

Étude sur l'aquaculture en cage: l'Amérique du Nord

Michael P. Masser¹ et Christopher J. Bridger²

Masser, M.P. et Bridger, C.J.

Étude sur l'aquaculture en cage: l'Amérique du Nord. Dans M. Halwart, D. Soto et J.R. Arthur (éds). Aquaculture en cage – Études régionales et aperçu mondial. FAO Document technique sur les pêches. No. 498. Rome, FAO. 2009. pp. 107–131.

RÉSUMÉ

Ce document est un aperçu général de la situation et des perspectives futures de l'aquaculture en cage de poissons à nageoires d'eau de mer et d'eau douce en Amérique du Nord (à l'exclusion des pays d'Amérique latine), comprenant le Canada et les États-Unis d'Amérique. L'histoire de la culture en cage en Amérique du Nord est relativement récente par rapport à l'Asie. Après 40 ans d'évolution et de croissance, la production et la diversité de la culture en cage nord-américaine est en expansion et les perspectives de développement et de durabilité semblent bonnes. Les principales espèces cultivées sont le saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*), la truite de mer (*Oncorhynchus mykiss*), le saumon royal (*Oncorhynchus tshawytscha*), le saumon coho (*Oncorhynchus kisutch*), la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*), la barbue d'Amérique (*Ictalurus punctatus*), l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*), le poisson-chat bleu (*Ictalurus furcatus*), la truite cou-coupé (*Salmo clarkii*), la perche canadienne (ou perche jaune, *Perca flavescens*), le bar d'Amérique hybride (*Morone* spp.), la perche (*Lepomis* spp.) et les tilapias (*Oreochromis* spp.). Selon les estimations, la production aquacole totale en 2004 s'élevait à 6 300 tonnes en environnement d'eau douce et à 105 000 tonnes en environnement marin. Il n'existe aucune donnée relative à la production et à la valeur des espèces spécifiques cultivées en cage dans des systèmes en eau douce et en eau marine aux États-Unis d'Amérique étant donné que ces activités sont pratiquées sur des terres privées ou que les données ne peuvent rester anonymes (par ex. un seul producteur de saumon dans l'État de Washington). Les niveaux de production totale sont classifiés par espèce et non par système de culture employé. Dans tous les cas d'espèces d'eau douce, l'aquaculture en étang à circuit ouvert domine le secteur, les activités de culture en cage fournissant une quantité négligeable de production.

De nombreux travaux de recherches publiques et de nombreuses innovations privées en matière de technologie de culture en cage, de développement de nouvelles espèces, et de progrès des techniques de gestion ont eu lieu en Amérique du Nord. Cependant, le développement technologique devra s'intensifier beaucoup plus pour que l'aquaculture en mer ouverte atteigne le niveau prévu de son potentiel de production. Actuellement, le Canada domine les États-Unis d'Amérique dans l'expansion de l'aquaculture en cage commerciale et dans le développement de politiques, de réglementations et dans la perception du public qui accepte et fait la promotion de la croissance à venir et de la durabilité du secteur. Les progrès des États-Unis d'Amérique sont lents en matière de développement de politiques qui pourraient permettre que l'aquaculture en cage soit pratiquée dans un environnement marin. Cependant, l'utilisation des sources publiques d'eau douce pour la culture en cage aux États-Unis d'Amérique n'apparaît pas comme une perspective possible. La majorité des agences gouvernementales pour les ressources naturelles des États-Unis d'Amérique, qui réglementent l'accès aux étendues d'eau publiques, n'ont aucune envie, ou ne subissent aucune pression publique/politique, de permettre ni de favoriser la culture en cage dans les eaux publiques.

¹ Département des sciences de la nature et des pêches, Texas A&M University, College Station, Texas, États-Unis d'Amérique.

² Aquaculture Engineering Group Inc., 73A Frederick Street, St. Andrews, Nouveau-Brunswick, E5B 1Y9, Canada.

INTRODUCTION ET OBJECTIF DE CETTE ÉTUDE

Ce document présente un aperçu général de la situation de l'aquaculture en cage en Amérique du Nord, et offre des exemples d'élevages en cage historiques et actuels ainsi que des exemples d'entraves à son développement. L'aquaculture en cage a connu une évolution et une croissance extraordinaires en Amérique du Nord au cours des quarante dernières années. Nous avons choisi d'examiner l'aquaculture en cage en Amérique du Nord principalement sur la base de la salinité de l'eau (c.-à-d. l'eau douce par opposition à l'eau marine) plutôt que par pays. Selon nous, cette approche veille à ce que les sujets communs soient passés en revue dans un ensemble unique et plus logique. Dans ce cadre, des exemples spécifiques et des éléments de discussion sont examinés par pays lorsque cela apparaît nécessaire.

Les informations présentées sont issues de nombreuses sources, et notamment des recherches actuelles entreprises par: la US Cooperative State Research Education and Extension Service (CSREES), des centres régionaux pour l'aquaculture et l'Administration nationale océanographique et atmosphérique (NOAA), le Sea Grant, le Gouvernement du Canada et des sources statistiques provenant d'agences du gouvernement des provinces, des documents scientifiques et à grand public (FAO, 2006) et de récentes études sur l'aquaculture en cage (Huguenin, 1997; Beveridge, 2004).

HISTOIRE ET SITUATION ACTUELLE DE L'AQUACULTURE EN CAGE EN AMÉRIQUE DU NORD

Le Canada et les États-Unis d'Amérique couvrent une vaste zone de terre qui occupe approximativement 91 pour cent de l'Amérique du Nord continentale. Les deux pays s'étendent sur des zones tempérées et subtropicales, sur trois océans, et abritent des cultures disparates. La production aquacole pour les deux pays réunis et comprenant toutes les espèces s'élevait à 577 641 tonnes d'une valeur totale à la ferme de 1,46 milliards de \$EU en 2003 (données dressées à partir des sources mentionnées ci-dessus). Les opérations d'aquaculture en cage existent dans les deux pays dans des environnements marins et d'eau douce et cultivent une large diversité d'espèces.

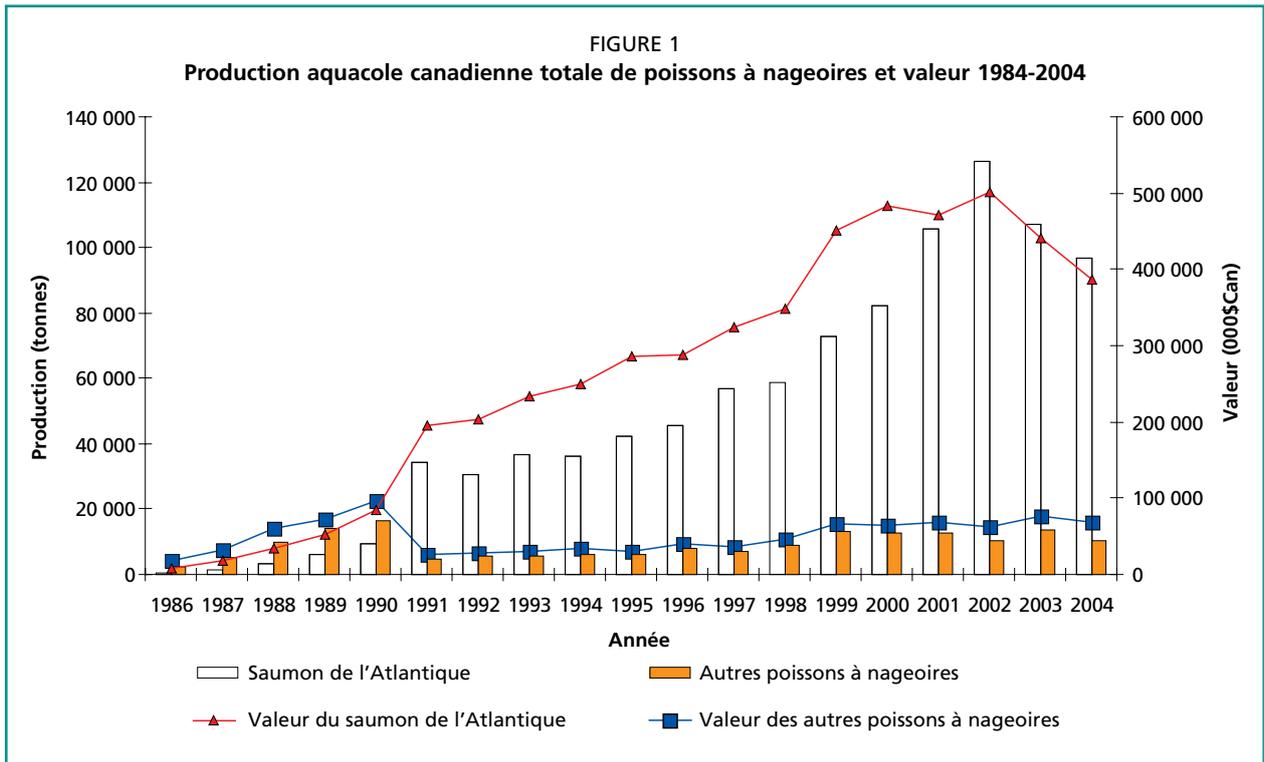
Au Canada, la production aquacole était de 145 018 tonnes d'une valeur estimée à 518 millions de \$Can de 2004. Les espèces cultivées en cage (le saumon, la truite de mer (*Oncorhynchus mykiss*) et

autres espèces marines) représentaient récemment environ 70 pour cent du volume total de production mais quasiment 84 pour cent de la valeur aquacole totale (Statistics Canada, 2005).

L'échelle et la valeur des opérations d'aquaculture en cage sont attribuées dans une large mesure à la croissance rapide du secteur du saumon de l'Atlantique par rapport aux données de 1986 (figure 1). Le grossissement d'autres espèces à nageoires (dont le saumon royal, le saumon coho, la truite de mer, la morue et autres espèces) est resté à un niveau assez bas en dépit des investissements de l'industrie et du gouvernement visant à diversifier le secteur de l'aquaculture marine. Le saumon de l'Atlantique est cultivé dans les eaux des côtes aussi bien atlantique que pacifique du Canada. La Colombie-Britannique, seule province canadienne de l'océan Pacifique représente la majorité de toute la production du saumon de l'Atlantique bien que ce soit une espèce non indigène et donc non originaire de la région et que les premiers essais de grossissement et de commercialisation aient eu lieu sur la côte Est du Canada dans l'océan Atlantique (figure 2). Le secteur du saumon de l'Atlantique devrait se développer étant donné que les entreprises tirent parti des économies d'échelles et tentent de compenser la baisse des prix moyens. Les prix se sont effondrés ces dernières années dans une large mesure en raison de la hausse de la concurrence internationale et de l'excès de produits présents sur le marché (figure 2).

