

Aquaculture et Biodiversité à 2050

Gouletquer Philippe ¹, Lacroix Denis ¹

¹ Ifremer, France

Abstract :

The aquaculture development on a global scale is facing a set of challenges including a growing food demand for seafood in response to global demography, a global biodiversity crisis and major and global changes whose effects of climate change. IPBES underlined the importance of Aichi's objectives which cannot be achieved by current trajectories therefore requiring strong changes in production sectors. Moreover, the COVID-related crisis has revealed the low resilience of globalized production systems and the value of relocation. If aquaculture poses environmental challenges, it has competitive advantages compared to other animal productions, thus leading it to meet the challenge of food security by 2050. Different scenarios are proposed including a 44% increase in production aquaculture on a trend basis. All these scenarios will require political choices as conservation and sustainable exploitation approaches are often incompatible, while considering biodiversity as a universal common good, source of future solutions.

Résumé :

Le développement de l'aquaculture à l'échelle mondiale est confronté à un ensemble de défis dont une demande alimentaire de produits de la mer croissante en réponse à la démographie mondiale, une crise mondiale de la biodiversité et des changements majeurs et globaux dont les effets du dérèglement climatique. L'IPBES a souligné l'importance des objectifs d'Aïchi qui ne peuvent être atteints par les trajectoires actuelles ce qui nécessite de forts changements dans les secteurs de production. De plus, la crise liée au COVID a révélé la faible résilience des systèmes de production mondialisés et l'intérêt de relocalisation. Si l'aquaculture pose des défis environnementaux, elle dispose d'avantages compétitifs comparés aux autres productions animales qui l'amènera à relever le défi de la sécurité alimentaire à échéance de 2050. Différents scénarios sont envisagés dont une progression de 44% de la production aquacoles sur une base tendancielle. Tous ces scénarios nécessiteront des choix politiques dans la mesure où les approches de conservation et d'exploitation durable sont souvent non conciliables, tout en considérant la biodiversité comme un bien commun universel, source de solutions futures.

Introduction

L'année 2021 aura été marquée par plusieurs événements de portée mondiale en matière d'environnement et de développement durable avec le congrès mondial de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), la conférence de Glasgow sur les changements climatiques (COP 26) et le lancement de la conférence sur la Biodiversité (CBD-COP 15) à Kunming. Il faut ajouter une accélération de la mise en œuvre des Objectifs de Développement Durable (ODD) dans le cadre de l'Agenda 2030 des Nations Unies. A ce titre, l'ODD 14 cible la conservation et l'exploitation de matière durable des océans et des mers aux fins du développement durable. Le développement de l'aquaculture à l'échelle mondiale est confronté à l'ensemble de ces défis : (1) une demande alimentaire croissante de produits aquatiques en réponse à la démographie mondiale passant de 7 milliards en 2010 à 9,7 milliards en 2050 - au moment où les productions par pêche ont atteint un plateau et tendent probablement vers une décroissance ; (2) une crise mondiale de la biodiversité et par là même, une altération des services écosystémiques qui en dépendent; (3) des changements majeurs et globaux au niveau environnemental dont les effets du dérèglement climatique.

Aquaculture et Bien-être humain.

L'évaluation des écosystèmes pour le millénaire¹ eut pour objectif de mesurer les conséquences des changements écosystémiques sur le bien-être humain et de jeter les bases scientifiques pour mettre en œuvre les actions nécessaires à l'amélioration de la conservation et de l'utilisation durable de ces systèmes, ainsi que de leur contribution au bien-être humain. Cette étude a ainsi donné un cadre conceptuel pour la définition des services écosystémiques et leurs interactions. Il a aussi fourni aux gestionnaires des outils d'aide à la décision et possibilités d'arbitrage face à des enjeux en concurrence sur l'usage de la nature (Fig. 1).

Dans ce cadre, l'aquaculture fait partie des services d'approvisionnement contribuant au bien-être humain via la sécurité alimentaire. On sait que le maintien de la biodiversité est garant d'un niveau élevé des services écosystémiques. L'ensemble de ces services dépend de la qualité de l'environnement, celui-ci étant influencé par l'activité humaine.

