

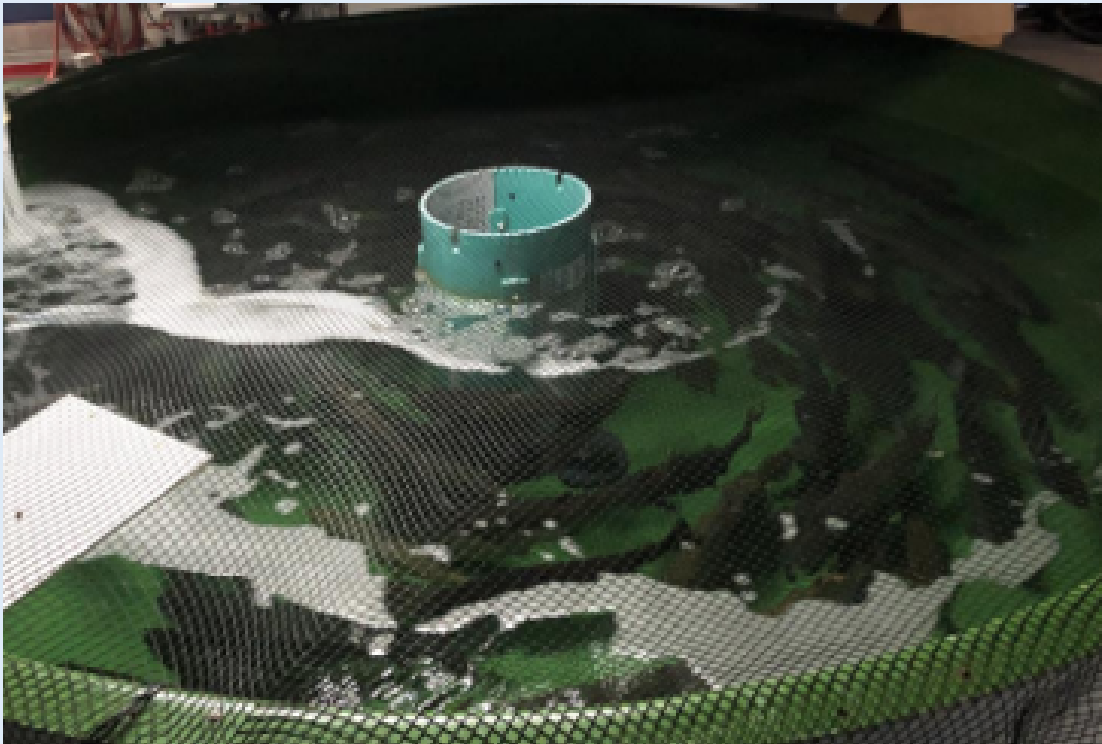


401 P ☐ NP ☒ DM14

Projet d'implantation d'une ferme aquacole terrestre
en recirculation intensive dans la MRC de Pontiac
par Samonix 6211-12-020

Aquaculture en RAS Samonix

Mémoire - consultation BAPE



PAR
Sofia d'Angelo
Stéphanie-Carole Pieddesaux

PRÉSENTÉ À
BAPE

Équipe de réalisation

Stéphanie Pieddesaux chercheur industriel et chargé de projets

stephanie.pieddesaux@merinov.ca

Sofia D'Angelo, professionnelle de recherche

sofia.dangelo@merinov.ca

L'information contenue dans ce document ne peut être utilisée ou reproduite par une tierce partie, à moins d'une autorisation écrite de Merinov.

Septembre 2026

© Merinov 2026 tous droits réservés

RP 001716



Table des matières

Introduction	4
1 Systèmes d'aquaculture en recirculation	5
1.1. Eau et rejets	8
1.2. Énergie et changements climatiques	10
1.3. Biosécurité et résilience	11
2. Poissons : Santé et bien-être	39
2.1. Avantages.....	39
2.2. Enjeux.....	39
Conclusion	40
Liste des références	41



Liste des tableaux

Tableau 1. Les étapes et les équipements de filtration d'un RAS	6
---	---

Liste des figures

Figure 1. Schéma simplifié de l'aménagement d'un RAS, image de (Christiansen, s. d.)	7
--	---



Introduction

Le développement de nouvelles formes d'aquaculture terrestre soulève un intérêt croissant au Québec, notamment en raison de la possibilité de produire du poisson dans des environnements contrôlés tout en limitant certains des impacts associés aux systèmes d'élevage traditionnels. Les systèmes d'aquaculture en recirculation (RAS, *Recirculating Aquaculture Systems*) constituent l'une des principales technologies permettant ce type de production. Ils reposent sur le traitement et la réutilisation d'une grande partie de l'eau d'élevage, grâce à différentes étapes de filtration, de traitement et de contrôle de la qualité de l'eau.

Dans le cadre du projet de Samonix, le recours à cette technologie soulève plusieurs questions relatives à la gestion de l'eau et des rejets, à la consommation énergétique, aux émissions de gaz à effet de serre, à la biosécurité ainsi qu'à la santé et au bien-être des poissons. Ces différents aspects sont interreliés et doivent être considérés dans leur ensemble afin de bien comprendre les avantages et les limites associés à ce type de système de production.

Le présent mémoire vise donc à contribuer aux travaux du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE) par une analyse objective des principaux enjeux environnementaux et techniques associés aux systèmes d'aquaculture en recirculation. L'objectif n'est pas de se prononcer sur l'acceptabilité du projet, mais de présenter les connaissances scientifiques et techniques pertinentes permettant de mieux comprendre les caractéristiques de cette technologie, ses avantages potentiels ainsi que les enjeux et les limites qui doivent être pris en considération.