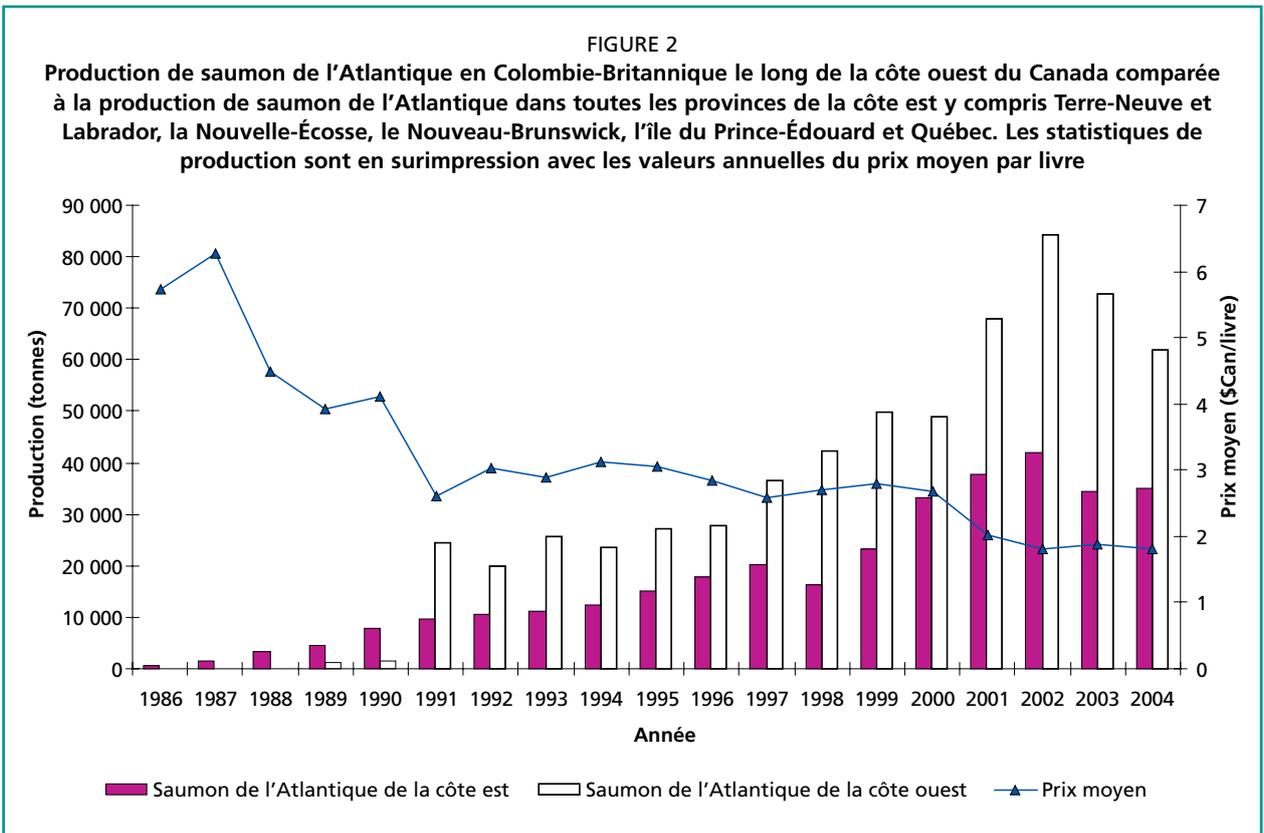
La superficie totale autorisée pour la production aquacole dans les eaux canadiennes pour toutes les espèces est de l'ordre de 30 971 hectares ou l'équivalent d'un carré mesurant 17,6 km x 17,6 km (OCAD, 2003). Cette petite portion de ressources d'eau a produit environ 14 pour cent de tous les débarquements canadiens de produits de la mer en 2003. Possédant un littoral national total de 202 080 km, les opportunités de développement du secteur canadien de l'aquaculture en cage sont considérables. Vu le cadre de politiques réglementaires adéquat ajouté à l'augmentation des tâches environnementales et à la confiance de la part des consommateurs, les projections au bas mot relatives à la croissance estiment que la valeur des produits aquacoles connaîtra une hausse passant de 0,5 milliards de \$Can en 2000 à 2,8 milliards de \$Can d'ici 2010–2015 (les effets de multiplication anticipés de cette valeur devraient mettre en équation l'économie canadienne à 6,6 \$Can [OCAD, 2003]).

La culture en cage du saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*) au Canada a suivi le lancement de



cette espèce en Norvège dans les années 1970. Les premières tentatives de culture de cycles entiers dans des cages marines a eu lieu dans les années 1970 au large de la Nouvelle-Écosse et du Nouveau-Brunswick, mais ont échoué en raison des

températures hivernales mortelles. Une tentative entreprise plus tard a été menée avec succès dans la baie du sud-ouest de Fundy à travers des accords de coopération entre des entreprises privées et le gouvernement provincial et le gouvernement fédéral.



Leur première production s'élevait à 6 tonnes en 1979, ce qui a convaincu d'autres investisseurs privés à s'engager dans l'aquaculture du saumon de l'Atlantique dans la région (Saunders, 1995).

Le saumon de l'Atlantique d'élevage en ferme représente la plus grande culture unique de tout le secteur agro-alimentaire du Nouveau-Brunswick, soit 23 pour cent du revenu agricole total (équivalant à la production combinée de la province de pommes de terre, volaille, légumes, fruits, baies et céréales) et une valeur à la ferme de 175 millions de \$Can en 2004. Ce niveau de production exige les services de 1 849 personnes employées directement dans les éclosiers, le grossissement marin, la transformation, les services directs et l'administration (NBDFA, 2005).

La truite de mer (*Oncorhynchus mykiss*) a d'abord été cultivée au large de Cap-Breton, en Nouvelle-Écosse dans les années 1970. La production de saumon de l'Atlantique au large de la Nouvelle-Écosse a été plus lente à se développer qu'au Nouveau-Brunswick et est entravée au large de la plus grande partie de la Province par les températures hivernales rudes (la majorité de l'aquaculture du saumon de l'Atlantique est actuellement concentrée sur les lacs Bras d'Or, Annapolis Basin, Shelburne Harbor et certaines parties de St Margaret's Bay). La truite de mer (*Oncorhynchus mykiss*) est cultivée dans les zones de Pubnico et Lobster Bay et sur les lacs Bras d'Or. Ces deux espèces réunies représentaient environ 36 pour cent des ventes totales de la production aquacole de Nouvelle-Écosse en 2004. Cette valeur est inférieure aux 67 pour cent produits en 2003 en raison des difficultés financières du secteur et de plusieurs épisodes catastrophiques de gel et de refroidissement critique (eau de mer extrêmement froide) au cours de l'hiver 2004. Cependant, le secteur s'est rétabli et les chiffres de 2005 ont repris un niveau de 67 pour cent (<http://gov.ns.ca/nsaf/aquaculture/stats/index.shtml>).

L'aquaculture des salmonidés (le saumon de l'Atlantique et la truite de mer) n'a pas démarré à Terre-Neuve ou au Labrador avant le milieu des années 1980. L'aquaculture actuelle des salmonidés est concentrée sur la côte Sud de Bay d'Espoir et Fortune Bay. Le grossissement de la morue (*Gadus morhua*), pratique consistant à capturer de petites morues sauvages et à les nourrir jusqu'à une taille marchande dans des cages océaniques, a été mis en œuvre dans les années 1980 suite à l'effondrement des pêches de poissons de fond de Grand Banks jadis aisé. Les tentatives de recherche concernant le

grossissement des œufs de morue jusqu'à la taille portion se sont poursuivies en 2004 avec un peu plus de 50 000 fingerlings de morue mis en charge dans des cages marines le long de la côte sud de la province (NLDFA, 2005).

La salmoniculture en Colombie-Britannique a démarré au début des années 1970 avec des opérations d'exploitation de saumon royal (*Oncorhynchus tshawytscha*) et de saumon coho (*Oncorhynchus kisutch*). Le secteur est progressivement passé à la culture du saumon de l'Atlantique en raison des mauvais retours économiques ainsi que de la réduction des taux de croissance et des densités de mise en charge liés aux espèces de saumon du Pacifique. Des organisations anti-salmoniculture ont gagné du terrain tout au long des années 1980 et au début des années 1990 aboutissant en 1995 au second moratoire sur l'expansion de l'aquaculture qui a été lancé et maintenu jusqu'à ce que soit réexaminée la salmoniculture en Colombie-Britannique par le Bureau des études sur l'environnement (le premier moratoire sur l'approbation de nouveaux sites a eu lieu en 1986 et a conduit à l'enquête Gillespie).

Cet examen a été achevé en 1997, suite à de nombreuses consultations avec le public et à des examens documentés, et dont la conclusion générale stipulait que «*La salmoniculture en Colombie-Britannique, telle qu'elle est pratiquée actuellement et aux niveaux de production actuels, présente globalement un risque minime pour l'environnement*». La Salmon Aquaculture Review a fourni 49 recommandations au Ministre de l'environnement, des terres et des parcs et au Ministre de l'agriculture, des pêches et de l'alimentation pouvant servir de moyen pour progresser (EAO, 1997).

L'opposition au secteur local de salmoniculture ne s'est pas terminée avec cet examen et l'expansion du secteur de la salmoniculture en Colombie-Britannique a été lente malgré l'abolition du moratoire. La production de saumon dans des cages marines est un secteur très important pour les communautés côtières rurales de Colombie-Britannique avec 61 774 tonnes produites en 2004 d'une valeur estimée à 212 millions de \$Can (Statistics Canada, 2005).

La culture en cage marine dans les États du Maine et de Washington ont eu lieu en tandem avec leur voisin respectif du Nouveau-Brunswick et de Colombie-Britannique. Dans les deux cas, l'expansion de l'aquaculture marine a été réprimée par des manifestations continues anti-aquaculture de la part de quelques ONG environnementales du

Maine tandis que l'opposition existante dans l'État de Washington a tendance à provenir des défenseurs des pêches de saumon sauvage. Dans les deux cas, ces organisations influencent les politiques concernant les zones côtières rurales qui bénéficieraient autrement d'opérations d'exploitation aquacole le long de ces littoraux actifs.

La plupart des états côtiers des États-Unis d'Amérique ne possèdent pas ce littoral complexe des provinces canadiennes maritimes, ces dernières possédant de nombreuses îles, baies, criques et de nombreux fiords propices au développement de l'aquaculture. Reconnaisant ces limites, en plus des conflits complexes entre les utilisateurs pour l'espace côtier limité et du déficit commercial grandissant des produits de la mer résultant d'une dépendance accrue des produits de la mer étrangers, les États-Unis d'Amérique investissent en grande partie dans le développement d'une aquaculture en océan ouvert depuis les années 1990.

Le 10 août 1999, le Département américain pour le commerce a approuvé une politique aquacole (<http://www.nmfs.noaa.gov/trade/DOCAQpolicy.htm>) afin de favoriser le développement d'un secteur aquacole durable d'un point de vue environnemental et faisable d'un point de vue économique visant à : «*Apporter son assistance dans le développement d'un secteur aquacole durable hautement compétitif aux États-Unis, capable de répondre à la demande grandissante des consommateurs pour des produits aquatiques et des produits de grande qualité, sûrs, dont les prix sont compétitifs et qui sont produits d'une façon responsable du point de vue environnemental et offrant le maximum d'opportunités dans tous les domaines du secteur*»

À l'heure actuelle un secteur aquacole naissant est en opération en océan ouvert au large des côtes de Hawaï (Ostrowski et Helsey, 2003) et de Porto Rico (O'Hanlon *et al.*, 2003).

L'Université du New Hampshire gère une exploitation de recherche avec des fonds gouvernementaux au large des côtes du New Hampshire depuis 1977 (Chambers *et al.*, 2003).

La région du golfe du Mexique a également été témoin de tentatives antérieures d'aquaculture en océan ouvert, mais aucun secteur n'existe dans la région (Chambers, 1998; Kaiser, 2003; Bridger, 2004).

SITUATION ACTUELLE DE L'ÉLEVAGE EN CAGE

Systemes d'élevage en cage en eau douce

La culture en cage en eau douce en Amérique du Nord est souvent limitée à des retenues d'eau

privées, vu que peu d'états ou de provinces permettent la production commerciale de poisson dans les eaux publiques. Aucune donnée officielle n'est disponible concernant la production et la valeur d'espèces spécifiques cultivées en cage dans des systèmes d'eau douce aux États-Unis car de telles activités sont pratiquées sur des terres privées ou les données recueillies ne seraient plus considérées comme anonymes. Les niveaux de production totale sont classifiés par espèces et non par système de culture employé. Pour toutes les espèces, l'aquaculture en système ouvert en étang domine le secteur avec des activités de culture en cage fournissant un volume négligeable de production. Aux États-Unis, quelques états (par ex. l'Oklahoma, l'Oregon et l'Arkansas) permettent la culture en cage dans les eaux publiques sur la base d'un permis spécial. Au Canada, la culture en cage en eau douce est pratiquée dans certaines eaux publiques (Lac Huron, Ontario) à travers un système de permission.

Conception et construction des cages

Les cages d'eau douce ont tendance à avoir un volume relativement réduit comparé aux cages marines, toutefois les densités d'élevage sont généralement plus élevées. Les cages de poissons d'eau douce aux États-Unis sont normalement utilisées dans des retenues d'eau privées où le flux d'eau n'est pas naturel. Le volume des cages d'eau douce varie entre 1 m³ et 7 m³ et ces cages sont faites de filets de nylon à petites mailles (13–25 mm), de grillages de plastique solide ou de grillage soudé recouvert de plastique. Les cadres des cages ont été construits avec du bois, des tubes de PVC ou d'acier galvanisé et dont la flottaison est assurée par du polystyrène, des tubes de PVC ou des bouteilles en plastique (figure 3) (Masser, 1997a).

Espèces et systèmes d'élevage

La culture en cage en eau douce des États-Unis était historiquement limitée à la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) et au barbeau d'Amérique (*Ictalurus punctatus*). Les secteurs de la culture en étang et en raceway sont bien développés pour ces espèces. De nombreuses universités ont fait de vastes recherches sur la culture en cage de ces deux espèces et un certain volume de production privée est issu de la culture du poisson dans des zones marginales où la topographie, les sources/les eaux souterraines et/ou les infrastructures n'étaient pas adaptés à la culture en étang traditionnel ou en raceway.

La plupart de la culture en cage en eau douce est pratiquée dans des retenues d'eau privées de type bassin versant. Ces derniers déversent généralement de l'eau seulement en cas de pluies très fortes et la plupart du déversement a lieu pendant les mois d'hiver les plus frais et pluvieux. Les exceptions à la culture dans des étendues d'eau privées comprennent les installations de production du lac Huron et du fleuve Columbia qui sont examinées ci-dessous.