Ainsi la disparition et la dégradation des milieux naturels (comme les zones humides, les récifs coralliens, les mangroves...), la surexploitation des ressources naturelles (par les pêcheries illégales ou INN²), l'introduction d'espèces exotiques et le changement global (réchauffement et acidification de l'océan) sont autant de facteurs d'altération de cette biodiversité, et par voie de conséquence, des services produits par l'environnement. L'aquaculture est ainsi à la fois dépendante des services écosystémiques tout en pouvant potentiellement les impacter.

La plateforme intergouvernementale IPBES, aussi appelée « le GIEC de la biodiversité » a rappelé qu'un progrès est noté pour seulement 4 des 20 objectifs d'Aichi dans le cadre du plan stratégique pour la biodiversité 2011-2020 (CDB, 2020). L'état de l'environnement continue à se dégrader ce qui ne permet pas d'assurer la conservation de la diversité biologique notamment pour les indicateurs d'aquaculture et de pêcheries durables (objectifs 6 & 7), et de prévention des invasions biologiques (objectif 9) malgré les efforts des pays signataires (IPBES, 2019).

¹ <https://www.millenniumassessment.org/fr/>

² Pêcheries Illicites Non déclarée, et Non réglementées (INN)

La recherche du bien-être humain pour le plus grand nombre est par ailleurs un objectif d'importance croissante pour les sociétés. Elle s'exprime notamment par la recherche d'une alimentation saine et de la durabilité dans nombre d'activités. De façon similaire, l'approche de la santé unique (« Une seule santé ») résume une idée connue depuis plus d'un siècle selon laquelle la santé des animaux, celle des hommes et celle des écosystèmes sont interdépendantes comme l'a révélé la pandémie actuelle. Cette vision doit être prise en compte dans la perspective d'un développement durable de l'aquaculture.

Aquaculture & Sécurité défi alimentaire

SITUATION A L'ECHELLE MONDIALE

Selon les dernières données de la FAO³, la production mondiale des pêcheries et de l'aquaculture a atteint 179 millions de tonnes (Mt) en 2018 (pour 400 milliards \$), dont 82 millions de tonnes pour l'aquaculture (FAO, SOFIA 2021). La consommation humaine absorbe 157 millions de tonnes, le reste (22 Mt) étant destinées à la production de farine et d'huiles de poisson. L'aquaculture représente ainsi 46% de la production mondiale de produits aquatiques (25,7% en 2000). Ce secteur a fortement progressé au cours des dernières décennies sur l'ensemble des continents à l'exception de l'Europe qui ne représente que 10 % (5,8% de taux de croissance entre 2001 et 2018 et 4,5 depuis). L'essentiel de la progression résulte du développement aquacole, les pêcheries ayant atteint leur pic au milieu des années 1990 (94 Mt) avec un plateau vers 85 Mt depuis. Seule la pisciculture marine reste en deçà des apports de la pêche sans inversion envisagée à court terme. En 2018, les productions aquacoles étaient réparties ainsi : 47 Mt de poissons d'eau douce, 7,3 Mt de poissons marins, 17,7 Mt de mollusques, 9,4 Mt de crustacés, 32,4 Mt d'algues et 26000 tonnes de produits ornementaux, comme les perles. Les projections à 2030 et 2050 confirment cette progression de l'aquaculture (Fig. 2) avec un doublement des productions aquacoles du fait de la stagnation des pêcheries. Cela impliquerait une forte amélioration de la productivité en aquaculture et une demande accrue d'un facteur 9 d'espaces marins et d'énergie d'ici à 2050⁴(DNV, 2021).

Les projections à moyen terme doivent cependant tenir compte du fait que l'aquaculture présente un niveau de risque plus élevé que d'autres secteurs agro-alimentaires en raison des variations de rendement de production, surtout en milieu ouvert, et de sa sensibilité aux aléas biologiques (pollutions, pathologies...). L'aquaculture est un jeune secteur, ce qui explique la grande variété des pratiques de culture et des espèces élevées : 428 recensées avec 29 espèces dominantes, alors que 4 espèces animales (bœuf, poulet, porc, mouton) et 12 plantes (riz, blé, maïs, manioc...) fournissent 80% de l'alimentation humaine. L'utilisation de cette biodiversité représente un enjeu majeur de gestion durable, d'autant plus que la majorité des espèces exploitées n'a fait l'objet d'aucune amélioration par sélection génétique à ce jour.

