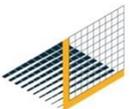


État des technologies de salmoniculture



2019

Gardner Pinfold Consultants Inc.



Ce rapport a été préparé pour :



Fisheries and Oceans
Canada

Pêches et Océans
Canada

Canada



Ministry of
Agriculture



SUSTAINABLE DEVELOPMENT
TECHNOLOGY CANADA

TECHNOLOGIES DU DÉVELOPPEMENT
DURABLE CANADA

TABLE DES MATIÈRES

Sommaire	i
1. Introduction	1
1.1 Contexte	1
1.2 Communautés autochtones.....	4
1.3 Approche.....	5
2. Portée de l'évaluation	6
2.1 Systèmes de production envisagés	6
2.2 Grossissement dans des systèmes d'aquaculture en recirculation (SAR) sur terre.....	10
2.3 Systèmes hybrides avec des sites sur terre et en mer.....	13
2.4 Systèmes de parcs clos flottants.....	16
2.5 Systèmes en haute mer	18
2.6 Technologies de soutien	22
3. Critères relatifs à la technologie de l'aquaculture durable	24
3.1 Évaluation de la technologie.....	24
3.2 Critères environnementaux.....	25
3.3 Critères sociaux	26
3.4 Critères économiques	27
4. Évaluation des nouvelles technologies	29
4.1 Introduction	29
4.2 Grossissement dans des systèmes d'aquaculture en recirculation (SAR) sur terre.....	36
4.3 Système hybride	40
4.4 Systèmes de parcs clos flottants.....	44
4.5 Systèmes en haute mer	46
5. Méthode de développement en Colombie-Britannique	50
5.1 Introduction	50
5.2 Lois et politiques	51
5.3 Encourager l'innovation	52
5.4 Incitations financières.....	54
5.5 Allocation de biomasse	56
5.6 Soutien à l'innovation au Canada	57
5.7 Perspectives	60
6. Bibliographie	63

Tableaux

Tableau 1 : Exemples de la capacité et de la conception de systèmes SAR sur terre de production de saumons commercialisables, en date de 2019.....	11
Tableau 2 : Exemples de développements de systèmes hybrides terrestres et marins, en date de 2019.....	14
Tableau 3 : Exemples de la capacité et de la conception d'installations utilisant des systèmes de parcs clos flottants, en date de 2019.....	17
Tableau 4 : Exemples de la capacité et de la conception d'installations utilisant des systèmes en haute mer, en date de 2019.....	20
Tableau 5 : Forces, faiblesses et incertitudes environnementales des quatre nouvelles technologies de production.....	29
Tableau 6 : Forces, faiblesses et incertitudes sociales des quatre nouvelles technologies de production.....	32
Tableau 7 : Forces, faiblesses et incertitudes économiques des quatre nouvelles technologies de production.....	34

Figures

Figure 1 : Production et taux de croissance de la salmoniculture en Colombie-Britannique et dans le monde, de 2000 à 2017 (en milliers de tm)	2
Figure 2 : Indices de prix du NASDAQ par kg de saumon d'élevage en Europe et aux États-Unis, de 2000 à 2018.....	3
Figure 3 : Production mondiale des pêches commerciales et de l'aquaculture depuis 1950. Source : FAO 2019.....	3
Figure 4 : Diagramme conceptuel des technologies examinées et de leur emplacement.	8
Figure 5 : Installation de Global Fish en Pologne produisant du saumon commercialisable depuis 2016.	10
Figure 6 : Installation de Marine Harvest Canada, Dalrymple, C.-B.....	13
Figure 7 : Système Neptune 3 d'Aquafarm Equipment.....	16
Figure 8 : En haut à gauche SalMars Ocean Farm 1, en haut à droite MNH Aquatraz, au milieu Marine Harvest Egg, en bas à gauche Nordlaks Havfarm 1, en bas à droite NRS/Aker ASA Arctic Farm (Source : Norwegian Fisheries Directorate 2019).....	19

Sommaire

Objet

Le gouvernement, l'industrie, les organisations non gouvernementales et les peuples autochtones souhaitent vivement accélérer l'adoption de technologies de salmoniculture qui réduisent au minimum les répercussions environnementales en Colombie-Britannique, tout en appuyant le développement économique rural, l'emploi et la sécurité de l'approvisionnement alimentaire au Canada.

Contexte

À l'échelle mondiale, les nouvelles technologies de production du saumon répondent à deux facteurs principaux : 1) les pressions exercées par les gouvernements et les intervenants pour adopter des technologies plus respectueuses de l'environnement; 2) les défis tels que le pou du poisson et les blooms phytoplanctoniques qui nuisent à la production de saumon. L'industrie s'est surtout concentrée sur l'amélioration des systèmes de parcs en filet marins classiques afin d'améliorer le rendement environnemental tout en maintenant la faisabilité opérationnelle et financière, mais les technologies de rechange pour les systèmes salmoniculture évoluent pour répondre à ces besoins.

Communautés autochtones

Les communautés autochtones ont un rôle clé à jouer, car elles contribuent déjà à au moins 10 % de l'activité économique aquacole du Canada et participent à tous les aspects de la chaîne de valeur de la salmoniculture. Elles ont été au cœur du développement des nouvelles technologies, dont le projet de système terrestre d'aquaculture en recirculation (SAR) de Kuterra. De plus, le gouvernement de la Colombie-Britannique a adopté en 2018 une politique selon laquelle, à compter de 2022, la province n'accordera des tenures qu'aux exploitations aquacoles qui auront négocié des ententes avec les Premières Nations sur le territoire desquelles les exploitants se proposent d'exercer leurs activités.

Approche et portée

Le présent rapport met en lumière les avancées canadiennes ainsi qu'une analyse mondiale des progrès technologiques majeurs concernant quatre systèmes de production qui offrent de nouvelles possibilités de production de saumon de taille commerciale :

- ❑ les systèmes d'aquaculture en recirculation (SAR) **sur terre**;
- ❑ les systèmes **hybrides** combinant des systèmes terrestres et marins;
- ❑ les systèmes de parcs clos flottants (CCS);
- ❑ les systèmes de production ouverts **en haute mer**.

D'autres technologies qui soutiennent les principaux systèmes de production sont abordées, notamment : les capteurs et les systèmes de contrôle, l'analyse des données pour un « élevage intelligent », l'innovation dans l'alimentation animale, le transport et la logistique, les filets et les amarres, la robotique et le développement des stocks de géniteurs.

État de développement

L'état réel global des quatre technologies de production est décrit brièvement afin d'illustrer les principales caractéristiques, les capacités de production réelles, les indications des opérations commerciales prévues et réelles à l'échelle commerciale, les principales exigences pour un déploiement réussi de chaque système et les domaines de recherche en cours qui visent à relever les défis restants.

Répondre aux exigences en C.-B.

Il existe en Colombie-Britannique des atouts précieux qui servent de fondement au développement de ces technologies, notamment : une industrie aquacole bien développée dotée d'une expertise transférable, de capacités de recherche et de formation, de capacités en santé et diagnostic des poissons, d'intrants de la chaîne d'approvisionnement comme les sources d'alimentation animale et la distribution des produits sur les marchés, ainsi que les avantages biophysiques des zones côtières de la C.-B. Des exigences plus précises comme les ressources en eau de mer et en eau douce, l'accès à un réseau électrique à faibles émissions de carbone, des réseaux routiers et de communication et des solutions de traitement et de rejet des déchets sont aussi examinées. Dans l'ensemble, la Colombie-Britannique est bien placée pour permettre aux salmoniculteurs en activité et aux nouveaux venus dans l'industrie de développer ces technologies.

Évaluation des forces, des faiblesses et des incertitudes

Les quatre systèmes de production sont évalués selon sept critères environnementaux, trois critères sociaux et sept critères économiques. Il s'agit là d'exigences clés qui doivent être satisfaites pour que les volumes de production de saumon en C.-B. reprennent les tendances historiques de croissance. L'évaluation reflète l'état général des technologies plutôt que des conceptions particulières, et les incertitudes sont notées puisque certaines technologies n'ont pas encore été éprouvées commercialement et appliquées en Colombie-Britannique. Les quatre systèmes offrent de multiples améliorations comparativement aux systèmes de production de parcs en filet classiques réels, mais chaque système présente différents avantages et inconvénients en matière de rendement environnemental, social et économique. Les systèmes SAR sur terre et les systèmes hybrides sont les deux technologies prêtes pour le développement commercial en C.-B., tandis que deux à cinq ans d'examen supplémentaire sont nécessaires pour les systèmes de parcs clos flottants, et cinq à dix ans pour les technologies extracôtières.

Méthode de développement en Colombie-Britannique

Il faut harmoniser plusieurs éléments afin de promouvoir l'innovation au Canada et de positionner le secteur de la salmoniculture de la Colombie-Britannique en vue d'accroître les débouchés mondiaux des exportations de produits comestibles de la mer. D'une manière générale, la législation et les politiques nationales doivent clarifier les exigences en matière de rendement environnemental et social de l'aquaculture, ce qui enverra aux investisseurs les signaux appropriés pour développer les technologies qui permettront de relever le défi. D'autres exigences propres à chacun des quatre systèmes de production sont examinées afin d'attirer et de stimuler les investissements de l'industrie.

Mesures incitatives pour favoriser l'innovation au Canada

Un certain nombre de mesures sont suggérées pour favoriser l'innovation en s'inspirant de ce qui s'est fait dans d'autres pays qui sont à la fine pointe des progrès technologiques. Citons, par exemple, les permis d'exploitation à frais réduits, les sites marins avec des allocations de biomasse pour des technologies novatrices, les prêts garantis, l'amortissement accéléré du capital, ainsi que les modèles de financement de la recherche et développement qui combinent les contributions de l'industrie, du gouvernement et du milieu universitaire.



1. Introduction

1.1 Contexte

Le gouvernement, l'industrie, les organisations non gouvernementales et les peuples autochtones souhaitent vivement accélérer l'adoption de technologies de salmoniculture qui réduisent au minimum les répercussions environnementales en Colombie-Britannique, tout en appuyant le développement économique rural, l'emploi et la sécurité alimentaire au Canada.

Ce souhait s'étend au-delà de la province et est partagé à l'échelle internationale parmi les pays producteurs de saumon. Les nouvelles technologies de production du saumon répondent à deux facteurs principaux : 1) les pressions exercées par les gouvernements et les intervenants pour adopter des technologies plus respectueuses de l'environnement; 2) les défis tels que le pou du poisson et les blooms phytoplanctoniques qui nuisent à la production de saumon. L'industrie s'est surtout concentrée sur l'amélioration des systèmes de parcs en filet marins classiques afin d'améliorer la performance environnementale tout en maintenant la faisabilité opérationnelle et financière, mais de nouvelles technologies de rechange pour les systèmes salmoniculture évoluent rapidement de nos jours.

Comme les préoccupations relatives aux systèmes classiques de parcs en filet n'ont pas été entièrement éliminées, l'expansion de la salmoniculture a ralenti ces dernières années. Depuis l'an 2000, la croissance annuelle moyenne des volumes de production stagne presque en Colombie-Britannique et à l'échelle mondiale (figure 1), car les occasions d'expansion de l'aquaculture classique sont limitées. Dans plusieurs provinces et territoires, l'espace pour les parcs en filet marins est pleinement utilisé et les gouvernements n'ont pas augmenté le nombre de sites ou les limites de mise en charge de la biomasse dans les sites existants (p. ex. au Nouveau-Brunswick). Dans d'autres, des moratoires ont été imposés sur l'attribution de nouveaux sites, même s'il y a de la place, pendant que l'on menait des examens exhaustifs en vue d'établir de nouvelles approches pour le développement de la salmoniculture (p. ex. en Nouvelle-Écosse).

Bien que le rythme de la croissance ralentisse, la demande continue d'augmenter. Cela est confirmé par la hausse des prix qui reflète la tension entre l'offre et la demande pour les produits à base de saumon d'élevage. Depuis 2000, les prix des principaux marchés, dont l'Europe, le Chili et l'Amérique du Nord, augmentent tous (figure ci-dessous).

Deux facteurs continuent d'exercer une pression à la hausse sur la demande : 1) la stagnation des prises des pêches mondiales et 2) l'augmentation de la population mondiale, y compris la croissance de la classe moyenne dans de nombreux pays. Les débarquements des pêches de capture dans le monde demeurent stables depuis le milieu des années 1990, de nombreuses pêches ayant atteint des niveaux insoutenables (figure 3). Il n'y a pas de perspective à court terme d'augmentation des prises des pêches, mais la production de l'aquaculture (tous produits confondus) augmente depuis les années 1990 et le volume de poissons d'élevage a dépassé le volume de poissons capturés pour la première fois en 2014

(FAO 2018). En outre, la population mondiale devrait atteindre 10 milliards d'habitants vers 2050 (2 milliards de plus qu'aujourd'hui; FAO 2018) et la demande de produits aquacoles, une source précieuse de protéines, sera forte.

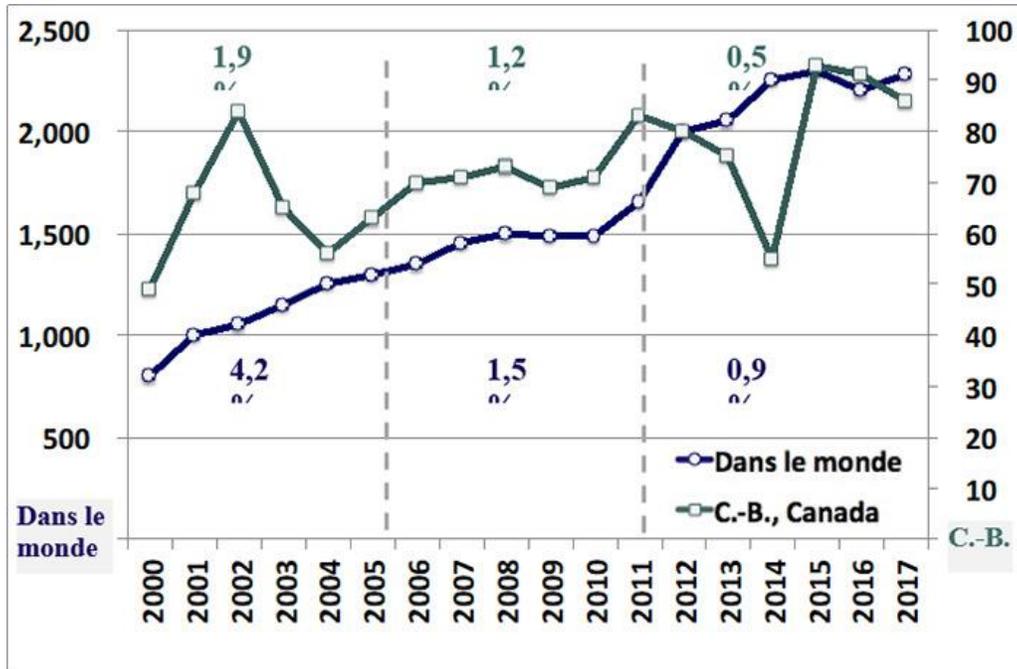


Figure 1 : Production et taux de croissance de la salmoniculture en Colombie-Britannique et dans le monde, de 2000 à 2017 (en milliers de tm)

Les produits canadiens du saumon d'élevage sont en concurrence sur les marchés mondiaux, où les prix fluctuent jusqu'à 30 % au cours d'une année selon l'offre et la demande. Les producteurs canadiens doivent demeurer concurrentiels et résilients face à ces pressions du marché.

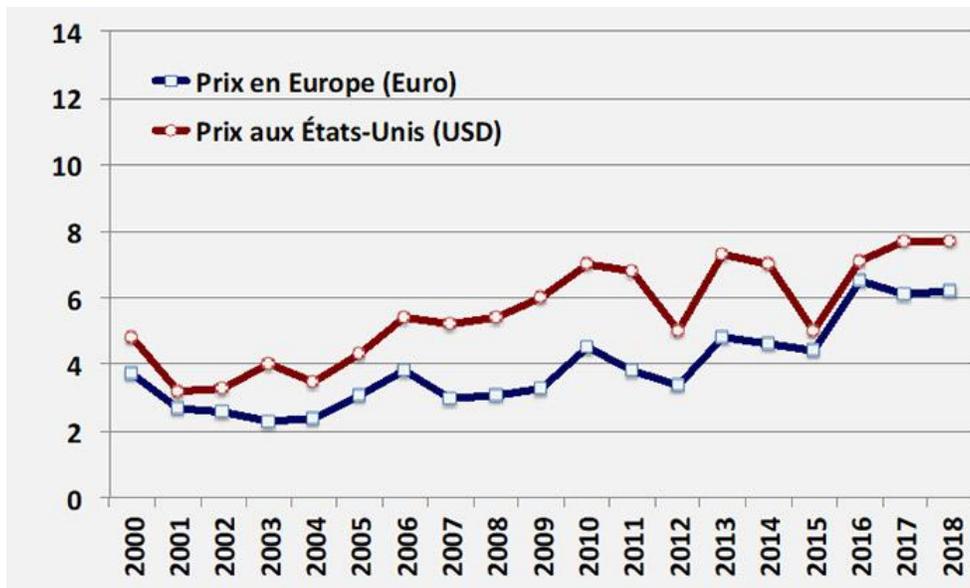


Figure 2 : Indices de prix du NASDAQ par kg de saumon d'élevage en Europe et aux États-Unis, de 2000 à 2018

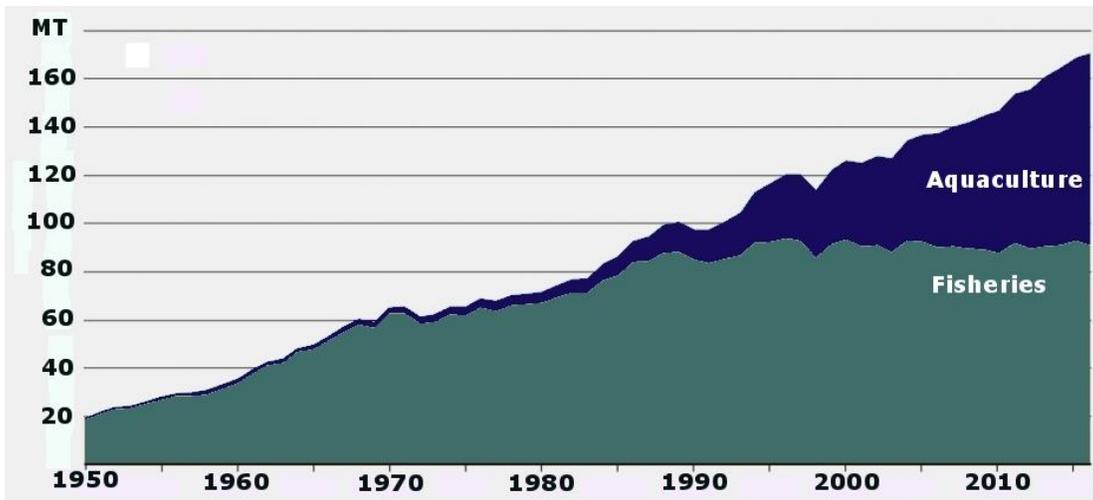


Figure 3 : Production mondiale des pêches commerciales et de l'aquaculture depuis 1950. Source : FAO 2019.

Cette combinaison de pressions exercées sur les producteurs de saumon a stimulé les efforts visant à mettre au point de nouvelles technologies de production de saumon qui répondent aux principaux enjeux susmentionnés. Au cours des dix dernières années, on a assisté à d'importantes avancées vers des technologies de production de l'aquaculture qui réduisent considérablement les interactions entre l'aquaculture et l'environnement naturel. Les systèmes d'aquaculture en parcs clos en milieu océanique (cages à parois solides) et en haute mer (au large) font également l'objet de recherches approfondies. L'utilisation de ces technologies de production ainsi que des innovations telles que les technologies de capteurs et l'analyse des données permet de réduire les impacts environnementaux pour les milieux marins.

À ce stade critique du développement mondial du secteur de la salmoniculture, il est nécessaire d'évaluer les technologies de rechange afin de favoriser une croissance économique durable au Canada. Pêches et Océans Canada (MPO), en partenariat avec la province de la Colombie-Britannique et Technologies du développement durable Canada (TDDC), a commandé cette étude sur l'état global de la technologie de production de saumons en mettant l'accent sur l'environnement opérationnel de la Colombie-Britannique (C.-B.). Ces travaux aideront l'industrie de l'aquaculture à envisager d'autres systèmes de production qui faciliteront son expansion pour répondre à la forte croissance et à la demande de produits comestibles durables de la mer.

1.2 Communautés autochtones

Les communautés autochtones ont un rôle clé à jouer à mesure que de nouvelles technologies aquacoles se développent en Colombie-Britannique. Elles sont parfaitement placées pour participer à la croissance de l'aquaculture en raison de leurs ressources aquatiques, de leurs droits et de leur accès à des sites aquacoles appropriés. Elles participent déjà à tous les aspects de la chaîne de valeur de la salmoniculture, de l'écloserie à l'engraissement, en passant par la transformation, les services de soutien, la distribution et la commercialisation. Ils sont également au cœur du développement des nouvelles technologies, dont le projet de système terrestre d'aquaculture en recirculation (SAR) de Kuterra. Selon les estimations des répercussions socioéconomiques de l'aquaculture à l'échelle nationale, environ 10 % de toute l'activité économique au Canada est le résultat de la participation des peuples autochtones (GP 2016). Ce pourcentage est plus élevé en Colombie-Britannique que dans d'autres régions du Canada, et les progrès récents vont dans le sens d'une plus grande participation autochtone.

Le gouvernement de la Colombie-Britannique a adopté en 2018 une politique selon laquelle, à compter de 2022, la province n'accordera des tenures qu'aux exploitations aquacoles qui auront négocié des ententes avec les Premières Nations sur le territoire desquelles les exploitants se proposent d'exercer leurs activités. Les communautés autochtones sont également très engagées dans l'aquaculture en tant qu'investisseurs ou partenaires d'exploitation et constituant une part croissante de la main-d'œuvre aquacole. Elles s'intéressent vivement à la mise au point de technologies de production aquacole durable.

1.3 Approche

Analyse globale

Des entreprises et des chercheurs canadiens ont participé à d'importants développements technologiques, y compris de certains des premiers systèmes commerciaux d'aquaculture en recirculation (SAR) sur terre, des systèmes de parcs clos flottants, des systèmes de production en haute mer et d'une gamme de capteurs, de véhicules télécommandés, de logiciels et autres avancées technologiques. Il s'agit pour la plupart de projets isolés de moindre envergure au Canada et ils ne se développent pas aussi rapidement dans l'ensemble de l'industrie que dans d'autres pays.

D'importants investissements dans des systèmes de pointe à l'échelle commerciale voient le jour en Norvège, au Danemark, en Pologne, en Chine et aux États-Unis, entre autres. Les progrès répondent à différentes motivations dans chaque pays, qui combinent les éléments suivants : la taille de leur industrie aquacole, la taille des marchés de consommation, les contraintes sur la production de parcs en filet marins, ou encore le soutien à l'innovation dans le rendement environnemental, social et économique. Cette évaluation s'appuie sur une analyse des chefs de file mondiaux pour déterminer des technologies émergentes en vue d'une application commerciale et les approches qui permettront à la salmoniculture de progresser.

Analyse documentaire

Au fur et à mesure que la technologie progresse et que le niveau d'intérêt augmente de façon spectaculaire, beaucoup de choses ont été écrites sur les systèmes de production de rechange. Les rapports de l'industrie, les études gouvernementales, les documents de recherche universitaires, les comptes rendus de conférences et les articles de la presse populaire fournissent tous une riche base d'information pour cette évaluation. Comme l'évolution se fait rapidement, il est également utile d'obtenir certains des renseignements les plus récents auprès des entreprises qui développent ces technologies ou qui les achètent.

Entrevues

Afin d'apprécier pleinement l'information et d'examiner les questions clés plus en profondeur, y compris les avantages et les inconvénients des technologies, il est nécessaire de parler avec de nombreux informateurs clés. Des représentants du secteur privé, du secteur public, du milieu universitaire et d'organisations non gouvernementales ont tous contribué à éclairer cette évaluation. Cela est particulièrement utile pour comprendre comment envisager l'applicabilité en Colombie-Britannique des technologies qui sont en cours de développement ailleurs.

Technologies en évolution

Il faut préciser que cette évaluation reflète l'état des choses à un certain point dans le temps, car les technologies aquacoles se développent très rapidement. La pertinence des évaluations similaires réalisées il y a cinq ans est limitée. Une grande partie de l'information sur le rendement et les capacités des systèmes d'aquaculture devient

rapidement désuète. L'échelle des modèles commerciaux augmente, les coûts d'investissement par unité de saumon produite diminuent. Les coûts associés aux nouvelles technologies baissent également à mesure que la demande augmente et que les modèles sont normalisés pour donner des produits modulaires « prêts à l'emploi ». L'efficacité, la fiabilité et la performance environnementale des systèmes s'améliorent souvent chaque année. Cette tendance se poursuivra au cours des cinq prochaines années et au-delà. Cela signifie que les critères de décision tels que les exigences en matière de performance environnementale peuvent rester constants, mais flexibles, ce qui permettra l'évolution continue des systèmes et l'arrivée d'autres nouvelles technologies.

