon constante un $N_e = 100$ (ce qui inclut un stock de base), il peuvent réduire les problèmes génétiques au minimum pour les

Figure 3.6

N_e requis par génération pour réduire au minimum la consanguinité et la dérive génétique dans les populations en écloséries qui sont utilisées pour des projets de gestion des pêches ou de conservation. Les N_e concernent quatre choix (niveau de risque génétique): risque modéré— $F \leq 5\%$ et 99% de garantie de conservation d'un allèle dont $f = 0,01$; risque faible— $F \leq 5\%$ et 99% de garantie de conservation d'un allèle dont $f = 0,005$; peu de risque— $F \leq 1\%$ et 99% de garantie de conservation d'un allèle dont $f = 0,005$; risque zéro— $F \leq 1\%$ et 99% de garantie de conservation d'un allèle dont $f = 0,001$.



10 générations successives ($F \leq 5\%$ et 95% de garantie de conserver un allèle dont $f = 0,05$ [«risque modéré» figure 3.5]). Toutefois, s'ils achètent leur stock provenant d'une exploitation au sein duquel N_e était inférieur à 100, ils importeront des poissons pouvant avoir déjà accumulé un niveau élevé de consanguinité ou accusé une réduction de diversité génétique et de mauvaises performances dues à la dérive génétique.

Les N_e de la figure 3.6 sont considérablement plus élevés, car la gestion d'un patrimoine génétique d'une génération sur une longue période (≥ 10 générations, 20 générations étant le minimum souhaité) devrait être l'objectif principal des programmes aquacoles basés sur les programmes aquacoles des pêches/de conservation et un minimum de risque génétique devrait être accepté. Les N_e constants requis pour 20 générations se situent entre 378-1 000, en fonction du risque génétique. Bien que d'un point de vue génétique, ce soit l'option «zéro risque» de la figure 3.6 qui soit la plus souhaitée, il est peu probable qu'elle puisse être incluse d'un

point de vue de gestion. Par conséquent, les choix de « risque faible » ou « un peu de risque » de la figure 3.6 devraient être intégrés dans ce type de travail. L'option « peu de risque » de la figure 3.6 combine $F \leq 1\%$ avec 99% de garantie de conserver un allèle dont $f = 0,005$ plutôt que $f = 0,01$, les N_e étant identiques d'ici à la vingtième génération. Si la combinaison de $F \leq 1\%$ et $f = 0,01$ pour moins de 20 générations est souhaitée, les N_e des figures 3.2 et 3.4 peuvent être utilisées de façon à produire le N_e souhaité.

Il a été suggéré qu'un $N_e \geq 1\,000$ produira une population « génétiquement protégée »²⁸. Un $N_e = 1\,000$ atteindra des objectifs de « risque modéré » et de « risque faible » pour les 100 générations successives et atteindra un objectif de « peu de risque » pour les 20 générations successives (figure 3.6).

La discussion quant au calcul de N_e suppose que la population est relativement stable, ce qui est souvent le cas dans une éclosion. Lorsque c'est le cas, le N_e pour la consanguinité et la dérive génétique est calculé tel qu'il a été décrit auparavant. Toutefois, dans le cas d'une population (i) réduite, (ii) dont la fluctuation est importante au cours des générations, ou (iii) en déclin, les N_e pour la consanguinité et la dérive génétique sont différents car l'effet de N_e sur la population peut être immédiat (dérive génétique) ou retardée (consanguinité). Lorsque c'est le cas, le N_e pour la dérive génétique est appelé nombre de variance effective (N_{ev})²⁹ et apparaît comme suit :

$$N_{ev} = \frac{4N - 2}{V_k + 2}$$

où N est le nombre de poissons dans la génération parentale et V_k est la variance de la production de descendance.

N_{ev} est bien plus important pour la gestion des pêches et de conservation qu'il ne l'est pour la pisciculture vivrière, car la dérive génétique peut avoir un effet plus néfaste sur la capacité des espèces à survivre dans la nature. Si le seul objectif génétique des programmes de pêches/conservation est

²⁸ National Research Council. 2002.

²⁹ Waples, R.S. 2002. Definition and estimation of effective population size in the conservation of endangered species. Pages 147-168 dans S.R. Beissinger; D.R. McCullough, eds. Population Viability Analysis. Chicago. The University of Chicago Press.

de réduire la dérive génétique au minimum, N_{ev} devrait être géré; N_{ev} est estimé pour chaque génération, indépendamment de celui des générations précédentes. Dans ce cas, la recommandation fréquente de $N_e(N_{ev}) = 500$ obtiendra de bons résultats pour réduire au minimum la dérive génétique de parents à leur descendance pour >50 générations (figure 3.4). Toutefois, si N_{ev} de la population était faible dans les générations précédentes, un $N_{ev} = 500$ n'empêchera pas les problèmes produits par la dérive génétique d'empirer; il ne renversera pas le dégât génétique qui s'est déjà produit.

La raison pour laquelle il convient de connaître le N_{ev} des poissons produits en éclosion et empoissonnés pour des projets halieutiques ou de réclamation et le N_{ev} de la population sauvage dans laquelle ils sont empoissonnés est que le programme d'empoissonnement peut réellement réduire le N_{ev} total³⁰. Par exemple, si le N_{ev} des poissons empoissonnés est faible mais s'ils contribuent à la production d'un nombre disproportionné de descendants dans la génération suivante, le N_{ev} de la population sauvage peut baisser. Le N_{ev} peut également décliner dans le cas où les poissons d'éclosion produisent de grandes familles, tandis que les parents sauvages produisent de petites familles; cette situation augmente la variance de la production de descendance, ce qui peut réellement produire un N_{ev} qui est plus faible que les N_{ev} cumulés.

3.4 Domestication

La domestication est une forme de sélection qui rend un organisme plus adapté à l'environnement de culture ainsi qu'à tous les aspects de la gestion qui est utilisée pour le cultiver (c.à.d. qu'il modifie le patrimoine génétique d'une population en sélectionnant les allèles qui sont en mesure d'exploiter les conditions de culture et en éliminant les allèles qui sont moins aptes à vivre en éclosion). La domestication est une combinaison de sélection délibérée et de sélection involontaire. La domestication change le patrimoine génétique, ces changements sont ensuite transmis aux générations successives, ce qui provoque, à plus long terme, un changement radical de la population. En agriculture, toutes les plantes

³⁰ Ryman, N; Laikre, L. 1991. Effects of supportive breeding on the genetically effective population size. *Conservation Biology*, 5:325-329; Waples, R.S.; Do, C. 1994. Genetic risk associated with supplementation of Pacific salmonids: captive broodstock programs. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51 (Supplement 1):310-329.

et tous les animaux importants qui sont cultivés pour la consommation sont désormais domestiqués; les aquaculteurs, en revanche, cultivent des animaux et des plantes qui ne sont pas domestiqués. La domestication est un processus dont le terme est difficilement quantifiable dans la mesure où il n'existe pas de ligne absolue divisant les individus sauvages de ceux qui sont domestiqués; c'est au contraire un processus continu (la domestication a été définie comme une reproduction contrôlée et continue durant depuis plus de 3 générations)³¹. On peut distinguer un produit fini (domestication) d'un départ (état sauvage), mais tout organisme faisant l'objet d'aquaculture se situe le long de ce continuum; la majorité d'entre eux se situent plus près du début que de la fin. La domestication démarre lorsque les pisciculteurs prennent le contrôle du cycle de vie des poissons et déterminent les conditions dans lesquelles les poissons seront cultivés (type d'aliment utilisé; taux d'empoisonnement; gestion de la qualité de l'eau, etc.) et, plus particulièrement, quel poisson va frayer.

La domestication peut modifier une population de façon subtile de par la sélection involontaire qui se produit à mesure que le poisson s'adapte à la manière dont l'exploitant ou le gérant d'écloserie opère les installations. Par exemple, la manière dont un exploitant fait frayer ses poissons est susceptible de produire un stock qui répond plus facilement aux injections d'hormones; ou encore, la saison de frai peut se déplacer si un gérant d'écloserie ne fait frayer ses poissons qu'au début de la saison de frai. Le fait de choisir des géniteurs issus de la première prise en senne pourrait sélectionner des poissons qui sont faciles à récolter, tandis que le fait de choisir des poissons qui restent dans les étangs après plusieurs sennes pourrait provoquer une sélection de poissons experts en fuite. Le fait d'élever des poissons dans des conditions de culture intensive engendre une sélection de poissons qui tolèrent des conditions de vie dégradées et stressantes. Se débarrasser de géniteurs qui se débattent et qui sont difficiles à gérer peut produire des poissons plus dociles.

Une simple modification de comportement peut faire partie ou au contraire ne pas faire partie de la domestication. Citons en guise d'exemple que les poissons apprennent à reconnaître le moment où ils sont nourris et répondent au bruit du camion d'alimentation ou celui que font les

³¹ Bilio, M. Controlled reproduction and domestication in aquaculture. The current state of the art. Part II. Aquaculture Europe, 32 (3): 5-23.

personnes qui les nourrissent. Ce comportement est souhaitable car il veille à ce que les aliments soient consommés rapidement et à ce qu'il y ait moins de gaspillage. Si un tel comportement est génétique, il s'agit donc en partie de domestication, mais si ce comportement acquis n'a pas de fondement génétique, il ne sera pas transmis à la génération suivante et il ne s'agit donc pas ici de domestication.

La domestication est bénéfique à la pisciculture vivrière car elle produit des poissons plus dociles, ceux qui apprécient l'alimentation artificielle, ce qui augmente le taux de croissance, et ceux qui tolèrent des densités de mise en charge élevées, la manipulation et une mauvaise qualité de l'eau, ce qui peut provoquer du stress et des maladies. Il a été démontré que la domestication augmente le taux de croissance des poissons d'élevage de l'ordre de 2-6% par génération³².

Toutefois, l'aquaculture cultive également des poissons qui seront empoisonnés dans la nature afin de soutenir la pêche fondée sur l'élevage (chapitre 8) et dans des programmes de rétablissement visant les espèces menacées d'extinction (chapitre 9), et pour ce type de gestion, la domestication est néfaste dans la mesure où elle peut provoquer des changements indésirables au sein du génome³³. Malheureusement, le simple fait de cultiver du poisson, de le faire frayer ou la façon dont on les fait frayer engendre une forme de domestication, ce qui pourrait produire des poissons moins adaptés à la nature. En effet, la survie dans la nature est rude et la majorité des poissons meurent dès qu'ils atteignent le stade d'alevins. Les aquaculteurs créent des environnements qui maximisent les chances de survie, si bien que les génotypes dotés d'une mauvaise capacité d'adaptation dans la nature ne sont pas létaux dans une éclosierie. L'amélioration de la survie au plus jeune âge, pratique de routine en aquaculture, est une forme de sélection de domestication dont on a démontré les effets indirects dans la sélection d'œufs de plus petite taille, ce qui à son tour, réduit la viabilité dans la nature. Même si la seule forme

³² Dunham, R.A.; Smitherman, R.O. 1983. Response to selection and realized heritability for body weight in three strains of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, grown in earthen ponds. *Aquaculture*, 33:89-96.

³³ Araki, H.; Cooper, B.; Blouin, M.S. 2007. Genetic effects of captive breeding cause a rapid, cumulative fitness decline in the wild. *Science*, 318:100-103; Heath, D.D.; Heath, J.W.; Bryden, C.A.; Johnson, R.M.; Fox, C.W. 2003. Rapid evolution of egg size in captive salmon. *Science*, 299:1738-1740.

de pisciculture consiste à collecter des œufs sauvages, à élever des alevins/ fingerlings pour une période brève et à les empoisonner par la suite dans la nature, il est possible d'affirmer que la sélection de domestication s'est avérée si la survie et le succès de reproduction de ces poissons dans la nature sont différents de leurs contreparties sauvages.

Les pratiques de gestion qui réduisent au minimum la domestication des poissons voués à être empoisonnés dans la nature sont fournis dans le chapitre 8.

3.5 Contraintes et opportunités

Le simple fait que la majorité des aquaculteurs disposent d'une mauvaise formation en génétique et qu'ils estiment que ce type de gestion n'est pas nécessaire – bien souvent parce qu'ils ne la comprennent pas – constitue une entrave majeure à l'amélioration de la gestion dans ce domaine. Une deuxième contrainte est que nombre d'aquaculteurs n'ont pas conscience des avantages à long terme qui peuvent être tirés en intégrant des programmes de gestion génétique (chapitres 4 et 6) et cultivent systématiquement des poissons consanguins ou dont la diversité génétique est réduite; ainsi, leur production n'affichent pas d'aussi bons résultats que le ferait un stock dont le potentiel génétique a été endommagé. Ils ne réalisent également pas que des améliorations portant sur d'autres aspects de la pisciculture (par ex. une meilleure alimentation) peuvent n'être en mesure que de compenser l'appauvrissement du potentiel génétique. Les coûts visant à réduire au minimum la consanguinité et la dérive génétique sont certes plus élevés, mais ils seront compensés par l'amélioration de la production (chapitre 6). Une entrave supplémentaire est représentée par la situation suivante: lorsque les gérants d'écloseries et les managers de ressources sont récompensés de façon erronée pour avoir produit un grand nombre de poissons, sans toutefois que ces poissons aient réalisé de bons résultats faute de gestion génétique et d'une évaluation adaptée. Les pisciculteurs et les managers de ressources doivent bien comprendre que la production d'un nombre plus réduit de poissons dont les résultats sont meilleurs améliore réellement la productivité et la gestion de ressources. La quatrième contrainte est financière. En effet, nombreuses sont les écloseries qui ne peuvent être ni élargies ni reconstruites, se trouvant dans l'incapacité d'embaucher une main d'oeuvre supplémentaire; il n'est donc pas possible dans ce cas de faire frayer le nombre de poissons

requis ou de réduire la domestication au minimum pour les programmes de pêches/conservation. Enfin, l'inclusion de la gestion génétique dans la pisciculture doit aller de pair avec de bonnes pratiques d'élevage aquacole et un développement adéquat de la nutrition et de la santé des poissons.

Fort heureusement, de nombreux dirigeants et décideurs commencent à comprendre que la gestion des ressources génétiques n'est en aucun cas un concept abstrait mais peut au contraire améliorer la sécurité alimentaire et la stabilité écologique.

4 MÉTHODOLOGIES D'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE EN AQUACULTURE ³⁴

4.1 Introduction

Le Code de conduite pour une pêche responsable de la FAO comprend plusieurs articles traitant des questions relatives à l'application de méthodologies d'amélioration génétique en aquaculture (articles 9.1.2, 9.1.3, 9.3.1 et 9.3.3). Ces articles se réfèrent aux risques liés au développement de l'aquaculture, et plus particulièrement au développement et à la propagation de stocks génétiquement modifiés ainsi qu'à l'intégrité génétique et environnementale des écosystèmes naturels. Ce chapitre se concentre sur l'analyse des méthodologies utilisées dans l'amélioration génétique des espèces aquacoles et sur l'étendue de leur application actuelle en aquaculture ainsi que celle qui aura probablement lieu dans le futur. Ces méthodologies sont examinées du point de vue des avantages qu'elles offrent à court et à long terme au développement de l'aquaculture sans omettre toutefois les risques posés par leur adoption et leur application. Ces risques sont plus approfondis dans les chapitres 7 et 9. Des directives sont présentées comme recommandations pour l'application des différentes technologies d'amélioration génétique en aquaculture.

Comme il a été précisé dans d'autres chapitres, la plupart des formes d'intervention humaine dans plus d'une génération du cycle de vie des espèces cultivées modifiera génétiquement le stock à travers des modifications dans les fréquences des gènes. Le chapitre 3 a exposé les processus par lesquels cette modification génétique peut se produire, à savoir à travers la consanguinité et la dérive génétique ainsi que le changement de fréquences des gènes et des allèles (et les caractères phénotypiques associés) suite à la sélection involontaire. Ces changements génétiques sont généralement le résultat de l'ignorance des conséquences génétiques de la gestion des stocks en captivité pour les générations successives. Le présent chapitre se concentre sur les conséquences supplémentaires liées à la modification génétique délibérée des stocks en élevage suite à l'application d'une série de technologies d'amélioration génétique.

³⁴ Contribution de Graham C. Mair.

4.2 Amélioration génétique en aquaculture

C'est avec le lancement de programmes d'élevage sélectif pour le saumon norvégien vers la moitié des années 70 que l'ère moderne de l'amélioration génétique en aquaculture a vu le jour. Mais ce n'est qu'au cours des deux dernières décennies qu'il a été accepté par un plus grand public que l'amélioration génétique avait un rôle important à jouer dans le développement de l'aquaculture et que des gains génétiques considérables pouvaient être réalisés à travers l'application appropriée de programmes d'élevage génétique bien planifiés en faveur des espèces aquatiques. En conséquence, de nombreux programmes d'élevage de ce genre sont actuellement mis en œuvre à travers le monde.

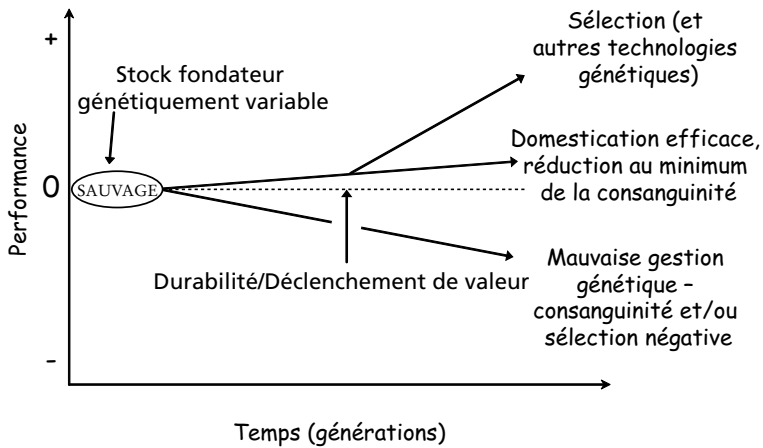
On a également noté un changement dans la façon dont sont perçus le rôle de la génétique dans l'aquaculture et le moment approprié des interventions génétiques. Il est désormais plus largement compris que la gestion de la variation génétique est importante à partir du moment où démarre la domestication (ou l'introduction) des stocks afin d'éviter la détérioration des stocks à travers la consanguinité, la dérive génétique et la sélection involontaire (voir chapitre 3), afin également de tirer profit de la sélection par domestication et de maximiser le potentiel de développement de l'amélioration génétique (figure 4.1).

Les organismes aquatiques utilisés en aquaculture étant nombreux, il existe de fait davantage de choix pour l'amélioration génétique qui peut être facilement applicable dans des organismes plus élevés en raison de leurs caractéristiques et leurs propriétés biologiques particulières. Par conséquent, des techniques telles que la manipulation du lot chromosomique set, le contrôle des sexes et la transgénèse peuvent être appliquées, offrant ainsi de nombreuses possibilités d'amélioration intéressantes et à explorer.

S'il est vrai que des progrès considérables sont réalisés et que les stocks génétiquement améliorés sont de plus en plus disponibles en aquaculture, la majorité des poissons cultivés sont encore très similaires aux génotypes sauvages. Il reste encore un long chemin à parcourir avant que l'aquaculture ne connaisse la situation qui est observée aujourd'hui pour le bétail et les cultures où la production est presque exclusivement fondée sur des variétés génétiquement améliorées et où la culture du matériel génétique sauvage n'est pas pratiquée.

Figure 4.1

Illustration hypothétique des différents scénarios pouvant surgir avec une bonne ou une mauvaise gestion en matière de génétique. L'ignorance des questions relatives à la gestion génétique s'est à bien des occasions traduite par un déclin des performances des stocks en élevage. L'objectif d'un secteur aquacole en développement devrait être de gérer efficacement la diversité génétique au sein des stocks domestiqués permettant ainsi aux avantages de la sélection par domestication de se réaliser. La gestion et la rétention de la diversité génétique jettent les bases du succès de l'élevage sélectif à un moment où une entreprise ou un secteur de production atteint un tel niveau de maturité, de valeur et/ou de durabilité économique qu'il peut mettre en train des investissements dans l'amélioration génétique planifiée.



4.3 Approches de l'amélioration génétique

Cette section décrit brièvement les différentes méthodologies d'amélioration génétique qui peuvent être appliquées aux espèces aquatiques cultivées, synthétise les progrès réalisés dans l'aquaculture moderne et identifie les questions clés en vue d'optimiser les avantages que peut tirer l'aquaculture et de réduire au minimum les risques posés à l'intégrité génétique et environnementale des stocks sauvages.

4.3.1 *Élevage sélectif*

La base de l'élevage sélectif consiste à sélectionner des individus possédant une valeur génétique additive élevée pour un phénotype (caractère) souhaité en tant que parents de sorte qu'ils transmettent leurs gènes supérieurs à leur progéniture dans les générations suivantes. De cette façon, il devrait être possible de déplacer la valeur moyenne du caractère ciblé pour la population cultivée dans la direction souhaitée dans chaque génération successive. Dans les programmes d'élevage sélectif, il est nécessaire de réduire au minimum la perte de variation génétique (par ex. qui pourrait survenir à travers la consanguinité) au cours du processus visant à veiller à ce que des gains génétiques soient réalisés et qu'ils soient durables pour de nombreuses générations à venir.

Compte tenu de l'implication à long terme que représente le lancement d'un élevage sélectif, il est impératif que le stock destiné à être amélioré fasse partie d'un secteur aquacole durable et commercialement significatif. Il est par conséquent essentiel d'analyser les développements ainsi que le potentiel de développement du secteur en question avant d'investir dans toute stratégie d'amélioration génétique à long terme.

Un certain nombre de stratégies supplémentaires doivent être respectées avant de lancer un programme d'élevage. En premier lieu, le cycle de vie des espèces en captivité doit être clos. Puis, il y a lieu d'identifier le ou les caractères **commercialement valable(s)** qu'il convient de cibler à travers un processus d'estimation des poids économiques des traits pouvant réellement faire l'objet d'une modification à travers l'amélioration génétique. Ces caractères devraient être variables au sein de la population et préférablement quantifiables en animaux reproductivement viables (des caractères tels que les rendements en filets que l'on mesure le mieux chez des animaux qui ont été sacrifiés sont plus difficiles à intégrer dans des programmes d'élevage sélectif). Dans le meilleur des cas, les caractères choisis pour la sélection devraient avoir des niveaux d'héritabilité de modérés à élevés, et devraient donc être en mesure de répondre facilement à un élevage sélectif de base. L'héritabilité est une façon de mesurer à quel degré la variabilité d'un caractère particulier est déterminée par la génétique et varie de 0 (aucune influence génétique) à 1 (où la génétique contrôle le caractère en entier). En termes plus formels, l'héritabilité est la proportion de la variance phénotypique contribué par la variance génétique additive et reflète le potentiel de génération d'une réponse à la

sélection pour ce caractère. Les héritabilités de 0,15 à 0,5 indiquent qu'un caractère répondra bien à la sélection bien qu'il y ait des procédures et des analyses statistiques en mesure de sélectionner efficacement des caractères à faible héritabilité³⁵. Il est également important de déterminer les corrélations phénotypiques et génétiques entre les caractères, en particulier lorsqu'on développe des indices de sélection dans lesquels deux ou plusieurs caractères peuvent être combinés dans une seule valeur de l'indice.

Une étape cruciale du lancement d'un programme d'élevage sélectif est l'identification ou le développement d'un stock fondateur approprié. Afin de maximiser le potentiel de gain génétique à long terme et l'amélioration de performance des cultures, ce stock fondateur devrait être fortement génétiquement variable et devrait principalement être fondé sur les stocks disponibles dont les performances sont les meilleures (là où les données relatives aux performances sont connues ou peuvent être obtenues). En réalité, il est probable que ceci impliquera la création d'un stock fondateur composé utilisant un matériel génétique source d'origines variées, issu dans la plupart des cas de différentes populations génétiquement discrètes (domestiquées et/ou sauvages) comme cela s'est avéré au démarrage d'un important programme d'élevage sélectif intitulé GIFT³⁶.

Il apparaît donc essentiel de saisir que des stocks fondateurs bien établis pour des programmes d'élevage sélectif seront génétiquement distincts de toute population sauvage individuelle, ce qui représente ainsi une menace potentielle pour l'intégrité génétique de ces populations puisque, à terme, les fréquences des gènes dans la nature pourraient être modifiées par l'introgession significative des stocks sauvages avec des stocks cultivés génétiquement modifiés. Il est probable qu'à mesure que l'élevage sélectif progresse, l'identité génétique du stock sélectionné se différenciera de tout stock sauvage (voir les chapitres 3, 4, 8 et 9). Une façon de faire face à ce risque consiste à développer des lignées sélectionnées ne provenant que de stocks indigènes (c.-à-d. des fondateurs sont prélevés au sein

³⁵ Gjedrem, T. 2005. Selection and Breeding Programmes in Aquaculture. Springer, Netherlands. Van Vleck, L.D. (1993) «Selection Index and Introduction to Mixed Model Methods», CRC Press Inc., Florida, USA

³⁶ Eknath, A.E., Bentsen, H.B., Ponzoni, R.W., Rye, M., Nguyen, N.H., Thodesen, J. & Gjerde, B. 2007. Genetic improvement of farmed tilapias: Composition and genetic parameters of a synthetic base population of *Oreochromis niloticus* for selective breeding. *Aquaculture* 273: 1-14.

de populations locales) et de limiter ensuite leur culture à des sites se trouvant dans les limites de la distribution naturelle de la population en question. Cette possibilité risque néanmoins d'avoir un coût rédhibitoire. L'élevage sélectif se concentre sur l'amélioration des traits quantitatifs (à savoir ces phénotypes qui sont quantitatifs de nature et continus en termes de distribution), le taux de croissance étant communément le premier caractère pris en considération pour l'amélioration. Les caractères qualitatifs (tels que la couleur, la forme du corps ou des nageoires, ou le sexe) sont habituellement contrôlés par un ou deux loci de gènes et peuvent être influencés par la compréhension de leur hérédité. Cet aspect est ordinaire dans des secteurs de aquaculture à des fins ornementales mais ne revêt que peu d'importance pour l'aquaculture pratiquée à des fins de production vivrière.

Le taux de croissance est souvent le caractère clé à valeur économique la plus élevée dans la majorité des secteurs aquacoles et en particulier dans des systèmes extensifs et semi-intensifs au sein desquels les poissons sont vendus en entier ou éviscérés et réfrigérés plutôt que transformés. Une bonne sélection en vue de la croissance permet de récolter les poissons à une taille à la fois plus grande et dont la valeur est plus élevée, de réduire la période de culture et si possible de mettre en charge les animaux à des densités plus élevées tout en conservant la taille de récolte. Des systèmes de production plus intensifs accordent souvent plus de priorité à des caractères tels que la conversion alimentaire et les rendements en filets en raison de leur plus grande importance économique, bien que ces caractères particuliers soient plus difficiles à sélectionner.

L'analyse des différentes méthodes de sélection et conceptions de programme d'amélioration va au delà de la portée de ce chapitre³⁷. La décision portant sur la méthode de sélection qui sera utilisée dépend d'une série de facteurs, notamment de l'héritabilité du caractère ciblé (s'il est connu), du type de caractère, de sa facilité de mesure dans des organismes reproductivement viables/dont la reproduction est viable ainsi que de la biologie et de la reproduction des espèces (y compris la fécondité). Le tableau 4.1 fait la synthèse des caractéristiques clés des différentes

³⁷ Des manuels détaillés existent, par exemple celui de Tave, D. Programmes d'élevage sélectif pour les exploitations piscicoles de moyenne importance. FAO Document technique sur les pêches No. 352. Rome, FAO.

approches de l'élevage sélectif. L'objectif de tout programme de sélection est de sélectionner les meilleurs individus destinés à être utilisés pour créer la prochaine génération sans perte de variation génétique. La conception des programmes d'amélioration comporte invariablement une série de compromis quant au choix de sélection de caractères ou de combinaison de caractères. Les conceptions idéales consistent en des accouplements pédigrés complets, ils sont cependant rarement réalisables et limités par les ressources physique et humaines, le nombre d'animaux, les systèmes de tags (ou la capacité de séparer physiquement les familles et les individus) et par la propriétés des espèces (telles que fécondité, le temps qui s'écoule d'une génération à l'autre et la facilité dans le contrôle de l'élevage).

Suite au récent lancement de nombreux programmes d'élevage sélectif, des résultats frappants de réponse à la sélection commencent à apparaître, dont des gains dans les caractères clés de l'ordre de 13 à 15 pour cent par génération dans des programmes d'amélioration bien gérés et disposant de ressources suffisantes. Ces gains sont supérieurs à ceux habituellement réalisés dans des programmes d'amélioration de bétail, ce qui peut s'expliquer par les niveaux élevés de variabilité génétique observés dans les espèces aquatiques cultivées et la fécondité élevée de nombreuses espèces, permettant ainsi de plus grandes intensités de sélection que celles possibles dans le bétail moins fécond. Il est clair que, sur plusieurs générations, la valeur économique de tels gains est considérable et les estimations de Gjedrem³⁸ d'un retour sur investissement de 15:1 dans le programme d'amélioration du saumon norvégien n'est pas irréaliste (voir également chapitre 6).

Étant donné l'application de l'élevage sélectif en est encore relativement à ses débuts en aquaculture, les stocks sélectionnés qui sont en cours de développement ne divergent pas encore fortement d'un point de vue phénotypique des types sauvages dans la plupart des cas et sont encore en mesure de survivre dans la nature et de s'entrecroiser avec des parents sauvages s'ils s'échappent ou s'ils sont délibérément introduits dans l'environnement dont ils provenaient. Avec le temps et avec une sélection continue de caractères d'importance commerciale, ce niveau

³⁸ Gjedrem, T. 2000. Genetic improvement of cold-water fish species. *Aquaculture Research* 31: 25-33.

Tableau 4.1 Synthèse des principales propriétés des différents choix pour la conception d'élevage sélectif

Type de sélection	Description	Avantages	Inconvénients
Sélection individuelle ou massale	Tous les individus sont regroupés et mesurés. La sélection des poissons destinés à être utilisés comme géniteurs se fonde seulement sur la valeur phénotypique pour le caractère ciblé dans l'individu.	Facile et ne requiert que peu de tenues de registres. L'identification individuelle et la tenue de registres généalogiques ne sont pas nécessaires. Relativement peu coûteuse. Peut apporter des gains pour les caractères à héritabilité élevée.	Limité aux caractères à héritabilité élevée. Ne peut être appliquée qu'à des caractères mesurés sur le candidat pour l'élevage. Difficile de contrôler la consanguinité. Il est important de contrôler les effets environnementaux clés tels que l'âge, la taille au moment de l'empoissonnement, la qualité de l'eau, l'alimentation, etc. Potential de production d'une progéniture fortement variable aux générations futures favorisant la dérive génétique.
Sélection (intra-cohorte)	Une variation au sein de laquelle les géniteurs sont divisés de façon arbitraire en cohortes et la sélection individuelle s'effectuant au sein de cohortes. La consanguinité est évitée grâce à l'accouplement en rotation des individus sélectionnés avec ceux provenant d'autres cohortes.	Contrôle la consanguinité. Accouplement par paires non requis. Identification individuelle et registres généalogiques non requis. Élimine les effets environnementaux sur la performance individuelle au sein de cohortes. Nécessite une expertise technique limitée.	Fonctionne mieux avec des caractères à héritabilité élevée. Ne peut être appliqué qu'à des caractères mesurés sur le candidat pour des programmes d'élevage. Nécessite toujours le contrôle de l'âge au sein de cohortes.
Sélection intrafamiliale	Maintien de multiples familles avec des individus sélectionnés indépendamment au sein de chaque famille fondé sur la déviation de la valeur de leurs caractères par rapport à la moyenne de la famille.	Contrôle possible de la consanguinité grâce à l'accouplement en rotation entre les familles. Relative facilité de gestion. Utile lorsque la variance environnementale est commune aux membres d'une famille. Permet des intensités de sélection élevées.	N'exploite pas pleinement l'héritabilité, la réponse à la sélection est donc réduite. Ne prend pas en compte la variance dans la performance entre les familles. Ne peut être appliquée que pour des caractères qui peuvent être mesurés sur le candidat à l'élevage. Les familles doivent être maintenues séparées ou tous les individus marqués par famille.

a Une synthèse utile des caractéristiques clés de ces approches de l'élevage sélectif est présentée dans Ponzoni, R. W., Nguyen, N.H et Khaw, H.L. 2006. Importance and implementation of simple and advanced selective breeding programs for aquaculture species in developing countries. Proceedings of the 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, 13-18 Agosto 2006, Belo Horizonte, MG, Brazil. (www.wcgalp8.org.br/wcgalp8/articles/paper/9_683-1814.pdf)

Tableau 4.1 (suite) Synthèse des principales propriétés des différents choix pour la conception d'élevage sélectif

Type de sélection	Description	Avantages	Inconvénients
Sélection combinée	La sélection des individus repose sur les informations relatives aux individus mais aussi celle des parents. Des valeurs moyennes sont établies pour chaque famille et des familles entières sont retenues ou éliminées en fonction de cette moyenne.	Exploite pleinement la variance génétique additive. La consanguinité peut être contrôlée. Type de sélection adaptée pour les caractères à héritabilité élevée. Adaptée pour les caractères ne pouvant pas être mesurés chez les individus en élevage (par ex. les rendements en filets) ou qui introduisent un risque tel que les test de résistance aux maladies, les frères/soeurs pouvant être sélectionnés. Modèles développés pour tenir compte de tous les effets systématiques sur les caractéristiques ciblées.	Exige l'accouplement par paires et l'identification des familles. Choix généralement coûteux, nécessitant de grandes installations et à forte intensité de main-d'œuvre. Les coûts sont réduits si les familles sont marquées et empoissonnées dans un environnement commun. Exige des niveaux élevés d'expertise génétique. Les effets de l'environnement commun devraient être réduits au minimum et la taille des familles conservée. Exige des tenues de registres détaillés y compris sur la généalogie. Nécessite généralement de cultiver des familles individuelles jusqu'aux applications de tags, ce qui conduit à empirer les effets lors de l'élevage séparé.
Renforcement de valeur à la sélection	Si des marqueurs génétiques existent permettant l'établissement généalogique, les individus à sélectionner peuvent être regroupés à un stade très précoce et leur famille d'origine peut être déterminée à la récolte.	Permet de cultiver les familles dans un milieu commun tout au long du cycle de production. Reporte les coûts jusqu'au moment de la récolte, ce qui réduit les risques. Nécessite moins de ressources.	Survie différenciée dans les lots regroupés, surtout à des âges précoces peut conduire à une contribution inégale des familles. Données relatives aux familles obtenues seulement à la récolte. Besoin d'identifier les poissons sélectionnés en même temps que l'analyse des marqueurs génétiques.
Indices de sélection	Un indice de sélection peut être généré sur la base de plusieurs caractères d'importance commerciale en fonction de leur importance relative. Utilisé comme norme dans la sélection combinée.	Optimise les gains pour la sélection de multiples caractères.	Exige des poids économiques pour les caractères dans l'objectif d'amélioration.

de divergence phénotypique augmentera à tel point que les lignées sélectionnées seront adaptées de façon si spécifique qu'elles seront dépendantes de l'environnement de culture et incapables de prospérer ni de se reproduire en dehors de ce dernier, ce qui est souvent le cas de nos jours pour le bétail et différentes espèces de cultures. Il est difficile d'estimer le temps que prendra cette transition mais il est probable que de nombreuses décennies seront nécessaires avant que la majorité des stocks aquacoles se distinguent à ce point des types sauvages. Pendant la phase de transition, les stocks faisant l'objet d'un élevage sélectif représentent un risque pour l'intégrité génétique des stocks sauvages et des mesures doivent être entreprises pour évaluer ce risque, le gérer et le réduire au minimum (chapitres 7 et 9).