L'aquaculture basée sur l'apport d'aliments (57 Mt), et donc située à un niveau d'intensité plus important, a dépassé les productions d'aquaculture extensive qui représentent 30,5% du total en 2018 (43,9% en 2000). L'impact carbone est très différent entre ces deux approches

³ <https://www.fao.org/publications/sofia/2020/fr/>

⁴ <https://www.dnv.com/oceansfuture>

à une période où la décarbonation des activités humaines est nécessaire. Dans ce contexte, la recherche de solutions moins coûteuses en énergie et en carbone (via par exemple l'usage de substituts aux huiles de poisson), et l'approche par l'analyse des cycles de vie des produits aquacoles doivent être priorisées afin de favoriser la durabilité et la résilience des systèmes de production.

SITUATION A L'ECHELLE EUROPEENNE ET FRANCAISE

Au niveau européen, malgré les orientations stratégiques de la Commission pour une aquaculture plus durable et compétitive, les productions restent très inférieures à la consommation. A eux seuls, les pays de l'UE représentent 34% des importations mondiales (en valeur) pour une production de 18% des tonnages mondiaux.

En France, 86% de la consommation des produits aquatiques sont issus d'importations⁵(CESE, 2018). En 2017, la France était le 4^{ème} producteur européen par pêche (556 000 t) et 3^{ème} en aquaculture (178 000 t. réparties ainsi : 128 000 t de mollusques, 45 000 t de salmonidés et 4 000 t de poissons marins (bar, daurade, turbot, maigre, saumon et sole). La récente filière esturgeon reste modeste : 7 entreprises ; production de 43,5 t de caviar⁶(CIPA, 2021). Bien qu'elle ait été pionnière dans les années 1970-1980, l'aquaculture française marine reste basée sur des productions traditionnelles sans l'émergence de nouvelles entreprises depuis plusieurs décennies. Cependant, la technicité française est reconnue mondialement pour ses productions d'alevins (5 entreprises) : en 2019, 116 millions d'alevins ont été produits, dont 90% à l'export. Malgré la demande du marché et un savoir-faire reconnu, le manque de disponibilité d'accès aux sites et les contraintes environnementales limitent le développement de la filière de production en milieu ouvert.

Défis environnementaux pour une aquaculture durable

Dès 2004, la Conférence sur la diversité biologique met en place un panel d'experts afin d'identifier les interactions entre aquaculture et biodiversité, et réduire les impacts de cette activité. Les causes sont connues : dégradation des habitats, perturbations de la chaîne trophique et de la dynamique des populations, transmission de maladies, réduction de la variabilité génétique, pollutions chimiques, médicamenteuses et biologiques par les échappements d'élevages qui interagissent avec les populations naturelles.

La régression des mangroves remplacées par de l'aquaculture est à ce titre exemplaire. Les mangroves sont parmi les écosystèmes les plus productifs au monde, hébergeant des nurseries pour de nombreuses espèces de poissons, et servant de barrière naturelle à l'érosion côtière. L'essor de la crevetticulture à partir des années 1980 a conduit à de multiples conversions de mangroves en bassins d'élevage. Entre 2000 et 2012, 192000 hectares de mangroves ont disparu (1% de la couverture mondiale). Pour cette période, près du 1/3 des pertes en Asie du sud résultait du développement aquacole (Friess et al., 2019).

⁵ <https://www.lecese.fr/content/fermes-aquacoles-marines-et-continentales-enjeux-et-conditions-dun-developpement-durable-reussi>

⁶ <https://www.poisson-aquaculture.fr/le-cipa/>

Par ailleurs, l'utilisation de poissons de pêche en ingrédients pour l'alimentation piscicole peut accroître la pression par pêche sur les écosystèmes. Ainsi, la pêcherie minotière de poissons gras tel que l'anchois du Pérou (soit de 3 à 9 Mt par an) a pour principal débouché la fourniture de farines et d'huiles pour l'aquaculture (Le Gouvello et Simard, eds., 2017).