2. Portée de l'évaluation

2.1 Systèmes de production envisagés

En janvier 2018, le rapport final du Conseil consultatif du ministre de l'Agriculture de la Colombie-Britannique sur l'aquaculture des poissons à nageoires (MAACFA) a formulé la recommandation suivante (5.2) :

[Traduction] « Mener une étude sur la faisabilité de l'utilisation d'une technologie de parcs clos en Colombie-Britannique (systèmes d'aquaculture en recirculation sur terre, systèmes avancés de parcs en filet, systèmes de parcs clos flottants près des côtes et systèmes d'élevage en haute mer) comme i) solution de rechange aux parcs en filet ouverts en mer et ii) option pour accroître la production salmonicole actuelle. »

Le présent rapport s'appuie sur cette recommandation, notamment en évaluant les quatre grands systèmes de production suivants :

- ❑ Les **systèmes d'aquaculture en recirculation sur terre (SAR)** pour le saumon commercialisable;
- ❑ Les **systèmes hybrides** combinant la production de postsaumoneaux à l'aide de systèmes d'aquaculture en recirculation sur terre et le grossissement en mer à la taille du marché;
- ❑ Les **systèmes de parcs clos flottants** pour la production de saumons commercialisables;
- ❑ Les **systèmes en haute mer** comprenant des systèmes de parcs ouverts ou clos.

Il est également question des technologies de soutien comme les capteurs, l'intelligence artificielle, les véhicules télécommandés et d'autres développements qui appuient généralement les progrès dans l'ensemble de ces principaux systèmes de production.

Pour évaluer les avantages et les inconvénients des quatre technologies de production, l'analyse repose sur certaines hypothèses permettant de comparer les systèmes.

- ❑ **Saumon de taille commerciale** – On suppose que les quatre systèmes produisent la même taille moyenne de saumon commercialisable (environ 5 kg).
- ❑ **Production à l'échelle commerciale** – Tous les systèmes doivent offrir une capacité de production qui est généralement utilisée par les entreprises aujourd'hui (environ 3 000 t) et, en organisant des réseaux modulaires et des sites multiples, la technologie peut répondre à la plupart ou à la totalité des volumes de production réels de la Colombie-Britannique.
- ❑ **Analyse de l'état de stabilité** – L'analyse se concentre principalement sur un futur état d'exploitation stable de chaque technologie. Cela concorde avec un certain nombre d'études internationales récentes sur les nouvelles technologies. Dans certains cas, les impacts de la construction et de l'installation sont discutés afin d'apprécier les différences clés entre les technologies.
- ❑ **Limites de biomasse pour les parcs en filet existants** – On suppose que la biomasse maximale permise pour les systèmes hybrides utilisant des parcs en filet marins dans les sites aquacoles réels demeure la même, bien que des augmentations pour les systèmes semi-fermés et en haute mer puissent être autorisées si les exigences de performance environnementale sont respectées.

Avant de décrire plus en détail les nouvelles technologies, il est utile d'illustrer les environnements pour lesquels elles sont conçues (figure ci-dessous). La plupart des préoccupations environnementales concernent les écosystèmes marins côtiers abrités où se trouvent des voies de migration du saumon sauvage, où elles sont plus concentrées et où les risques de transferts de maladies sont plus prononcés. Ces eaux côtières ont tendance à être moins profondes, avec des courants plus faibles et des taux d'échange d'eau plus bas, ce qui fait que les déchets et les effluents de l'aquaculture sont plus susceptibles de s'accumuler et de poser des problèmes. Les autres technologies tiennent compte des emplacements de rechange possibles, y compris les sites terrestres, les sites côtiers exposés ou les sites extracôtiers. Il était plus facile et moins coûteux de commencer à développer l'aquaculture dans des endroits côtiers abrités, mais les progrès technologiques offrent maintenant des possibilités d'exploitation dans les autres environnements.

Les nouvelles technologies les plus développées sont conçues pour les environnements terrestres et côtiers abrités. Elles fonctionnent à l'échelle commerciale depuis plusieurs années et des systèmes « prêts à l'emploi » sont plus facilement disponibles. Les systèmes côtiers exposés et les systèmes en haute mer fonctionnent à l'échelle commerciale, mais ils ont été déployés plus récemment et devraient être améliorés au cours des trois à cinq prochaines années.

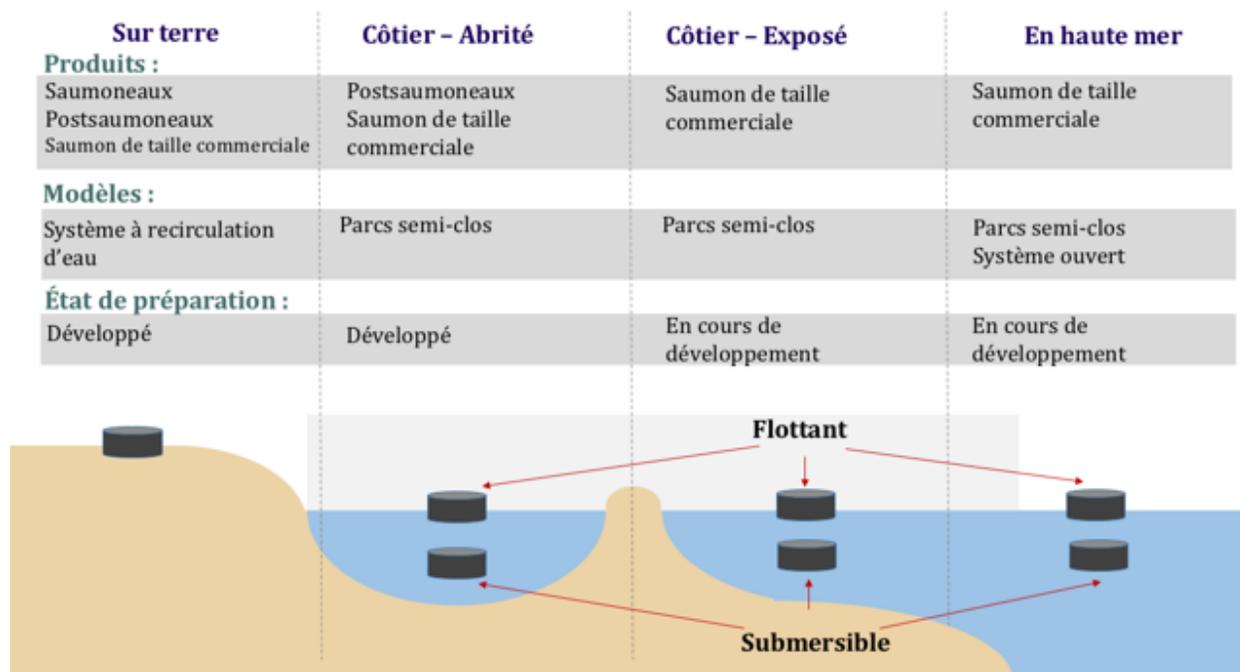


Figure 4 : Diagramme conceptuel des technologies examinées et de leur emplacement.

Actuellement, environ 98 % de la production mondiale de saumon provient de parcs en filet ouverts dans des environnements côtiers abrités et exposés (environ 94 % du total de la Colombie-Britannique). Les progrès sur lesquels porte cette étude sont les suivants :

- ❑ **Parcs clos** – utilisation d’une barrière ajoutée au système de parcs pour arrêter le transfert de maladies et d’agents pathogènes, les effluents de déchets, les échappées de saumons et d’autres interactions avec la faune. L’eau est pompée dans le système et peut être filtrée avant d’être distribuée pour le saumon, tandis que les déchets sont retirés des eaux usées pour être traités sur terre.
- ❑ **Parcs semi-clos** – utilisation d’une barrière qui n’élimine pas les déchets des eaux usées sortants du système, mais qui réduit les maladies telles que le pou du poisson.
- ❑ **Systèmes submersibles** – les systèmes peuvent être ouverts ou fermés avec des capacités submersibles pour aider à éviter les problèmes causés par le pou du poisson qui se produisent près de la surface et pour aider à accéder à de meilleures conditions de croissance à de plus grandes profondeurs (p. ex. eau plus fraîche en été). Ils évitent également les dommages causés par les tempêtes et limitent les échappées de saumons.
- ❑ **Systèmes en haute mer** – la plupart des systèmes sont ouverts, bien que certains navires maritimes réaménagés offrent un confinement complet qui peut être transporté vers des sites en mer.

Bon nombre des distinctions entre les nouvelles technologies sont liées à l’étape de grossissement du cycle, et le fait d’en mesurer les implications aidera à comprendre les résultats de l’évaluation plus loin dans ce rapport. Les tailles des stades et les périodes de

croissance suivantes sont basées sur les données de la recherche de Kuterra et les idées fournies par d'autres experts en salmoniculture :

- ❑ Les **saumoneaux** sont produits dans des écloséries terrestres d'eau douce, quelles que soient les technologies utilisées pour amener le saumon sur le marché. La smoltification est le moment où le saumon passe du stade de « tacon » en eau douce à celui de « saumoneau » adapté à l'eau salée, une évolution induite dans les écloséries en contrôlant la quantité de lumière que les saumons reçoivent chaque jour. Elle intervient maintenant couramment lorsque le saumon atteint environ 100 à 150 g, après 8 à 10 mois.
- ❑ Les **plus grands saumoneaux et les postsaumoneaux** deviennent de plus en plus courants et les éleveurs de la Colombie-Britannique utilisent déjà de plus en plus les SAR sur terre pour élever des saumons plus gros avant de les transférer en mer. Globalement, la taille potentielle varie de 200 g à 1 kg ou plus avant le transfert à de nouvelles technologies pour le grossissement ou le maintien dans des SAR sur terre jusqu'à la taille du marché. Cela dit, l'accent est mis principalement sur les saumoneaux plus gros, pesant entre 200 g et 500 g, dans le but de maintenir la période de grossissement à un an ou moins. La croissance de 120 g à 1 kg prend environ cinq à sept mois. Étant donné que la taille optimale pour des technologies précises et des plans de croissance reste à déterminer, il existe un large éventail de possibilités pour cette phase de croissance. Cette phase est plus susceptible d'être réalisée dans des installations de SAR sur terre, mais elle peut aussi être accomplie par d'autres technologies, en particulier les systèmes de parcs clos flottants. Aux fins du présent rapport, on suppose qu'elle a lieu dans des SAR sur terre, et que le grossissement à la taille du marché est atteint à l'aide de différentes technologies.
- ❑ Le **grossissement à la taille du marché** fera passer le saumon d'entre 200 g et 1 kg à une taille moyenne de 5 à 6 kg. Le temps nécessaire pour passer de 1 kg à 5-6 kg est d'environ 9 à 12 mois. Le délai dépendra de la taille cible de la récolte et il faudra probablement 12 mois entiers si le poids de départ est de 250 g, et près de 9 mois s'il est de 1 kg. Il sera important de pouvoir garder la période de grossissement courte pour les rotations de récolte et d'avoir une certaine souplesse quant au moment du transfert à de nouvelles technologies. Il faut reconnaître également que le saumon a besoin de plus grands volumes d'eau de haute qualité à mesure qu'il grossit, ce qui a des répercussions sur les coûts d'investissement et d'exploitation des différentes technologies à cette étape. Par exemple, une grande proportion des investissements dans les systèmes de parcs clos est consacrée à des réservoirs, des pompes et des systèmes de filtration de plus grande capacité nécessaires pour répondre à ces besoins de grossissement, alors que les systèmes marins dépendent largement des débits d'eau naturels et des écoservices pour les fournir. Dans les systèmes basés à terre, les coûts sont supportés par le producteur, tandis que dans les systèmes marins ouverts, les « coûts » sont externes au producteur et peuvent être supportés par le public ou d'autres utilisateurs des ressources marines.

2.2 Grossissement dans des systèmes d'aquaculture en recirculation (SAR) sur terre

Les systèmes d'aquaculture en recirculation sur terre impliquent l'élevage du saumon dans des bassins sur terre, dans des bâtiments fermés pour maintenir un environnement hautement contrôlé et sécuritaire. L'arrivée d'eau est traitée à la lumière ultraviolette ou passe à travers des filtres



Figure 5 : Installation de Global Fish en Pologne produisant du saumon commercialisable depuis 2016.

spéciaux pour prévenir les maladies et la contamination qui pourraient toucher la santé des poissons. Jusqu'à 99 % de l'eau est recyclée à chaque cycle dans le système. Les déchets (comme les matières fécales et l'excès de nourriture) sont retirés de l'eau (p. ex. par des filtres à tambour) et, selon leur contenu (sel par exemple), ils peuvent se prêter au compostage, au soutien de l'aquaponie (production de cultures adjacentes) ou à la production d'énergie dans des biodigesteurs connectés. L'eau passe ensuite à travers des biofiltres (bactéries vivant dans des médias sablonneux ou plastiques) pour convertir l'ammoniac nocif généré par le poisson en une forme de nitrate acceptable. L'aération permet d'expulser le dioxyde de carbone généré par les poissons, et on ajoute de l'oxygène dans l'eau avant sa recirculation. Les systèmes d'aquaculture en recirculation sur terre sont utilisés depuis des décennies dans la production de saumoneaux (p. ex. de 75 à 100 g). Les modèles de systèmes d'aquaculture en recirculation sur terre ont été utilisés pendant encore plus longtemps pour la production d'une grande variété d'autres espèces de poissons. Depuis cinq à dix ans, ces systèmes ont progressé et produisent désormais des saumons de taille commerciale (p. ex. quatre à six kg) à l'échelle commerciale.

Certains systèmes ont produit jusqu'à 1 000 tm de saumon par année, mais les systèmes en construction tendent maintenant à produire 3 000 tm ou plus pour obtenir de meilleurs rendements financiers. Les coûts d'investissement élevés ont conduit à la construction d'installations plus grandes pour réaliser des économies d'échelle. Les plus grandes installations utilisent des conceptions modulaires pour réduire les risques associés aux défaillances de composants ou aux événements de contamination. La liste reproduite dans le tableau ci-dessous n'est qu'une petite sélection de projets de développement de SAR sur terre, puisqu'on en compte maintenant plus de 50 en exploitation, en construction ou approuvés, bien qu'ils ne soient pas conçus pour la production de saumon de l'Atlantique de taille commercialisable.

Tableau 1 : Exemples de la capacité et de la conception de systèmes SAR sur terre de production de saumons commercialisables, en date de 2019

État	Entreprise	Lieu	Capacité (tm)
7 ans de production	Shandong Oriental	Chine	2 000
6 ans de production	Danish Salmon	Danemark	2 000
6 ans de production	Atlantic Sapphire	Danemark	700
3 ans de production	Global Fish/Pure Salmon	Pologne	600+
4 ans de production	Kuterra	Canada	370
4 ans de production	Sustainable Blue	Canada	500
Construction	Atlantic Sapphire	États-Unis	Plus de 30 000
Construction	Whole Oceans	États-Unis	50 000
Construction	Nordic Aquafarms	États-Unis	Plus de 33 000

Sources : UnderCurrentNews 2019; FishFarmingExpert 2019; sites Web des entreprises.

L'échelle initiale proposée pour l'installation d'Atlantic Sapphire à Miami, en Floride, était de 30 000 tm avec une approche progressive visant à atteindre 90 000 tm. Le plan pour 2030 vient d'être porté à 220 000 tm dans une annonce faite le 8 mai 2019. Ce niveau de production fournirait plus de la moitié du marché réel du saumon aux États-Unis. L'échelle projetée est encore très spéculative puisque le site n'a pas encore terminé un cycle de production. Certains opérateurs ont révisé leurs attentes en matière de capacité (par exemple, Danish Salmon) car ils n'ont pas été en mesure d'atteindre les estimations initiales.

Exigences relatives au système :

- ❑ **Ressources côtières** – La polyvalence des systèmes SAR sur terre facilite la production de saumon dans d'autres pays aux climats plus chauds, y compris dans des conditions désertiques (Evans 2019). La nécessité de disposer d'eau douce et d'eau salée à des températures convenant au saumon (p. ex. 14 degrés Celsius) fait que les régions côtières comme celles de la Colombie-Britannique sont idéales. Quelques années peuvent être nécessaires pour trouver la bonne combinaison d'eau salée, d'eau de puits, de puits d'injection, de réseaux de transport, de terrains abordables, de besoins en énergie et d'exigences locales en matière de traitement des déchets. Ce délai d'implantation a été l'expérience de planification et construction de SAR sur terre ailleurs.
- ❑ **Électricité à faible teneur en carbone** – Le taux élevé de pompage de l'eau signifie qu'une alimentation triphasée raccordée au réseau est nécessaire, de sorte que les sites éloignés où sont actuellement exploitées certaines installations de parcs en filet marins ne fonctionneraient pas. L'électricité devrait provenir d'une source à

faibles émissions de carbone comme B.C. Hydro (environ 90 % d'hydroélectricité), compte tenu des engagements mondiaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de l'augmentation prévue des coûts de l'électricité produite à partir de combustibles fossiles avec la tarification du carbone.

- ❑ **Chaîne d'approvisionnement** – Il s'agit de la proximité de l'équipement pour la production d'aliments, des spécialistes de la santé des poissons, des usines de transformation du poisson, des entreprises de fourniture et d'entretien d'équipement et de la distribution aux marchés de consommation, y compris d'excellentes connexions par route et par air. Lorsque la proximité des marchés de consommation est citée comme un avantage des SAR sur terre aux États-Unis, on parle habituellement des coûts de transport à partir de l'Europe, alors que les produits de la Colombie-Britannique atteignent rapidement et économiquement les marchés de la côte Ouest américaine et d'autres marchés.
- ❑ **Main-d'œuvre formée** – Les producteurs auront besoin de travailleurs formés, et il y a actuellement une pénurie mondiale. Ce point est étroitement lié à la nécessité d'avoir des programmes de formation dans les universités et les collèges, en coordination avec les installations de SAR sur terre, afin d'offrir une expérience pratique.
- (Hobson 2018; G. Robinson, comm. pers. 2019)

Défis restants :

- ❑ **Qualité du poisson** – La gestion du système pour éviter les mauvais goûts est un sujet clé permanent pour les producteurs utilisant des SAR.
- ❑ **Santé du poisson** – On étudie les microbes et les bactéries, en particulier les bactéries, dans les composantes des systèmes clos, dans les tissus du saumon et dans certaines conditions de grossissement. Les microparasites et les composés de l'eau tels que les sulfures, qui peuvent atteindre des niveaux toxiques, posent d'autres problèmes. Les mesures de contrôle, y compris les filtres de prise d'eau et de recirculation, les matériaux de construction, les agents antisalissure, le traitement à l'ozone et la gestion des déchets de poisson sont tous des domaines importants de recherche.
- ❑ **Développement des stocks de géniteurs** – Cet élément mettra l'accent sur les avantages sexospécifiques, la triploïdie, la maturation tardive, la tolérance à une densité de mise en charge élevée et la faible teneur en oxygène.
- ❑ **Conception des grands réservoirs** – Des recherches sont en cours pour optimiser la vitesse de l'eau, l'emplacement et la conception des buses et d'autres mesures pour assurer une distribution adéquate de l'eau oxygénée et la collecte des déchets dans les plus grands réservoirs de différentes formes. Ce point est essentiel pour mettre les installations à l'échelle.
- ❑ **Efficacité énergétique** – Les améliorations apportées au pompage, à la filtration, à l'éclairage, au chauffage et à la climatisation de l'eau, ainsi qu'à d'autres composantes et fonctions du système, continueront de gagner en efficacité tout en maximisant le bien-être et le rendement des poissons.
- ❑ **Formulations des aliments pour animaux** – Les nouveaux développements visent à répondre aux critères de durabilité en proposant des possibilités aux

ingrédients des farines de poisson et d'huile de poisson qui sont adaptées aux besoins des SAR sur terre, y compris la collecte efficace des déchets. Pour ces systèmes, cela ne doit pas entraver le fonctionnement du biofiltre ou produire de mauvais goûts.

- ❑ **Densités de mise en charge** – Ces densités influencent les débits d'eau dans les réservoirs, la santé et le bien-être des poissons, les revenus, les charges sur les composants du système de recirculation.
- ❑ **Efficacité de la conception et de la construction** – Étant donné l'impact élevé des coûts d'immobilisation sur la viabilité de ces systèmes, des efforts continus seront déployés pour trouver des conceptions et des techniques de construction plus rentables.
- ❑ **Risques financiers** – L'ajout prévu de la production mondiale de saumon issue des SAR sur terre et d'autres technologies devrait faire baisser les prix puisque la tension entre l'offre et la demande sera atténuée (Gibson 2019). L'importance des baisses de prix pourrait se répercuter sur la rentabilité des SAR sur terre. Ce risque du marché, associé aux risques liés à la production, stimulera les efforts visant à réduire les coûts des SAR sur terre et à établir des antécédents stables pour satisfaire les investisseurs et les compagnies d'assurance.
 - (Summerfelt 2018; Føre *et al.* 2018; CtrlAqua 2018; Aspmark 2018).

2.3 Systèmes hybrides avec des sites sur terre et en mer

Des technologies de SAR sur terre sont actuellement mises au point pour être combinées à des sites de grossissement en mer (approche hybride). L'approche hybride consiste à produire des

postsaumoneaux pesant de 250 g à 1 kg. La partie terrestre offre de meilleures conditions de croissance et réduit les risques liés à une croissance précoce en mer. La période de grossissement plus courte réduit certains risques environnementaux sur les sites marins et évite la partie la plus coûteuse des systèmes terrestres pendant la phase de grossissement. Dans les systèmes de SAR sur terre, cette phase exige une capacité beaucoup plus grande, ce qui



Figure 6 : Installation de Marine Harvest Canada, Dalrymple, C.-B.

augmente les coûts d'investissement et d'exploitation. Le développement réel de la technologie hybride est axé sur la recherche de la taille appropriée des postsaumoneaux pour les transférer en mer, car un certain nombre de facteurs sont pris en compte afin d'optimiser l'utilisation des systèmes de production terrestres et marins. Quoi qu'il en soit, l'objectif est d'avoir des saumons dans le milieu marin pendant au plus un an au lieu des deux années habituelles pour une production entière en mer. Le grossissement pourrait comprendre l'élevage en parc clos flottant dans des environnements côtiers ou des technologies de production en haute mer, mais l'accent à court terme est mis sur l'utilisation de technologies de parcs en filet dans des sites marins côtiers. Certaines innovations technologiques aident à résoudre les problèmes environnementaux, notamment : les systèmes d'alimentation automatisés intégrés avec capteurs et apprentissage machine pour réduire les déchets, le remplacement des produits chimiques antisalissures par un nettoyage à haute pression à l'eau de mer des parcs en filet, l'amélioration des matériaux des filets pour éviter les échappées et augmenter le débit d'eau dans le système, et l'utilisation de véhicules et robots sous-marins télécommandés (VTG) pour différentes tâches. Le pou du poisson fait l'objet d'une attention particulière pour les développements visant : les vaccins contre le pou du poisson, les jupes anti-pou du poisson, les filets « tuba » qui maintiennent le saumon sous le pou du poisson dans la colonne d'eau tout en lui permettant de remonter à la surface pour respirer, la détection et la surveillance des poissons individuels, des poissons plus propres et des viviers associés aux technologies CleanTreat qui nettoient les effluents après traitement, ainsi que des traitements par ultrasons et par résonance (BCSFA 2018). Le tableau ci-après présente une petite sélection de développements technologiques hybrides à l'échelle mondiale.

Tableau 2 : Exemples de développements de systèmes hybrides terrestres et marins, en date de 2019

Taille des saumons	Entreprise	Lieu	Capacité (tm)
Plus de 150 g	Grieg	Adamselv, Norvège	1 600
250 g	Norway Royal Salmon	Hasvik, Norvège	2 000
500 g	Bakkafrost	Îles Féroé	7 000
650 g	Mowi	Îles Féroé	1 000
500 g	Leroy Seafood Group	Hordaland, Norvège	4 000
700 g	Salmones Magallanes	Chili	Expansion
150 g	Mowi	C.-B., Canada	1 000
300 g	Cooke Aquaculture	N.-B., Canada	Prévue

Sources : UnderCurrentNews 2019; HatcheryInternational 2019; sites Web des entreprises.