La première partie du mémoire porte sur le fonctionnement général des systèmes d'aquaculture en recirculation et examine successivement les questions liées à l'eau et aux rejets, à l'énergie et aux changements climatiques ainsi qu'à la biosécurité et à la résilience. Pour chacun de ces thèmes, les principaux avantages et enjeux associés aux RAS sont présentés. La seconde partie porte plus spécifiquement sur les poissons, notamment sur les questions de santé et de bien-être associées à leur élevage dans un environnement contrôlé.

Cette analyse vise ainsi à fournir un portrait succin et équilibré des connaissances disponibles, en distinguant les bénéfices pouvant être associés à la technologie des enjeux qui demeurent à considérer selon les conditions de conception, d'exploitation et de gestion des installations.



1 Systèmes d'aquaculture en recirculation

Les systèmes d'aquaculture en recirculation (RAS) apportent une solution novatrice pour la production piscicole terrestre. Les RAS améliorent la durabilité et la rentabilité du secteur aquacole, car ils sont plus écologiques que les circuits ouverts ou les cages en mer. Un maximum de 98 à 99 % de l'eau dans les systèmes RAS est recyclé en continu (Bakke et al., 2017). Ce faible taux de renouvellement de l'eau est rendu possible grâce à différents procédés de traitement, notamment la filtration mécanique et biologique ainsi que la désinfection par UV, qui contribuent à maintenir la qualité de l'eau et à limiter l'introduction et la propagation de certains agents pathogènes dans le système de production. La qualité de l'eau est ensuite suivie de façon continue ou à intervalles réguliers afin de maintenir des conditions optimales pour les poissons. Ce suivi permet de détecter rapidement toute variation pouvant affecter la santé, la croissance ou le bien-être des poissons et d'ajuster les paramètres de fonctionnement du système au besoin.

L'aménagement d'un RAS est simple; l'eau devrait être traitée en continu pour éviter l'accumulation des rejets des poissons. L'eau qui arrive des bassins est premièrement traitée mécaniquement, avec un filtre à tambour, pour enlever les grands rejets (ex. croquettes de moulée, fèces). Ensuite, l'eau passe à travers un biofiltre, qui utilise les bactéries nitrifiantes pour convertir l'ammoniac toxique aux nitrates. Le niveau d'ammoniac ne devrait jamais dépasser 0.02 mg/L, sinon, elle risque de présenter un risque pour santé des poissons. Cela étant, un dégazeur enlève le dioxyde de carbone dissous dans l'eau, et finalement, de l'oxygène est ajouté pour enrichir l'eau, puis une désinfection par UV termine le cycle de traitement de l'eau (Tableau 1; Fig. 1).

En effet, un RAS offre un meilleur contrôle de l'environnement de production. Les suivis des paramètres physicochimiques sont effectués précisément pour la température, le dioxyde de carbone, l'ammoniac, les nitrates et l'oxygène dissous. Ce niveau de contrôle permet ensuite d'intégrer des technologies d'apprentissage automatique afin d'optimiser et, à terme, d'automatiser certaines étapes du cycle de production piscicole. L'utilisation de l'intelligence artificielle et de modèles prédictifs offre aujourd'hui de nouvelles possibilités pour le suivi et la gestion des systèmes d'aquaculture en recirculation (RAS). Ces technologies peuvent notamment être utilisées pour suivre les comportements des poissons, optimiser l'alimentation, identifier les individus, détecter les mortalités et contribuer au suivi de certains paramètres liés à la qualité de l'eau. Toutefois, la performance et la fiabilité de ces modèles demeurent fortement dépendantes de la quantité et de la qualité des données disponibles pour leur entraînement. De plus, plusieurs modèles sont développés et validés dans des conditions expérimentales, avec un nombre limité de poissons et dans des bassins de petite taille. Le passage à des systèmes commerciaux, caractérisés par des densités de poissons plus élevées, des volumes d'eau plus importants et des conditions environnementales plus variables, peut donc représenter un défi. La validation des modèles dans des conditions réelles de production constitue ainsi un enjeu important, mais



également une occasion de poursuivre le développement et l'amélioration de ces technologies afin de les rendre plus robustes, fiables et applicables à l'échelle commerciale.

Tableau 1. Les étapes et les équipements de filtration d'un RAS

Étape de filtration	Processus
Filtre à tambour (filtration mécanique)	1. L'eau entre dans le tambour 2. L'eau est filtrée par les éléments de filtration du tambour, la différence entre le niveau de l'eau à l'intérieur et l'extérieur du filtre pousse la filtration 3. Les éléments solides sont bloqués par le filtre et sont déportés dans la section du remous avec la rotation du tambour 4. L'eau rincée est pulvérisée à l'extérieur du filtre et les déchets organiques sont évacués et recueillis dans un réceptacle à boues. 5. Les boues sont alors extraites du filtre par gravité et évacuées vers un système de traitement de l'eau externe de la ferme piscicole
Bio filtre (filtration biologique)	1. L'ammoniac est transformé dans un processus de nitrification 2. L'eau passe à travers un biomédia, conçu de façon qu'une structure de plastique augmente le taux de surface. 3. Entypes de biofilter: 1. Types de biofiltres : A) Lit fixe (fixed-bed) : les médias filtrants sont maintenus en place et l'eau circule à travers le lit de médias, généralement de manière ascendante ou descendante. B) Lit mobile (moving bed, MBBR) : les médias filtrants sont maintenus en mouvement dans le biofiltre grâce à un apport d'air. Cette circulation favorise le contact entre l'eau, les médias et les microorganismes présents sur leur surface.
Dégazeur (filtration d'écoulement)	1. Les gaz dissous indésirables, notamment le CO₂, sont éliminés de l'eau par transfert vers l'air dans une colonne de dégazage, grâce à l'augmentation de la surface de contact entre l'eau et l'air. 2. L'eau entre par le haut du filtre et s'écoule à travers les ouvertures d'une plaque de distribution, puis traverse les médias en plastique. Cette circulation favorise la turbulence et maximise le contact entre l'eau et les médias lors de son passage dans le filtre.