Actuellement, la majorité des opérations de culture en cage marine sont situées près des côtes bien que le foyer des opérations puisse être situé considérablement plus loin. Les fermes d'exploitation près des côtes sont situées dans des fiords d'eaux profondes, des criques protégées, ou des baies dont les courants sont suffisants pour pouvoir limiter les problèmes localisés concernant la qualité de l'eau. La tendance du secteur a été de développer des fermes d'exploitation à énergie élevée et plus exposées. Dans quelques cas, les opérations de culture en cage sont placées plus loin des terres augmentant ainsi l'exposition des systèmes de cage aux conditions océanographiques.

Les densités présentes dans des petites cages d'eau douce sont élevées, variant entre 200 et 700 poissons/m³ selon les espèces cultivées et la préférence quant à la taille marchande. Les niveaux de production varient avec les espèces produites, mais vont généralement de 90 à 150 kg/m³ (Masser, 1997b). Les problèmes fréquemment rencontrés dans des cages en eau douce sont la mauvaise qualité localisée de l'eau et les maladies (Duarte, *et al.*, 1993).

La production commerciale en cage de poisson-chat ne s'est jamais développée au point de devenir un secteur important (seulement 0,002 à 0,003 pour cent de la production totale des États-Unis de poisson-chat) en comparaison avec la culture en circuit ouvert en étang aux États-Unis. La plupart de la production en cage est éparpillée à travers le Sud, le Middle West et l'Ouest et sont à petite échelle, à savoir des opérations familiales produisant du poisson pour un usage personnel et/ou des niches de marchés locaux. L'Alabama possède un secteur de poisson-chat en cage viable dans sa région de Piedmont depuis les années 1990 (Masser

FIGURE 3
Cage d'eau douce de 7 m³ pour l'aquaculture de barbie d'Amérique



et Duarte, 1994), mais ne dispose actuellement que de 30–40 exploitants produisant 50–100 tonnes par an. Ces producteurs se sont organisés pour former l'Association de Piedmont des producteurs de poissons en cage et ont déposé une marque (Piedmont Classics) en 1993.

Toutefois, le fait de déposer une marque ne s'est pas traduit par une augmentation des ventes ou des marchés. La principale raison expliquant ce mauvais niveau de ventes est probablement liée à la petite échelle des opérations d'exploitation en cage et aux prix de vente plus élevés nécessaires pour que les producteurs en tirent un profit.

Traditionnellement, ces producteurs ont commercialisé leur poisson-chat globalement pour 2,20 \$EU/kg tandis que le poisson cultivé en étang est vendu à moins de 1,65 \$EU/kg. La réduction de la taille des poissons cultivés est un problème supplémentaire. Généralement, les poissons-chats en cage grossissent rarement à plus de 0,6 kg en une saison de grossissement et souffrent d'un taux élevé de mortalités s'ils passent l'hiver. Par conséquent, la plupart des poissons cultivés en cage sont commercialisés en petits poissons entiers, tandis que la norme du secteur (cultivé en étang) est un poisson de 0,8 à 1 kg transformé et commercialisé en filet. Le fait que les prix soient plus élevés et que le poisson soit vendu en entier rend les poissons en cage non compétitifs à l'exception des niches de marchés locaux et à petite échelle.

Les grandes opérations d'exploitation en cage de poisson-chat ont existé dans les lacs privés du centre du Missouri et dans un lac public, le lac Texoma dans l'Oklahoma (Lorio, 1987), mais ne sont plus en opération. Elles ont échoué en raison des maladies, de la lenteur de la croissance, et/ou des problèmes de qualité de l'eau (Veenstra *et al.*, 2003).

Aucune enquête n'a été conduite depuis le début des années 1990 pour déterminer la production de poisson-chat en cage. Cependant, les estimations indiquent que la production en cage totale en Amérique du Nord se situerait entre 300 et 500 tonnes par an.

La culture en cage de truite arc-en-ciel aux États-Unis est minime par rapport à la culture en raceway. Il y a des personnes indépendantes et éparpillées produisant de la truite en cage pour les niches de marchés locaux à l'est et au nord du Middle West. Dans l'État de Washington sur le fleuve Columbia à 9,4 km en aval du barrage Grand Cooley se situe la plus grande opération de culture en cage de truite aux États-Unis avec 80 000 m³ de volume total

de grossissement fourni par les nombreuses cages de grande taille (1 000–6 000 m³). Sa production annuelle se situe entre 1 800 et 2 000 tonnes avec une production maximum de 30 kg/m³. Les densités de mise en charge varient en fonction de la taille des poissons.

D'autres tentatives de culture en cage à grande échelle de truite arc-en-ciel et de saumon royal (*Oncorhynchus tshawytscha*) ont été réalisées de 1988 à 1995 dans deux lacs abandonnés issus de carrières de minerai de fer dans l'État du Minnesota (Axler *et al.*, 1998).

Ces opérations d'exploitations ont rencontré une forte opposition chargée d'émotion liée à ce qui était perçu comme la pollution de la nappe aquifère, qui approvisionne en eau les communautés voisines et les lacs à des fins récréatives. Ces opérations d'exploitation ont été fermées pour faillite en 1995. La faillite s'explique en partie par l'incapacité à respecter les nouvelles restrictions relatives à la qualité de l'eau imposées par les organismes de contrôles de l'État après avoir permis l'opération d'exploitation. Approximativement, 2 000 tonnes de poissons ont été produits au cours des sept années d'exploitation. Des études entreprises plus tard ont montré que les lacs de carrières de mine se sont complètement rétablis avec très peu de mesures de réparation et sans aucun impact à long terme sur la nappe aquifère (Axler *et al.*, 1998).

Au Canada, l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) a été cultivé en cage à Terre-Neuve, en Nouvelle-Écosse, sur l'île du Prince-Édouard et dans l'Ontario au début des années 1990 (Glebe et Turner, 1993; Rapport de la conférence sur l'omble chevalier, Proceedings of the Arctic Char Conference, 1993).

Actuellement aucune de ces installations ne produit d'omble chevalier en cage. Il semble que les échecs aient été causés par l'effet combiné de la mauvaise qualité de l'eau, des marchés limités et des inquiétudes environnementales. Dans l'Ontario au Canada, la truite arc-en-ciel est cultivée dans de larges cages de type marine dans la baie Georgienne du lac Huron (figure 4). La culture de truite arc-en-ciel a démarré dans cette région en 1982 et s'est développée jusqu'à atteindre 3 500 tonnes à l'heure actuelle. Actuellement, 10 exploitations présentes dans la baie sont en activité produisant une truite de taille marchande de 1,2 à 1,4 kg de moyenne (figure 5). La culture en cage dans la baie Georgienne représente 75 pour cent de la production totale de truite dans la province de l'Ontario (figure 6).

FIGURE 4
Cages de truite arc-en-ciel d'eau douce dans la baie Georgienne du lac Huron, Ontario, Canada



AVEC L'AIMABLE AUTORISATION DE S. MAYLOR

La valeur à la ferme totale en 2004 était de 17 millions de \$EU ou une valeur approximative de 4,00 \$EU/kg (Moccia et Bevan, 2004). La plus petite ferme consiste en six cages mesurant 15 m x 15 m et produisant de 160 000 à 180 000 kg/an. Il semble que les opérations d'exploitation encore plus petites ne soient pas économiquement viables. La plus grande exploitation est composée de 20 cages mesurant 15 m x 25 m et affiche une production de 450 000 kg/an. Les enquêtes sur les exploitations, le contrôle de la qualité de l'eau, les permissions et la surveillance de la part des organismes de contrôles gouvernementaux sont exigés pour ces opérations.

Le Département de l'Arkansas de la Commission de la nature et des poissons cultive des poissons en cage jusqu'à une taille de capture pour empoissonner ensuite dans les eaux publiques de trois endroits: Lac Wilhelmsia, Pot Shoals et Jim Collins. Les espèces produites comprennent la barbue d'Amérique, le poisson-chat bleu (*Ictalurus furcatus*), la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) et la truite cou-coupé (*Salmo clarkii*). La production annuelle est approximativement de 900 000 poissons et d'un

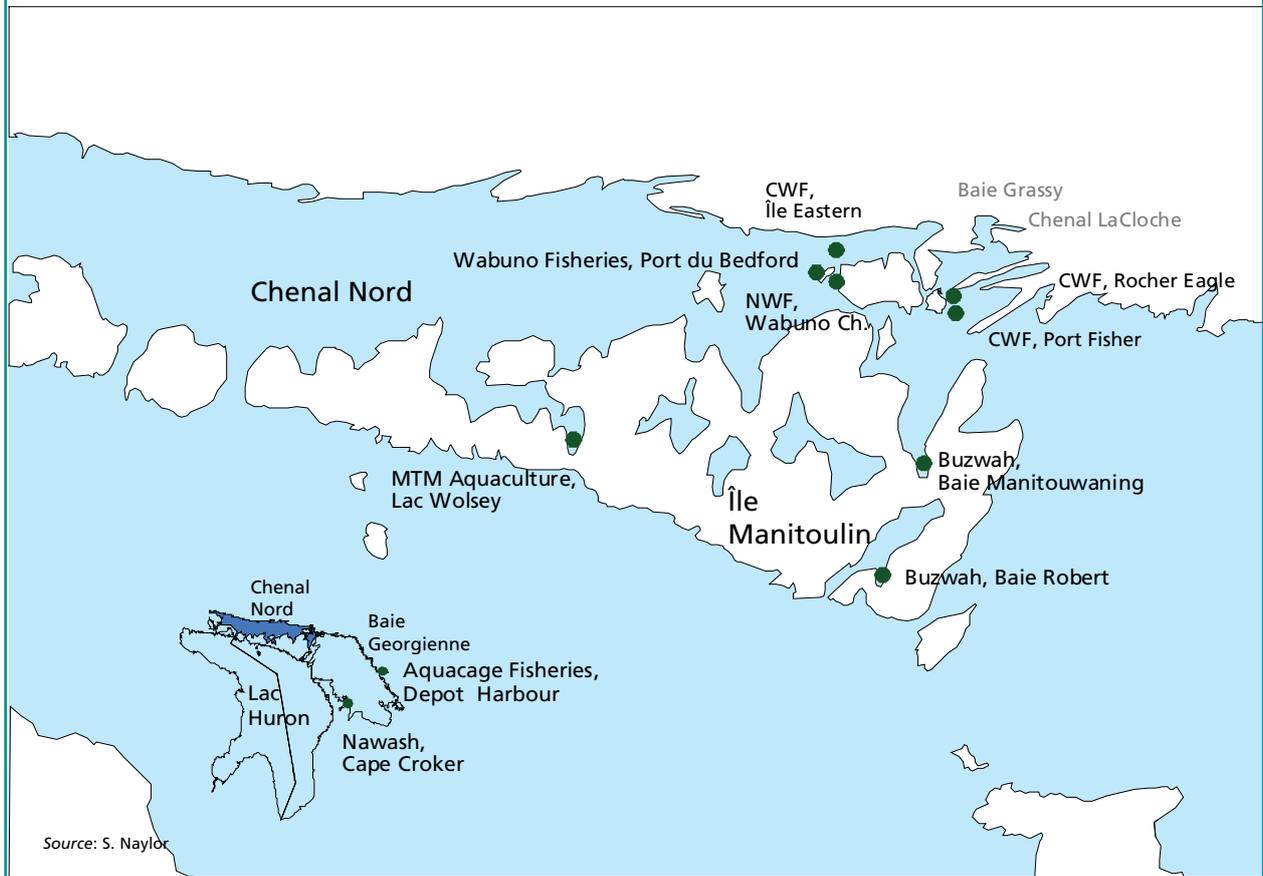
poids total de 230 tonnes. Le coût annuel de production est de 2,09 \$EU au kilo.

Les autres espèces actuellement cultivées dans des cages d'eau douce sont les suivantes: la perche canadienne (ou perche jaune, *Perca flavescens*), le bar d'Amérique hybride (*Morone* spp.), la perche (*Lepomis* spp.) et le tilapia (*Oreochromis* spp.). La culture de ces espèces est principalement limitée aux étendues d'eau privées destinées à la consommation personnelle ou aux ventes dans les niches de marchés à petite échelle. Par conséquent, il y a un réel manque d'informations quant à la quantité de production de ces espèces et à leur valeur.