4.3.2 *Hybridation et croisement*

L'hybridation correspond à la reproduction d'individus appartenant à deux espèces distinctes tandis que le croisement est l'accouplement de deux variétés ou stocks différents au sein d'une espèce. Ces deux méthodes ont habituellement comme objectif d'exploiter la variance génétique non additive à travers l'identification ou l'hétérosis positive significative, connue aussi comme la «vigueur hybride», pour les caractères d'importance commerciale. L'hétérosis positive se produit lorsque la performance de l'animal hybride ou croisé est meilleure que la moyenne des deux espèces ou des stocks parents. Dans la réalité, l'hétérosis ne devient réellement significative que lorsque la performance de l'animal hybride ou croisé est meilleure que l'un des stocks ou l'une des espèces parents. L'hétérosis pouvant varier en fonction de l'espèce/du stock parent maternel/le ou paternel/le, il est important, lors de l'évaluation de l'hétérosis, d'évaluer les méthodes réciproques.

Les deux techniques de croisement et d'hybridation sont relativement simples à maîtriser et peuvent avoir un impact immédiat sur la performance au sein d'une génération. Toutefois, cet avantage est limité et n'est optimisé que dans le croisement hybride ciblé spécifiquement entre les lignées parentes d'origine, à moins que les lignées parentales ne soient sélectionnées par la suite sur des générations en raison de leur aptitude combinée générale ou spécifique, se traduisant par des programmes d'amélioration complexes et relativement lents. Un certain degré d'hétérosis peut être maintenu dans les générations plus éloignées si le nombre de populations croisées est élevé. Le croisement est donc

généralement considéré comme un supplément potentiel à un programme destiné à l'amélioration génétique additive, tel qu'il a été susmentionné. Il est possible par exemple d'annuler les effets de croisement qui peuvent se produire dans les lignées individuelles de sélection massale en générant un stock de production par le croisement entre deux de ces lignées. La preuve d'hétérosis significative pour des caractères d'importance commerciale est relativement rare bien que la preuve de l'hétérosis pour la croissance indique un rôle dans le croisement pour l'amélioration commerciale des huîtres³⁹.

En raison de sa relative simplicité des efforts de recherche considérables ont été entrepris pour évaluer les croisements hybrides entre des espèces multiples et au cours des trois dernières décennies, des croisements hybrides ont été tentés. En dépit de ces vastes efforts de recherche, notamment avec les cyprinidés dans l'aquaculture asiatique, on ne compte que relativement peu d'hybrides en production commerciale. Même si le signalement de l'utilisation d'hybrides en aquaculture peut dans une certaine mesure être inférieur à la réalité, ce retour relativement mauvais sur la recherche en hybridation pourrait indiquer que les bénéfices commerciaux de la plupart des hybrides sont limités voire inexistantes. Quelques exemples d'intérêt commercial suscité par les hybrides existent tel que pour le tilapia hybride (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) en Chine et en Israël, le poisson-chat hybride (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) en Thaïlande et en Asie du Sud-est, et le bar d'Amérique hybride (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*). Le succès de ces hybrides est dû à l'«effet complémentaire» (à savoir les propriétés marchandes spécifiques de la combinaison des espèces parentes telles qu'un taux élevé de mâles pour le tilapia hybride et de bonnes caractéristiques de qualité de produit chez le poisson-chat hybride) plutôt qu'à une hétérosis positive pour les caractères quantitatifs.

Le défi majeur posé par les hybrides produits à des fins commerciales est le risque d'introgression des stocks d'espèces parentes pures à travers la contamination par des hybrides (à savoir le rétrocroisement d'hybrides avec des parents). Ceci devrait être évité car une fois que l'introgression se produit, le système est rompu et les performances des hybrides *supposées*

³⁹ Hedgecock, D., McGoldrick, D.J. & Bayne, B.L. 1995. Hybrid vigor in Pacific oysters: An experimental approach using crosses among inbred lines. *Aquaculture* 137: 285-298.

F_1 (qui peuvent en fait consister en une combinaison d'hybrides F_2 et des rétrocroisements) se révéleront inégales et imprévisibles.

Compte tenu de la relative simplicité de l'hybridation entre des espèces de poissons de proche parenté, l'hybridation peut être une hybridation de fortune, tel que cela a été le cas par exemple pour la production de carpes majeures dans certains pays. Les hybrides F_1 peuvent être utilisées soit accidentellement soit délibérément comme géniteurs dans les rétrocroisements ou dans la production de croisements F_2 . Cela conduira après plusieurs générations à un mélange général et à une ségrégation de gènes provenant des espèces parentes d'origine, connue comme l'introggression. Compte tenu de cette ségrégation indépendante des gènes, les phénotypes qui en résultent sont fortement variables et certains des poissons portant les gènes introgressés ne peuvent pas être distingués facilement des espèces pures d'origine. L'introggression est désormais habituelle chez le tilapia et chez d'autres groupes d'espèces croisées, où les hybrides peuvent être facilement produites soit artificiellement soit naturellement. Lorsque cela se produit chez les carpes majeures chinoises et indiennes (par ex. au Bangladesh⁴⁰ où des hybrides étaient produites à l'origine, par intérêt scientifique ou pour des raisons de pénurie de stock de géniteurs de certaines espèces), il y a des fortes chances que l'introggression hybride ait des répercussions néfastes sur les systèmes répandus de polyculture de carpe en raison de la perte de stratégies d'alimentation distinctes des espèces pures, ce qui se traduit à son tour par une réduction de l'efficacité de l'alimentation et de la production. Lorsque des cas d'hybridation non planifiée ne peuvent être évités, les répercussions à long terme de ces cas d'hybridation ad hoc peuvent être réduites au minimum si des systèmes sont en place pour exclure l'utilisation des hybrides comme futurs géniteurs.

⁴⁰ Mia, M.Y., Taggart, J.B., Gilmour, A.E., Gheyas, A.A., Das, T.K., Kohinoor, A.H.M., Rahman, M.A., Sattar, M.A., Hussain, M.G., Mazid, M.A., Penman, D.J. & McAndrew, B.J. 2005. Detection of hybridization between Chinese carp species (*Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichthys nobilis*) in hatchery broodstock in Bangladesh, using DNA microsatellite loci. *Aquaculture* 247: 267-273.
Simonsen, V., Hansen, M.M., Mensberg, K-L.D., Sarder, R.I. & Alam, S. 2005. Widespread hybridization among species of Indian major carps in hatcheries, but not in the wild. *J. Fish Biol.* 67: 794-808.

Il est donc recommandé que l'hybridation en aquaculture soit évitée à moins qu'elle ne fasse partie d'une stratégie systématique destinée à exploiter l'hétérosis ou les effets complémentaires pour des caractères d'importance commerciale. Le défi majeur posé par le croisement et l'hybridation est de veiller à ce que qu'ils soient utilisés de façon appropriée, qu'un programme d'hybridation comporte de réels avantages économiques et qu'ils soient gérés de sorte que l'introggression non désirée et non contrôlée ne se produira pas au sein d'écloseries ou de stocks sauvages.

4.3.3 *Manipulation du lot chromosomique*

Dans le cas des poissons ainsi que des crustacés et mollusques, il est possible de manipuler des lots entiers de chromosomes à travers la disruption du procédé de division des cellules dans l'œuf dont la fécondation est récente. Ces techniques ne sont généralement pas possibles pour des organismes plus élevés. Il existe quatre types de manipulation dont l'application est désormais habituelle: la gynogénèse, l'androgénèse, la triploïdie, la tétraploïdie.

L'androgénèse et la gynogénèse sont des formes d'hérédité uniparentale induite ou parthénogénèse selon laquelle la contribution génétique femelle ou mâle est respectivement inactivée par une certaine forme d'irradiation des gamètes, le complément chromosomique issu du mâle ou de la femelle est donc doublé. La duplication du complément haploïde est réalisée au moyen d'applications de chocs physiques (poissons à nageoires) ou parfois chimiques (principalement chez les mollusques) afin de rétablir la diploïdie. Les progénitures diploïdes gynogénétiques et androgénétiques qui en résultent sont fortement ou totalement consanguines en fonction du degré auquel la diploïdie est rétablie. Les individus homozygotes (c.à.d. 100 pour cent de consanguinité) peuvent être utilisés comme base de production de lignées isogènes clonales au sein desquelles tous les poissons sont génétiquement identiques. La gynogénèse et dans une moindre mesure l'androgénèse ont été appliquées à un large éventail d'espèces de poissons à nageoires, de mollusques et de crustacés et font l'objet d'un certain nombre d'applications pratiques et de recherche telles que celles pour l'élucidation de la base génétique de la détermination du sexe, l'induction rapide de la consanguinité, la cartographie génétique et l'analyse QTL (loci des caractères quantitatifs). L'androgénèse peut en

principe être également utilisée pour rétablir des génotypes provenant de sperme cryopréserveré ayant dans les cas où des œufs de la même espèce ne seraient pas disponibles. Toutefois, très peu d'applications commerciales de ces technologies ont vu le jour.

Les polypoides sont produits de façon similaire et ce par le biais de l'application de chocs physiques ou chimiques aux œufs fécondés normaux et la disruption de la seconde méiose donnant des triploïdes avec deux lots chromosomiques maternels et un lot paternel. La disruption de la mitose produit des tétraploïdes ayant un complément chromosomique diploïde dupliqué. Des triploïdes ont été produits chez un large éventail d'espèces de poissons et de mollusques et peuvent être réalisés à une échelle commerciale pour certaines espèces à condition qu'une fécondation artificielle des œufs à grande échelle soit possible. Des tétraploïdes viables ont été produits pour quelques espèces d'importance commerciale seulement, notamment les salmonidés et les huîtres.

La principale application de manipulation du lot chromosomique en aquaculture était en relation avec la stérilité des triploïdes induits qui ont été produits chez de nombreuses espèces de poissons et plusieurs mollusques bivalves. Les poissons stériles ont un certain attrait pour l'aquaculture. En premier lieu, ils peuvent dépenser relativement plus d'énergie dans la croissance somatique et en deuxième lieu, ils offrent des avantages possibles de confinement biologique facilitant la culture de génotypes exotiques et probablement à l'avenir, la culture de poisson transgénique à croissance améliorée. Toutefois les poissons à nageoires triploïdes n'ont généralement pas une croissance plus rapide que leurs congénères⁴¹ diploïdes bien que cela puisse se produire après maturation, moment où les triploïdes peuvent également avoir des proportions de transformation (poisson habillé, vidé et paré) plus élevées. Tous les poissons à nageoires femelles triploïdes induites qui ont été produites jusqu'à présent ont démontré une stérilité totale; les mâles triploïdes montrent un plus grand développement des gonades que les femelles, sont généralement stériles même si l'on ne peut pas exclure complètement de rares cas de fertilité de poissons à nageoires mâles triploïdes. Inversement, de nombreuses études ont montré que les bivalves triploïdes, bien que n'étant entièrement stériles chez certaines espèces, affichent de meilleures performances que les diploïdes de contrôle.

⁴¹ Tiwary, B.K., Kirubakaran, R.& Ray, A.K. 2004. The biology of triploid fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 14, 391-402.

L'application commerciale de manipulations de lots chromosomiques la plus significative concerne les crustacés et les mollusques chez lesquels les triploïdes sont largement cultivés; environ 50 pour cent des huîtres d'élevage, par exemple, produites aux États-Unis d'Amérique et en France sont des triploïdes. Il a été observé que les crustacés ne se prêtent pas à la recherche relative à la manipulation chromosomique en raison de la difficulté que représente l'obtention d'œufs fécondés pour la fécondation artificielle. Cependant, des manipulations ont été possibles pour quelques espèces, notamment des cas de triploïdie ont été induites avec succès chez la crevette pénéidée. Des triploïdes peuvent également être produits à partir d'accouplements de diploïdes avec des tétraploïdes pour les quelques espèces chez qui des tétraploïdes ont été produits et se sont révélés non viables, en particulier les huîtres⁴² ce qui risque fort de constituer un moyen de production de masse de triploïdes plus viables et fiables d'un point de vue commercial.

Il est probable que les triploïdes stériles prendront de l'importance en aquaculture pour la protection des droits des éleveurs et pour le confinement biologique. Pour ce qui est de cette dernière application, il s'avérera nécessaire de vérifier les taux d'induction de triploïdie et de vérifier le potentiel de fertilité des poissons triploïdes, et ce, rapidement et avec rentabilité. Ces facteurs apparaissent d'une importance vitale quant à l'identification du risque selon lequel les poissons issus de l'élevage, qu'ils aient fui ou qu'ils aient été relâchés, seront viables d'un point de vue de la reproduction. Les principaux défis posés à ces technologies consistent à produire de façon fiable et vérifiable des poissons stériles à 100 pour cent d'un éventail d'espèces d'importance commerciale, notamment celles où les possibilités qui découlent du confinement biologique et/ou de la protection de la propriété intellectuelle ont une valeur significative.

4.3.4 *Contrôle des sexes*

Il existe un fort avantage commercial à cultiver des populations monosexes chez des espèces caractérisées par un dimorphisme sexuel significatif pour des caractères d'importance commerciale et dans les cas où les espèces atteignent la maturité sexuelle au sein des milieux de culture avant d'atteindre la taille de récolte. Il peut également y avoir

⁴² Guo, X. & Allen, S.K. 1994. Viable tetraploids in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas* Thunberg) produced by inhibiting polar body 1 in eggs from triploids. *Molecular Marine Biology and Biotechnology* 3: 42-50.

des applications de stocks monosexes pour le confinement biologique bien que ce soit moins efficace que l'utilisation de stocks stériles. La combinaison de ces facteurs peut avoir de profondes répercussions sur la rentabilité de culture de certaines espèces, notamment chez les tilapias.

Des populations monosexes ou quasi monosexes peuvent être produites au moyen du sexage manuel, de l'hybridation, de la sélection et de l'utilisation directe et indirecte de l'inversion sexuelle des hormones. Le sexage manuel est une activité à forte intensité de main d'œuvre et inefficace, et les croisements hybrides ne s'appliquent qu'à des combinaisons spécifiques d'espèces, en particulier ici encore chez les tilapias. Il a récemment été démontré qu'il existe une base génétique à la différenciation des sexes montrant une dépendance à la température telle chez le tilapia que le taux de mâles résultant d'un traitement des alevins à température élevée peut être augmenté par l'élevage sélectif⁴³. Les méthodes les plus applicables en ce qui concerne la production de stocks monosexes sont celles effectuées à travers le renversement des sexes utilisant des hormones ou à travers des programmes d'amélioration génétique. Le renversement des sexes direct peut d'ordinaire être appliqué quelque soit le système de détermination sexuelle et a été réalisé avec succès pour une série d'espèces à travers l'immersion d'œufs et d'alevins dans des solutions d'hormones ou à travers l'alimentation de régimes traités aux hormones⁴⁴. L'approche indirecte qui consiste en l'application de programmes d'amélioration nécessite néanmoins une compréhension des mécanismes génétiques de détermination sexuelle dans une espèce, le principal facteur de succès étant un système monogénique tel que l'hétérogamétie mâle (femelle XX; mâle XY) comme chez les salmonidés et certains tilapias ou l'hétérogamétie femelle (femelle WZ; mâle ZZ) comme chez certains tilapias et crustacés. La figure 4.2 illustre des programmes d'amélioration de remplacement en vue de produire une progéniture composées entièrement de mâles dans des espèces caractérisées par une hétérogamétie femelle et une progéniture composée entièrement de femelles dans des espèces caractérisées par une hétérogamétie mâle.

⁴³ Wessels, S. et G. Hörstgen-Schwark. 2007. Selection experiments to increase the proportion of males in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by means of temperature treatment *Aquaculture* 272, Supplement 1: S80-S87.

⁴⁴ Piferrer, F. 2001. Endocrine sex control strategies for the feminization of teleost fish. *Aquaculture* 197: 229-281.

Les bénéfices possibles de stocks femelles monosexes dans l'aquaculture des salmonidés ont été définis depuis longtemps et portent sur l'amélioration de la disponibilité de géniteurs femelles et sur la possibilité d'éviter la maturation précoce des mâles qui entraîne une réduction de la croissance, un plus mauvais taux de survie et la perte après maturation de la chair de qualité. L'utilisation d'une progéniture composée entièrement de femelles et produite en utilisant un stock de géniteurs de sexes renversés (neomâle) n'est pas universelle, il existe néanmoins des secteurs dans certains États au sein desquels des proportions significatives de production sont monosexes.

Les stocks monosexes de mâles comportent des avantages commerciaux considérables chez un certain nombre d'espèces, plus particulièrement chez le tilapia en raison des problèmes liés tant à la maturation précoce qu'à la reproduction non désirée au sein du système de production observées chez cette espèce. Ces problèmes peuvent être provoqués tant par une masculinisation directe qu'indirecte. Le renversement de sexe vers un mâle a été réalisé chez une série de poissons à nageoires à travers l'application d'androgènes exogènes telle que l'administration de régimes ayant subi un traitement méthyltestostérone aux premiers stades de développement d'un animal, ce qui est habituel dans les éclosiers de tilapias à travers le monde. Des programmes d'amélioration en vue d'une production entière de mâles sont assez facilement réalisés chez les espèces hétérogamétiques femelles telles que le tilapia bleu (*Oreochromis aureus*) et le bouquet géant (*Macrobrachium rosenbergii*). Chez les espèces hétérogamétiques mâles, il est également possible de produire une progéniture composée entièrement de mâles à travers la génération de «supermâles» YY nouveaux, un programme de ce genre a d'ailleurs été développé à une échelle commerciale avec le tilapia du Nil (*O. niloticus*)⁴⁵

Des programmes de contrôle du sexe ne sont d'intérêt que pour certaines espèces pour lesquelles des avantages économiques significatifs seront tirés de la culture de stocks monosexes. Il est fort probable que l'induction directe de changement de sexe par recours aux hormones rencontrera une résistance de la part des consommateurs potentiels du poisson traité bien

⁴⁵ Mair, G.C., Abucay, J.S., Skibinski, D.O.F., Abella, T.A. et Beardmore, J.A. 1997. Genetic manipulation of sex ratio for the large scale production of all-male tilapia *Oreochromis niloticus* L. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54, 396-404.

que des études aient démontré que l'hormone exogène en excès disparaît des tissus du poisson peu de temps après l'arrêt du traitement. Le grand public accepterait probablement l'utilisation d'approches plus sensibles à l'écologie et l'éthique (telles que la manipulation de la détermination environnementale du sexe plutôt que par un traitement hormonal). Des approches indirectes telles que des programmes d'amélioration visant à la production monosexue devraient être acceptées par un public plus large mais se trouvent confrontées à un défi majeur, à savoir de devoir reposer sur une compréhension globale des mécanismes génétiques de détermination du sexe, ce qui nécessite des efforts de recherche considérables.

Le contrôle du sexe peut être utilisé comme une forme de confinement biologique dans la mesure où tout poisson introduit ou ayant fui d'opérations aquacoles ne serait pas en mesure de se reproduire avec les autres, et serait donc incapable de former des populations férales durables. Le stock en élevage devrait être garanti à 100 pour cent monosexue pour que cette technologie constitue une forme efficace de confinement. Par ailleurs, cette dernière ne pourrait être applicable que là où il n'existe aucune espèce compatible en ce qui concerne la reproduction dans l'environnement hôte.

4.3.5 *Transgénèse*

La transgénèse est une technologie génétique selon laquelle une séquence de gènes isolée provenant d'un organisme est insérée dans un autre organisme afin de lui attribuer des propriétés nouvelles ou modifiées. La séquence de gènes qui est transférée est appelée construction génétique et est composée d'un gène fonctionnel et d'un gène promoteur dont le rôle est d'activer le gène fonctionnel. Les organismes résultant de transgénèses réussies sont classés comme des organismes génétiquement modifiés (OGM) et sont donc sources de préoccupations pour la société et pour les réglementations. Les premières recherches ont utilisé des constructions génétiques étrangères issues d'autres espèces, y compris d'espèces terrestres. Lors de la planification de recherche transgénétique, il est très important d'avoir pleine conscience des risques et des préoccupations quant à l'éthique, la santé humaine et les impacts environnementaux du poisson transgénétique et de bien connaître le cadre des politiques dans lequel la recherche serait conduite et sous quelles politiques les produits de recherche seraient réglementés. On recommande comme réponse aux risques et aux préoccupations concernant le poisson transgénétique

de concentrer la recherche et le développement sur la production d'autotransgéniques, c.à.d la séquence de gènes qui a été introduite est dérivée des mêmes espèces.

La transgénèse est un domaine de recherche majeur de la génétique des poissons depuis le début des années 1990. La recherche dans ce domaine est plus avancée que pour tout autre aspect concernant le bétail en raison de la relative facilité de manipulation de la biologie reproductive des espèces aquatiques.

L'induction de la transgénèse devrait impliquer un certain nombre d'étapes différentes: identification du gène cible approprié et développement de construction génétique; introduction du gène dans des œufs récemment fécondés, d'ordinaire par micro-injection ou électroporation; détermination de l'incorporation du transgène dans le génome hôte; détermination de l'expression transgène; détermination de l'hérédité du transgène et; quantification de l'effet du transgène sur les caractères ciblés et non ciblés. L'importance de la dernière étape de cette séquence est critique puisqu'il sera nécessaire de caractériser pleinement les propriétés du poisson transgénique afin d'être en mesure d'évaluer les risques potentiels liés à sa culture. La cible principale de la recherche transgénique portant sur les poissons jusqu'à ce jour est l'amélioration du taux de croissance en aquaculture à travers l'introduction de constructions génétiques d'hormones de croissance. Les travaux de recherche ont également ciblé d'autres caractères, tels que la maladie et le contrôle de la reproduction. Par ailleurs la recherche génétique devrait mettre l'accent sur les caractères dont l'amélioration est difficile à réaliser à travers des approches quantitatives. Les poissons transgéniques peuvent aussi être considérés comme des modèles utiles pour des études de régulation des gènes et d'expression de gène; ils ont également un potentiel en tant qu'industrie biologique pour produire de produits pharmaceutiques de grande valeur.

Les étapes susmentionnées ont été réalisées avec succès chez un certain nombre d'espèces de poissons à nageoires et de lignées transgéniques dont la production a affiché parfois des augmentations considérables dans les performances de croissance⁴⁶. Il est clair que la transgénèse est en mesure d'apporter des changements assez rapides dans les caractères

⁴⁶ FAO. 2000. *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2000*. Rome. 152p.

d'importance commerciale mais la prise de conscience des risques qui y sont liés est essentielle pour la planification et la mise en œuvre de tels travaux de recherche (chapitre 7).

Bien que l'amélioration des performances dans des conditions d'élevage ait été démontrée, on ne compte pas de poisson de consommation transgénique en production commerciale. Le seul exemple présent sur le marché actuellement est le GloFish[®], un poisson zèbre transgénique fluorescent dont la vente a été approuvée qui n'est vendu qu'aux États-Unis d'Amérique. Au moment de la rédaction du présent document, il y a une affaire importante et pouvant faire jurisprudence selon laquelle la US Food and Drug Administration (FDA) évalue une demande de licence de commercialisation d'une espèce de saumon transgénique cultivée en aquaculture. Même s'il s'agit d'un processus qui prendra du temps, toute approbation conditionnelle de la part de la FDA (qui sera probablement limitée à des systèmes de production fermés et basés à terre) constituera un modèle sur lequel seront pris en considération les approbations de commercialisation d'autres lignées de poisson transgénique dans d'autres États.

Si le manque de commercialisation de poisson transgénique peut se justifier en partie par des raisons techniques, la principale raison demeure la préoccupation quant aux risques d'ordre éthique, sur le bien-être animal, sur la sécurité alimentaire des personnes et les risques environnementaux liés à la culture du poisson transgénique. Les décideurs politiques, les managers de ressources et ceux qui envisagent l'utilisation des OMG devraient se familiariser avec les questions portant sur l'évaluation et la gestion des risques liées au poisson transgénique, tant dans la recherche que dans une possible production commerciale⁴⁷.

Alors que des solutions pour nombre des contraintes techniques ont été développées en vue de réaliser avec succès l'application de la transgénèse chez les poissons, les principaux défis limitant la commercialisation de cette technologie résident dans une évaluation complète des risques environnementaux et éthiques ainsi que ceux posés à la santé des consommateurs.

⁴⁷ Kapuscinski, A.R., Hayes, K.R., Li, S. et Dana, G. (éds). (E.M. Hallerman and P.J. Schei, series editors). 2007. Environmental Risk Assessment of Genetically Modified Organisms, Vol 3: Methodologies for Transgenic Fish. CABI Publishers. 310p.

4.3.6 *Marqueurs génétiques et sélection assistée par marqueurs*

Un marqueur génétique est une variation de gènes ou une séquence d'ADN pouvant être identifiée par des techniques moléculaires et utilisée afin de permettre l'identification de génotypes et identifier ainsi des individus ou des groupes présentant un intérêt. Avant ces avancées en matière de génétique moléculaire, les isozymes et autres protéines constituaient les marqueurs de choix. De nos jours, il existe une variété de marqueurs ADN, tels que les polymorphismes d'ADN (ADNmt) mitochondrial, les polymorphismes de longueur des fragments de restriction (RFLP), l'amplification aléatoire d'ADN polymorphe (RAPD), les marqueurs de répétition de séquence (principalement les microsatellites), le polymorphisme de la longueur des fragments d'amplification (PLFA) et le polymorphisme d'un seul nucléotide (SNP). Les marqueurs les plus fréquemment utilisés en aquaculture sont les microsatellites même si les AFLP et les SNP sont de plus en plus appliqués. Le tableau 4.2 fait la synthèse des applications possibles pour les marqueurs génétiques dans le secteur élargi de l'aquaculture. Ce tableau dresse également la liste des marqueurs privilégiés pour les différentes priorités.

Les marqueurs d'ADN polymorphes ont désormais été développés par des banques d'ADN pour la majorité des espèces aquacoles majeures telles que les carpes, les tilapias, les crevettes, les salmonidés et les poissons-chats. Ces marqueurs ont un certain nombre d'applications importantes de plus en plus utilisées dans le secteur aquacole (en majorité dans la recherche mais l'application commerciale est en hausse) à mesure que des entreprises investissent dans des programmes génétiques et que le coût des analyses de marqueurs génétiques chute.

L'application de marqueurs la plus fréquente actuellement dans les programmes génétiques est l'établissement des liens de parenté selon lequel l'efficacité des programmes d'élevage sélectif peut être améliorée par le recours à des marqueurs génétiques en vue d'identifier des poissons sélectionnés à des familles et par conséquent à des parents individuels. Le fait de ne plus reposer sur le besoin de maintenir les familles séparées (soit à travers l'évaluation de performances soit au moins jusqu'à ce qu'ils soient marqués physiquement) devrait contribuer à réduire le problème des effets environnementaux sur les performances des familles et permettre à davantage de familles d'être évaluées, ce qui peut produire des intensités de sélection plus élevées et augmenter la réponse à la sélection.

Tableau 4.2 Description des applications pratiques de technologies relatives aux marqueurs génétiques en aquaculture.^a

Technique	Description	Applications	Remarques
Identification de stock/ souche	Une suite de marqueurs génétiques peut être utilisée pour identifier des marqueurs utilisés pour diagnostiquer les autres espèces ou stocks. Marqueurs préférés: microsatellites, SNP, AFLP, isozymes et RAPD.	Discriminer les différents stocks en élevage y compris la protection des droits des producteurs sur les stocks améliorés. Identifier l'introgession hybride intentionnelle et non intentionnelle. Identifier ou confirmer les fuites de poissons l'élevage aquacole. Identifier les taux de recapture dans les pêches aménagées.	Les diagnostics de marqueurs (de différents types) utilisés pour les espèces ont été développés pour de nombreuses espèces d'importance commerciale et peuvent être disponibles facilement. Les marqueurs utilisés pour les différents stocks ou différentes souches doivent être développés de façon générale. De tels marqueurs risquent de gagner de plus en plus d'importance pour la traçabilité des stocks aquacoles.
Quantification ou caractérisation de la variation génétique	Les marqueurs génétiques peuvent être utilisés pour quantifier et caractériser les niveaux de variation génétique tels que le nombre d'allèles par locus, la proportion d'allèles polymorphiques et la moyenne d'hétérozygotie. Marqueurs préférés: AFLP et microsatellites.	Déterminer la probabilité et la gravité de la consanguinité. Estimation des tailles de populations effectives (N_e) actuelles et anciennes. Comparer les mérites des stocks fondateurs candidats pour les populations de base en vue de l'élevage sélectif. Confirmer l'homozygotie dans les haploïdes doubles.	Dans les programmes génétiques, il est utile de posséder un lot type de marqueurs génétiques pour déterminer les niveaux de référence de variabilité (ainsi que d'autres applications) dans les stocks fondateurs pour que les impacts à plus long terme de la domestication et de la gestion génétique puissent être quantifiés.
Détermination des rapports génétiques entre les stocks	Les marqueurs peuvent être utilisés pour construire des relations génétiques entre les stocks multiples tels que les arbres phylogénétiques. Marqueurs préférés: ADNmt, microsatellites, AFLP.	Identifier l'origine (par ex. la population d'origine/source) des stocks cultivés. Déterminer la structure génétique des populations sauvages.	Il est très utile de comprendre la structure génétique du poisson sauvage afin d'évaluer les risques de contamination génétique provenant de l'aquaculture fondée sur les stocks génétiquement modifiés et de guider les politiques de développement sur la translocation. C'est aussi une information utile au moment de la formation des stocks fondateurs génétiquement variables.

^a Adapté d'après Liu, Z.J. & Cordes, J.F. 2004. DNA marker technologies and their applications in aquaculture genetics. *Aquaculture* 238: 1-37.

Tableau 4.2 (Suite) Description des applications pratiques de technologies relatives aux marqueurs génétiques en aquaculture

Technique	Description	Applications	Remarques
Établissement des liens parenté (détermination de la généalogie)	L'emploi d'une suite de marqueurs génétiques pour déterminer la probabilité selon laquelle une progéniture individuelle provient d'un croisement de deux parents spécifiques. Marqueurs préférés: microsatellites et SNP.	Déterminer le nombre de géniteurs contribuant à la progéniture dans un dans un frai regroupé et donc estimer le N. Identifier la famille d'origine dans la sélection de futurs géniteurs en vue de réduire la consanguinité au minimum.	Le coût d'application des systèmes de marqueurs utilisés pour l'établissement des liens de parenté est en déclin (notamment pour les SNP) et ils sont de plus en plus utilisés pour l'identification de familles dans les programmes d'amélioration. Peut poser problème dans la façon d'identifier les poissons alors qu'ils sont genotypés pour l'établissement de parenté.
Sélection assistée par marqueurs	Sélection d'un marqueur spécifique connu pour être associé à un caractère d'importance commerciale (connu comme locus à effets quantitatifs – QTL) plutôt que aux caractères mêmes. Exige que des cartes génétiques soient construites. Marqueurs préférés: SNP, microsatellites et autres.	Aucune application commerciale en aquaculture en cours. Peu d'espèces ont été adéquatement cartographiées. Potentiel à développer pour des caractères difficiles à améliorer en utilisant les approches traditionnelles.	La SAM est en cours d'utilisation pour l'amélioration génétique pour un petit nombre de caractères dans l'élevage de bétail mais n'est pas encore développé de façon adéquate ou prouvée pour l'aquaculture.

Dans un programme d'amélioration idéal, des marqueurs génétiques sont être utilisés pour: 1) caractériser le(s) stock(s) fondateur(s) potentiel(s) pour favoriser le développement d'une population de base génétiquement variable; 2) comprendre la structure naturelle des populations pour guider tant la formation de stocks fondateurs que l'évaluation des risques posés par la culture de stocks génétiquement modifiés; 3) améliorer l'efficacité de l'élevage sélectif à travers l'identification généalogique et 4) définir l'impact à long terme de la domestication et de la gestion (ou de la mauvaise gestion) génétique des stocks en captivité (par ex. définir la perte de variation génétique là où la taille de la population effective n'est pas optimale).

Les marqueurs génétiques peuvent également être utilisés pour construire des cartes génétiques au sein desquelles des marqueurs liés sont désignés à des groupes de liaison et en dernier lieu à des chromosomes individuels. Les marqueurs génétiques étroitement liés à des gènes qui contribuent à des caractères quantitatifs sont plus connus sous le terme de loci à effets quantitatifs (QTL). Des programmes de cartographie des gènes sont désormais en cours de réalisation pour plusieurs espèces aquacoles importantes dont l'huître du Pacifique, les salmonidés, la barbue d'Amérique, le tilapia du Nil et le bar européen⁴⁸. Une fois que les cartes de liaison génétique sont développées, elles peuvent être examinées pour identifier les QTL présentant un intérêt.

L'effet QTL peut ainsi être quantifié en établissant une corrélation entre l'hérédité des allèles de marqueurs avec les performances individuelles pour le caractère ciblé. Un certain nombre de QTL pour des caractères importants a été identifié chez les poissons tels que la tolérance à la température, la croissance et la résistance aux maladies (par ex. la tolérance au froid chez le tilapia⁴⁹).

⁴⁸ Garber, A.F. et Sullivan, C.V. 2006. Selective breeding for the hybrid striped bass (*Morone chrysops*, Rafinesque x *M. saxatilis*, Walbaum) industry: status and perspectives. *Aquaculture Research* 37: 319-338.

