



COMITÉ DES PÊCHES

SOUS-COMITÉ DE L'AQUACULTURE

Douzième session

Hermosillo (Mexique), 16-19 mai 2023

VALORISER ET AMÉLIORER LA CONTRIBUTION DES ALGUES AU DÉVELOPPEMENT DE L'AQUACULTURE DANS LE MONDE

RÉSUMÉ

Les algues, notamment les macroalgues (ou algues marines) et les microalgues, contribuent à hauteur de près de 30 pour cent à la production aquacole mondiale (en poids humide), les macroalgues assurant la majeure partie de la contribution. Les macroalgues et les microalgues génèrent des avantages socioéconomiques au profit de dizaines de milliers de ménages, essentiellement dans les communautés côtières, et notamment de nombreuses femmes pour qui la culture et la transformation de macroalgues constituent un moyen d'accéder à l'autonomie. En raison des divers bienfaits pour la santé humaine, des avantages environnementaux et des services écosystémiques associés aux macroalgues et aux microalgues, le potentiel encore inexploité de leur culture a suscité une attention croissante. Le fait que la production et la consommation soient fortement déséquilibrées selon les régions géographiques laisse penser que le développement de la culture de macroalgues et de microalgues ouvre des perspectives particulièrement prometteuses. Pour les concrétiser, il faut que les gouvernements, le secteur d'activité, la communauté scientifique, les organisations internationales, les sociétés civiles et les autres parties prenantes unissent leurs efforts.

Dans le présent document de travail, les auteurs examinent l'état et les tendances de la production mondiale d'algues, notamment de leur culture, prennent la mesure des contributions et des avantages existants et potentiels du secteur des algues, mettent en lumière les divers problèmes et contraintes freinant la mise en valeur du potentiel et se penchent sur les enseignements tirés de l'expérience et sur la marche à suivre pour valoriser intégralement le potentiel de l'algoculture, ainsi que sur le rôle incombant à la FAO dans ce processus.

Suite que le Sous-Comité est invité à donner

Le Sous-Comité est invité à:

- prendre acte de l'importance actuelle de la culture de macroalgues et de microalgues et de son potentiel pour l'avenir;
- mettre en commun l'expérience relative au développement de ce sous-secteur de l'aquaculture et les enseignements qui en ont été tirés; et
- recommander les mesures à prendre et les activités à mener pour valoriser le potentiel de la culture de macroalgues et de microalgues, et donner éventuellement des indications spécifiques à l'intention de la FAO.

INTRODUCTION

1. Le présent document traite des algues, y compris les macroalgues (ou algues marines) et les microalgues. Les autres végétaux aquatiques tels que les macrophytes aquatiques d'eau douce ne sont pas examinés.

2. Les algues, en particulier les macroalgues, sont une composante importante de l'aquaculture mondiale et sont actuellement produites par un nombre relativement réduit de pays maritimes. En 2020, la culture des algues, mesurée en poids humide, a contribué à hauteur de près de 30 pour cent aux 123 millions de tonnes produites par l'aquaculture à l'échelle mondiale, et les algues rouges et les algues brunes ont été, respectivement, le deuxième et le troisième plus grands groupes d'espèces dans l'aquaculture mondiale. Étant toutefois en général des marchandises de faible valeur, les macroalgues ont représenté seulement 5,9 pour cent des 281 milliards d'USD de la valeur de la production aquacole mondiale en 2020.

3. Les macroalgues ne sont pas bien connues dans toutes les régions du monde car leur production est essentiellement concentrée en Asie de l'Est et du Sud-Est. Alors qu'en Asie de l'Est et dans les pays et territoires des Îles du Pacifique les macroalgues sont depuis longtemps des aliments largement et fréquemment consommés par les êtres humains, elles sont le plus souvent des aliments de niche ou des aliments nouveaux dans d'autres parties du monde. Les macroalgues ont de multiples autres utilisations dans les secteurs industriels alimentaires et non-alimentaires, comme ceux des additifs alimentaires, de l'alimentation animale, des produits pharmaceutiques, des produits nutraceutiques, des cosmétiques, du textile, des engrais biologiques/biostimulants, des bio-emballages et des biocombustibles, entre autres. Cependant, la contribution des macroalgues à ces produits n'est guère connue en dehors des secteurs industriels concernés et de la communauté scientifique.

4. Les macroalgues font l'objet d'un intérêt croissant, tout particulièrement pour leur potentiel en tant que source d'aliments nutritifs susceptibles de nourrir la population humaine en pleine expansion et pour les services écosystémiques qu'elles rendent. L'existence de vastes aires marines se prêtant à la culture de macroalgues pourrait encourager l'expansion de ce sous-secteur de l'aquaculture, car les ressources sauvages ne permettraient pas de fournir suffisamment de macroalgues pour satisfaire la demande croissante sur le plan international.

5. D'une manière générale, le suivi statistique national de la culture commerciale de microalgues en tant que produits finis issus de l'aquaculture, notamment la cyanobactérie *Spirulina* spp., est insuffisant. Selon les données enregistrées dans les bases statistiques de la FAO, la production mondiale représentait moins de 0,2 pour cent de la quantité totale d'algues cultivées en 2020. Les microalgues cultivées comme aliment destiné à l'élevage de larves en éclosion ou à la préparation de milieux de culture dans les installations de grossissement ne sont généralement pas prises en compte dans les

statistiques officielles. À l'instar des macroalgues, les microalgues ont elles aussi un potentiel intéressant dans le cadre de diverses utilisations alimentaires et non-alimentaires; toutefois, pour nombre d'entre elles, des efforts conjoints considérables sont encore nécessaires pour parvenir à une pleine commercialisation.