Exigences relatives au système :

- **Exigences sur terre** – Cette partie du cycle de production dans les systèmes hybrides comporte des exigences équivalentes à celles dont il a déjà été question pour les systèmes basés à terre. Il ne faut pas oublier que la production de postsaumoneaux nécessite généralement de l'eau salée, mais pas dans les îles Féroé, par exemple, de sorte que les exigences en matière de prise d'eau et

- d'évacuation peuvent mener à choisir des emplacements différents (adjacents à la mer plutôt qu'à l'intérieur des terres) comparativement à certaines écloseries terrestres de SAR qui utilisent seulement de l'eau douce. Il sera également nécessaire de choisir des emplacements près de la mer et à proximité des sites de grossissement pour optimiser le transfert du saumon.
- ❑ **Transfert aux sites marins** – Ce transfert sera semblable aux transferts classiques d'aujourd'hui, mais on étudie actuellement le stress des poissons de plus grande taille afin d'optimiser les procédures. De nouveaux navires plus gros (pas seulement pour les transferts) sont en cours de conception pour desservir les sites marins et une infrastructure côtière doit être mise en place à cette fin.
 - ❑ **Exigences en mer** – Les exigences relatives au système hybride pour les postsaumoneaux sont semblables aux exigences réelles relatives aux parcs en filet. Selon les limites réglementaires pour la biomasse par site ou par baie, la disponibilité d'un nombre suffisant de sites pour la mise en charge en rotation des postsaumoneaux plus gros nécessitera une nouvelle planification de la production, qui est possible en Colombie-Britannique.

Défis pour la recherche :

Les défis pour la recherche relevés pour le précédent SAR sur terre s'appliquent au système hybride, même s'ils sont moins prononcés puisque l'approche hybride n'a pas besoin d'amener le saumon à la taille du marché sur terre. Les écloseries utilisant des SAR sur terre ont déjà beaucoup d'expérience en production de saumoneaux d'environ 150 g pour le grossissement en parcs en filet aujourd'hui, de sorte que les systèmes hybrides doivent étendre cette production entre 200 et 500 g ou plus et réussir à les transférer en mer. Grieg Seafood, en Norvège, a mis des saumoneaux de 400 g en mer en 2018 et a récolté en moyenne des saumons de 6 kg après 11 mois (F. Mathisen, comm. pers. 2019). Voici certains des défis particuliers que pose le système hybride :

- ❑ **Transferts** – Le transfert des poissons des sites terrestres aux sites marins peut causer du stress aux poissons et la recherche est axée sur la détermination des meilleures conditions (p. ex. température, salinité, alimentation, taille des poissons et génétique) ainsi que de nouveaux systèmes de manutention pour que les transferts causent un stress réduit.
- ❑ **Pou du poisson** – L'utilisation de parcs en filet marins pour le grossissement continuera d'exiger des méthodes de lutte contre le pou du poisson, bien que la présence de poux du poisson et les risques d'épidémie soient grandement réduits lorsque les postsaumoneaux plus gros passent moins de temps en mer. La lutte contre le pou du poisson n'est pas seulement une exigence pour l'exploitation des sites marins, elle permet aussi d'éviter une réduction de la taille de la récolte, et donc des revenus. Le coût de la gestion du pou du poisson pourrait continuer d'augmenter à mesure que la résistance, le bien-être des poissons et les effets du traitement sur l'environnement poussent les chercheurs à étudier des solutions de rechange plus coûteuses. L'utilisation de jupes (barrières supplémentaires à l'extérieur des parcs en filet) et d'autres mesures

- continueront d'évoluer pour mieux protéger les saumons contre le pou du poisson et les interactions avec les espèces sauvages.
- ❑ **Blooms phytoplanctoniques** – Ces phénomènes (algues *Heterosigma*) peuvent demeurer un problème pour les parcs ouverts. Bien que l'assurance puisse couvrir certaines pertes, ils ont finalement un coût pour les exploitants. Les diffuseurs d'oxygénation et d'aération pour les remontées d'eau structurées (également pour prévenir le pou du poisson) sont prometteurs contre les blooms phytoplanctoniques.
 - ❑ **Autres impacts environnementaux** – Les interactions avec les espèces sauvages, les échappées, les effluents de déchets et d'autres problèmes environnementaux associés aux sites des parcs en filet marins continueront de faire l'objet d'efforts de recherche.
- (Aspmark 2018; Bjorndal et Tusvik 2017)

2.4 Systèmes de parcs clos flottants

Les systèmes de parcs clos flottants offrent les avantages des systèmes clos tout en conservant certains des avantages de la croissance en mer. Il existe plusieurs variantes des modèles avec des parois solides et flexibles, et des mécanismes de collecte des déchets. Les principaux avantages de ce système sont la collecte de la plupart des déchets d'aliments et de fèces, l'utilisation rentable des eaux environnantes et les obstacles aux maladies, aux parasites, aux interactions avec les espèces sauvages et aux échappées. La croissance et la survie du saumon dans les systèmes de parcs clos flottants se sont révélées supérieures à celles des parcs en filet ouverts, et il n'y a eu aucun problème de pou du poisson. Ces systèmes conviennent mieux aux sites abrités dans des environnements à plus faible énergie, mais certains sont capables de fonctionner dans des endroits plus exposés. La plupart des systèmes sont fixes, mais les versions mobiles utilisant des navires maritimes neufs ou modernisés répondent également aux critères de parcs clos flottants. Tous les systèmes comportent le pompage de l'eau à des profondeurs suffisantes (p. ex. 12 m ou plus) pour satisfaire à la réglementation concernant le pou de mer, les algues, la température et aux autres exigences. Dans la plupart des systèmes opérationnels, les saumoneaux des systèmes sur terre sont transférés dans les systèmes de parcs clos flottants pour la production de postsaumoneaux (1-2 kg), puis le grossissement à la taille du marché a lieu dans des systèmes ouverts. Toutefois, certains systèmes sont maintenant utilisés pour la croissance du saumon jusqu'à la pleine taille commerciale



Figure 7 : Système Neptune 3 d'Aquafarm Equipment.

(p. ex. le système Neptune). Cermaq prévoit introduire un système dans les exploitations de la Colombie-Britannique cette année afin de produire des postsaumoneaux de 2 kg dans un système à parois flexibles. La technologie des « œufs » conçue par Hauge Aqua, achetée par Marine Harvest et bénéficiant de permis d'exploitation en Norvège, pourrait être mise en œuvre cette année. Elle offre une couverture de surface pour une fermeture complète, un système de filtration de l'eau, une prise d'eau en profondeur pour éviter le pou du poisson, un système de collecte des déchets et un système d'alimentation unique qui améliore la conversion alimentaire.

La capacité de la plupart des systèmes varie d'environ 225 à 1 000 tm par bassin et ceux-ci peuvent être combinés en réseaux pour produire de plus grands volumes. Les concepts impliquant des navires reconstruits produisent actuellement environ 300 tm, mais ils sont sur le point de devenir beaucoup plus grands et pourraient dépasser 4 500 tm à terme. L'évaluation (plus loin dans ce rapport) se concentrera sur leur utilisation pour le grossissement jusqu'à la taille commerciale, mais il est probable qu'ils seront intégrés aux réseaux de parcs en filet ouverts existants comme étape intermédiaire (c.-à-d. croissance des postsaumoneaux).

Tableau 3 : Exemples de la capacité et de la conception d'installations utilisant des systèmes de parcs clos flottants, en date de 2019

État	Entreprise	Lieu	Capacité (tm)
5 ans de production (PS)	Aquafarm Equipment	Norvège	Plus de 1 000 par bassin
7 ans de production (TM)	AkvaFuture	Norvège	Plus de 1 000 par bassin
7 ans de production (TM)	AgriMarine*	Canada	Plus de 1 000 par bassin
4 ans de production (PS)	Preline	Norvège	300 par navire
Mise à l'essai (TM)	Hauge Aqua	Norvège	1 000 par œuf
Mise à l'essai (TM)	Botngaard System	Norvège	400
Mise à l'essai (TM)	Seafarm Systems	Norvège	1 000

Sources : UnderCurrentNews 2019; FishFarmingExpert 2019; sites Web des entreprises.

PS=Production de postsaumoneaux, TM=Production de saumon de taille du marché * Saumon arc-en-ciel élevé produit dans un site d'eau douce à faible énergie.

Exigences relatives au système :

- ❑ **Ressources côtières** – Ces ressources doivent être situées dans des zones côtières abritées ayant accès à des milieux d'eau salée appropriés (p. ex. température, courants, qualité de l'eau). Il y a un peu plus de souplesse pour ces sites que pour les parcs en filet ouverts, car les emplacements plus chauds peuvent être améliorés en pompant de l'eau froide sous le bassin et les sites sujets aux blooms phytoplanctoniques peuvent quand même être acceptables. Des terrains peuvent être nécessaires pour le traitement des déchets.
- ❑ **Source d'alimentation** – Il faut une alimentation triphasée en courant raccordée au réseau, de sorte que les sites éloignés où les activités des parcs en filet marins

fonctionnent actuellement au diesel ne répondraient pas aux exigences. L'électricité devrait provenir d'une source à faibles émissions de carbone, compte tenu des engagements mondiaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

- ❑ **Chaîne d'approvisionnement et accès** – La connexion à l'alimentation (intrants) et au marché de consommation (extrants) exige une excellente connexion par route ou par air.

Défis restants :

- ❑ **Élimination des déchets** – Les technologies de séparation des déchets et des eaux sortantes continueront de s'améliorer. La recherche visera à augmenter la quantité de matières solides captées, à réduire au minimum la quantité d'éléments nutritifs dissous (p. ex. azote et phosphore) et à mettre au point des méthodes de traitement et d'utilisation des déchets sur terre.
- ❑ **Débit d'eau et taille du bassin** – Des recherches sont en cours pour optimiser le pompage de l'eau dans des bassins de différentes formes et de plus grande taille. La conception réelle des bassins des systèmes de parcs clos flottants a tendance à être plus petite que ce que l'industrie souhaiterait pour l'exploitation commerciale, et il s'agit donc d'un défi à relever.
- ❑ **Conception structurale** – Il faudra étudier les matériaux utilisés pour construire les bassins des systèmes de parcs clos flottants pour trouver des options rigides et flexibles. La forme et la taille des bassins, ainsi que des passerelles, des plateformes et d'autres éléments fonctionnels, évolueront.
- ❑ **Saumon de taille du marché** – On a plus d'expérience des systèmes de parcs clos flottants pour la production de postsaumoneaux et d'autres espèces de taille commercialisable, et les efforts se concentrent maintenant sur le perfectionnement des méthodes de production du saumon de l'Atlantique de taille commercialisable. - (Føre et al, 2018).

2.5 Systèmes en haute mer

Les systèmes en mer ont été mis à l'essai au Canada à la fin des années 1990 avec le lancement des cages d'Ocean Spar au Nouveau-Brunswick et des modèles norvégiens déployés en Colombie-Britannique (Ryan 2004). Les premiers modèles ne convenaient pas à une production commerciale et de nombreuses améliorations ont été apportées à l'échelle mondiale depuis. Les producteurs des îles Féroé ont été des chefs de file dans la lutte contre les conditions marines difficiles, et les producteurs irlandais se sont éloignés de la côte en réponse à la forte opposition locale aux projets d'aménagement près des côtes. Au cours des deux dernières années, l'attention a surtout été placée sur la Norvège et la Chine, où l'innovation s'est rapidement accélérée en réponse aux politiques de soutien.

Il existe divers concepts pour la salmoniculture en haute mer qui permettent chacun de répondre à certaines applications extracôtières. La variété des modèles comprend des systèmes ouverts et semi-fermés, des options flottantes et submersibles, ainsi que des systèmes fixes et mobiles. Bien que les définitions des milieux extracôtiers soient quelque

peu floues, tous les modèles sont conçus pour fonctionner dans des eaux d'une profondeur minimale de 20 mètres et avec une hauteur de vague minimale d'un mètre. Dans le contexte de la Colombie-Britannique, les eaux beaucoup plus profondes (100-200 m) et les vagues plus hautes (au moins plus de 3 m et souvent plus de 6 m) seront courantes et les systèmes devront fonctionner lors d'événements extrêmes. La conception de la structure qui contient les saumons est essentielle, mais la conception et la logistique permettant de desservir les sites plus éloignés sont tout aussi essentielles. Certains modèles prévoient des hébergements pour le personnel, tandis que d'autres reposent sur une automatisation complète, de sorte que les travailleurs ne sont pas nécessaires pour effectuer les opérations quotidiennes. Le transport vers le site et en provenance de celui-ci et l'infrastructure sur terre sont importants, car les défis sont plus grands pour la production en haute mer.

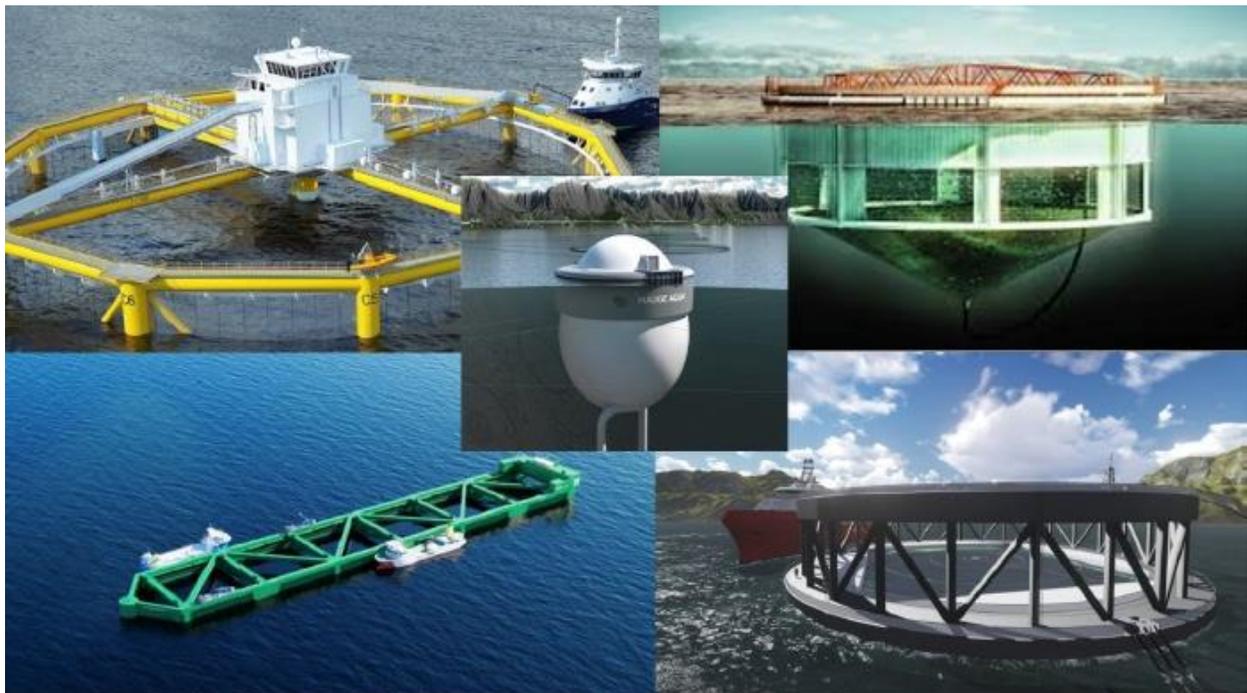


Figure 8 : En haut à gauche SalMars Ocean Farm 1, en haut à droite MNH Aquatraz, au milieu Marine Harvest Egg, en bas à gauche Nordlaks Havfarm 1, en bas à droite NRS/Aker ASA Arctic Farm (Source : Norwegian Fisheries Directorate 2019).

Le modèle SalMars Ocean Farm 1 a une capacité d'environ 6 500 tm et sa taille peut être doublée. Ocean Farm 1 est à mi-parcours de sa période d'essai d'un an et affiche de bons taux de croissance et une faible mortalité (FAO 2019). Le modèle Nordlaks Havfarm 1 sera probablement le plus long navire du monde avec 430 mètres de long et une capacité de 10 000 tm de saumon. Ramsden (2019) a indiqué que la demande de permis d'exploitation de MOWI en Norvège a été approuvée pour sa station de recherche extracôtière « Blue Revolution Centre » et deux concepts de technologie de production en haute mer – les concepts « œuf » et « donut ». Les conceptions d'aujourd'hui sont très différentes et après quelques années d'expérience opérationnelle, les entreprises décident des options qu'elles préfèrent. Ensuite, on pourra en construire beaucoup d'autres étant donné que la croissance de l'industrie salmonicole tirera parti de l'abondance de l'espace disponible.

Tableau 4 : Exemples de la capacité et de la conception d'installations utilisant des systèmes en haute mer, en date de 2019

État	Entreprise	Lieu	Capacité (tm)
2 ans d'exploitation	Propriétaire : SalMar	Norvège	6 500
1 an d'exploitation	Rizhao Wanzefeng Fisheries	Chine	1 000
< 1 an d'exploitation	Propriétaire : Midt-Norsk Havbruk	Norvège	1 000
Début en 2019	De Maas design	Chine	3 750
Début en 2020	Propriétaire : Norway Royal Salmon	Norvège	3 000
Début en 2020	Propriétaire : Nordlaks	Norvège	10 000

Sources : UnderCurrentNews 2019; FishFarmingExpert 2019; sites Web des entreprises.

Exigences relatives au système :

- ❑ **Emplacements extracôtiers** – Ces emplacements ne doivent pas être en conflit avec d'autres utilisateurs des ressources marines, y compris le transport maritime, les zones protégées, les pêches, le pétrole et le gaz et les autres activités d'extraction des ressources. Dans de nombreux pays, cela peut représenter des contraintes, mais la côte de la Colombie-Britannique offre de nombreuses options.
- ❑ **Qualité de l'eau** – Cette exigence porte sur un profil de température et des courants appropriés, tout en restant exempt de contaminants et de menaces pour la santé des poissons.
- ❑ **Accès au transport** – Les sites idéaux se trouvent dans un rayon de 25 milles marins avec une navigation fiable toute l'année entre l'infrastructure terrestre et l'infrastructure extracôtière. La glace flottante et les tempêtes majeures (p. ex. ouragans et typhons) peuvent constituer des limites dans des régions de certains pays, mais de vastes zones au large de la côte de la Colombie-Britannique conviennent.
- ❑ **Proximité** – Il est important de réduire au minimum le transport des intrants de la chaîne d'approvisionnement (c.-à-d. l'équipement pour la production d'aliments et les fournisseurs de biens et services aquacoles) et des extrants (c.-à-d. la transformation et la distribution aux marchés).
- (CEA 2018)

Défis restants :

- ❑ **Systèmes autonomes** – Ce système doit intégrer des technologies afin de devenir moins dépendant du travail pour l'alimentation, la surveillance, la collecte des poissons morts, le nettoyage et la réparation des filets, entre autres fonctions régulières. Le guidage, la navigation et le contrôle des véhicules sous-marins téléguidés (VTG) et de véhicules sous-marins autonomes (VSA) font l'objet de recherches intenses pour l'aquaculture en haute mer.

- ❑ **Énergie à distance** – La recherche est axée sur les systèmes de production qui intègrent l'énergie solaire, éolienne, houlomotrice ou hydraulique pour alimenter les pompes, les capteurs, la robotique et les fonctions submersibles nécessaires à l'exploitation de systèmes extracôtiers autonomes.
- ❑ **Surveillance et aide à la décision** – Pour maintenir l'intégrité de la structure et la santé des poissons dans des conditions difficiles, y compris les tempêtes. Ces systèmes doivent être robustes et capables d'évaluer les conditions de l'ensemble de la ferme afin de déterminer le calendrier et le rendement des opérations clés.
- ❑ **Conception de la structure** – Les efforts se concentrent sur les composants flexibles et rigides qui assurent la fonctionnalité et la sécurité dans les endroits éloignés. Il s'agit également de formes de rechange moins vulnérables aux conditions en haute mer et de technologies qui permettent aux systèmes submersibles d'éviter les tempêtes tout en respectant les exigences en matière de santé et de rendement des poissons.
- ❑ **Conception des bateaux** – Les viviers qui transportent les poissons vivants, les bateaux de ravitaillement et les bateaux de service pour le traitement des poissons et l'entretien des structures sont tous construits spécialement à cette fin. Ils doivent répondre à des normes plus rigoureuses en matière de sécurité et de fonctionnalité pour faire face à un plus large éventail de conditions environnementales tout en maintenant la sécurité des structures et du personnel. La recherche examine la taille et la forme des navires, les raccordements (p. ex. grues, tuyaux, plateformes) avec les structures aquacoles extracôtieres et les capacités de positionnement dynamique des navires pour maintenir leur position comparativement à ces structures. Une partie de cette technologie est adaptée du transport maritime, de l'industrie du pétrole et du gaz et d'autres applications maritimes.
- ❑ **Sécurité** – Doit être assurée conformément aux lois sur la santé et la sécurité au travail, qui ne sont pas nécessairement élaborées pour l'aquaculture en haute mer. Par exemple, le *Règlement sur la santé et la sécurité au travail dans la zone visée par les Accords sur le pétrole et le gaz extracôtiers* est élaboré conformément au *Code canadien du travail* et met l'accent sur les activités pétrolières et gazières. Il précise les exigences en matière de formation et d'éducation du personnel, de certification des systèmes et de l'équipement, de plans d'évaluation des risques, de surveillance et de contrôles, de tenue des dossiers, de transport des passagers, de protection contre les chutes, de sécurité en plongée, et d'autres exigences doivent être élaborées pour l'aquaculture en haute mer.
- ❑ **Santé du poisson** – Il faut mieux comprendre les facteurs clés dans les environnements extracôtiers. La mise en charge, l'alimentation, le traitement des maladies et des parasites doivent être conçus pour cet environnement exposé à des courants plus forts et des vagues plus hautes.
- ❑ **Interactions avec les espèces sauvages** – Contrairement aux environnements côtiers où est pratiquée la plus grande partie de la production aquacole aujourd'hui, l'environnement extracôtier abrite différents mammifères marins et prédateurs et il est nécessaire de comprendre comment ils interagissent avec ces systèmes, surtout lorsqu'ils seront plus grands et plus nombreux.
- ❑ **Incertitude réglementaire** – Les essais pilotes aident les organismes de réglementation à comprendre et à surveiller ces systèmes, puis à élaborer des

cadres réglementaires appropriés. Les questions clés concernent la propriété du site, l'organisme qui accordera les approbations, le processus de demande et les exigences à respecter.

- (Exposed 2018; Bjelland *et al.* 2015, Fard et Tedeschi 2018; RNCAN 2018; Holmen *et al.* 2017)

2.6 Technologies de soutien

Il existe un large éventail de technologies présentant des avantages transversaux pour les quatre systèmes de production de rechange. Ces technologies ne sont pas officiellement évaluées en fonction des critères environnementaux, sociaux et économiques, mais on s'attend à ce qu'elles améliorent le rendement de façon générale. Certains des développements récents les plus prometteurs sont décrits brièvement ci-après et quelques possibilités canadiennes sont mises en évidence.

Capteurs et systèmes de contrôle – La collecte traditionnelle des données de surveillance et de diagnostic est en cours de numérisation et analysée en temps réel pour permettre de prendre des décisions de gestion rapides. Des mesures de la température, des lectures des taux de dioxyde de carbone et d'oxygène dissous, des enregistrements vidéo, des signes de maladie, des indicateurs de stress et de nombreuses autres données importantes provenant de l'environnement en croissance sont captées sur les sites de grossissement et surveillées dans les centres de données. Cela permet de déceler rapidement les problèmes et de réagir plus vite. Les « données massives » peuvent alors être utilisées pour déterminer les tendances et les facteurs de performance, soutenir la prise de décisions et relier les mesures biologiques à la performance économique. Les capteurs, les systèmes d'alimentation et les ordinateurs sont reliés par des réseaux sans fil qui forment l'Internet des objets pour la production aquacole. Certaines données sont déjà disponibles sur les appareils mobiles, ce qui permet aux gestionnaires d'assurer la surveillance de n'importe où. Les logiciels d'intégration des systèmes et d'utilisation de l'intelligence artificielle conduisent à la prise de décisions automatique par des systèmes de production avancés. De nombreuses entreprises y contribuent et certaines d'entre elles développent des solutions intégrées.

Élevage « intelligent » – Les capteurs et l'analyse des données sont combinés pour offrir un élevage personnalisé de poissons. Cela peut mener à une alimentation et à des traitements précis pour chaque poisson en fonction de sa santé et d'une série de mesures. BioSort et Cermaq ont uni leurs efforts afin de développer iFarm, qui utilise la reconnaissance des taches et autres caractéristiques morphologiques pour déterminer les poissons et suivre leur santé. Par exemple, au lieu de traiter tous les poissons contre le pou du poisson, seuls les individus qui atteignent les seuils fixés seront traités. Ce type de technologie permet d'éviter la suralimentation et la sous-alimentation de chaque poisson, et chaque poisson peut être sélectionné pour la récolte en fonction de sa taille et de sa disponibilité.

Innovation en matière d'alimentation pour animaux – Les fournisseurs d'aliments pour animaux doivent continuellement développer des produits qui répondent aux besoins

changeants des nouveaux systèmes de production. Les formulations d'aliments pour animaux sont conçues de manière à apporter certains bienfaits pour la santé afin de lutter contre les maladies, de fournir un régime alimentaire adéquat dans des conditions environnementales extrêmes et d'inclure de nouveaux ingrédients tels que des immunostimulants, des antioxydants ou des stimulants métaboliques. Les aliments pour animaux sont conçus pour accroître l'efficacité (c. à d. l'indice de conversion), améliorer le contrôle de la qualité et rendre les chaînes d'approvisionnement plus durables. Les plus importants fournisseurs d'aliments pour animaux au Canada, dont Skretting (bureaux à Saint Andrew's, au Nouveau-Brunswick, et à Vancouver, en Colombie-Britannique) et Corey Aquafeeds (Fredericton, au Nouveau-Brunswick), demeurent à l'avant-garde de la recherche sur les aliments pour animaux et fournissent des aliments pour animaux à des clients dans le monde entier.