Aération

1. L'oxygène peut être ajouté à l'eau sous forme liquide
2. L'eau et l'oxygène sont mélangés sous pression au moyen d'une pompe

Filtration UV

1. Une lampe à UV est installée à l'extérieur du centre de production piscicole
2. Pour éliminer 90% des bactéries et des virus, l'eau devrait être traitée avec 2 000 – 10 000 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$

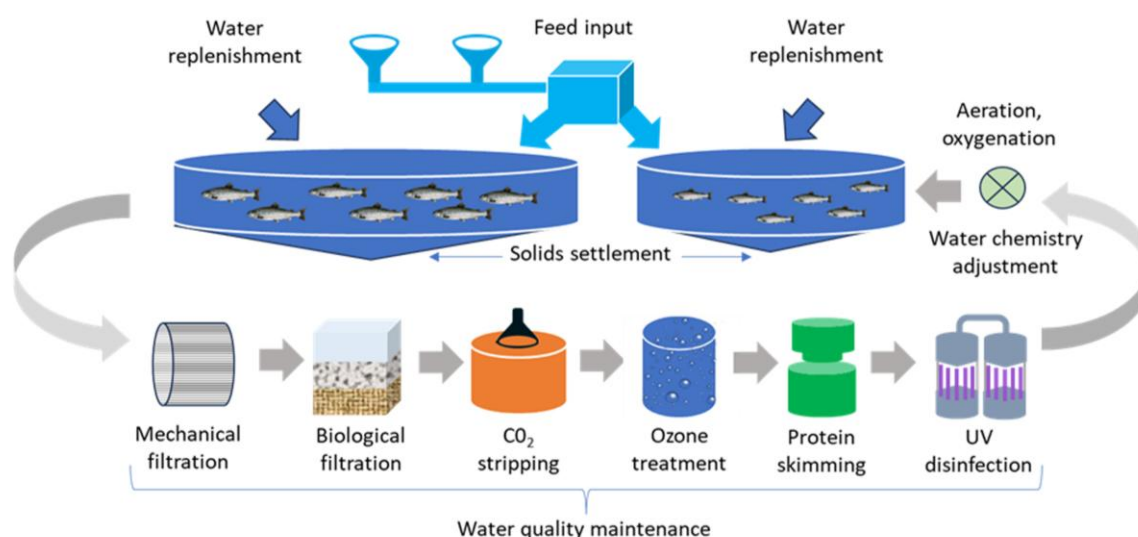


Figure 1. Schéma simplifié de l'aménagement d'un RAS, image de (Christiansen, s. d.) .

Une stratégie de production qui est largement adoptée par les gros producteurs de saumons à l'international et au Canada est de produire de grands post-smolts en RAS plutôt que d'être en circuit ouvert (Hagspiel et al., 2018). Cependant, les post-smolts qui sont ensuite remis à l'eau en cages en eau libre présentent souvent des taux de mortalités et d'infections ou de maladies surélevés (Lai et al., 2024). En effet, les saumons élevés en systèmes RAS ont plus de difficulté à s'adapter en eau salée grâce à une réduction de performance physiologique comparativement aux individus élevés en circuit ouvert (Lai et al., 2024). Ces individus peuvent rencontrer des difficultés d'adaptation lors de leur transition d'un environnement hautement contrôlé en système terrestre vers les conditions environnementales variables du milieu marin en cages. En utilisant les RAS pour l'intégralité du cycle de production des saumons, les mortalités parmi les poissons sont alors réduites. Il existe donc moins d'incertitude dans le cycle de production liée à l'environnement et moins de variation d'un site d'élevage à l'autre. Tandis que les RAS sont novateurs et efficaces, la technologie requise pour monter un tel système est coûteuse et



nécessite un gros investissement et mise de fonds initiale (Bjørndal & Tuvisk, 2020). Les frais liés aux coûts énergétiques et aux opérations sont aussi plus élevés que ceux des systèmes en circuits ouverts (Hagspiel et al., 2018).

1.1. Eau et rejets

1.1.1. Avantages

Les systèmes d'aquaculture en recirculation (RAS) présentent un avantage important en matière de gestion de l'eau et des rejets par rapport aux systèmes à renouvellement élevé. La recirculation permet de réutiliser une grande proportion de l'eau du système après son passage à travers différentes étapes de traitement, ce qui réduit considérablement les besoins en eau neuve pour une même quantité de biomasse produite (Verdegem et al., 2006; d'Orbcastel et al., 2009). Cette réduction de la consommation d'eau constitue l'un des principaux avantages environnementaux des RAS, particulièrement dans les régions où la disponibilité de l'eau peut représenter une contrainte pour le développement de l'aquaculture.

La faible quantité d'eau renouvelée entraîne toutefois une concentration des matières organiques et des nutriments produits par les poissons. Les fèces, les résidus d'aliments et les matières en suspension peuvent ainsi être captés sous une forme relativement concentrée par les équipements de filtration mécanique. Parallèlement, les composés azotés dissous sont transformés par les procédés de traitement biologique, notamment la nitrification, tandis que des traitements complémentaires peuvent être utilisés pour réduire les concentrations de nitrates, de phosphore ou d'autres composés avant leur rejet (van Rijn, 2013). Cette concentration des rejets représente un avantage pour leur gestion, puisqu'elle permet de traiter des volumes plus faibles et de cibler plus efficacement les contaminants.

Les RAS permettent également de récupérer les matières solides issues de la production. Les solides peuvent être séparés de l'eau au moyen de filtres mécaniques, de filtres tambours ou d'autres technologies de séparation, puis dirigés vers une filière de traitement ou de valorisation. La récupération des solides permet ainsi de limiter leur accumulation dans le système et de réduire la quantité de matières organiques rejetées avec l'effluent. Selon les caractéristiques du système, les boues peuvent notamment être épaissies, stabilisées, digérées ou valorisées sous différentes formes, par exemple comme amendement ou source de nutriments (van Rijn, 2013).