⁴⁹ Cnaani, A., Hallerman, E.M., Ron, M., Weller, J.I., Indelman, M., Kashi, Y., Gall, G.A. et Hulata, G., 2003. Detection of a chromosomal region with two quantitative trait loci, affecting cold tolerance and fish size, in an F₂ tilapia hybrid. *Aquaculture*, 223(1-4): 117-128.

La sélection assistée par marqueurs (SAM) est le fait d'incorporer des marqueurs génétiques liés aux QTL dans des programmes d'amélioration génétique et qui a le potentiel d'améliorer la sélection, notamment pour des caractères susceptibles d'avoir une héritabilité élevée ou qui ne peuvent pas être mesurés directement sur les individus en élevage. Alors qu'il existe un certain nombre d'efforts de recherche pour développer et évaluer les QTL, il n'y a à ce jour aucun stock commercial utilisant la SAM.

Les bénéfices potentiels des marqueurs génétiques dans la majorité des applications ne sont pas contestés bien que reste à vérifier le réel potentiel d'incorporation de la sélection assistée par marqueurs au sein de programmes d'amélioration ainsi que la production et les gains économiques qui en résulteront, ce qui représente un défi majeur pour la recherche.

4.4 Situation actuelle de l'amélioration génétique et scénarios futurs

Il est difficile d'estimer la proportion de la production mondiale aquacole actuellement de stock domestiqué; les meilleures estimations indiqueraient toutefois qu'approximativement 35 pour cent de la production aquacole est non domestiquée, consistant essentiellement de stocks sauvages qui ne sont donc pas adaptés aux environnements de captivité. En comparaison, les autres formes de production agricole sont presque exclusivement composées de patrimoine génétique domestiqué et génétiquement amélioré. Les avantages de la domestication en termes d'adaptation aux milieux de captivité sont tels qu'on recommande à tout secteur aquacole potentiellement durable à long terme de lancer des programmes de domestication au sein desquels la diversité génétique des stocks est gérée de façon efficace.

Selon les estimations, la proportion de la production aquacole mondiale reposant sur des stocks génétiquement améliorés (principalement issus d'élevage sélectif mais comprenant aussi des stocks monosexes et triploïdes) se situerait entre 10 et 20 pour cent. Il y a donc là clairement la possibilité d'augmenter considérablement la production ainsi que l'efficacité de production à travers une mise en œuvre répandue de programmes efficaces d'amélioration génétique avec un accent particulier sur l'élevage sélectif.

Parmi les défis auquel fait face le développement à venir de la génétique appliquée à l'aquaculture figure le relatif manque de ressources aptes à soutenir le développement de programmes d'amélioration. Ce déficit porte sur des ressources physiques, économiques et humaines. Des programmes d'amélioration bien menés générant de puissants gains génétiques font usage d'installations permettant l'élevage de multiples familles de poissons. Etant donné leur nature à long terme, ils requièrent des financements prolongés et il n'est pas rare de devoir attendre de nombreuses années avant que les retours sur investissement des programmes génétiques ne soient pleinement réalisés à travers une augmentation du revenu provenant de la production de semences ou à travers l'amélioration de l'efficacité de production (chapitre 6). Une limite supplémentaire a trait aux ressources humaines, notamment dans le domaine de la génétique quantitative qui exige généralement une formation spécialisée à un niveau relativement élevé.

Il apparaît incontestable que la demande de produits aquacoles en croissance constante continuera à mener la recherche pour de meilleures efficacités de production, l'amélioration génétique étant d'ailleurs en passe de devenir une composante majeure de ces efforts. Les programmes d'amélioration génétique sont destinés à transformer les stocks aquacoles sur les décennies à venir, l'élevage sélectif étant au cœur de ces programmes; disposant toutefois de technologies supplémentaires, ils valoriseront ainsi ces efforts là où les avantages nets sont apparents. Lorsque les États favorisent et/ou investissent dans l'expansion de l'aquaculture, il est important d'avoir pleine conscience des principes de base de la gestion génétique, des approches de l'amélioration génétique les plus rentables ainsi que des risques environnementaux et écologiques liés aux activités répandues de l'amélioration des stocks de la part des producteurs. Avec ces facteurs technologiques, l'apport de ressources adéquates en vue de soutenir la mise en œuvre de stratégies d'amélioration génétique à long terme est également un point critique.

5 DIFFUSION DES SOUCHES GÉNÉTIQUEMENT AMÉLIORÉES ET ACCORD DE TRANSFERT DE MATÉRIEL⁵⁰

5.1 Introduction

Cette section couvre (i) le transfert de souches génétiquement améliorées d'un pays à l'autre ainsi que (ii) la multiplication et la diffusion du matériel génétique entre des pays. Bien qu'elles soient liées, ces deux sous-sections comportent également des questions spécifiques à chacune d'entre elles et sont traitées séparément.

Conformément à l'article 9.1.2 du Code de conduite pour une pêche responsable, «*Les États devraient promouvoir le développement et la gestion responsables de l'aquaculture, y compris des évaluations préalables des effets du développement de l'aquaculture sur la diversité génétique et sur l'intégrité des écosystèmes, fondées sur l'information scientifique disponible la plus fiable*». L'article 9.3 poursuit: «*Les États devraient conserver la diversité génétique et maintenir l'intégrité des communautés... devraient coopérer à l'élaboration, à l'adoption et à la mise en application de codes internationaux de pratiques et de procédures en ce qui concerne les introductions et les transferts...*» et «*réduire au minimum les risques de transmission de maladies, ainsi que d'autres effets nuisibles, aux stocks naturels et à ceux des élevages...*» Les directives techniques visant la mise en œuvre de l'article 9 (Développement de l'aquaculture) du Code ont été développées en 1997⁵¹ et un large éventail d'instruments et d'outils a été élaboré depuis dans la recherche d'un développement de l'aquaculture qui soit responsable et durable. Ces directives s'efforcent également d'être compatibles avec la Convention sur la diversité biologique⁵² (voir aussi chapitre 2) et autres groupes de consultations en matières de politiques conçues pour veiller à une utilisation judicieuse des ressources génétiques sauvages et améliorées⁵³.

Les sections qui suivent proposent des orientations d'ordre général sur la diffusion des souches génétiquement améliorées entre les pays et au

⁵⁰ Contribution de R.E. Brummett, M.C.M. Beveridge, R.W. Ponzoni, R.J. Lawton et D.M. Bartley

⁵¹ FAO (1998). Développement de l'aquaculture. FAO Directives pour une pêche responsable. No. 5. Rome, FAO. 55p.

<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/003/W4493f/W4493f00.pdf>.

⁵² www.cbd.int/default.shtml

sein de ces derniers, se référant particulièrement aux lignées de poissons améliorées à travers l'élevage sélectif traditionnel, par opposition aux organismes vivants modifiés (OVM)⁵⁴ ou hybrides transgéniques, que l'on devrait plutôt considérer comme des introductions d'espèces non indigènes. Ces orientations devraient servir de point de départ pour le développement de directives relatives à des situations plus spécifiques. Les informations fournies dans la présente section sont de nature technique, fondement de ces directives. Cette section ne traite néanmoins pas certaines politiques ou certains aspects juridiques, tels que l'accès et le partage des avantages ou la propriété intellectuelle, qui réglementent aussi l'accès aux ressources génétiques halieutiques ainsi qu'à leurs conditions d'utilisation.

Comme il a été susmentionné, le présent chapitre ne se concentre pas sur l'échange de ressources génétiques sauvages, lesquelles pourraient être fournies à des pays tiers pour des besoins de recherche, d'élevage et de formation dans le domaine de l'aquaculture. Les mécanismes d'échange des ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans d'autres secteurs, tels que les cultures, ont reçu jusqu'à présent bien plus d'attention internationale que les ressources génétiques halieutiques pour l'aquaculture. Ces mécanismes détaillent d'ordinaire les droits et obligations du fournisseur et du destinataire à l'égard du matériel transféré. On pourrait s'attendre à des tendances similaires en aquaculture dans la mesure où l'échange des ressources génétiques halieutiques augmentera dans les prochaines années avec le développement des programmes d'amélioration à travers le globe.

⁵³ ICES (2004) Code of Practice on the Introductions and Transfers of Marine Organisms www.ices.dk/reports/general/2004/ICESCOP2004.pdf; Hewitt, C.L., Campbell, M.L. & Gollasch, S. (2006). Alien Species in Aquaculture. Considerations for Responsible Use. www.iucn.org/dbtw-wpd/edocs/2006-036.pdf. IUCN, Gland, Switzerland; WorldFish Center (2002) Nairobi Declaration on Aquatic Biodiversity and Use of Genetically Improved and Alien Species for Aquaculture in Africa. www.worldfishcenter.org/cms/list_article.aspx?catID=39&ddlID=109. WorldFish Center (2003) Dhaka Declaration on Ecological Risk Assessment of Genetically Improved Fish, www.worldfishcenter.org/Pubs/Dhaka%20booklet/Dhaka_booklet.pdf

⁵⁴ D'après le Protocole de Carthage sur la biosécurité, un OVM s'entend d'un organisme résultant de manipulations d'ADN directes ou de la fusion de cellules qui ne sont pas issues d'une famille taxonomique.

5.2 Transfert d'une souche améliorée vers un autre pays

5.2.1 Introduction

Le Code préconise l'emploi du Code de pratique sur les introductions et les transferts d'organismes marins de 2004 développé par le Conseil international pour l'exploration de la mer (CIEM) ainsi que des Directives techniques relatives à une utilisation responsable et à un contrôle des espèces non indigènes sur le déplacement intentionnel de poissons d'un pays à l'autre. Le Code encourage également les états à effectuer ces transferts de telle façon que les risques posés à la diversité biologique et génétique indigène soient réduits au minimum. De nombreux cas de concurrence, de prédation, de transmission de maladies et de dommages occasionnés aux habitats ont été attestés suite à l'introduction d'espèces étrangères, ce qui devrait être géré avec la plus grande attention⁵⁵. Dans le cas de lignées sélectionnées, les observations effectuées chez les salmonidés ont clairement montré que les fréquences de gènes modifiés chez les poissons (fréquence de gènes modifiés effectuée en vue de l'amélioration de stock ou utilisée en aquaculture) peuvent, lorsque les poissons sont relâchés dans la nature et croisés avec le génome sauvage, affecter la santé à long terme des populations indigènes de la même espèce ou de proche parenté par le biais de l'introgression génétique (c.à.d. l'introduction d'allèles dans la population sauvage issue de la souche améliorée)⁵⁶.

5.2.2 Conseils en matière de transfert

Plutôt que frontière locale, régionale ou internationale, l'unité géographique la plus importante qu'il convient de considérer d'un point de vue biologique en vue d'un transfert de matériel génétique

⁵⁵ Sindermann, C.J. 1993. Disease risks associated with importation of non-indigenous marine animals. *Marine Fisheries Review*, 54, 1-10; McVicar, A.H. (1997) Disease and parasite implications of the coexistence of wild and cultured salmon populations. *ICES Journal of Marine Science*, 54, 998-1008.

⁵⁶ McGinnity *et al.* 2003. Fitness reduction and potential extinction of wild populations of Atlantic salmon, *Salmo salar*, as a result of interactions with escaped farmed salmon. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 270: 2443-2450; Jonsson, B. et Jonsson, B. (2006) Cultured salmon in nature: a review of their ecology and interactions with wild fish. *ICES Journal of Marine Science* 63: 1162-1181; Verspoor, E., Stradmeyer, L., Neilsen, J.L. (éds.). 2007. *The Atlantic Salmon. Genetics, Conservation and Management*. Blackwells, Oxford.

aquatique amélioré est le bassin hydrographique⁵⁷ Bien que les agences du gouvernement doivent prendre en considération les transferts à la fois au sein d'un pays et ceux provenant de l'extérieur, la proposition d'un transfert de poissons au sein d'un bassin hydrographique à travers des frontières politiques peut être considéré comme un transfert moins critique que celui d'un bassin hydrographique à un autre au sein de la même juridiction politique ou d'un même pays.

En l'absence d'autorité nationale désignée pour les transferts de matériel génétique, les demandes d'introduction de lignées améliorées devraient être adressées auprès du plus haut fonctionnaire des pêches en charge dans le pays d'importation (par ex. le directeur des pêches, de l'environnement ou de l'agriculture), demande qui doit se fonder sur une étude d'impact sur l'environnement (EIE) complète ainsi que sur une analyse de rentabilité.

Les directives relatives à l'EIE et l'analyse des coûts négatifs potentiels liés à toute importation devraient prendre en considération:

- la présence de diversité génétique de valeur et particulière au sein du bassin hydrographique dans lequel le nouveau matériel sera importé;
- la présence d'une autre biodiversité aquatique rare ou menacée sur laquelle l'introduction peut avoir des impacts négatifs;
- la présence d'espèces locales indigènes adaptées ou de stratégies d'amélioration génétique des poissons d'élevage existants qui pourront servir d'introduction alternative.

Le Code du CIEM préconise un cadre pour l'introduction d'organismes aquatiques couvrant tant les espèces étrangères que les lignées améliorées. Le Code est de concept simple et comprend des exigences auxquelles toute personne, agence ou entreprise ayant l'intention d'utiliser du matériel génétique non indigène devrait satisfaire. Les exigences portent en premier lieu sur la préparation d'une proposition qui sera analysée par un organe indépendant. Les résultats de cette analyse (acceptation,

⁵⁷ Le terme de bassin hydrographique est utilisé ici pour faire référence aux étendues d'eau reliées entre elles, qui peut être défini à un niveau de bassin versant ou de bassin versant en aval.

révision ou rejet) seront renvoyés aux demandeurs. Si la proposition d'introduction d'une nouvelle espèce est acceptée, le Code prévoit alors une gestion, un contrôle et un signalement de la santé des poissons.

5.2.3 *Accord de transfert de matériel (ATM)*

Si la demande d'introduction est approuvée, le transfert devrait être compatibles avec les lois internationales et nationales pertinentes telles que les lois relatives à l'accès et au partage des avantages, aux droits de propriété ou à la biosécurité. Les conditions d'accès et d'utilisation d'un tel matériel génétique sont normalement établies à travers un accord de transfert de matériel. Un ATM devrait être certifié par l'organe national habilité du pays importateur et signalé à la base de données de la FAO portant sur les introductions d'espèces aquatiques (DIAS)⁵⁸.

Les accords de transfert de matériel peuvent être des accords juridiquement contraignants qui sont généralement rédigés sous forme de documents et qui décrivent les conditions de transferts de matériels biologiques tangibles, dont le matériel utilisé dans la recherche et les poissons génétiquement améliorés, d'une entité vers une autre. Un exemple d'ATM est indiqué en annexe 5.1.

5.2.4 *Protocoles de transfert*

Les protocoles qui suivent se fondent sur les codes de pratiques internationaux; ils peuvent inclure un ou plusieurs protocoles existants de pays différents et sont indiqués pour servir de directives générales. Ils peuvent enrichir les exigences nationales individuelles, voire constituer la base des éléments de réglementations nationales.

5.2.4.1 *Pays ou organisation d'exportation (originaires du transfert)*

En annexe à l'accord de transfert de matériel doivent figurer des informations techniques spécifiques concernant le matériel génétique demandé, notamment:

⁵⁸ La Base de données Introduction d'espèces aquatiques (DIAS) de la FAO: [www.fao.org/fi/website/FISearch.do? dom=introsp](http://www.fao.org/fi/website/FISearch.do?dom=introsp), FishBase (www.fishbase.org).

- les noms locaux et scientifiques du stock transféré;
- les caractéristiques fondamentales du stock transféré le rendant souhaitable pour l'importation;
- l'utilisation prévue du stock transféré et l'emplacement exact de cette utilisation;
- le nombre d'individus transférés;
- le nombre et type (par ex. plein-frère/pleine-soeur, demi-frère/demi-soeur) de familles représentées dans le transfert;
- l'âge ou l'état ontologique (par ex. œuf, larve, post-larve, swim-up fry, fingerling) des individus transférés;
- les antécédents d'exposition du stock à des maladies et/ou à des pathogènes;
- le sexe génotypique et phénotypique du stock transféré (par ex. femelles normales, mâles normaux, sexes mélangés normalement, sexes génétiquement mélangés mais phénotypiquement tous mâles – traités aux hormones).

Le matériel à transférer doit être accompagné d'un certificat vétérinaire selon lequel ledit matériel est exempt de parasites, pathogènes ou tout autre biote répertoriés et délivré par l'autorité compétente. L'eau d'expédition, s'il y en a, doit être propre et ne doit contenir aucune matière de particules en suspension. Le stock transféré doit, dans la mesure du possible, être désinfecté avant l'expédition.

La plupart de ces informations devraient avoir été fournies dans la proposition d'origine demandant l'importation des espèces dans le pays. Elles peuvent être dupliquées avec l'accord de transfert de matériel afin de contribuer à la conformité avec les conditions de l'accord.

5.2.4.2 *Pays ou organisation d'importation (ou de réception)*

La santé des poissons et la prévention des pathogènes transfrontières demeurent sources d'inquiétudes majeures pour les pays importateurs. Les sections des Directives techniques⁵⁹ en rapport au sujet préconisent

⁵⁹ FAO. 2007. Aquaculture Development. 2. Health management for responsible movement of live aquatic animals. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 5, Suppl. 2. Rome, FAO. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1108e/a1108e00.pdf>

une stratégie nationale sur la santé des animaux aquatiques dont la synthèse figure dans le présent document. Une stratégie nationale officielle sur la santé des animaux aquatiques fournit aux pays une «feuille de route» se fondant sur les besoins et les priorités du pays, et vise à l'accomplissement de la condition souhaitée de santé des animaux aquatiques. Les différents éléments de la stratégie nationale sont les suivants: les pathogènes à prendre en considération, les diagnostics de maladies, les certificats de santé et les mesures de quarantaine, le zonage de maladies, la surveillance et le signalement de maladies, la planification des imprévus, l'analyse des risques liées à l'importation, les cadres de politiques et le renforcement des capacités nationales.

En accord avec l'Organisation mondiale du commerce (OMC) et l'Accord sur l'application de mesures sanitaires et phytosanitaires, tous les pays se réservent le droit de prendre les mesures sanitaires et phytosanitaires nécessaires à la protection de la santé et de la vie des personnes et des animaux ou à la préservation des végétaux. Pour définir le degré approprié de protection (ALOP), il convient de prendre en considération les différents facteurs pertinents, à savoir des facteurs économiques, sociaux et écologiques.

Dans la mesure du possible, plutôt que des géniteurs adultes, les stocks devraient être importés au stade d'œufs ou à d'autres stades précoces du cycle de vie. Plus un poisson vit, plus il a de risques d'entrer en contact avec un pathogène. Par ailleurs, les individus à des stades précoces du cycle de vie sont moins porteurs d'infections infracliniques que les adultes, ils sont plus faciles à garder en quarantaine et les œufs ne sont pas en mesure de transmettre certains pathogènes, tels que les parasites des branchies.

Avant l'importation, du personnel qualifié provenant du pays importateur devrait consulter (i) l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE) dont la mission est d'établir des normes qui sont reconnues comme références mondiales par l'Organisation mondiale du commerce (OMC) et qui ont trait aux pathogènes de poissons, (ii) les informations existantes et (iii) les services de consultations en réseau sur les maladies⁶⁰

⁶⁰ www.oie.int/fr/fr_index.htm; Permanent Advisory Network for Diseases in Aquaculture (PANDA; www.europanda.net/), Aquatic Animal Pathogen and Quarantine Information System (AAPQUIS, www.aapqis.org/v2/Default.aspx).

afin d'identifier les éventuelles préoccupations concernant la santé des poissons. Tout effort devrait être mis en œuvre en vue d'obtenir des poissons provenant d'écloseries certifiées et pratiquant une bonne gestion de la santé des poissons ainsi que de garantir la qualité du certificat vétérinaire du pays exportateur. À leur arrivée, les expéditions doivent être examinées et déclarées exemptes de pathogènes répertoriés – par exemple les pathogènes répertoriés officiellement par l'OIE –, de parasites et autres matières biologiques non approuvées telles que les espèces clandestines pour lesquelles l'importation n'a pas été demandée. Si des maladies sont identifiées, l'expédition doit être détruite et éliminée de façon appropriée, à moins qu'un traitement efficace ne puisse être garanti.

La quarantaine devrait garder un groupe d'animaux aquatiques en isolement sans aucun contact direct ou indirect avec d'autres animaux aquatiques, pour qu'ils soient sous observation pour une période spécifique et, si besoin est, soumis à des examens et des traitements, y compris le traitement approprié des effluents⁶¹. Le niveau de quarantaine devrait être fonction du risque de diffusion de la maladie. La première importation d'une espèce étrangère, ou d'espèces collectées dans la nature ou de sources dont la condition de santé est inconnue, peut exiger des niveaux de quarantaine plus stricts.

On doit bien comprendre que l'efficacité de l'inspection physique ainsi que celle de la quarantaine ne sont que limitées quant à la prévention du transfert de pathogènes. Toute bactérie ou tout virus auxquels le stock importé est déjà immune ou dont le stock ne montre que des symptômes infracliniques, c.à.d. un stock sans symptômes ou signes cliniques de maladie évidents, peuvent être détectés par recours à l'expérimentation et l'immunoessai mais ne seront pas éradiqués par le maintien en isolement. L'analyse et l'observation effectuées en quarantaine peuvent donner lieu à des expériences de co-habitation avec des espèces locales ou aux placements d'animaux en quarantaine sous davantage de stress afin de repérer de nouveaux problèmes de maladie.

Néanmoins, la quarantaine donne la possibilité aux autorités de mettre sous observation le stock pendant une période donnée, ce qui peut donner

⁶¹ OIE. 2005. *Aquatic animal health code*. 8th Edn. Paris.
www.oie.int/fr/normes/fcode/f_summry.htm

des indications sur les problèmes existants. La quarantaine devrait être effectuée dans une installation adaptée et avoir une durée d'au moins 28 jours même si cette dernière est définie par les pathogènes spécifiques pris en compte. En début de quarantaine, les introductions doivent être désinfectées dans un bain prophylactique et, si possible, mis sous traitement oral d'antibiotiques à large spectre. Toute eau, tout matériel d'emballage, de conteneurs et autres matériels liés à l'expédition doivent être stérilisés ou détruits.

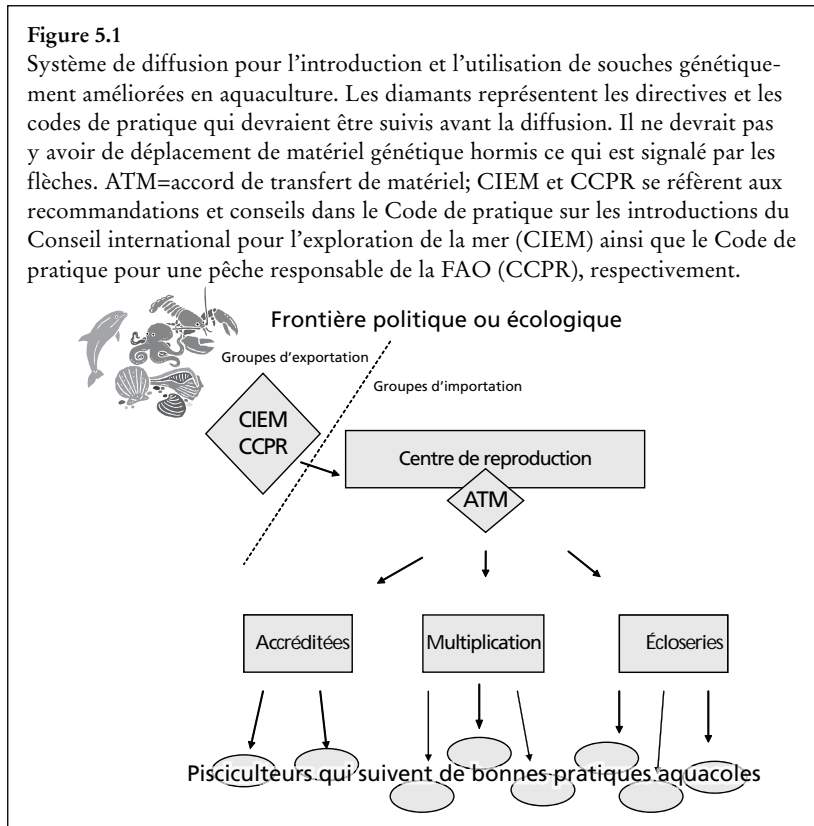
Les emplacements destinés aux opérations de quarantaine doivent être sécurisés contre les fuites et les écoulements d'eau. L'eau doit être jetée en toute sécurité. Si une maladie se déclare au sein de l'unité de quarantaine, un traitement peut s'avérer possible. Une thérapie chimique peut cependant provoquer d'autres problèmes tels que la résistance aux antibiotiques et devrait être utilisée sur les conseils d'un expert. Si la maladie ne peut être contrôlée, les stocks malades doivent être détruits et éliminés après stérilisation effectuée de manière préalablement homologuée. La qualité de l'eau dans l'unité de quarantaine devrait être surveillée à intervalles réguliers et des contrôles périodiques doivent être effectués visant à vérifier l'introduction ou non de parasites et de maladies susceptibles s'introduire. Une liste des parasites, maladies et pathogènes connus devrait être conservée et l'exportateur conseillé en cas d'incidence non prévue de parasites ou pathogènes.

Les spécimens issus d'importations d'origine ne devraient pas être transférés dans des milieux naturels. Le code de pratique du CIEM recommande de ne distribuer que la génération F_1 des espèces importées suite à la quarantaine des parents d'origine.

Les zones destinées à l'utilisation et la conservation pratiquées en aquaculture (chapitre 9) s'appliquent également à la gestion de la santé des poissons. Les pays peuvent établir des zones où l'on sait que certains pathogènes existent ainsi que des zones exemptes de maladies; le zonage devrait reposer sur des critères écologiques plutôt que sur les frontières politiques. Les déplacements d'animaux entre les zones où les mêmes pathogènes existent ou provenant d'une zone exempte de maladies ne devraient pas poser de problème. En revanche, les animaux ne devraient pas être déplacés d'une zone où sont présents des pathogènes vers une autre zone qui en est dépourvue.

5.3 Diffusion d'une souche améliorée au sein d'un pays dans le cadre d'une stratégie rationnelle de développement de l'aquaculture

Étant donné que les spécimens issus des importations d'origine ne devraient pas être transférés dans des milieux naturels, un processus de multiplication doit être mis en place avant la diffusion de semences issues de souches génétiquement améliorées⁶². Les souches améliorées devraient être diffusées à travers un système d'écloseries et de centres d'élevage certifiés (figure 5.1).



⁶² Pioneering Fish Genetic Resource Management and Seed Dissemination Programmes for Africa: adapting principles of selective breeding to the improvement of aquaculture in the Volta Basin. Workshop Proceedings, 27-30 March 2007. FAO, Rome.

La certification des écloséries qui fonctionnent comme multiplicateurs des stocks améliorés issus des centres d'élevage devraient être effectuée par une équipe d'évaluation provenant du centre régional d'élevage. Les écloséries certifiées doivent respecter les exigences techniques établies par l'équipe d'évaluation et avoir un accord avec le centre de reproduction concernant la gestion standard d'opération ainsi que les procédures de diffusion.

Le principal objectif pour développer un système de certification des écloséries est de garantir la mise en œuvre de directives sur le maintien de qualité génétique de fingerlings fournis par les écloséries aux exploitants et la conservation des ressources génétiques indigènes. Les points suivants sont recommandés:

- Afin de recevoir des semences génétiquement améliorées, les opérateurs d'écloséries doivent faire une demande de certification au centre de reproduction; la demande devrait être analysée sur la base d'une série de critères parmi lesquels peuvent figurer les éléments suivants ainsi que toute autre information pertinente (installations, expérience, emplacement, performances précédentes).
- Le stock de géniteurs est fourni par les centres de reproduction aux écloséries certifiées et remplacé selon un protocole bien défini et en fonction des besoins.
- Les écloséries qui sont prises en considération pour la certification devraient être bien gérées et suivre les bonnes pratiques aquacoles selon l'avis d'un personnel technique qualifié.
- Un bon système de tenue de registres sur l'approvisionnement en géniteurs ou en alevins à l'éclosérie devrait être mise en place.
- Un système visant à surveiller la distribution de fingerlings issus d'écloséries certifiées aux producteurs devrait être mis en place en vue de surveiller la distribution géographique des stocks génétiquement améliorés. Ce qui permettrait de procéder aux évaluations des impacts économiques et environnementaux potentiels des souches améliorées faisant l'objet de diffusion.

- Des écloséries devraient mettre en œuvre des mesures de contrôle de la qualité, et leur statut de certification devraient être passé régulièrement en revue.

5.4 Discussion

Il y a eu un nombre considérable de déplacements d'espèces et de souches étrangères pour l'aquaculture⁶³, mais très peu d'évaluation des répercussions qu'ils ont engendrées, qu'elles soient positives ou négatives⁶⁴. Les gouvernements sont tenus de consigner sur des registres l'introduction et la distribution conséquente d'espèces étrangères et de stocks génétiquement améliorés dans leur pays et de rapporter l'information à la FAO. La FAO conserve une base de données sur les introductions des espèces aquatiques (DIAS) qui contient également des informations sur les impacts. Les espèces étrangères y sont traitées de plus en plus, ce qui permet que de meilleures décisions soient prises quant à l'introduction d'espèces étrangères; il n'existe aucune source d'informations comparable sur les impacts de souches génétiquement améliorées.

De nombreux déplacements de stocks améliorés et d'espèces étrangères sont mal contrôlés, même s'il est largement reconnu que le contrôle est nécessaire en raison des risques qui sont impliqués. Le HACCP (les systèmes d'analyse des risques et points critiques pour leur maîtrise)⁶⁵ est préconisé par le commerce des aquariums et les scientifiques experts des poissons, de la faune et de la nature dans certaines régions, principalement pour réduire les risques des pays importateurs qui font entrer des clandestins et des pathogènes, ainsi que pour améliorer la sensibilisation du public. HACCP est également préconisé par les salmoniculteurs afin de réduire la probabilité de fuites. Les accords de transfert de matériel offrent une façon de contribuer à améliorer les contrôles, mais peu d'entre eux ont été utilisés jusqu'à ce jour dans les transferts pour l'aquaculture ou pour les pêches.

⁶³ Base de données de la FAO sur les introductions des espèces aquatiques (DIAS) www.fao.org/fishery/dias/en, FishBase (www.fishbase.org).

⁶⁴ Une exception notable est: An Impact Evaluation of the Development of Genetically Improved Farmed Tilapia and Their Dissemination in Selected Countries by Asian Development Bank. ADB 2005; disponible à www.adb.org/publications.

⁶⁵ voir seagrant.umn.edu/downloads/ais-haccp_manual.pdf pour des conseils sur l'application des principes HACCP aux espèces aquatiques envahissantes.

Annexe 5.1

Accord de transfert de matériel^a

L'exemple suivant d'Accord de transfert de matériel est fondé sur un accord actuellement utilisé par le Centre Mondial de la Pêche (WorldFish Center).

À l'attention de: La demande de matériel génétique amélioré devrait être adressée à une autorité compétente jouissant de l'autorité juridique et politique de diffuser du matériel.

Je commande/Nous commandons le matériel suivant:

Une liste du matériel demandé devrait être jointe accompagnée d'une description détaillée du matériel, son utilisation prévue et l'emplacement d'utilisation comme répertoire dans le texte.

J'accepte/Nous acceptons:

- de respecter les dispositions de la Convention sur la diversité biologique;
- d'exclure toute distribution ultérieure de matériel génétique dans des emplacements sur lesquels ledit matériel pourrait avoir des impacts environnementaux négatifs;
- de ne pas revendiquer la propriété sur le matériel reçu, ni de chercher à obtenir les droits de propriété intellectuelle sur ce matériel génétique ou toute information qui y est liée;
- de veiller à ce que toute personne ou institution à qui je fournirais/nous fournirions par la suite des échantillons du matériel génétique disponible soit liée par la même disposition;
- que la responsabilité d'observer les réglementations du pays relatives à la sécurité biologique et aux importations ainsi que toute règle du pays destinataire gouvernant la délivrance de matériel génétique m'incombe/nous incombe entièrement;
- de suivre les protocoles de quarantaine suggérés par les Directives techniques de la FAO pour une gestion sanitaire pour des mouvements responsables d'animaux aquatiques vivants et par le WorldFish Center;
- qu'en cas de transfert de matériel génétique au delà des frontières de notre pays, nous respecterons les directives et les codes internationaux pertinents, par exemple le CCPR, le CIEM et l'OIE.

Date:

.....

Nom de la personne ou de l'institution demandant le matériel génétique:

.....

Adresse:

.....

Adresse de livraison (si différente de celle mentionnée plus haut):

.....

Signature autorisée:

^a Tiré de l'International Network for Genetics in Aquaculture (INGA) www.worldfishcenter.org

6 CONSIDÉRATIONS ÉCONOMIQUES EN RAPPORT AUX PROGRAMMES D'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE⁶⁶

6.1 Preuves de l'amélioration génétique

Les programmes d'amélioration génétique ont contribué de manière considérable à l'augmentation de la productivité et à la viabilité du secteur des espèces végétales et animales terrestres. En revanche, la plupart des stocks aquacoles en cours d'utilisation dans les pays en développement sont génétiquement inférieurs ou similaires à leurs contreparties sauvages et non domestiquées^{67, 68}. Il y a lieu de penser que les effets positifs sur le bétail et les cultures grâce aux programmes d'amélioration génétique le seront tout autant pour les espèces animales aquatiques. Le tilapia d'élevage génétiquement amélioré (GIFT)⁶⁹ (*Oreochromis niloticus*) et le Jayanti rohu⁷⁰ (*Labeo rohita*) sont deux exemples présents dans des pays en développement que l'on peut citer; les programmes d'amélioration génétique mis en œuvre chez ces deux espèces ont été conçus sur le modèle du projet réalisé avec succès pour le saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*) et qui a été lancé dans les années 1970 en Norvège. L'intérêt que suscite ces souches améliorées chez les exploitants qu'ils considèrent comme des souches de grande valeur s'explique par le niveau plus élevé de leur taux de croissance et de leur taux de survie.

6.2 Facteurs limitant la diffusion de la technologie

Il est aisé d'obtenir une preuve de l'amélioration génétique en présence d'expériences et de contrôles puisque dans ces conditions précises des

⁶⁶ Contribution de Raul W. Ponzoni.

⁶⁷ Eknath, A.E. 1991. Simple broodstock management to control indirect selection and inbreeding: Indian carp example. NAGA, The ICLARM Quarterly 738: 13-14.