Transport et logistique – Les navires et conteneurs maritimes sont de plus en plus spécialisés pour répondre aux besoins des nouveaux systèmes de production. Des systèmes de positionnement et des grues de pointe sont mis au point parallèlement aux besoins des nouveaux navires. Les bateaux de travail et les bateaux-puits sont équipés de capacités de manutention et de traitement du poisson, et les navires de pêche seront dotés d'aménagement de transformation à bord pour que le saumon soit prêt à être commercialisé à leur retour à terre. D'autres navires sont conçus spécialement pour les sites exposés et en mer, y compris l'Arctique. La firme internationale AKVA group (bureau satellite à St. George, au Nouveau-Brunswick) livre une barge à Arctic Offshore Farming (Norway Royal Salmon) pour son utilisation au-dessus du cercle polaire. Elle peut fonctionner par vagues de 7,5 mètres et dispose d'une capacité d'alimentation de 800 tonnes pour alimenter des systèmes de production submersibles. Le Canada compte un certain nombre d'entreprises de construction de navires et de bateaux qui possèdent une vaste expérience de la conception de modèles personnalisés pour des applications spécialisées.

Filets et amarres – Au fur et à mesure que les systèmes de production se déplacent vers des environnements exposés et en haute mer, il est nécessaire d'innover dans les matériaux de confinement (p. ex. acier, HPDE, Dynema, AquaGrid et autres filets). Ils offrent résistance, rigidité, réduction des risques d'échappées, réduction de l'encrassement et de l'entretien, et adaptation à l'intégration des systèmes de surveillance. L'équipement d'amarrage peut se présenter sous des formes souples et rigides et il est essentiel de réduire les risques associés à la fatigue et à la corrosion des métaux, ainsi qu'à la défaillance de composants qui pourraient entraîner une défaillance potentielle des systèmes. Les entreprises mettent au point des produits fabriqués à partir de matériaux plus légers, avec des durées de vie accrues, une installation plus rapide et une certification aux normes internationales. Établi à Campbell River, en Colombie-Britannique, Poseidon OceanSystems est un fournisseur de ces produits et consacre près de la moitié de son personnel à la recherche et au développement, ce qui a donné lieu à plus d'une douzaine d'innovations de produits et à quatre (4) brevets ces dernières années.

Robotique – Les robots semi-automatiques ou entièrement automatiques ainsi que les véhicules télécommandés exécutent désormais un certain nombre de tâches auparavant

difficiles et coûteuses. L'inspection des filets et des amarres à la recherche de dommages est traditionnellement effectuée par les plongeurs, mais le temps de plongée et les précautions de sécurité en font un défi. Le nettoyage et la réparation des filets et des autres composants peuvent être effectués par des robots, tout comme la collecte et l'analyse des échantillons de sédiments sous les filets ou à l'intérieur des structures de confinement.

Stocks de géniteurs spécialisés – Il devient de plus en plus important que les nouveaux systèmes permettent de produire des saumons présentant certaines caractéristiques de fort rendement. Les principales caractéristiques sont le sexe, la maturation tardive, la tolérance à moins d'oxygène, la survie dans des environnements à haute énergie (p. ex. en haute mer), entre autres. Les producteurs canadiens de saumon, les universités, Génome Canada (centres de la Colombie-Britannique et de l'Atlantique) et des entreprises de recherche privées participent à ces développements.

3. Critères relatifs à la technologie de l'aquaculture durable

3.1 Évaluation de la technologie

L'innovation en aquaculture vise à améliorer le rendement des systèmes de production réels et, en fin de compte, le succès des exploitants. Les innovations peuvent améliorer les résultats privés et publics des exploitations salmonicoles. Les améliorations des résultats pour le secteur privé peuvent être de meilleures conceptions qui permettent de réduire les coûts d'investissement ou d'exploitation, et des améliorations qui permettent d'accroître les revenus grâce à une plus grande quantité et à une meilleure qualité des produits. Des conceptions de systèmes qui réduisent les déchets rejetés dans l'environnement, évitent les impacts sur d'autres organismes sauvages, réduisent au minimum la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre, et procurent plus d'avantages sociaux et économiques à la société, peuvent améliorer les résultats pour le public.

Chacun des quatre systèmes de production décrits dans le présent rapport est évalué en fonction d'une série de critères regroupés en thèmes environnementaux, sociaux et économiques. On juge qu'il est important d'évaluer ces critères, puisqu'ils se rapportent aux principaux enjeux associés à la production salmonicole à ce jour. Ils n'apparaissent pas en ordre d'importance, car aucun n'a plus de poids qu'un autre et tous sont considérés comme prioritaires pour les nouvelles technologies à aborder. Après une brève description des critères ci-après, les forces et les faiblesses des quatre systèmes de production seront évaluées en fonction de ces critères.

L'évaluation est prospective puisqu'il s'agit de systèmes de production relativement nouveaux qui n'ont pas encore été largement adoptés. Comme pour toutes les perspectives sur les nouvelles technologies, une certaine incertitude entoure leur performance à grande échelle et à long terme. Les aspects des quatre technologies de production qui font l'objet d'une plus grande incertitude et posent un plus grand risque seront indiqués. Il faut reconnaître qu'il existe de nombreux modèles et sites aquacoles pour chacun des quatre systèmes de production, présentant tous des capacités de rendement quelque peu

différentes, de sorte que l'évaluation donne une idée générale du rendement prévu de chaque système de production. Enfin, l'innovation progresse rapidement dans les quatre technologies de production et cette évaluation ne représente qu'un point dans le temps et devrait être revue à mesure que des progrès substantiels sont réalisés.

3.2 Critères environnementaux

Les nouvelles technologies visent à répondre à plusieurs critères environnementaux clés. Ce qui suit explique brièvement l'essence de chaque critère afin que les avantages des différentes capacités des systèmes soient clairs. Les cinq premiers critères environnementaux ont trait aux extrants de la production de saumon et les trois derniers aux intrants.

- ❑ **Échappées marines** – Les nouvelles technologies doivent éviter les échappées de saumons des systèmes de production, y compris les échappées pendant les activités de transfert et de transport du saumon. Les saumons qui se sont évadés peuvent toucher les populations de saumons sauvages en leur faisant concurrence pour la nourriture et l'habitat, et avoir une incidence sur ces populations par le croisement.
- ❑ **Maladies du saumon** – Le transfert de maladies et d'agents pathogènes entre le saumon d'élevage et les populations sauvages doit être évité. Le pou du poisson est actuellement le principal problème, bien que d'autres problèmes soient préoccupants (p. ex. le réovirus pisciaire, la maladie amibienne des branchies), tandis qu'il est également important d'éviter les maladies potentiellement résistantes et nouvelles à l'avenir.
- ❑ **Effluent de déchets** – Il faut éviter les effets sur l'écosystème des fèces de saumon et des aliments qui tombent sur le fond marin. Ces dépôts de déchets entraînent un appauvrissement en oxygène dans l'eau au fur et à mesure qu'ils se décomposent, ce qui peut à la fois supprimer la présence d'organismes marins désirables et favoriser la présence d'organismes indésirables (p. ex. les proliférations d'algues). Pour certaines pêches commerciales, on craint que les effluents nuisent à l'habitat, à la survie et à la productivité des stocks halieutiques. Dans les systèmes SAR sur terre, il faut être prudent pour rejeter de l'eau salée afin de protéger les ressources d'eau douce et marines.
- ❑ **Rejet de produits chimiques** – Le rejet de substances et de produits chimiques nocifs dans le milieu marin doit être évité. Il s'agit notamment des agents antisalissures utilisés pour garder les cages propres, des produits chimiques utilisés pour le traitement des maladies, et des ingrédients alimentaires. À mesure qu'ils se dispersent dans l'environnement, ils peuvent avoir des effets négatifs sur d'autres organismes.
- ❑ **Interactions avec la faune** – Il faut éviter les interactions avec les prédateurs marins (p. ex. les phoques et les otaries à la recherche de saumon pour se nourrir) ainsi qu'avec les oiseaux de mer. La faune peut avoir une incidence sur les structures d'élevage et même le saumon d'élevage, ou bien elle peut être tuée par les exploitants selon les protocoles visant à protéger leurs structures d'élevage et leurs stocks.

- ❑ **Consommation d'eau** – La consommation non durable d'eau doit être évitée. Le prélèvement d'eaux usées ou leur retour vers des sources sensibles, en particulier les réserves limitées d'eau douce comme les aquifères, peut épuiser de précieuses ressources en eau au fil du temps.
- ❑ **Consommation d'énergie** – Il faut éviter d'utiliser de l'énergie à haute intensité énergétique, surtout si elle provient d'hydrocarbures et de sources non renouvelables. Les sources d'énergie renouvelable et l'électricité produite par B.C. Hydro (90 % d'hydroélectricité) et raccordée au réseau sont les meilleures. L'élevage du saumon de l'Atlantique a besoin d'énergie pour la construction, l'exploitation des systèmes et le transport des produits à destination et en provenance du site. Au fur et à mesure que les efforts de lutte contre le changement climatique s'accroîtront, les types et les quantités d'énergie utilisés deviendront des facteurs importants à prendre en considération. Les résultats de l'analyse du cycle de vie englobant tous les aspects de la construction, de l'exploitation et de la livraison sur le marché (c.-à-d. de l'œuf à l'assiette) constituent la meilleure base pour comparer les technologies de production.

3.3 Critères sociaux

Il est essentiel de résoudre les tensions de longue date entre les producteurs salmonicoles et d'autres groupes d'intérêts. Le respect des critères environnementaux et économiques fait partie de la résolution des conflits, mais les critères sociaux vont au-delà. Mettant l'accent sur les perspectives locales, mondiales et des consommateurs, l'évaluation souligne comment l'utilisation des nouvelles technologies peut aider à renforcer le soutien et la confiance à l'égard de la production salmonicole.

- ❑ **Soutien local** – Les acteurs locaux de la salmoniculture en Colombie-Britannique qui se préoccupent de la salmoniculture comprennent les peuples autochtones, d'autres résidents près des sites de production (permanents ou saisonniers), les pêcheurs commerciaux, les pêcheurs sportifs, les exploitants touristiques, les employés de l'aquaculture et les entreprises locales qui bénéficient du développement économique. Le soutien local apporté aux nouvelles technologies qui génèrent de la *confiance* augmentera généralement pour offrir les avantages de l'aquaculture tout en réduisant au minimum les effets négatifs. La compréhension, l'engagement, le partenariat et la transparence en ce qui concerne l'utilisation des nouvelles technologies renforceront la confiance.
- ❑ **Soutien mondial** – Les organisations non gouvernementales de l'environnement (ONGE) peuvent avoir une présence locale, mais elles travaillent souvent plus généralement à améliorer les opérations aquacoles à l'échelle nationale et internationale. Les certifications durables de tierces parties pour les produits aquacoles, comme la certification pour le saumon d'élevage de l'Aquaculture Stewardship Council, le programme des pratiques aquacoles exemplaires de la Global Aquaculture Alliance, le guide de surveillance des produits de la mer du Monterey Bay Aquarium et la norme d'aquaculture biologique de l'Office des normes générales du Canada, y sont étroitement liées. Ces certifications aident à

l'atteinte des autres objectifs sociaux (c.-à-d. le soutien local et le soutien des consommateurs), tout comme le soutien des ONGE peut le faire.

- ❑ **Soutien des consommateurs** – Les producteurs de la Colombie-Britannique expédient leurs produits dans plus de 70 pays, mais les principaux marchés sont les États-Unis et le Canada. De nombreux consommateurs sont sensibles aux prix et ne sont pas nécessairement au courant des problèmes liés à la production classique du saumon. L'écoétiquetage peut informer les détaillants et les consommateurs des choix disponibles, mais les résultats sont mitigés (Roheim *et al.* 2011; Rudd *et al.* 2011; Hallstein et Villas-Boas 2013). Au fur et à mesure que la production augmente grâce aux technologies de rechange, il peut être important d'avoir accès à certains marchés, y compris les détaillants, les chaînes de services alimentaires ou les pays. Les perspectives des consommateurs évolueront également au fur et à mesure que la production issue des technologies de rechange augmentera et que ces produits ne seront plus limités.

3.4 Critères économiques

Les nouvelles technologies aquacoles modifieront l'économie de la production de saumon, ce qui aura des répercussions tant pour les participants à l'aquaculture que pour le grand public. Les participants à l'aquaculture, y compris les entreprises privées, les collectivités autochtones, les établissements de crédit, les compagnies d'assurance et le gouvernement, seront préoccupés par le rendement financier. Les collectivités locales et régionales, les trois ordres de gouvernement et le grand public seront davantage préoccupés par les répercussions économiques plus vastes que les intérêts des participants à l'aquaculture.

- ❑ **Rentabilité** – Les nouvelles technologies doivent être rentables, sinon elles ne seront pas (largement) adoptées. La rentabilité se traduit par le soutien des investisseurs aux nouvelles technologies et, en fin de compte, par des opérations réussies qui génèrent des profits sur plusieurs années.
- ❑ **Coût en capital** – Les coûts en capital détermineront la rapidité avec laquelle les nouvelles installations pourront être construites et agrandies. Les coûts en capital sont également un facteur de risque financier (voir ci-après).
- ❑ **Coût d'exploitation** – Les coûts d'exploitation influenceront sur le rendement financier à long terme et sur la capacité de concurrencer les autres technologies et producteurs sur le marché.
- ❑ **Risque financier** – Le risque financier déterminera la vitesse et l'ampleur de l'adoption des technologies. L'expérience et l'exploitation démontrée de chaque technologie à l'échelle commerciale influenceront sur sa rapidité d'adoption ainsi que sur la rentabilité attendue par les investisseurs (c.-à-d. le taux de rendement ajusté en fonction du risque). Certains risques peuvent être atténués par une augmentation des coûts en capital (p. ex. systèmes de secours, capteurs et alarmes) ou des coûts d'exploitation (p. ex. assurance), tandis que d'autres risques sont liés aux fluctuations du marché et à d'autres facteurs qui ne peuvent pas être contrôlés facilement.
- ❑ **Chaîne d'approvisionnement** – La disponibilité de la chaîne d'approvisionnement

nécessaire pour soutenir les nouvelles technologies doit être examinée dans le contexte de la Colombie-Britannique. Cela comprend les fournisseurs de technologie, l'expertise en construction, l'expertise opérationnelle, les intrants du système comme les aliments pour animaux, l'énergie, les analyses de santé du poisson, la transformation, la commercialisation et la capacité de distribution.

- **Économie** – Il est dans l'intérêt public de maximiser les avantages économiques en termes d'emplois, de revenus, de développement économique communautaire et de recettes fiscales pour les gouvernements. Les nouvelles technologies modifient la quantité et la nature des avantages économiques en fonction des exigences du système, de l'emplacement et du potentiel de croissance sur un marché mondial concurrentiel pour les produits du saumon. Sauf indication contraire, le présent rapport renvoie aux emplois équivalents temps plein.
- **Expansion** – Chaque technologie offre différentes possibilités d'expansion de la production en Colombie-Britannique et d'exportation de biens et de services vers d'autres pays.

4. Évaluation des nouvelles technologies

4.1 Introduction

Les forces, les faiblesses et les incertitudes des quatre technologies de production sont évaluées en fonction des critères environnementaux, sociaux et économiques présentés dans les tableaux ci-après. Des précisions sur les évaluations pour chaque critère sont données après les tableaux.

Tableau 5 : Forces, faiblesses et incertitudes environnementales des quatre nouvelles technologies de production

Système d'aquaculture en recirculation sur terre	Système hybride	Système de parcs clos flottants	Système en haute mer
Échappées marines			
<ul style="list-style-type: none"> Aucun risque, le système est confiné à terre. 	<ul style="list-style-type: none"> Pas de risque pendant la phase du SAR sur terre Certains risques en mer et pendant les transferts, mais il est pertinent de réduire le temps passé en mer et de mieux choisir le moment du transfert. 	<ul style="list-style-type: none"> Faible risque en raison du confinement solide et d'un certain risque pendant le transfert du poisson de/vers la terre ferme. 	<ul style="list-style-type: none"> Un certain risque dû au confinement dans les parcs ouverts, mais construits pour des conditions difficiles. Certains risques pendant le transfert du poisson de ou vers la terre ferme Les incertitudes doivent faire l'objet de recherches plus poussées
Maladies du saumon sauvage			
<ul style="list-style-type: none"> Aucun risque, le système est confiné à terre. 	<ul style="list-style-type: none"> Pas de risque pendant la phase du SAR sur terre Un certain risque en mer, mais le temps passé en mer est réduit et le saumon est plus gros et en meilleure santé. 	<ul style="list-style-type: none"> Risque faible en raison du confinement solide, mais un certain risque subsiste, car la filtration de l'eau n'éliminera pas toutes les préoccupations. 	<ul style="list-style-type: none"> Certains risques, mais la capacité d'immersion permet d'éviter le pou du poisson, et les sites peuvent être situés loin des routes migratoires du saumon.

Effluent de déchets			
<ul style="list-style-type: none"> • Les déchets peuvent être compostés, utilisés en aquaponie ou pour produire de l'énergie. • La teneur en sel peut être un défi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les déchets des SAR sur terre peuvent être compostés, utilisés en aquaponie ou pour produire de l'énergie. • La plupart des déchets sont rejetés en mer lors du grossissement, mais certains peuvent être récupérés. 	<ul style="list-style-type: none"> • Faible émission de déchets avec le système de collecte et de traitement sur terre, mais certains nutriments dissous (azote, phosphore, etc.) sont rejetés. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les déchets sont rejetés en mer. • Un emplacement au large, dans des eaux plus profondes et à fort courant, sera meilleur que les sites côtiers.
Rejet de produits chimiques			
<ul style="list-style-type: none"> • Très peu ou pas de rejets à l'extérieur du système. • Les produits chimiques sont utilisés pour lutter contre les bactéries, les maladies des branchies et pour contrôler le pH. 	<ul style="list-style-type: none"> • Très peu ou pas de rejets de la phase du SAR sur terre. • La phase marine rejette des produits chimiques dans la mer, mais leur utilisation est réduite, car les saumons sont plus gros. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'amélioration de la santé des poissons réduira l'utilisation de produits chimiques, mais en ce qui concerne les effluents de déchets, certains seront rejetés en mer. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'amélioration de la santé réduira l'utilisation de produits chimiques, mais il y aura des rejets en mer. • Les agents antisalissures sur les grandes structures métalliques sont préoccupants, mais cela nécessite des recherches.
Interactions avec les espèces sauvages			
<ul style="list-style-type: none"> • Aucun risque, le système est confiné à terre. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de risque pour la phase de SAR sur terre. • Certains risques pour la phase marine, mais amélioration possible avec des périodes de jachère plus longues. 	<ul style="list-style-type: none"> • Des parois de confinement solides élimineront les risques. • Les lignes d'amarre et les structures peuvent présenter un certain risque pour les mammifères marins. 	<ul style="list-style-type: none"> • Certains risques associés au confinement en parcs ouverts, mais on s'attend à ce que l'intégrité soit très bonne. • Les lignes d'amarre et les structures peuvent présenter un certain risque pour les mammifères marins. • Ces sujets nécessitent plus de recherche.
Consommation d'eau			
<ul style="list-style-type: none"> • Très faible consommation dans 99,5 % des systèmes de recirculation. 	<ul style="list-style-type: none"> • Très faible consommation pour la phase de SAR sur terre, puisque non 	<ul style="list-style-type: none"> • La phase marine n'utilise que de l'eau de mer en circulation et non 	<ul style="list-style-type: none"> • La phase marine n'utilise que de l'eau de mer en circulation et

<ul style="list-style-type: none"> • L'utilisation des aquifères par de très grandes installations est préoccupante. 	<ul style="list-style-type: none"> utilisée pour le grossissement. • La phase marine n'utilise que de l'eau de mer en circulation. 	<ul style="list-style-type: none"> des ressources d'eau douce limitées. 	<ul style="list-style-type: none"> non des ressources d'eau douce limitées.
Consommation d'énergie et GES			
<ul style="list-style-type: none"> • Consommation d'énergie élevée pour la construction et l'exploitation des systèmes. • L'électricité du réseau électrique de la C.-B. a une faible intensité de carbone. • L'emplacement peut minimiser les coûts de transport des aliments pour animaux vers le site et des produits vers le marché. 	<ul style="list-style-type: none"> • Énergie moyenne dans les installations de SAR sur terre puisqu'elles ne sont pas utilisées pour le grossissement. • Faible consommation d'énergie durant la phase marine, mais des produits pétroliers peuvent être utilisés pour les bateaux et les systèmes d'alimentation. • Le transport depuis et vers les sites marins augmente la consommation d'énergie. 	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation d'énergie moyenne pour la construction et l'exploitation des systèmes. • Le réseau électrique de la Colombie-Britannique a une faible intensité de carbone, mais certains sites peuvent ne pas être raccordés au réseau. • Le transport depuis et vers les sites marins augmente la consommation d'énergie. 	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation d'énergie élevée pour la construction des systèmes. • Énergie moyenne pour l'exploitation et produits pétroliers probablement nécessaires pour l'exploitation à distance. • Le transport depuis et vers les sites marins augmente la consommation d'énergie. • Recherches nécessaires sur ces sujets.

Dans l'ensemble, les quatre technologies de production offrent des améliorations comparativement à la production aquacole classique. Aucun système n'offre la meilleure performance sur l'ensemble des critères environnementaux. Des recherches sont nécessaires pour effectuer des évaluations plus fiables de la performance attendue des systèmes de parcs clos flottants et en haute mer.

De même, pour les critères sociaux du tableau suivant, chacune des quatre technologies de production améliorera le soutien local, mondial et des consommateurs. Il ne faut pas oublier que le soutien n'est pas homogène ou unanime dans chaque groupe; par exemple, certains consommateurs peuvent soutenir une nouvelle technologie particulière tandis que d'autres s'y opposent. L'évaluation vise à cerner l'orientation générale du soutien et les facteurs clés à prendre en compte.

Tableau 6 : Forces, faiblesses et incertitudes sociales des quatre nouvelles technologies de production

Système d'aquaculture en recirculation sur terre	Système hybride	Système de parcs clos flottants	Système en haute mer
Soutien local			
<ul style="list-style-type: none"> • Les forces environnementales gagneront du soutien, mais les très grandes installations qui utilisent des ressources hydriques sensibles soulèveront probablement des préoccupations. • Les aspects économiques peuvent être préoccupants avec moins d'emplois, mais l'accès au marché et le potentiel de croissance renforceront le soutien. 	<ul style="list-style-type: none"> • La performance environnementale de la phase des SAR sur terre renforcera le soutien, mais la phase marine demeurera une préoccupation. • La performance économique soutiendra les emplois locaux, mais les préoccupations maritimes qui entravent la croissance pourraient freiner le soutien local. 	<ul style="list-style-type: none"> • La performance environnementale renforcera l'appui, mais l'utilisation des sites marins peut encore être une source de préoccupation. • La performance économique soutiendra les emplois locaux, tandis que l'accès au marché et le potentiel de croissance attireront des soutiens. 	<ul style="list-style-type: none"> • Éviter les conflits spatiaux dans la zone côtière gagnera le soutien des populations locales. • Les emplois resteront dans les zones côtières, mais ils seront peut-être moins nombreux avec l'intensification de l'automatisation. • Le potentiel de croissance renforcera le soutien.
Soutien mondial			
<ul style="list-style-type: none"> • L'étiquetage des produits comestibles de la mer appuiera probablement ce système en tant que « meilleur choix ». 	<ul style="list-style-type: none"> • L'étiquetage des produits comestibles de la mer appuiera probablement ce système en tant que « bonne solution de rechange » puisque cela s'applique déjà au saumon d'élevage de la Colombie-Britannique. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'étiquetage des produits comestibles de la mer ne couvre pas cette technologie pour le saumon, mais il devrait obtenir la cote « bonne solution de rechange » ou mieux. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'étiquetage des produits comestibles de la mer ne couvre pas cette technologie pour le saumon, mais il peut obtenir la cote « bonne solution de rechange ».