Enfin, contrairement à certains systèmes où les effluents sont rejetés directement dans le milieu récepteur, les RAS offrent la possibilité de traiter l'eau avant son rejet. Les effluents peuvent notamment faire l'objet de traitements visant la réduction des matières en suspension, de l'azote et du phosphore. Cette capacité de traitement sur le site de production permet de mieux contrôler les flux de nutriments vers l'environnement et peut contribuer à réduire les risques d'eutrophisation associés aux rejets aquacoles (van Rijn, 2013). Les RAS favorisent ainsi une approche où les rejets sont non seulement réduits en volume, mais également concentrés,



contrôlés et potentiellement valorisés, ce qui constitue une avenue intéressante pour améliorer l'efficacité environnementale des systèmes de production aquacole.

1.1.2. Enjeux

Malgré leur faible consommation d'eau, les systèmes d'aquaculture en recirculation (RAS) ne permettent pas d'éliminer complètement les contaminants générés par la production. Production importante de nutriments à très grande échelle. Les procédés de filtration et de traitement déplacent principalement une partie des matières organiques et des nutriments de la phase liquide vers des flux plus concentrés, notamment les boues et les effluents de purge. La gestion des rejets demeure donc un enjeu important, particulièrement dans les systèmes intensifs où la quantité de nourriture distribuée et la biomasse produite sont élevées (Piedrahita, 2003; van Rijn, 2013).

L'intensification de la production peut également entraîner une production importante de nutriments à l'échelle commerciale. Une partie de l'azote et du phosphore apportés par l'alimentation est excrétée par les poissons ou demeure sous forme de nourriture non consommée et de matières organiques.

Dans un RAS, ces composés peuvent s'accumuler dans le système s'ils ne sont pas suffisamment éliminés par les procédés de traitement. Les nitrates, les phosphates et les matières particulaires constituent notamment des composés qui doivent être surveillés et, lorsque nécessaire, retirés avant le rejet de l'eau (van Rijn, 2013; Zhang et al., 2023).

La production de boues constitue un autre enjeu associé aux RAS. La filtration mécanique permet de récupérer une proportion importante des matières solides, mais celles-ci doivent ensuite être épaissies, stockées, transportées et traitées ou valorisées. Les systèmes intensifs peuvent ainsi générer des quantités importantes de solides, dont la gestion représente à la fois un enjeu environnemental et opérationnel. Une mauvaise gestion des boues peut entraîner des impacts sur l'environnement en raison de leur charge en matière organique et en nutriments (Mirzoyan et al., 2010; van Rijn, 2013).

Par ailleurs, bien que les volumes d'eau rejetés par les RAS soient relativement faibles, les rejets ponctuels peuvent présenter des concentrations élevées en matières organiques et en nutriments. Les opérations de purge, de nettoyage des équipements, de renouvellement d'eau ou d'entretien des systèmes peuvent notamment générer des effluents plus concentrés que l'eau circulant normalement dans le système. L'enjeu n'est donc pas uniquement la quantité totale d'eau rejetée, mais également la concentration des contaminants et le moment auquel le rejet est effectué (Piedrahita, 2003; van Rijn, 2013).

Enfin, l'impact environnemental d'un rejet dépend de la capacité d'assimilation du milieu récepteur. La concentration d'un contaminant dans l'effluent ne permet pas, à elle seule, de déterminer son impact environnemental. Celui-ci dépend également du débit de rejet, de la



fréquence des rejets, des caractéristiques du milieu récepteur et de sa capacité à assimiler ou à transformer les matières et nutriments introduits. Une charge en nutriments qui peut être acceptable dans un milieu ayant une forte capacité d'assimilation pourrait ainsi entraîner des effets environnementaux importants dans un milieu plus sensible ou déjà soumis à d'autres sources de nutriments (Piedrahita, 2003).

Ainsi, l'utilisation d'un RAS ne signifie pas une absence de rejets, mais plutôt une réduction des volumes d'eau rejetés et une concentration des matières résiduelles, ce qui permet de mieux contrôler les effluents et ouvre la possibilité de récupérer ou de traiter les nutriments et les matières solides avant leur rejet dans l'environnement (d'Orbcastel et al., 2010; van Rijn, 2013).

1.2. Énergie et changements climatiques

1.2.1. Avantages

Un des plus grands avantages du système RAS est sa capacité d'être construit proche des marchés locaux (e.g. Canada) ce qui permet donc de ne pas dépendre des importations ni des exportations (Brown et al., 2025). Les RAS en eau douce permettent d'établir des fermes piscicoles partout à travers le pays où une source d'eau de qualité est accessible. Cela permet de diminuer l'empreinte carbone ainsi que les coûts associés au transport vers les consommateurs et les usines de transformation. Les systèmes RAS permettent également une réduction des impacts sur la biodiversité et la préservation de la qualité de l'eau dans les milieux naturels comparativement à l'aquaculture en eau libre (Ford et al., 2012). La filtration efficace des systèmes RAS réduit fortement les rejets des excréments des saumons et des déchets de moulée dans l'environnement. De plus, les saumons en cages marines ont besoin de traitements d'épouillage régulièrement, soit par utilisation de produits chimiques soit par introduction de poissons-nettoyeurs (Philis et al., 2019). Les systèmes RAS permettent de ne pas utiliser ces traitements grâce aux protocoles de biosécurité.