Autre exemple, la suralimentation, fréquente, des élevages en cage marine peut se traduire par une pollution organique du milieu par l'excès d'apports d'aliments non consommés et de déjections ; d'où l'importance d'une amélioration des pratiques et d'une sélection attentive des sites d'élevage afin d'éviter toute accumulation organique. Les problèmes de maladies virales et bactériennes sont également récurrents en crevetticulture à l'échelle mondiale. Les poux parasites associés aux salmoniculture en mer ouverte au Chili et en Norvège peuvent contaminer les populations naturelles (et vice-versa) et les échappements d'élevages interagissent également avec ces populations.

La prise en compte récente de la nécessité de décarboner les activités humaines concerne également l'aquaculture. En 2010, celle-ci était à l'origine d'une émission globale de 332 Mt d'équivalent de CO₂, soit moins de 1% des émissions humaines ou 5% des émissions des productions agricoles. Ces émissions sont surtout liées à la consommation d'énergie, à la production d'aliments, ainsi qu'à la transformation, au transport et à la gestion des déchets (WRI, 2021). La conversion d'écosystèmes fixateurs de carbone (mangroves, herbiers, zones humides...) en systèmes aquacoles contribue au bilan des émissions. Ces dernières dépendent des espèces concernées et des systèmes de production. L'algoculture de macroalgues, dont l'intérêt va croissant, est à ce titre considérée comme une production écologique notamment vis-à-vis du climat (absence d'intrants et production primaire captant le CO₂). A l'échelle mondiale, la production de macroalgues a triplé, passant de 10,6 Mt en 2000 à 32,4 Mt en 2018 à des fins alimentaires et de production de molécules d'intérêt, comme les carraghénates.

Compte tenu de toutes ces tendances, est-il possible d'envisager la continuité du développement de l'aquaculture, en favorisant la durabilité des systèmes, la résilience face au changement global et la compatibilité avec la biodiversité initiale ?

Atouts et opportunités

Même si l'aquaculture pose des défis environnementaux, elle dispose d'avantages compétitifs comparés aux autres productions animales et présente un fort potentiel pour l'avenir. Les coûts énergétiques pour leur métabolisme sont moindres comparés aux productions terrestres : les taux de conversion sont similaires à ceux des élevages de volaille mais beaucoup plus efficaces que ceux des ovins/bovins. Les animaux filtreurs (carpes-mollusques) ne nécessitent pas d'intrants et peuvent contribuer à l'amélioration des conditions environnementales en filtrant des eaux surchargées en matière organique. L'aquaculture se diversifie, optimise ses pratiques et innove à la fois au niveau des systèmes de production mais également au niveau des espèces exploitées et des attentes des marchés. Les difficultés d'accès aux zones côtières, notamment juridiques, conduisent à de nouvelles technologies d'infrastructures aquacoles au large (cages flottantes, cargo à viviers). A l'opposé, des

infrastructures plus intensives à terre, en hors sol et/ou en circuit fermé, permettent de mieux maîtriser les conditions environnementales les plus favorables à la production. L'association d'espèces situées en « cascade » dans la chaîne alimentaire permet de réduire les déchets et de maximiser la production, comme des cages de poissons marins et des filières d'algues et de mollusques à proximité. La dépendance à la pêche minière tend à diminuer par l'utilisation de substituts aux huiles et farines de poisson comme des protéines et huiles végétales produites localement ou des huiles et farines issues d'élevage d'insectes (comme la mouche soldat ou le coléoptère meunier) et/ou de culture de microalgues. Sont recherchés en priorité les acides gras indispensables à la croissance et la santé des poissons, comme pour l'alimentation humaine (complément alimentaire). Par ailleurs, les travaux menés sur les caractéristiques physiologiques et génétiques des espèces élevées notamment par des programmes de sélection génétique permettent d'envisager des gains de productivité significatifs et une meilleure adéquation des élevages avec leur environnement.