⁶⁸ Brummett, R.E., Angoni, D.E. et Pouomogne, V. 2004. On-farm and on-station comparison of wild and domesticated Cameroonian populations of *Oreochromis niloticus*. Aquaculture 242, 157-164.

⁶⁹ Gupta, M. et Acosta, B. 2004. From drawing board to dining table: The success story of the GIFT project. NAGA, WorldFish Center Quarterly 27, (3&4), 4-14.

⁷⁰ Mahapatra, K., Jana, R.K., Saha, J.N., Gjerde, B. et Sarangi, N. 2006. Lessons from the breeding program of Rohu. Dans: Ponzoni, R.W., Acosta, B., Ponniah, A.G. (éds.), Development of aquatic animal genetic improvement and dissemination programs: Current status and action plans, WorldFish Center Conference Proceedings 73, Penang, Malaysia, pp. 34-40.

rapports sont nécessaires et systématiquement enregistrés. La «visibilité» des gains génétiques chez les animaux aquatiques dans des conditions d'élevage est en revanche très réduite. Des caractères qui sont importants du point de vue de la production, tels que le taux de croissance, la survie et l'absence de maladie, ne sont pas seulement influencés par la génétique, mais aussi, dans une large mesure, par l'environnement. Ce qui rend difficile, voire impossible, d'établir avec précision la cause des changements observés dans le système de production. En outre, le fonctionnement des programmes d'amélioration génétique exige un investissement initial ainsi que des dépenses annuelles courantes. Compte tenu de ces coûts, il est fort possible que les institutions gouvernementales hésitent à investir dans de tels programmes à moins que ne puissent être prévus avec certitude des avantages évidents pour la nation. En vue de générer des informations qui pourraient aider la prise de décisions sensées en matière d'amélioration génétique, il convient de tenir compte des aspects économiques à deux étapes critiques, et ce, au moment de la définition des objectifs de sélection du programme, et lorsque sont évalués les coûts et les avantages de la mise en œuvre du programme dans un délai raisonnable. Il est évident que ces deux étapes sont liées, même s'il est préférable de les analyser séparément.

6.3 Objectifs de sélection

Dans la production animale, l'amélioration génétique se produit généralement sur une proportion très réduite de la population. L'amélioration génétique réalisée chez cette «élite» ou «noyau» d'animaux supérieurs est multipliée et disséminée au sein des systèmes de production (chapitre 5). Le flux de gènes est illustré à l'aide d'un graphique à la figure 6.1. La mise en œuvre d'un programme d'amélioration génétique chez un nombre relativement réduit d'animaux peut être suffisante pour profiter à une très grande population d'animaux impliquée dans la production. Le noyau fournit des géniteurs aux écloséries (multiplicateurs de stocks génétiquement améliorés). À leur tour, les alevins produits par les écloséries sont grossis dans le secteur de production.

Forts de cette structure au sein de l'industrie (figure 6.1; voir aussi chapitre 5), les exploitants produisent quasiment tout le poisson destiné à la consommation. L'objectif de sélection doit donc être défini en fonction des intérêts des exploitants, le noyau et les écloséries indépendantes

étant considérées comme des secteurs servant les intérêts des exploitants. L'objectif de sélection doit comprendre des caractères biologiques qui influencent le profit, à savoir le revenu, les dépenses, voire les deux, au niveau de l'exploitation. Ils sont indiqués pour un cas simple au tableau 6.1.

Une équation du profit a la forme suivante:

$$\text{Profit (P)} = \text{revenu} - \text{dépense}$$

Cette équation peut être exprimée comme une fonction des caractères biologiques présents dans le tableau 1. Si on l'augmente proportionnellement à une unité de production de 1000 poissons, il est possible d'écrire:

$$P = 1000 [(W) (S/100) (\text{prix par poids d'unité de poisson}) - \text{FI} (\text{prix par poids d'unité d'aliments})] - K$$

où: W est le poids à la récolte, S le taux de survie au moment de la récolte, FI la quantité totale d'aliment consommé par poisson au moment de la récolte, et K représente les frais fixes. Les frais fixes sont ceux qu'un producteur encourt quel que soit le niveau de production, ce qui peut être ignoré lorsque que l'on tire une valeur économique à chaque caractère. Cette équation permet d'estimer la valeur économique de chaque caractère présent dans l'objectif de sélection. Les valeurs économiques diffèrent généralement entre les caractères en raison de l'unité de mesure, de leur expression dans le système de production ainsi que de leur importance économique relative. Le taux de survie, par exemple, est exprimé pour tous les poissons présents dans le stock, le poids marchand en revanche n'est exprimé que pour ceux qui survivent au marché. Par ailleurs, l'apport en aliments aura d'autant moins (plus) de valeur économique par rapport au poids de récolte que le prix des aliments est bas (élevé) par rapport au prix du poisson.

Le fait d'attribuer des valeurs économiques aux caractères qui sont présents dans l'objectif de sélection permet le calcul des gains génétiques dans les unités économiques. Il est important d'inclure des caractères liés aux dépenses ainsi que d'autres liés au revenu car si ne sont compris que les caractères liés au revenu, la valeur économique du gain génétique peut

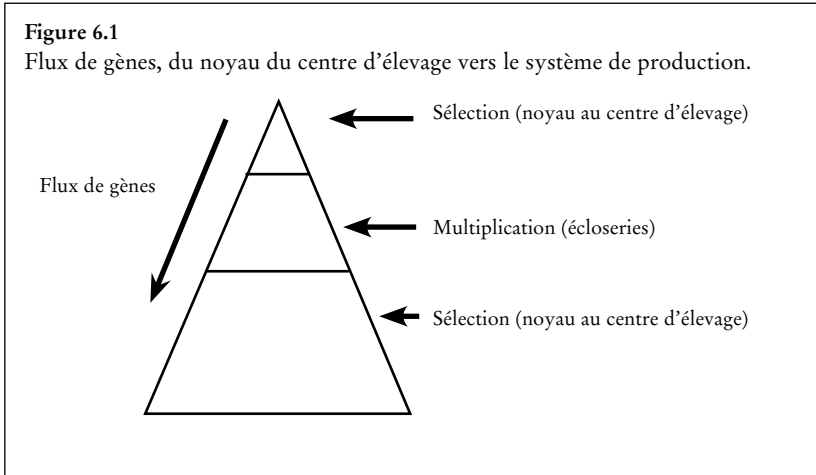


Tableau 6.1 Caractères biologiques inclus dans l'objectif d'élevage

Effet sur le profit	Caractère	Justification du choix du caractère
Revenu	Poids de récolte (W)	Les poissons sont commercialisés sur la base de leur poids, les poissons plus lourds atteignant généralement un prix plus élevé. Les poissons dont la croissance est plus rapide atteindront un poids spécifique plus rapidement que les poissons dont la croissance est lente.
	Taux de survie (S)	Meilleurs résultats du taux de survie chez un plus grand nombre de poissons disponibles pour la consommation ou la vente.
Dépense	Apport en aliments (FI)	Feed is a major production cost. Greater growth rate may result in greater feed consumption.

être surestimée. Les valeurs économiques pour chaque caractère peuvent être évaluées numériquement en calculant la différence $P^* - P$, où P est le profit à sa valeur moyenne pour tous les caractères, et P^* est la valeur correspondante après avoir augmenté le caractère en question d'une unité, tout en maintenant les autres caractères à leur valeur moyenne. En utilisant l'équation pour P ci-dessus, les valeurs économiques qui en résultent pour W , S et FI sont de l'ordre de 0,85\$EU, 3,00\$EU et -0,56\$EU respectivement.

6.4 Coûts et avantages d'un programme d'amélioration génétique

Tandis qu'il y a plusieurs façons de manipuler la génétique des animaux aquatiques (par ex. la polyploïdie, le croisement), l'élevage sélectif est la seule approche au moyen de laquelle les gains réalisés peuvent être multipliés, transmis à d'autres animaux et passés d'une génération à une autre. Le présent document examine exclusivement l'élevage sélectif. Les réponses annuelles à la sélection apparaissent souvent négligeables lorsqu'elles sont comparées aux gains qui peuvent être réalisés au moyen de l'expansion, de l'amélioration de la nutrition et de l'intensification du système de production. Toutefois, la réponse à la sélection mesurée chez une seule population ne permet pas de bien mesurer l'impact potentiel des gains génétiques. Si la structure du secteur est appropriée, les réponses, certes réduites mais cumulatives, à la sélection réalisée dans un noyau ayant fait l'objet d'une amélioration génétique, peuvent être relayées aux écloseries (niveau multiplicateur) et ensuite, des écloseries aux exploitants (figure 6.1; figure 5.1 chapitre 5). Ce potentiel d'expression de petits changements accumulés chez des milliers ou des millions d'animaux est précisément ce qui rend les programmes d'amélioration génétique l'un des moyens les plus puissants et les moins onéreux d'améliorer l'efficacité de l'aquaculture.

6.5 Facteurs affectant l'avantage économique et le coefficient de rentabilité des programmes d'amélioration génétique

Il existe une méthodologie qui est généralement utilisée dans des études sur les répercussions économiques de la mise en œuvre d'un programme d'amélioration génétique⁷¹. Les résultats de ces études dépendent des suppositions faites sur les nombreux facteurs susceptibles d'affecter le résultat. Le tableau 6.2 énumère ces facteurs et offre des valeurs numériques qui couvrent une série d'hypothèses plausibles. Dans la pratique, il est possible de tester la solidité des suppositions en testant la sensibilité des résultats aux variations réalistes de ces suppositions. Les valeurs indiquées au tableau 6.2 ont été utilisées pour le calcul de l'avantage économique et du coefficient de rentabilité résultant du programme d'amélioration génétique. Lorsque plusieurs valeurs sont indiquées pour un paramètre donné, c'est celle en caractère gras qui a été utilisée comme référence

⁷¹ Ponzoni R.W., Nguyen, H.N. et Hooi Ling Khaw. 2007. Investment appraisal of genetic improvement programs in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture 269, 187-199.

Tableau 6.2 Valeurs des paramètres pour l'évaluation économique d'un programme d'élevage sélectif

Paramètre	Valeur(s) ^a
<i>Paramètres économiques</i>	
Investissement initial dans le programme	50 000, 75 000 , 100 000 \$EU
Taux d'actualisation	0,05 , 0,10, 0,15 d (fraction)
Facteur d'actualisation	Calculé à partir des valeurs d $r = 1/(1+d)$
Dépenses annuelles (courantes)	30 000, 60 000 , 90 000 \$EU
Prix du poisson (prix à la ferme)	0,001 , 0,0015, 0,002 \$EU/g
Coût des aliments	0,00056 \$EU/g
Nombre d'années sur lesquelles le modèle est évalué	10 ans
<i>Paramètre biologique</i>	
Intervalle de générations chez les femelles	1.0 an
Intervalle de générations chez les mâles	1.0 an
Estimations de l'héritabilité	valeurs de P = 0,2, 0,3 , 0,4; valeurs de S = 0,05, 0,08 , 0,12; valeurs de IA = 0,16, 0,25 , 0,3
Apport en aliments cumulatif	400 g
<i>Paramètres opérationnels</i>	
Années où des retours sur les poissons sont réalisés	2 , 3, 4 ans
Nombre de poissons commercialisé pour l'abattage/ an ^b	(1) 2,205; (2) 6,6248 ; (3) 47,32; (4) 338,0 en millions
Poids de récolte	300 g
Taux de survie	85%

^a Lorsque plusieurs valeurs sont indiquées, c'est celle en caractère gras qui a été utilisée comme référence pour générer des «résultats de référence» tandis que les autres valeurs étaient utilisées pour l'analyse de sensibilité.

^b Les chiffres correspondent aux différents niveaux technologiques de reproduction, pouvant aller d'un niveau très bas à des niveaux plus élevés. Le niveau 1 correspond à une mauvaise gestion et un frai naturel dans des étangs; le niveau 2 équivaut au niveau 1 mais avec une bonne gestion; le niveau 3 utilise la reproduction dans des hapas, la collection d'œufs dans les bouches des femelles et l'incubation artificielle dans le noyau, et le frai naturel avec une bonne gestion dans des écloséries; le niveau 4 suppose que la reproduction dans des *hapas* (telle qu'elle est décrite pour le niveau 3) est utilisée tant dans le noyau que dans des écloséries.

pour générer des «résultats de base» (tableau 6.3), les autres valeurs étant utilisées pour l'analyse de sensibilité (voir section 6.8).

6.6 Utilité générale des résultats

Les évaluations économiques des programmes d'amélioration génétique sont particulièrement utiles d'un point de vue national, les décideurs étant amenés à se concentrer sur le calcul du degré de richesse supplémentaire

que la mise en œuvre d'un tel programme apporterait à la nation. Les conclusions s'appliquent également à une entreprise à intégration verticale et contrôlant le centre d'élevage du noyau, les écloséries et le secteur de production (figure 6.1). Les résultats indiquent fortement que des retours sur investissement très avantageux peuvent être obtenus grâce à l'amélioration génétique (tableau 6.3). Même pour les valeurs dont l'estimation est modeste pour les niveaux de référence des facteurs indiqués au tableau 2, l'avantage économique et le coefficient de rentabilité se sont révélés avantageux, à quatre millions de \$EU et 8,5 respectivement, après 10 ans de mise en place du programme. Le «moment où on rentre dans ses fonds», c.à.d. le moment où l'avantage passe d'une tendance négative à positive, se manifeste au cours de la troisième année.

6.7 Positionnement des valeurs des paramètres de référence dans une situation réelle

Les valeurs des paramètres de référence ont été choisies ici pour représenter une hypothèse au bas mot. Signalons à titre d'exemple que lorsque les prix des poissons ainsi que l'efficacité de reproduction ont été établis près des limites les plus basses des valeurs pouvant être escomptées, l'avantage économique est passé d'une valeur négative à positive avant la fin de la troisième année du programme (tableau 6.3), et avant la dixième année le coefficient de rentabilité avait atteint 8,5. Dans la pratique, il est probable que le prix du poisson est plus élevé, et grâce à l'utilisation de technologies très simples et peu coûteuses, l'efficacité de reproduction du poisson peut être renforcée. Par conséquent, l'avantage économique et le coefficient de rentabilité obtenus avec les valeurs des paramètres de référence devraient être considérés comme le minimum pouvant être escompté d'un programme d'amélioration génétique tel que celui dont il est question.

6.8 Analyse de sensibilité

Les facteurs pouvant affecter l'avantage économique et le coefficient de rentabilité (tableau 6.2) peuvent être regroupés en trois catégories: (i) facteurs biologiques (valeurs d'héritabilité, justification de l'apport en aliments), (ii) économiques (investissement initial, dépenses annuelles, taux d'actualisation, prix du poisson), et (iii) opérationnels (année où les premiers retours se manifestent, efficacité de reproduction).

Tableau 6.3 Flux actualisé des recettes et des dépenses ($d = 5\%$), avantage économique et coefficient de rentabilité pour la situation de référence

Année	Facteur d'actualisation	Retours actualisés	Coûts actualisés (milliers de \$EU)	Avantage économique (milliers de \$EU)	Coefficient de rentabilité
0	1,0	0	0	-75	-
1	0,952	0	57,14	-132,14	0
2	0,907	130,56	111,56	-56,01	0,7
3	0,864	379,23	163,39	140,84	1,6
4	0,823	734,48	212,76	446,73	2,6
5	0,784	1 185,60	259,77	850,83	3,5
6	0,746	1 722,64	304,54	1 343,10	4,5
7	0,711	2 336,40	347,18	1 914,21	5,5
8	0,677	3 018,35	387,80	2 555,56	6,5
9	0,645	3 760,62	426,47	3 259,15	7,5
10	0,614	4 555,90	463,30	4 017,60	8,5

6.8.1 Paramètres biologiques

Les effets de deux facteurs biologiques ont été analysés, à savoir les valeurs d'héritabilité pour les caractères de l'objectif de sélection ainsi que l'approche choisie concernant l'apport en aliments. Les héritabilités les plus importantes se sont traduites par des gains génétiques plus importants et par conséquent par un avantage économique et un coefficient de rentabilité plus élevés. En partie, la valeur de l'héritabilité est une propriété du caractère et de la population en question, mais elle peut être améliorée en réduisant la variance environnementale grâce à des pratiques de gestion. Même si l'avantage économique et le coefficient de rentabilité se sont révélés modérément sensibles à d'assez grandes variations d'héritabilité, des pratiques de gestion susceptibles de réduire la variance environnementale du noyau devraient être adoptées chaque fois que cela est possible. La production de progéniture réalisée par recours à des frais synchronisés ainsi que son grossissement dans des conditions standard et uniformes sont autant d'exemples de ces pratiques.

Pour ce qui est de l'apport en aliments, en dépit du manque de paramètres génétiques pour ce caractère dans la plupart des espèces cultivées, ce dernier devrait être tout de même inclus dans l'objectif de sélection

puisque les aliments constituent d'ordinaire un coût majeur dans la production aquacole. Les valeurs de paramètres utilisées pour l'apport en aliments ont été basées sur un certain nombre de suppositions. Il y a toutefois lieu de noter que le fait d'ignorer l'apport en aliments donne lieu à des suppositions plus radicales; citons par exemple la supposition selon laquelle les exigences alimentaires n'augmentent pas à mesure que le taux de croissance augmente, ou bien que le coût des aliments supplémentaires est nul; cette dernière supposition étant assurément erronée. Les expérimentations montrent clairement à cet égard que chez le saumon de l'Atlantique, il y a une corrélation entre la réponse à l'apport en aliments, ainsi que à l'efficacité de l'alimentation, et la sélection fondée sur le taux de croissance⁷². Chez les truites de mer (*S. trutta*) également, il existe une réponse en corrélation à l'apport en aliments, mais aucun changement n'est à noter dans l'efficacité de conversion des aliments⁷³. Ces résultats d'expérimentations, ajoutés à l'importance des coûts des aliments dans le système de production, justifient amplement l'inclusion du caractère en question dans l'objectif de sélection. Le fait d'ignorer l'apport en aliments dans l'objectif de sélection se traduirait par une grave surestimation de l'avantage d'un programme d'amélioration génétique tout en accentuant le taux de croissance. Ces résultats correspondent à ce qui est observé chez les espèces animales terrestres⁷⁴. S'il est peu probable que l'apport en aliments sera mesuré dans des programmes d'amélioration mis en place dans les pays en développement, il serait fort souhaitable que les institutions de recherche fasse l'estimation des paramètres phénotypiques et génétiques pour ce caractère afin d'accroître notre confiance dans les valeurs des paramètres utilisées pour les évaluations génétiques et dans la prédiction de réponses à la sélection⁷⁵.

⁷² Thodesen, J. 1999. Selection for improved feed utilization in Atlantic salmon. Doctor Sci. Thesis, Agricultural University of Norway, 108 pp.

⁷³ Mambrini, M., Labbe, L., Randriamanantsoa, F. et Boujard, T. 2006. Response of growth selected brown trout (*Salmo trutta*) to challenging feeding conditions. *Aquaculture* 252, 429-440.

⁷⁴ Ponzoni, R.W. 1992. Genetic improvement of hair sheep. FAO Animal Production and Health Paper no. 101, 168 pp. (Rome, Italie).

⁷⁵ Doupe, R.G. et Lymbery, A.J. 2003. Toward the genetic improvement of feed conversion efficiency in fish. *J. World Aquacult. Soc.* 34, 245-254.

6.8.2 Paramètres économiques

Tant l'avantage économique que le coefficient de rentabilité se sont révélés insensibles à l'ampleur de l'investissement initial, tandis que le coût annuel du programme a eu davantage de répercussions sur le coefficient de rentabilité que sur l'avantage économique. En revanche, le taux d'actualisation a eu un effet plus important sur l'avantage économique que sur le coefficient de rentabilité. Le taux d'actualisation (d , tableau 6.2) est le taux d'intérêt utilisé dans le calcul de la valeur actuelle des avantages et des coûts futurs escomptés. Le facteur d'actualisation ($1/(1+d)^y$, tableau 6.2) est le facteur qui transforme les avantages et les coûts escomptés de toute année « y » future en termes de valeur actuelle. Le choix du taux d'actualisation dans une étude telle que celle-ci est toujours sujet de controverses. Dans le contexte actuel, les coûts et les avantages sont évalués d'un point de vue de la société considérée comme un tout (en opposition à une société ou une personne individuelle), et la technique d'actualisation est utilisée pour exprimer ces coûts et ces avantages en termes de valeur actuelle nette. Cette valeur actuelle nette peut ensuite être comparée à celle qui a été obtenue par d'autres utilisations des ressources limitées dont une nation peut disposer sur le moment en vue d'un investissement. Dans le cas présent, malgré le taux de reproduction que l'on suppose bas, même à un taux d'actualisation élevé de 15 pour cent, l'avantage économique est resté très positif et le coefficient de rentabilité se situait à 75 pour cent environ de celui de la situation de référence.

Le prix du poisson a grandement affecté tant l'avantage économique que le coefficient de rentabilité. Bien que les prix ne soient pas contrôlés par les planificateurs ni par les exploitants, les plus gros poissons atteignent souvent des prix plus élevés sur le marché; on pourrait donc affirmer que la possibilité d'atteindre de meilleurs prix dans le futur constitue un avantage supplémentaire (et non justifié) d'un programme de sélection.

6.8.3 Efficacité opérationnelle

Il est probable que l'année où les premiers retours se manifestent est le reflet de la rapidité avec laquelle le programme devient pleinement opérationnel, étape qui inclut la distribution du stock dans les écloséries. Des retards peuvent se faire sentir dans ces dernières activités malgré un

gain génétique constant du noyau. Plus les retours se manifestent tôt, plus la situation est favorable, même si en accusant un retard de deux ans, l'avantage économique et le coefficient de rentabilité demeuraient très avantageux.

L'efficacité de reproduction supposée par la situation de référence (tableau 6.2) était considérée comme le niveau le plus bas auquel un programme d'amélioration génétique devrait être envisagé, efficacité pouvant par ailleurs être aisément améliorée à l'aide de technologies disponibles et abordables. Malgré cela, l'avantage économique a affiché un résultat très avantageux et un coefficient de rentabilité de 8,5 après 10 ans (tableau 6.3). Une efficacité de reproduction de niveau 3 peut être réalisée avec une technologie très simple et peu onéreuse, et peut être facilement ciblée au sein d'un programme national d'amélioration génétique. Au niveau 4, avec une plus grande amélioration de l'efficacité de reproduction, tant l'avantage économique que le coefficient de rentabilité ont considérablement augmenté. On peut soutenir que pour atteindre une plus grande efficacité de reproduction dans les écloseries, des investissements supplémentaires seraient requis de la part du gouvernement afin que les technologies soient transmises aux dirigeants d'écloseries. La modélisation a montré qu'en dépit d'investissements supplémentaires considérables destinés à la formation du personnel d'écloseries, l'avantage économique et le coefficient de rentabilité se sont révélés tout aussi avantageux et à la hauteur des investissements.

6.8.4 *Synthèse de l'analyse de sensibilité*

- Il est probable que les pratiques de gestion du noyau en mesure de réduire la variance environnementale et par conséquent d'accroître les héritabilités auront des répercussions modérées sur la rentabilité.
- Afin d'éviter de graves surestimations de l'avantage économique et du coefficient de rentabilité du programme, il conviendrait de tenir compte du coût de l'augmentation de l'apport en aliments qui est une réponse en corrélation à la sélection visant un meilleur taux de croissance.
- Il y a de fortes chances que l'investissement initial, les dépenses annuelles et le choix du taux d'actualisation aient un effet relativement réduit sur l'avantage économique et le coefficient

Tableau 6.4 Limites supérieures et inférieures (rentabilité de 95%) pour l'avantage économique (EB) et le coefficient de rentabilité (BCR) pour les différents niveaux d'efficacité de reproduction

Efficacité de reproduction ^a	Limites pour EB et BCR	EB (millions \$EU)	BCR
Niveau 1	supérieures	1,17	3,17
	inférieures	0,79	2,46
Niveau 2	supérieures	4,60	9,53
	inférieures	3,44	7,40
Niveau 3	supérieures	36,11	68,08
	inférieures	27,90	52,82
Niveau 4	supérieures	261,25	486,32
	inférieures	202,56	377,30

^a Voir tableau 6.2 pour la définition des niveaux de 1 à 4.

de rentabilité, alors que l'effet sur le prix du poisson peut être considérable.

- L'avantage économique et le coefficient de rentabilité seront d'autant plus importants que les premiers retours seront réalisés tôt. Toutefois, il a été noté que la plus grande contribution à ces deux aspects provenait des améliorations de l'efficacité de reproduction tant au niveau du noyau qu'à celui des écloséries. C'est précisément ce dernier facteur, l'efficacité de reproduction, qui a de fortes chances d'avoir le plus d'impacts sur l'avantage économique et le coefficient de rentabilité.

6.9 Probabilités de réussite

Les résultats qui ont été présentés dans les sections précédentes sont de nature déterministe (utilisations d'équations mathématiques pour prédire les résultats) supposant implicitement une totale certitude quant aux résultats. Toutefois, l'amélioration génétique à travers la sélection est un processus stochastique impliquant l'échantillonnage de gènes lorsque les parents de chaque génération sont choisis et que ces parents produisent une descendance. Une façon d'évaluer la probabilité de réussite d'un programme d'amélioration génétique est d'examiner la variabilité prévue

en réponse à la sélection ⁷⁶. Le coefficient de variation calculé en utilisant les équations fournies par Nicholas (1989) était assez bas pour inspirer une certaine confiance dans le résultat du programme, et si des limites de confiance étaient établies pour l'avantage économique et le coefficient de rentabilité, elles se situaient dans une fourchette de valeurs avantageuses même pour le niveau de reproduction étudié le plus bas (tableau 6.4). Le risque d'échec résultant de raisons techniques est par conséquent considérablement bas. Il est évident qu'un échec dû à des catastrophes naturelles ou à un manque de continuité de l'intention peut se produire mais ce genre de causes est très difficile à gérer de façon systématique.

6.10 Conclusion

Il est nécessaire de prendre en considération les aspects économiques des programmes d'amélioration génétique afin de pouvoir attribuer en toute logique l'importance relative aux différents traits de l'objectif de sélection. Ces considérations économiques permettent par ailleurs d'évaluer l'impact économique du programme sur l'ensemble du secteur. La méthodologie qui est utilisée a mis en lumière la multiplicité des facteurs en mesure d'influencer l'impact du programme d'amélioration génétique. Les facteurs auxquels l'avantage économique et le coefficient de rentabilité sont les plus sensibles peuvent être utilisés et la plus grande attention peut leur être accordée. Tant l'avantage économique que le coefficient de rentabilité ont montré une très grande sensibilité à l'efficacité de reproduction au sein du noyau et dans les écloséries, facteur déterminant le nombre de poissons sur lesquels l'amélioration génétique est exprimée. Ce résultat quantitatif correspond à la perception générale selon laquelle la multiplication et la dissémination de races et souches améliorées est d'une importance capitale pour bien cerner l'amélioration générique. Le modèle (voir note de bas de page 71) peut être utilisé pour analyser d'autres facteurs que l'on pense en mesure d'influencer les résultats d'un programme d'amélioration génétique (par ex. un transfert moins fréquent de stocks de géniteurs vers les écloséries, l'expression d'une seule proportion du noyau de la réponse à la sélection dans l'environnement de production dû au génotype par l'interaction de

⁷⁶ Nicholas, F.W. 1989. Incorporation of new reproductive technology in genetic improvement programmes. Dans Hill, W.G. Mackay, T.F.C. (éds), *Evolution and animal breeding*, CAB International, Wallingford, United Kingdom, pp. 203-209.

l'environnement). Le modèle peut être utilisé «à l'envers» pour examiner le bien-fondé de l'établissement d'un programme d'amélioration génétique pour les secteurs des écloséries et de production de tailles spécifiques.

Avec des efficacités de reproduction modestes (niveau 2 au tableau 6.1), il est possible d'obtenir des valeurs intéressantes pour l'avantage économique et le coefficient de rentabilité de plus de quatre millions de \$EU et de 8,5 respectivement. Les technologies de reproduction qui étaient disponibles pour la mise en œuvre, peu onéreuses et ayant fait leurs preuves (niveau 3 au tableau 6.1) se sont traduites par des augmentations de l'avantage économique et du coefficient de rentabilité à plus de 32 millions de \$EU et 60 respectivement. Avec des espèces dont l'élevage est simple (le tilapia par ex.), l'efficacité de reproduction de niveau 3, en raison de sa faisabilité et de son impact, devrait être la cible de départ de programmes d'amélioration génétique nationaux, en vue de monter au niveau 4 à mesure que les compétences des écloséries s'améliorent.

D'un point de vue national, l'investissement dans des programmes d'amélioration génétique destinés aux animaux aquatiques cultivés apparaît comme une décision judicieuse. En outre, la disponibilité pour les producteurs de souches caractérisées par «une performance élevée» peut stimuler l'adoption de meilleures pratiques dans d'autres domaines (gestion, nutrition, santé animale, commercialisation).

7 ÉVALUATION DES RISQUES ET SURVEILLANCE DES PROGRAMMES D'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE⁷⁷

7.1 Introduction

L'exigence d'évaluation des risques écologiques posés par les introductions involontaires et les fuites non souhaitées d'organismes améliorés au sein des écosystèmes aquatiques est née des programmes d'amélioration génétique (chapitres 4, 5 et 6). Fondamentalement, l'évaluation et la gestion des risques écologiques est un processus social guidé par l'information et l'analyse scientifiques. L'importance des valeurs humaines apparaît clairement dans les définitions des termes utilisés pour l'*évaluation des risques*:

- **Le risque** se réfère à la probabilité de préjudice dérivant d'un danger particulier ou d'une série de dangers.
- **Le préjudice** se réfère aux répercussions néfastes sur les personnes ainsi qu'aux choses auxquelles elles tiennent.
- **Le danger** se réfère à un événement susceptible de porter préjudice.

Les procédés d'évaluation des risques dans les domaines concernés par les ressources naturelles intègrent donc souvent les délibérations des parties prenantes⁷⁸ avec les analyses scientifiques. Les consultations internationales d'experts co-dirigées par la FAO ont identifié certains éléments importants des évaluations des risques écologiques posés par les poissons génétiquement améliorés⁷⁹ et une équipe internationale a mis au

⁷⁷ Rédigé par Anne R. Kapuscinski.

⁷⁸ Quiconque intéressé par une question, ou quiconque partage le poids des risques résultant d'une décision particulière. Une personne individuelle ou un représentant d'un groupe affectant ou affecté/e par les sujets en question.

⁷⁹ Gupta, M.V.; Bartley, D.M.; Acosta, B.O. (éds). 2004. Use of genetically improved and alien species for aquaculture and conservation of aquatic biodiversity in Africa. WorldFish Center Contribution No. 1707. Penang, Malaysia. 107 pp. Nairobi Declaration dans Gupta *et al.*, 2004.

WorldFish Center. 2003. Dhaka Declaration on Ecological Risk Assessment of Genetically Improved Fish. WorldFish Center Contribution No. 1704, Penang, Malaysia.

Pullin, R.S.V.; Bartley, D.M.; Kooiman, J. (éds). 1999. Towards policies for conservation and sustainable use of aquatic genetic resources. ICLARM Conf. Proc. 59, 277 pp.

point la première synthèse mondiale des approches et des méthodologies actuelles⁸⁰.

Ces directives abordent la question de l'évaluation des risques présumés afin de prédire la probabilité et les répercussions d'événements potentiellement néfastes avant et au cours de la diffusion de poisson génétiquement amélioré. Ces directives se concentrent sur le préjudice écologique potentiel causé aux populations sauvages des espèces aquatiques ou aux écosystèmes qui soutiennent ces espèces; préjudice écologique pouvant impliquer des changements non souhaités aux niveaux de la génétique, de la population, de la communauté ou de l'écosystème. Les directives examinent également la gestion des risques, y compris la surveillance, ladite gestion étant une composante des programmes de diffusion.

7.2 Le Code de conduite

Les programmes d'amélioration génétique ne devraient pas compromettre les objectifs consistant à conserver la diversité génétique des espèces aquatiques sauvages et à protéger l'intégrité des populations et des écosystèmes aquatiques, tel qu'il est déclaré dans les articles 6.2, 7.2.2, 9.1.2, 9.3.1 et 9.3.5 du Code de conduite. La participation des parties prenantes au processus d'évaluation des risques est confirmée par les articles 6.13 et 6.16. L'article 9.1.2 jette clairement les bases pour intégrer l'évaluation et la gestion des risques écologiques dans les programmes d'amélioration génétique:

Les États devraient promouvoir le développement et la gestion responsables de l'aquaculture, y compris des évaluations préalables des effets du développement de l'aquaculture sur la diversité génétique et l'intégrité des écosystèmes, fondées sur l'information scientifique disponible la plus fiable.

⁸⁰ Ce chapitre représente et s'inspire dans une large mesure du travail de 44 scientifiques spécialistes de la nature et des sciences sociales et experts des politiques issus de 19 pays, qui a démarré à l'occasion d'un atelier au WorldFish Center en 2005 et qui a été publié dans un ouvrage de référence. Leur conclusion était comme suit: leur synthèse relative à l'évaluation des risques et à la gestion des méthodologies s'applique largement aux différents types de lignées génétiquement modifiées en aquaculture. Kapucinski, A.R.; Hayes, K.R.; Li, S.; Dana, G. (éds). 2007. *Environmental risk assessment of genetically modified organisms : Volume 3, methodologies for transgenic fish*. CAB International, Wallingford, UK, 304pp.

7.3 Principes

7.3.1 La structure de l'évaluation et la gestion des risques écologiques diffère d'une nation à l'autre, mais toutes les structures qui se sont révélées efficaces incluent des étapes systématiques semblables qui se renforcent entre elles⁸¹.

7.3.2 Tout le processus d'évaluation et de gestion des risques écologiques devrait intégrer les analyses scientifiques interdisciplinaires aux délibérations des différentes parties prenantes.

Les structures servant à l'évaluation et à la gestion des risques et considérées comme des structures crédibles partagent certaines étapes (tableau 7.1). Les agences en charge devraient identifier le/les responsable(s) de la mise en œuvre des différentes étapes au sein de leur structure d'évaluation et de gestion des risques, identifier les zones d'expertise, identifier les parties prenantes concernées et opter sur la façon d'impliquer des experts et des parties prenantes dans le processus⁸². Lors de l'intégration des analyses scientifiques aux délibérations des différentes parties prenantes, chaque juridiction politique aura besoin d'identifier le niveau de participation des parties prenantes adapté à la société et aux ressources disponibles. Des délibérations transparentes et équitables au sein des parties prenantes concernées peuvent améliorer la légitimité et la confiance du grand public envers les conclusions exposées par l'évaluation des risques et améliorer la qualité de l'évaluation dans la mesure où cela permet :

- que toutes les préoccupations soient reconnues;
- que soient intégrées les connaissances décisives des parties prenantes sur le système, telles que des informations relatives

⁸¹ Hayes, K.R.; Kapuscinski, A.R.; Dana, G.; Li, S.; Devlin, R.H. 2007. Introduction to environmental risk assessment for transgenic fish. Pages 1-28 dans Kapuscinski *et al.* (éds) (voir note de bas de page numéro 80).