Un enjeu associé aux cages marines est le risque d'introduction de saumons d'élevage dans le milieu naturel à la suite d'évasions. Ces échappées peuvent avoir des conséquences environnementales et génétiques sur les populations sauvages (Jensen et al., 2010). En effet, les saumons d'élevage qui s'échappent peuvent se reproduire avec des saumons sauvages durant la période de reproduction, donnant ainsi naissance à des hybrides. Ces croisements peuvent modifier la composition génétique des populations sauvages et réduire leur viabilité à long terme (Verspoor et al., 2015). Les poissons d'élevage échappés peuvent également contribuer à la transmission de pathogènes et de maladies aux populations sauvages. Ils peuvent notamment agir comme réservoirs de poux de mer et de différents agents pathogènes susceptibles d'affecter les poissons présents dans le milieu naturel (Heuch & Mo, 2001). À l'inverse, les systèmes d'aquaculture en recirculation (RAS) réduisent le risque d'introduction de poissons d'élevage dans l'environnement grâce à leur circuit de production fermé.



1.2.2. Enjeux

Les systèmes RAS peuvent présenter une empreinte carbone importante en raison de leurs besoins énergétiques élevés. Toutefois, leur implantation en milieu terrestre permet une utilisation relativement limitée du territoire : environ un hectare serait nécessaire pour produire 1 000 tonnes de poisson (Jeffery et al., 2023). Malgré la recirculation et le recyclage de l'eau, les systèmes RAS nécessitent des apports en eau douce considérables afin de compenser les pertes et de maintenir la qualité de l'eau. À titre d'exemple, certaines entreprises piscicoles industrielles peuvent maintenir jusqu'à 10 000 tonnes de poissons à la taille commerciale, avec une densité d'élevage pouvant atteindre 85 kg de poisson par m³. À cette échelle, le volume d'eau contenu dans les systèmes serait d'environ 0,12 million de m³. Avec un taux de renouvellement quotidien de 1 à 2 %, les besoins en eau représenteraient alors environ 1 200 à 2 400 m³ d'eau par jour. (Heldbo, 2014). Ainsi, la demande énergétique pour la production des saumons atlantiques en RAS (133,220 MJ/te) est trois fois plus élevée que pour la production en cages marines (37,913 MJ/ te). Le potentiel de réchauffement climatique, exprimé en kilogrammes d'équivalent CO₂, peut être jusqu'à deux fois plus élevé dans un système RAS (Philis et al., 2019). Selon cette étude, l'impact moyen associé au potentiel de réchauffement climatique ainsi que la demande énergétique cumulative était plus élevé pour les systèmes RAS en milieu terrestre que pour les autres formes de pisciculture du saumon. Les systèmes RAS étaient également associés à une augmentation du potentiel d'acidification, exprimé en kilogrammes d'équivalent SO₂ (Philis et al., 2019). Toutefois, il faut nuancer et également tenir compte du fait que les données obtenues par l'étude de Philis et al. (2019) n'incluent pas la réduction du kilométrage de la pisciculture au marché (ex. usine de transformation, épicerie) ni la consommation de l'essence (l'empreinte de carbone) pour livrer les produits de saumon frais aux consommateurs (Brown et al., 2025).

Un autre enjeu associé aux systèmes RAS concerne les pannes ou les coupures d'électricité. Les fermes piscicoles en milieu terrestre nécessitent un suivi régulier des paramètres physicochimiques de l'eau ainsi que du comportement des poissons. Des sondes peuvent être utilisées pour enregistrer ces paramètres en continu et en temps réel, tandis que des systèmes d'alarme peuvent aviser les responsables de la pisciculture en cas de panne de courant ou de déviation d'un paramètre critique. Toutefois, ces systèmes de surveillance nécessitent la mise en place de mesures d'intervention en cas d'urgence. La présence de personnel sur place ou la mise en place d'un service de garde pourrait ainsi être nécessaire afin d'assurer une intervention rapide, ce qui pourrait entraîner une augmentation des coûts d'exploitation.

1.3. Biosécurité et résilience

1.3.1. Avantages



L'un des principaux enjeux associés à l'aquaculture en cages marines concerne les interactions entre les poissons d'élevage et le milieu naturel. Dans les systèmes RAS, le taux élevé de recirculation permet de maintenir un environnement de production fermé, ce qui contribue à limiter l'introduction de pathogènes et de parasites dans le système. En milieu marin, les fermes piscicoles ont recours à différentes mesures de prévention, notamment la vaccination et la mise en place de zones de contrôle. Toutefois, ces mesures ne permettent pas d'éliminer complètement le risque de maladies chez les saumons d'élevage (Scarfe & Palić, 2020). En Norvège, les maladies infectieuses représentent la nuisance la plus commune en aquaculture des saumons atlantiques (Slette et al., 2025). Cependant, les mortalités massives sont souvent liées aux proliférations d'algues toxiques et aux infestations des poux de mer (Sajid et al., 2024). Souvent, les proliférations d'algues toxiques et de pathogènes sont liées aux variations en température et oxygène au milieu naturel. Un enjeu majeur est alors aussi de se débarrasser des saumons morts, devenus toxiques et qui polluent l'écosystème (Sajid et al., 2024). Les proliférations des poux de mers chez les saumons atlantiques sont omniprésentes dans l'aquaculture en mer (Barrett et al., 2020). Les poux sont un parasite naturel chez les poissons, mais avec l'intensification des fermes piscicoles en cages, la densité des parasites augmente chez les saumons cultivés et les populations naturelles. En Europe, certains poux sont devenus résistants au traitement (Aaen et al., 2015). Les opérateurs de fermes ont donc besoin de trouver de nouvelles méthodes d'épouillage, ce qui génère une augmentation des frais de production (Barrett et al., 2020). Tandis que les méthodes de prévention existent, les systèmes RAS restent moins susceptibles de subir des infestations de poux de mer grâce au circuit enfermé. Le producteur peut, par conséquent, mieux contrôler les intrants au sein de sa ferme avec des protocoles et mesures de biosécurité.