Soutien des consommateurs			
<ul style="list-style-type: none"> • Les prix supérieurs aujourd’hui sont une indication de l’appui des consommateurs. • Le passage aux SAR sur terre dans les marchés clés pourrait signifier que ce système est nécessaire pour l’accès. • La qualité des produits et le bien-être des poissons peuvent être un sujet de préoccupation • Des coûts plus élevés peuvent représenter un défi pour vendre sur des marchés sensibles aux prix. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les produits ne se distingueront pas du saumon élevé dans des parcs en filet classiques. • L’établissement de SAR sur terre dans les marchés clés peut limiter l’accès aux marchés pour les produits issus de ce système. • La qualité et le coût des produits sont très bons, mais il peut y avoir des préoccupations au sujet des contaminants marins. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les produits seront distingués de ceux issus des systèmes de parcs en filet ouverts. • La qualité des produits et le bien-être des poissons seront considérés comme bons. • Des coûts plus élevés peuvent représenter un défi pour vendre sur des marchés sensibles aux prix. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les produits peuvent être distingués de ceux issus des systèmes de parcs en filet ouverts côtiers. • La qualité des produits et le bien-être des poissons seront considérés comme bons, mais il peut y avoir certaines préoccupations au sujet des contaminants marins. • Des recherches sont nécessaires au sujet des points préoccupants.

Tableau 7 : Forces, faiblesses et incertitudes économiques des quatre nouvelles technologies de production

Système d'aquaculture en recirculation sur terre	Système hybride	Système de parcs clos flottants	Système en haute mer
Rentabilité			
<ul style="list-style-type: none"> • D'importants investissements, principalement de la part de nouveaux venus dans le secteur, permettent d'étendre cette technologie à grande échelle commerciale. • Quelques années d'exploitation commerciale sont nécessaires pour confirmer la rentabilité. 	<ul style="list-style-type: none"> • D'importants investissements, principalement de la part d'entreprises salmonicoles existantes, indiquent qu'il s'agit d'une technologie rentable à grande échelle commerciale. 	<ul style="list-style-type: none"> • Certains investissements réalisés par des entreprises salmonicoles existantes indiquent qu'il s'agit d'une technologie intéressante à grande échelle commerciale. • Quelques années d'exploitation commerciale sont nécessaires pour confirmer la rentabilité. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les investissements réalisés principalement par les nouveaux venus dans le secteur indiquent qu'il s'agit d'une technologie intéressante à grande échelle commerciale. • Quelques années d'exploitation commerciale sont nécessaires pour confirmer la rentabilité.
Coût en capital			
<ul style="list-style-type: none"> • Le coût d'une installation de 5 000 tm est de 10 à 14 \$ par kg de capacité. • Le coût d'une installation de 10 000 tm est de 7 à 10 \$ par kg de capacité. 	<ul style="list-style-type: none"> • Un SAR sur terre pour les postsaumoneaux coûte beaucoup moins cher que pour le grossissement. • La phase marine pour le grossissement utilise actuellement des systèmes de parcs en filet à très faible coût. 	<ul style="list-style-type: none"> • Le coût de 5 \$ à 15 \$ par kg de capacité indique qu'une vaste gamme de modèles est en cours d'évaluation. 	<ul style="list-style-type: none"> • Le coût d'une installation de 5 000 tm ou plus est d'environ 20 \$ par kg de capacité. • D'autres modèles existent, mais les coûts sont incertains.
Coût d'exploitation			
<ul style="list-style-type: none"> • Le coût d'exploitation est de 5 à 6 \$ par kg de saumon produit annuellement. • Les nouveaux sites s'implantent à proximité des marchés pour réduire les coûts de transport 	<ul style="list-style-type: none"> • Un SAR sur terre pour les postsaumoneaux coûte beaucoup moins cher que pour le grossissement. • La phase marine utilise actuellement des systèmes de parcs en filet à très faible coût. 	<ul style="list-style-type: none"> • Le coût est inférieur à celui d'un SAR sur terre, mais supérieur à celui d'un système hybride. • Coût de la recherche de 4,5 à 5,5 dollars par kg. 	<ul style="list-style-type: none"> • Le coût peut être l'un des plus bas parmi les nouvelles technologies, étant donné le degré élevé d'automatisation et d'utilisation des écoservices. • Des recherches sont nécessaires.

	<ul style="list-style-type: none"> • Coût de la recherche de 3,5 à 4,5 dollars par kilogramme. 		
Risque financier			
<ul style="list-style-type: none"> • Les risques biologiques sont la mortalité, les taux de maturation élevés et les défis liés à la croissance. • Les risques du marché sont les baisses de prix, les fluctuations monétaires, les pertes de prix plus élevés à mesure que la part de marché des SAR sur terre augmente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les risques biologiques sont très faibles puisqu'il s'agit d'une extension des technologies existantes. • Les risques du marché sont ceux normalement associés à la salmoniculture. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les risques biologiques sont la mortalité due à une défaillance du système. • Les risques du marché sont les baisses de prix, les fluctuations monétaires, les pertes de prix plus élevés à mesure que la part de marché des nouvelles technologies augmente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les risques biologiques sont la mortalité due à un environnement à haute énergie, la défaillance d'un système ou d'un composant, les défis liés à la croissance. • Les risques du marché sont ceux normalement associés à la salmoniculture.
Chaîne d'approvisionnement			
<ul style="list-style-type: none"> • Les aliments pour animaux, la santé des poissons, la transformation, la distribution et la vente sont en C.-B., mais sont en cours de développement là où de nouveaux sites apparaissent ailleurs. • L'expertise en C.-B. est limitée en matière de construction et d'exploitation de SAR sur terre, de sorte que la formation et les importations sont nécessaires. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tous les éléments de la chaîne d'approvisionnement existent au Canada, bien que la conception et l'expertise de pointe des SAR proviennent d'autres pays. • Une formation supplémentaire est nécessaire pour accroître la main-d'œuvre des SAR sur terre. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tous les éléments de la chaîne d'approvisionnement existent au Canada, y compris l'expertise en conception et en exploitation. • Une formation supplémentaire est nécessaire pour étendre l'utilisation de cette technologie. 	<ul style="list-style-type: none"> • La plupart des éléments de la chaîne d'approvisionnement se trouvent au Canada, bien que l'expertise en conception et en construction de systèmes en haute mer provienne d'autres pays. • Des bateaux spécialisés et de la formation pour les systèmes en haute mer sont nécessaires. • Des recherches sont nécessaires pour déterminer tous les besoins.
Économie			
<ul style="list-style-type: none"> • Moins d'emplois par tm de saumon (26 à 30 emplois directs par 1 000 tm de saumon) et pas nécessairement dans les zones rurales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ce système permet de conserver la plupart des emplois (35 à 40 emplois directs pour 1 000 t de saumon) et surtout là 	<ul style="list-style-type: none"> • Ce système permet de conserver la plupart des emplois (35 à 40 emplois directs pour 1 000 t de saumon) et 	<ul style="list-style-type: none"> • Il y a moins d'emplois en raison du degré plus élevé d'automatisation du système.

<ul style="list-style-type: none"> • Salaires moyens élevés en raison d'une expertise plus technique requise. 	<p>où ils se trouvent actuellement.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Certains postes d'experts plus avancés nécessiteront des salaires plus élevés. 	<p>surtout là où ils se trouvent actuellement.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Certains postes d'experts plus avancés nécessiteront des salaires plus élevés. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les emplois sont toujours situés dans les zones rurales. • Certains postes d'experts plus avancés nécessiteront des salaires plus élevés.
Expansion			
<ul style="list-style-type: none"> • Plusieurs grandes installations pourraient doubler la production de saumon en Colombie-Britannique. • Le choix du site prend du temps pour répondre aux exigences, en particulier les permis de rejet. 	<ul style="list-style-type: none"> • Une certaine expansion peut se produire dans les sites marins existants, mais il faut régler les problèmes liés au grossissement pour pouvoir attribuer de nouveaux sites. 	<ul style="list-style-type: none"> • Une certaine expansion de la production est possible en remplaçant les parcs en filet sur les sites marins existants, et l'attribution de nouveaux sites devrait être plus acceptable en raison de la performance environnementale. 	<ul style="list-style-type: none"> • La C.-B. offre de vastes possibilités d'expansion une fois que la technologie aura fait ses preuves sur les sites d'essai.

L'état de préparation au développement commercial, la probabilité de rentabilité, les retombées économiques et les possibilités d'expansion déterminent les avantages financiers et économiques attendus des nouvelles technologies. Dans l'ensemble, les SAR sur terre et les systèmes hybrides sont prêts pour une application commerciale en Colombie-Britannique, tandis que les autres seront plutôt prêts d'ici cinq à dix ans. Le SAR sur terre, même s'il est moins éprouvé sur le plan financier, offre de plus grandes possibilités d'expansion pour autant qu'elle intervienne en C.-B. Le système hybride est probablement plus rentable et ancré en C.-B., mais l'expansion pourrait se heurter à des défis.

4.2 Grossissement dans des systèmes d'aquaculture en recirculation (SAR) sur terre

L'évaluation qui suit tient compte de la meilleure technologie disponible de système d'aquaculture en recirculation sur terre, de son application en Colombie-Britannique, et des installations en cours de construction dans différents endroits de la province.

Critères environnementaux :

- ❑ Échappées marines – Zéro
- ❑ Effets des maladies du saumon sauvage – Zéro

- ❑ **Effluent de déchets** – Il n’y a aucune préoccupation, car il est traité sur terre avec des techniques d’élimination acceptables plus avancées, notamment le compostage, la fertilisation des sols pour l’aquaponie (production végétale) liée à l’installation, ou la production d’énergie à l’aide de biodigesteurs.
- ❑ **Interactions avec les espèces sauvages** – Zéro
- ❑ **Rejet de produits chimiques** – L’infection par des microbes pathogènes ou opportunistes est la principale préoccupation dans ces systèmes, mais les traitements antimicrobiens standard sont évités, car ils nuisent aux bactéries bénéfiques utilisées dans les biofiltres (bactéries dénitrifiantes). Ces systèmes utilisent certains antibiotiques pour les bactéries, le formol pour les parasites des branchies et des solutions de rechange comme l’ozone à faible dose.
- ❑ **Consommation d’eau** – La consommation d’eau est minimale dans les systèmes de recirculation à la fine pointe de la technologie; en fait, les installations à saumon sont déjà opérationnelles dans des milieux désertiques. Une mise en garde s’impose à l’égard des projets d’aménagement et des sites d’une envergure exceptionnelle qui présentent des limitations hydriques ou des milieux sensibles (p. ex. les aquifères). Les exigences relatives à une étape de dépuración pour traiter les mauvais goûts avant la vente sur le marché peuvent également utiliser plus d’eau que le reste de l’échelle de production.
- ❑ **Consommation d’énergie** – Cela dépend de la conception et de l’emplacement du système. En général, ces systèmes consomment plus d’énergie pour ce qui est de la construction et de l’exploitation que les autres systèmes (Ayer et Tyedmers 2009). Cette situation peut être partiellement compensée en produisant jusqu’à 10 % de l’énergie nécessaire à l’exploitation au moyen de la biodigestion des déchets et en se situant à proximité des sources d’alimentation et des marchés de consommation afin de réduire l’énergie destinée au transport. L’utilisation de panneaux solaires, d’éoliennes et de sources d’électricité à faible teneur en carbone peut atténuer les préoccupations liées aux changements climatiques.

Critères sociaux :

- ❑ **Soutien local** – Un solide soutien local reposera sur la capacité du système à améliorer la performance environnementale de presque toutes les mesures. La protection du saumon sauvage, la prise en compte des préoccupations liées à la pêche récréative et à la pêche commerciale et l’évitement d’autres conflits spatiaux marins permettront de régler en grande partie l’opposition à la salmoniculture. Selon la façon dont les systèmes d’aquaculture en recirculation sur terre sont développés, des occasions économiques locales directes et indirectes peuvent être perdues, de sorte que les collectivités côtières feront état de leurs préoccupations. Il y a eu une certaine opposition locale aux grandes installations récemment proposées aux États-Unis en raison de préoccupations liées aux ressources en eau ou de problèmes potentiels de bruit.
- ❑ **Soutien mondial** – On s’attend à ce que les systèmes d’aquaculture en recirculation sur terre satisfassent ou dépassent les exigences de certification en matière de durabilité. Cela indique fortement que le soutien mondial des organisations environnementales se poursuivra. Le Seafood Watch™ du Monterey Bay Aquarium classe le « saumon issu

d'un système intérieur en recirculation » comme leur « meilleur choix » à l'échelle mondiale (MBA 2019).

- ❑ **Soutien des consommateurs** – On s'attend à ce que l'acceptabilité des produits de ce système soit élevée étant donné que les prix supérieurs ont déjà été saisis dans certains marchés. Cela ne signifie pas que les hausses de prix vont se poursuivre, mais seulement qu'elles reflètent le soutien des consommateurs. La capacité d'éviter la présence de produits chimiques dans les aliments pour animaux et les traitements des systèmes plaira aux consommateurs. L'assurance d'une eau propre circulant dans le système sera une caractéristique importante pour les consommateurs préoccupés par les polluants dans le milieu marin. Il y a eu quelques problèmes historiques concernant des saveurs désagréables, mais ils sont réglés dans les conceptions modernes. La question du bien-être des poissons peut susciter des réactions mitigées chez les consommateurs. D'une part, le bien-être des poissons est amélioré grâce à des conditions de croissance optimales et à l'évitement des traitements potentiellement stressants contre le pou du poisson et d'autres maladies. D'autre part, la forte densité de biomasse et le comportement agressif des poissons doivent être bien gérés et transparents pour les consommateurs. Certains consommateurs peuvent percevoir les installations sur terre comme un environnement non naturel pour l'élevage du poisson, et les producteurs devront y répondre.

Critères économiques :

- ❑ **Rentabilité** – L'annonce d'un financement garanti pour de nombreux projets de grande envergure a prouvé que les investisseurs sont prêts à faire avancer ce système même avec un risque relativement élevé. On craint que l'incapacité de ces projets de grande envergure à tenir les promesses faites aux investisseurs n'entrave l'élan qui existe. Compte tenu de la nécessité de surveiller le succès des grands systèmes en construction au cours des prochaines années, une certaine prudence est de rigueur avant de déclarer qu'ils sont rentables.
- ❑ **Coûts en capital** – Les coûts en capital ont diminué considérablement au cours des dix dernières années et se situent maintenant entre 10 \$ et 14 \$ par kg de capacité de production de saumon pour les systèmes d'une capacité de 5 000 tm (Bjorndal et Tusvik 2017). Les plus grands projets proposés aujourd'hui (plus de 10 000 tm) sont entre 7 \$ et 10 \$ le kg (AquaMaof 2019). Ces chiffres ne tiennent pas compte du fait que la production n'atteint pas toujours la capacité, de sorte qu'il sera important de confirmer les coûts en capital réels par kg de saumon produit à l'avenir. Ces coûts en capital comprennent la préparation du site, les bâtiments, les travaux électriques, les travaux de bétonnage, l'équipement du SAR et les autres installations (à l'exclusion des terrains). Le temps requis pour l'obtention des permis est lié aux coûts en capital. Les complexités et les retards en ce qui concerne l'obtention des permis et des approbations ont un effet dissuasif sur le développement des systèmes d'aquaculture en recirculation sur terre, puisque les capitaux financiers sont immobilisés plus longtemps. Il a fallu de nombreuses années pour que les grands projets soient conformes à toutes les exigences réglementaires dans les endroits où ils sont réalisés. Cela représente en fin de compte un coût d'exploitation, un risque pour les investisseurs et un défi pour obtenir un rendement des projets.

- ❑ **Coût d'exploitation** – Les coûts d'exploitation sont concurrentiels comparativement à d'autres systèmes, surtout lorsque les conditions optimales de croissance et les avantages du système peuvent réduire les coûts, et que le transport est limité dans les endroits idéaux. Les coûts de production prévus par kilogramme de saumon issu d'un SAR sur terre sont maintenant d'environ 5 à 6 dollars. Pour la Colombie-Britannique, le transport vers les États-Unis est économique, mais l'expédition vers les marchés asiatiques pourrait représenter un défi concurrentiel avec ce système, d'autant plus que la capacité de production locale de saumon de l'Atlantique en Asie augmente rapidement. Compte tenu des défis de production, comme l'élevage du saumon à plein rendement et l'évitement des défaillances du système, le coût opérationnel réel à long terme sera confirmé plus tard.
- ❑ **Risque financier** – Le contrôle des agents pathogènes, la biosécurité et les défaillances des composants des systèmes sont des préoccupations majeures pour les investisseurs, car les incidents de mortalité peuvent être graves. Les taux élevés de maturation précoce du saumon, la mauvaise réaction de l'alimentation aux pratiques d'élevage et les problèmes de densité de mise en charge peuvent également avoir une incidence sur la croissance, la qualité et, en fin de compte, les revenus. Bien que le succès récent du financement soit un bon indicateur que les risques sont pris en compte dans les nouveaux systèmes, de même que les recherches considérables visant à dissiper les préoccupations susmentionnées, cela est confirmé en fin de compte par le succès des opérations sur un certain nombre d'années. La conjoncture réelle est favorable, avec des prix du saumon supérieurs à 9 \$ CAN le kilogramme au cours des deux dernières années, mais en 2011 et 2012, les prix sont tombés sous les 7 \$ CAN le kilogramme (22 % de moins). Ces systèmes doivent faire preuve de résilience financière grâce à la volatilité des prix, mais aussi dans un environnement de croissance de la production mondiale. Au fur et à mesure que la capacité sur terre augmentera et que d'autres technologies émergentes se développeront, une plus grande proportion de produits sera en mesure de répondre aux attentes élevées des consommateurs, ce qui pourrait éroder toutes les primes qui sont possibles.
- ❑ **Chaîne d'approvisionnement** – La plupart des éléments de la chaîne d'approvisionnement requis pour ce système sont disponibles, mais les SAR sur terre ne présentent pas les meilleurs avantages de la chaîne d'approvisionnement parmi les quatre technologies considérées. Il faut former des gestionnaires spécialement pour le système et les compétences en matière de construction et d'entretien se développent principalement en Europe. Étant donné que des systèmes terrestres à grande échelle sont en cours de développement, particulièrement aux États-Unis, les avantages de la Colombie-Britannique ne sont pas suffisants pour avoir déjà attiré de grands projets et les chaînes d'approvisionnement vont maintenant se développer ailleurs.
- ❑ **Économie** – Des compétences et une expertise de pointe sont requises pour la plupart des postes dans les installations utilisant des systèmes d'aquaculture en recirculation, de sorte que les emplacements disposant d'une excellente formation et d'une excellente présence de l'industrie aquacole sont bien placés. Étant donné les exigences élevées en matière de main-d'œuvre, les salaires et les traitements sont attrayants pour les employés du secteur de la salmoniculture. Toutefois, l'emplacement de ces systèmes est très flexible, ce qui fait que des possibilités d'emplois côtiers peuvent être perdues à mesure que la production se rapproche des marchés de consommation et des centres

de distribution. Il y a également moins d'emplois par tonne de saumon produite que pour la plupart des autres technologies de rechange. On s'attend à ce que les systèmes de SAR sur terre exploités à l'échelle commerciale en Colombie-Britannique génèrent environ 26 à 30 emplois directs par 1 000 tm de capacité (CounterPoint 2019), soit une légère baisse seulement comparativement aux systèmes hybrides ou de parcs clos flottants, et un peu plus que prévu pour les systèmes en haute mer. La nature des emplois sera plus technique et les salaires moyens seront plus élevés. L'aspect le plus important est de savoir où ces emplois se trouvent en Colombie-Britannique ou ailleurs.

- ❑ **Expansion** – Les sites déjà choisis pour les installations existantes, en construction et les projets de SAR sur terre dans le monde entier démontrent la souplesse de cette technologie en ce qui concerne le choix du site. Bien qu'il y ait de nombreux facteurs à prendre en considération pour répondre aux exigences du système et optimiser le rendement, la Colombie-Britannique offre des options pour des sites appropriés. Compte tenu de la taille des parcelles de terrain protégées pour les récentes fermes à grande échelle du Maine et de la Floride, environ 32 000 tm de saumon peuvent être produites sur environ 20 hectares de terrain (50 acres). À condition que la source d'eau requise soit disponible, toute la production réelle de saumon d'élevage en Colombie-Britannique pourrait se faire sur une propriété de 60 hectares (150 acres). Cela ne veut pas dire qu'il est facile de déterminer le ou les meilleurs emplacements et qu'il faudra peut-être quelques années pour choisir un emplacement, compte tenu des investissements considérables en cause.

4.3 Système hybride

L'évaluation de la performance de ce système tourne autour du stade de croissance du saumon, qui passe d'environ 100 g à 500 g lorsqu'on utilise des systèmes d'aquaculture en recirculation sur terre. Tous les risques environnementaux et financiers associés au poisson à ce stade dans le milieu marin sont atténués par le déplacement vers la terre ferme, et il y a d'autres avantages à la phase de grossissement en mer. L'évaluation qui suit suppose que la partie marine utilise des parcs en filet ouverts avec certaines améliorations et que la biomasse admissible dans les parcs en filet demeure la même. Toute autre amélioration apportée à la phase marine, qu'il s'agisse d'aménagements fermés, submersibles ou en mer, permettrait de mieux gérer un certain nombre de risques maritimes.

Critères environnementaux :

- ❑ **Échappées marines** – Les risques d'échappée sont nuls pendant la phase sur terre, de sorte qu'au cours du cycle de vie complet, il y a une réduction des risques. Pendant la partie marine, on s'attend à de faibles risques d'échappées en raison de la réduction du temps passé en mer, des transferts plus sûrs de la terre à l'eau et d'une plus grande souplesse quant au moment où les poissons se trouvent dans le milieu marin. Le transfert de poissons plus gros de la terre exigera de meilleurs bateaux et équipements pour les immobiliser. Le raccourcissement de la phase marine à un an ou moins crée une certaine souplesse quant au moment de l'empoissonnement et de la récolte, ce qui

permet d'éviter des conditions météorologiques défavorables pour les transferts et les périodes de croissance. Cependant, le risque d'échappée n'est pas nul pour la partie en mer.

- ❑ **Effets des maladies du saumon sauvage** – La réduction du temps passé dans le milieu marin et l'augmentation de la taille des poissons entraîneront un risque de maladie plus faible, pas totalement éliminé. Les traitements contre le pou du poisson peuvent n'être nécessaires qu'une seule fois ou pas du tout pendant la période maximale d'un an en mer. La réduction du temps passé en mer empêchera l'accumulation de poux du poisson, et les poissons plus gros seront moins vulnérables à ce parasite et à d'autres maladies. Il est également possible d'allonger les périodes de jachère, ce qui permettrait de briser les cycles des maladies.
- ❑ **Effluents de déchets** – Étant donné que la partie terrestre du cycle de croissance est comparable aux autres systèmes, il n'y a pas de préoccupations supplémentaires. Toutefois, le système de parcs en filet ouverts rejette des effluents de déchets dans le milieu marin, et ce, pour la partie la plus intensive du grossissement en fin de cycle, même si la période de grossissement est plus courte que pour l'aquaculture classique. Des périodes de jachère plus longues procureront certains avantages pour la restauration du fond marin, et il est possible de récupérer certains déchets, mais à un coût plus élevé.
- ❑ **Rejet de produits chimiques** - Là encore, la partie marine du cycle sera ouverte au milieu marin. La réduction prévue des traitements contre le pou du poisson réduira les rejets d'agents thérapeutiques et d'autres traitements dans les eaux marines.
- ❑ **Interactions avec les espèces sauvages** – Les interactions avec les espèces sauvages sont éliminées pour la partie sur terre et le risque lié à la phase marine est réduit dans la mesure où le nombre de sites est réduit et les périodes de jachère sont prolongées.
- ❑ **Consommation d'eau** – Le temps que le saumon passera dans les installations utilisant des systèmes d'aquaculture en recirculation sur terre peut représenter la moitié de son cycle de vie, mais la consommation d'eau sera considérablement inférieure à la moitié. La croissance du saumon jusqu'à 200 g – 1 kg nécessite beaucoup moins d'eau que la croissance du saumon pendant la dernière partie du cycle jusqu'à sa taille commerciale (5-6 kg). Des taux de réutilisation très élevés qui ne dépendent pas de sources d'eau sensibles (p. ex. les aquifères) donneront de très bons résultats.
- ❑ **Consommation d'énergie** – Comme pour la consommation d'eau, la consommation d'énergie pour les postsaumoneaux dans le système sur terre est d'environ 10 à 20 % de l'énergie nécessaire à la production des saumons de taille marchande. L'autre point à prendre en compte en matière d'énergie est l'emplacement du système sur terre comparativement aux sources d'alimentation et aux marchés de consommation. En Colombie-Britannique, il y aura des approvisionnements locaux d'aliments pour animaux, mais les marchés primaires sont éloignés (États-Unis et outre-mer). Les systèmes d'aquaculture en recirculation sur terre pour les postsaumoneaux en Colombie-Britannique offriront des avantages d'emplacement partiels (source d'alimentation) en matière de réduction de la consommation d'énergie. L'intensité énergétique de la composante marine est également faible.