Systèmes d'élevage en cage en eau marine

Les systèmes d'aquaculture en cage en eau marine varient considérablement à travers le Canada et les États-Unis d'Amérique. Le principal critère pris en compte au moment du choix de système marin d'élevage en cage sont les suivants: caractéristiques du plan d'eau, degré d'exposition, échelle de l'exploitation, espèces ciblées, perspectives commerciales et économiques, et si les opérations

FIGURE 5
Carte de cages de truite arc-en-ciel en eau douce dans la baie georgienne et autres sites sur le lac Huron, Ontario, Canada



d'exploitation ont lieu sous ou à la surface de l'eau. De plus, des systèmes spécifiques de soutien accessoires (tels que les systèmes de distribution des

aliments et les systèmes d'amarrage) sont choisis sur la base d'un bon nombre de ces mêmes critères, mais aussi en fonction des caractéristiques de la

FIGURE 6
Comparaison de la production aquacole basée à terre et en cage de l'Ontario entre 1988 et 2003

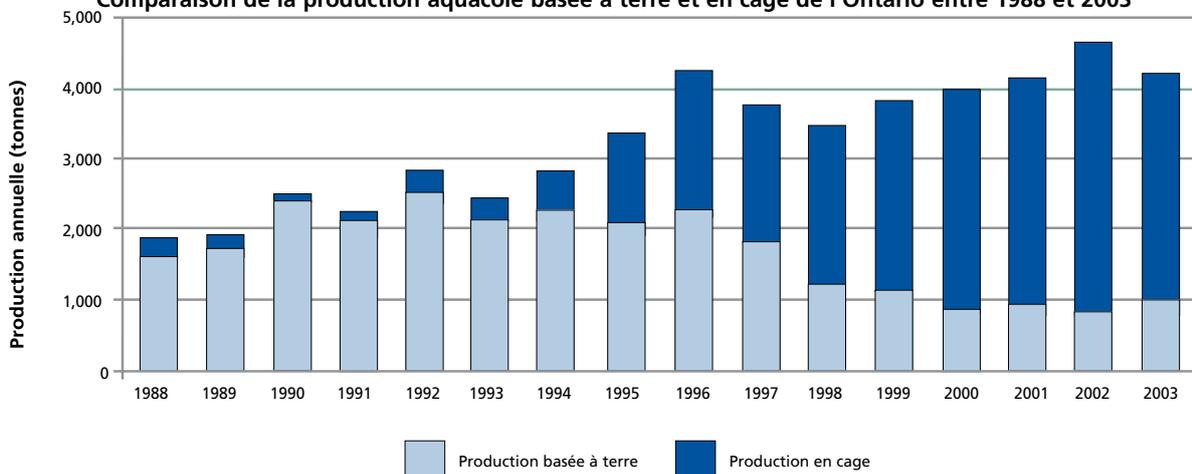


FIGURE 7
Cage type basée en surface et pourvue d'une bague en PE-HD utilisée dans le secteur de la salmiculture



AVEC L'AIMABLE AUTORISATION DE C.J. BRIDGER

terre des fonds, des charges environnementales prévues; dans certains cas, doit également être pris en compte le besoin absolu de la conception d'un système intégré par lequel toutes les composantes individuelles agissent comme une unité unique pour minimiser les effets dérivant des charges environnementales. En effet, les opérations d'aquaculture marine situées dans les baies et les fiords côtiers protégés ont réussi à augmenter progressivement l'échelle de leurs opérations ainsi que la sophistication technologique. Cependant, si des actions sont entreprises pour se déplacer dans des conditions telles qu'en océan ouvert, le simple fait de déplacer au large les systèmes côtiers existants ne sera pas suffisant. Au contraire, le système entier doit être pris en compte de manière holistique dès le début afin d'assurer l'efficacité des opérations et la sécurité des travailleurs tout en réduisant les risques sur le stock de poissons, sur les infrastructures de capital, sur l'environnement et sur les autres groupes d'utilisateurs en océan ouvert.

Conception et construction des cages

Ces dernières années, le secteur global de la culture en cage a été témoin d'une vague de création de conceptions originales de systèmes d'endiguement. En dépit de ces conceptions innovantes, les opérations marines de culture en cage sur les fermes côtières cultivant des espèces devenues produits de base telles que le saumon sont relativement uniformes à travers l'Amérique du Nord et le globe. Quasiment toutes ces cages peuvent être classées dans la catégorie de cages de type «par gravité» selon le système de classification proposé par Loverich et Grace (1998). En Amérique du Nord, ces cages ont une structure munie d'une bague en surface à partir de laquelle un filet est soutenu et suspendu dans la colonne d'eau (figure 7). Ces cages sont généralement construites en acier ou en polyéthylène à haute densité (PE-HD) dans des systèmes d'aquaculture en zone côtière au Canada et aux États-Unis. Le PE-HD est préféré sur les sites canadiens de l'Atlantique en raison des frais d'investissement réduits et associés à l'utilisation de ce matériel et le fait que les bagues en PE-HD se conforment aux vagues (à savoir qu'elles se plient en fonction de l'énergie qui passe au lieu

de rester rigides). Les bagues d'acier sont fixées par des charnières pour pouvoir se conformer aux vagues entre les unités de cages connectées les unes aux autres. Les bagues d'acier offrent également des plateformes de travail stables fournissant une passerelle sur les côtés sur lesquels on peut marcher et qui peuvent être utilisés par les travailleurs pour l'alimentation et le stockage des équipements, ainsi qu'une plateforme stable pour gérer les opérations des exploitations. Ceci n'est pas le cas pour les cages munies de bagues en PE-HD où deux anneaux de flottaison sont disposés à la surface de l'eau. Les cages en PE-HD ne garantissent pas la sécurité d'utilisation pour les travailleurs et ne sont pas conçues pour le stockage, exigeant ainsi des barges séparées sur place.

Les filets sont généralement suspendus à partir des anneaux intérieurs de plastique ou sur la portion interne en acier des passerelles des cages tandis que les filets anti-prédateurs peuvent être tendus à partir des anneaux plastiques externes sur les bagues de PE-HD ou sur la portion externe des passerelles en acier. Les cages par gravité ne possèdent pas de filets rigides et la mise en forme du filet a lieu aux moments de courants de hautes marées, augmentant ainsi le volume total des cages. En effet, Aarnes *et al.* (1990) ont observé que

jusqu'à 80 pour cent du volume de grossissement prévu dans des cages munies de bagues en surface peut être perdu dans des courants de 1 m/seconde (approximativement deux nœuds). Ce problème a généralement été réduit en attachant des poids sur la portion inférieure du filet à intervalles réguliers afin de réduire la déformation des filets. Plus récemment la mise en forme a été éliminée en plaçant un tube de plomb à partir de la bague en surface et attaché à la portion inférieure du filet de façon à maintenir la forme générale et le volume de la cage.

Les cages marines sont amarrées en groupe, ou flottille, généralement dans des systèmes d'amarrage en grille submergés (figure 8). Ces grilles envoient fréquemment vers le haut huit lignes d'amarrage liées à chaque cage pour maintenir sa position au sein de la grille.

Les cages de salmoniculture possèdent de vastes volumes de croissance, fournissant de fait un excellent retour sur investissement. Par exemple, une plus petite cage de PE-HD basée en surface peut avoir une circonférence de 100 m avec un filet de 11,21 m de profondeur et, par conséquent, fournit un volume total de croissance équivalant à 8 925 m³. Une plus grande cage de structure similaire d'une circonférence de 120 m et un filet de 20 m de profondeur fournira un volume total de

FIGURE 8
Système classique d'amarrage en grille submergé près des côtes
maintenant plusieurs cages au sein d'une flottille

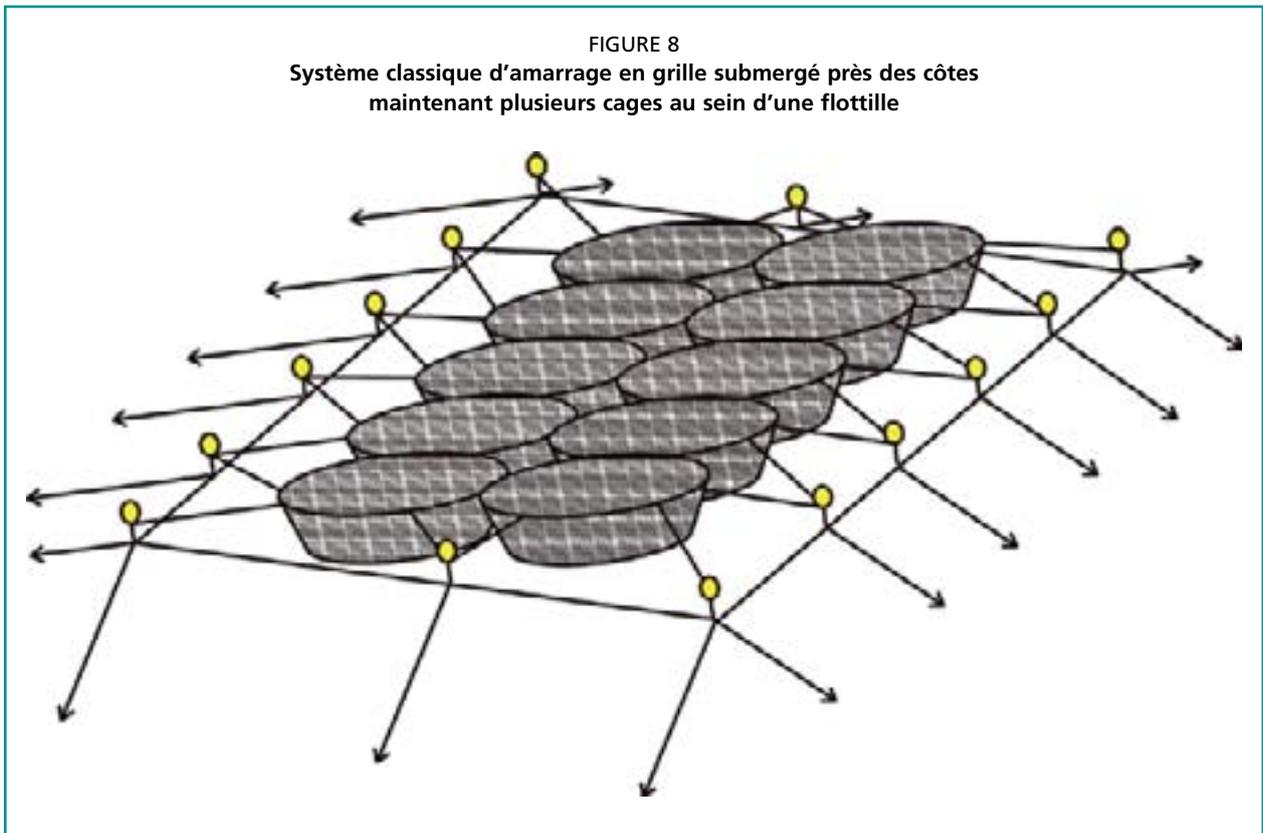


FIGURE 9
 Comparaison entre des cages standard basées en surface et munies de bagues et le système Future SEA



AVEC L'AIMABLE AUTORISATION DE C. J. BRIDGER

croissance de 22 921 m³. En supposant un objectif de densité de mise en charge finale de 15 et de 18 kg/m³, ces volumes supporteront 133 875 kg (133 tonnes) et 412 578 kg (412 tonnes) de saumon par cage, respectivement.

En Colombie-Britannique, le secteur de la salmoniculture est confronté à une campagne constante de la part d'ONG environnementales anti-salmoniculture. Leurs efforts ont réprimé le développement du secteur au cours des dernières années tandis que les scientifiques du secteur public ont examiné la salmoniculture et ses impacts environnementaux en vue de développer une politique de fondement scientifique en tant que marche à suivre.

Tandis que la science soutient fortement que les fermes de saumon, gérées de façon responsable ont des impacts négatifs limités sur l'environnement océanique, une entreprise développe une conception de cage innovante qui pourrait en théorie éliminer tout risque de conséquences environnementales nuisibles. Future Sustained Environment Aquaculture (SEA) Technologies Inc. a été fondé en 1994 pour développer le SEA system en enclos

étanche et approvisionné en eau qui est pompée dans l'enclos de grossissement de poissons à partir d'emplacements optimaux, y compris la profondeur, pour réguler la température, les niveaux d'oxygène, et la qualité globale de l'eau, tout en augmentant les capacités de gestion des déchets et en réduisant les fuites de poissons (figure 9; <http://futuresea.com>).

En 2001, Marine Harvest Canada a initié des tests pour comparer le Future SEA System avec les systèmes conventionnels de cages d'acier, tests qui font partie du réseau de politiques de la Colombie-Britannique sur la salmoniculture. Sur la période d'essai de quatorze mois, les performances du SEA system ont été bonnes et comparables à celles des cages en acier conventionnelles concernant la survie, la conversion alimentaire et la santé globale des poissons (Hatfield Consultants Ltd, 2002). Les performances du future SEA system n'ont toutefois pas été aussi bonnes du point de vue économique, enregistrant un coût de production à la ferme de 29 pour cent plus élevé par rapport aux systèmes conventionnels de cages en acier. Cette augmentation s'est traduite par une différence de 0,85 \$EU/kg au moment de la récolte.