ÉTAT ET TENDANCES DE LA PRODUCTION MONDIALE D'ALGUES¹

6. Actuellement, la production mondiale de macroalgues est principalement assurée par l'aquaculture. En 1970, les 2,2 millions de tonnes de macroalgues produites dans le monde étaient issues à parts presque égales du ramassage d'espèces sauvages et de la culture. Un demi-siècle plus tard, en 2020, le ramassage d'espèces sauvages, qui stagnait autour de 1,1 million de tonnes, a été largement surpassé par la production d'espèces cultivées, qui a atteint 35,1 millions de tonnes, soit 97 pour cent du total de la production mondiale cette année-là.

7. Le développement de la culture d'algues marines est extrêmement déséquilibré d'une région à l'autre et d'un pays à l'autre au sein d'une même région. En 2020, la production de macroalgues en Asie (dont 98,9 pour cent est issue de cultures) a contribué à la production mondiale à hauteur de 97,4 pour cent et six des dix principaux pays producteurs de macroalgues étaient situés en Asie de l'Est et du Sud-Est. Pendant la même année, le continent américain et l'Europe ont contribué à la production mondiale de macroalgues à hauteur de 1,4 pour cent et 0,8 pour cent respectivement. Dans ces deux régions, la production de macroalgues provenait principalement du ramassage d'espèces sauvages, la culture ne comptant respectivement que pour 5 pour cent et 7,7 pour cent de la production totale de macroalgues. À l'inverse, la culture était la principale source de production de macroalgues en Afrique (77,4 pour cent) et en Océanie (79,2 pour cent), étant entendu toutefois que leurs contributions à la production mondiale de macroalgues s'élevaient seulement à 0,3 pour cent et 0,03 pour cent, respectivement.

8. La culture mondiale de macroalgues brunes, lesquelles comprennent des espèces relativement plus diverses et sont présentes dans les zones tempérées et froides de l'hémisphère Nord, a atteint 16,8 millions de tonnes en 2020, soit 48 pour cent des macroalgues cultivées à l'échelle mondiale du point de vue de la quantité et 47,7 pour cent du point de vue de la valeur. Deux genres de macroalgues brunes poussant dans les eaux froides ont principalement été cultivées: *Laminaria/Saccharina* (kelp) et *Undaria* (wakamé). La même année, la production d'algues rouges représentait 18,1 millions de tonnes, soit 51,7 pour cent des macroalgues cultivées à l'échelle mondiale, du point de vue de la quantité et 51,3 pour cent du point de vue de la valeur. Deux genres de macroalgues rouges poussant dans les eaux chaudes, *Kappaphycus/Eucheuma* et *Gracilaria*, et un genre poussant dans les eaux froides, *Porphyra* (nori), ont principalement été cultivées. La culture de macroalgues vertes est modeste: 23 000 tonnes environ ont été cultivées en 2020 (soit 0,07 pour cent de toutes les macroalgues).

9. Les premières données portant sur une culture relativement importante de microalgues ont été enregistrées dans les statistiques de la FAO en 2003 avec 16 483 tonnes de spiruline (une cyanobactérie également appelée algue bleu-vert) cultivée en Chine. En 2020, environ 64 000 tonnes de microalgues ont été produites, principalement de la spiruline, qui est cultivée dans 12 pays, et des microalgues vertes

¹ Données de la FAO. 2022. Statistiques des pêches et de l'aquaculture. Production mondiale par source de production 1950-2020 (FishStatJ). La circulaire de la FAO n° 1229 donne des informations plus détaillées sur l'état et le potentiel de développement de l'aquaculture de macroalgues et de microalgues (www.fao.org/3/cb5670en/cb5670en.pdf). Pour de plus amples informations, voir également: FAO. 2022. La Situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2022. Vers une transformation bleue. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461fr>

d'eau douce (moins de 300 tonnes de *Haematococcus pluvialis*, principalement), qui sont cultivées dans deux pays².

CONTRIBUTIONS SOCIALE, ÉCONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE DES ALGUES

Contribution à l'alimentation, à la nutrition et à la santé humaine

10. La plupart des espèces de macroalgues sont comestibles et sont consommées depuis des siècles. Dans de nombreux pays, la consommation de macroalgues fait partie des traditions culturelles des communautés côtières. *Laminaria/Saccharina*, *Porphyra* et *Undaria* sont devenues des aliments courants en Asie de l'Est et sont largement et fréquemment consommées sous la forme d'ingrédients pour les soupes, de salades, d'enveloppes de sushis et d'en-cas, notamment. Elles ont été introduites dans d'autres pays en tant qu'éléments de la cuisine asiatique et ont acquis une popularité croissante à l'échelle mondiale.

11. Généralement riches en fibres alimentaires, en micronutriments et en composés bioactifs, les macroalgues sont souvent considérées comme des aliments bons pour la santé et peu caloriques, particulièrement appréciés par les personnes qui privilégient une alimentation pauvre en glucides ou à base de végétaux. Certaines espèces de macroalgues sont réputées pour leur forte teneur en protéines. En outre, les multiples bienfaits de la consommation de macroalgues sur la santé ont été démontrés (amélioration du fonctionnement intestinal et réduction des risques de maladies non transmissibles comme l'obésité et les diabètes de type II, par exemple).