Nelson, K.C.; Basiao, Z.; Cooper, A.M.; Dey, M.; Lorenzo Hernandez, M.; Kunawasen, S.; Li, S.; Fonticiella, D.; Ratner, B.D.; Toledo, M.I.; Leelapatra, W. 2007. Problem formulation and options assessment: science-guided deliberation in risk assessment of transgenic fish. Pages 29-60 dans Kapuscinski *et al.* (éds) (voir note de bas de page numéro 80).

⁸² Pour de plus amples informations sur l'intégration des délibérations des différentes parties prenantes: Hayes *et al.* 2007 et Nelson *et al.*, 2007 (voir note de bas de page 81); et Nelson, K.C.; Banker, M.J. 2007. *Problem formulation and options assessment handbook: A guide to the PFOA process and how to integrate it into environmental risk assessment (ERA) of genetically modified organisms (GMOs)*. GMO-ERA Project. Disponible à : www.gmoera.umn.edu.

Tableau 7.1 Étapes présentes dans la plupart des structures d'évaluation et de gestion des risques. La participation des parties prenantes devrait être intégrée aux analyses techniques tout au long du processus, notamment pour affronter les questions indiquées en italique^a

	Étape	Questions clés abordées dans cette étape
Délibérations des diverses parties prenantes intégrées à chaque étape aux moments clés	Évaluation des risques	
	Identifier et classer les dangers par ordre de priorités	Quel système doit être évalué (portée et frontières)? Quels événements portant préjudice peuvent se produire? Quels événements et quels préjudices sont les priorités de cette évaluation? Quels sont les niveaux de risques acceptables/inacceptables?
	Estimation des risques	
	Estimation de l'exposition à chaque danger prioritaire, et probabilité de préjudice résultant de l'exposition au danger.	Quel est degré d'exposition au danger et quelle est la probabilité du danger? Quels seraient les préjudices si le danger se réalisait et à quel degré de gravité?
	Les estimations sont quantitatives (si possible), semi-quantitatives ou qualitatives.	Quelles sont les conclusions de l'évaluation des risques (matrice de la probabilité estimée du préjudice par rapport à la gravité du préjudice)? Dans quelle mesure les connaissances utilisées pour identifier les dangers, pour estimer la probabilité et pour prédire les préjudices sont fiables? Quelles incertitudes peut-on écarter? Quelles incertitudes doit-on analyser tout au long de l'évaluation?
	Identifier et analyser les incertitudes	
	Gestion des risques	
	Planification de la réduction des risques	Que peut-on faire pour réduire les risques à des niveaux acceptables, soit en réduisant la probabilité soit en atténuant les répercussions? Les mesures de réduction des risques sont-elles acceptables?
	Mise en œuvre du plan	
	Surveillance	Les activités de surveillance sont-elles acceptables? À quel point les mesures mises en œuvre pour réduire les risques sont-elles efficaces? Sont-elles bonnes, meilleures ou pires que ce qui avait été prévu?
Mesure de redressement	Quelle mesure de redressement (corrective) peut-on entreprendre si les conclusions sont inacceptables? Ladite mesure a-t-elle résolu la(les) préoccupation(s) de manière adéquate?	

^a Hayes *et al.*, 2007 et Nelson *et al.*, 2007 (voir note de bas de page 81); Nelson et Banker, 2007 (voir note de pied de page 82).

aux poissons sauvages de la région, qui ne sont pas connues des analystes des risques d'orientation technique;

- que soit intégré le point de vue des parties prenantes à des moments clés du processus; et
- la garantie que les parties prenantes adhèrent aux conclusions des évaluations des risques et aux approches de gestion des risques.

7.3.3 Toute évaluation des risques écologiques devrait s'organiser autour d'une chaîne d'événements présentant un danger; ladite chaîne étant provoquée par l'entrée possible d'organismes génétiquement modifiés au sein de l'écosystème et définissant les événements successifs qui portent potentiellement préjudice.

Le besoin d'évaluer les risques génétiques et autres risques écologiques provient des modifications observées au sein de la constitution et des caractères génétiques de l'organisme génétiquement modifié. Les nombreuses étapes qui jalonnent l'évaluation des risques exigeront l'apport de données empiriques relatives à ces modifications par rapport aux populations actuellement cultivées dans la région et par rapport à tout parent sauvage⁸³ présent dans l'écosystème aquatique; lesdites étapes exigeront également des données en mesure de préciser la façon dont ces modifications sont susceptibles ou non d'avoir des répercussions écologiques néfastes. La figure 7.1 présente un exemple généralisé d'une chaîne d'événements qui devraient avoir lieu pour que se produise, à terme, un préjudice écologique.

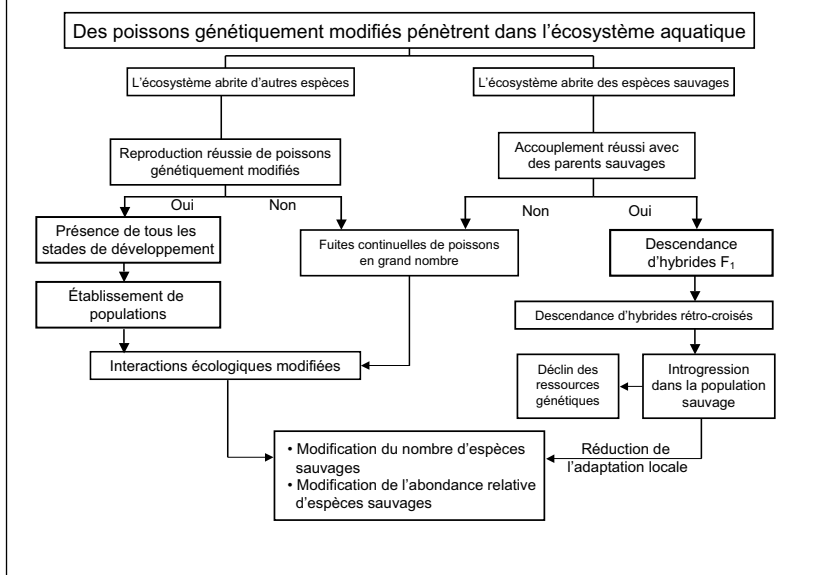
7.3.4 Assez tôt dans le processus de l'évaluation des risques, les experts et parties prenantes concernées devraient discuter afin de définir la série d'événements faisant l'objet de préoccupations, d'identifier et de classer par ordre de priorité les dangers et les préjudices le long de la série, et s'accorder sur des niveaux de risques acceptables.

Les résultats des débats qui ont eu lieu parmi les experts concernés et les parties prenantes intéressées et potentiellement affectées fournissent

⁸³ Toute espèce présente dans l'écosystème avec laquelle le poisson génétiquement modifié peut se reproduire, y compris de la même espèce que le poisson génétiquement modifié ou d'une espèce très apparentée.

Figure 7.1

Série d'événements à caractère général entraînant des modifications d'ordre écologique suite à des fuites de poissons génétiquement modifiés. Ne sont indiqués que les événements susceptibles de porter préjudice



aux personnes amenées à prendre des décisions une base socialement crédible pour l'allocation des ressources limitées destinées à l'évaluation des dangers et les préjudices dont la priorité est la plus élevée. Le reste du processus d'évaluation et de gestion des risques se concentre ainsi sur la sélection de dangers jugés prioritaires (tableau 7.1).⁸⁴

7.3.5 Centrer l'évaluation et la gestion des risques sur les seuils mesurables pour les dangers jugés prioritaires.

Il est essentiel de choisir avec attention les seuils mesurables portant sur les changements écologiques que les parties prenantes et les analystes ont

⁸⁴ Pour plus de conseils sur la hiérarchisation des dangers, consulter Hayes *et al.*, 2007 (voir note de bas de page 81).

Figure 7.2

Schéma de matrice d'évaluation qualitative des risques pour l'estimation de probabilité (axe vertical) et de gravité (axe horizontal) du préjudice. Les évaluations des risques quantitatives sont préférables aux évaluations qualitatives ou semi-quantitatives mais nécessitent davantage de données

Probabilité du préjudice	Fréquent				Risque le plus élevé
	Presque jamais				
		Risque le plus bas			
		Très basse			Très élevée

qualifié d'indésirables⁸⁵. Les personnes chargées d'analyser les risques peuvent ainsi se concentrer sur l'estimation de la probabilité et de la gravité du préjudice pour chaque seuil (figure 7.2). Les seuils d'évaluation des risques (ce que l'évaluation des risques tente de protéger) devraient être identifiés pour chaque danger jugé prioritaire le long de la série d'évènements (figure 7.1). S'il est difficile d'évaluer un seuil d'intérêt principal, les personnes chargées d'analyser les risques devraient identifier et évaluer les seuils de mesure (ce qu'il sont effectivement capables de mesurer) qui sont de bons indicateurs scientifiques pour savoir si un préjudice écologique spécifique se produira ou non. Par exemple, si un poisson fait de sa proie une espèce sauvage que les parties prenantes ont convenu de protéger à un niveau de profusion spécifique (seuil d'évaluation), cela peut s'avérer plus aisé d'évaluer les effets sur la survie des adultes sauvages (seuils de mesures) que de prédire les changements opérés dans la profusion générale des espèces sauvages.

⁸⁵ Les seuils expriment explicitement les composantes de valeur de l'écosystème que les parties intéressées tentent de protéger en réalisant une évaluation des risques écologiques (Hayes *et al.*, 2007, voir note de bas de page 81).

La capacité de fournir des prédictions des risques justes et précises diminue à mesure que la longueur de la chaîne des dangers croît en raison de l'augmentation des interactions complexes et en cascade entre les organismes génétiquement modifiés et les espèces sauvages et leurs habitats. Il est par conséquent judicieux d'établir un équilibre précis entre la réalité, la complexité et les préoccupations des parties prenantes en sélectionnant des seuils d'évaluation qui sont clairement en rapport à ces préoccupations, mais qui interviennent plus tôt (plutôt que plus tard) dans la série d'évènements. Une équipe multidisciplinaire d'experts devrait définir les seuils (de préférence à travers des débats des diverses parties prenantes) et identifier les données existantes et les méthodes d'évaluations appropriées. L'équipe d'experts appropriée variera en fonction du cas étudié mais dans l'idéal, en ferait partie des biologistes et des écologistes ainsi que des personnes formées sur les méthodes d'évaluation des risques.

7.3.6 *Évaluation et gestion des risques au cas par cas*

Tout programme d'élevage est susceptible d'apporter des modifications au sein de la constitution et des caractères génétiques des organismes cultivés (chapitres 3 et 4). Aucune méthode d'amélioration génétique ne pose en soi plus de risques environnementaux que d'autres. Les risques doivent plutôt faire l'objet d'une évaluation au cas par cas, sur la base des caractéristiques du système de production aquacole (en particulier les modes et la fréquence des fuites dans la nature), des organismes génétiquement améliorés et des écosystèmes potentiellement affectés⁸⁶.

7.4 *Évaluation des effets génétiques*⁸⁷

Le flux de gènes des individus génétiquement modifiés vers leurs parents sauvages est un processus majeur à travers lequel les poissons

⁸⁶ Nombre sont ceux qui s'accordent pour attester de la réalité des besoins d'évaluation des risques au cas par cas ; par ex. le Protocole de Carthage sur la biosécurité, Article 15 et Annexe III. Voir aussi la Déclaration de Bellagio dans Pullin, R.S.V.; Bartley, D.M.; Kooiman, J. (éds). 1999. *Towards policies for conservation and sustainable use of aquatic genetic resources*. ICLARM Conf. Proc. 59, 277 pp.

⁸⁷ Kapuscinski, A.R.; Hard, J.J.; Paulson, K.; Neira, R.; Ponniah, A.; Kamonrat, W.; Mwanja, W.; Fleming, I.A.; Gallardo, J.; Devlin, R. H.; Trisak, J. 2007. Approaches to assessing gene flow. Pages 112-150 in Kapuscinski *et al.* (éds) (voir note de bas de page 80).

génétiquement modifiés peuvent affecter les populations de poissons sauvages. Les préoccupations concernent principalement le flux de gènes, à savoir si ce flux se traduit par une introgression (incorporation) des gènes issus des organismes améliorés dans le patrimoine génétique sauvage, et si cela comporte des répercussions génétiques et écologiques néfastes (figure 7.1). Les personnes chargées d'analyser les risques devraient évaluer les seuils d'une série d'événements qui doivent se produire pour aboutir à une introgression. Cela peut être réalisé en séparant l'évaluation en deux deuil majeurs, l'entrée et l'introgression; et en séparant davantage ces deux seuils en sous-événements constitutifs qui devraient être plus faciles à évaluer que procéder à l'analyse de l'entrée ou de l'introgression comme une variable unique⁸⁸.

La prédiction de la probabilité et des effets génétiques de ces événements nécessite des données relatives à la façon dont la modification génétique affecte l'aptitude biologique⁸⁹ des poissons cultivés, et dont cette aptitude biologique peut être modifiée si les poissons fuient dans l'environnement et se reproduisent avec leurs parents sauvages présents dans l'environnement. Sont également requises des données de référence sur les parents sauvages, telles que la structure génétique des populations et la distribution spatiale des adultes reproducteurs. La collecte de données empiriques spécifiques à chaque cas en vue de l'évaluation de tous les sous-éléments du flux de gènes peut s'avérer une tâche décourageante. Pour réduire les besoins de données, les analystes des risques peuvent suivre une stratégie d'étape par étape qui consiste à supposer qu'un événement spécifique conduisant à l'entrée ou l'introgression se produira (au lieu d'obtenir des données pour estimer sa probabilité) et procéder ensuite à l'estimation du prochain événement de la chaîne⁹⁰.

⁸⁸ Des conseils plus approfondis et portant sur l'évaluation des sous-événements constitutifs peuvent être trouvés dans Kapucinski *et al.*, 2007 (voir note de bas de page 87).

⁸⁹ Le degré auquel un organisme réussit à transmettre ses gènes aux générations successives. L'aptitude biologique est déterminé par l'effet cumulé des caractères clés tout au long du cycle de vie de l'organisme, tels que la viabilité des juvéniles et des adultes, la fécondité, la fertilité, le succès de reproduction, ainsi que l'âge et la maturité sexuelle. Muir, W.M.; Howard, R.D. 2001. Fitness components and ecological risk of transgenic release: a model using Japanese medaka (*Oryzias latipes*). *American Naturalist* 158:1-16.

⁹⁰ Des conseils concernant cette stratégie peuvent être trouvés dans Kapucinski *et al.*, 2009 (voir note de bas de page 87).

L'introgession des génotypes modifiés dans les populations sauvages peut se traduire par plusieurs cas de déclin des ressources génétiques (figure 7.1): la modification des fréquences d'allèles indigènes, la perte de particularité génétique ou la perte de variation génétique au sein de la population sauvage affectée. L'introgession peut conduire à la dépression de croisement éloigné en raison de la perturbation des complexes de gènes co-adaptés de la population sauvage. Ces modifications génétiques peuvent affecter la santé des populations sauvages et réduire leur capacité à s'adapter aux changements environnementaux tels que le changement climatique ou la transformation de l'habitat (découlant par ex. des barrages ou autres constructions). De tels risques sont sources de préoccupations majeures concernant les populations sauvages qui connaissent déjà un déclin ou concernant un centre d'origine d'une espèce.

7.5 Évaluation des effets écologiques⁹¹

Les organismes génétiquement modifiés peuvent avoir des répercussions biologiques au delà des effets qu'ils sont susceptibles d'avoir sur la génétique des populations sauvages (figure 7.1). Les répercussions biologiques sont d'ailleurs possibles même en l'absence de croisement entre les poissons cultivés et les populations sauvages. L'addition d'un nouvel élément dans un écosystème peut provoquer un changement d'un état initial à un nouvel état. Le but de l'évaluation des risques écologiques est de présumer un changement vers un nouvel état impliquant des modifications non souhaitées par la société, par exemple l'extinction d'espèces, l'abondance de populations modifiées ou la modification de certaines fonctions de l'écosystème.

L'évaluation visant à établir la probabilité des risques écologiques devrait impliquer quatre phases qui se renforcent l'une l'autre⁹².

- (1) caractériser les propriétés biotiques et abiotiques spécifiques de l'(des) écosystème(s) hôte(s) que les poissons génétiquement modifiés peuvent affecter;
- (2) mesurer les modifications intentionnelles et involontaires au sein des caractères des poissons génétiquement modifiées, en se

⁹¹ Devlin, R.H.; Sundström, L.F.; Johnsson, J.I.; I.A Fleming, I.A.; Hayes, K.R.; Ojwang, W.O.; Bambaradeniya, C.; Zakaraia-Ismail, M. 2007. Assessing ecological effects of transgenic fish prior to entry into nature. Pages 151-187 dans Kapuscinski *et al.*, (éds) (voir note de bas de page 80).

⁹² Des conseils plus approfondis concernant la mise en œuvre de chaque phase peuvent être trouvés dans Devlin *et al.*, 2007 (voir note de bas de page 91).

- concentrant sur les changements susceptibles de modifier leurs interactions avec l'écosystème;
- (3) identifier les interactions prévues entre les poissons génétiquement modifiés et l'écosystème, telles que la compétition due à leur intrusion avec les autres espèces de poissons ou le pâturage de la végétation aquatique; et
 - (4) estimer l'échelle et la probabilité des répercussions écologiques résultant de chaque interaction des poissons génétiquement modifiés avec l'écosystème.

Dans chaque phase, les personnes chargées de l'évaluation devraient intégrer les informations provenant de plusieurs sources, y compris celles des experts et des parties prenantes appropriées; les données de base relatives aux écosystèmes hôtes potentiels (issues par ex. des enquêtes de terrain); et les données empiriques provenant d'expérimentations correctement conçues et incorporant des conditions semi-naturelles. Les personnes chargées d'évaluer les risques devraient identifier le confinement des poissons génétiquement modifiés dans les expérimentations d'évaluation des risques⁹³, en tenant compte des ressources disponibles et des inconnues actuelles concernant ces poissons. Même en appliquant cette approche systématique à quatre phases, l'évaluation de prédiction des risques de répercussions écologiques sera une tâche complexe impliquant de considérables incertitudes. Le comportement des poissons génétiquement modifiés peut être différent dans des expérimentations d'évaluation des risques que dans la nature, notamment en raison des interactions entre le génotype et le milieu, ce qui réduit la valeur de l'application des résultats aux environnements naturels. Les études visant à obtenir des données relatives à des cas spécifiques de répercussions écologiques devraient stimuler une série de conditions écologiques représentatives des écosystèmes aquatiques potentiellement affectés.

7.6 Analyse de l'incertitude⁹⁴

Toutes les évaluations des risques comportent une part d'incertitude. La fiabilité d'une évaluation des risques écologiques dépend de l'identification et du traitement des diverses sources d'incertitude. «Traiter» une

⁹³ Des conseils sur les expérimentations semi-naturelles et expérimentations de confinement peuvent être trouvés dans Kapuscinski *et al.*, 2007, chapitres 5, 6 et 8 (voir note de bas de page 80).

⁹⁴ Hayes, K.R.; Regan, H.M.; Burgman, M.A. 2007. Introduction to the concepts and methods of uncertainty analysis. Pages 188-208 dans Kapuscinski *et al.* (éds) (voir note de bas de page 80).

incertitude signifie l'analyser, l'éliminer (la résoudre) ou la soumettre aux chaînes de calculs et de jugements tout au long du processus d'évaluation des risques. L'identification et le traitement systématiques des incertitudes peuvent contribuer à avertir du moment adéquat d'une approche de précaution (chapitre 11). Différents types d'incertitude naissent des différents mécanismes et les personnes chargées d'analyser les risques ont développé des méthodes mathématiques et qualitatives appropriées pour identifier, traiter et communiquer chaque type d'incertitude⁹⁵. Il est crucial de renforcer les capacités et l'expérience d'ordre pratique dans l'application de ces méthodes d'évaluation des risques posés par les poissons génétiquement modifiés. Les parties responsables de la mise en œuvre des évaluations des risques écologiques devraient recevoir une formation visant à :

- identifier les incertitudes à travers des méthodes de réflexion appropriées provenant des parties prenantes et des experts;
- traiter les incertitudes en utilisant les méthodes appropriées ou recruter des experts correctement formés pour accomplir cette tâche;
- comprendre les résultats tirés du traitement de chaque incertitude identifiée; et
- représenter et communiquer les traitements de ces incertitudes d'une manière qui soit transparente et fiable.

7.7 Gestion des risques écologiques

La gestion des risques écologiques vise à réduire les risques identifiés à des niveaux acceptables⁹⁶. Cette gestion peut inclure des mesures de confinement et des programmes de surveillance. Lorsque qu'une évaluation des risques identifie des risques probables mais gérables, un plan de gestion des risques devrait être développé et mis en œuvre comme partie intégrante de la diffusion des poissons génétiquement améliorés. Les plans de gestion des risques devraient reposer sur les conclusions d'une évaluation des risques de sorte qu'ils mettent l'accent sur les risques prioritaires et qu'ils soient renforcés par les compréhensions communes des participants à l'évaluation.

⁹⁵ Une synthèse des méthodes de traitement des sources d'incertitude peut être trouvée dans Hayes *et al.*, 2007 (voir note de bas de page 94).

⁹⁶ Les délibérations issues des diverses parties prenantes visant à convenir de niveaux acceptables de réduction des risques augmenteront l'acceptation des décisions par la société.

7.7.1 Confinement des organismes génétiquement modifiés⁹⁷

Aucune méthode de confinement n'est efficace à 100 pour cent, si bien que les responsables de la gestion des risques devraient prendre en considération l'utilisation de multiples mesures de confinement qui aient une capacité de renforcement ainsi que des meilleures pratiques de gestion du confinement⁹⁸. Diverses méthodes de confinement peuvent s'avérer nécessaires pour réduire le nombre de fuites d'un système aquacole à des niveaux acceptables. Les mesures de confinement peuvent se concentrer sur la prévention des fuites ou sur la réduction des effets de ces fuites au cas où ces dernières auraient lieu. Des barrières physiques comme un pH ou des températures d'eau léthaux; des barrières mécaniques telles que des écrans; ou des barrières géographiques telles que la culture d'espèces marines dans un système continental fermé d'eau marine (chapitre 9) peuvent être utilisées pour prévenir les fuites. Des barrières biologiques, telles que l'induction de triploïdie qui rendent les adultes de certaines espèces de poissons fonctionnellement stériles, peuvent être employées en vue de réduire le flux de gènes (réduire ainsi les risques génétiques) et l'établissement de populations (réduire ainsi les risques écologiques). Toutefois, la stérilisation ne permet pas d'éliminer tous les risques environnementaux. Des poissons stériles qui ont fui peuvent toujours entrer en compétition avec les poissons sauvages pour les ressources limitées ou pour entreprendre une parade nuptiale et avoir un comportement de frai, perturbant ainsi la reproduction au sein des populations sauvages.⁹⁹

⁹⁷ Mair, G.C.; Nam, Y.K.; Solar, I.I. 2007. Risk management: Reducing risk through confinement of transgenic fish. Pages 209-238 dans Kapuscinski *et al.*, 2007 (voir note de bas de page 80).

⁹⁸ Les meilleures pratiques de gestion varieront en fonction du système aquacole et peuvent s'avérer très difficiles à mettre en œuvre dans des contextes où les ressources sont pauvres. Des conseils d'ordre général sur les meilleures pratiques de gestion sont indiqués dans Mair *et al.*, 2007 (voir note de bas de page 97).

⁹⁹ Agricultural Biotechnology Research Advisory Committee (ABRAC). 1995. *Performance Standards for Safely Conducting Research with Genetically Modified Fish and Shellfish*. Parts I et II, USDA, Office of Agricultural Biotechnology, Washington D.C. disponible sur: www.isb.vt.edu/perfstands/psmain.cfm

7.7.2 *Surveillance de la présence et des répercussions écologiques des organismes génétiquement modifiés*¹⁰⁰

La meilleure façon de détecter les fuites ainsi que les premiers signes de modifications écologiques indésirables est à travers un programme de surveillance bien conçu qui intègre des méthodes typiques d'échantillonnage des pêches avec des techniques statistiques et qui utilise des marqueurs génétiques basés sur l'ADN afin de détecter des individus génétiquement modifiés. La surveillance devrait être conçue de façon à détecter un ou plusieurs seuils à différents niveaux écologiques:

1. présence d'individus génétiquement modifiés au sein de l'écosystème;
2. présence d'une descendance hybride de première génération (issue d'une reproduction réussie entre des poissons qui ont fui et des parents sauvages);
3. présence d'une descendance hybride rétro-croisée (issue d'une reproduction réussie entre des hybrides de première génération et des parents sauvages);
4. présence d'individus génétiquement modifiés à tous les stades de développement;
5. modifications au sein des populations tant des individus génétiquement modifiés que des individus sauvages; et
6. modifications dans le nombre d'espèces aquatiques locales et de leur abondance relative.

Les seuils de 1 à 5 peuvent se produire sur une à plusieurs générations une fois que les poissons génétiquement modifiés sont entrés dans l'écosystème, ce qui permet une détection relativement précoce des répercussions écologiques. Il est plus aisé et plus rapide de détecter ces seuils que de surveiller les changements survenus dans la composition des espèces à l'échelon de la communauté (seuil 6). Ce dernier seuil peut prendre de nombreuses générations à se manifester, il est plus difficile à détecter, et peut aussi résulter d'autres dangers (par ex. les dégâts occasionnés à l'habitat), ce qui le rend difficile à distinguer des effets

¹⁰⁰ Senanan, W.; Hard, J.J.; Alcivar-Warren, A.; Trisak, J.; Zakaria-Ismail, M.; Lorenzo Hernandez, M. 2007. Risk management: post-approval monitoring and remediation. Pages 239-271 dans Kapuscinski *et al.*, 2007 (voir note de bas de page 80).

dus aux organismes génétiquement modifiés. Par exemple, une détection relativement précoce des poissons génétiquement modifiés à tous les stades de développement dans les limites d'une zone surveillée (seuil 4) indiquerait que ces individus se reproduisent suffisamment bien pour interagir de façon considérable avec d'autres espèces. Une surveillance à plus long terme et plus complexe serait requise pour identifier dans quelle mesure les interactions entre ces poissons génétiquement modifiés et les autres espèces conduisent à des changements indésirables au sein de la composition des populations de poissons (seuil 6).

Une surveillance précoce peut permettre des réponses correctives (ou des plans d'urgence dans le chapitre 11) le plus tôt possible. Les réponses correctives peuvent inclure des mesures de confinement visant à l'amélioration, éliminant les poissons génétiquement modifiés de la nature (rarement faisable et probablement assez onéreux) et limitant une plus grande utilisation des poissons génétiquement modifiés dans l'aquaculture. Les décideurs devraient prendre conscience du fait qu'il est extrêmement difficile et onéreux de remédier aux répercussions économiques néfastes une fois qu'elles sont répandues. La surveillance peut également confirmer une conclusion de l'évaluation des risques concernant la sécurité écologique. Un programme de surveillance devrait avoir une probabilité élevée de détecter les modifications qui se produisent réellement en utilisant entre autres des conceptions d'échantillonnage appropriées, des outils scientifiques et des analyses de données¹⁰¹.

7.8 Contraintes et opportunités

L'évaluation et la gestion des risques écologiques des poissons génétiquement modifiés sont complexes et exigent des ressources considérables. Les méthodologies évoluent et l'expérience pratique dans ce domaine est limitée. Le besoin de renforcer les capacités humaines et institutionnelles est répandu. Il est principalement nécessaire¹⁰² de:

¹⁰¹ Des conseils plus approfondis sur ces aspects de surveillance sont indiqués dans Senanan *et al.*, 2007 (voir note de bas de page 100).

¹⁰² Déclaration de Nairobi, Déclaration de Dhaka (voir note de bas de page 2); Kapuscinski *et al.*, 2007 (voir note de bas de page 80).

- combler les déficits clés des données de base écologiques et génétiques et améliorer l'accès à des bases de données existantes;
- développer davantage de méthodes pouvant être utilisées par un grand nombre pour l'évaluation et la gestion des risques écologiques posés par les poissons génétiquement modifiés;
- développer en profondeur des programmes de formation sur l'évaluation des risques en faveur des personnes requises pour conduire des processus d'évaluation (responsables, scientifiques, facilitateurs), ainsi que pour aider les décideurs à comprendre de quelle façon les résultats peuvent peser sur leur prise de décision;
- renforcer les collaborations internationales pour la conduite d'études d'évaluations des risques dans des conditions semi-naturelles et d'enfermement;
- renforcer les cadres institutionnels requis pour mener des prises de décision relatives aux risques dans ce domaine; et
- promouvoir des réseaux parmi les institutions concernées, ainsi que des programmes de coopération internationale pour affronter les besoins susmentionnés.

Les efforts visant à satisfaire ces besoins contribueront également à la conservation de la biodiversité aquatique et à un développement responsable de l'aquaculture. De meilleures données de base sur les composantes clés des populations naturelles de poissons (par ex. sur la diversité génétiques des populations sauvages et sur les facteurs affectant la composition des espèces) peuvent contribuer à hiérarchiser les efforts visant à la conservation de la biodiversité aquatique, à influencer l'établissement de zones aquacoles et de zones de conservation (chapitre 9), et à éclairer les stratégies d'adaptation au changement climatique dans le secteur halieutique. Les autres préoccupations portant sur les impacts écologiques de l'aquaculture (par ex. la culture d'espèces étrangères ou les écoulements des effluents) et autres activités de développement (par ex. la construction de barrages) nécessitent des structures d'évaluation des risques systématiques et certaines méthodologies équivalentes. Ainsi, des méthodes utilisables par un grand nombre et des programmes de formation amélioreront les évaluations des risques écologiques dans le secteur aquatique en général.

7.9 Conclusion

L'évaluation des risques écologiques posés par les poissons génétiquement améliorés avant leur diffusion et la surveillance écologique suite à la diffusion sont nécessaires pour en tirer de larges avantages sans pour autant compromettre la conservation de la diversité aquatique. Les approches d'évaluation systématique des risques permettent aux décideurs de concentrer les ressources limitées destinées à l'évaluation des risques sur les questions prioritaires. Des techniques scientifiques appropriées devraient être intégrées aux délibérations des diverses parties prenantes. Cela permettrait de s'accorder sur les dangers prioritaires, d'utiliser le savoir existant le plus en rapport, de concentrer les tests et la collection de données sur les actions visant à combler les déficits d'information les plus importants, d'appliquer des analyses d'incertitude pour améliorer la qualité des conclusions, et améliorer la compréhension des questions et la confiance de la société envers le processus d'évaluation des risques et ses conclusions. Une surveillance bien conçue est essentielle pour pouvoir détecter les premiers signes des effets indésirables des poissons génétiquement modifiés dans les écosystèmes naturels. Une surveillance efficace est néanmoins complexe et exige une expertise technique considérable ainsi qu'un engagement à long terme.

L'évaluation et la gestion des risques est une tâche compliquée qui n'a pas encore fait l'objet d'une utilisation approfondie en aquaculture. Au fur et à mesure que l'aquaculture se développe et utilise davantage d'organismes génétiquement améliorés, on ressent le besoin de perfectionner et d'appliquer des procédés d'analyses des risques impliquant à la fois des scientifiques, les multiples parties prenantes et des agences gouvernementales de réglementation. L'évaluation et la gestion pro-actives des risques peuvent contribuer à mener l'aquaculture des organismes génétiquement améliorés vers des pratiques qui protègent la nature tout en soutenant une pisciculture accomplie.

8 LA PÊCHE FONDÉE SUR L'ÉLEVAGE¹⁰³

8.1 Principes généraux

Dans l'optique de ces directives, la pêche fondée sur l'élevage s'entend de la pêche de capture qui est entretenue par recours à l'empoissonnement du matériel cultivé au sein d'établissements aquacoles. Ledit «matériel» est habituellement composé de spécimens aux premiers stades de développement, mais peut également consister en des juvéniles ou des adultes. On dénombre trois catégories générales de pêche fondée sur l'élevage:

1. celle où les individus qui constituent le matériel introduit sont destinés à se reproduire entre eux et avec les espèces locales, augmentant ou reconstituant ainsi les stocks locaux;
2. celle où les individus qui constituent le matériel introduit sont destinés à se reproduire entre eux et non avec les espèces locales, formant ainsi un nouveau stock halieutique;
3. celle où le matériel introduit n'est pas destiné à se reproduire.

D'après la terminologie suggérée par un groupe international travaillant sur les pêches côtières, on préconise l'utilisation:

- du repeuplement, l'introduction de juvéniles cultivés au sein de population(s) sauvage(s) afin de reconstituer la biomasse de reproduction quasiment décimée à des niveaux qui permettent d'assurer à nouveau des rendements réguliers et substantiels;
- de l'aménagement des stocks, relâchement de juvéniles cultivés au sein de population(s) sauvage(s) afin d'augmenter l'approvisionnement naturel en juvéniles et d'optimiser les récoltes en surmontant les limites de recrutement; et
- du pacage marin, introduction de juvéniles cultivés dans des environnements ouverts, en zone marine ou en estuaires, en vue d'une récolte à plus grande échelle dans des opérations d'«ensemencement grâce à la production provenant des écloséries» (*put, grow and take*).

¹⁰³ Rédigé par Devin M. Bartley.

Afin d'aménager avec efficacité les ressources génétiques au sein de la pêche fondée sur l'élevage, il est essentiel de saisir lequel des objectifs susmentionnés est recherché. Il est communément admis que ces catégories comportent un part de flexibilité. Il est possible par exemple que le poisson de la troisième catégorie se reproduise. Le succès de la pêche fondée sur l'élevage ne s'évalue pas ainsi, mais cet aspect doit néanmoins être pris en compte dans l'analyse des risques. Le succès de la pêche fondée sur l'élevage dépendra en fait des contextes sociaux, économiques et écologiques au sein desquels elle sera appliquée. Le recours aux écloséries à l'appui de la pêche est une tactique de gestion halieutique qui doit être intégrée dans un plan global de gestion pour une zone de pêche ou une étendue d'eau données. La simple introduction d'organismes au sein d'une étendue d'eau sans aucune disposition relative à la gestion des ressources, aucun contrôle des pêcheurs et des pratiques de pêche, ni aucune protection des habitats n'aura pas de succès. Les présentes directives se concentrent sur la gestion des ressources génétiques s'intégrant dans la pêche fondée sur l'élevage.