De nombreuses conceptions de cages ont été proposées et placées en océan ouvert en Amérique du Nord. Aux États-Unis, le système en cage prédominant à l'heure actuelle est la cage Ocean Spar Sea Station (figure 10; <http://www.oceanspar.com>). La Sea Station est une cage en auto-tension autour d'une seule bouée en espar (Loverich et Goudey, 1996). Des descriptions détaillées de la cage Ocean Spar Sea Station peuvent être trouvées dans Tsukrov *et al.* (2000) et Bridger et Costa-Pierce (2002). Les cages expérimentales utilisées dans le golfe du Mexique (Bridger, 2004) et dans le New Hampshire (Chambers *et al.*, 2003) fournissent un volume de croissance de 595 m³. Pour la cage Sea Station, des volumes pouvant aller jusqu'à 35 000 m³ ont été conçus (Loverich et Goudey, 1996) bien que la plus grande qui ait été utilisée commercialement jusqu'à l'heure actuelle fournisse un volume interne de 3 000 m³ (Ostrowski et Helsey, 2003; O'Hanlon *et al.*, 2003).

Récemment toutefois, une cage de 5 400 m³ a été introduite par Ocean Spar. Les cages Ocean Spar Sea Stations sont toutes utilisées bien au-dessous de

la surface de l'eau aux États-Unis. Des opérations d'exploitation submergées sur des sites en océan ouvert à haute énergie semblent logiques pour éviter, ou tout du moins réduire au minimum, les charges environnementales qui sont observées en surface. En surface, les particules des vagues roulent à un diamètre équivalent à la hauteur de la vague et fournissent donc la plus grande quantité de l'énergie de la vague. Cette rotation diminue à mesure qu'augmente la profondeur, réduisant ainsi les charges environnementales affectant les structures aquacoles utilisées bien au-dessous de la surface de l'eau. Tsukrov *et al.* (2000) confirme à cette question en signalant que la tension de la ligne d'amarrage est de 60 pour cent inférieure pour les cages submergées que les systèmes positionnés en surface dans des charges environnementales identiques. La capacité des opérations submergées de réduire au minimum les effets océanographiques sur les poissons contenus dans les cages est tout aussi importante.

Cependant, les avantages associés aux opérations submergées comportent aussi des inconvénients

FIGURE 10
Une cage Ocean Spar Sea Station amarrée au large dans le golfe du Mexique adjacent à une plateforme de production de gaz



étant donné qu'aucun choix de gestion de fermes clé en main ou attesté ne soit actuellement disponible. De nombreuses opérations d'exploitation devront être automatisées afin de réduire la dépendance vis-à-vis de la plongée sous-marine pour effectuer les tâches d'exploitation. En attendant que cette automatisation ait lieu afin de fournir des possibilités de gestion des exploitations sûre et efficace, les opérations submergées n'auront d'autre choix que de demeurer à une échelle relativement petite tout en s'appuyant sur les plongeurs.

Un autre exemple d'innovation est constitué par l'Aquaculture Engineering Group de la province du Nouveau-Brunswick au Canada (<http://www.aquaengineering.ca>). Cette société a développé une configuration de «site pivotant» qui utilise un déflecteur de courant visant à réduire les conditions océanographiques subies sur place. La conception de ce système repose sur le fait que les cages conventionnelles basées en surface soient utilisées de façon continue et acceptées à travers tout le secteur de la salmoniculture.

Les inventaires et l'enregistrement de rapports sont des activités critiques pour atteindre un niveau optimal de pratiques d'élevage. Conserver un rapport sur le nombre de poissons morts et retirés des cages ainsi que sur les estimations fréquentes de croissance (et la biomasse calculée) est nécessaire pour calculer les taux d'alimentation, pour déterminer la quantité de médication à fournir en cas de besoin, et pour établir les plannings de production et de récolte. Dans les exploitations les moins sophistiquées, un échantillon de la population entière établi au hasard est retiré des cages à intervalles significatives (mensuellement), anesthésié et pesé pour recueillir les données nécessaires relatives à la croissance.

Les exploitations dont la technologie est plus avancée ne dérangent pas physiquement le stock de poisson afin de réduire le niveau de stress. En alternative, sont utilisées des technologies de mesure des poissons utilisant l'analyse d'images vidéo ou acoustiques qui mesurent individuellement les poissons sans les déranger physiquement.

Espèces et systèmes d'élevage

Le saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*) est de loin l'espèce de choix pour les opérations de mariculture en cage en Amérique du Nord. Cette espèce est originaire de l'océan Atlantique mais une vaste quantité du saumon de l'Atlantique est cultivée dans des fermes le long de la côte pacifique du Canada.

Les autres espèces de salmonidés cultivées dans des cages marines sont les suivantes: le saumon royal (*Oncorhynchus tshawytscha*), le saumon coho (*Oncorhynchus kisutch*) et la truite de mer (*Oncorhynchus mykiss*).

Le saumon de l'Atlantique en particulier est cultivé à un tel volume qu'il est devenu une espèce-produit de base. Alors que ceci représente une excellente nouvelle pour le consommateur désireux d'acheter des produits de la mer qui soient sains, nutritifs et abordables, il n'en va pas de même pour les opérations de salmoniculture dont la rentabilité s'en trouve réduite. Étant donné la situation dans laquelle elles travaillent, de nombreuses entreprises de salmoniculture ont consacré beaucoup de temps et d'investissements dans la diversification des espèces tant pour fournir une gamme plus vaste de produits aux consommateurs que pour réduire les risques liés à la production continue d'une seule espèce.

Les espèces «candidates» pour les producteurs de saumon sont les suivantes: la morue de l'Atlantique (*Gadus morhua*) et l'églefin (*Melanogrammus aeglefinus*) dans l'océan Atlantique et la morue charbonnière (*Anoplopoma fimbria*) dans l'océan Pacifique.

Les États-Unis d'Amérique possèdent un environnement varié qui abrite une variété d'espèces pouvant faire l'objet d'aquaculture. En Nouvelle Angleterre, les espèces «candidates» sont les mêmes, pour la grande majorité, que celles qui ont été étudiées par les producteurs actuels de saumon, en raison de leur potentiel aquacole.

Plus loin le long de la côte atlantique des États-Unis et dans le golfe du Mexique, la liste des espèces aquacoles potentielles s'allonge et inclut: le mafou (*Rachycentron canadum*), la sérieole couronnée (*Seriola dumerili*), le vivaneau campêche (*Lutjanus campechanus*), le tambour rouge (*Sciaenops ocellatus*). Dans la zone pacifique des États-Unis (y compris Hawaï) figurent des espèces aquacoles potentielles tout aussi intéressantes pour le grossissement telles que le barbare à six doigts (*Polydactylus sexfilis*) et la sérieole limon (*Seriola rivoliana*).

QUESTIONS RÉGIONALES

Culture en cage en eau douce

Les questions ayant un impact négatif sur les producteurs en cage à petite échelle sont les suivantes:

- 1) Un accès limité ou nul aux vastes étendues d'eau (c.a.d. aucune étendue d'eau publique);

- 2) un prix plus élevé payé pour les fingerlings et les aliments en raison de la petite taille des exploitations et un emplacement généralement en dehors des zones aquacoles traditionnelles;
- 3) un manque d'infrastructures de transformation et de commercialisation; et
- 4) les maladies.

Alors que des aliments commerciaux et des fingerlings de grande qualité sont disponibles, les frais d'envoi et les petites quantités exigées augmentent généralement les coûts de production bien au-delà de ce qui est payé par les plus gros producteurs commerciaux en étang ou en raceway.

Trouver et fournir des niches de marchés est également une tâche difficile pour les producteurs à petite échelle disposant de ressources physiques et financières et/ou une expérience de commercialisation limitées. Les coopérations et associations qui ont tenté d'acheter en gros et de commercialiser à de plus gros acheteurs ont échoué, probablement en raison des coûts de production plus élevés et par conséquent des prix de vente plus élevés.

Aucun problème environnemental n'est lié aux cages d'eau douce dans des étendues d'eau privées. Les questions ayant trait à la qualité de l'eau, aux fuites et à d'autres impacts écologiques sont contenues à l'intérieur de l'étendue d'eau. Les étendues d'eau privées ont généralement plusieurs emplois notamment pour les loisirs et pour faire boire le bétail; elles ne sont que très rarement, voire jamais, vidés, et habituellement, ne déversent de l'eau que durant la saison hivernale pluvieuse. Par conséquent, peu de conflits existent parmi les pratiques de culture en cage.

La plupart des espèces de poissons en élevage sont des poissons indigènes, à l'exception du tilapia. La production de tilapia en cages est limitée dans certains États seulement (par ex. le Texas et la Louisiane). La plupart des États n'ont pas de restriction relative à la culture du tilapia puisqu'ils ne survivront pas pendant les mois d'hiver d'Amérique du Nord.

Les plus grandes exploitations de cages dans les eaux publiques pour la truite arc-en-ciel dans la province de l'Ontario et dans l'État de Washington ont connu un long processus d'autorisation et sont régulièrement surveillées en ce qui concerne la qualité de l'eau et d'autres questions liées aux impacts environnementaux.

Le propriétaire de l'exploitation présente dans l'État de Washington pense avoir dépensé 1,5 millions de \$EU pour l'établissement et l'autorisation de sa

ferme (Swecker, communication personnelle). Les questions liées à l'emplacement d'une ferme, les perceptions du public, les coûts d'autorisation, l'implication des ONG environnementales dans l'autorisation et le dialogue négatif avec le public, ainsi que le manque de politiques claires et de cadres juridiques d'autorisation dans la plupart des États aux États-Unis d'Amérique, a entravé et continue à entraver le développement de la culture en cage dans les eaux publiques. Il est estimé que le processus d'autorisation de cages dans l'Ontario nécessiterait de un à deux ans et exigerait un coût d'environ 60 000 \$EU. Ce coût est principalement constitué par les études d'évaluation de la ferme d'exploitation nécessaires pour obtenir un permis. Le processus d'autorisation implique plusieurs ministères fédéraux et provinciaux et de nombreuses lois (Moccia et Beva, 2000).

Les objections ou conflits avec les propriétaires dans la zone littorale (le syndrome NIMBY: *not in my backyard* ou «pas dans mon jardin») apparaissent comme le principal problème auquel sont confrontés les entrepreneurs de culture en cage tentant d'obtenir des permis. Par conséquent, les endroits où ces types d'exploitations ont été ou peuvent être autorisés dans des zones d'eau douce en Amérique du Nord sont extrêmement limités, tout comme l'est vraisemblablement le développement à venir.

Culture en cage en eau marine

Les opérations d'exploitation en cage en eau marine sont établies dans de nombreuses zones d'Amérique du Nord. Cependant, la production totale de ces exploitations est quelque peu limitée si on la confronte à la croissance potentielle prévue sur les dix prochaines années. De nombreuses questions entravant le secteur devront être abordées avant que ne se réalisent les espérances de bon nombre des secteurs de l'industrie.

Les systèmes de culture en cage en mer dans les baies et fiords protégés sont une situation largement connue. Cependant, les tendances de l'industrie tant au Canada qu'aux États-Unis sont pour l'expansion vers des conditions plus exposées en océan ouvert où les conflits humains se font plus rares.

Les technologies et opérations d'exploitation aquacoles près des côtes ne seront pas en mesure de simplement se déplacer vers ces environnements à haute énergie et garantir la sécurité continue des travailleurs et des fermes d'exploitation efficaces. Des technologies aquacoles originales en océan ouvert ont été développées au cours des dix dernières

années afin de commencer à satisfaire les besoins de ce nouveau secteur de culture en cage.

Il reste toutefois encore beaucoup de développement technologique à accomplir. L'un des besoins critiques pour le développement est l'automatisation des opérations d'exploitation des fermes. Une automatisation fiable garantira au minimum que les poissons seront efficacement nourris lors de conditions météorologiques inclementes, mais sera également importante pour d'autres tâches que les fermes doivent accomplir, notamment le calibrage, le nettoyage des filets, l'enlèvement des poissons morts, la surveillance de la santé des poissons et les inspections des cages/des amarrages. Ceux qui nourrissent les poissons pourraient également incorporer la technologie utilisée pour les communications à longue distance afin d'accroître le contrôle fourni aux gérants des fermes.

L'adoption de ces technologies veillera à ce que les visites des fermes ne soient nécessaires que pour l'entretien général et pour la distribution d'aliments lorsque les conditions sont plus sûres.