12. Les macroalgues sont en général pauvres en graisses, mais peuvent tout de même être une bonne source d'acides gras essentiels tels que les acides gras oméga-3 polyinsaturés à longue chaîne. La teneur en oméga 3 varie en fonction de l'espèce, de la saison et de la partie de la macroalgue qui est consommée. Il faut moins de 100 grammes de *Calliblepharis jubata* frais ou de *Undaria pinnatifida* pour atteindre l'apport journalier recommandé en oméga 3, tandis qu'il faudrait 500 grammes de *Grateloupia turuturu*. Par ailleurs, les macroalgues sont pauvres en oméga 6 et ont donc un ratio oméga 6/oméga 3 favorable.

13. Outre la consommation directe par les êtres humains, les macroalgues sont également transformées en additifs alimentaires ou en compléments nutritionnels. La laminaire ou kelp du Japon (*Saccharina japonica*) est une des plus anciennes matières premières utilisées pour produire du glutamate monosodique. La gélose extraite des agarophytes (*Gracilaria*, par ex.), le carraghénane extrait des carraghénophytes (*Kappaphycus/Eucheuma*) et l'alginate extrait des macroalgues brunes (*Saccharina*) sont des hydrocolloïdes à base de macroalgues largement utilisés en tant qu'additifs alimentaires pour améliorer la qualité d'un large éventail d'aliments, en général comme agents épaississants, stabilisants, gélifiants et émulsifiants. De plus, certaines substances extraites des macroalgues, notamment l'iode, le fucoïdane, la fucoxanthine et les phlorotannins, sont employés comme compléments nutritionnels.

14. La valeur nutritionnelle des microalgues et leurs bienfaits pour la santé sont reconnus (la spiruline, par ex.) et divers extraits de microalgues sont employés comme compléments nutritionnels ou additifs alimentaires.

Contribution aux revenus, aux moyens d'existence et à la cohésion sociale

15. En 2020, les 35,1 millions de tonnes de macroalgues produites par culture à des fins alimentaires ou non-alimentaires ont généré à la première vente une valeur de 16,5 milliards d'USD. La même année,

² Il convient de noter que, étant donné que la culture de microalgues est généralement réglementée et suivie au niveau national ou local en dehors du secteur aquacole, les statistiques de la FAO peuvent omettre une partie importante de la production de microalgues de certains pays, notamment l'Australie, les États-Unis d'Amérique, l'Inde, l'Islande, Israël, l'Italie, le Japon, la Malaisie, le Myanmar et la Tchéquie. Voir FAO. 2020. La Situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2020. La durabilité en action. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9229fr>

selon les données statistiques enregistrées dans la base de données Comtrade des Nations Unies sur le commerce des marchandises, 98 pays ont engrangé des recettes en devises étrangères d'un montant de 2,48 milliards d'USD grâce à l'exportation de macroalgues (837 millions d'USD) et d'hydrocolloïdes à base de macroalgues (1,65 milliard d'USD).

16. Les opérations liées à la culture de macroalgues mobilisent généralement beaucoup de main-d'œuvre, notamment des travailleurs intermittents ou à temps partiel. En conséquence, une grande partie des 16,5 milliards d'USD tirés de la première vente sont devenus des salaires ou des revenus qui ont contribué à améliorer les moyens d'existence de nombreux ménages des communautés côtières. Les activités plus en aval tendent à générer davantage de revenus et d'emplois. Le niveau relativement faible de mécanisation et d'automatisation associé aux technologies de production de masse disponibles actuellement est considéré comme un des facteurs qui limitent le développement de la culture d'algues marines dans les pays développés à revenu élevé où le coût du travail est élevé.

17. La culture de macroalgues apporte une contribution considérable à la cohésion des communautés et à l'autonomisation des femmes. Les caractéristiques de la culture de macroalgues, notamment les besoins importants en main-d'œuvre, le faible investissement en capitaux et les techniques de production simples, rendent ce type de culture accessible à de nombreux ménages pauvres en ressources et aux individus vulnérables. C'est particulièrement le cas pour les espèces d'algues rouges tropicales des pays chauds.

Bienfaits environnementaux et services écosystémiques

18. Les macroalgues et les microalgues apportent des bienfaits environnementaux et des services écosystémiques importants. La culture de macroalgues n'exige pas une utilisation directe de sol terrestre, d'eau douce ou d'aliments pour animaux. Les microalgues peuvent être produites en eau douce ou en milieu marin et être cultivées sur des terres marginales, dans des zones désertiques ou arides. En extrayant les éléments nutritifs (azote et phosphore) des eaux environnantes et en absorbant le dioxyde de carbone, le processus de photosynthèse accompli par les macroalgues et les microalgues permet d'atténuer l'eutrophisation, de traiter les eaux usées, de réduire l'acidification des océans et de fixer le carbone.

19. La culture de macroalgues et de microalgues peut contribuer aux besoins en matière de développement dans le monde, car elle permet à la fois de lutter contre le changement climatique (fixation du carbone; réduction des émissions de méthane dans les élevages bovins où les animaux consomment certaines macroalgues comme complément alimentaire, par exemple) et d'apporter des solutions à des problèmes liés à la sécurité alimentaire humaine (fabrication de produits comestibles à base d'algues, par exemple).