8.2 Plan de gestion de ressources génétiques en vue de la pêche fondée sur l'élevage

Le recours à des organismes cultivés en éclosérie dans la gestion de la pêche n'a pas souvent atteint les objectifs souhaités visant à accroître la production halieutique. Cela s'explique en partie par le fait que les aquaculteurs produisent de jeunes poissons dont la survie est certes bonne en éclosérie, ce qui est cependant bien moins certain lorsqu'ils les introduisent par la suite dans des environnements sauvages complètement différents (chapitre 3). Un poisson domestiqué qui est adapté à une alimentation régulière composée de régimes formulés ne survivra pas bien dans la plupart des habitats naturels. Par conséquent, un plan de gestion des ressources génétiques aux fins de la pêche fondée sur l'élevage doit être se différencier radicalement des plans d'amélioration de l'élevage exposés dans les chapitres 4-6. Les plans globaux de gestion sont analysés ci-dessous pour les trois catégories de pêche fondée sur l'élevage.

8.2.1 Pêche fondée sur l'élevage où les individus introduits sont destinés à se reproduire avec les espèces locales

Lorsque l'objectif de la pêche fondée sur l'élevage est de repeupler ou d'augmenter la reproduction naturelle des populations naturelles des espèces locales, la gestion des ressources génétiques devrait s'efforcer de recréer, dans le matériel empoissonné, le niveau naturel de diversité génétique. Les environnements présents en écloséries devraient être aussi naturels que possible de sorte que n'intervienne aucune pression de sélection artificielle. Cela exige de choisir d'introduire la souche appropriée, ainsi que de modifier les techniques d'écloséries et de grossissement afin de réduire au minimum la sélection artificielle et involontaire.

8.2.1.1 Choix du stock approprié

La diversité génétique du matériel destiné à être introduit devrait correspondre à celle des populations naturelles; ce qui est obtenu d'autant mieux qu'on utilise des géniteurs sauvages capturés. Si l'approvisionnement du stock en géniteurs sauvages est pauvre, comme c'est le cas pour de nombreuses populations naturelles menacées d'extinction voire disparues localement, on devrait alors procéder à l'identification génétique dudit stock afin d'identifier un stock très similaire. Au cas où les données génétiques nécessaires à l'identification du stock ne seraient pas disponibles, des informations de substitution peuvent être utilisées, par ex. choisir des stocks provenant du même habitat aquatique (étendue d'eau ou cours d'eau spécifique, tel qu'un affluent) et partageant les antécédents, la croissance, la couleur, la forme et les caractéristiques de comportement. Il y a lieu d'éviter les transferts de stocks entre les différents bassins hydrographiques ou écorégions. La gestion du stock de géniteurs (chapitre 3) en vue d'optimiser la taille effective de la population et de réduire la dérive génétique devrait être entreprise dès lors que les géniteurs sont prêts pour l'accouplement.

Pour des programmes à long terme, il est souhaitable de développer un plan d'élevage en rotation selon lequel les géniteurs sont utilisés pour produire du matériel destiné à être empoissonné, ces derniers étant ensuite réintroduits dans la nature et de nouveaux géniteurs étant amenés dans l'éclosérie. Le moment choisi pour cette rotation dépendra du succès du programme et de la disponibilité de géniteurs naturels. Pour des espèces

qui ne fraient qu'une seule fois (par ex. le saumon du Pacifique) ou en cas de besoins de géniteurs prédateurs pour réaliser la fécondation (par ex. certains esturgeons), cette rotation ne s'appliquera pas.

8.2.1.2 *Choix des procédures adéquates réalisées en écloserie*

À court terme, les poissons s'adapteront aux pratiques de gestion des écloseries et à plus long terme, les conditions des écloseries exerceront des pressions de sélection sur ces poissons (chapitre 3). Les procédures opérées en écloseries devraient être conçues de façon à réduire au minimum les influences (c.à.d. réduire la sélection par domestication) lorsque le matériel empoisonné est destiné à survivre et/ou à se reproduire dans la nature. Des directives relatives aux protocoles spécifiques d'élevage visant à réduire au minimum la consanguinité et la perte de diversité génétique sont examinées au chapitre 3.

Parmi les modifications typiques apportées aux écloseries et visant à réduire la sélection artificielle figurent:

- l'approvisionnement en nourriture vivante, provenant si possible d'un environnement sauvage, plutôt que des aliments formulés;
- la fourniture de davantage d'habitats naturels comprenant graviers, plantes et abris, plutôt que des aquariums stériles et des *raceways*;
- la provision d'une quantité limitée de prédateurs en vue d'apprendre à éviter les prédateurs;
- des cycles de lumière naturelle/obscurité;
- le relâchement des plus jeunes poissons qui ne se sont pas adaptés aux conditions en écloserie; ce qui devrait toutefois faire l'objet d'une évaluation étant donné que les poissons plus âgés sont à même de mieux survivre;
- faire frayer les poissons pendant toute la saison du frai (c.à.d. ne pas simplement collecter une grande quantité de frai à un moment jugé commode afin d'atteindre les objectifs de production);
- ne pas effectuer de transferts de poissons entre les écloseries qui sont situées dans différents bassins hydrographiques ou affluents afin d'atteindre les objectifs de production.

8.2.2 Pêche fondée sur l'élevage où les individus introduits sont destinés à se reproduire entre eux, mais pas avec les espèces locales

Cela peut se produire lorsque les poissons introduits en vue de la pêche fondée sur l'élevage ont des stratégies de reproduction différentes des espèces locales, parce que ce sont des espèces différentes ou bien, si les espèces sont les mêmes, parce qu'elles ont des modèles de migration différents ou d'autres comportements, tels que les préférences de partenaire. L'exemple le plus courant est l'introduction régulière aux fins de la pêche fondée sur l'élevage d'espèces étrangères ou de souches spécifiques de poissons telles que le saumon. Si des poissons fertiles sont introduits pour se reproduire, on peut s'attendre à ce que des populations autosuffisantes se développent, annulant ainsi le besoin continu d'empeusement.

Le relâchement de poissons étrangers viables et en mesure de se reproduire est considéré comme le type d'aménagement des stocks le plus sujet aux risques (chapitre 7). La gestion des stocks nécessite une connaissance approfondie de la génétique et des antécédents naturels d'une espèce ou d'un stock. Même dans ce cas, les caractéristiques et comportements naturels d'une souche qui se sont avérés dans le passé sont susceptibles de changer en contact avec un nouvel environnement. Des directives ont été élaborées dans le but de préconiser des procédures responsables relatives à l'utilisation d'espèces étrangères (chapitre 5)¹⁰⁴. En supposant que ces directives ont été suivies et que la pêche fondée sur l'élevage reposant sur le recours aux poissons étrangers a été qualifiée de choix de gestion acceptable, un stock devrait être choisi en fonction de ses caractéristiques de comportement appropriées (par ex. le moment et l'emplacement de la migration), et des mesures de gestion des ressources génétiques devraient être planifiées et mises en œuvre afin d'optimiser N_e et d'éviter la sélection par domestication (voir chapitre 3).

¹⁰⁴ Par exemple le Code de pratique de 2004 du CIEM (Conseil international pour l'exploration de la mer) sur les introductions et les transferts d'organismes marins. www.ices.dk/reports/general/2004/ICESCOP2004.pdf

8.2.3 Pêche fondée sur l'élevage où le matériel introduit n'est pas destiné à se reproduire

Dans de nombreux cas de pêche fondée sur l'élevage, on n'observe ni l'intention ni la possibilité de créer des populations autosuffisantes. Compte tenu de ces circonstances, la gestion des ressources génétiques devrait s'efforcer d'optimiser la productivité et de réduire les impacts négatifs sur l'écosystème. La production de poissons stériles reste le meilleur moyen de réduire les risques de reproduction des poissons introduits avec les espèces locales. La création de triploïdes, c.à.d. l'ajout d'un lot chromosomique supplémentaire, est la méthode la plus courante pour produire des poissons stériles. La triploïdie peut être induite par la température, la pression ou les traitements chimiques sur les gamètes des poissons et les embryons en cours de développement. Cette méthode est facilement réalisée chez des espèces telles que les huîtres, le saumon et la truite, mais difficile à une échelle commerciale pour d'autres, telles que le tilapia.

Le relâchement d'individus à sexe unique, c.à.d. monosexes, a également été utilisé pour réduire les risques de reproduction. Des groupes monosexes peuvent être réalisés soit par la manipulation génétique soit par l'administration d'hormones sexuelles au moment approprié. Le fait de combiner la triploïdie induite avec la production monosexue réduirait davantage les risques de reproduction non désirée.

La surveillance du matériel introduit est nécessaire pour veiller à ce que l'écloserie génère les produits souhaités (c.à.d. veiller à ce que les individus introduits soient entièrement triploïdes ou tous du sexe souhaité).

Il est également possible de contrôler la reproduction à travers le contrôle de l'effort de pêche et le choix de l'habitat où s'effectue l'empoissonnement. Les poissons sont souvent introduits dans des étendues d'eau qui se tarissent avant que la reproduction n'ait pu avoir lieu, dans des étendues d'eau fermées qui ne sont en aucun cas connectées à des habitats de frai critiques, ou dans des zones d'intense pression halieutique où 100 pour cent des poissons introduits sont capturés. Ces conditions ne sont néanmoins pas efficaces à 100 pour cent pour éviter toute reproduction dans la mesure où certains poissons peuvent se déplacer dans des zones où la reproduction est possible voire dans des zones où les activités de

pêches sont moins intenses. Le recours à des poissons stériles en pareils cas réduirait davantage les risques de production non désirée.

8.3 Surveillance, évaluation et rapports

Comme pour toutes les activités de pêches, la surveillance de la pêche fondée sur l'élevage est essentielle et à ces fins, le matériel introduit doit être identifiable. Des programmes de marquage au sein des écloséries sont en cours dans de nombreuses régions du monde pour évaluer les contributions des écloséries à la pêche fondée sur l'élevage. Des tags physiques peuvent identifier les contributions initiales; toutefois, si les poissons introduits se reproduisent dans la nature, il ne sera possible d'indiquer les contributions des écloséries aux générations successives que par des tags génétiques. L'augmentation avérée dans la profusion des espèces introduites est parfois, bien que ce ne soit pas toujours le cas, un indicateur de la contribution des écloséries à une zone de pêche; des changements favorables au sein de l'environnement ou une meilleure gestion de la zone de pêche peut aussi favoriser des augmentations naturelles.

En outre, il a été remarqué que dans certains cas, les poissons introduits provoquent des déplacements de stocks locaux de la même espèce. C'est une situation qu'il convient d'éviter et, dans l'évaluation globale de l'empoisonnement en tant que stratégie de gestion, c'est une situation qui justifie l'importance que revêt la capacité de distinguer les stocks issus d'écloséries des stocks sauvages.

Une approche de précaution en vue de développer la pêche fondée sur l'élevage exige le développement de points de référence (chapitre 11); points de référence portant sur la cible pour indiquer des situations souhaitables qu'une ferme piscicole s'efforce de réaliser, et des points de référence portant sur les limites pour indiquer les conditions à éviter et la surveillance régulière pour évaluer dans quelle mesure les points de référence ont été atteints. Les points de référence devraient avoir trait aux objectifs déclarés, à l'évaluation des risques et aux mesures de succès (voir chapitre 11).

Lorsque les écloséries relâchent des organismes viables en mesure de se reproduire à l'appui de pêche fondée sur l'élevage, il est possible que des

populations autosuffisantes se développent et annulent ainsi le besoin d'empoissonnement supplémentaire. Cela peut être particulièrement vrai dans des programmes de rétablissement des espèces menacées qui combinent l'empoissonnement avec l'amélioration des habitats ainsi que celle de la législation. Une surveillance et des discussions honnêtes avec les parties prenantes sont requises en vue de déterminer dans quelle mesure un empoissonnement supplémentaire est encore nécessaire après que des populations autosuffisantes ont été établies.

La FAO recueille des informations sur le nombre et les espèces qui sont relâchées dans les étendues d'eau ouvertes, y compris les étendues d'eau naturelles, semi-naturelles tels que les réservoirs, et autres plans d'eau gérés tels que les champs de riz. Afin d'évaluer les contributions de la pêche fondée sur l'élevage à la production halieutique nationale et mondiale, les gérants d'écloseries devraient communiquer en temps utile des informations détaillées sur tous les relâchements réalisés en soutien à la pêche fondée sur l'élevage aux bureaux nationaux de statistiques, informations qui seront transférées par la suite à la FAO.

9 CONSERVATION DES RESSOURCES GÉNÉTIQUES ICHTYOLOGIQUES SAUVAGES ET AQUACULTURE¹⁰⁵

9.1 Introduction

À travers l'adoption unanime du Code, les états ont reconnu que la conservation est une composante nécessaire d'une utilisation responsable. Le présent chapitre examine l'utilisation responsable des ressources génétiques ichtyologiques pour l'aquaculture, en mettant l'accent sur leur conservation. Les ressources génétiques ichtyologiques sauvages sont un sous-ensemble de grande valeur de toutes les ressources génétiques ichtyologiques disponibles pour un usage actuel et futur de l'aquaculture et de la recherche dans ce domaine. Les ressources génétiques ichtyologiques sauvages sont des ressources génétiques ichtyologiques en liberté de nature et modifiées minimalement par les activités humaines, bien que ce soit de plus en plus difficile de trouver des populations sauvages n'ayant subi aucune modification (voir section 9.2). Le terme «sauvage» est par conséquent un terme relatif qui s'entend par: aussi sauvage que possible dans des circonstances changeantes.

Comme toutes les ressources génétiques ichtyologiques destinées à l'aquaculture, les ressources génétiques ichtyologiques sauvages comprennent l'ADN, les gènes, les gamètes, les organismes individuels et les populations (chapitre 1). Bien que ne mentionnant pas explicitement les ressources génétiques ichtyologiques sauvages, le Code les inclut implicitement dans toutes ses références à la biodiversité, aux stocks cultivés, aux ressources aquatiques vivantes, à la diversité génétique, aux stocks sauvages, ainsi qu'aux stocks génétiquement modifiés, et préconise ainsi leur aménagement (c.à.d. la conservation et une utilisation durable) et le souci de préserver leurs habitats. Le but de ce chapitre est d'offrir des recommandations aux élaborateurs de politiques aquacoles ainsi qu'aux preneurs de décisions relatives à l'aquaculture de façon à promouvoir une aquaculture responsable, à protéger les ressources génétiques ichtyologiques sauvages et de valeur et, selon qu'il convient, à contribuer à leur rétablissement.

¹⁰⁵ Rédigé par Roger S.V. Pullin.

9.2 Ressources génétiques ichtyologiques sauvages

Le caractère sauvage d'un poisson est un attribut spécial, reconnu largement par les naturalistes et les défenseurs de ressources naturelles ainsi que par les pêcheurs commerciaux et de loisir et les consommateurs de poisson. Néanmoins, la véritable étendue sauvage aquatique se réduit et le caractère sauvage des populations de poissons en liberté en résulte facilement compromis. Les pêches de capture, la perte d'habitat et la dégradation de l'environnement aquatique amoindrissent les diversités génétiques des populations aquatiques et autres biodiversités. Plus les zones aquatiques protégées sont gérées d'une manière intensive et sont influencées par des zones non protégées qui les entourent, plus elles perdent leur caractéristique naturelle.

De nombreuses populations de poissons autosuffisantes de nature sont issues d'un empoissonnement intentionnel, ou de poissons ayant fui les exploitations piscicoles, ou encore de poissons retirés des aquariums puis jetés. Ces populations comprennent des espèces exotiques et indigènes. Les populations qui descendent de poissons sauvages ou génétiquement proches des types sauvages sont toujours considérées comme des ressources génétiques ichtyologiques sauvages. Celles qui descendent de poissons qui se situaient à différentes étapes de domestication, y compris les souches distinctes, les hybrides et autres formes génétiquement modifiées, sont des poissons féraux; similaires au animaux d'élevage qui descendent d'animaux qui se sont échappés des fermes et des ranchs. Les formes férales sont resélectionnées de façon naturelle de la domestication à l'adaptabilité dans la nature. Les poissons féraux constituent de précieuses ressources génétiques ichtyologiques pour les pêches de capture ainsi que pour l'aquaculture et la recherche qui y est liée. Ils ne sont pas des ressources génétiques ichtyologiques sauvages en soi mais devraient y être incluses pour des besoins de gestion.

Les types de poissons suivants contribuent tous à la diversité des ressources génétiques ichtyologiques sauvages: espèces indigènes sauvages; espèces exotiques en liberté, descendant d'introductions et de relâchement de poissons sauvages; et populations d'espèces en liberté qui ont élargi leurs régions naturelles lors de l'ouverture des barrières, par ex. lors des introductions dans la Méditerranée par le Canal de Suez. Une bonne partie des populations de poissons sauvages du monde se

distingue de leurs parents cultivés par leur emplacement, leur apparence, leur comportement et, principalement, par leur caractérisation génétique biochimique. Bien que certaines populations de poissons cultivés soient sauvages puisqu'ils sont collectés à l'état de semence sauvage -le naissain de mollusques par exemple-, la plupart d'entre elles sont génétiquement différentes de leur parents vivant en liberté au sein des populations sauvages, comportant des fréquences radicalement différentes portant sur de nombreux allèles¹⁰⁶. Même si aucune sélection intentionnelle ni autre modification génétique n'est appliquée, les générations successives de reproduction en captivité produisent des poissons qui se distinguent de plus en plus des poissons sauvages (chapitres 3 et 4).

D'une manière plus générale, les ressources génétiques ichtyologiques sauvages utilisées en aquaculture comprennent non seulement celles des espèces de poissons d'élevage mais également celles des autres espèces présentes dans tous les écosystèmes, ces dernières venant en soutien à la production aquacole: citons à titre d'exemple les populations de poissons sauvages qui sont récoltées pour fabriquer des aliments destinés à l'aquaculture ainsi que le plancton et les micro-organismes présents dans les fermes piscicoles pour fournir des aliments, de l'oxygène et le traitement des déchets. Par conséquent, les ressources génétiques de ces organismes, sur lesquelles la production aquacole repose, doivent aussi faire l'objet de documentations solides et être conservées par des mesures appropriées et adaptées aux pêches de capture et à la santé des écosystèmes dans lesquels l'aquaculture est pratiquée.

9.3 Importance pour l'aquaculture

La domestication et l'amélioration génétique de la plupart des poissons cultivés accusent un retard certain par rapport à celles pratiquées pour la culture des plantes et du bétail. La reproduction en captivité et des programmes d'amélioration ont été établis pour de nombreuses espèces de poissons d'élevage, mais pas pour toutes. Par conséquent, on compte encore des poissons qui sont cultivés en tant que types sauvages ou en tant que populations non domestiquées et proches des types sauvages. La culture d'algues marines est aussi fortement tributaire de la propagation des types sauvages. Si la domestication du poisson est définie comme une

¹⁰⁶ Elliot, N. et Evans, B. 2007. Genetic change in farm stocks: should there be concern? World Aquaculture, 36 (1): 6-8.

reproduction contrôlée et continue sur plus de 3 générations, seules 30 espèces de poissons d'élevage, sur 103 pour lesquelles la production de 2004 a dépassé 1 000 tonnes métriques, peuvent être considérées comme domestiquées¹⁰⁷ (chapitre 3). L'aquaculture fondée sur les captures¹⁰⁸, la pêche fondée sur l'élevage (chapitre 8) qui impliquent le recours à des semences de poissons collectées dans la nature ou des semences produites en écloséries issues de géniteurs collectés dans la nature, et les pêches de capture qui fournissent des aliments et des ingrédients alimentaires pour l'aquaculture récoltent toutes des poissons sauvages. À mesure que la disponibilité de nouvelles technologies relatives à la reproduction en captivité s'améliore, l'élevage de poisson sauvage et non domestiqué diminuera, les ressources génétiques ichtyologiques sauvages resteront toutefois importantes pour l'aquaculture, pour leur utilisation dans les programmes d'amélioration de poissons et pour toute recherche apparentée. Cet aspect est comparable à l'importance que revêtent encore les parents sauvages des plantes cultivées comme sources de diversité génétique à exploiter par les phytogénéticiens, et ce, en dépit des progrès considérables réalisés dans la génomique des plantes. Il en sera de même pour le poisson cultivé, même si les avancées de la génomique des poissons sont manifestes et les technologies modernes de la génétique sont de plus en plus utilisées en aquaculture. L'aquaculture devra faire face à des défis inévitables dérivant, par exemple, de nouvelles maladies plus virulentes, du changement climatique ainsi que du besoin de réduire les coûts de production et d'accroître la productivité à travers l'amélioration d'une large gamme de caractères liés à la performance. La plupart des ressources génétiques ichtyologiques en mesure de contribuer à relever ces défis sont des ressources génétiques ichtyologiques sauvages. En tant que biens publics, leur valeur est considérable mais elles sont vulnérables et, dans certains cas, en voie de disparition. Par conséquent, il convient en premier lieu de reconnaître que les ressources génétiques ichtyologiques sauvages sont d'une importance capitale pour la durabilité et la rentabilité futures de l'aquaculture et, en deuxième lieu, d'investir de façon adéquate dans leur caractérisation et leur conservation, de façon à veiller à ce qu'elles soient disponibles de façon ininterrompue.

¹⁰⁷ Bilio, M. Controlled reproduction and domestication in aquaculture. The current state of the art. Part II. Aquaculture Europe, 32 (3): 5-23.

¹⁰⁸ Ottolenghi, F.; Silvestri, C.; Giordano, P.; Lovatelli, A. et New, M. 2004. Capture-based aquaculture. The fattening of eels, groupers, tunas and yellowtails. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 308p.

9.4 Approches de gestion

9.4.1 *Établissement de catégories et de priorités*

Les populations de poissons sauvages peuvent se différencier génétiquement en cas de réduction de l'échange de gènes (flux de gènes) entre elles et en cas de pressions différentes de sélection exercées par l'environnement (chapitre 3). Les situations suivantes sont observées: petites populations avec des taux élevés de flux de gènes; sous-populations partiellement isolées ayant parfois des adaptations locales; populations locales plus isolées ayant souvent des adaptations locales; populations fermées isolées et distinctes; et métapopulations reliées par les migrations. Pour toute espèce utilisée en aquaculture, l'objectif global devrait consister à maximiser la disponibilité continue de plus de diversité génétique sauvage possible.

La diversité génétique d'une espèce est généralement caractérisée par des variations à travers son habitat géographique, les populations les plus isolées et non dérangées étant souvent les plus distinctes. La clé consiste à rassembler suffisamment de données génétiques pour caractériser le plus possible de diversité génétique des espèces, et ce faisant, identifier les populations sauvages qui contribuent plus significativement à cette diversité. Dans la littérature sur la conservation, ces dernières peuvent être appelées unités de conservation ou unités significatives d'évolution. Elles sont des composantes importantes de la diversité génétique globale au sein d'une espèce. En outre, certaines populations locales de poissons, bien que superficiellement similaires aux autres, sont des espèces distinctes et cryptiques et en tant que telles, possèdent des gènes uniques et de grande valeur¹⁰⁹.

Établir des priorités parmi la grande diversité de ressources génétiques ichtyologiques sauvages en vue de la conservation et arriver à un consensus sur les mesures de gestion est loin d'être un processus facile, particulièrement dans les cas où les données génétiques sont limitées. Une approche de grande précaution est préconisée, consistant à accorder une priorité élevée à la conservation des ressources génétiques ichtyologiques qui sont clairement distinctes et qui contribuent d'une manière significative à la diversité génétique sauvage des espèces dans son ensemble, dans les limites des connaissances à ce sujet, mais tout

¹⁰⁹ Thorpe, J.P.; Solé-Cava, A.M. et Watts, P. 2000. Exploited marine invertebrates: genetics and fisheries. *Hydrobiologia*, 420: 165-184.

en supposant également que toutes les autres ressources génétiques ichtyologiques sont potentiellement importantes. Des avis provenant de généticiens professionnels devraient être recherchés en vue de tirer avantage de toutes les informations disponibles et de combler les déficits d'information¹¹⁰.

Parmi les ressources génétiques ichtyologiques sauvages à priorité élevée pour la conservation figurent des populations vivant dans des étendues d'eau et des cours d'eau séparés, sur et autour d'îles différentes, et dans des baies et estuaires différents. L'isolation géographique est généralement signe de particularité et de valeur potentielle des ressources génétiques ichtyologiques sauvages. Pour des espèces fortement migratrices, ce critère d'isolation s'applique particulièrement aux populations reproductrices et aux premiers stades de développement. Des ressources génétiques ichtyologiques sauvages potentiellement distinctes et de grande valeur se distinguent également par leurs modèles de migration différents, par des saisons de frai différentes, ou par d'autres comportements. Les populations situées près des centres naturels de diversité génétique des espèces sont généralement tout aussi importantes que les ressources génétiques ichtyologiques sauvages; une priorité élevée devrait ainsi leur être accordée pour ce qui est de la conservation. Toutefois, il est également important de conserver des populations représentatives à travers l'ensemble de l'habitat naturel d'une espèce, en particulier celles se trouvant près de ses limites et dans des habitats extrêmes: par exemple, les populations les plus au nord et les plus au sud, ou encore celles présentes dans des sources chaudes ou à salinité élevée. Des avis d'expert émanant de généticiens spécialistes de la conservation devraient être recherchés pour établir des priorités parmi les ressources génétiques ichtyologiques sauvages en vue de la conservation. Au cas où de tels avis ne seraient pas disponibles, ils peuvent être recherchés auprès des organisations internationales, dont la FAO, l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN)¹¹¹, les secrétariats de conventions internationales –par exemple, la Convention sur la diversité biologique (CDB)¹¹², la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction¹¹³, et la Convention sur les espèces migratrices appartenant à la faune sauvage¹¹⁴.

¹¹⁰ Pullin, R.S.V. 2000. Management of aquatic biodiversity and genetic resources. *Reviews in Fisheries Science*, 8 (4): 379-393.

¹¹¹ www.iucn.org

¹¹² www.biodiv.org

¹¹³ www.cites.org

¹¹⁴ www.cms.int

9.4.2 Perspectives intersectorielles

L'article 9.1.3 prévoit le partage des ressources entre l'aquaculture et les autres secteurs: «*Les États devraient élaborer et mettre régulièrement à jour des stratégies et plans, ainsi que de besoin, afin d'assurer que le développement de l'aquaculture soit écologiquement durable et permette l'utilisation rationnelle des ressources partagées entre l'aquaculture et d'autres activités.*» Cela nécessite des perspectives intersectorielles. La conservation des ressources génétiques ichtyologiques sauvages fait partie intégrante de la conservation de la nature, qui est un secteur doté de ses propres droits. Les habitats des ressources génétiques ichtyologiques sauvages ainsi que leurs eaux sont utilisées par les hommes à des degrés différents pour l'agriculture, l'aquaculture, la conservation de la faune et de la flore, la foresterie, l'industrie extractive, la conservation de la nature, la navigation, la production d'énergie hydroélectrique, les loisirs et le tourisme, l'approvisionnement en eau pour les installations humaines et l'industrie, enfin le traitement et l'élimination des déchets. La conservation des ressources génétiques ichtyologiques doit rivaliser avec les besoins de tous ces secteurs, ces derniers devant également rivaliser avec leurs besoins réciproques.

Il est particulièrement difficile de concilier l'aquaculture avec la conservation des ressources génétiques ichtyologiques sauvages se trouvant en liberté. Certaines eaux offrant des perspectives à l'aquaculture embrassent aussi des ressources génétiques ichtyologiques sauvages de grande importance nationale, voire internationale. Les pisciculteurs ont besoin de cultiver – et devraient être autorisés à le faire – la majorité des espèces et souches de poissons qui sont productives et rentables, comme en agriculture, à condition qu'ils respectent les garanties portant sur la sûreté biologique, la sécurité biologique et autres questions touchant l'environnement, et qu'ils respectent également les droits d'accès et de propriété. Cependant, les fuites de poissons et d'agents pathogènes des établissements piscicoles peuvent avoir des effets nuisibles sur les ressources génétiques ichtyologiques sauvages ainsi que sur les autres aspects de la biodiversité et les habitats.

À mesure que l'aquaculture s'étend dans les bassins versants, les zones côtières et en mer ouverte, les décideurs de politiques et organismes de contrôle sont tenus de renforcer leurs réflexions quant aux choix

de poissons que l'on pourra cultiver et à quels emplacements; c'est précisément ici que le facteur de la conservation des ressources génétiques ichtyologiques entre en ligne de compte. Dans une optique de conservation, les quatre options, par ordre croissant de restriction et de précaution, sont les suivantes: 1) autoriser l'élevage de tout poisson; 2) n'autoriser que l'élevage d'espèces de poissons indigènes; 3) n'autoriser que l'élevage de la souche d'une espèce indigène typique de cet endroit – il faut toutefois noter que la (ou les) souche(s) de poissons cultivée(s) se différencient rapidement d'un point de vue génétique de la (ou des) souche(s) sauvage(s); et 4) interdire toute activité aquacole. Le choix parmi ces options est difficile. Il convient donc de procéder à un bilan des gains réalisés par le développement de l'aquaculture en regard des pertes de ressources génétiques ichtyologiques sauvages, de biodiversité et d'habitats ou des changements qui y sont apportés. L'approche préconisée en pareil cas consiste à suivre les dispositions générales du Code et ce, de ne permettre qu'un développement responsable de l'aquaculture, ce qui suppose la mise en œuvre et la poursuite des objectifs de conservation de la nature, y compris de la conservation des ressources génétiques ichtyologiques, et la sauvegarde des intérêts des autres secteurs. L'adoption d'une perspective intersectorielle apparaît comme la clé pour atteindre un équilibre entre le développement et la conservation. Même lorsqu'elle n'est limitée qu'à peu de secteurs – par exemple, à l'aquaculture, la nature, la conservation et la gestion des ressources en eau –, une approche intersectorielle dans ce cas profite à ces secteurs ainsi qu'à ceux qui dépendent de la santé et des services d'un écosystème aquatique.

Les parties prenantes impliquées dans ces secteurs parmi d'autres devraient se rencontrer, engager des discussions et arriver à un consensus équilibré et fondé sur des compromis, des sacrifices et un partage des avantages ayant fait l'objet d'un accord mutuel. Ce processus s'avérera difficile dans la mesure où, historiquement, une bonne partie des institutions impliquées dans l'aquaculture et dans la conservation ont agi de façon séparée, le développement et la supervision de l'aquaculture ayant avancé indépendamment de la constitution et de la poursuite des objectifs de conservation. Des institutions intersectorielles ne sont pas encore bien développées, quoique soit implicite dans le Code leur établissement en vue de l'amélioration de la responsabilité en matière d'aquaculture. Il est par conséquent urgent de procéder au développement d'institutions

intersectorielles de manière à ce que les secteurs de l'aquaculture, de la conservation et les autres travaillent en harmonie. Il convient que la perspective intersectorielle soit maintenue, et ce, non seulement précédant ou durant le développement de l'aquaculture mais également tout au long de la supervision permanente et successive de l'aquaculture et de ses rapports intersectoriels. Cela est également reconnu dans l'article 7.6.8 qui exige que «*l'efficacité des mesures de conservation et d'aménagement et leurs interactions possibles devraient être examinées en permanence*»

9.4.3 *Jumeler l'aquaculture et la conservation*

Jumeler le développement et la supervision de l'aquaculture avec des mesures visant à favoriser et surveiller la conservation des ressources génétiques ichtyologiques sauvages est préconisé en tant que recours logique pour garantir tant une utilisation durable que la conservation à long terme des ressources génétiques ichtyologiques sauvages¹¹⁵. Ce jumelage nécessite le zonage de zones désignées pour l'aquaculture d'une part, et de zones destinées à la conservation d'autre part, ces dernières devant être isolées et formellement interdites aux activités aquacoles et aux eaux utilisées par les exploitations piscicoles. Ces mêmes zones destinées à la conservation doivent aussi être éloignées des impacts potentiellement perturbateurs d'autres secteurs. Dans les zones bien choisies et destinées à l'aquaculture, un large choix de poissons peuvent être cultivés, à condition que la conservation des ressources génétiques ichtyologiques soit pleinement garantie dans les zones de conservation jumelées, telles que les réserves naturelles et les sites sacrés. Le jumelage est cependant bien plus qu'un simple zonage séparant l'aquaculture et la conservation des ressources génétiques ichtyologiques. Il doit en effet supposer une élaboration conjointe de politiques, une action intégrée, une co-surveillance ainsi qu'un cofinancement, l'avancée des deux secteurs étant interdépendants. L'utilisation et la conservation deviennent alors des objectifs de gestion jumelés et sont dorénavant cofinancés de façon continue.

¹¹⁵ Pullin, R.S.V. *sous presse*. Aquaculture and conservation of fish genetic resources: twinning objectives and opportunities, p. 00-00. *Dans* Pioneering fish genetic resource management and seed dissemination programmes for Africa: adapting principles of selective breeding to the improvement of aquaculture in the Volta Basin and surrounding areas. CIFA Occasional Paper No. 29. FAO: Accra, Ghana.

Les zones de conservation respectant le critère strict qui est défini ici pour le jumelage ne seront pas toujours disponibles. Bien que n'étant pas préservées des impacts découlant de l'aquaculture, de la pêche et d'autres secteurs et bien que permettant une utilisation rationnelle de leurs ressources aquatiques vivantes, dont la pêche, de nombreuses réserves naturelles et zones aquatiques protégées ont un rôle d'une importance vitale à jouer dans la conservation des ressources génétiques ichtyologiques¹¹⁶. S'il s'avère impossible, malgré tous les efforts possibles, d'identifier et d'établir une ou plusieurs zones de conservation, en raison de circonstances historiques ou actuelles (écologiques ou sociales), dans un écosystème donné tel qu'un bassin versant ou une zone côtière, le concept de jumelage peut être élargi à l'échelon national ou international. L'exigence principale est que le développement de l'aquaculture où que ce soit pouvant compromettre l'intégrité des ressources génétiques ichtyologiques sauvages soit lié dans tout autre endroit à la conservation *in situ*, et *ex situ* de façon complémentaire, des ressources génétiques ichtyologiques sauvages.