L'aquaculture se diversifie aussi vers la valorisation des co-produits comme l'utilisation des coquilles de mollusques comme matière naturelle pour l'amendement agricole ou la peinture dans un contexte d'économie circulaire. Si un certain nombre de substances marines sont d'ores et déjà utilisées à des fins pharmacologiques (ex. anti-cancéreux), le potentiel de la biodiversité marine est encore sous-exploité. De nouveaux antibiotiques ainsi que des enzymes catalysantes pour les processus industriels sont en cours de développement. Ces produits justifieront des systèmes d'aquaculture à forte valeur ajoutée. Ainsi, la Société Hemarina commercialise un précurseur d'hémoglobine, utilisé notamment pour la préservation des greffons, qui est obtenu à partir d'élevage de vers marins de plage (*Arenicola marina*). La Société GreenSea valorise des molécules à principe actif issues de la culture de la microalgue rouge *Porphyridium* sp. (prix >100€/kg). Les micro-algues présentent notamment un potentiel d'applications très diversifiées : ingrédients alimentaires (Oméga 3), source de pigments anti-oxydants (caroténoïdes), colorants alimentaires, pigments à fluorescence naturelle pour diagnostic médical, émoullissants pour les crèmes en cosmétique, stimulants de synthèse des collagènes, crème solaire anti-UV, hydratants, produits phytosanitaires (traitement de vignobles), biomatériaux, et sur le plan industriel comme piège à CO₂ de fumées industrielles, dans le traitement des eaux (dépollution) ou bien encore dans la production d'énergie (hydrogène, bio fuels)....

Des progrès peuvent être aussi attendus dans les synergies entre certains usages à la mer des parcs éoliens marins et l'élevage de poisson en cage ou de mollusques en filière. Ces opportunités, qui nécessitent une planification spatiale des usages, sont pour le moment considérées avec prudence par les investisseurs industriels mais il serait logique que cette association d'activités fonctionne. Quelques réussites « pilote » permettrait la définition d'un cadre de développement respectueux de l'environnement et ouvrant un potentiel considérable à des centaines de parcs dans le monde pour des coûts partagés et bénéfiques croisés pour de nombreux postes (ex. ancres, surveillance).

Trois scénarios à 30 ans

Le développement de l'aquaculture mondiale à l'horizon 2050 dépend de moteurs et de freins puissants. Dans les moteurs, on compte la démographie (plus deux milliards d'habitants à cet horizon),

la consommation (image, praticité, prix, diversité des espèces et des produits), la disponibilité d'espaces marins au large et les progrès de la science et de la technologie, comme en sélection génétique ou en matière de substituts des farines et huiles de poisson. Dans les freins, on compte la disponibilité de l'eau douce et des espaces côtiers -à terre comme en mer- les risques liés aux pollutions, aux maladies et à des ruptures d'écosystèmes, et aussi la perception de ces produits par les consommateurs, avec le risque d'une image de produits industriels, fades ou dénaturés.

Dans un scénario tendanciel construit sur l'hypothèse d'une baisse de moitié de la pêche minotière (de 22 à 11 Mt) et de 5% de la pêche classique en raison de l'augmentation de la température d'un degré (voir l'article d'Olivier Maury), on obtient les résultats présentés dans le tableau 1. Ainsi, en conservant le même niveau de consommation moyenne de produits aquatiques par habitant et par an (20,5 kg), ce qui est une hypothèse basse, il faudrait que la production aquacole progresse de 44% en 30 ans, ce qui est réaliste, voire modeste, même en tenant compte d'un ralentissement de la croissance actuelle qui est de l'ordre de 4% par an.