20. Les macroalgues et/ou les microalgues apportent également, directement ou indirectement, les autres bienfaits environnementaux et services écosystémiques suivants: i) elles procurent des habitats aux poissons et aux autres organismes marins; ii) elles protègent le littoral en atténuant la puissance des vagues; iii) elles fournissent d'autres moyens d'existence aux communautés de pêcheurs; iv) elles font office de stimulateur naturel de croissance des végétaux, permettent aux plantes de résister aux sécheresses, aux maladies ou aux gels et offrent un moyen non chimique de lutte contre les maladies grâce à leurs effets inhibiteurs, comme certains pesticides (fongicides et nématicides, par exemple)³; et v) elles permettent de produire des biens et des emballages facilement biodégradables, entre autres.

³ Sultana, V., Baloch, G.N., Ara, J., Ehteshamul-Haque, S., Tariq, R.M. Athar, M. 2010. *Seaweeds as alternative to chemical pesticides for the management of root diseases of sunflower and tomato*. Journal of Applied Botany and Food Quality 84, 162–168.

Contribution à l'aquaculture

21. Outre leur contribution directe à la production de l'aquaculture, les macroalgues et les microalgues facilitent également d'autres activités aquacoles. L'aptitude des macroalgues à assimiler le dioxyde de carbone et à extraire les éléments nutritifs inorganiques (azote et phosphore) des eaux environnantes rend particulièrement intéressants les systèmes qui intègrent leur culture dans l'élevage d'espèces animales, car ces systèmes permettent de multiplier les bienfaits environnementaux et économiques du fait du meilleur recyclage des nutriments et de l'utilisation plus efficace des zones de production.

22. Les systèmes d'aquaculture intégrée multitrophique peuvent potentiellement générer non seulement des bienfaits environnementaux, mais aussi des profits économiques. Différents systèmes de ce type ont été adoptés, en particulier: i) la culture de *Gracilaria* dans les étangs d'élevage de crevettes ou de poissons; ii) la production conjointe de kelp et de bivalves (moules, huîtres ou coquilles Saint-Jacques, par exemple) en milieu marin ouvert, parfois avec l'ajout d'espèces capables d'absorber les dépôts, notamment les holothuries.

23. Les macroalgues sont les principaux éléments d'alimentation utilisés dans la production aquacole d'ormeaux, d'oursins et d'holothuries. Elles sont également employées dans l'alimentation du poisson comme ingrédient complémentaire qui fournit des acides aminés nécessaires et de bons polysaccharides, acide gras, antioxydants, vitamines et minéraux.

24. Les microalgues à haute teneur en lipides peuvent être utilisées pour produire des huiles d'algues qui remplacent les huiles de poisson. Les microalgues sont la principale source de bons acides gras oméga 3 à longue chaîne pour tous les animaux aquatiques. L'astaxanthine extraite de *Haematococcus pluvialis*, une espèce de microalgue verte, est utilisée comme agent de pigmentation dans la salmoniculture. Un grand nombre d'écloseries recourent à la culture de microalgues pour disposer d'une alimentation animale composée d'organismes vivants, soit directement soit indirectement (par exemple en passant par la culture de zooplancton), en tant qu'aliments primaires et aliments destinés aux alevins de poissons et aux larves de mollusques, de crustacés ou d'autres animaux aquatiques. Les microalgues cultivées dans ce contexte sont des produits intermédiaires de l'aquaculture qui ne sont généralement pas pris en compte dans les statistiques officielles.

25. En effet, une partie importante de l'élevage en étang consiste à surveiller les niveaux de microorganismes, y compris les microalgues, et à faire en sorte que leur densité et leur configuration soient optimaux, afin de maintenir la qualité de l'eau et d'apporter des aliments naturels aux espèces ciblées grâce à la fertilisation, à l'échange d'eau et à l'aération. Étant donné que l'élevage en étang représente le principal système d'élevage aquacole en eau douce ou en eau saumâtre pour un grand nombre d'espèces majeures (carpes, tilapias, poissons-chats et crevettes, par exemple), la production masquée de microalgues n'apparaît pas dans les statistiques officielles, mais semble être colossale.

PROBLÈMES, CONTRAINTES ET DÉFIS

26. Selon l'expérience observée en Asie de l'Est et du Sud-Est, la culture de macroalgues et de microalgues peut donner naissance à des secteurs d'activité solides qui produisent des retombées bénéfiques et contribuent au développement économique. Toutefois, la poursuite du développement du secteur des macroalgues et des microalgues dans le cadre de l'aquaculture mondiale s'accompagne de multiples problèmes, contraintes et défis.

Une demande en macroalgues limitée ou incertaine

27. Il faudrait que l'expansion de la production de macroalgues soit accompagnée d'une augmentation de la demande. Une façon d'y parvenir consisterait à développer la consommation de macroalgues en tant qu'aliments destinés aux humains, car c'est un bon moyen de les utiliser avec

efficace et de générer des revenus plus intéressants pour les producteurs. En Asie de l'Est, la majeure partie de la production de macroalgues est consommée directement par les habitants mais, en dehors de cette région, les populations sont peu habituées à les consommer, voire pas du tout, et ne manifestent aucune préférence à cet égard. La polyvalence et la variété de nombreuses macroalgues laissent penser que celles-ci peuvent être utilisées dans un vaste éventail de produits alimentaires, offrant aux fabricants et aux distributeurs la possibilité de rendre leurs produits alimentaires meilleurs pour la santé, moins caloriques et plus riches en éléments nutritifs. Cependant, la demande relative à ces applications demeure faible, et ce, malgré l'intérêt des macroalgues sur le plan nutritionnel et leurs bienfaits pour la santé et en dépit des diverses actions actuellement menées, notamment en Europe et en Amérique du Nord, en vue de promouvoir ce type de consommation.