Critères sociaux :

- ❑ **Soutien local** – Bien que de nombreux producteurs exploitant des sites marins entretiennent des relations favorables avec les collectivités locales, ce système de production devrait être plus controversé que les quatre autres technologies. Le soutien local s'améliorera quelque peu en fonction des gains du système en matière de performance environnementale, mais l'utilisation continue de parcs en filet ouverts n'éliminera pas les problèmes. Bien qu'il soit possible de réduire le nombre total de sites afin de pouvoir abandonner ceux qui sont les moins appropriés aujourd'hui, il y aura toujours des préoccupations. Par ailleurs, ce système est le plus susceptible de maintenir les emplois dans le secteur de l'aquaculture là où ils existent actuellement, offrant les perspectives favorables correspondantes aux collectivités côtières.
- ❑ **Soutien mondial** – Bien qu'il ne soit pas aussi attrayant sur le plan environnemental que les systèmes d'aquaculture en recirculation sur terre pour une pleine croissance, ce système devrait apporter suffisamment d'améliorations pour satisfaire à la plupart des certifications environnementales en matière de salmoniculture en milieu marin. Il est peu probable que les ONG ou les membres du grand public les plus préoccupés par la question offrent un large appui. Le Seafood Watch™ du Monterey Bay Aquarium classe le saumon de l'Atlantique certifié par l'Aquaculture Stewardship Council (ASC) parmi les « bonnes solutions de rechange », et le saumon de l'Atlantique élevé en parcs en filet marins de la Colombie-Britannique figure également parmi les « bonnes options » (MBA 2019). Les systèmes hybrides de la Colombie-Britannique qui respectent les exigences de l'ASC seraient considérés favorablement.
- ❑ **Soutien des consommateurs** – Les produits du saumon issus de ce système ne se distingueront probablement pas des produits réels des parcs en filet, à moins que cela ne facilite les certifications par des tiers que le consommateur verra sur les produits. Au fur et à mesure que de nombreuses entreprises passeront aux nouvelles technologies, la performance environnementale élevée deviendra une attente des consommateurs plutôt qu'une caractéristique. Toute préoccupation potentielle des consommateurs à l'égard du fait que le saumon passe la totalité de son cycle de vie dans des installations sur terre serait largement prise en compte dans ce système en lui faisant passer sa dernière année en mer.

Critères économiques :

- ❑ **Rentabilité** – L'attrait financier et la faisabilité sont évidents puisque les entreprises adoptent déjà ce système. Grieg Seafood en Norvège, par exemple, a commencé à s'orienter vers ce système en 2007 et vise des saumoneaux de 300 g en moyenne en 2019. L'augmentation des coûts de traitement du pou du poisson, la croissance plus rapide du saumon et les avantages opérationnels d'un système hybride facilitent la décision financière, mais il a fallu un certain temps avant que la transition se fasse.
- ❑ **Coût en capital** – Ce coût est inférieur à celui du grossissement complet dans les systèmes d'aquaculture en recirculation sur terre ou dans les systèmes en mer. La délivrance de permis et les approbations sont relativement simples pour la conversion de sites marins existants en sites hybrides, mais il pourrait être difficile d'obtenir l'approbation de nouveaux sites en Colombie-Britannique (voir plus loin).

- ❑ **Coût d'exploitation** – Les coûts d'exploitation sont concurrentiels puisqu'ils visent la meilleure combinaison de systèmes sur terre et en mer. Des coûts de l'ordre de 3,5 à 4,5 dollars le kg sont probables, mais des recherches sont nécessaires.
- ❑ **Risque financier** – Cette approche fonctionne déjà à l'échelle commerciale et est examinée de près au Canada. La question n'est pas de savoir si elle est possible de façon fiable, mais seulement jusqu'où aller en termes de maximisation de la phase sur terre et de minimisation de la phase en mer.
- ❑ **Chaîne d'approvisionnement** – Les considérations relatives à la chaîne d'approvisionnement sont associées aux installations sur terre, y compris les fournisseurs de systèmes d'aquaculture en recirculation et de composants et les fournisseurs d'aliments pour animaux. Le Canada rechercherait actuellement les conceptions de systèmes et les composants les plus avancés d'autres pays. Les récentes expansions des systèmes d'aquaculture en recirculation pour les saumoneaux de plus grande taille (p. ex. MOWI) ont été réalisées en faisant appel à des fournisseurs européens, mais le système a été adapté au Canada. La production d'aliments pour animaux est déjà bien établie au Canada, de sorte que ces avantages économiques profitent aux collectivités locales.
- ❑ **Économie** – Des compétences et une expertise de pointe sont requises pour la plupart des postes dans les installations utilisant des systèmes d'aquaculture en recirculation, de sorte que les emplacements disposant d'une excellente formation et d'une présence existante de l'industrie comme la Colombie-Britannique sont bien placés. L'association d'un système d'aquaculture en recirculation sur terre avec une phase en mer permet de maintenir la production locale dans la province. Ce système permettra de maintenir plus d'emplois par tonne de saumon que les systèmes d'aquaculture en recirculation complets. De nombreux emplois auront des exigences de main-d'œuvre avancées, de sorte que les salaires et les traitements seront attrayants pour le secteur de la salmoniculture. Les systèmes hybrides exploités à l'échelle commerciale en Colombie-Britannique devraient créer environ 35 à 40 emplois directs par 1 000 tm de capacité (CounterPoint 2019; MNP 2015; Bjorndal et Tusvik 2017). Ce chiffre est similaire à celui des systèmes de parcs clos flottants et supérieur à celui des deux autres systèmes. Il y aura une combinaison d'emplois plus techniques pour la production de postsaumoneaux et d'emplois réels pour les exploitations de grossissement, de sorte que les salaires moyens seront légèrement plus élevés. Ces emplois sont plus susceptibles de demeurer là où ils se trouvent actuellement en C.-B., car la proximité des sites de grossissement restera importante.
- ❑ **Expansion** – Cette approche pourrait entraîner une certaine croissance de la production aux sites marins existants, mais il faut s'attendre à des limites à cette expansion en raison des préoccupations croissantes entourant la composante marine. Même si une certaine croissance est possible, cette technologie offre le moins de possibilités d'expansion en Colombie-Britannique parmi les quatre technologies considérées. Les améliorations apportées à la phase marine au moyen de parcs à filets ouverts ne suffiront probablement pas à lever les contraintes qui pèsent sur la disponibilité des sites côtiers en C.-B. L'acceptabilité sociale de l'expansion exigera des changements plus importants à la phase marine, notamment en ce qui concerne les systèmes submersibles et flottants de confinement flottants côtiers ou le développement de systèmes en haute mer.

4.4 Systèmes de parcs clos flottants

Critères environnementaux :

Il est important de mentionner que les systèmes de parcs clos flottants sont plus souvent envisagés pour la croissance des postsaumoneaux en conjonction avec le grossissement en parcs en filet marins jusqu'à la taille commerciale et que cette technologie peut offrir de meilleures possibilités pour ce type d'application. Toutefois, le but de cette évaluation est d'évaluer le potentiel de production de saumon de taille commerciale, et des efforts préliminaires sont déployés pour la développer à l'échelle commerciale. Il est également important de noter que l'évaluation est axée sur les systèmes à parois rigides, par opposition aux systèmes à parois souples dont le choix de l'emplacement est plus limité (milieux marins abrités et à faible énergie).

- ❑ **Échappées marines** – Les risques d'échappées sont faibles compte tenu des structures de confinement complet, mais ils ne sont pas nuls comme pour les systèmes d'aquaculture en recirculation sur terre. Il y a déjà eu des échappées de systèmes de parcs clos flottants en raison de problèmes de conception qui ont entraîné des défaillances structurales lors de tempêtes. Les conceptions les plus récentes ont apporté de nombreuses améliorations pour réduire ce risque, mais le potentiel d'échappée existe toujours, surtout pendant le transfert des saumons vers et depuis le site.
- ❑ **Maladies du saumon** – Ces systèmes réduiront considérablement l'accumulation de poux du poisson, mais d'autres maladies peuvent être transmises par l'eau non traitée qui est pompée dans le système. L'eau étant prélevée en profondeur sous la structure, les exploitants ont obtenu d'excellents résultats sans pou du poisson. Le filtrage et le traitement des débits sortants pourraient être possibles à l'avenir, mais ils ne sont pas encore développés à des stades économiques.
- ❑ **Effluent de déchets** – Compte tenu des modèles les plus avancés, y compris la collecte et le traitement des déchets à terre, l'effluent de déchets est considérablement réduit comparativement aux systèmes ouverts. Cependant, certains nutriments dissous et particules de déchets ne sont pas capturés et il est difficile de traiter les déchets d'eau salée.
- ❑ **Rejet de produits chimiques** – La diminution de la présence du pou du poisson et d'autres maladies réduit au minimum ou élimine les agents thérapeutiques et les traitements qui sont rejetés dans les eaux marines.
- ❑ **Interactions avec les espèces sauvages** – Les interactions avec les espèces sauvages sont certainement réduites par les bassins à parois rigides, mais pas complètement éliminées. Les lignes d'amarrage et les systèmes d'ancrage pourraient être une source de préoccupation pour les mammifères marins, mais la mise en œuvre de ces systèmes nécessite d'autres recherches.
- ❑ **Consommation d'eau** – Étant donné que l'utilisation de l'eau ne provient pas de sources limitées (p. ex. les aquifères), cette question n'est pas associée à ces systèmes.
- ❑ **Consommation d'énergie** – La consommation d'énergie est plus élevée que pour les parcs en filet ouverts, mais inférieure aux besoins des systèmes d'aquaculture en

recirculation sur terre. L'électricité raccordée au réseau est la meilleure, mais pas toujours possible, c'est pourquoi on travaille pour parvenir à l'autosuffisance avec l'énergie solaire et éolienne et éviter de devoir utiliser des génératrices diesel. Une partie de l'énergie est utilisée pour les activités de service et d'approvisionnement de la structure, mais cela n'est pas important au cours du cycle de production ou de la vie du système.

Critères sociaux :

- ❑ **Soutien local** – L'amélioration du soutien local dépendra de la capacité du système à améliorer la performance environnementale pour la plupart des mesures. L'utilisation continue des sites riverains n'éliminera pas les conflits spatiaux marins. Ces systèmes ont donné de bons résultats dans les zones sujettes aux blooms phytoplanctoniques, de sorte que leur utilisation permet de choisir avec souplesse les sites appropriés. Ce système est le plus susceptible de maintenir les emplois dans le secteur de l'aquaculture là où ils existent actuellement, de sorte que les économies locales en bénéficieront et que les collectivités côtières pourraient voir le tout d'un bon œil.
- ❑ **Soutien mondial** – Le système offre un certain nombre d'améliorations de la performance environnementale comparativement aux systèmes ouverts et devrait permettre à la salmoniculture d'obtenir des certifications environnementales. Cependant, la liste Seafood Watch™ du Monterey Bay Aquarium ne contient pas de recommandations propres aux systèmes de parcs clos flottants (MBA 2019). L'expérience supplémentaire acquise avec ces systèmes dans les prochaines années confirmera le niveau de soutien.
- ❑ **Soutien des consommateurs** – Le saumon de taille marchande produit à partir de ce système bénéficiera du soutien des consommateurs. Les consommateurs devraient associer de manière positive le grossissement du saumon en mer et l'utilisation d'une technologie ayant une petite empreinte pour répondre à bon nombre des répercussions marines et des préoccupations concernant le saumon sauvage. Les certifications et les étiquettes des produits (c.-à-d. le soutien mondial) aideront à transmettre cette information aux consommateurs.

Critères économiques :

- ❑ **Rentabilité** – Des signes d'attrait financier et de faisabilité se manifestent à mesure que les entreprises investissent dans cette technologie. Il y a quelques années, ce système aurait été considéré comme plus coûteux, mais l'augmentation des coûts des traitements contre le pou du poisson et les avantages opérationnels de cette approche en facilitent la décision financière. Il n'y a pas encore de poussée de développement, mais la preuve de la viabilité commerciale s'accroîtra au cours des prochaines années.
- ❑ **Coût en capital** – Les coûts en capital varient de 5 à 15 \$ par kg de capacité de production de saumon, et cette fourchette large reflète la diversité des modèles encore à l'étude. Il y a moins de possibilités de réaliser des économies d'échelle et de réduire les coûts unitaires en capital que pour les grandes technologies extracôtières ou terrestres.

- ❑ **Coût d'exploitation** – Les coûts d'exploitation sont inférieurs à ceux des SAR sur terre, mais supérieurs à ceux des systèmes hybrides. Des coûts de l'ordre de 4,5 à 5,5 dollars le kg sont probables, mais des recherches sont nécessaires.
- ❑ **Risque financier** – Les risques financiers associés aux défaillances des composants du système ou aux fluctuations du marché sont beaucoup moins élevés que pour les systèmes d'aquaculture en recirculation sur terre ou les systèmes en haute mer.
- ❑ **Chaîne d'approvisionnement** – Les entreprises canadiennes offrent certains modèles, mais l'utilisation de systèmes et de composants provenant d'autres pays est probable puisque les principaux fabricants sont situés en Europe. La production d'aliments pour animaux est déjà bien établie au Canada, et c'est donc l'une des raisons pour lesquelles l'économie canadienne fonctionne bien avec ce système.
- ❑ **Économie** – Certains besoins en main-d'œuvre comprendront une formation technique plus poussée et des salaires plus élevés, mais la main-d'œuvre existante peut facilement s'adapter à ce système. Le nombre d'emplois requis est comparable à celui des activités réelles de l'industrie et l'utilisation des sites marins de la Colombie-Britannique permettra de conserver les emplois dans les collectivités côtières. Ce système permettra de maintenir plus d'emplois par tonne de saumon que les systèmes d'aquaculture en recirculation complets. Le système de parcs clos flottants exploité à l'échelle commerciale en Colombie-Britannique devrait générer environ 30 à 35 emplois directs par 1 000 tm de capacité (modifié comparativement à MNP 2015). Cette situation est étroitement liée aux besoins en main-d'œuvre des systèmes de parcs en filet, l'augmentation de la gestion technique et de l'entretien étant contrebalancée par une réduction des activités de traitement et de santé des poissons. La combinaison des professions entraînera des salaires moyens légèrement plus élevés. Ces emplois demeureront probablement là où ils se trouvent actuellement en C.-B., car la proximité des sites de grossissement sera importante.
- ❑ **Expansion** – Cette approche pourrait entraîner une certaine croissance de la production, mais il faut s'attendre à des limites à l'expansion en mer. Les avantages sur le plan de la performance environnementale, une fois établis, offriront des possibilités d'utilisation dans un plus large éventail d'environnements côtiers abrités, mais la question des conflits spatiaux marins en limitera l'utilisation. Le potentiel d'expansion augmentera à mesure que les systèmes offriront des applications submersibles et dans des environnements côtiers exposés plus robustes.

4.5 Systèmes en haute mer

Ce qui suit porte sur les modèles en mer qui sont ouverts avec des capacités submersibles. Il s'agit là de caractéristiques communes à tous les modèles concurrents qu'il convient d'examiner du point de vue de la performance, en reconnaissant que les systèmes fermés offriront des avantages environnementaux encore plus importants à mesure qu'ils se développeront à moyen terme. Ces systèmes sont tous susceptibles d'êtreensemencés de postsaumoneaux de 200 g ou plus issus des systèmes d'aquaculture en recirculation sur terre. Les poissons de plus grande taille sont préférés pour l'empoissonnement afin d'accroître la survie dans les systèmes en haute mer où les courants sont plus forts et l'énergie des vagues plus élevée.

Critères environnementaux :

- ❑ **Échappées marines** – Le risque d'échappées est relativement faible puisque ces systèmes sont construits pour résister à des conditions très difficiles et que l'intégrité du système de confinement du saumon est extrêmement élevée. Cependant, il y a eu des problèmes avec les premiers systèmes et il sera important de démontrer l'intégrité des systèmes de la prochaine génération.
- ❑ **Maladies du saumon** – Il s'agit probablement de systèmes ouverts, de sorte que les maladies ne seront pas contenues, mais ils offrent certains avantages pour la protection du saumon sauvage contre le pou du poisson et peut-être d'autres maladies. Ils seront situés loin des routes migratoires du saumon sauvage. Ils auront la capacité, par exemple, de submerger le saumon en dessous des profondeurs où le pou du poisson est répandu. Il y aura plus d'espace en haute mer pour séparer les sites de grossissement, ce qui permettra de réduire le transfert du pou du poisson d'un site à l'autre et son accumulation subséquente. Les incertitudes au sujet des interactions avec le saumon sauvage doivent faire l'objet de recherches plus poussées.
- ❑ **Effluent de déchets** – Ces grands systèmes produiront des quantités importantes de déchets étant donné le nombre élevé de poissons stockés dans chaque structure; toutefois, les principaux problèmes liés à l'effluent de déchets sont liés aux sites côtiers où l'eau est beaucoup moins profonde et les courants plus faibles. Les effets sur les communautés benthiques seront probablement minimales en mer étant donné la capacité des courants à disperser plus largement les déchets. Tant que ces matières sont biodégradables et ne constituent pas une menace pour la vie marine (c.-à-d. une meilleure alimentation), les quantités qui s'accumulent sur le fond marin ne devraient pas causer de problèmes. Une certaine collecte des déchets est possible, mais cela augmente les coûts.
- ❑ **Rejet de produits chimiques** – On s'attend à ce que les pressions exercées par les maladies, y compris le pou du poisson, soient plus faibles, de sorte que l'utilisation de traitements et d'agents thérapeutiques sera réduite au minimum. Lorsque des agents antisalissures (p. ex. cuivre) sont utilisés, on craint qu'ils ne soient plus courants sur les grandes structures métalliques et, qu'une fois qu'ils tombent sur le fond marin, il soit difficile de les récupérer en eaux profondes.
- ❑ **Interactions avec les espèces sauvages** – Comme pour les parcs en filet ouverts aujourd'hui, des interactions avec les espèces sauvages se produiront. Cette question fait l'objet de recherches visant à déterminer les interactions avec les espèces sauvages qui seront les plus importantes dans les zones extracôtières et comment elles seront gérées sur le plan de la prévention et du maintien de l'intégrité du système. Étant donné que ces systèmes seront construits avec des matériaux plus résistants pour la sécurité et l'intégrité, cela devrait améliorer la performance. En ce qui concerne les parcs clos flottants, l'utilisation de lignes d'amarre et de systèmes d'ancrage dans les systèmes en haute mer pourrait être une source de préoccupation pour les mammifères marins, mais la mise en œuvre de ces systèmes nécessite d'autres recherches.
- ❑ **Consommation d'eau** – Ce point n'est pas considéré comme un problème pour les systèmes en haute mer.

- ❑ **Consommation d'énergie** – Il y a trois principaux besoins énergétiques à prendre en compte, à savoir : la construction et l'exploitation de la structure en mer, le transport du personnel et des marchandises à destination et en provenance de la structure en mer, et la proximité des sources d'alimentation et des marchés de consommation. La construction de ces grandes structures nécessitera beaucoup d'énergie, mais pas autant que les systèmes d'aquaculture en recirculation sur terre, et leurs besoins énergétiques opérationnels seront faibles puisque les courants déplaceront l'eau dans le système. Les modèles de pointe optimisent les matériaux de construction pour réduire les coûts environnementaux et économiques, tout en offrant la résistance requise pour les environnements en haute mer. Les énergies renouvelables comme les panneaux solaires et les éoliennes peuvent être incorporées dans les systèmes en haute mer, et seront utilisées pour faire fonctionner les systèmes d'alimentation automatiques, les véhicules télécommandés, les mouvements des cages (rotation ou montée et descente dans la colonne d'eau). Le transport de marchandises et de personnel à destination et en provenance des sites extracôtiers augmentera les besoins énergétiques, bien que la fréquence du trafic maritime soit relativement faible. Ces installations mises en valeur au large de la côte de la Colombie-Britannique offriront l'avantage de se trouver à de courtes distances des sources existantes d'approvisionnement en aliments pour animaux, mais demeureront éloignées des principaux marchés de consommation.

Critères sociaux :

- ❑ **Soutien local** – Le fait de se déplacer en haute mer évitera bien des conflits spatiaux marins et répondra à de nombreuses préoccupations environnementales, et devrait donc bénéficier d'un solide soutien local. Ce système a la capacité de maintenir les emplois de l'aquaculture dans les collectivités côtières, bien que les besoins en main-d'œuvre soient réduits tant pour la phase sur terre que pour la phase en mer, comparativement à l'autre solution que constitue le système hybride.
- ❑ **Soutien mondial** – Bien qu'il ne soit pas aussi attrayant sur le plan environnemental que les systèmes d'aquaculture en recirculation sur terre pour un grossissement complet, ce système devrait apporter suffisamment d'améliorations pour atteindre ou dépasser les certifications environnementales les plus élevées. La recherche qui observera les systèmes à l'échelle commerciale ces prochaines années confirmera le niveau de soutien. La liste Seafood Watch™ du Monterey Bay Aquarium ne contient pas de recommandations propres aux systèmes en haute mer (MBA 2019).
- ❑ **Soutien des consommateurs** – Grâce aux certifications de produits durables de la mer, les consommateurs reconnaîtront que ce système répond à de nombreuses préoccupations environnementales. Il sera attrayant en tant que système qui produit du saumon en haute mer, tant que des mesures réglementaires appropriées sont en place et que les zones extracôtières sont perçues comme des environnements propres pour la production alimentaire.

Critères économiques :

- ❑ **Rentabilité** – L'attrait financier et la faisabilité de ce système sont les moins évidents, car les investissements les plus importants en salmoniculture hauturière n'ont

commencé que récemment et sont surtout concentrés en Chine. Les moteurs de l'investissement en Chine sont différents, mais certaines entreprises de production de saumon en Europe déploient également des systèmes en mer. Les trois à cinq prochaines années en confirmeront la rentabilité à l'échelle commerciale.

- ❑ **Coût en capital** – Ce coût est inférieur à celui du grossissement complet dans les systèmes d'aquaculture en recirculation sur terre, mais il n'est pas aussi bas que dans les systèmes hybrides. Les processus d'obtention des permis et des approbations n'ont pas été entièrement élaborés, ce qui prolonge l'attente pour les investisseurs. Une fois cette question résolue, la perspective à long terme d'obtention des permis et des approbations sera supérieure à d'autres solutions de rechange en raison de l'espace disponible et de l'uniformité des emplacements en mer. Le coût unitaire en capital des systèmes extracôtiers d'une capacité de 5 à 6 000 t en Norvège et en Chine est d'un peu plus de 20 dollars par kg de capacité de production. Le maintien et l'amortissement annuels du capital représentent environ 2 % des coûts en capital. L'augmentation des coûts est liée aux grandes structures rigides nécessaires pour maintenir le système dans des environnements à haute énergie. Les navires plus grands utilisés pour le déploiement et l'entretien sont coûteux, et les systèmes d'ancrage, l'automatisation et les contrôles avancés s'ajoutent au total. La quantité de poisson produite dans le système est le facteur partiellement compensateur qui maintient les coûts unitaires en capital dans une fourchette raisonnable (CEA 2018), mais d'autres recherches sont nécessaires puisque différentes conceptions pourraient voir le jour.
- ❑ **Coût d'exploitation** – Les coûts d'exploitation sont très concurrentiels puisque ces systèmes font le meilleur usage possible de l'automatisation et des ressources naturelles. Un coût supplémentaire de 10 % à 15 % comparativement aux parcs en filet classiques est prévu à court terme pour les systèmes extracôtiers (CEA 2018). Il s'agit là d'une solution nettement concurrentielle comparativement aux coûts des SAR sur terre et des systèmes de parcs clos flottants, et qui pourrait s'avérer plus économique à long terme. L'alimentation et la croissance du saumon ne sont actuellement pas aussi efficaces dans les environnements extracôtiers; les coûts d'assurance et le transport à destination et en provenance de la côte sont des facteurs clés des coûts opérationnels.
- ❑ **Risque financier** – Il existe actuellement un risque financier étant donné qu'il s'agit de la technologie la plus récente parmi les solutions de rechange et que plusieurs années d'exploitation sont nécessaires pour confirmer sa fiabilité. Comme l'investissement en capital est relativement élevé, il est important de démontrer que le système résiste aux défaillances des composants et aux fluctuations du marché (p. ex. baisse du prix du saumon).
- ❑ **Chaîne d'approvisionnement** – Les principaux concepteurs et fabricants de systèmes en haute mer sont situés à l'extérieur du Canada, mais il est possible d'apporter des modules au Canada pour les monter et les personnaliser au pays. Comme pour les autres systèmes, l'autre intrant principal est l'approvisionnement en aliments, qui est bien établi au Canada.
- ❑ **Économie** – On a parfois besoin de personnel sur les structures en haute mer, et pour le transport des marchandises à destination et en provenance des sites en mer. Ces postes sont moins nombreux que pour les systèmes hybrides, mais ils exigent des compétences et une expertise avancées et sont donc bien rémunérés. Comme ce système utilisera les eaux marines de la Colombie-Britannique, cette approche aidera à conserver les

emplois locaux. Les systèmes extracôtiers exploités à l'échelle commerciale en C.-B. sont difficiles à évaluer, mais le degré élevé d'automatisation et l'environnement difficile laissent présager une baisse de la demande de main-d'œuvre. Il y aura toujours l'ensemble des activités de la chaîne d'approvisionnement, de la transformation et de vente, de sorte que les emplois directs sont estimés entre 20 et 25. C'est le chiffre le plus bas des quatre systèmes. Les emplois seront tous techniquement exigeants, de sorte que les salaires moyens seront élevés. La principale considération est que l'emplacement des emplois, en particulier ceux liés aux activités extracôtères, se déplacera en Colombie-Britannique.