Tableau 1 : évolution possible des productions de pêche et d'aquaculture entre 2018 et 2050 à consommation égale de produits aquatiques par habitant et par an (20,5 kg/hab/an) - Chiffres extrapolés à partir des données extraites de FAO (2020) et Lotze et al. (2019)

	Année	2018	2050
Aquaculture (en millions de tonnes ou Mt)		82	118 (+ 44%)
Pêche totale et / (pêche pour la consommation humaine) (Mt)		97 / (75)	92 / (81)
Consommation humaine directe (en Mt)		157	199
Population mondiale (en milliards)		7,7	9,7

Dans un scénario de grave perturbation des écosystèmes marins avec des effondrements de pêcheries comme cela a été observé dans le passé avec la morue de Terre Neuve pour des raisons de surpêche et plus récemment avec l'anchois dans le golfe du Lion pour des raisons imputées au changement climatique, l'aquaculture devrait prendre une place croissante dans la sécurité alimentaire mondiale. En effet, les produits aquatiques fournissent déjà 17% des protéines consommées par l'humanité ; si l'apport des pêches décroît, l'aquaculture sera appelée à compenser ce déficit. Ce scénario inclut de fortes perturbations climatiques également à terre, ce qui aurait des effets négatifs sur de nombreux élevages d'animaux. La pression de la demande en protéines augmenterait globalement, sauf si la technologie permettait de développer des cultures de type cellulaire, mais de forte technicité, chères, donc peu accessibles aux populations les plus vulnérables et dont l'acceptabilité reste à prouver.

Dans un scénario de perturbation modérée, la pêche devrait rester au mieux stable. L'aquaculture serait alors appelée à répondre à une demande en forte croissance combinant l'augmentation de la population mondiale et le transfert d'une partie de la demande en protéines d'origine terrestre vers des protéines d'origine marine : « du steak au sushi ».

On voit que, dans ces trois scénarios, tous plausibles, l'aquaculture poursuit sa progression avec des moteurs plus puissants que les freins. La clef de cette stabilité est le contrôle de tous les facteurs de production tout en maîtrisant ses impacts alors que les apports de la pêche sont fonction d'abord de la qualité de l'environnement marin et de complexes chaînes alimentaires, elles-mêmes dépendantes en dernier ressort du climat.

Dans ces trois scénarios, les impacts de l'aquaculture sur la biodiversité sont moins liés aux enjeux quantitatifs qu'aux systèmes de réglementation, aux choix des sites et techniques d'élevage. Ainsi, l'aquaculture égyptienne est passée de 90.000 tonnes en 1995 à 1,5 millions de tonnes en 2020 en

transformant des rizières du bas delta du Nil en bassin d'aquaculture extensive. Ces rizières ont été abandonnées en raison de la montée de la salinité dans les nappes phréatiques côtières (en cause : la montée du niveau de la mer et le déficit d'apport d'eau douce du Nil). La biodiversité accompagnant ces élevages d'alevins naturels de 5 espèces majeures (bar, daurade, tilapia, mulot, crevette) est bien supérieure à celle observée dans la riziculture antérieure.

Conclusion

L'IPBES a souligné l'importance des objectifs d'Aichi qui ne peuvent être atteints par les trajectoires actuelles ce qui nécessite de forts changements dans tous les secteurs de production. Les actions potentielles concernent la promotion de pratiques de gestion éco-responsables, la réduction des impacts environnementaux de l'aquaculture, notamment par des procédures de certification de bonnes pratiques et des systèmes de production ou la réduction à la source des pollutions. Par ailleurs, l'évolution sociétale amène les consommateurs à rechercher des produits de qualité, avec des certifications de bonnes conditions de production, et d'effets positifs pour la santé. De plus, la crise liée au COVID a révélé la faible résilience des systèmes de production mondialisés et l'intérêt de relocaliser ceux-ci pour des raisons de fiabilité comme de souveraineté. L'Europe et la France restent fortement déficitaires en produits de la mer et fondent leur approvisionnement sur les importations qui n'internalisent pas à ce jour les coûts réels des externalités comme le coût « carbone ». Toutes ces tendances plaident de manières différentes, mais convergentes vers un développement de l'aquaculture. Cependant, les approches de conservation et d'exploitation durable ne sont pas toujours conciliables, ce qui nécessite des choix politiques eux aussi durables. En dernier ressort, en aquaculture comme dans bien des secteurs, la durabilité dépend avant tout de la constance de la volonté politique alliée à la transformation progressive de l'économie toute entière sous l'influence, entre autres formes de pression, de consommateurs et de citoyens informés, lucides et organisés. A ces conditions, la biodiversité, notamment dans le domaine de l'aquaculture, devra alors être protégée comme un bien commun universel, source de solutions futures, seule échelle valide de préservation d'une richesse qui n'a pas de prix.