1.3.2. Enjeux

Cependant, les systèmes de RAS nécessitent protocole de biosécurité rigoureux. Les épidémies sont souvent liées aux variations dans la qualité de l'eau, ce qui réduit les réponses immunologiques des poissons et les rendent plus susceptibles d'être infectés (Gupta et al., 2024). Si les normes de biosécurité ne sont pas respectées en milieu de production, les pathogènes peuvent être introduits dans le système RAS (Murray et al., 2014). Dès qu'un pathogène ou une maladie est entré dans l'eau, il est extrêmement difficile de les retirer du système. Plusieurs risques sont associés à un manque de respect de biosécurité dans les systèmes RAS, notamment : les risques d'entrée d'un pathogène, les risques liés à la prolifération des pathogènes et les risques de transmission. Les bactéries, les virus et les champignons peuvent être introduits dans les systèmes par les œufs, les prises d'eau, la moulée, le personnel de production, les vecteurs autres (souris ou oiseaux) et les aérosols (Slette et al., 2025). Une qualité d'eau inadéquate ou instable peut créer des conditions favorables à la prolifération des agents pathogènes et augmenter les risques sanitaires dans les systèmes RAS si la moulée accumule dans les bassins et par la formation d'un biofilm (Slette et al., 2025). Les aérosols produits par les filtres et les pompes dans le système RAS sont également un enjeu souvent négligé. Ces systèmes nécessitent des concentrations élevées d'oxygène pur pour le dégazage et utilisent des ventilateurs qui peuvent propager des



gouttes d'eau et les aérosols. Le système de ventilation est habituellement à proximité de l'environnement d'élevage, sans aucune barrière. Il est donc essentiel de séparer les compartiments du RAS afin d'éviter la transmission de pathogènes (Yanong, 2019). À ce jour, aucune méthode ne permet de désinfecter entièrement les volumes d'eau entrant et sortant des systèmes RAS. En raison des volumes d'eau importants mis en circulation, la désinfection complète de l'ensemble du système demeure difficile à réaliser. Ainsi, lorsqu'un pathogène parvient à pénétrer dans un RAS, il peut se propager dans le système, notamment par la circulation de l'eau et les aérosols, et être ainsi continuellement disséminé au sein de l'environnement de production (Gołaś et al., 2022). Ainsi, la meilleure méthode de prévention est de cloisonner les filtres et les pompes dans le RAS.

Les saumons atlantiques sont particulièrement sensibles aux pathogènes et de nombreuses maladies ont été identifiées chez les poissons élevés en RAS (Moldal et al., 2025; Yanong, 2004). La transmission horizontale des pathogènes, c'est-à-dire leur transmission entre individus par l'intermédiaire de l'eau ou de l'alimentation, peut être particulièrement rapide dans les systèmes RAS. En raison des densités élevées de poissons, un agent pathogène peut se propager rapidement entre les individus d'un même bassin. Les poissons infectés peuvent excréter des agents pathogènes dans l'eau par l'intermédiaire de leur mucus, de leurs fèces ou de différents fluides biologiques, favorisant ainsi leur dissémination dans le système (Bricknell, 2017). Une mortalité de masse du cheptel est souvent la conséquence de pathogènes, car aucun traitement n'existe pour aucune des cinq maladies les plus communes; les ulcères cutanés, le Syndrome de la cardiomyopathie (CMS), la Maladie bactérienne des branchies, la pasteurellose et Inflammation du muscle cardiaque et squelettique (HSMI) (Sajid et al., 2024). Il subsiste donc toujours un risque de mortalité massive, même en système RAS. Toutefois, la désinfection de l'eau à l'entrée du système et la qualité de la source d'eau peuvent aider à réduire de façon considérable le risque associé aux pathogènes (Slette et al., 2025)



2. Poissons : Santé et bien-être

2.1. Avantages

Les systèmes RAS peuvent contribuer à réduire certains facteurs de stress chez les saumons et ainsi favoriser leur bien-être. Ils offrent des conditions d'élevage contrôlées, permettant notamment de maintenir plus stables des paramètres importants de la qualité de l'eau, tels que la température et l'oxygène dissous, tout au long de l'année. À l'inverse, en aquaculture marine, les changements climatiques et certaines activités anthropiques peuvent modifier les conditions environnementales auxquelles sont exposés les saumons élevés en cages. Ces variations peuvent notamment entraîner des périodes de faible concentration en oxygène dissous, auxquelles les poissons doivent s'adapter (Burke et al., 2022). Les piscicultures en cages marines ont ainsi recours à des systèmes d'oxygénation afin de maintenir des concentrations adéquates d'oxygène dissous lors de certaines conditions environnementales. Ces équipements représentent toutefois des besoins supplémentaires en matière d'investissement, d'entretien et d'exploitation. Dans les systèmes RAS, l'apport en oxygène fait partie intégrante de la conception du système et peut être contrôlé afin de maintenir des conditions d'élevage relativement stables, indépendamment des variations saisonnières ou de certaines fluctuations environnementales liées aux changements climatiques.

Les saumons élevés en RAS peuvent également être exposés à moins de facteurs de stress que ceux élevés en cages marines. En milieu marin, les fermes piscicoles doivent notamment effectuer régulièrement des opérations de contrôle et d'élimination des poux de mer, ainsi que des transferts de poissons à l'aide de bateaux viviers. Les opérations d'épouillage peuvent entraîner un stress important et des traumatismes physiques chez les poissons, notamment des blessures susceptibles d'augmenter le risque d'infections (Chan et al., 2026). Grâce à la réduction des stress, les saumons élevés en système RAS ont des taux de croissance plus élevés que leur ceux élevés en cages marines (Pino-Martinez & Handeland, 2025).

2.2. Enjeux

Cependant, la transition vers des systèmes entièrement terrestres comporte également certains enjeux, notamment en ce qui concerne les risques de mortalité et la complexité du maintien de la santé des poissons dans un environnement d'élevage hautement contrôlé et techniquement complexe (Christiansen, s. d.). Le principal enjeu lié à la santé des poissons demeure la prévention, la détection et la gestion des maladies. Dans un système RAS, les conditions d'élevage sont étroitement contrôlées, mais la forte densité de poissons et la recirculation continue de l'eau peuvent favoriser la propagation rapide d'un agent pathogène une fois celui-ci introduit dans le système (voir section 3.1.2).