- **Expansion** – Il existe très peu de limites à l'expansion des systèmes en haute mer, et une croissance substantielle pourrait donc se produire une fois que cette technologie sera pleinement éprouvée. La Colombie-Britannique offre de vastes étendues d'eaux de mer ouverte qui conviennent à la production de saumon. Il faudra probablement une dizaine d'années avant qu'une exploitation commerciale importante n'ait lieu au Canada ou aux États-Unis (CEA 2018).

5. Méthode de développement en Colombie-Britannique

5.1 Introduction

Les technologies évaluées dans le présent rapport sont exploitées à grande échelle, mais sont à différents stades de maturité, de sorte qu'elles ne sont pas toutes prêtes pour une application commerciale au Canada. Les SAR sur terre et les systèmes hybrides sont prêts et la C.-B. est en mesure de les faire progresser maintenant, mais les systèmes de parcs clos flottants et les systèmes en haute mer doivent être déployés au Canada pendant quelques années avant que l'on puisse affirmer qu'ils sont prêts. Ces deux derniers méritent encore des investissements substantiels, car ils présentent un grand potentiel pour le grossissement en mer.

Les moteurs traditionnels de l'innovation dans l'industrie mondiale sont la compétitivité, la réduction des coûts de production et l'obtention des marchés. Au fur et à mesure que la demande mondiale de sources de protéines et de produits comestibles de la mer en particulier augmentera, les investissements se tourneront vers la salmoniculture. Les technologies de production seront en concurrence pour devenir les principaux modes d'approvisionnement, et la durabilité est de plus en plus un élément essentiel pour attirer les investisseurs.

L'objectif de la Colombie-Britannique est de s'assurer que les investissements mènent au développement des technologies qui offrent la meilleure combinaison de performance environnementale, sociale et économique. En s'appuyant sur les programmes et soutiens qui existent pour l'aquaculture au Canada, cette section examine les approches et les mesures clés qui ciblent les technologies privilégiées, en reconnaissant que l'exploitation des forces du marché peut aider à atteindre les résultats souhaités. Chaque technologie peut avoir des besoins différents, de sorte qu'il est nécessaire de combiner les mesures.

5.2 Lois et politiques

Des lois et des politiques claires et efficaces ont précédé le développement des nouvelles technologies dans d'autres pays. La clarté et la stabilité permettent aux investisseurs de mobiliser des capitaux, ce qui est essentiel pour la rentabilité des entreprises et des investissements dans l'innovation. Un certain nombre de déclarations ont été faites au Canada au sujet de la nécessité de clarifier et de consolider la réglementation sous la forme d'une loi sur l'aquaculture (Sénat 2015), et la poursuite des travaux sur cette initiative sera utile tant qu'elle maintiendra un point de vue sur les technologies prometteuses examinées ici. Les discussions avec les experts travaillant sur chacune de ces technologies ont permis de relever au moins un domaine clé d'incertitude entourant les politiques et la réglementation pour chaque système.

- ❑ **SAR sur terre** – Les permis provinciaux de rejet de déchets délivrés aux termes de l'*Environmental Management Act* de la Colombie-Britannique, tant pour l'eau que pour les déchets solides, sont des sujets d'incertitude pour les concepteurs de systèmes terrestres. Les fermes traditionnelles peuvent uniquement utiliser du compost produit à partir de déchets aquacoles comme engrais à condition que ce dernier respecte les normes en matière de contenu, notamment la teneur en sel. Cela pourrait nécessiter un traitement coûteux ou limiter l'utilisation des déchets. Par ailleurs, il existe une ambiguïté en ce qui concerne le rejet d'effluents en l'absence de normes claires pour les effluents des SAR. Des critères d'autorisation clairs et sans ambiguïté sont nécessaires pour attirer les développeurs de cette technologie. La détermination des exigences acceptables en matière de prise d'eau est un autre domaine d'incertitude et il est reconnu que ces exigences peuvent être propres à un site ou à un système, et qu'il faut des processus d'essai et d'évaluation qui prennent du temps. Une solution consiste à repérer des sites appropriés qui sont (pré)approuvés en fonction des limites d'utilisation des ressources et des rejets de déchets, puis un processus d'approbation simplifié pour le site facilitera les investissements. Cette solution pourrait être accessible à plusieurs entreprises sur un site donné, ce qui permettrait de créer des synergies entre les producteurs et de réaliser des économies de coûts.
- ❑ **Systèmes hybrides** – Ces systèmes sont déjà examinés de près en Colombie-Britannique, de sorte que la voie réglementaire est plus simple, bien que certaines questions subsistent concernant les maximums pour la densité de la biomasse et l'utilisation des sites de grossissement en mer. Le passage à des poissons plus gros avec des périodes de grossissement plus courtes permet une planification différente des sites, y compris le nombre de sites, la rotation de l'empoissonnement et les périodes de jachère. L'utilisation du logiciel de modélisation des dépôts de déchets aquacoles DEPOMOD par le MPO et l'échantillonnage de routine aux termes du *Règlement sur les activités aquacoles* doivent confirmer que les impacts benthiques demeurent dans des limites acceptables.
- ❑ **Systèmes de parcs clos flottants** – La législation et les politiques actuelles sont principalement conçues pour les systèmes de parcs en filet ouverts et veillent à ce qu'ils ne dépassent pas la capacité de charge du milieu marin ou n'interfèrent pas

avec les populations de saumon sauvage. Les systèmes de parcs clos flottants répondent en grande partie à ces questions et devraient donc être envisagés pour accroître la densité de la biomasse. Cela améliorerait la performance financière en procurant un meilleur rendement (c.-à-d. les recettes tirées de chaque cycle de production de poisson), ce qui permettrait de rentabiliser plus rapidement l'investissement en capital, d'améliorer le rendement opérationnel et, en fin de compte, d'encourager une adoption plus rapide de cette technologie. Comme pour les SAR sur terre, il serait utile de déterminer un site pour la poursuite du développement de la technologie à l'échelle commerciale afin de rationaliser le processus d'approbation.

- ❑ **Systèmes en mer** – La plus grande incertitude en matière de réglementation et de politiques repose sur les systèmes d'aquaculture en mer. Il est reconnu que les prochains projets de développement en mer au Canada pourraient en fait aider à façonner l'élaboration d'une réglementation et de politiques. La mise en œuvre d'un petit nombre de projets permettra de les observer et de les évaluer avant de développer l'aquaculture en mer à grande échelle. Un permis de développement adapté aux particularités d'une technologie prometteuse sera suffisant dans un premier temps, puis des exigences plus complètes pourront être élaborées pour le développement général à l'avenir. Le gouvernement norvégien (2017) a reconnu que la technologie de l'aquaculture hauturière se développe si rapidement qu'il faudrait adopter une réglementation souple plutôt que prescriptive pour soutenir l'innovation continue.
- ❑ **Systèmes hybrides et systèmes de parcs clos flottants** – Les conditions de permis réglementent déjà la gestion du pou du poisson dans les fermes salmonicoles marines de la C.-B. Toutefois, ces exigences ne visent pas à encourager l'adoption de nouvelles technologies. Dans le système norvégien de « feux de signalisation », des seuils très bas sont fixés pour le pou du poisson et s'ils sont atteints, les sites marins (individuellement ou dans une baie) sont autorisés à augmenter la densité de la biomasse; s'ils ne le sont pas, la densité de la biomasse est réduite, et d'autres mesures sont prises. Le système de « feux de signalisation » comprend des nombres moyens maximaux de poux du poisson propres au sexe, au stade de développement du saumon, à la période de l'année, à l'emplacement de la ferme salmonicole et à d'autres facteurs qui constituent le fondement des seuils de traitement et des exigences de déclaration. Cela motive les producteurs à adopter les meilleures approches pour réduire au minimum ou éliminer le pou du poisson, y compris les technologies décrites dans le présent rapport.

5.3 Encourager l'innovation

On a besoin de chercheurs et d'innovateurs en Colombie-Britannique pour accompagner et guider le développement de nouvelles technologies. Une fois que les nouvelles technologies s'accéléreront et que l'échelle de production de ces systèmes augmentera, les chercheurs et les innovateurs seront davantage attirés par le secteur en C.-B. Cela signifie qu'il existe une boucle de rétroaction positive impliquant les innovateurs et le développement de nouvelles technologies, où la croissance des uns favorise la croissance des autres. Afin d'accélérer ce

phénomène, un certain nombre de suggestions ont été formulées lors de la préparation du présent rapport.

- ❑ **Transfert technologique intrasectoriel** – Pour mettre au point de nouvelles technologies, la recherche et développement est souvent soigneusement protégée, même si elle finit par être rendue publique (p. ex. le milieu universitaire), et elle peut demeurer entièrement confidentielle dans le secteur privé (p. ex. le développement de brevets). Dans certains cas, cela se poursuivra, mais le piège est que les développeurs qui travaillent de façon indépendante sans communiquer l'information sont susceptibles de répéter les efforts de recherche ainsi que les erreurs que d'autres ont commis. La solution consiste à faciliter et à coordonner la communication de l'information. La Norvège a récemment lié les exigences en matière de communication de l'information et de collaboration à la délivrance de permis de développement pour les nouvelles technologies. En Norvège, les permis sont normalement octroyés à un prix élevé et il est très difficile d'obtenir de nouvelles capacités de production, de sorte que les entreprises sont encouragées à satisfaire aux exigences supplémentaires. En conséquence, la Norvège est le leader mondial incontesté de la promotion d'une culture de l'innovation qui combine le gouvernement, le milieu universitaire et le secteur privé.
- ❑ **Transfert technologique intersectoriel** - Un certain nombre d'industries comme l'aquaculture, les pêches, l'énergie extracôtière et le transport maritime font face à des défis communs dans le milieu marin. La Norvège a reconnu dans sa Stratégie relative aux océans la nécessité que ces industries échangent l'information et collaborent en matière de développement technologique, en particulier la possibilité pour les industries plus établies (par exemple, l'énergie extracôtière) de partager la technologie en vue de nouveaux développements, notamment en aquaculture (gouvernement norvégien 2017).
- ❑ **Cartographie des ressources et planification spatiale marine** - La nécessité de déterminer des zones marines (abritées en milieu côtier, semi-exposées près des côtes et hauturières) pour le développement approprié des technologies aquacoles doit être intégrée aux autres industries utilisant les ressources marines (par exemple, énergie extracôtière, transport, tourisme, défense nationale). Là encore, la Stratégie norvégienne relative aux océans reconnaît que le gouvernement national a un rôle à jouer pour coordonner et fournir une cartographie numérique intégrée (SIG) qui contient les données clés pour les entreprises et les organismes de réglementation et qui est distribuée de manière à pouvoir être largement utilisée.
- ❑ **Formation** – La nécessité d'accroître la formation de la main-d'œuvre et la capacité de recherche va de pair avec les efforts visant à développer de nouveaux systèmes de production. Plusieurs informateurs clés ont indiqué qu'il faudra prendre des initiatives pour déplacer la main-d'œuvre de l'aquaculture actuelle vers des postes plus techniques, et qu'il faudra préparer et recruter de nouveaux travailleurs pour éviter une pénurie à mesure que les nouvelles technologies se développeront. La solution consiste à coordonner les programmes de formation des collèges, des universités et du secteur privé en mettant l'accent sur les besoins des nouveaux systèmes de production. Il existe des lacunes particulières dans la maîtrise des « technologies de soutien » décrites dans le présent rapport, de sorte que les

entreprises qui développent des capteurs, des logiciels, de la robotique et d'autres composants pourraient devoir participer à l'élaboration de programmes de formation. La constitution d'une masse critique de personnes formées et informées de différents points de vue stimulera l'innovation, car davantage de capital humain pourra être consacré à l'amélioration de la performance.

- **Conférences** – Il existe un certain nombre de forums permettant aux leaders des nouvelles technologies de faire part des renseignements sur les développements récents, mais ceux-ci portent souvent sur des projets et des sujets internationaux. Les acteurs de la Colombie-Britannique continueront d'apprendre des développements internationaux, mais la poussée concertée pour le développement de nouvelles technologies en Colombie-Britannique exige des occasions régulières de discuter des intérêts locaux. Les réunions offrent des occasions différentes de communiquer de l'information par le moyen des rapports et des résultats de recherche, puisqu'il est important pour tous les publics de participer, de poser des questions et de contribuer au programme de recherche et développement. La solution consiste à faciliter la tenue d'une réunion annuelle en Colombie-Britannique dans un premier temps, qui pourrait se tenir dans d'autres régions du pays à mesure que de nouvelles technologies seront déployées.
- **Transparence** – Lorsque des efforts de recherche distincts mènent à des points de vue différents sur des questions clés, il peut être difficile de résoudre des demandes concurrentes. Il en résulte une confusion et un manque de confiance de la part des acteurs non techniques et du grand public. La solution consiste à soutenir l'affichage public de renseignements scientifiques consolidés afin d'aider à renforcer le soutien social aux nouvelles technologies aquacoles. Il est tout aussi important de communiquer les « impasses » de la recherche que les « grandes découvertes » pour que chacun puisse apprécier ce qui a été étudié. Au fur et à mesure que de nouvelles technologies sont déployées, les données concernant la surveillance et la performance devraient être facilement accessibles pour une discussion ouverte.

5.4 Incitations financières

La technologie hybride est déjà examinée de près en Colombie-Britannique, et les autres technologies progressent également dans d'autres pays. Cela donne à penser qu'il y a un écart par rapport aux trois autres systèmes qui ont besoin d'incitations ou de soutien pour progresser. Les incitations financières sont utilisées par les gouvernements pour servir l'intérêt public (p. ex. création d'emplois, protection de l'environnement) dans deux situations clés : 1) lorsque les administrations se font concurrence pour attirer des entreprises dont l'emplacement est souple et 2) lorsque les entreprises veulent s'établir dans un endroit particulier, mais qu'il y a un défi financier à surmonter.

Le système hybride et le SAR sur terre sont les plus gourmands en capital et les plus susceptibles de bénéficier d'incitations financières. Le système hybride et la technologie des parcs clos flottants ne peuvent pas être implantés n'importe où dans le monde, car les critères de localisation combinés pour chaque technologie doivent être respectés et la Colombie-Britannique offre un certain nombre d'options. Il est plus facile de trouver des

emplacements dans le monde entier pour les SAR sur terre pour les systèmes de grossissement et les systèmes en haute mer, de sorte que la C.-B. est en concurrence avec d'autres pour obtenir les investissements nécessaires à l'établissement de cette technologie. Ce qui suit examine les incitations financières dans le contexte du développement de ces systèmes en Colombie-Britannique.

- ❑ **Réduction des droits de permis d'exploitation** – Dans certains pays, les permis d'aquaculture en parcs en filet ouverts sont assujettis à des droits substantiels, et les permis sont échangés entre les entreprises à des prix élevés sur le marché. La Norvège a instauré des droits de permis en 2002 et des permis pour la capacité standard de 780 t ont récemment été vendus pour plus de 10 millions de dollars (DNB 2017). Les « permis d'exploitation » pour les projets qui répondent aux critères d'innovation ont été accordés gratuitement au départ et, après un certain temps, peuvent être convertis en permis normaux pour environ 1 million de dollars (90 % de moins que la valeur). Plus de 50 entreprises ont demandé ces permis, qui représentent la seule possibilité importante de croissance. Les économies sont destinées à compenser les coûts d'investissement dans les technologies de remplacement. Cela signifie que l'accès à la production est très difficile à obtenir, même lorsqu'il est disponible. Pour appuyer les nouvelles technologies, ces permis peuvent être délivrés à des droits réduits (en mer) ou sans droit du tout (comme les SAR sur terre en Norvège). Pour ce faire, il faut d'abord établir des droits élevés, puis on réduit le prix pour les technologies privilégiées afin de faire progresser les technologies plus durables.
- ❑ **Avantages locaux** - Dans la foulée du dernier sujet concernant les droits élevés établis en Norvège, il a été reconnu que les avantages devraient être accrus pour les collectivités qui accueillent la production aquacole marine. La Stratégie norvégienne relative aux océans a indiqué qu'une grande partie du produit des nouveaux permis d'aquaculture revient maintenant aux municipalités locales.
- ❑ **Rabais sur la paie** – Ces rabais peuvent être utiles bien que les besoins en main-d'œuvre pour les nouvelles technologies aient tendance à être inférieurs à ceux de l'aquaculture classique, et ils ne constituent donc pas une forte incitation à investir dans les nouvelles technologies.
- ❑ **Financement et crédits pour la recherche et développement** – Le Canada dispose d'une série de programmes visant à soutenir les coûts de la recherche et de l'innovation, mais il est toujours nécessaire de cibler ces derniers de façon coordonnée en restant axé sur les priorités. Le fait de faire de l'expansion technologique en aquaculture une priorité absolue aidera à harmoniser les programmes fédéraux, provinciaux et régionaux. Les divers organismes devraient être au courant des projets en cours d'exécution afin de maximiser le soutien ou d'éviter les chevauchements, le cas échéant. Le programme de financement Horizon 2020 de l'Union européenne (UE), par exemple, versait 1,94 € (euros) à Aquafarm Equipment pour développer sa technologie de parcs clos flottants Neptune à une échelle commerciale. Cela s'inscrit dans le cadre de la stratégie de croissance bleue de l'UE, qui vise à assurer le développement durable de davantage de ressources des océans sans compromettre les avantages pour les générations futures. La Norvège a instauré un petit prélèvement sur toutes les exportations de saumon, qui est versé

dans un fonds qui doit être jumelé à parts égales avec les investissements de l'industrie dans la recherche et développement.

- ❑ **Amortissement accéléré du capital** – Chacune des technologies décrites dans le présent rapport nécessite plus de capital que l'aquaculture classique dans les parcs en filet et pourrait bénéficier d'un amortissement accéléré du capital. L'attrait de cet outil réside dans le fait que les avantages se manifestent au moment où l'on en a le plus besoin au début, puis diminuent au fil du temps à mesure que le bilan s'améliore. L'Agence du revenu du Canada (ARC 2019) offre un programme d'encouragement accéléré à l'investissement pour des équipements de fabrication et de transformation (p. ex. transformation du poisson) et des équipements d'énergie propre qui pourraient être intégrés dans les nouveaux systèmes de production du saumon.
- ❑ **Coentreprises** – Le gouvernement peut jouer un rôle en travaillant avec des entreprises privées et d'autres organismes pour investir dans de nouvelles technologies. Cela a déjà été fait avec le projet Kuterra de Namgis afin de démontrer la faisabilité des systèmes d'aquaculture en recirculation sur terre pour le grossissement à petite échelle commerciale. Ce modèle est une option pour d'autres technologies à l'avenir.
- ❑ **Prêts garantis** – Il s'agit de la dernière forme d'incitation dont il est question puisqu'elle n'a pas été présentée comme un outil clé pour attirer les investissements. Contrairement à ce qui se passait il y a cinq à dix ans, on croit actuellement que les investisseurs ont suffisamment de capital pour lancer des projets. Cela se produit clairement avec les systèmes d'aquaculture en recirculation sur terre aux États-Unis, en Chine et en Europe. Cette forme d'incitation financière est néanmoins utile, mais les autres incitations et l'élimination des obstacles ou des lacunes sont probablement plus importantes. En outre, les sociétés de construction de systèmes d'aquaculture en recirculation sur terre pour le grossissement et de systèmes en haute mer offrent maintenant de louer leurs systèmes. Il n'est donc plus nécessaire de mobiliser des capitaux, et les risques associés au système restent à la charge du fournisseur. Cela réduit la nécessité d'obtenir des prêts du gouvernement et renforce la confiance envers le système, de sorte que les producteurs de saumon peuvent simplement se concentrer sur la croissance de leurs produits pour le marché. Des prêts garantis pourraient jouer un certain rôle dans la tenue de projets pilotes, l'établissement de petits développements commerciaux indépendants et la participation des communautés autochtones à l'élaboration de nouvelles technologies.

5.5 Allocation de biomasse

L'introduction de ce rapport a mis en lumière le ralentissement de la production salmonicole à l'échelle mondiale et en Colombie-Britannique, malgré la demande forte et croissante de produits. Cette tension crée un fort désir de la part des entreprises aquacoles d'avoir accès aux allocations de biomasse. Comme indiqué plus haut, la Norvège a veillé à ce que l'accès à la biomasse soit lié à l'utilisation des technologies les plus performantes.

- ❑ **Nouvelles allocations de biomasse** – Le principe fondamental est que la croissance ne devrait être autorisée qu’au moment et aux endroits où l’empreinte environnementale est acceptable. Cette approche implique que les nouvelles allocations de biomasse dépendent des investissements en matière de nouvelles technologies. Les nouvelles allocations peuvent inclure le renouvellement des sites existants une fois les baux expirés, des ajouts supplémentaires de biomasse aux sites existants ou l’approbation de sites entièrement nouveaux. Les décisions d’appuyer des allocations supplémentaires à des sites existants ou à de nouveaux sites sont fondées sur des règles et comportent des exigences plus rigoureuses en matière de performance environnementale (p. ex. réduction au minimum des niveaux de poux du poisson, absence de fuites et réduction des impacts benthiques). C’est pourquoi il est nécessaire d’investir dans de nouvelles technologies, y compris les SAR sur terre pour le grossissement, les systèmes de parcs clos flottants ou les systèmes en haute mer. Les entreprises disposent ainsi de moyens financiers accrus (revenus et bénéfices de la production) pour investir dans les nouvelles technologies.
- ❑ **Négoce de sites de parcs en filet ouverts** – La Norvège a attribué des allocations de biomasse dans le cadre de nouvelles technologies, les entreprises étant tenues de retirer un site existant de parcs en filet ouverts. Cela permet à l’industrie d’évoluer vers les nouvelles technologies au fil du temps.
- ❑ **Le système hybride comme tremplin** – Bien que la performance de ce système ne soit pas aussi élevée que les autres solutions envisagées, celui-ci met en place des éléments qui peuvent soutenir le développement des autres technologies à l’avenir. L’expansion des installations utilisant des systèmes d’aquaculture en recirculation sur terre pour la production de postsaumoneaux peut être poussée à l’avenir jusqu’à l’atteinte de tailles plus grandes et de la pleine taille du marché. Des postsaumoneaux seront nécessaires pour les systèmes de parcs clos flottants et les systèmes en haute mer une fois qu’ils seront établis. Les progrès réalisés dans le domaine des navires et d’autres composants des systèmes sont également nécessaires pour d’autres systèmes. Le système hybride peut être un moyen de mettre en place une infrastructure connue, tandis que les technologies moins développées sont achevées aux fins d’adoption commerciale.

5.6 Soutien à l’innovation au Canada

Un certain nombre de personnes interrogées au Canada ont fait remarquer que « nous savons déjà comment soutenir l’innovation; il suffit d’appliquer à l’aquaculture l’approche utilisée dans d’autres secteurs ». Les enjeux et les préoccupations liés à l’aquaculture classique peuvent avoir empêché un effort concerté pour soutenir la recherche, l’expansion et le développement des exportations. En cherchant clairement à appuyer les technologies novatrices qui s’attaquent à des questions clés et qui vont au-delà des approches actuelles, une nouvelle coordination des programmes sera peut-être possible.

Disponible ailleurs au Canada :

Les producteurs de la Colombie-Britannique indiquent que les entreprises aquacoles du Canada atlantique ont accès à davantage de programmes de soutien qui ne sont pas offerts en Colombie-Britannique ou qui ne sont pas conçus pour le secteur de l'aquaculture.

- ❑ **Le Fonds d'innovation de l'Atlantique (FIA)** encourage les partenariats entre les entreprises du secteur privé, les coopératives, les universités, les collèges et d'autres établissements de recherche pour développer et commercialiser des produits et services nouveaux ou améliorés.
- ❑ **Le Fonds des collectivités innovatrices (FCI)** investit dans des projets stratégiques qui renforcent l'économie des collectivités du Canada atlantique, notamment des projets qui améliorent la performance environnementale.
- ❑ **La Stratégie de croissance pour l'Atlantique - Commerce et investissement** est une initiative locale, historique et novatrice - la première du genre au Canada - visant à accroître les exportations et à stimuler les investissements étrangers dans la région.
- ❑ **L'Agence de promotion économique du Canada atlantique (APECA)** - a appuyé le développement de SAR sur terre ainsi que l'adoption de nouveaux systèmes ou composantes de systèmes pour l'aquaculture en parcs en filet.

Dans d'autres secteurs au Canada :

Les exploitants de la C.-B. font également remarquer que les programmes fédéraux et ceux qui sont en particulier destinés à l'agriculture n'offrent pas un accès semblable au secteur de l'aquaculture ou, dans certains cas, l'aquaculture n'est pas admissible au financement. Agriculture et Agroalimentaire Canada semble indiquer que le manque d'admissibilité au financement pour l'aquaculture découle du fait que l'aquaculture ne s'inscrit pas clairement dans son mandat. Il s'agit là d'un excellent exemple de la nécessité pour l'aquaculture d'avoir ses propres législation et politique claires plutôt que de « passer entre les mailles des filets » des différents ministères.