Références

CBD, 2020, 'Strategic plan for biodiversity 2011-2020, including Aichi Biodiversity Targets'. <https://www.cbd.int/sp/>

DNV, 2021. Ocean's future to 2050. A sectoral and regional forecast of the blue economy. 104p.

FAO, 2020. SOFIA Etat des pêches et de l'aquaculture en 2020.

FAO, 2021. La Situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. Rendre les systèmes agroalimentaires plus résilients faceaux chocs et aux situations de stress. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb4476fr>

IPBES, 2019. Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Brondízio, E. S., Settele, J., Díaz, S., Ngo, H. T. (eds). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1144 pages. ISBN: 978-3-947851-20-1

Le Gouvello R. et F. Simard, eds. 2017. Durabilité des aliments pour le poisson en aquaculture : réflexions et recommandations sur les aspects technologiques, économiques, sociaux et environnementaux. Gland, Suisse : UICN et Paris France, Comité français de l'IUCN, 296p.

Friess et al., 2019. The State of the World's Mangrove Forests: Past, Present, and Future. Annual reviews, *Annu. Rev. Environ. Resour.* 2019. 44:89–115

Lotze et al., 2019. Global ensemble projections reveal trophic amplification of ocean biomass declines with climate change. *PNAS-USA*, 116 : 12907–12912

Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2004. Solutions for sustainable mariculture – avoiding the adverse effects of mariculture on Biological diversity. Report of the Ad hoc Technical Expert Group on mariculture. CBD Technical Series N°12, 52p.

WRI - World Resources Institute, 2019. Creating a sustainable food future. 564p.