28. De nombreuses applications non alimentaires des macroalgues (par exemple: produits pharmaceutiques, nutraceutiques ou cosmétiques, alimentation animale, bioengrais/biostimulants, emballage écologique, fibre textile, fixation du carbone, biocarburant) sont prometteuses mais sont toutefois freinées par des contraintes et des difficultés techniques, économiques et/ou liées au marché. Il est encore difficile de prédire laquelle ou lesquelles de ces applications deviendront le principal moteur de la prochaine accélération majeure du développement du secteur des macroalgues, qui serait comparable aux réussites de *Laminaria/Saccharina* ou de *Kappaphycus/Eucheuma*.

Disponibilité limitée ou réduite de sites aquacoles côtiers

29. La plupart des macroalgues poussent près de la surface afin de recevoir la lumière nécessaire à la photosynthèse; elles sont donc habituellement cultivées à proximité des côtes, ce qui facilite les opérations et la logistique. Les opérations menées dans la zone littorale tendent à être moins onéreuses du point de vue tant de l'investissement que des frais de fonctionnement. Cependant, la culture de macroalgues dans ces zones se heurte à certaines contraintes et difficultés liées à de multiples facteurs, notamment: i) la concurrence autour de ces zones qui sont convoitées à diverses fins, telles que le développement urbain, les activités récréatives, la pêche, l'élevage d'espèces animales aquatiques et/ou d'autres activités encore; ii) la pollution des eaux littorales; et iii) la hausse de la température des océans.

30. La culture de macroalgues plus loin des côtes dans des eaux plus profondes peut permettre de surmonter les contraintes associées au littoral. En outre, la culture pourrait être intégrée à d'autres activités menées au large, la production d'énergie éolienne, par exemple. Toutefois, la culture de macroalgues dans ces conditions soulève des problèmes comme la faisabilité technique, la viabilité économique et l'absence généralisée de réglementation concernant l'aquaculture en haute mer.

Manque de main-d'œuvre

31. La culture de macroalgues mobilise généralement une grande quantité de main-d'œuvre pour la plantation, l'entretien quotidien, la récolte et la manutention après récolte, avec une demande saisonnière ou intermittente. Dans les régions développées, l'un des principaux problèmes rencontrés pour développer la culture des macroalgues a été le manque de main-d'œuvre adaptée (peu coûteuse, souple et régulièrement disponible). Le manque de main-d'œuvre pose également des problèmes dans les pays en développement pratiquant la culture de macroalgues lorsque leur économie progresse et s'urbanise, car le développement économique se traduit dans d'autres secteurs (comme le tourisme) par la création d'emplois plus attrayants que le travail laborieux et pénible proposé dans les exploitations de culture de macroalgues, en particulier pour les jeunes générations. Une plus grande automatisation des systèmes de production et les technologies contribueraient à pallier le manque de main-d'œuvre et à améliorer la santé au travail, mais risquent d'accroître les coûts de production.

Contraintes pesant sur les systèmes de production intégrés

32. Malgré l'intérêt théorique et les applications ayant fait leur preuve, des contraintes techniques, économiques et institutionnelles compliquent l'intégration de la culture de macroalgues dans d'autres activités aquacoles. Sur le plan technique, l'aquaculture intégrée multitrophique est un système aquacole complexe dont la performance repose sur l'équilibre d'un vaste éventail d'interactions entre les espèces cultivées et sur les compétences globales d'aquaculteurs qui exploitent plus d'une espèce et ont la capacité d'adopter des protocoles aquacoles convenant à toutes les espèces intégrées et de maintenir le bon fonctionnement de l'écosystème.

33. Dans un système d'aquaculture intégrée multitrophique, les infrastructures et les opérations requises pour produire une espèce donnée peuvent perturber la production des autres espèces intégrées. À titre d'exemple, les lignes de macroalgues peuvent gêner l'accès des grands bateaux aux cages de pisciculture et les cages de pisciculture peuvent attirer des poissons herbivores qui consomment les algues.

34. Sur le plan économique, les systèmes d'aquaculture intégrée multitrophique, en particulier de grande envergure, sont confrontés au problème que pose la commercialisation de multiples produits dans différentes filières. Un système d'aquaculture intégrée multitrophique composé d'espèces diverses peut permettre de réduire les effets de la fluctuation des prix d'une espèce unique, mais les complexités du système évoquées précédemment tendent à accroître les coûts opérationnels, et les macroalgues qui ont une faible valeur risquent de ne pas représenter une incitation financière suffisante pour encourager les pisciculteurs à modifier leur modèle commercial.

35. Sur le plan institutionnel, les pisciculteurs n'ont guère de raison d'intégrer les macroalgues dans leur système de production si les réglementations ne les obligent pas à traiter en interne les effets cumulés de leurs opérations sur l'écosystème au sens large (fjord, détroit ou baie) et ne leur permettent pas de profiter des retombées positives des macroalgues sur la qualité de l'eau (par exemple, en autorisant une augmentation du nombre de poissons dans leur élevage). L'intégration peut également être freinée par l'absence de réglementations qui faciliteraient la collaboration entre les propriétaires de sites produisant des espèces différentes.