Aspects sociaux

L'expansion du secteur de la culture en cage en eau marine nécessitera l'accès à davantage d'espace pour les fermes. Cet aspect est assez différent de la plupart de la culture en cage en eau douce qui est pratiquée sur des terres privées. Dans l'aquaculture en eau marine, les opérations d'exploitation sont situées dans l'océan – une ressource que l'on a toujours considérée comme une propriété commune. Les sociétés d'aquaculture en cage en eau marine devront gérer leur entreprise de façon à informer le public à tout moment. Ceci n'implique pas que les gens devront avoir un droit de regard sur les comptes de la société.

Cependant, les projets du secteur pour une région ou pour un littoral doivent être examinés au sein de forums publics afin de veiller à ce que les inquiétudes du public soient prises en considération à chaque étape du développement. Par ailleurs, des projets de gestion de la zone côtière intégrés et adaptés doivent être développés. Les zones adaptées à l'aquaculture devraient être choisies également pour réduire au minimum les interactions avec les emplois traditionnels de l'environnement marin, notamment les pêches de capture, le tourisme, les droits des propriétaires de terres, les industries d'extraction et les zones souvent fréquentées par les mammifères marins. Un excellent exemple de cette sorte d'exercice a récemment été publié concernant

le développement du secteur de la salmoniculture dans la baie de Fundy (Chang *et al.*, 2005).

L'aquaculture en eau marine représente aussi une excellente possibilité de pouvoir maintenir les communautés côtières qui sont actuellement tributaires des pêches commerciales surrécoltées. Un bon nombre des ces pêcheurs de poissons sauvages constitue une main-d'œuvre hautement qualifiée possédant une connaissance approfondie de l'océan, de la gestion des bateaux, de la réparation et de l'entretien des filets, ainsi que de la récolte du poisson et du contrôle de la qualité, connaissances que les sociétés aquacoles peuvent aisément adapter à leurs propres exploitations. Dans ces cas précis, les anciens pêcheurs de poissons sauvages auraient besoin d'une formation de base liée aux opérations d'exploitations classiques et sur la gestion de la santé des poissons. De nombreux pêcheurs de morue de l'Atlantique se sont convertis en aquaculteurs pour le grossissement de morue à Terre-Neuve et au Labrador suite à l'effondrement des stocks des poissons de fond du nord (ces activités impliquent la capture de petites morues vivantes pour procéder au grossissement dans des cages en eau marine avant qu'elles ne soient récoltées pour le marché). Ces activités ont pour la plupart cessé d'exister en raison de la disponibilité limitée autour de la province à de petites morues destinées au grossissement. Cette période expérimentale a toutefois démontré que les pêcheurs de poissons sauvages peuvent aisément s'adapter aux entreprises aquacoles si les occasions se présentent.

Outre le fait de pouvoir employer les pêcheurs de poissons sauvages, toute région développant un secteur aquacole en océan ouvert tirera profit des avantages économiques associés à la production et à la vente du poisson grossi en cages marines. De récentes analyses économiques ont conclu qu'une seule ferme d'exploitation n'employant directement que sept personnes pour la production en océan ouvert fournira une production économique régionale annuelle supplémentaire d'au moins 9 millions de \$EU et fournira des emplois supplémentaires à 262 personnes au moins, dans les domaines de la transformation, la production d'aliments, la distribution, etc. (Posadas et Bridger, 2004). Ces impacts doivent être transmis aux responsables politiques locaux afin de veiller à ce que les communautés côtières qui sont actuellement anéanties par l'effondrement des pêches sauvages trouvent une nouvelle source de revenus durable pour les générations à venir.

Le secteur aquacole doit aussi faire davantage preuve d'initiative pour former la perception du public vis-à-vis de leur secteur. À l'heure actuelle, les ONG environnementales gagnent la faveur du public sur de nombreux fronts. Le secteur aquacole doit dépendre des informations basées sur la science pour recueillir le soutien du public tout en résistant et ne pas s'impliquer dans les propos verbeux habituels des ONG environnementales faits d'informations manipulées, désuètes et/ou trompeuses concernant l'aquaculture et ses pratiques. Une confiance accrue de la part du public ouvrira des marchés supplémentaires pour les produits cultivés en ferme et permettrait que le secteur se développe sur de nouveaux emplacements qui sont actuellement contestés.

Économie et marchés

La consolidation du secteur aquacole est un phénomène mondial vu que de grandes multinationales recherchent des économies d'échelles adaptées tout au long de leur chaîne de production et d'approvisionnement. Ceci leur permet d'accéder à une plus grande part de marché sur le marché compétitif mondial pour les produits de la mer. Au Canada, la plus importante consolidation du secteur a lieu actuellement sur la côte atlantique (la côte pacifique a également connu plusieurs phases de consolidation du secteur dans le passé). Sur la côte atlantique, une société aquacole locale de saumon a remporté un certain succès en matière de consolidation du secteur au sein du sud-ouest du Nouveau-Brunswick et du Maine tout en développant ses activités à travers l'expansion de nouveaux sites en Nouvelle-Écosse à Terre-Neuve et au Labrador. Ces consolidations du secteur se traduiront sans aucun doute par une meilleure efficacité mais également par des pertes d'emplois locaux. Ce degré de consolidation garantira toutefois un meilleur niveau de contrôle sur la chaîne de production en entier de la société tout en obtenant un accès supplémentaire à son marché principal en Nouvelle-Angleterre.

Les États-Unis d'Amérique représentent le principal marché d'exportation pour les produits aquacoles canadiens. Les sociétés aquacoles du Canada en sont bien conscientes; dans une récente enquête des sociétés aquacoles de Colombie-Britannique, la proximité des marchés et le taux de change dollar canadien/américain occupaient les deux premières places des 35 facteurs commerciaux pris en compte (Pricewaterhouse Coopers, 2003). Le fait de disposer de l'accès direct au marché des

États-Unis profite considérablement au secteur aquacole canadien. Cette dépendance soumet le secteur aquacole canadien aux vicissitudes de facteurs internationaux tels que la fluctuation des taux de change des devises. Le dollar canadien s'est régulièrement apprécié par rapport au dollar américain au cours des quatre dernières années; en 2002 le taux de change des États-Unis affichait une moyenne de 1,57 mais est descendu à 1,21 en 2005. Ce taux d'appréciation est considérable et constitue une perte nette de 36 cents sur chaque dollar de vente entre 2002 et 2005. Cette perte a considérablement fait baisser le profit du secteur en l'absence de l'augmentation des cours du marché, de la production et des économies d'échelle, ainsi que de l'efficacité.

Aspects écologiques et environnementaux

Les aquaculteurs doivent agir en tant que régisseurs environnementaux professionnels pour garantir un environnement dénué de pollution pour cultiver les poissons et en tirer un profit. Sans un approvisionnement en eau propre et constant, le produit destiné au grossissement subirait un stress, ce qui provoquerait le ralentissement des taux de croissance et potentiellement, un degré élevé de mortalité. Les impacts environnementaux possibles liés aux opérations de mariculture en cage peuvent être regroupés en quatre catégories:

1. *Impacts benthiques et sur les colonnes d'eau* – ces impacts sont souvent associés à la mauvaise sélection d'emplacements, aux décisions de gestion, à la surproduction des fermes d'exploitation, ou une combinaison de ces trois aspects. Ces effets sont réversibles et peuvent être atténués par une gestion attentive des fermes et en adaptant un politique de mise en jachère des sites entre les cycles de grossissement successifs (McGhie *et al.*, 2000).
2. *Impacts sur la fréquence de Blooms phytoplanktoniques nocifs* – les activités d'élevage de poissons se traduiront par l'augmentation de substance nutritive dans le milieu environnant. Cependant, la plupart des études effectuées à ce jour ont conclu que les activités aquacoles situées à des endroits préférés n'ont pas entraîné de profusion accrue d'espèces de phytoplancton (Parsons *et al.*, 1990; Pridmore et Rutherford, 1992; Taylor, 1993). En effet, Arzul *et al.* (2001) ont signalé que la croissance de phytoplancton est freinée en présence d'excrétions de certains poissons à nageoires (serranidés et saumon). Ces résultats ont montré un contraste frappant

avec les excréments d'espèces de crustacés ou de mollusques (huîtres et moules), qui stimulent les taux de croissance du phytoplancton.

3. *Impacts sur les mammifères marins locaux ou migrants* – À la différence de l'équipement de pêche, l'enchevêtrement de mammifères marins dans les équipements aquacoles n'a pas fait souvent l'objet de recherches et n'est donc pas généralement une grande source d'inquiétude pour les aquaculteurs. Cependant, lorsque ces interactions ont lieu, les coûts tant pour les sites aquacoles (en termes de pertes des stocks et de perception négative de la part du public) que pour les mammifères marins ont tendance à être élevés. Le secteur aquacole doit faire tout son possible pour éviter de tels incidents.
4. *Fuites et implications pour les populations sauvages* – Les sociétés aquacoles ne peuvent rester en activité que si elles réussissent à contenir leur stock de poissons destiné à la vente. L'approche la plus logique pour atténuer les impacts des fuites de poissons issus de l'aquaculture est la prévention. Myrick (2002) a abordé le thème des fuites des espèces cultivées de façon générale alors que Bridger et Garber (2002) ont expressément examiné les épisodes de fuites de salmonidés, ses implications et les solutions pour les atténuer. Dans les cas attestés de fuites, il a été observé que les salmonidés qui se sont échappés – en particulier les truites de mer – restent dans les alentours des cages aquacoles et montrent une réaction de retour à l'environnement d'origine, à savoir les installations aquacoles, si les fuites se sont produites loin des fermes d'exploitations établies (Bridger *et al.*, 2001). Ces résultats indiquent un risque dérivé des fuites et posé au stock sauvage bien moindre que celui dépeint par les ONG environnementales. De plus, le développement de stratégies de recapture visant à remettre les poissons qui se sont enfuis dans les cages afin de poursuivre le grossissement et de diminuer les pertes économiques devrait être réalisable.

Politiques et cadres juridiques

Les politiques et cadres juridiques associés à l'aquaculture en cage en eau marine diffèrent considérablement et ce, en fonction de la juridiction spécifique qui est impliquée. Au Canada, les deux niveaux de gouvernement, tant fédéral que provincial, ont un rôle à jouer pour développer et veiller à ce que le secteur aquacole ait la capacité de se développer tout en étant géré d'une façon responsable tant du point de vue environnemental

que social. En reconnaissance de ce rôle commun, les ministres canadiens pour les pêches et l'aquaculture (national et fédéral) ont consenti à la Coopération interjuridictionnelle et la création d'un Plan d'action canadien pour l'aquaculture pour lequel les deux niveaux de gouvernement s'engagent à améliorer la situation réglementaire, à renforcer la compétitivité du secteur, et à accroître la confiance du public envers le secteur ainsi qu'envers le gouvernement. Dans pratiquement tous les cas, les départements provinciaux du gouvernement ont endossé la responsabilité de l'attribution des emplacements pour l'aquaculture dans les océans à travers des protocoles d'accord fédéral-provincial. De nombreux départements provinciaux ont créé des Projets de gestion des baies appropriés et des systèmes de gestion des classes par année (c.-à-d. une génération de poissons sur un site à un moment donné) afin d'améliorer la gestion de la santé des poissons et la qualité de l'environnement.

Aux États-Unis, toute l'aquaculture en cage en eau marine effectuée jusqu'à maintenant est pratiquée à l'intérieur des eaux d'un État en particulier. Les États gèrent individuellement les secteurs aquacoles, ce qui peut provoquer quelques contradictions entre les États. «L'aquaculture en mer ouverte» sert de terme juridique aux États-Unis d'Amérique, et se réfère aux exploitations aquacoles situées dans les eaux fédérales des États-Unis. Les eaux fédérales consistent en l'étendue de l'océan existant en dehors des eaux d'un État au sein de la Zone économique exclusive des États-Unis, généralement à trois miles (4,8 km) en dehors des terres les plus éloignées contrôlées par l'État (y compris les îles) et jusqu'à 200 miles (321,8 km) au large. Le cadre juridique existant pour l'aquaculture dans les eaux fédérales des États-Unis a souvent été cité comme la première raison expliquant l'absence de développement du secteur. Pas encore arrêtée, les coprésidents du comité pour le commerce du Sénat ont introduit la S.1195, loi nationale relative à l'aquaculture en mer ouverte de 2005, le 8 juin 2005, visant à :

«... fournir l'autorité nécessaire au Ministre du commerce pour l'établissement et la mise en œuvre d'un système réglementaire pour l'aquaculture de mer ouverte dans la Zone économique exclusive des États-Unis et pour d'autres fins.»