- ❑ **Portefeuille d'innovation, Sciences et Développement économique** - Dix-sept ministères et organismes fédéraux contribuent à l'atteinte de l'objectif du gouvernement de bâtir une économie du savoir dans toutes les régions du Canada et de faire progresser le programme du gouvernement en matière d'emploi et de croissance. Cet aspect devrait être réexaminé afin de mieux cibler et appuyer l'avancement des quatre nouvelles technologies de production décrites dans le présent rapport.
- ❑ **Programme des technologies propres en agriculture** - Financement de projets dirigés par les gouvernements provinciaux et territoriaux pour des projets de recherche, de développement, de démonstration, de commercialisation et d'adoption de technologies propres dans les secteurs agricole et agroalimentaire du Canada (25 millions de dollars sur trois ans).
- ❑ **Programme Agri-innovate** - Ce programme offre des contributions remboursables pour des projets qui visent à accélérer la démonstration, la commercialisation ou l'adoption de produits, de technologies, de procédés ou de services novateurs qui rehaussent la compétitivité et la durabilité du secteur agricole.

- ❑ **Programme Agri-science** - Ce programme vise à accélérer le rythme de l'innovation en finançant et en appuyant les activités scientifiques avant la commercialisation et la recherche de pointe au profit du secteur agricole et agroalimentaire et des Canadiens.
- ❑ **Initiative sur les systèmes agricoles et alimentaires autochtones** - Appuie les communautés et les entrepreneurs autochtones qui sont prêts à lancer des projets de systèmes agricoles et alimentaires et d'autres qui veulent renforcer leur capacité à participer au secteur agricole et agroalimentaire canadien.
- ❑ **Partenariat agricole canadien (anciennement Cultivons l'avenir)** - Depuis plus de 15 ans, le gouvernement canadien utilise les cadres stratégiques pour l'agriculture pour améliorer la compétitivité des entreprises agricoles et agroalimentaires. Le Partenariat agricole canadien est un investissement fédéral-provincial-territorial de 3 milliards de dollars sur cinq ans dans le secteur de l'agriculture, de l'agroalimentaire et des produits agro-industriels qui a débuté en avril 2018, et un programme quinquennal de développement des marchés agroalimentaires et des produits de la mer de 5 millions de dollars est offert en Colombie-Britannique. Il s'agit d'une petite partie du programme, et il n'appuie pas le développement technologique, contrairement aux parties terrestres du programme.

L'aquaculture a besoin d'un soutien accru et d'une priorité plus élevée :

L'aquaculture est admissible à un financement dans le cadre de certains programmes fédéraux, mais elle n'en est pas la seule bénéficiaire ou ils sont insuffisants pour soutenir la croissance potentielle des nouvelles technologies. Ces programmes doivent donner davantage la priorité à l'aquaculture en allouant plus de fonds ou en créant des catégories axées sur les nouvelles technologies des systèmes de production en aquaculture.

- ❑ **Programme d'adoption de technologies propres dans les pêches et l'aquaculture du MPO** – Ce programme, d'une durée de quatre ans, offre 20 millions de dollars et prendra fin en 2021. Le financement, jusqu'à concurrence de 75 % des coûts admissibles du projet, est destiné à l'intégration de technologies propres prêtes à être commercialisées dans les activités quotidiennes. Le programme a favorisé l'intégration de la technologie des SAR dans une ferme salmonicole de la Colombie-Britannique, ainsi que l'installation d'un biodigester pour traiter les déchets de poisson et produire de l'électricité pour une installation terrestre.
- ❑ **Fonds des pêches de l'Atlantique du MPO** – Ce programme, qui n'existe qu'au Canada atlantique et prend fin en 2024, offre 295 millions de dollars et appuie la recherche et développement de nouvelles innovations, leur mise en marché et la création de partenariats et de réseaux qui favorisent l'innovation dans ce secteur.
- ❑ **Le Fonds de restauration et d'innovation pour le saumon de Colombie-Britannique du MPO** – Le financement est disponible en Colombie-Britannique seulement, pour 142,8 millions de dollars. Le programme prend fin en 2024. Les priorités actuelles sont les projets qui satisfont aux critères de durabilité améliorée de l'industrie aquacole pour assurer la protection et la conservation des écosystèmes marins et des populations de poissons sauvages.
- ❑ **Technologies du développement durable Canada (TDDC)** – TDDC finance la recherche et développement de nouvelles technologies dans divers secteurs économiques. Le

financement a déjà permis d'appuyer le développement des SAR sur terre de Kuterra (5 millions de dollars) et l'aménagement d'un système de parcs clos flottants à Middle Bay, en Colombie-Britannique (2 millions de dollars). TDDC collabore avec le MPO et le gouvernement de la Colombie-Britannique pour faire progresser les nouvelles technologies de production aquacole, en particulier les technologies des capteurs et des données qui appuieront la croissance durable de l'aquaculture au Canada.

- ❑ **Initiative d'aquaculture autochtone au Canada (maintenant sous l'égide de l'Initiative des pêches commerciales intégrées du Nord)** - Cette initiative dirigée par le MPO appuie le développement d'entreprises communautaires de pêche commerciale et d'aquaculture appartenant à des Autochtones. Les communautés et les groupes autochtones peuvent obtenir des fonds pour se doter d'opérations aquacoles durables. Cela comprend les coûts liés à l'expansion ou à la modernisation des installations aquacoles existantes, les coûts liés au matériel nécessaire à l'établissement ou à l'expansion d'activités aquacoles, et les coûts associés à l'établissement d'une entreprise aquacole. Ce financement vise à appuyer le renforcement des capacités, la génération de revenus et de profits, la création d'emplois et l'autosuffisance des exploitations aquacoles.
- ❑ **Initiative des super grappes technologiques d'Innovation, Sciences et Développement économique Canada** – Il s'agit d'un programme de financement quinquennal de 950 millions de dollars qui prendra fin en 2022 et qui comprend une super grappe technologique des océans. C'est le premier programme de cette nature au Canada, dans lequel des fonds sont versés à des consortiums d'entreprises, d'établissements postsecondaires, de recherche et de partenaires gouvernementaux dirigés par l'industrie. La super grappe technologique des océans regroupe des industries telles que : les énergies marines renouvelables, la pêche, l'aquaculture, le pétrole et le gaz, la défense, la construction navale et le transport. Dans les domaines de la technologie et de l'innovation, l'accent est mis sur les capteurs et la surveillance numériques, les véhicules marins autonomes, la production d'énergie, l'automatisation, la biotechnologie marine et les technologies de l'ingénierie navale.
- ❑ **Programme d'aide à la recherche industrielle du Conseil national de recherches Canada (CNRC)**– Ce programme s'adresse à toutes les étapes de l'innovation dans les petites et moyennes entreprises (PME) et offre une aide financière, des services consultatifs et des liens avec des experts au Canada.

5.7 Perspectives

L'industrie, le gouvernement et les ONGE sont enthousiastes à l'idée de transformer la production aquacole et de réaliser son plein potentiel. Après de nombreuses années durant lesquelles les solutions à l'échelle commerciale demeuraient insaisissables, il ne fait aucun doute que les technologies offrent aujourd'hui les moyens d'améliorer la performance sans compromis. Les objectifs environnementaux, sociaux et économiques peuvent être atteints simultanément. Les articles de la presse populaire parlent de « points d'inflexion », de « points de basculement », de « facteurs qui changent la donne » lorsqu'ils décrivent les projets commerciaux en cours dans le monde entier.

Les nouvelles technologies dont il est question dans le présent rapport ainsi que les systèmes de parcs en filet classiques joueront tous un rôle dans la production mondiale de produits du saumon. Ils se feront concurrence pour les possibilités d'investissement et d'expansion, et ils seront également en concurrence avec d'autres produits comestibles de la mer et sources de protéines parmi les choix qui s'offrent aux consommateurs. Bien que certaines formes de produits haut de gamme (p. ex. sushi, saumon fumé), les canaux de distribution (p. ex. restaurants, magasins d'alimentation spécialisés) et les pays puissent initialement contribuer au succès des nouvelles technologies, l'offre mondiale croissante de saumon permettra de vendre la majorité du saumon à des acheteurs sensibles au prix. Les nouvelles technologies mises au point au Canada doivent continuellement chercher à réaliser des gains d'efficacité pour rivaliser avec leurs concurrentes à faible coût et demeurer concurrentielles pendant les périodes de variabilité des prix.

En ouvrant correctement la voie à de nouveaux systèmes de production en Colombie-Britannique, l'aquaculture dépassera le débat controversé qui afflige le secteur depuis des décennies. Les nouvelles technologies devraient être facilitées et encouragées afin que les systèmes améliorés remplacent les systèmes existants. Cela ne se produira pas automatiquement dans le secteur de l'aquaculture et il faudra un effort coordonné et concerté pour mettre en place des mesures incitatives, des exigences claires et la culture de l'innovation qui sont essentielles. En misant sur les partenariats entre les entreprises, les autres utilisateurs des ressources côtières, les communautés autochtones et les gouvernements, une approche collaborative permettra à tous les intérêts de participer au succès à venir.

Principales conclusions et prochaines étapes

- ❑ **Amélioration de la performance** - Chacune des technologies de production peut améliorer la performance environnementale, sociale et économique de la salmoniculture en Colombie-Britannique;
- ❑ **Disponibilité commerciale** - Les technologies de production des SAR sur terre et des systèmes hybrides sont prêtes pour le développement commercial en C.-B., tandis qu'il faut encore cinq et dix ans, respectivement, pour évaluer le potentiel des systèmes de parcs clos flottants et de production en haute mer;
- ❑ **Législation et politique** – Un cadre législatif et réglementaire national clair est nécessaire pour l'aquaculture en support du développement futur des technologies de production;
- ❑ **Culture de l'innovation** – La collaboration entre l'industrie, le gouvernement, les peuples autochtones, les universités et d'autres centres de recherche exige des efforts concertés pour faciliter l'échange d'information et le soutien à la recherche qui relève les défis;
- ❑ **Attribution de la biomasse** – L'investissement suivra les possibilités de croissance, de sorte que l'approbation d'une production accrue de biomasse, en particulier dans le milieu marin, doit être liée à des exigences qui sont satisfaites par le rendement supérieur des nouvelles technologies de production;

- ❑ **Incitations financières** – Le financement actuel de l'innovation en aquaculture et de la participation autochtone doit être priorisé et élargi, et l'admissibilité aux programmes de financement offerts à d'autres secteurs de l'industrie qui visent le développement durable doit être examinée;
- ❑ **Mesures propres à la technologie** – Il est nécessaire de déterminer des sites appropriés pour la production dans les SAR sur terre et le développement commercial en haute mer. Le soutien à la recherche et les incitatifs financiers sont plus appropriés pour les systèmes hybrides et les systèmes de parcs clos flottants, respectivement;
- ❑ **Leadership** – Les pays qui sont actuellement à la tête de l'innovation en aquaculture ont pris des mesures audacieuses pour faire progresser ensemble les objectifs environnementaux, sociaux et économiques. Le secteur canadien de l'aquaculture peut connaître une croissance rapide et atteindre un niveau comparable à celui des leaders mondiaux grâce au leadership de tous les intervenants clés.

6. Bibliographie

- Amundsen, V., and T. Osmundsen. 2018. Sustainability indicators for salmon production. *Data in Brief*, 20 (2018), pp. 20-29.
- Ayer, N.W., Tyedmers, P.H., 2009. Assessing alternative aquaculture technologies: life cycle assessment of salmonid culture in Canada. *J Cleaner Prod.* 17, 362-373.
- Berge, A., 2019. New land-based plants will eat up air-freight salmon markets. In: *Salmon Business*, 12 February, 2019.
- Bjelland H., M. Føre, P. Lader, D.Kristiansen, I. Holmen, A. Fredheim, E. Grøtli, D. Fathi, F. Oppedal, I. Utne, and I. Schjølberg, 2015. Exposed aquaculture in Norway, In: *Oceans, MTS/IEEE*, Washington, DC, 2015, pp. 1-10.
- Bjorndal, T., A. Tusvik. 2017. Land based farming of salmon: economic analysis. Norwegian University of Science and Technology. Working Paper Series No. 1/2017.
- Blewett, E., and S. Nelson. 2019. RAS Atlantic salmon industry on Vancouver Island: Financial model and economic impact analysis. Report to the Fraser Basin Council (B.C., Canada).
- Bohnes, F., M. Hauschild, J. Schlundt, and A. Laurent. 2018. Life cycle assessments of aquaculture systems: a critical review of reported findings with recommendations for policy and system development. *Reviews in Aquaculture*, pp. 1-19.
- Boulet, D., Struthers, A., Gilbert E., 2010, Feasibility Study of Closed-Containment Options for the British Columbia Aquaculture Industry. Innovation & Sector Strategies Aquaculture Management Directorate Fisheries & Oceans Canada.
- British Columbia Legislative Assembly. 2007. Special Committee on Sustainable Aquaculture Final Report (Third Session, Thirty-Eight Parliament).
- British Columbia Minister of Agriculture, 2018. British Columbia Minister of Agriculture's advisory council on finfish aquaculture: Final report and recommendations.
- British Columbia Office of the Premier, 2018. Government, First Nations chart path for aquaculture in Broughton Archipelago. (online: <https://news.gov.bc.ca/releases/2018PREM0151-002412>)
- British Columbia Salmon Farmers Association. 2018. Salmon aquaculture in B.C.: Sustainability progress report 2018.

- Buck, B., M. Troell, G. Krause, D. Angel, B. Grote, and T. Chopin. 2018. State of the art and challenges for offshore integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). In: *Frontiers in Marine Science*, Review Article, 15 May, 2018.
- Canada Revenue Agency (CRA). 2019. Accelerated investment incentive. (online: <https://www.canada.ca/en/revenue-agency/services/tax/businesses/topics/sole-proprietorships-partnerships/report-business-income-expenses/claiming-capital-cost-allowance.html>)
- California Environmental Associates. 2018. Offshore finfish aquaculture: Global review and U.S. prospects. (online: www.packard.org)
- Gardner Pinfold (GP). 2016. Aboriginal Aquaculture in Canada Initiative: National socio-economic analysis report. Prepared for: Waubetek Business Development Corporation.
- Graham, C. 2018. Growing fish for a growing world: The future of salmon aquaculture. In: *SeaWestNews*, 2018.
- Centre for Closed-Containment Aquaculture (CtrlAqua), 2018. Annual report 2018 (online: ctrlaqua.no)
- Cermaq personal communication, 2019. The technological landscape for Canada.
- Council of Canadian Academies, 2018. *Competing in a Global Innovation Economy: The Current State of R&D in Canada*. Ottawa (ON): Expert Panel on the State of Science and Technology and Industrial Research and Development in Canada, Council of Canadian Academies.
- Craze, M. 2019. Atlantic Sapphire drops expansion bombshell for salmon farmers gathered in Brussels. In: *UnderCurrentNews*, 9 May, 2019.
- Davies, I., V. Carranza, H. Froehlich, R. Gentry, P. Benjamin, S. Halpern, 2019. Governance of marine aquaculture: Pitfalls, potential, and pathways forward. In: *Marine Policy*, 104 (June 2019), pp. 29-36.
- DeMaas SMC personal communication, 2019. State of offshore salmon aquaculture technology for B.C., Canada.
- DNB Markets (2017). *Seafood – special report: Deep dive into land-based farming*. Research report prepared by DNB Markets, a division of DNB Bank ASA.
- Editorial staff, 2019. Land-based salmon farming company announces multi-million dollar projects in U.S., France, Italy, and China. In: *Salmon Business*, 8 February, 2019.

- Environment and Climate Change Canada (ECCC). 2019. Canadian Environmental Sustainability Indicators: Management of Canadian aquaculture. ISBN : 978-0-660-29991-4.
- Espmark, Asa. 2018. New knowledge about closed and semi-closed containments. Aquaculture Innovation Workshop presentation, Miami, December 2018.
- Evans, O. 2019. UAE celebrates its first ever salmon harvest: “It’s very exciting every day to see our salmon leaping”. In: Salmon Business, 28 March, 2019.
- Exposed Aquaculture Operations (Exposed). 2018. Annual report 2018 (online: exposedaquaculture.no)
- Fisheries and Oceans Canada (DFO), 2016. Canadian Council of Fisheries and Aquaculture Ministers (CCFAM) Aquaculture Development Strategy 2016-2019.
- Food and Agriculture Organization (FAO) Fisheries Committee, Aquaculture Sub-Committee. 2019. Aquaculture innovations, their upscaling and technology transfer to increase efficiency, combat environmental degradation and adapt to climate change (online: www.fao.org/3/na401en/na401en.pdf).
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2018. The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050. Summary version. Rome. 60 pp. (online: www.fao.org/3/CA1553EN/ca1553en.pdf)
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 – Meeting the sustainable development goals. Rome. 210 pp.
- Fard, R.N., and E. Tedeschi, 2018. Integration of distributed energy resources into offshore and subsea grids. CPSS Transactions on Power Electronics and Applications Vol 3, No. 1 pp.36-45, March, 2018.
- Ford, J.S. et al., 2012. Proposed local ecological impact categories and indicators for life cycle assessment of aquaculture, a salmon aquaculture case study. Journal of Industrial Ecology.
- Føre, M., M. Alvera, J. Alfredsen, G. Senneset, Å. Espmarkd, B. Terjesen, 2018. Modelling how the physical scale of experimental tanks affects salmon growth performance. Aquaculture, June 18, 2018.
- Gibson, D., 2019. Space for land-based, offshore farming in global salmon market, even at high costs. In: UnderCurrentNews April 1, 2019.
- Greig Seafood, 2018. Annual report 2018: Rooted in nature farming the ocean for a better future. (online: www.griegseafood.no/inverstors/annual-reports/)

- Grieg Seafood, 2018. Grieg Seafood ASA capital markets update. (online: www.griegseafood.no)
- Grindheim, J., 2019. Mowi ready to invest \$360 million into new subsea salmon farming project. In: IntraFish April, 2019.
- Guzman, M. 2019. Miami Bluehouse on track to build massive land-based salmon farm: Touring Atlantic Sapphire's mega project in Florida. In: Hatchery International, 14 March, 2019.
- Hallstein, E., S. Villas-Boas, 2013. Can household consumers save the wild fish? Lessons from a sustainable seafood advisory. *Journal of Environmental Economics and Management* 66 (2013) pp. 52–71.
- Hersoug, B., K. M. Karlsen, A.M. Solås, I. Kvalvik, J. P. Johnsen, N. Young, C. Brattland, D. Schreiber, K. Simonsen, E. Olofsson, and H. Thorarensen, 2017. Intensive aquaculture and sustainable regional development in the Arctic region – from controversy to dialogue (AquaLog). Nofima Report 13/2017.
- Hersoug, B., 2015. The greening of Norwegian salmon. In: *Maritime Studies* (2015) 14:16.
- Hobson, E., 2018. Aquaculture parks: A B.C. land-based salmon farming initiative. Presentation by B.C. LandAqua Ventures Inc.
- Holmen, I., I. Utne, S. Haugen, and I. Ratvik, 2017. The status of risk assessments in Norwegian fish farming. *Research Gate*, June 2017.
- Huffman, J. 2019. Kuterra CEO: British Columbia ready-made for land-based RAS. In: *Undercurrent News*, 29 April, 2019.
- International Salmon Farmers Association, 2017. The evolution of land based Atlantic salmon farms.
- Jackson, T., and S. Waddy (eds). 2013. Open ocean aquaculture. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada* 111-2 (2013).
- Koch, D. 2019. Cermaq says experimental 'closed-containment' fish farm coming to Canadian waters: Atlantic salmon 'thriving' in closed system in Norwegian Sea says aquaculture company. In: *Campbell River Mirror*, 10 January, 2019.
- Lester, S.E., R. R. Gentry, C. V. Kappel, C. White, and S. D. Gaines. 2018. Offshore aquaculture in the United States: Untapped potential in need of smart policy. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States (PNAS)* Vol. 115 No. 28, pp. 7162-7165.

- Liu, Y., T. Rostena, K. Henriksena, E. Skontorp Hognesa, S. Summerfelt, B. Vinci, 2016. Comparative economic performance and carbon footprint of two farming models for producing Atlantic salmon (*Salmo Salar*): Land-based closed-containment system in freshwater and open netpen in sweater. *Aquacultural Engineering*, 71 (2016), pp.
- Mather, C., and L. Fanning. 2019. Social licence and aquaculture: Towards a research agenda. In: *Marine Policy* Vol. 99, pp. 275-282.
- Mayer, L. 2019. RAS space attracts another player. In: *Aquaculture North America*, 2 April, 2019.
- Monterey Bay Aquarium Seafood Watch™ (MBA), 2019. Salmon recommendations (online: <https://www.seafoodwatch.org/seafood-recommendations/groups/salmon>)
- Monterey Bay Aquarium Seafood Watch™ (MBA), 2017. Aquaculture Stewardship Council: benchmarking equivalency results assessed against the Seafood Watch™ Aquaculture Standard.
- Moore, G. 2018. RAS threat to long-term Scottish growth plans. In: *FishFarmingExpert*, 3 November, 2018.
- MNP LLP, 2015. Economic impact study of the farm-raised salmon industry. Report to the B.C. Salmon Farmers Association.
- Mowi, 2018. Integrated annual report 2018. (Online: mowi.com/investors/reports/)
- Natural Resources Canada (NRCan), 2018. OHS regulatory regime for Atlantic offshore activities (online: <http://www.nrcan.gc.ca/energy/offshore-oil-gas/18883>).
- Norway Ministry of Trade, Industry and Fisheries, and Norway Ministry of Petroleum and Energy. 2017. New growth, proud history: The Norwegian Government's Ocean Strategy (online: www.publikasjoner.dep.no).
- Office of the Chief Science Advisor of Canada. 2018. Report of the independent expert panel on aquaculture science.
- Philis, G., F. Ziegler, L.C. Gansel, M. D. Jansen, E. O. Gracey, and A. Stene. 2019. Comparing life cycle assessment (LCA) of salmonid aquaculture production systems: Status. In: *Sustainability* April 30, 2019.
- Price Waterhouse Coopers (PWC), 2017. Sustainable growth towards 2050: Seafood Barometer 2017.
- Ramsden, N. 2019. Mowi's offshore salmon research base green-lit by Norway. In: *UnderCurrentNews*, 14 February, 2019.

- Research Council of Norway, 2019. Offshore aquaculture: New technology – new areas.
- RIAS Inc., 2014. Social licence and the Canadian aquaculture industry: A discussion paper. Prepared for the Canadian Aquaculture Industry Alliance.
- Roheim, C., F. Asche and J. Insignares. 2011. The Elusive Price Premium for Ecolabeled Products: Evidence from Seafood in the UK Market, *Journal of Agricultural Economics*, forthcoming.
- Rubino, M. 2016. Offshore aquaculture and the future of sustainable seafood. In: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Fisheries News.
- Rudd, M., Pelletier, N., P. Tyedmers. 2011. Preferences for health and environmental attributes of farmed salmon amongst southern Ontario salmon consumers. *Aquaculture Economics & Management*, 15: 1, pp. 18-45.
- Ryan, James. 2004. Farming the deep blue (Commissioned by the Irish Sea Fisheries Board and the Irish Marine Institute).
- Standing Senate Committee on Fisheries and Oceans. 2016. An ocean of opportunities: Aquaculture in Canada Volumes 1-3.
- Storey, A., 2012, A Third Option: Using Innovative Canadian Technology to Unlock Further Growth in Canadian Aquaculture Output. Submitted to standing Committee on Fisheries and Oceans Closed Containment Salmon Aquaculture.
- Summerfelt, S. 2018. Developments in closed-containment technologies for salmonids, Part 1 and 2. In: *Global Aquaculture Advocate*.
- Ullstrom, G., and G. Robinson. 2017. The B.C. opportunity for land-based aquaculture (Kuterra presentation).
- Vinci, B., S. Summerfelt, T. Rosten, K. Henriksen, and E. Hognes. 2015. Land based RAS and open pen salmon aquaculture: A comparative economic and environmental assessment.
- Weitzman, J. 2019. Applying the ecosystem services concept to aquaculture: A review of approaches, concepts, and uses. *Ecosystem Services*, 35 (2019), pp. 194-206.
- Weston, R., 2013, Closed Containment Salmon Aquaculture. Report of the Standing Committee on Fisheries and Oceans. 41st Parliament, First Session.
- Wright, A.S., 2011, Salmon Aquaculture GHG Emissions: A preliminary comparison of land-based closed containment and open ocean net-pen aquaculture. SOS Marine Conservation Foundation, 2011.

Young, N., B. Hersoug, C. Digiovanni, J.P. Johnsen. 2019. Limitations to growth: Social-ecological challenges to aquaculture development in five wealthy nations. In: Marine Policy February, 2019.