Qualité faible ou déclinante des jeunes plants

36. La production de jeunes plants est essentielle pour la mise en place d'une culture de macroalgues performante et durable. La qualité de ces plants est de plus en plus décisive dans le contexte de la détérioration des environnements de production, liée notamment à la hausse de la température des océans et aux flambées épidémiques plus fréquentes et plus graves.

37. Une mauvaise gestion de la production de jeunes plants ou des contraintes en la matière, comme l'emploi de souches consanguines ou le recours répété à la multiplication végétative, peuvent entraîner une dégénérescence et, en conséquence, une perte de la valeur agronomique de l'organisme d'élevage, laquelle peut être due à une croissance plus faible, à une qualité inférieure et à une sensibilité plus élevée aux maladies, par exemple. La qualité faible ou déclinante des jeunes plants pourrait également motiver l'introduction d'espèces ou de génotypes de macroalgues exotiques, créant des risques en matière de biodiversité et de biosécurité.

38. Les méthodes d'amélioration génétique, comme la sélection de souches, l'élevage de sélection, l'hybridation et la micropropagation, peuvent contribuer à améliorer la qualité des jeunes plants et l'efficacité de la production. Cependant, ces méthodes ont tendance à être exigeantes sur les plans technique et financier et ont souvent besoin d'un appui du secteur public. Les programmes d'amélioration des macroalgues et les progrès accomplis en la matière ont joué un rôle déterminant dans le développement de cette culture en Asie de l'Est, mais les activités d'amélioration génétique demeurent insuffisantes pour ce qui est des macroalgues rouges tropicales (*Kappaphycus/Eucheuma*, par exemple) dont la multiplication est essentiellement végétative. Les différents morphotypes de

Kappaphycus/Eucheuma sont connus mais leur base génétique ne fait pas l'objet d'une recherche suffisante et est mal comprise.

Autres problèmes ou contraintes touchant la culture et les filières de macroalgues

39. Les autres problèmes importants qui entravent la culture et les filières de macroalgues sont les suivants: i) la détérioration des environnements de production en raison du changement climatique, notamment la hausse des températures de l'eau, la multiplication des phénomènes météorologiques extrêmes, le non-respect des mesures de biosécurité (mesures des nutriments [teneur en azote] et des mouvements/débits d'eau) et le pâturage plus vorace des prédateurs; ii) les flambées épidémiques plus fréquentes et plus graves; iii) les coûts élevés du transport; iv) les frais intermédiaires importants; v) les prix faibles et volatiles du marché, notamment les prix d'exportation incertains imputables à la fluctuation des taux de change; vi) les faibles revenus des producteurs de macroalgues; vii) les pratiques sous-optimales (récolte prématurée, culture tout au long de l'année ou absence de pauses similaires aux périodes de jachères pour les cultures terrestres, par exemple) motivées par des contraintes financières ou l'instabilité des conditions du marché; viii) la mauvaise qualité due à une manutention inadaptée après la récolte; et ix) l'absence de création de valeur ajoutée.

Problèmes et contraintes touchant la culture de microalgues

40. Malgré les efforts menés, notamment par la FAO, en vue de promouvoir la culture de microalgues en tant que nouvelle source d'aliments permettant de nourrir les êtres humains et ainsi de lutter contre la faim et la malnutrition, la consommation humaine mondiale de microalgues est principalement associée aux compléments nutritionnels haut de gamme (par exemple, *Chlorella* et spiruline en poudre) fournis par le secteur nutraceutique.

41. Les facteurs qui entravent l'utilisation de microalgues dans l'alimentation humaine sont notamment les suivants: i) couleur ou goût peu attrayant; ii) possibilité de contamination par des métaux lourds et/ou des microcystines en cas de mauvaises conditions de culture; iii) effets indésirables potentiels provoqués par l'ingestion de microalgues (par exemple, allergies et problèmes gastrointestinaux); et iv) prix relativement élevés des produits de qualité issus de microalgues.

42. Le coût élevé de la récolte et de l'affinage de la biomasse de microalgues cultivées constitue un autre facteur contribuant à gonfler le coût de production des microalgues, ce qui représente une contrainte majeure pour la viabilité de la production commerciale de biocarburants à base de microalgues.

ENSEIGNEMENTS TIRÉS ET PROCHAINES ÉTAPES

La gouvernance comme fondement

43. Il faut mettre en place des lois, des réglementations et des directives fondées sur des données scientifiques et des éléments factuels (réglementations environnementales, planification spatiale, normes de sécurité sanitaire des aliments, exigences en matière de santé au travail, instructions techniques et bonnes pratiques d'aquaculture, entre autres) concernant les macroalgues et les microalgues pour donner un fondement solide au développement durable du secteur. Quand on cultive des algues marines, il faut suivre les meilleures orientations techniques et normatives provenant d'instruments mondiaux, par exemple les Directives pour une aquaculture durable qui seront prochainement publiées, et adopter des pratiques optimales adaptées aux conditions nationales et locales.

44. Il appartient généralement à chaque pays d'établir ou d'adopter ces critères en fonction de leurs conditions socioéconomiques et environnementales et de leurs priorités en matière de développement, mais les communautés internationale et scientifique peuvent contribuer à la production de connaissances et de données d'expérience et à leur partage à l'échelle mondiale pour éclairer les prises de décisions pendant le processus.