9.4.4 Conservation *in situ*

Au titre de la Convention, les variétés, souches et races distinctes des plantes cultivées, des poissons et du bétail d'élevage sont appelés ressources génétiques *in situ* lorsqu'elles sont situées dans des exploitations qui sont aussi leurs milieux naturels. Leurs parents sauvages en liberté de nature sont également appelés ressources génétiques *in situ*. Les zones aquatiques protégées bien aménagées sont des banques de gènes *in situ* pour les ressources génétiques ichtyologiques sauvages (chapitre 10), bien que ce rôle ne soit pas souvent reconnu et que la récolte et l'utilisation de données génétiques appropriées pour la gestion de ces banques fassent souvent défaut. Les ressources génétiques ichtyologiques sauvages *in situ* sont observées seulement dans des habitats naturels relativement non dérangés. Les principales exigences de conservation *in situ* de toute population de la faune sauvage dans toute zone protégée sont les suivantes: i) de maintenir la population génétiquement effective à une certaine proportion; à savoir un nombre donné de reproducteurs

¹¹⁶ Convention de Ramsar sur les zones humides (www.ramsar.org), dont les Parties considèrent que la présence de populations importantes de poissons est un critère d'identification des sites Ramsar

effectifs (N_e) de façon à éviter la dépression consanguine et la perte de variation génétique auxquelles les petites populations isolées sont souvent exposées (voir aussi le chapitre 3)¹¹⁷ et ii) de prêter une attention égale à l'aménagement de leurs habitats, de façon à éviter qu'ils se dégradent ou se détruisent. Même si ce dernier point est réalisé avec succès, les ressources génétiques ichtyologiques ciblées pour la conservation seront modifiées, voire perdues. La présence continue et l'intégrité des eaux et des communautés biologique qui abritent ces ressources génétiques ichtyologiques particulières doivent être garanties, au regard des défis représentés entre autres par le changement climatique, la construction de barrages, les sécheresses, les inondations, les introductions d'espèces et de maladies exotiques, la pollution causée par la surpêche, l'envasement et le captage des eaux. À cet égard, la conservation *in situ* des ressources génétiques ichtyologiques sauvages fait face aux mêmes contraintes que la conservation de la nature dans son ensemble; toutefois, les menaces qui pèsent sur les poissons sauvages, notamment les poissons d'eau douce et ceux fortement migrateurs, sont plus grandes que celles qui pèsent sur tout autre groupe de vertébrés utilisés pour la consommation alimentaire humaine.

La conservation *in situ* des ressources génétiques ichtyologiques sauvages importantes et menacées ne devraient pas être abandonnée sous prétexte que les populations qui restent à des fins de conservation ont des N_e faibles. Les populations réduites de ressources génétiques ichtyologiques sauvages faisant l'objet d'une conservation *in situ* contribuent à l'effort de conservation global pour une espèce donnée et revêtent une importance particulière là où elles sont des exemples rares et uniques d'une population locale génétiquement diverse, telle que la race côtière ou lacustre. La conservation *in situ* des ressources génétiques ichtyologiques sauvages comporte des coûts opérationnels et d'opportunité que le public et les bénéficiaires privés sont tenus de reconnaître et de partager.

L'une des questions clés par rapport à toutes les ressources génétiques sauvages *in situ* porte sur la façon de garantir une collection responsable de ces ressources issues de la nature, en évitant en particulier la surcollection et la collection non autorisée, ainsi que leur échange et l'utilisation équitable par la suite. En 1993, les Nations membres de la

¹¹⁷ Frankham, R. 1995. Conservation genetics. *Annual Review of Genetics*, 29: 305-327.

FAO ont négocié le Code de conduite pour la collecte et le transfert du matériel phytogénétique¹¹⁸, dont les objectifs peuvent tous être appliqués aux ressources génétiques ichtyologiques. La Convention sur la diversité biologique¹¹⁹ – particulièrement ses articles: 8, sur la conservation *in situ*, et notamment 8j, sur le partage équitable des avantages; 15, sur l'accès aux ressources génétiques; 17, sur l'échange d'informations; et 18, sur la coopération technique et scientifique – et de nombreux autres instruments internationaux et nationaux prévoient la gestion de la diversité biologique dans son ensemble, y compris implicitement des ressources génétiques ichtyologiques sauvages *in situ*, mais ont été jusqu'à maintenant appliqués de façon bien plus extensive à d'autres ressources génétiques sauvages, notamment aux parents sauvages des plantes cultivées.

9.4.5 Conservation ex situ

La conservation des ressources génétiques ichtyologiques en tant que poisson vivant est appelée conservation *in vivo*. Dans la conservation *in situ*, tout est *in vivo*, comme les populations de poissons de toutes tailles. La conservation *ex situ* des ressources génétiques ichtyologiques sauvages peut être soit *in vivo* comme les individus ou populations conservées dans des établissements de recherche et des aquariums, soit *in vitro* en tant que sperme cryoconservé, et plus rarement comme embryons ou tout tissu contenant de l'ADN. La conservation *ex situ/in vitro* des ressources génétiques ichtyologiques sauvages comme sperme cryoconservé est de loin la technologie la plus importante qui soit disponible (chapitre 10). L'absence de technologie comparable pour la cryoconservation des œufs et des embryons de tous les poissons à nageoires cultivés et de la majorité des invertébrés aquatiques signifie que le sperme cryoconservé ne peut être utilisé que pour féconder les œufs provenant de femelles vivantes. La cryoconservation reste cependant un moyen très important pour la conservation des ressources génétiques ichtyologiques sauvages, notamment celles qui sont menacées, et pour fournir des ressources génétiques ichtyologiques sauvages aux programmes d'amélioration et à la recherche dans ce domaine.

¹¹⁸ FAO. 1994. Code de conduite pour la collecte et le transfert du matériel phytogénétique. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture: Rome, Italie. 20p.

¹¹⁹ www.biodiv.org

La conservation *ex situ/in vivo* des ressources génétiques ichtyologiques sauvages, dans les collections du secteur de la recherche et dans les aquariums, font face aux mêmes contraintes que tous les élevages en captivité effectués à des fins de conservation dans des zoos et autres établissements: à savoir principalement, que les populations élevées en captivité deviennent génétiquement différentes de leurs parents sauvages, que les installations disponibles limitent souvent la taille de la population effective (N_e) et que la sécurité des financements est souvent limitée. Des partenariats publics-privés peuvent contribuer à mobiliser davantage de ressources pour la conservation *ex situ* des ressources génétiques ichtyologiques sauvages, partageant ainsi les coûts et les avantages, quoique les financements publics doivent généralement venir en tête. Les collections *ex situ/in vivo* de ressources génétiques ichtyologiques sauvages sont conservées pour des besoins de recherche par de nombreuses organisations à fonds publics, en particulier les universités, ainsi que par le secteur aquacole privé. Des aquariums publics et privés sont aussi des banques de gènes de poissons *in vivo* et certains de leurs poissons peuvent être des ressources génétiques ichtyologiques aux fins de l'aquaculture. Les collections *ex situ/in vivo* de ressources génétiques ichtyologiques sauvages devraient être aménagées de façon à les conserver aussi génétiquement proches que possible des types sauvages, réduisant ainsi au minimum la variation génétique (chapitres 3, 4 et 10).

La conservation *ex situ* des ressources génétiques ichtyologiques sauvages devrait être considérée en premier lieu comme complémentaire à la conservation *in situ* de ces ressources, avec un accent particulier sur ce dernier type de conservation. Cependant, au cas où pas ou peu de populations en liberté et non dérangées de ressources génétiques ichtyologiques importantes ne seraient accessibles, la conservation *ex situ* s'impose alors comme la principale ou la seule approche pour garantir leur conservation et leur disponibilité à long terme. Comme il a été préconisé ci-dessus dans le cas de conservation *in situ*, tous les efforts déployés pour conserver *ex situ* les importantes ressources génétiques ichtyologiques sauvages menacées sont précieux et contribuent à la conservation globale de la diversité génétique pour une espèce donnée. Tout comme la conservation d'animaux rares au sein de zoos et de fonds communs d'élevage rares, cela s'applique même dans des cas où le matériel génétique cryopréservé est représentatif de seulement quelques individus ou populations et où les populations *in vivo* affichent de faibles N_e .

À chaque fois que l'on procède à un développement de l'aquaculture et à la conservation de ressources génétiques ichtyologiques sauvages aux fins de l'aquaculture, des dispositions concomitantes devraient être prévues pour toute conservation *in situ* et *ex situ* nécessaire, qu'il s'agisse de conservation actuelle ou anticipée, de ressources génétiques ichtyologiques sauvages. L'approche de jumelage est également recommandée dans ce cas, assortie d'un développement institutionnel et un renforcement des capacités appropriés pour des méthodes de conservation des ressources génétiques ichtyologiques à la fois *in situ* et *ex situ*.

9.5 Information

Des informations fiables et mises à jour sont essentielles pour garantir une gestion efficace des ressources génétiques ichtyologiques sauvages. Pour que le zonage de l'aquaculture et les zones de conservation des ressources génétiques ichtyologiques sauvages *in situ* soient efficaces, ces dernières doivent faire l'objet de documentations solides, comprenant autant de caractérisation génétique que possible. Ce n'est qu'avec des informations de la sorte que l'on pourra accorder la priorité à ces ressources en vue de la conservation. Par la suite, les informations en question devront toujours être recueillies afin d'assurer le suivi de la situation des populations *in situ* et, si nécessaire, des efforts complémentaires devront être consentis pour la conservation *ex situ*. Ces informations devraient être partagées et diffusées sous une variété de formats, tels que des bases de données génétiques, des revues scientifiques, et des sources en ligne à accès libre. FishBase¹²⁰ est un bon exemple de système d'information pouvant être utilisé pour saisir et divulguer de telles informations, à partir de son propre contenu en rapport aux ressources génétiques ichtyologiques sauvages et à partir de liens vers d'autres base de données pertinentes. Le Programme d'identification des espèces¹²¹ ainsi que les Fiches d'information sur l'aquaculture¹²² contiennent des descriptions portant sur la taxonomie, fondées sur la morphologie, et ne comportant que des données génétiques limitées. Il est néanmoins probable que les systèmes d'informations concernant les ressources génétiques ichtyologiques sauvages subiront des modifications dans la mesure où la portée et la demande pour ce

¹²⁰ www.fishbase.org

¹²¹ www.fao.org/fi/website/FIRetrieveAction.do?dom=org&xml=sidp.xml

¹²² www.fao.org/fi/website/FISearch.do?dom=culturespecies

genre d'informations prendront de l'ampleur. Des conseils quant aux nouveaux développements intervenus dans les sources d'information sur les ressources génétiques ichtyologiques peuvent être requis auprès de la Commission de la FAO sur les ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture. En outre, plus la génétique de conservation est appliquée à un large éventail de taxa, plus il y a d'informations accessibles relatives aux ressources génétiques ichtyologiques sauvages auprès des organisations nationales, régionales et internationales pour la conservation de la nature.

Les inventaires nationaux et locaux, c.à.d. les listes et bases de données informatisées, des ressources génétiques ichtyologiques sauvages devraient être établie d'un point de vue global, de façon à contenir toutes les populations de poissons en liberté – sauvages, férales et autres – ainsi que les individus, leurs gamètes, l'ADN et les gènes accessibles. Cette approche reconnaît que l'attribut «sauvage» est relatif. Les inventaires devraient faire figurer pour chaque population et pour les autres formes de ressources génétiques ichtyologiques sauvages les informations suivantes: une nomenclature d'identification et de description qui soit précise et faisant autorité (et selon qu'il convient, intraspécifique), des références aux sources de connaissances et nomenclature locales et indigènes, les caractéristiques de distinction, les données relatives à la caractérisation génétique, l'état de la conservation, l'historique de leur utilisation en aquaculture ainsi que les principales menaces.

La gestion des ressources génétiques ichtyologiques sauvages *in situ* à des emplacements spécifiques nécessite des sources d'informations et instruments de planification plus vastes dans la mesure où cela implique à la fois la gestion des ressources génétiques ichtyologiques en soi et la gestion de leurs habitats. Les informations doivent donc être puisées dans tous les secteurs susceptibles d'avoir des répercussions néfastes sur ces derniers, y compris tous les changements possibles sur les bassins hydrographiques ou zones côtières avoisinants, en particulier tout changement prévisible dans la qualité et la quantité de l'eau. Certaines des méthodes qu'il convient d'appliquer en pareils cas, telles que les Systèmes d'information géographique sont établies depuis longtemps, quoique leur application en matière de génétique de la conservation soit relativement récente. La gestion des habitats naturels spécifiquement pour la conservation des ressources génétiques ichtyologiques est aussi

relativement récente et les informations publiées sur les expériences en la matière sont limitées, tout comme les directives. La pratique médicale fait face à une situation semblable en s'efforçant de synthétiser et divulguer les informations récentes afin de maximiser les actions efficaces; il a été suggéré que la conservation pourrait tirer des enseignements de certaines de ses approches envers le traitement des informations¹²³.

Les sources d'informations sur les différents types d'habitats de poissons sont généralement moins bien développées que celles sur la biologie des poissons, d'autant plus que chaque situation individuelle d'habitat de poisson et des ressources génétiques ichtyologiques sauvages possèdent des caractéristiques uniques. Le besoin de comprendre l'écologie des habitats de poissons est une exigence clé pour la conservation¹²⁴ et il y a de plus en plus d'avis provenant d'écologistes aquatiques pouvant être appliqués à la gestion des ressources génétiques ichtyologiques sauvages *in situ*. Un bon exemple de cette situation est la liste des sites pour lesquels les analyses Ecopath ont été réalisées en tant qu'informations pour la gestion fondée sur l'écosystème¹²⁵. Des conseils d'experts concernant les informations nécessaires à la gestion des habitats dans la conservation des ressources génétiques ichtyologiques sauvages devraient être recherchés auprès d'écologistes aquatiques et de géographes professionnels. Lorsque des tels conseils ne peuvent être obtenus aisément, on peut en rechercher en premier lieu auprès de l'UICN.

9.6 Aquaculture de conservation pour les poissons menacés d'extinction

Le terme «menacé d'extinction» est utilisée ici dans un sens général, ce qui comprend les espèces répertoriées par la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES)¹²⁶, toutes les espèces classifiées sur la Liste rouge de l'Union internationale pour la conservation de la nature

¹²³ Fazey, J., Salisbury, J.G., LindenMayer, D.B., Maindonald, J. et R. Douglas, 2004.

Can methods applied in medicine be used to summarize and disseminate conservation research? *Environmental Conservation*, 31 (3): 190-198.

¹²⁴ Rice, J.C. 2005. Understanding fish habitat ecology to achieve conservation. *Journal of Fish Biology*, 67 (Supplement B): 1-22.

¹²⁵ www.ecopath.org.

¹²⁶ www.cites.org

(UICN) comme étant menacées (sur lesquelles sont définies trois sous-catégories – vulnérables, menacées d’extinction, et gravement menacées d’extinction)¹²⁷, et toutes les espèces et autres taxa nommées menacées d’extinction dans les législations nationales. Les listes internationales sont importantes; néanmoins, à l’échelon national et local, des listes devraient également être établies sur les espèces menacées d’extinction représentant une importance locale et pouvant être menacées. Les preneurs de décisions portant sur l’aquaculture pourraient demander ces listes auprès des fonctionnaires nationaux des pêches ou de l’environnement. Les principales stratégies de conservation de toutes les espèces menacées d’extinction consistent à protéger et à rétablir leurs habitats naturels de la dégradation et à protéger leurs populations des effets néfastes.

L’élevage en captivité peut aussi être utilisé pour accroître les populations restantes et, là où des extinctions locales se sont produites, pour les réintroductions¹²⁸. Lorsqu’il est appliqué aux espèces menacées d’extinction, cet élevage peut être nommé aquaculture de conservation, mais ses interventions doivent être intégrées à une stratégie d’ensemble de gestion des ressources impliquant, entre autres, les zones de conservation, l’aménagement des pêches et un accès bien géré aux ressources naturelles. L’élevage en captivité et la production de semences en écloséries ont été utilisées pour venir en soutien à la conservation et à l’utilisation d’un large éventail de poissons menacés d’extinction, y compris le poisson-chat géant du Mékong, les tors; les tridacnes géantes; les espèces ornementales telles que les aruanas; le poisson spatule et les esturgeons; et plusieurs espèces, sous-espèces et des séries de saumon et de truite.

De nombreux aquariums publics possèdent des poissons menacés d’extinction parmi leurs collections, mais les vastes efforts d’élevage en captivité déployés par les zoos pour soutenir la conservation des animaux menacés d’extinction, en particulier les oiseaux et les mammifères, n’ont pas leurs semblables concernant les poissons. Des directives ont été publiées pour l’élevage en captivité en tant qu’aide à la conservation des

¹²⁷ UICN. 2001. UICN Catégories et Critères de l’UICN pour la Liste Rouge Version 3.1. UICN, Gland, Suisse. 34p.

¹²⁸ UICN. 1995. UICN Lignes directrices relatives aux réintroductions. UICN, Gland, Suisse et Cambridge, Royaume Uni. 10p.

espèces menacées d'extinction¹²⁹. Comme dans tous les élevages *ex situ* de poissons sauvages, le principe qui domine pour l'élevage en captivité en vue d'assister la conservation des poissons menacés d'extinction est de maintenir un stock de géniteurs en captivité ainsi que leur progéniture aussi proche que possible des populations sauvages faisant l'objet d'une augmentation ou d'un ré-établissement (chapitre 3). Cependant, pour les poissons menacés dont l'extinction semble approcher, la gravité de la situation est telle que tout élevage en captivité, même s'il compromet ces objectifs génétiques et dépend de N_e très bas, est toujours mieux qu'aucun élevage.

9.7 Synthèse

Les ressources génétiques ichtyologiques représentent la majorité de la diversité génétique disponible pour poursuivre la domestication et l'amélioration génétique des poissons cultivés.

Les menaces de modification génétique et d'extinction pèsent sur nombre de ressources génétiques ichtyologiques sauvages. Ces parents sauvages des espèces cultivées ou celles potentiellement cultivables doivent être valorisées et protégées pour veiller à ce qu'elles soient disponibles par la suite aux fins d'une utilisation pour l'aquaculture.

Avec une reconnaissance adéquate de la valeur des ressources génétiques ichtyologiques sauvages et le partage des coûts et des avantages que représente leur conservation, l'aquaculture a encore le temps et la possibilité d'éviter les pertes de ressources génétiques sauvages aux niveaux que connaissent les secteurs du bétail et des cultures.

La conservation *in situ* des ressources génétiques ichtyologiques sauvages devrait être reconnue comme un élément constitutif du secteur de la conservation de la nature, et devrait être menée à travers une action et une coopération intersectorielles.

La conservation *ex situ* des ressources génétiques ichtyologiques sauvages visant à compléter les efforts *in situ* pour l'aquaculture apparaît comme

¹²⁹ Huntley, R.V.; Langton, R.W. 1994. Captive Breeding Guidelines. Aquatic Conservation Network, Inc., Ottawa, Ontario, Canada. 62p.

un choix judicieux et l'élevage en captivité peut apporter sa contribution à la conservation de certains des poissons menacés d'extinction.

Il est essentiel que les informations soient fiables et à jour et ce, pour tous les aspects de la gestion des ressources génétiques ichtyologiques sauvages.

Il y a lieu d'accorder à la conservation des ressources génétiques ichtyologiques sauvages l'importance qu'elle mérite pour ce qui est de l'attribution de financements et le partage des ressources naturelles avec les autres secteurs.

10 CONSTITUTION D'UNE BANQUE DE RESSOURCES GÉNÉTIQUES AQUATIQUES¹³⁰

10.1 Introduction

Une banque de gènes est constituée d'un ensemble organisé et géré de ressources génétiques. Les banques de gènes s'avèrent nécessaires dès lors qu'il existe une menace concernant les ressources génétiques indispensables à l'élevage ou à la culture d'animaux ou de plantes. Bien que la connaissance et la maîtrise actuelles de la génétique permettent de recueillir et conserver n'importe quel tissu végétal ou animal qui contient de l'ADN, la plupart des banques de gènes sont constituées d'organismes entiers, de leurs cellules reproductives ou d'organismes aux premiers stades de développement. Un des principaux signes que nous sommes en présence d'une réelle banque de gènes est la possibilité de pouvoir effectuer des prélèvements. Les techniques employées pour la constitution d'une banque de gènes aquatiques sont applicables non seulement à l'industrie (stocks de géniteurs, recherche de nouveau matériel génétique) mais aussi aux méthodes de conservation traditionnelles.

10.2 Banques de gènes *in situ* et *ex situ*

On distingue deux types de banques de gènes: *in situ* et *ex situ*. Cette distinction se base en grande partie sur la localisation physique de la banque de gènes. Les banques *ex situ*, constituées d'ensembles d'ADN, de gènes, d'organismes unicellulaires, de semences ou d'organismes entiers, sont situées loin de l'habitat naturel ou d'élevage des organismes; ce sont les banques de gènes les plus répandues et les plus connues du grand public. Les banques de gènes *in situ* sont constituées d'ensembles d'organismes préservés dans leur habitat naturel ou d'élevage: elles sont moins répandues que les banques *ex situ* mais peuvent être mieux tolérées par les agences et par le grand public (voir chapitre 12). Si la Convention sur la diversité biologique (CDB) considère les banques *ex situ* comme étant complémentaires à celles *in situ*, les deux catégories sont expressément citées par les articles 7.2.2 et 9.3.1 (banques *ex situ* et *in situ*) et 9.3.5 (banques *ex situ*) du Code de conduite pour une pêche responsable (CCPR). Elles revêtent la même importance pour les ressources génétiques aquatiques.

¹³⁰ Rédigé par Brian Harvey.

Les banques de gènes d'organismes aquatiques sont beaucoup plus récentes que les banques de semences et les centres d'insémination du bétail, mieux connus d'un grand nombre de personnes. La différence essentielle est que, contrairement aux plantes et aux animaux domestiqués, les organismes aquatiques proviennent encore aujourd'hui d'écosystèmes sauvages ou de stocks d'élevage, ce qui implique que leur conservation dans des banques de gènes implique également la préservation de l'habitat naturel (les systèmes aquacoles ne sont pas encore menacés). La disparition de l'habitat signifie que si la possibilité de créer une banque de gènes d'espèces sauvages *in situ* n'existe plus pour de nombreuses plantes ou animaux sauvages, elle demeure très probable pour les poissons à nageoires, les crustacés et les plantes aquatiques. Les gérants de banques de gènes aquatiques doivent avoir des idées précises de l'éventail des possibilités pour la conservation des ressources génétiques des espèces aquatiques d'élevage pour lesquelles une banque *in situ* peut comprendre non seulement une collection vivante, «à la ferme» d'une race particulière mais aussi une part de l'habitat de ses congénères sauvages (chapitre 9). Dans ce chapitre, seule l'option *in situ* est envisagée, sous le nom de conservation à la ferme.

10.3 Historique

Les premières banques de gènes d'organismes aquatiques étaient de petites collections de sperme cryoconservé constituées par des chercheurs s'intéressant aux populations sauvages de poissons à nageoires. Leur première fonction utilitaire était cependant de préserver les résultats des programmes d'élevage aquacole. De nombreuses collections ont connu une vie éphémère à cause de projets d'investissement insuffisants, d'une technologie peu développée et d'un manque d'intérêt de la part des gouvernements. Un certain nombre de «banques de gènes vivantes» (toujours principalement constituées de poissons à nageoires) ont aussi vu le jour sous la forme de collections de stocks d'élevage en captivité dans des écloséries publiques ou privées.

De nos jours, la gestion de collections *ex situ* de matériel génétique d'animaux aquatiques et d'organismes entiers est assurée par les gouvernements fédéraux, d'États et locaux, par les entreprises privées, par les institutions universitaires et par les ONG. Certains d'entre eux participent à une action nationale concertée pour la conservation du

matériel génétique aquatique. Ces banques *ex situ* étant très répandues, il est nécessaire de normaliser la terminologie et les technologies et d'établir une communication entre elles. Il faut favoriser les associations créant des regroupements dans la mesure où elles permettent de renforcer tous programmes.

10.4 Recommandations relatives aux banques d'embryons et de gamètes cryoconservés

Une banque de gènes représente un engagement exceptionnel sur le long terme pour le maintien des infrastructures. Bien qu'elles soient relativement faciles à créer, les banques de gènes sont difficiles à maintenir sur plusieurs décennies – qui est leur durée naturelle de vie. Il est tout à fait possible d'en faire usage avec succès à petite échelle (par exemple, une seule exploitation) mais le modèle réalisé avec le bétail qui utilise une conservation et des registres centralisés (tout comme son financement) est sûrement le meilleur sur le long terme. Le modèle pluri-utilisateurs est celui dont il sera question dans l'exposé qui suit.

Le sperme de plusieurs espèces de poissons à nageoires d'eau douce a déjà été cryoconservé sans aucun problème (conservés dans l'azote liquide sans limitation de durée). D'un point de vue d'ordre technique, les spermatozoïdes de poissons ont présenté quelques problèmes assez sérieux, et ce malgré des progrès en la matière qui ont souffert d'une qualité médiocre des publications faites sur le sujet et qui sont le résultat de plusieurs tentatives empiriques tenant rarement compte des théories sur la cryopréservation. Pour des conseils techniques plus approfondis, les chercheurs et tous ceux qui ont pour mission de créer des banques de gènes doivent prendre connaissance des publications récentes¹³¹ et sont vivement encouragés à faire part de leurs expériences le plus largement possible, y compris en se confrontant avec leurs propres confrères.

Le sperme de poisson est en général congelé et conservé dans des éprouvettes en plastique. La congélation peut être effectuée sur le terrain en utilisant un équipement portatif et peu onéreux. Il n'est pas encore possible de procéder à la congélation d'œufs de poissons à nageoires.

¹³¹ Un exemple récent est dans Tiersch, T. et Mazik, P. (éds). 2000. Cryopreservation in aquatic species. World Aquaculture Society, Baton Rouge. 439 pp.

Les spermatozoïdes et les ovules de certains mollusques ou crustacés ont toutefois pu être congelés avec succès et les larves de bivalves (huîtres, palourdes, pétoncles, moules) sont particulièrement adaptés pour la cryoconservation, à tel point que certains programmes de recherche nationaux visent actuellement la création de banques de gènes de bivalves. Les banques de gènes doivent à présent s'intéresser aux spermatozoïdes de poissons ou aux larves et les ovules de bivalves.

Le sperme, les ovules et les larves cryoconservés le sont dans l'azote liquide. Une conservation réalisée en toute sécurité doit être recherchée auprès de centres de reproduction disposés à sous-traiter des emplacements et de la main d'œuvre. Une double conservation dans un autre site est une garantie supplémentaire mais cela n'est valable que pour les petites collections. Dans le cas où les espèces soumises à la cryoconservation n'auraient jamais fait l'objet d'un tel procédé auparavant, le coût principal est, dans ce cas de banque *ex situ*, constitué par le développement ou l'acquisition de technologies; les principales sources sont les chercheurs provenant des universités ou des institutions gouvernementales, même si certaines exploitations piscicoles privées ont aussi investi dans l'amélioration de techniques déjà existantes.

10.5 Recommandations relatives aux banques de gènes d'organismes vivants (collections de géniteurs)

Des collections occasionnelles de «pures» lignées de géniteurs de poissons vivants font partie depuis longtemps de programmes d'écloseries qui assurent une production destinée à d'autres fermes, à fin de protection ou de réintroduction dans la nature. Les principales exigences de ces collections ou de tout autre type de banques de gènes d'organismes vivants sont que les stocks constitués restent fiables et que leur diversité génétique soit maintenue. Ils doivent cependant être élevés, ce qui impose une sélection et ce qui les éloignent forcément de leur état sauvage d'origine (voir chapitres 3 et 9). L'élevage en captivité d'espèces de poissons menacées est une pratique devenue courante dans le domaine de la constitution de banques de gènes. Les collections de géniteurs peuvent aussi être conservées dans des laboratoires de recherche universitaires ou dans des aquariums publics.

10.6 Gestion des données

Bien que de nombreux efforts aient été faits pour développer des logiciels destinés à la gestion des nouvelles entrées dans les banques de gènes de végétaux ou d'animaux d'élevage et que des accords internationaux sur la constitution de banques de gènes aient favorisé un niveau acceptable de normalisation, la majorité des banques de gènes de poissons se base encore sur des systèmes de tenues de registres rudimentaires et réalisés en interne utilisant des logiciels de tableaux très courants. La plupart de ces systèmes réalisés en interne présente des failles lorsqu'il s'agit de fournir de bons registres concernant les prélèvements, échanges ou substitutions; aucun d'entre eux ne peut réellement rendre compte du large éventail de données dont les banques de gènes de végétaux ou d'animaux d'élevage font preuve. Même si les exigences relatives à la constitution des banques de gènes de poissons sont variables en fonction du lieu et du type de banque, les données sur lesquelles on doit pouvoir habituellement compter sont la provenance (ce qui a été collecté, où et par qui, et sous quelle réglementation), l'identification (espèce et, si possible, génétique de population) et l'usage qu'il en est fait (prélèvement et restitution d'échantillon, par qui et dans quel but)¹³².

10.7 Répercussions au niveau des politiques

Les conteneurs étant désormais adaptés, la circulation et le transport des ressources génétiques cryoconservées sont beaucoup plus faciles à opérer que les ressources vivantes, et ce quelle que soient les distances. Il est indispensable de tenir compte des législations nationales et internationales relatives aux importations, aux transferts et au contrôle des maladies.

Peu de gouvernements, y compris parmi ceux qui sont parties à la Commission sur la diversité biologique, possèdent des politiques précises sur la création de banques de gènes de ressources aquatiques. La Commission sur la diversité biologique assure elle-même précisément le respect des principes qui sont à l'origine de telles politiques – à

¹³² SpermSaver – Gene Bank Management Software. 2005. World Fisheries Trust, Victoria BC, Canada. Il s'agit d'une version bêta d'un logiciel de constitution de banque de gènes de poissons qui traite de tous les domaines abordés par la World Fisheries Trust (www.worldfish.org).

savoir, l'accès aux ressources génétiques et le partagent des intérêts qui en découlent. Ces principes concernent tous les groupes susceptibles d'être intéressés par la création de banques de gènes: les communautés, le secteur aquacole, les groupes indigènes, les ONG., les ministères des pêches et de l'aquaculture et ceux de l'environnement. L'accès aux ressources génétiques, tout particulièrement celles extraites de leur habitat naturel et conservées pour un usage ultérieur, peut présenter très rapidement des difficultés politiques ou juridiques. Chaque communauté doit par conséquent, avant de se lancer dans un programme de création de banque de gènes, bien s'informer sur les politiques adoptées par les autres groupes en la matière et définir un accord préalable sur l'accès, la conservation et l'utilisation faite de ces ressources. Il n'existe toujours pas encore aujourd'hui des formats normalisés ou des principes généraux communs pour de tels accords concernant les ressources génétiques aquatiques.

Les agences responsables des de la gestion et du développement des ressources, notamment celles internationales, doivent travailler dans le sens d'une normalisation de la terminologie, des politiques, des technologies et de tenue de registres; il peut être nécessaire d'élaborer de nouvelles politiques en fonction des avancées faites dans le domaine génétique.

10.8 Création d'une banque de gènes de ressources aquatiques

Toute communauté qui souhaiterait créer une banque de gènes de ressources aquatiques *ex situ* doit respecter les étapes suivantes:

- trouver, sur le long terme, un établissement institutionnel pour le programme (par exemple, un organisme œuvrant dans le domaine de l'agriculture ou des pêches) et un endroit physique permettant une conservation fiable (par exemple, des centres d'insémination d'animaux d'élevage privés ou publics);
- des moyens de financement garantis à court terme (par exemple, organismes allouant des subventions) pour la recherche et des moyens de financement à long terme (essentiellement publics) pour assurer une conservation fiable;

- acquérir des technologies des établissements universitaires ou de recherches menées en interne subventionnées comme suggéré ci-dessus;
- assurer une formation régulière du personnel sur le terrain sur les technologies, sur la gestion des données, sur les modalités de permission et sur la législation applicable;
- examiner et intégrer dans un plan de gestion d'une banque de gènes l'ensemble des règlements et de la législation concernant les domaines de l'écologie et celui des pêches, y compris du contrôle des maladies, du transfert d'animaux vivants et de leurs gamètes et celui des espèces menacées;
- développer des politiques relatives à l'acquisition et au relâchement de matériel, en apportant une attention toute particulière à l'accès aux ressources génétiques et au partage des avantages issus de leur utilisation;
- proposer des liens aux fournisseurs de données croisées sur les accessions (par exemple, des analyse récentes de l'ADN permettent de définir correctement la structure génétique; un système de banque de gènes de ressources aquatiques normalisé devrait intégrer les résultats de ces analyses); et
- développer un projet de mission et engager un spécialiste de la communication pour porter à connaissance de tous les partenaires les objectifs, les conditions d'utilisation et les politiques des banques de gènes.

11 UNE APPROCHE DE PRÉCAUTION¹³³

Dans le but de garantir un développement responsable de l'aquaculture, la communauté internationale, au moyen par exemple, de la Convention sur la diversité biologique (CDB) et du Code de conduite pour une pêche responsable de la FAO ainsi que de nombreux gouvernements nationaux, d'ONG et d'autres institutions préconisent l'adoption d'une approche de précaution.

Tout développement comporte des conséquences et des impacts. En ce qui concerne la culture et l'élevage, la société souhaite, d'un côté, bénéficier du développement des nouvelles technologies et des organismes génétiquement modifiés et, d'un autre côté, pouvoir compter sur les gouvernements pour qu'ils la protègent des effets néfastes de ce même développement. Trouver un équilibre entre les progrès accomplis et les effets négatifs qui peuvent en découler constitue l'essence même d'une approche de précaution de l'utilisation des organismes génétiquement modifiés (chapitre 2) dans l'aquaculture.

Un certain nombre d'incertitudes et de débats demeurent quant aux risques et à l'ampleur des effets dommageables néfastes engendrés par les organismes génétiquement modifiés sur l'environnement et sur la biodiversité aquatique. Les connaissances actuelles des différentes espèces, des écosystèmes aquatiques et de la dynamique qui les gouverne se révèlent souvent insuffisantes pour pouvoir anticiper avec précision la réaction d'une communauté biologique ou d'un écosystème à l'introduction d'organismes génétiquement modifiés.