L'introduction de cette loi constitue la première de nombreuses étapes essentielles nécessaires pour que soit établie l'aquaculture dans les eaux fédérales des États-Unis. Une fois la loi adoptée, le Département du commerce disposera de l'autorité requise pour créer les réglementations nécessaires

pour diriger le secteur aquacole de mer ouverte. Ce processus nécessitera de longues années, de nombreuses périodes de commentaires émanant du public et des révisions avant qu'il ne soit achevé.

LA MARCHÉ À SUIVRE

On peut qu'insister sur l'importance des marchés. Comme il l'a été présenté ci-dessus, le Canada se tourne vers les États-Unis comme principal marché pour ses exportations. De nombreux autres pays exportant aussi lourdement vers les États-Unis et le Canada, le développement international et la concurrence mondiale devraient donc conduire les marchés de produits de la mer dans les pays développés. De nombreuses questions de «commerce équitable» ont déjà surgi avec les importations de produits de la mer vers les États-Unis. Ces dernières augmenteront sans aucun doute dans le futur alors que la concurrence et ce qui est perçu comme un «terrain où l'on joue franc jeu» seront sujets de batailles dans les arènes politiques.

Les États-Unis d'Amérique, probablement plus que le Canada ou la plupart des autres pays, ont connu beaucoup d'opposition à l'aquaculture en cage dans les eaux publiques d'eau douce et près des côtes. Par conséquent, comme il a été présenté ci-dessus, les aquaculteurs doivent faire preuve de davantage d'initiative pour éveiller l'attention du public et s'opposer aux accusations non fondées d'ONG environnementales. Ils doivent accroître la confiance du public à leur égard et travailler étroitement avec les législateurs et les fonctionnaires, exigeant des études scientifiques et une politique de développement fondée sur la science.

La possibilité d'utiliser les sources publiques d'eau douce aux États-Unis d'Amérique pour la culture en cage se semble pas à être à l'horizon. La plupart des agences d'État pour les ressources naturelles réglementant l'accès aux plans d'eau publics, n'ont aucune envie, ou ne subissent aucune pression publique/politique dans ce but, de promouvoir la culture en cage dans les eaux publiques.

Les projections indiquent que la plus grande partie du développement de l'aquaculture en cage aux États-Unis d'Amérique impliquera les cages en océan ouvert. À l'heure actuelle, les nouveaux «candidats» pour l'aquaculture en océan ouvert sont limités dans de nombreuses juridictions et les espèces de choix ont souvent une concurrence limitée provenant des captures sauvages, produisant ainsi une excellente demande pour les produits d'élevage. À un moment donné, les avantages tirés des premiers candidats commerciaux diminueront

dans la mesure où ces espèces candidates deviendront des produits de base et que les marchés établis seront inondés. Les exploitants utilisant un bon nombre des systèmes de cages, existants ou proposés, pour l'aquaculture en océan ouvert pourront connaître des difficultés économiques dans l'élevage d'espèces devenues des produits de base du fait que l'augmentation du volume soit limitée avec les nouvelles conceptions de cage et que les frais de mise de fonds de départ soient élevés. Pour réaliser un bénéfice, les exploitants devront se révéler plus efficaces dans leurs opérations d'exploitation ou utiliser des technologies relatives aux cages plus rentables. Il sera exigé des fabricants de cages qu'ils conçoivent et offrent des systèmes dont les coûts par volume d'unité soient réellement inférieurs. Certaines entreprises prennent déjà en considération ces possibilités.

D'autres systèmes de soutien complémentaires sont essentiels pour les activités marines de culture en cage, en premier lieu les systèmes de distribution des aliments. Les activités marines de culture en cage en Amérique du Nord sont toutes intensives, cela signifie qu'elles requièrent des intrants alimentaires. Cependant, peu de poissons sont nourris à la main (figure 11).

Les opérations d'exploitation près des côtes ont atteint une échelle d'exploitation exigeant de réduire les coûts de main d'œuvre. Dans de tels cas, des embarcations-navettes de services d'alimentation sur le site (soit des quantités journalières ou des quantités suffisantes pour plusieurs jours et stockées sur des barges ou radeaux amarrés sur place) et des distributeurs-souffleurs à bord sont utilisés pour la distribution d'aliments dans chaque cage, généralement deux fois par jour. Des systèmes de caméras ont été adoptés par la plupart du secteur afin de fournir l'alimentation efficacement en surveillant les aliments en excédent (par ex. s'ils tombent à travers le stock de poissons ou lors d'un changement de comportement de la part des poissons). Les plus grands sites ont augmenté leur capacité d'alimentation en employant des barges munies de cônes ou de silos pouvant stocker de grandes quantités d'aliments et utilisent une technologie d'alimentation centralisée et contrôlée par ordinateur de façon à fournir correctement à chaque cage les quantités d'aliments qui leur ont été allouées. Les barges d'aliments sont amarrées sur place soit en utilisant leur propre système d'amarrage soit en les intégrant à l'amarrage du groupe de cages.

La majeure partie des conceptions de cages en océan ouvert n'ont pas développé simultanément

FIGURE 11

Aquaculteur nourrissant manuellement des poissons mis en charge dans une cage standard basée en surface et munie de bague. Les opérations manuelles sont courantes sur les sites plus petits qui n'exigent pas d'automatisation en vue de réaliser des économies d'échelle.



AVEC L'AIMABLE AUTORISATION DE C. J. BRIDGER

de systèmes efficaces de distribution des aliments. Dans certains cas, le processus d'alimentation est exécuté à partir d'une embarcation au moyen d'un tuyau d'alimentation qui se prolonge jusqu'aux cages. Pour d'autres sites, des barges d'alimentation ont été prises en considération et modifiées pour s'adapter aux conditions d'océan ouvert. Finalement, des bouées d'alimentation innovatrices de type espar ont été construites et testées pour les utiliser dans des environnements à haute énergie. Quel que soit le concept final, tous les experts du secteur s'accordent pour dire que la distribution d'aliments reposant sur une embarcation est une stratégie à court terme et que le stockage d'aliments ainsi que des systèmes de distribution sur place devront être adoptés pour que le secteur se développe.

Les opérations aquacoles en océan ouvert devront dépendre des technologies qui mesureront le poisson utilisant l'analyse d'images vidéo ou acoustique capable de mesurer chaque poisson sans devoir les déranger physiquement. Ces technologies devront également réduire la quantité de temps perdu sur place pour mesurer le poisson alors que

d'autres tâches plus urgentes doivent être exécutées pendant les périodes limitées de bonnes conditions météorologiques.

L'emploi de technologies vidéo sur des sites en océan ouvert pourrait constituer un avantage supplémentaire, à savoir l'utilisation potentielle des mêmes images pour la surveillance de la santé des poissons en action de reconnaissance. Dans ces cas, l'image vidéo pourrait être analysée pour rechercher la présence de signes anatomiques flagrants imputables à la santé des poissons, ce qui préparerait un vétérinaire du secteur avant qu'il ne se rende sur les lieux, lequel pourrait résoudre les problèmes avant qu'ils ne deviennent ingérables, et sans graves répercussions économiques. Dans l'idéal, ces mêmes données vidéo pourraient être recueillies en vue de la distribution des aliments, du calibrage et de la gestion de la santé des poissons, réduisant ainsi les investissements technologiques nécessaires.

La qualité et la sécurité alimentaires sont des questions primordiales pour les consommateurs d'Amérique du Nord. Les ONG environnementales

ont accusé les aquaculteurs d'utiliser des produits chimiques illégaux et ont fait pression sur les agences de réglementation pour qu'elles intensifient leurs mesures de surveillance des produits de la mer. Cette tendance se poursuivra et il appartient aux producteurs nord-américains de culture en cage de développer, de s'auto-imposer et d'adhérer à des normes strictes relatives à l'assurance de la qualité. Le secteur et les chercheurs sont tenus de travailler en collaboration afin de développer des moyens originaux et non chimiques de traiter les questions liées à la santé des poissons. Enfin, des normes relatives à l'aquaculture biologique doivent être instituées juridiquement aux États-Unis d'Amérique de façon à ce que les producteurs locaux puissent approcher ces niches de marché très lucratives.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

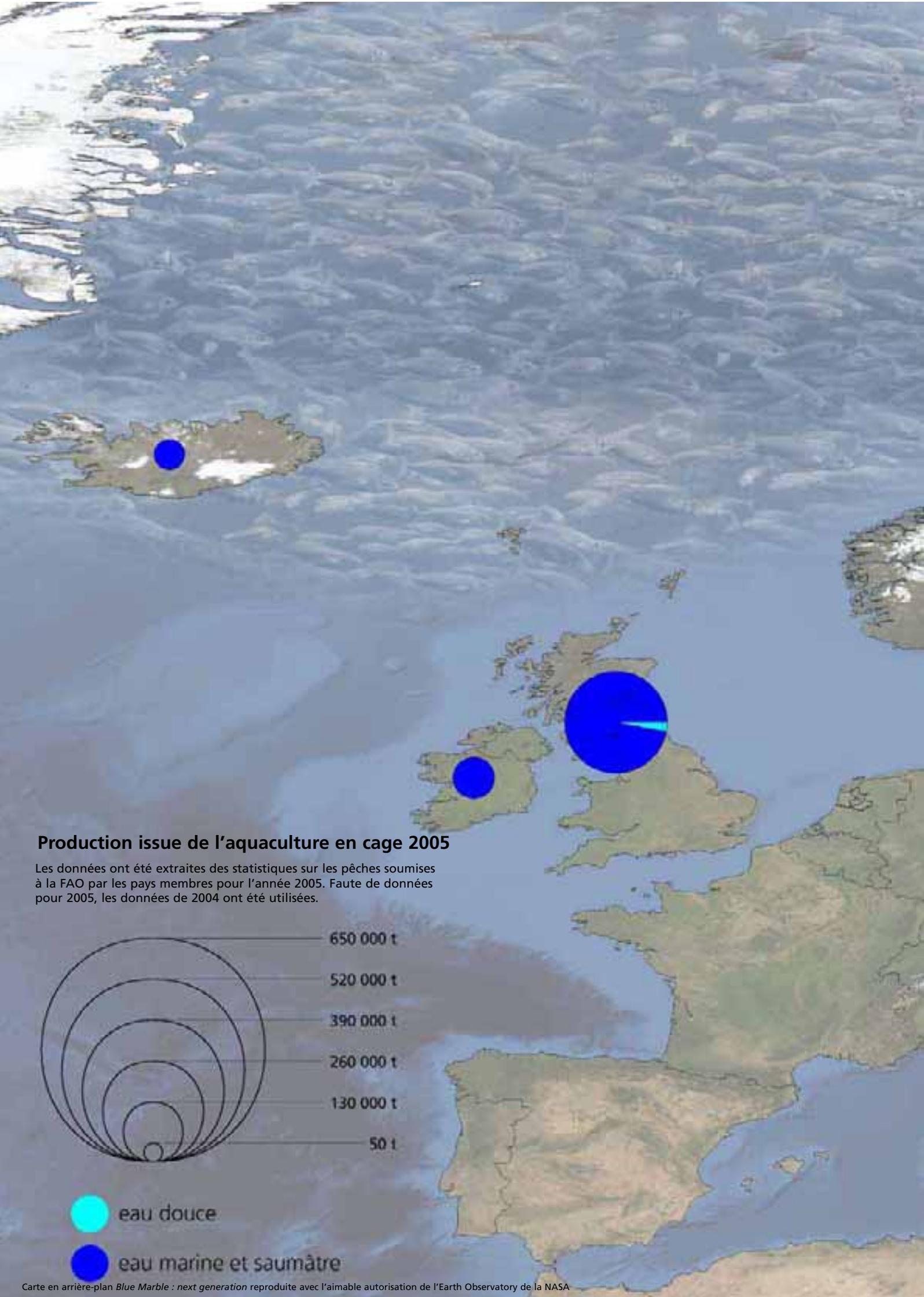
La culture en cage en Amérique du Nord pourrait être sur le point de connaître une expansion rapide si les changements de politiques et améliorations réglementaires actuels poursuivent leur développement. Le Canada, en particulier, a fait des progrès

considérables au cours des dix dernières années dans l'amélioration du cadre réglementaire et au niveau de la perception de l'aquaculture en cage. L'aquaculture en cage dans des milieux marins aux États-Unis d'Amérique est en retard sur le Canada, mais une nouvelle législation de politiques proposée récemment pourrait favoriser le développement dans les eaux fédérales des États-Unis d'Amérique. L'histoire de la culture en cage est récente et, en particulier en eau douce, quelque peu décevante pour la majeure partie de l'Amérique du Nord et il est probable qu'elle ne se développera pas rapidement dans un proche avenir. Tandis que les perspectives de développement pour la culture en cage en eau marine sont bonnes, les États-Unis d'Amérique sont en retard sur le Canada pour ce qui est d'une mise en œuvre durable. Les obstacles aux réglementations gouvernementales et les incohérences de politiques, les inquiétudes environnementales, les questions d'esthétique et les incertitudes commerciales devront être affrontés pour que le développement se poursuive durablement.