La demande du marché comme élément moteur

45. La demande du marché a été un élément moteur essentiel du développement du secteur des algues. L'essor du secteur du kelp en Écosse au XVIII^e siècle, par exemple, était dû à la demande en alcali destiné à la production de savon et de verre; l'essor de la production de mousse d'Irlande (*Chondrus crispus*) au Canada était quant à lui imputable à la demande en matières premières destinées à la production de carraghénanes, demande qui a par la suite entraîné une croissance de la production de *Kappaphycus/Eucheuma* aux Philippines et en Indonésie.

46. La demande d'aliments aquatiques savoureux et bons pour la santé a été la principale cause de l'essor de la production de kelp en Asie de l'Est, en particulier en Chine et en République de Corée. Le développement spectaculaire de cette production a été soutenu voire même renforcé au fil du temps par d'autres forces du marché, comme la demande en extraits d'algues brunes (iode, alginate, mannitol, fucoïdane) et la demande en macroalgues fraîches destinées à nourrir les ormeaux.

47. Les algues nutritives, polyvalentes et respectueuses de l'environnement ont un potentiel prometteur dans le cadre d'applications alimentaires et non alimentaires variées, mais ce potentiel pourrait ne pas se traduire immédiatement en une demande du marché en raison de divers problèmes, comme le fait que les populations sont peu habituées à consommer des algues et ne manifestent aucune préférence à cet égard, les coûts de production élevés, la concurrence du marché et les réglementations rigoureuses.

48. Un grand nombre de contributions potentielles des algues (bienfaits pour la santé, prestations environnementales et services écosystémiques, par exemple) attirent certes l'attention mais risquent de ne pas aboutir automatiquement à une demande immédiate du marché ni, en conséquence, à la création des débouchés commerciaux susceptibles d'inciter les opérateurs privés en quête de rentabilité à investir dans le secteur. Des mécanismes fondés sur le marché, comme le crédit carbone, le crédit azote, les obligations bleues et le financement vert, par exemple, pourraient être mis en place pour permettre au secteur des algues de bénéficier des avantages découlant de ses externalités positives. L'apport par les gouvernements, les donateurs, les sociétés civiles et les organisations internationales d'un appui coordonné est crucial si l'on veut favoriser le développement du secteur des algues et son intégration dans les systèmes alimentaires mondiaux.

49. Un autre enseignement essentiel ressortant de l'histoire du développement du secteur des algues dans le monde est qu'une dépendance trop marquée à l'égard d'une gamme réduite d'applications (en particulier, les marchandises industrielles) peut être risquée et non durable. Ainsi, l'essor de la production de kelp en Écosse évoqué précédemment a été suivi d'un déclin brutal au début des années 1800, car des moyens plus économiques de produire de la soude et de la potasse ont été découverts. L'expansion spectaculaire de la culture de *Kappaphycus/Eucheuma* dans les zones tropicales, qui fournit des matières premières nettement moins chères pour la production de carraghénane, a entraîné un déclin spectaculaire du secteur canadien de la mousse d'Irlande après son ascension vertigineuse, déclin qui a eu de graves répercussions socioéconomiques.

50. L'utilisation des algues (plus particulièrement les macroalgues) en tant qu'aliments destinés aux humains, notamment pour la consommation locale, tend à être la force du marché la plus solide et la plus apte à stabiliser le développement du secteur des algues. Mais, l'inertie des habitudes alimentaires et des comportements des consommateurs pose un défi majeur en vue du développement des marchés de produits alimentaires à base d'algues, en particulier là où la production et la consommation d'algues sont faibles et où les traditions culinaires liées aux algues sont rares. L'acquisition ou la modification

des habitudes alimentaires constitue souvent un processus de longue haleine qui doit mobiliser conjointement les parties prenantes et les spécialistes dans les communautés de hauts responsables, d'entrepreneurs et de scientifiques.

51. Malgré l'existence de quelques éléments factuels ponctuels illustrant la popularité mondiale ou locale croissante des sushis et autres produits alimentaires à base de macroalgues, les informations détaillées et les connaissances sur le potentiel du marché des aliments à base d'algues (en particulier, les prix du marché et les volumes), qui sont indispensables pour éclairer les prises de décisions orientant les politiques et la planification relatives au développement de la culture de macroalgues, sont généralement insuffisantes. Il faut réaliser des évaluations détaillées approfondies des marchés et des filières des algues aux niveaux mondial, régional, national et infranational pour combler cette lacune.

L'innovation pour changer la donne

52. La science et l'innovation ont été les principaux moteurs des avancées décisives ayant marqué le développement du secteur des macroalgues et des microalgues. Il faut encourager les collaborations étroites entre le secteur des algues et la communauté scientifique pluridisciplinaire pour transformer le potentiel considérable des macroalgues et des microalgues en une véritable source de produits alimentaires ou non alimentaires acceptables, disponibles et d'un coût abordable. Le secteur public peut appuyer le processus en soutenant la recherche fondamentale sur des thèmes importants tels que la nutrition, les ressources génétiques et les maladies.

53. Il faut que les pouvoirs publics soutiennent (notamment au moyen d'incitations financières) le développement et la commercialisation des innovations qui sont susceptibles d'avoir des retombées techniques, économiques, environnementales et/ou sociales positives.