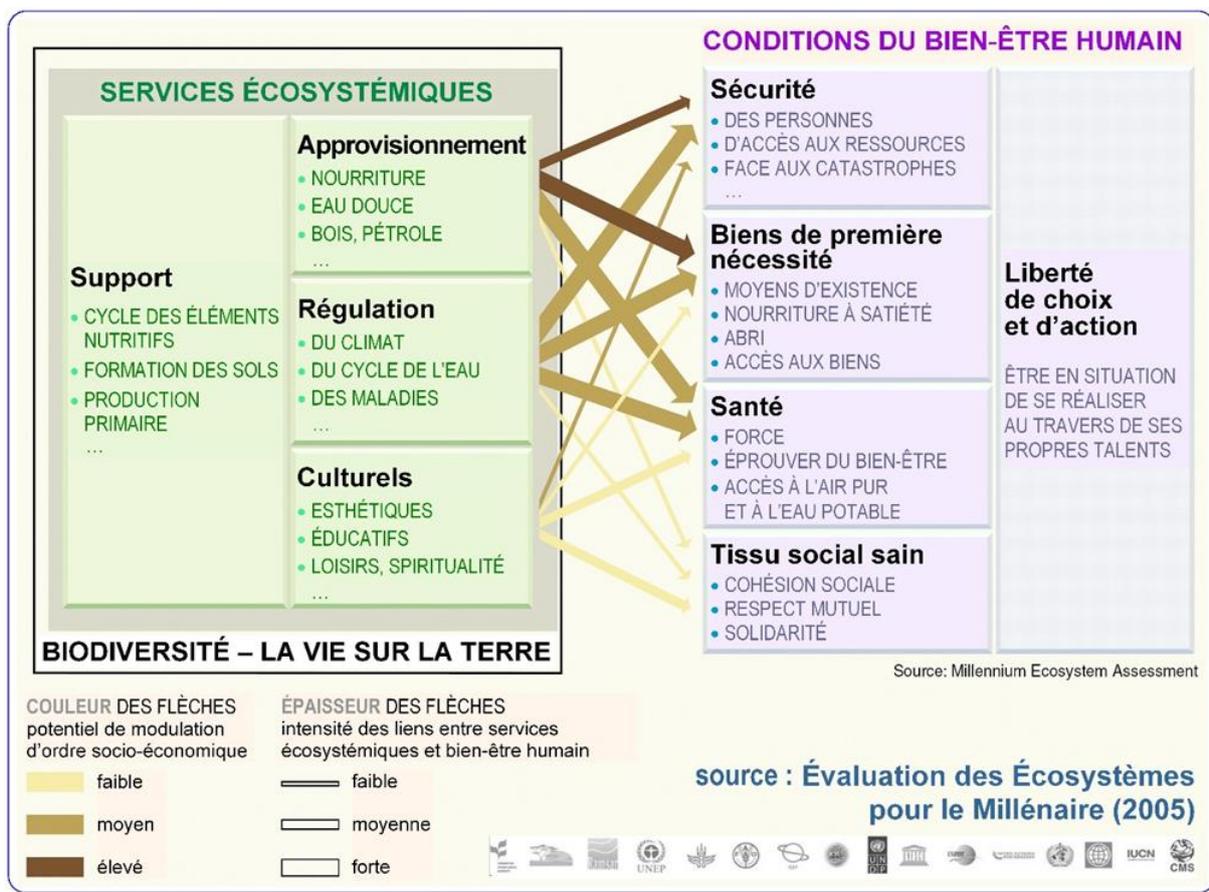
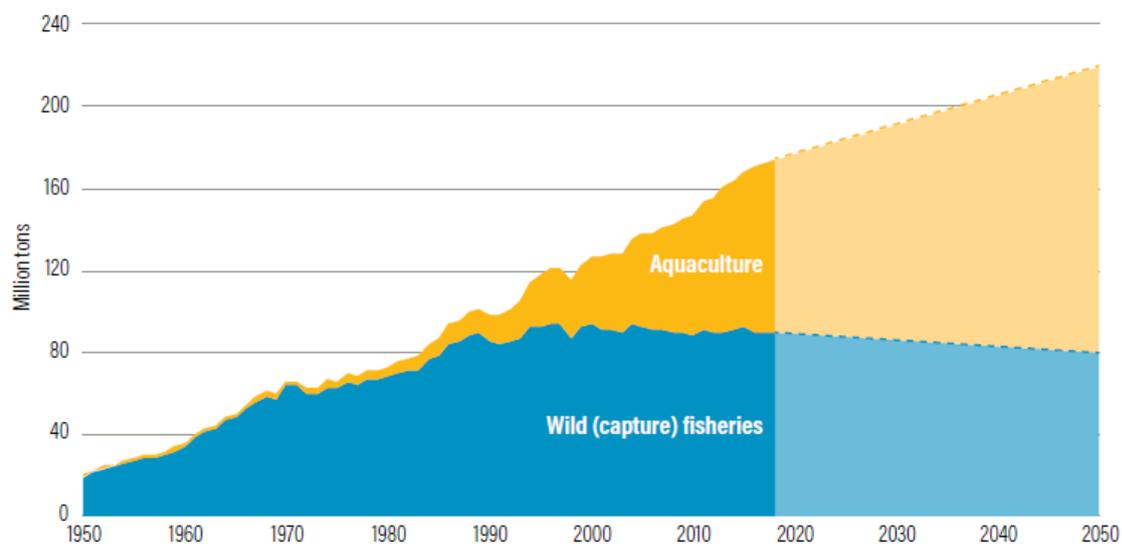


Figure 1. Trame conceptuelle de l'Évaluation du Millénaire (Millennium Ecosystem Assessment) pour la conservation de la biodiversité et le bien-être humain.

Figure 23-2 | Aquaculture production must continue to grow to meet world fish demand



Source: Historical data 1950–2016: FAO (2019b) and FAO (2018). Projections to 2050: calculated at WRI; assume 10% reduction in wild fish catch from 2010 levels by 2050, linear growth of aquaculture production of 2 Mt per year between 2010 and 2050.

Figure N°2 : Projections des productions aquacoles et par pêcheurie (FAO, 2020)