RÉFÉRENCES

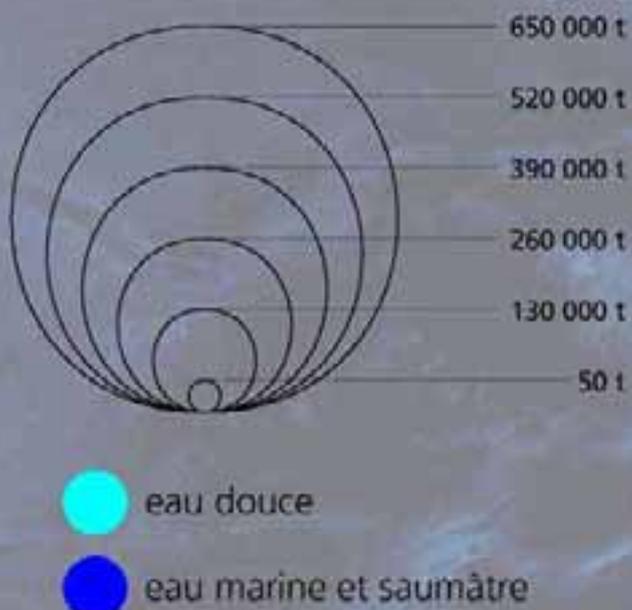
- Aarsnes, J.V., Rudi, H. & Løland, G. 1990. Current forces on cage, net deflection. Dans *Engineering for Offshore Fish Farming - Proceedings of the Conference Organized by the Institution of Civil Engineers. October 17–18, 1990*, pp 37–152. Glasgow, UK, Thomas Telford.
- Anonymous. 2000. *United States Department of Commerce Aquaculture Policy*. (disponible à: www.nmfs.noaa.gov/trade/DOCAQpolicy.htm). Revised March 15, 2000.
- Arzul, G., Seguel, M. & Clément, A. 2001. Effect of marine animal excretions on differential growth of phytoplankton species. *ICES Journal of Marine Science*, 58: 386–390.
- Axler, R., Yokom, S., Tikkanen, C., McDonald, M., Runke, H., Wilcox, D. & Cady, B. 1998. Restoration of a Mine Pit Lake from Aquacultural Nutrient Enrichment. *Restoration Ecology*, 6(1): 1–19.
- Beveridge, M. 2004. *Cage Aquaculture*, third edition. Oxford, UK, Blackwell Publishing Ltd. 368 pp.
- Bridger, C.J. (éd.). 2004. *Efforts to Develop a Responsible Offshore Aquaculture Industry in the Gulf of Mexico: A Compendium of Offshore Aquaculture Consortium Research*. Ocean Springs, MS, USA, Mississippi-Alabama Sea Grant Consortium. 200 pp.
- Bridger, C.J., Booth, R.K., McKinley, R.S. & Scruton, D.A. 2001. Site fidelity and dispersal patterns of domestic triploid steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) released to the wild. *ICES Journal of Marine Science* 58: 510–516.
- Bridger, C.J. & Costa-Pierce, B.A. 2002. *Sustainable development of offshore aquaculture in the Gulf of Mexico*. Gulf and Caribbean Fisheries Institute 53: 255–265.
- Bridger, C.J. & Garber, A.F. 2002. Aquaculture escapement, implications and mitigation: The salmonid case study. Dans B.A. Costa-Pierce, (éd.). *Ecological Aquaculture: The Evolution of the Blue Revolution*, pp. 77–102. Blackwell Science, UK.
- Chambers, M.D. 1998. Potential offshore cage culture utilizing oil and gas platforms in the Gulf of Mexico. Dans C.E. Helsley, (éd.). *Open Ocean Aquaculture '97, Charting the Future of Ocean Farming*, pp. 7–87. Proceedings of an International Conference. April 23–25, 1997. Maui, Hawaii, USA, University of Hawaii Sea Grant College Program #CP-98–08.
- Chambers, M.D., Howell, W.H., Langan, R., Celikkol, B. & Fredriksson, D.W. 2003. Status of open ocean aquaculture in New Hampshire. Dans C.J. Bridger & B.A. Costa-Pierce, (éds). *Open Ocean Aquaculture: From Research to Commercial Reality*, pp. 233–245. Baton Rouge, Louisiana, USA, The World Aquaculture Society, .
- Chang, B.D., Page, F.H. & Hill, B.W.H. 2005. *Preliminary analysis of coastal marine resource use and the development of open ocean aquaculture in the Bay of Fundy*. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2585. 36 pp.
- Duarte, S.A., Masser, M.P., & Plumb, J.A. 1993. Seasonal Occurrence of Diseases in Cage-Reared Channel Catfish, 1987–1991. *Journal of Aquatic Animal Health*, 5: 223–229.
- EAO (Environmental Assessment Office). 1997. *Salmon Aquaculture Review*, vols. 1–5. Victoria, BC, Canada, Government of British Columbia.
- FAO. 2006. *FAO annuaire. Statistique des pêches. Production d'aquaculture*. Vol. 98/2. Rome, FAO. 199p (Trilingue).
- Glebe, B. & Turner, T. 1993. Alternate Commercial Rearing Strategies for Arctic Char (*Salvelinus alpinus*). *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*, 93(1): 2–9.
- Hatfield Consultants Ltd. 2002. *Future Sea Closed Containment Units*. Draft Monitoring Report: First Production Cycle. BC Pilot Project Technology Initiative. (disponible à: www.agf.gov.bc.ca/fisheries/reports/MH_Closed_Containment_final_interim_report.pdf).
- Huguenin, J.E. 1997. The design, operations and economics of cage culture systems. *Aquacultural Engineering*, 16: 167–203.
- Kaiser, J.B. 2003. Offshore aquaculture in Texas: Past, present and future. Dans C.J. Bridger and B.A. Costa-Pierce, (éd.). *Open Ocean Aquaculture: From Research to Commercial Reality*, pp. 269–272. Baton Rouge, Louisiana, USA, The World Aquaculture Society.
- Lawson, T.B. 1995. *Fundamentals of Aquacultural Engineering*. New York, NY, USA, Chapman & Hall. 355 pp.
- Lorio, W.J. 1987. Catfish in net pens and farm ponds: the basis for an Oklahoma industry. *Aquaculture Magazine*, 6: 45–48.
- Loverich, G.F. & Gace, L. 1998. The effect of currents and waves on several classes of offshore sea cages. Dans C.E. Helsley, (éd.). *Open Ocean Aquaculture '97, Charting the Future of Ocean Farming - Proceedings of an International Conference. April 23–25, 1997*, pp. 131–144. Maui, Hawaii, USA. University of Hawaii Sea Grant College Program #CP-98–08.
- Loverich, G.F. & Goudey, C. 1996. Design and operation of an offshore sea farming system. Dans M. Polk, (éd.). *Open ocean aquaculture - Proceedings of an international conference. May 8–10, 1996*, pp.

- 495–512. Portland, Maine, USA. New Hampshire/ Maine Sea Grant College Program Rpt.# UNHMP-CP-SG-96–9.
- Masser, M. P.** 1997a (Revised). *Cage Culture: Cage Construction, Placement, and Aeration*. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC) Publication No. 163. 4 pp.
- Masser, M.P.** 1997b (Revised). *Cage Culture: Species Suitable for Cage Culture*. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC) Publication No. 163. 4 pp.
- Masser, M.P. & Duarte, S.A.** 1994. The Alabama Piedmont Catfish Cage Farming Industry. *World Aquaculture*. 25(4): 26–29.
- McGhie, T.K., Crawford, C.M., Mitchell, I.M. & O'Brien, D.** 2000. The degradation of fish-cage waste in sediments during fallowing. *Aquaculture* 187: 351–366.
- Moccia, R.D. & Bevan, D.J.** 2000 (Revised of 1996 version). *Aquaculture Legislation in Ontario*. Ontario Ministry of Agriculture and Food. AGDEX 485/872. 8 pp.
- Moccia, R.D. & Bevan, D.J.** 2004. *Aquastats 2003: Ontario Aquacultural Production in 2003*. Ontario Ministry of Agriculture and Food. No. 04–002. 2 pp.
- Myrick, C.A.** 2002. Ecological impacts of escaped organisms. Dans J.R. Tomasso, (éd.). *Aquaculture and the Environment in the United States*, pp. 225–245. United States Aquaculture Society, A Chapter of the World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA.
- NBDAFA (New Brunswick Department of Agriculture, Fisheries and Aquaculture).** 2005. *Agriculture, Fisheries and Aquaculture Sectors in Review 2004*. Government of New Brunswick, Fredericton, NB, Canada.
- NLDFA (Newfoundland and Labrador Department of Fisheries and Aquaculture).** 2005. *Seafood Industry Years in Review 2004*. Government of Newfoundland and Labrador, St John's, Newfoundland and Labrador, Canada.
- OCAD (Office of the Commissioner for Aquaculture Development).** 2003. *Achieving the Vision*. Ottawa, Ontario, Canada, Office of the Commissioner for Aquaculture Development, Cat. No. Fs23–432/2003. 62 p.
- O'Hanlon, B., Benetti, D.D., Stevens, O., Rivera, J. & Ayvazian, J.** 2003. Recent progress and constraints towards implementing an offshore cage aquaculture project in Puerto Rico, USA. Dans C. J. Bridger & B. A. Costa-Pierce, (éds). *Open Ocean Aquaculture: From Research to Commercial Reality*, pp. 263–268. Baton Rouge, Louisiana, USA, The World Aquaculture Society, .
- Ostrowski, A.C. & Helsley, C.E.** 2003. The Hawaii offshore aquaculture research project: Critical research and development issues for commercialization. Dans C.J. Bridger & B.A. Costa-Pierce, (éds). *Open Ocean Aquaculture: From Research to Commercial Reality*, pp. 285–291. Baton Rouge, Louisiana, USA, The World Aquaculture Society.
- Parsons, R.R., Rokeby, B.E., Lalli, C.M. & Levings, C.D.** 1990. Experiments on the effect of salmon farm wastes on plankton ecology. *Bulletin of the Plankton Society of Japan* 37: 49–57.
- Posadas, B.C. & Bridger C.J.** 2004. Economic Feasibility & Impact of Offshore Aquaculture in the Gulf of Mexico. Dans Bridger, C.J. (éd.) *Efforts to develop a responsible offshore aquaculture industry in the Gulf of Mexico: a compendium of offshore aquaculture consortium research*, pp. 109–128. Ocean Springs, MS, USA, Mississippi-Alabama Sea Grant Consortium. 200 pp.
- PricewaterhouseCoopers, LLP.** 2003. *A Competitiveness Survey of the British Columbia Salmon Farming Industry*. British Columbia, Canada, Aquaculture Development Branch, Ministry of Agriculture, Food & Fisheries. 24 pp.
- Pridmore, R.D. & Rutherford, J.C.** 1992. Modeling phytoplankton abundance in a small-enclosed bay used for salmon farming. *Aquaculture and Fisheries Management* 23: 525–542.
- Proceedings of the Arctic Char Conference.** 1992. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*. St Andrews, NB. No. 93(2). 38 pp.
- Saunders, R.L.** 1995. Salmon aquaculture: Present status and prospects for the future. Dans A.D. Boghen, (éd.). *Cold-water Aquaculture in Atlantic Canada*, second edition, pp. 35–81. Moncton, NB, Canada, The Canadian Institute for Research on Regional Development.
- Statistics Canada.** 2005. *Aquaculture Statistics*. Catalogue no. 23–222-XIE. 44 p.
- Swecker, D.** 2006. Rochester, WA, USA, Washington Fish Growers Association.
- Taylor, F.J.R.** 1993. Current problems with harmful phytoplankton blooms in British Columbia waters. Dans T.J. Smayda & Y. Shimizu, (éds). *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea*, pp. 699–703. Amsterdam, the Netherlands, Elsevier Science Publishers.
- Tsukrov, I.I., Ozbay, M., Fredriksson, D.W., Swift, M.R., Baldwin, K. & Celikkol, B.** 2000. Open ocean aquaculture: Numerical modeling. *Marine Technology Society Journal* 34: 29–40.
- Veenstra, J., Nolen, S., Carroll, J. & Ruiz, C.** 2003. Impact of net pen aquaculture on lake water quality. *Water Science and Technology*, 47(12): 293–300.



Production issue de l'aquaculture en cage 2005

Les données ont été extraites des statistiques sur les pêches soumises à la FAO par les pays membres pour l'année 2005. Faute de données pour 2005, les données de 2004 ont été utilisées.



Étude sur l'aquaculture en cage: l'Europe septentrionale