Conclusion

L'analyse des systèmes d'aquaculture en recirculation présentée dans ce mémoire met en évidence une technologie qui offre plusieurs possibilités pour le développement de la pisciculture en milieu terrestre, tout en comportant des enjeux qui doivent être pris en considération. Les RAS permettent notamment un contrôle accru des conditions d'élevage, une recirculation importante de l'eau, une réduction des interactions directes avec le milieu naturel et un meilleur contrôle de certains paramètres pouvant influencer la santé et le bien-être des poissons. Ces caractéristiques peuvent également contribuer à réduire certains risques associés à l'élevage en cages marines, notamment les évasions, les interactions avec les populations sauvages et l'exposition à des conditions environnementales variables.

Toutefois, la production en RAS ne permet pas d'éliminer l'ensemble des impacts environnementaux et des risques associés à l'aquaculture. Les besoins énergétiques importants, la gestion des boues et des rejets, les besoins en eau douce, ainsi que les émissions associées à la consommation d'énergie constituent des enjeux à considérer. La biosécurité représente également un aspect important. Malgré un environnement de production fermé et fortement contrôlé, l'introduction d'un pathogène dans un système à forte densité et à recirculation peut entraîner une propagation rapide de la maladie. La surveillance continue de la qualité de l'eau, la prévention des maladies et la capacité d'intervention en cas de défaillance sont donc des éléments essentiels au fonctionnement d'un tel système.

La santé et le bien-être des poissons constituent également des facteurs déterminants. Les conditions contrôlées des RAS peuvent limiter certains facteurs de stress associés au milieu marin, mais elles nécessitent en contrepartie une gestion rigoureuse des paramètres d'élevage et des équipements. Les pannes électriques, les défaillances des systèmes de traitement de l'eau, les problèmes d'oxygénation ou encore les épisodes de maladie peuvent avoir des conséquences importantes lorsque les poissons dépendent entièrement des infrastructures terrestres pour maintenir leurs conditions de vie.

Ainsi, l'évaluation d'un projet d'aquaculture terrestre en RAS doit considérer l'ensemble du cycle de production plutôt qu'un seul paramètre environnemental ou technologique. Les avantages potentiels des systèmes en recirculation sont étroitement liés à leur conception, à leur niveau de contrôle, à leur efficacité énergétique, à la gestion des rejets et à la capacité de l'exploitant à assurer une surveillance et une intervention adéquates. De la même manière, les enjeux associés à ces systèmes peuvent varier considérablement selon l'échelle de production, les technologies utilisées et les conditions d'exploitation.

En conclusion, les systèmes RAS constituent une approche technologique permettant de déplacer une partie du contrôle de la production vers un environnement terrestre fermé. Cette transition modifie toutefois la nature des risques et des impacts associés à la pisciculture plutôt que de les éliminer. Une analyse complète du projet doit donc tenir compte à la fois des bénéfices associés au contrôle du milieu de production et des exigences environnementales, énergétiques, sanitaires et opérationnelles nécessaires au maintien d'un système RAS fonctionnel et résilient.



Liste des références

- Aaen, S. M., Helgesen, K. O., Bakke, M. J., Kaur, K., & Horsberg, T. E. (2015). Drug resistance in sea lice : A threat to salmonid aquaculture. *Trends in Parasitology*, 31(2), 72-81. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2014.12.006>
- Bakke, I., Åm, A. L., Kolarevic, J., Ytrestøyl, T., Vadstein, O., Attramadal, K. J. K., & Terjesen, B. F. (2017). Microbial community dynamics in semi-commercial RAS for production of Atlantic salmon post-smolts at different salinities. *Aquacultural Engineering, Workshop on Recirculating Aquaculture Systems (III)*, 78, 42-49. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2016.10.002>
- Barrett, L. T., Oppedal, F., Robinson, N., & Dempster, T. (2020a). Prevention not cure : A review of methods to avoid sea lice infestations in salmon aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 2527-2543. <https://doi.org/10.1111/raq.12456>
- Barrett, L. T., Oppedal, F., Robinson, N., & Dempster, T. (2020b). Prevention not cure : A review of methods to avoid sea lice infestations in salmon aquaculture. *Reviews in Aquaculture*. <https://doi.org/10.1111/raq.12456>
- Bjørndal, T., & Tuvik, A. (2020). Economic analysis of on-growing of salmon post-smolts. *Aquaculture Economics & Management*, 24(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/13657305.2020.1737272>
- Bricknell, I. (2017). Chapter 3—Types of Pathogens in Fish, Waterborne Diseases. In G. Jeney (Éd.), *Fish Diseases* (p. 53-80). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804564-0.00003-X>
- Brown, A. R., Wilson, R. W., & Tyler, C. R. (2025). Assessing the Benefits and Challenges of Recirculating Aquaculture Systems (RAS) for Atlantic Salmon Production. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 33(3), 380-401. <https://doi.org/10.1080/23308249.2024.2433581>
- Burke, M., Grant, J., Filgueira, R., & Swanson, A. (2022). Oxygenation effects on temperature and dissolved oxygen at a commercial Atlantic salmon farm. *Aquacultural Engineering*, 99, 102287. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.102287>
- Chan, S. S., Nielsen, C. M. D., Imsland, A. K. D., Ageeva, T. N., Rotabakk, B. T., Olsen, S. H., Tobiassen, T., & Roth, B. (2026). Slaughtering Atlantic salmon using stun-and-bleed vessels or well-boats and their subsequent effects on welfare and quality. *Aquaculture*, 621, 743960. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2026.743960>
- Christiansen, D. H. (s. d.). *Biosecurity Considerations in Atlantic Salmon Recirculating Aquaculture Systems (RAS)*.
- d'Orbcastel, E. R., Blancheton, J.-P., & Aubin, J. (2009). Towards environmentally sustainable aquaculture: Comparison between two trout farming systems using life cycle assessment.