Le soutien des pouvoirs publics comme environnement favorable

54. Le secteur privé, en particulier dans les pays où la production et la consommation de macroalgues sont faibles, risque de ne pas être incité à s'atteler sur le long terme au développement d'un marché des macroalgues dont les perspectives sont incertaines. C'est pourquoi, il faut que le secteur public apporte un soutien visant à accroître les connaissances et l'intérêt du public à l'égard des macroalgues considérées comme des aliments nutritifs convenant aux humains, et à appuyer la mise en place d'habitudes alimentaires intégrant la consommation de macroalgues. Par exemple, sous réserve que la sécurité sanitaire et la valeur nutritionnelle des macroalgues soient garanties, des programmes publics, tels que la conduite d'une éducation nutritionnelle ou l'introduction de macroalgues dans les menus des hôpitaux, des écoles et des autres institutions publiques, peuvent être mis en œuvre pour promouvoir la consommation de macroalgues, ce qui contribuera non seulement à accroître immédiatement la demande mais aussi à former les futurs consommateurs de macroalgues.

55. Le secteur public doit mettre en place un environnement favorable au développement de l'algoculture. Par exemple, les gouvernements peuvent placer la culture des macroalgues et/ou des microalgues au rang des priorités de développement et recourir à la délivrance de licences, au soutien financier et à d'autres mécanismes permettant de rétribuer le secteur en contrepartie des prestations environnementales et des services écosystémiques qu'il fournit.

56. Compte tenu du déséquilibre régional important caractérisant la production et la consommation de macroalgues, il pourrait être intéressant de renforcer la culture et la filière des macroalgues dans certaines régions et de promouvoir leur consommation.

Rôle de la FAO

57. La FAO a mené divers projets qui, soit portaient principalement sur les macroalgues, soit comportaient une composante liée au développement de ce secteur. Elle a aussi élaboré et diffusé un certain nombre de produits de connaissances sur les algues.

58. Les travaux réalisés par la FAO sur l'approche de gestion progressive pour l'amélioration de la biosécurité aquacole peuvent faciliter l'établissement d'un cadre de gestion progressive et fondée sur les risques et la collaboration, en vue d'assurer la biosécurité dans les exploitations de culture de macroalgues au niveau de l'entreprise et aux niveaux national et international. Une publication à paraître de la FAO sur les maladies des organismes aquatiques comportera une partie consacrée aux macroalgues.

59. La FAO élabore actuellement un document de référence qui recense les éventuels risques en matière de sécurité sanitaire des aliments (produits chimiques, agents pathogènes et toxines) qui pourraient être associés à la consommation de macroalgues. Le document jettera les bases de la poursuite des travaux relatifs à ce domaine. La FAO estime qu'il pourrait être intéressant d'élaborer des directives du Codex sur ce sujet et avait soumis cette question au Comité du Codex sur les contaminants dans les aliments, à sa 14^e session, en mai 2021, pour examen (secrétariats du Comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires, 2021). Ce point fera l'objet d'un suivi par la Commission du Codex Alimentarius.

60. Dans le cadre de ses travaux relatifs aux ressources génétiques aquatiques, la FAO met actuellement en place un système d'information sur les types de ressources génétiques aquatiques élevés ou cultivés, notamment les algues, ce qui peut contribuer à remédier au manque de données sur la base génétique de la culture de macroalgues.

61. Les bases de données de la FAO sur la production mondiale de la pêche et de l'aquaculture ont constitué une source inestimable de données et de statistiques sur la production mondiale d'algues sauvages et cultivées. Il reste beaucoup à faire pour améliorer les statistiques sur la production d'algues, du point de vue tant de l'exactitude que de l'exhaustivité (par exemple, couverture d'un plus grand nombre de pays et ventilation de davantage d'espèces). Les informations et les connaissances sur les autres étapes des chaînes d'approvisionnement en algues (la transformation et la consommation, par exemple) sont également insuffisantes. Il faut que les membres de la FAO continuent d'aider l'Organisation à disposer de données et d'informations plus nombreuses et de meilleure qualité sur les algues.

62. Les Directives pour une aquaculture durable proposent aux membres une feuille de route pour mettre en place des systèmes alimentaires aquatiques plus efficaces, plus inclusifs, plus résilients et plus durables en s'appuyant sur les bonnes pratiques en matière de gestion de la production, sur l'innovation et sur l'investissement. Ainsi, les Directives pour une aquaculture durable peuvent être utilisées aux niveaux national et régional pour renforcer et améliorer les politiques porteuses, les cadres juridiques et institutionnels, les partenariats et les mesures d'investissement aux fins de la poursuite du développement de l'aquaculture de macroalgues et de microalgues. Outre les Directives pour une aquaculture durable, les Directives de la FAO sur la responsabilité sociale dans la filière de la pêche et de l'aquaculture offrent aux membres des outils pour renforcer la responsabilité sociale dans la filière de la pêche et de l'aquaculture, y compris le travail décent et la protection sociale dans le secteur.

63. Les autres travaux de la FAO relatifs au développement de l'algoculture et de la filière des algues (principalement les macroalgues) peuvent notamment consister à: i) élaborer des manuels pratiques concernant la culture de macroalgues; ii) créer des plateformes techniques visant à faciliter le renforcement des capacités, le transfert de technologies et le partage des connaissances dans des domaines clés (systèmes et technologies de production, amélioration génétique, lutte contre les maladies, entre autres); iii) appuyer le développement des marchés axés sur l'utilisation des macroalgues

dans l'alimentation humaine; et iv) promouvoir la collaboration et la coopération entre les membres pour renforcer la gouvernance dans l'optique du développement durable du secteur des algues.