11.1 Approche

L'approche de précaution défendue par la FAO et la CDB prescrit que dans les cas présentant des menaces de dommages graves ou irréversibles, le manque de certitude scientifique absolue ne doit pas être le prétexte pour reporter des mesures rentables visant à la prévention de la dégradation de l'environnement. Les composantes d'une approche de

¹³³ Rédigé par Devin M. Bartley.

précaution concernant les pêches de capture et les espèces introduites¹³⁴ sont les suivants:

- Des points de référence doivent être définis afin de permettre de caractériser les situations acceptables et les effets intolérables, comme, par exemple, pour les cibles (points de référence cible) ou pour les limites (points de référence de limite). Le Rendement équilibré maximal (REM – ou Production maximale équilibrée) pourrait, par exemple, être considéré comme un point de référence concernant les cibles tandis que les cas de fuite dans la nature de poissons d'élevage dans une quantité déterminée pourrait constituer un point de référence de limite. Quelques points de références possibles sont proposés dans le tableau 11.1. Il appartient aux personnes responsables des ressources de déterminer des valeurs quantitatives pour chaque point de référence énoncé dans ce tableau.
- Certains effets indésirables doivent être définis, tout comme des mesures préventives ou correctives (y compris l'interdiction ou la cessation forcée d'activités qui comportent des risques inacceptables ou ayant déjà causé des effets négatifs). Des actions ou plans de prévention concertés à l'avance doivent être mis en place au moment opportun dans les cas où l'on approche des points de référence limites ou dans les cas où les effets négatifs se manifestent. Il est par conséquent nécessaire de tenir sous contrôle les installations aquacoles, les espèces indigènes et l'environnement afin de savoir quand les points de référence sont atteints. De telles actions peuvent inclure l'utilisation poissons stériles dans les cas où la reproduction avec des espèces indigènes pose un problème ou implique un changement de confinement ou des installations aquacoles. À l'inverse, si l'on est en présence de bonnes pratiques agricoles et qu'aucun effet négatif n'est constaté, un plus grand développement basé sur cette même approche peut être envisagé.

¹³⁴ FAO. 1996. L'approche de précaution appliquée aux pêches de capture et aux introductions d'espèces. FAO Directives techniques pour une pêche responsable No. 2. Rome, FAO. 73p.

Tableau 11.1 Points de référence possibles pour la mise en œuvre d'une approche de précaution de la gestion des ressources génétiques en aquaculture. C et L correspondent respectivement à Cible et Limite

Objet du point de référence	Unité de mesure du point de référence
<i>Génétique</i>	
Définir un niveau de consanguinité acceptable (L)	– Coefficient de consanguinité (F) (chapitre 3).
Définir un niveau acceptable de flux de gènes/introgression entre les stocks cultivés et les stocks sauvages (L)	– Nombre d'échanges de gènes sauvages ou cultivés. – Modification de la fréquence des gènes dans les stocks sauvages.
Définir un nombre acceptable de poissons à utiliser comme géniteurs (C)	– Taille effective de la population (N_e) (chapitre 3) de géniteurs.
Garantir la stérilité du produit aquacole	– Nombre de poissons triploïdes dans les productions en écloseries.
Préserver les gènes rares en culture (C)	– Taille effective de la population (N_e) (chapitre 3). – Fréquence des gènes dans les stocks produits et écloserie.
<i>Quantité des stocks indigènes</i>	
Evaluer l'impact des fuites	– Nombre de fuites poissons provenant de l'aquaculture. – Pourcentage de baisse des poissons indigènes.
Définir un niveau de risque de mise en danger (L)	– Diminution de la taille de la population sur une période donnée (par exemple, 10 ans ou 3 générations).
Définir un niveau acceptable des effets de la pêche (C et L)	– Taux de mortalité. – Production maximale équilibrée.
Définir un risque d'extinction (L)	– Taille réelle de la population. – Probabilité d'extinction sur une période donnée (par exemple, 5 ans). – Diminution de la taille de la population (par exemple, amplitude de la diminution sur une période donnée).
<i>Pathogènes</i>	
Éviter la propagation de maladies (L)	– Niveau de pathogènes spécifiques dans les populations de poissons cultivés et sauvages (Concernant les pathogènes, 0 est souvent pris comme point de référence pour les cibles ou les limites).

- La priorité doit être accordée au maintien de la capacité de production des ressources dans les cas où l'on est dans le doute sur les effets du développement. Cela signifie pour les pêches de capture, que dans les cas d'incertitude, la priorité doit être donnée à la conservation des stocks, plutôt qu'à leur récolte. Cette priorité peut être étendue à l'ensemble de l'aquaculture quand la productivité des stocks locaux doit être maintenue dans les cas où l'on suspecte des risques de contamination néfaste par des espèces génétiquement modifiées. Implanter les fermes aquacoles dans des zones éloignées des ressources locales de première importance peut alors se révéler nécessaire (chapitre 9).
- Les effets du développement doivent pouvoir être réversibles dans une période de 2-3 décennies. Cela peut rendre, dans certaines situations, l'utilisation d'espèces génétiquement modifiées viables du point de vue de la reproduction non conforme à une «utilisation de précaution», il n'en reste pas moins qu'une approche de précaution peut être adoptée. Des espèces acclimatées introduites en aquaculture sont, dans plusieurs cas, à l'origine de la création de populations autosuffisantes; éradiquer de telles populations (réversibilité des effets) est difficile, voire impossible, tout particulièrement dans les zones marines, les grandes étendues d'eau et les zones humides continentales et dans les systèmes fluviaux extensifs.
- La charge de la preuve doit être établie selon les exigences énoncées ci-dessus et sa force doit être proportionnelle aux risques et aux avantages (une preuve plus probante est exigée quand les risques sont élevés). L'approche de précaution a souvent été considérée comme faisant dépendre la charge de la preuve sur ceux qui envisagent l'utilisation ou le développement d'une ressource (cela signifie qu'une infrastructure aquacole doit apporter la preuve qu'une espèce génétiquement modifiée n'aura pas d'effets néfastes). C'est l'approche dite du «préssumé coupable jusqu'à preuve contraire». La mise en pratique de ce principe dans la réalité s'avère très difficile. Tout accord ou refus de l'exercice d'activités aquacoles doit se fonder, le plus possible, sur des avis et des informations scientifiques fiables.

11.2 Conclusions

Une approche responsable admet l'existence d'incertitudes et définit des mécanismes pour affronter les difficultés potentielles. De tels mécanismes peuvent consister, entre autres, en la mise en place de politiques, en des programmes de gestion, en la gestion des risques, en la surveillance des changements survenus dans la gestion ou le développement basés sur l'expérience. On peut donc affirmer que cette approche a de très nombreux points communs avec une gestion adaptative. Le fait de devoir procéder à l'évaluation des impacts sur l'environnement ou d'observer des codes de conduite, tels que ceux établis par l'Union européenne¹³⁵, le Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM) et la Commission européenne consultative pour les pêches dans les eaux intérieures (CECPI) (chapitre 5) est un excellent mécanisme de précaution qui aide à statuer sur l'utilisation ou la non utilisation d'espèces génétiquement modifiées.

Une approche de précaution est une action qui fait face aux incertitudes, en amont et pendant le développement. Cette approche ne signifie pas qu'il faille effectuer moins de recherches scientifiques ou moins d'efforts pour réduire les incertitudes; c'est une action qui doit tenir compte des meilleures connaissances scientifiques disponibles et qui doit permettre de les faire évoluer.

La mise en place d'une approche de précaution signifie devoir procéder à une évaluation des avantages et des risques (chapitre 7). Dans les zones où il existe un grand besoin d'augmentation des protéines ou de développement économique, l'aquaculture et l'utilisation d'espèces génétiquement modifiées peut donc apporter des avantages impossibles à obtenir par d'autres types d'agricultures ou de développement. Un niveau de risque plus élevé peut par conséquent être justifié quand les avantages attendus en faveur de zones défavorisées, sont particulièrement importants. Toutefois, les besoins des générations futures doivent aussi être pris en considération, tout particulièrement si des actions à court terme peuvent poser des risques concernant l'existence d'un choix le plus

¹³⁵ Directive UE 90/220 sur l'introduction d'organismes génétiquement modifiés dans l'environnement.

large possible concernant la disponibilité et l'utilisation des ressources génétiques naturelles et des écosystèmes aquatiques.

Une approche de précaution pour l'utilisation en aquaculture d'espèces génétiquement modifiées requiert la mise en œuvre d'efforts significatifs en matière de gestion, de contrôle et de recherche. Il est d'une importance cruciale de déterminer des points de référence et ces derniers ne le sont pas actuellement assez bien pour définir des niveaux satisfaisants de diversité génétique ou établir la quantité de fuites des animaux d'élevage cultivés pouvant causer des effets négatifs. Les pays doivent s'efforcer d'adopter cette approche et de fournir des informations aux décideurs de politiques nationales et à la FAO afin de limiter les cas d'incertitudes, de tirer des enseignements et de divulguer les informations auprès d'un public plus large.

12 RELATIONS PUBLIQUES ET SENSIBILISATION DU CONSOMMATEUR¹³⁶

12.1 Introduction

L'opinion positive des consommateurs en faveur des organismes génétiquement modifiés issus de l'aquaculture est une des conditions essentielles pour qu'un programme d'amélioration soit une réussite. Les consommateurs ont non seulement la possibilité de choisir d'acheter ou de ne pas acheter les produits d'élevage mais ils peuvent aussi exercer une pression sur les décideurs politiques susceptible de peser sur la réglementation des importations et l'utilisation faite des organismes génétiquement modifiés.

La sensibilisation du grand public n'est que très généralement évoquée par le Code de Conduite pour une Pêche Responsable (CCPR). L'article 6.16 des Principes Généraux énonce que «*les États devraient... par l'éducation et la formation, promouvoir leur prise de conscience de la notion de pêche responsable*» (aquaculture incluse). Toutefois, dans le domaine de l'aquaculture, consensus de la part du grand public vis-à-vis des produits génétiquement modifiés revêt une importance plus grande, notamment au regard de leur rôle positif sur les moyens de subsistance et au regard de leurs effets potentiels sur l'environnement. La Convention sur la Diversité Biologique et l'Action 21 énoncent que sensibiliser le grand public est essentiel pour un développement durable et pour un rôle actif dans les processus de prises de décisions¹³⁷.

Le but de ce chapitre est celui d'attirer l'attention des décideurs politiques sur les relations publiques. Certaines difficultés naissent d'un manque d'information ou de points de vue différents. Ces deux problèmes peuvent être évités si opérateurs et dirigeants œuvrant dans le domaine de la technologie génétique définissent des lignes de conduite à suivre concernant la communication avec les parties prenantes (et entre elles). Ce chapitre a pour objectif de rendre les décideurs politiques et les

¹³⁶ Rédigé par Devin M. Bartley

¹³⁷ Raymond, R.D. 1999. Agricultural research and the art of public awareness. Pages 217-224 dans Pullin, R.S.V., D.M. Bartley y J. Kooiman (éds) Towards Policies for Conservation and Sustainable Use of Aquatic Genetic Resources. ICLARM Conf. Proc. 59. 277p.

défenseurs des technologies génétiques conscients de certaines questions non techniques jouant un rôle dans la réussite des programmes de gestion des ressources génétiques et de proposer quelques règles générales de communication et de stratégie en relations publiques permettant d'assurer une divulgation claire et précise des informations.

12.2 Stratégie de communication

Face à l'ignorance par les consommateurs et le grand public de la façon dont leur nourriture est produite, une stratégie de communication est nécessaire afin d'agir en faveur d'une utilisation responsable des technologies génétiques. Terminologie confuse, termes abusivement employés, réussites ou échecs annoncés trop rapidement, complexité du domaine, tentatives délibérées de cacher les informations ou d'influencer l'opinion publique: tout cela entretient la confusion et la méfiance des consommateurs vis à vis des technologies génétiques. Cette situation est d'autant plus condamnable qu'une utilisation responsable de technologies génétiques adéquates peut présenter de grands avantages pour les consommateurs et pour l'environnement.

Une stratégie de communication doit avoir des objectifs et un public cible bien définis. Élaborer une communication efficace consiste à «cadre»¹³⁸ des points d'action. Un cadrage permet de se concentrer volontairement sur certains points d'une question donnée (placés à l'intérieur du cadre) et d'en écarter d'autres (placés à l'extérieur du cadre) afin de pouvoir atteindre les objectifs fixés et d'obtenir le consentement d'un public ciblé (par exemple, les consommateurs ou les décideurs de politiques). Si l'on pense, par exemple, à une stratégie visant à créer une opinion favorable concernant les poissons génétiquement modifiés, le «cadre» pourrait prendre en considération la baisse du coût d'élevage des poissons ou de leur prix à l'achat grâce à un meilleur rendement et ignorer les aspects purement techniques ou la façon dont les poissons sont produits.

Il peut s'avérer nécessaire qu'une stratégie de communication «recadre» un problème en modifiant l'angle par lequel l'aborder. Par exemple, dans

¹³⁸ Annex 2: Sink or Swim: mobilizing key audiences through strategic communication. Suzanne Hawkes et Liz Scanlon IMPACS, Septembre 2006. (worldfish.org/images-pdfs/Projects/sinkorswim.pdf)

Tableau 12.1 «Cadrer» la gestion en matière de génétique en aquaculture permet de mettre en valeur les aspects positifs afin d’agir en faveur d’une meilleure acceptation des programmes d’amélioration génétique

«Cadre» actuel concernant les technologies génétiques	Propositions pour un nouveau cadre
Les technologies génétiques ont un coût élevé	Les technologies génétiques sont rentables en produisant des organismes qui se développent bien et utilisent moins d'intrants. Les technologies génétiques peuvent être utilisées pour produire une couleur ou une forme de poisson particulière pour laquelle les consommateurs seraient prêts à offrir un meilleur prix.
Les technologies génétiques sont complexes	Les technologies génétiques se basent très souvent sur des pratiques traditionnelles de reproduction animale. La biologie reproductive des poissons facilite l'application des technologies génétiques.
Les technologies génétiques sont néfastes à la biodiversité et à l'environnement local	Les technologies génétiques en aquaculture peuvent réduire les effets néfastes sur l'environnement. Elles peuvent être utilisées pour produire des organismes qui ont une interaction limitée avec les organismes sauvages; leur croissance rendue ainsi plus efficace rendra moins dommageable leur dissémination dans l'environnement; leur résistance renforcée aux maladies diminue les possibilités de contamination et l'emploi de produits pharmaceutiques. Les dirigeants de ressources génétiques en aquaculture doivent démontrer qu'ils accordent une grande importance à la diversité génétique naturelle – ce qui constitue l'élément de base de tout programme d'amélioration génétique..
Les technologies génétiques profitent aux grandes sociétés	Les avantages tirés de coûts de production moins élevés seront répercutés sur les consommateurs.
Les technologies génétiques produisent des produits peu sécurisants pour les consommateurs sur le plan, par exemple, de la santé, du goût et de leur caractère inaccoutumé	Les technologies génétiques peuvent permettre de produire des poissons plus sains qui contiennent les mêmes ingrédients que les poissons de la même famille vivant à l'état sauvage.
Les technologies génétiques causent des nuisances aux organismes aquatiques cultivés	L'amélioration de la domestication et du rendement de la production dans l'élevage des poissons génétiquement améliorés permet de limiter les traumatismes causés par l'élevage: les poissons se nourrissent mieux, sont moins agressifs et sont moins sujets aux maladies.

le cas où l'aquaculture est «cadrée» par certains groupes comme une activité utilisant trop d'espace ou de poissons naturels dans la production d'aliments pour cette activité, il est possible, en insistant sur la réduction de l'espace employé et sur les exigences d'aliments liées à la production de poissons génétiquement modifiés, de «recadrer» la discussion sous un angle différent et plus positif (tableau 12.1).

Rien de ce qui est énoncé ci-dessus ne signifie que les opérateurs agissant dans le domaine des ressources génétiques doivent dissimuler, ne pas divulguer ou déformer l'information. Ces personnes être proactives en divulguant des informations précises et positives sur les avantages de l'aménagement des ressources génétiques.

D'autres éléments permettant de définir un «cadre» sont exposés ci-dessous.

12.2.1 Connaître son public

Bien connaître le public auquel on s'adresse est le principe de base pour le sensibiliser. Ce «public» se compose de nombreux groupes différents ayant leurs propres intérêts. Ce sont ces derniers qui déterminent le type d'informations que ces groupes attendent. De récentes recherches en sociologie ont démontré qu'une personne prend souvent ses décisions non pas sur des bases scientifiques ou logiques mais sur la base de préconceptions profondément ancrées ou de principes très simples. Les consommateurs veulent être rassurés sur les produits qu'ils achètent, que ce soit au niveau de leur santé, de l'environnement ou du coût de ces mêmes produits; les aquaculteurs veulent avoir accès à des marchés lucratifs et les décideurs politiques veulent agir au mieux pour la majorité de leurs électeurs.

Les consommateurs se laissent plus fortement influencer par des prix mieux maîtrisés pour des poissons génétiquement modifiés de grande qualité qui ont été élevés de façon plus efficace et avec un moindre impact sur l'environnement. Les décideurs politiques tiendront compte de ces éléments au regard des exigences de plus en plus grandes de la part des consommateurs et du marché. Le succès croissant des produits agricoles «biologiques» et des pêches de capture écocertifiées est le signe que les consommateurs souhaitent acheter des produits qui ont un effet limité sur l'environnement tout en ayant un prix attractif.

Des sentiments bien ancrés chez les consommateurs et des législations déjà existantes peuvent être difficiles à changer: il faut donc mener des études afin de s'assurer que toute technologie génétique de production soit acceptée par les consommateurs et qu'il n'existera pas de limitations juridiques ou commerciales. Par exemple, l'hybridation entre différentes

espèces est interdite ou requiert des autorisations spéciales dans certaines zones. Bien qu'il n'existe pas encore d'organismes aquatiques génétiquement modifiés (OGM) (c.à.d. transgéniques) proposés aux consommateurs, il est probable que certains seront mis au point et agréés dans un proche avenir. Avant que cela ne se produise, il faut évaluer le degré d'acceptation de cette technologie par les consommateurs et par les négociants.

12.2.2 Identifier des partenaires afin de promouvoir les programmes d'exploitation génétique

Les partisans des technologies génétiques utilisées en aquaculture ont besoin de s'associer à de nombreuses autres parties concernées afin de s'assurer que ces technologies aient une chance d'être utilisées, qu'elles le soient de façon responsable et qu'elles aient la faveur des consommateurs et des décideurs politiques (voir aussi chapitre 9 sur les approches multisectorielles). L'aquaculture est critiquée pour ses effets négatifs sur l'environnement dus à une utilisation disproportionnée d'intrants et une forte dispersion de produits polluants. Les programmes de génétique qui réduiront ces effets par le biais d'une production mieux adaptée obtiendront un plus grand consensus dans le secteur de l'industrie aquacole et dans les secteurs œuvrant dans le domaine de la conservation.

La création de partenariats permettra d'encourager la confiance dans les produits et une plus grande crédibilité de l'information communiquée par les programmes d'amélioration génétique. Le «Consortium des Crevettes», (*Shrimp Consortium*)¹³⁹ composé d'organismes œuvrant dans le domaine de la protection et du développement international et d'institutions donatrices, est un bon exemple de la façon dont les partenariats peuvent œuvrer en faveur des programmes d'amélioration génétique.

Même si l'aquaculture a récemment joué un grand rôle pour «combler le déficit d'approvisionnement» provoqué par la production limitée des pêches de capture, elle ne constitue toutefois qu'une seule solution au problème et les programmes d'amélioration génétique peuvent s'avérer être une aide importante. Les oppositions nées entre l'aquaculture et les

¹³⁹ www.worldwildlife.org/ci/dialogues/shrimp.cfm

pêches de capture concernant la concurrence et l'accès aux ressources se sont amplifiés et pourraient constituer une menace pour les deux secteurs. Des efforts doivent être faits afin de préserver et de protéger les ressources halieutiques sauvages (chapitre 9) et de favoriser la création de partenariats et d'éviter des contrastes.

Sans prendre en compte l'utilisation, ou non, des technologies génétiques, il faut admettre que certaines zones ne sont pas adaptées à l'aquaculture. Il est conseillé de ne pas consacrer trop de temps à ces querelles qui pourraient éloigner des partenaires éventuels et mener à l'échec des actions menées dans le domaine de l'aquaculture. Le secteur aquacole pourrait sérieusement adopter les stratégies de jumelage énoncées au chapitre 9 ainsi que la délimitation de zones dans lesquelles les activités aquacoles seraient limitées ou dont elles seraient exclues afin que d'autres zones, mieux adaptées à l'aquaculture, puissent être pleinement développées en utilisant des meilleures espèces et les meilleures souches disponibles.

12.2.3 Tirer des enseignements des autres secteurs

Les différents secteurs agricoles terrestres sont plus avancés que ceux de l'aquaculture en ce qui concerne l'utilisation des technologies génétiques et il est possible d'en tirer de bons enseignements. En voici quelques-unes:

Premièrement, il faut insister sur le fait que les avantages tirés des poissons génétiquement modifiés profitent directement au consommateur. Le secteur de la biotechnologie végétale doit faire face à une forte résistance de la part des consommateurs en ce qui concerne l'utilisation des organismes génétiquement modifiés alors que le secteur pharmaceutique fait un usage courant de la génétique en ne suscitant qu'une faible résistance. Une des raisons de cette situation est que le grand public pense que les avantages de la génétique des plantes ne profitent qu'au secteur industriel alors que l'usage fait des biotechnologies génétiques par les sociétés pharmaceutiques est perçu comme profitant directement aux malades.

Deuxièmement, les questions d'éthique sont importantes. Les consommateurs ont exprimé leurs préoccupations quant à la santé du bétail génétiquement modifié et quant aux conditions générales d'élevage

des animaux. De manière plus limitée, des préoccupations semblables ont été soulevées à l'égard des poissons cultivés ou génétiquement modifiés. Il faut éviter des modifications génétiques entraînant des difformités et il faut insister sur la façon dont les poissons génétiquement modifiés ont amélioré les bonnes conditions d'élevage grâce à une meilleure domestication. Dans le secteur des cultures, des questions portant sur la sécurité alimentaire et sur la protection de la propriété intellectuelle pouvant priver les agriculteurs d'une alimentation adéquate ont également vu le jour. Des semences pour les cultures, vitales pour les communautés rurales, étaient rendues génétiquement stériles, empêchant ainsi les agriculteurs de pouvoir les replanter. Les défenseurs des programmes d'amélioration génétique doivent être conscients des effets des améliorations génétiques sur la sécurité alimentaire des communautés rurales.

Enfin, l'étiquetage est un point très discuté dans tous les secteurs qui y sont confrontés. Des règles sur l'écoétiquetage des produits de la pêche ont été élaborées par la FAO et d'autres partenaires et des directives sur les produits aquacoles sont en train d'être définies; le *Marine Stewardship Council* et le *Forest Stewardship Council* ont défini des directives destinées au secteur industriel privé. Aucune des trois séries de directives existantes n'énonce pour l'instant de règle en matière critère génétique. Certaines commissions intergouvernementales ont demandé à ce que l'étiquetage de certains produits agricoles terrestres issus de la biotechnologie moderne soit déterminé (par exemple, les OGM) et certaines normes d'étiquetage de produits biologiques n'autorisent pas certaines technologies génétiques. Étant donné l'aspect sensible et complexe de ces questions, les discussions sur la façon dont peuvent être utilisées les informations relatives à la génétique dans le cadre de ces directives n'ont pas encore abouti au point de pouvoir donner une orientation. Il est recommandé que les dirigeants œuvrant dans le domaine des ressources génétiques et que ceux qui encouragent l'utilisation des technologies génétiques dans le domaine de l'aquaculture suivent de prêt ce domaine évoluant très rapidement et qu'ils invitent les partenaires, comme recommandé ci-dessus, à développer une marche à suivre avisée.

12.2.4 Employer une terminologie précise en harmonie avec les législations nationales et internationales

Le domaine de la génétique est complexe et souvent très controversé. Une terminologie précise et une utilisation correcte des termes et des principes favorisera une communication plus efficace et plus précise des informations et pourra permettre d'éviter les problèmes liés à l'incompréhension (voir partie «terminologie» dans chapitre 2). Des glossaires ont été conçus pour aider à mieux comprendre ce domaine complexe¹⁴⁰.

12.3 Conclusion

Les avantages nés des programmes génétiques sont considérables bien qu'ils soient souvent peu compris par le grand public ou les décideurs politiques. Les spécialistes de la communication (voir note de bas de page 138) affirment que les idées nouvelles sont d'abord comprises par un petit nombre de «pionniers» et ensuite, lentement, par tous les autres. Quand 15 pour cent d'un groupe adopte une idée, elle peut alors facilement se répandre. Il faut que les défenseurs des technologies génétiques et des programmes d'amélioration divulguent les aspects positifs de ces programmes auprès du plus grand public possible et qu'ils recherchent de nouveaux partenariats avec d'autres utilisateurs des ressources aquatiques et de la société civile afin d'atteindre un niveau d'acceptation de 15 pour cent. Une utilisation responsable des technologies génétiques peut permettre à l'aquaculture de produire plus efficacement plus d'aliments avec un impact limité sur l'environnement. Dès lors que le grand public aura pris conscience de cela, l'aquaculture pourra être intégrée dans des plans multisectoriels locaux de développement communautaire. Toutes ces actions doivent être incluses dans une stratégie de communication globale visant à renforcer les relations publiques et la confiance du consommateur envers les poissons génétiquement modifiés.

¹⁴⁰ Il existe des glossaires de la FAO sur la biotechnologie (www.fao.org/biotech/index_glossary.asp); sur le domaine des pêches (www.fao.org/fi/glossary/default.asp); et sur l'aquaculture (www.fao.org/fi/glossary/default.asp).

ANNEXE 1

DÉCLARATION DE NAIROBI¹CONSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ AQUATIQUE
ET UTILISATION D'ESPÈCES GÉNÉTIQUEMENT
AMÉLIORÉES ET D'ESPÈCES EXOTIQUES POUR
L'AQUACULTURE EN AFRIQUE

INTRODUCTION

Le poisson est une source essentielle de protéine animale pour les peuples d'Afrique, les ressources aquatiques jouant par ailleurs un rôle central pour soutenir les moyens d'existence ruraux et urbains à travers la plupart de la région. Or, pour le continent dans son ensemble, l'offre de poisson par personne est en déclin et les prévisions actuelles concernant l'écart entre l'offre et la demande indiquent que le déficit ne cessera de se creuser dans les décennies à venir. Pour combler ce déficit, les pêches de capture doivent être soutenues et le potentiel de l'aquaculture doit être exploité. Pour ce faire, l'attention doit être accordée à la protection de la biodiversité aquatique qui est si riche en Afrique, notamment à cette florissante diversité de poissons d'eau douce et au rôle que cette diversité joue pour venir en soutien aux pêches de capture et pour fournir des espèces à l'aquaculture.

À l'heure actuelle, la production de poissons issus de l'aquaculture en Afrique est basse. Toutefois, le secteur aquacole devrait se développer à mesure que la population augmente et que la demande pour du poisson suit cet accroissement démographique. Pour cela, il y a lieu d'affronter une vaste série de contraintes et d'examiner un plus grand nombre de pratiques de gestion. Il conviendra d'améliorer la gestion des étangs et des stocks de géniteurs, de développer un choix plus vaste d'aliments, et de mieux maîtriser l'accès aux marchés.

¹ Gupta, M.V., Bartley, D.M., Acosta, B.O. (éds) 2004. Use of Genetically Improved and Alien Species for Aquaculture and Conservation of Aquatic Biodiversity in Africa. The WorldFish Conference Proceedings No. 68. La Déclaration est disponible à www.cta.int/pubs/nairobi/declaration.pdf

En outre, il existe un formidable potentiel d'amélioration des performances des espèces de poissons et des souches utilisées. À l'heure actuelle, bien des poissons utilisés dans l'aquaculture africaine proviennent de stocks non domestiqués. Cette situation diffère de celle que connaissent les secteurs des cultures, du bétail et de la volaille au sein desquels la production a été considérablement augmentée par l'application de programmes d'élevage et autres procédures d'améliorations génétiques. Cependant, alors que la production pourra être augmentée grâce aux souches améliorées et aux espèces introduites, il y a un véritable risque de fuites dans la nature ainsi que de possibles effets néfastes sur la biodiversité. Pour que soit réalisé le plein potentiel d'une aquaculture durable en Afrique, il conviendra de faire face à ces préoccupations.

RECOMMANDATIONS

1. Qualité des semences

Compte tenu de la capacité de l'aquaculture à tirer des avantages potentiels de l'amélioration génétique (de systèmes de production à faible intensité d'intrants et à petite échelle jusqu'aux systèmes intensifs à grande échelle), des semences de qualité devraient être rendues accessibles et utilisées conjointement avec un stock de géniteurs et une gestion des exploitations piscicoles appropriés.

2. Génétique dans la gestion des stocks de reproducteurs

Les ressources génétiques au sein des populations cultivées pouvant être dégradées en conséquence de l'élevage en captivité, les aspects génétiques de la gestion des stocks de reproducteurs doivent être un élément de base au sein de tous les programmes aquacoles et d'amélioration des stocks.

3. Introductions responsables

L'introduction de poissons, y compris de souches génétiquement améliorées et d'espèces exotiques, peuvent avoir un rôle dans le développement de l'aquaculture. Tout déplacement de poissons entre des frontières écologiques naturelles (par ex. des bassins hydrographiques) peuvent poser un risque sur la biodiversité; il est en outre nécessaire d'affiner et d'appliquer davantage les protocoles, les méthodes d'évaluation des risques et les programmes de surveillance portant sur les introductions de poissons, y compris les souches génétiquement améliorées et les espèces exotiques. Les États ont une responsabilité importante dans

le développement et dans la mise en œuvre de ces protocoles (et dans les réglementations qui y sont liées), dans l'établissement de rôles et responsabilités clairs, ainsi que dans le renforcement des capacités. De tels efforts devraient être liés aux obligations, en vertu du Code de conduite pour une pêche responsable, de la Convention sur la diversité biologique et des autres accords internationaux pertinents.

4. Conservation des stocks sauvages

Des stocks sauvages uniques d'espèces importantes de tilapia existent encore dans de nombreuses régions d'Afrique. Des zones prioritaires devraient être identifiées et gérées en tant que zones de conservation au sein desquelles les introductions d'espèces exotiques et de souches génétiquement améliorées devraient être évitées.

5. Problèmes transfrontières des transferts de poissons

La majorité des questions et des problèmes liés aux déplacements de poissons et l'utilisation de souches améliorées sont communes dans la plupart des pays africains. Les pays sont encouragés à: (a) rechercher au-delà des frontières des exemples de politiques et de législations réalisables, les adopter le cas échéant pour combler les déficits en politiques au niveau national et les harmoniser selon qu'il convient; et (b) utiliser les organes régionaux existants ou en établir de nouveaux pour venir en soutien à la coordination des activités de gestion en tenant compte des réalités écologiques, notamment des bassins hydrographiques transfrontières.

6. Renforcement de l'accès aux informations

Des informations de base relatives à la diversité génétique des poissons, l'intégrité environnementale et les pratiques aquacoles existent, mais elles ne sont ni détaillées ni facilement disponibles. Les mécanismes existants de collecte et de diffusion des informations doivent être renforcés.

7. Contrôle des déplacements d'agents pathogènes

Il existe des codes et des protocoles acceptés par la communauté internationale visant à réduire le risque de déplacements transfrontières d'agents pathogènes (le terme agent pathogène utilisé ici inclut les parasites) par le biais de déplacements de poissons, y compris des espèces exotiques. Ces codes et protocoles n'abordent toutefois pas les besoins spécifiques, quels qu'ils soient, concernant les espèces génétiquement améliorées. Les États et autres organes concernés devraient évaluer les

codes et protocoles existants visant à réduire le risque de déplacements transfrontières d'agents pathogènes par le biais de déplacements de poissons, y compris ceux des espèces exotiques et des souches génétiquement améliorées, et les adapter aux conditions africaines.

8. Sensibilisation aux risques posés par les introductions de poissons

Les décideurs de politiques, les agences chargées de les faire respecter et le grand public doivent être sensibilisés aux questions liées aux politiques, notamment au besoin de ces dernières, relatives aux déplacements d'espèces exotiques et d'espèces génétiquement modifiées ; cet aspect devant figurer parmi les priorités.

9. Implication des parties prenantes

Certaines politiques en rapport aux déplacements de poissons semblent poser des difficultés de mise en œuvre, sont inconnues des utilisateurs, ou encore entraînent des conflits d'intérêt ou sont perçues comme étant contraignantes, en partie parce qu'elles ont été développées avec un appui consultatif et participatif limité. La formulation de politiques et de législation concernant les déplacements de poissons devrait chercher à impliquer toutes les parties prenantes dans un processus participatif. En outre, les gouvernements devraient établir des groupes consultatifs possédant des liens avec des organes d'experts indépendants et compétents en matière scientifique, tels que la FAO, l'IUCN et le WorldFish Center (anciennement Centre international d'aménagement des ressources bioaquatiques [ICLARM]).

10. Responsabilité pour les effets néfastes sur l'environnement

Bien que des avantages économiques puissent être tirés de l'utilisation d'espèces exotiques et/ou d'espèces génétiquement améliorées en aquaculture, ceux pour qui profitent ces avantages ne sont pas souvent ceux qui prennent en charge les coûts liés aux effets néfastes produits sur l'environnement. À la lumière de ces éléments, des dispositions devraient exister concernant la responsabilité, le respect (par ex. des primes) et le rétablissement, au sein des politiques et des législations relatives aux déplacements et aux utilisations d'espèces de poissons exotiques et d'espèces génétiquement améliorées en aquaculture.

Ces directives techniques ont été développées en vue de soutenir les sections du Code de conduite pour une pêche responsable de la FAO sur les aspects liés à la gestion des ressources génétiques utilisées en aquaculture. Des recommandations y sont données concernant la gestion des géniteurs et la domestication, les programmes d'amélioration génétique, les programmes de dissémination destinés aux poissons génétiquement améliorés, les considérations économiques à apporter dans les programmes d'amélioration génétique, l'évaluation des risques et la surveillance, la pêche fondée sur l'élevage, la conservation des ressources génétiques halieutiques, les banques de gènes, l'approche de précaution à adopter ainsi que les relations publiques. La gestion des ressources génétiques, l'évaluation des risques et la surveillance effectuées de façon efficace peuvent contribuer à améliorer les résultats et l'efficacité de production tout en réduisant au minimum les effets néfastes sur l'environnement. Ces avantages tirés d'une application responsable des principes génétiques sur l'aquaculture devraient être divulgués aux consommateurs, aux décideurs politiques, aux scientifiques et à toute autre personne intéressée par les pêches et l'aquaculture responsables.

ISBN 978-92-5-206045-1 ISSN 1020-5306



I0283F/1/10.09/1000