Aquacultural Engineering, 40(3), 113–119.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2008.12.002>

- Ford, J. S., Pelletier, N. L., Ziegler, F., Scholz, A. J., Tyedmers, P. H., Sonesson, U., Kruse, S. A., & Silverman, H. (2012). Proposed Local Ecological Impact Categories and Indicators for Life Cycle Assessment of Aquaculture. *Journal of Industrial Ecology*, 16(2), 254-265. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00410.x>
- Gołaś, I., Szmyt, M., & Glińska-Lewczuk, K. (2022). Water as a Source of Indoor Air Contamination with Potentially Pathogenic *Aeromonas hydrophila* in Aquaculture. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(4), 2379. <https://doi.org/10.3390/ijerph19042379>
- Gupta, S., Makridis, P., Henry, I., Velle-George, M., Ribicic, D., Bhatnagar, A., Skalska-Tuomi, K., Daneshvar, E., Ciani, E., Persson, D., & Netzer, R. (2024). Recent Developments in Recirculating Aquaculture Systems : A Review. *Aquaculture Research*, 21. <https://doi.org/10.1155/are/6096671>
- Hagspiel, V., Hannevik, J., Lavrutich, M., Naustdal, M., & Struksnæs, H. (2018). Real options under technological uncertainty : A case study of investment in a post-smolt facility in Norway. *Marine Policy*, 88, 158-166. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.11.020>
- Heldbo, J. (2014). *Recirculated Aquaculture*.
- Heuch, P., & Mo, T. (2001). A model of salmon louse production in Norway : Effects of increasing salmon production and public management measures. *Diseases of Aquatic Organisms*, 45, 145-152. <https://doi.org/10.3354/dao045145>
- Jeffery, K., MacMillan, I., Schiefer, P., Muench, A., Tew, I., Stinton, N., & Albert, R. (2023). A Scoping Study of the Technical, Regulatory, and Economic Challenges for the Recirculation Aquaculture System Sector in England. <https://africacommons.net/artifacts/55274345/a-scoping-study-of-the-technical-regulatory-and-economic-challenges-for-the-recirculation-aquaculture-system-sector-in-england/56172642/>
- Jensen, Ø., Dempster, T., Thorstad, E. B., Uglem, I., & Fredheim, A. (2010). Escapes of fishes from Norwegian sea-cage aquaculture : Causes, consequences and prevention. *Aquaculture Environment Interactions*, 1, 71-83. <https://doi.org/10.3354/aei00008>
- Lai, F., Rønnestad, I., Budaev, S., Balseiro, P., Gelebart, V., Pedrosa, C., Stevnebo, A., Haugarvoll, E., Korsøen, Ø. J., Tangen, K. L., Folkedal, O., & Handeland, S. (2024). Freshwater history influences farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) performance in seawater. *Aquaculture*, 586, 740750. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740750>
- Mirzoyan, N., Tal, Y., & Gross, A. (2010). Anaerobic digestion of sludge from intensive recirculating aquaculture systems: Review. *Aquaculture*, 306(1–4), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.05.028>



- Murray, F., Bostock, J., & Fletcher, D. (2014). *Review of recirculation aquaculture system technologies and their commercial application*. <http://dspace.stir.ac.uk/handle/1893/21109>
- Philis, G., Ziegler, F., Gansel, L. C., Jansen, M. D., Gracey, E. O., & Stene, A. (2019). Comparing Life Cycle Assessment (LCA) of Salmonid Aquaculture Production Systems: Status and Perspectives. *Sustainability*, 11(9), 2517. <https://doi.org/10.3390/su11092517>
- Piedrahita, R. H. (2003). Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*, 226(1–4), 35–44. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00465-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00465-4)
- Pino-Martinez, E., & Handeland, S. O. (2025). A Case Study Documenting Growth and Welfare of Atlantic Salmon Reared to Market Size in a Novel Commercial Hybrid Flow-Through System in Norway: A Comparison With Fish Performance in Traditional Sea Sites. *Aquaculture Research*, 2025(1), 4018594. <https://doi.org/10.1155/are/4018594>
- Sajid, Z., Gamperl, A. K., Parrish, C. C., Colombo, S. M., Santander, J., Mather, C., Neis, B., Holmen, I. M., Filgueira, R., McKenzie, C. H., Cavalli, L. S., Jeebhay, M., Gao, W., Gómez, M. A. L., Ochs, C., Lehnert, S., Couturier, C., Knott, C., Romero, J. F., ... Singh, G. G. (2024). An aquaculture risk model to understand the causes and consequences of Atlantic Salmon mass mortality events: A review. *Reviews in Aquaculture*, 16(4), 1674-1695. <https://doi.org/10.1111/raq.12917>
- Scarfe, A. D., & Palić, D. (2020). 3 - Aquaculture biosecurity: Practical approach to prevent, control, and eradicate diseases. In F. S. B. Kibenge & M. D. Powell (Éds.), *Aquaculture Health Management* (p. 75-116). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813359-0.00003-8>
- Slette, H. T., Salomonsen, C., Størkersen, K., Tveit, G. M., Misund, A., & Lona, E. (2025). Biosafety in Norwegian Aquaculture—Risks and Measures in RAS Facilities and Well-Boats. *Reviews in Aquaculture*, 17(1), e12979. <https://doi.org/10.1111/raq.12979>
- van Rijn, J. (2013). Waste treatment in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 53, 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.11.010>
- Verdegem, M. C. J., Bosma, R. H., & Verreth, J. A. J. (2006). Reducing water use for animal production through aquaculture. *International Journal of Water Resources Development*, 22(1), 101–113. <https://doi.org/10.1080/07900620500405544>
- Verspoor, E., McGinnity, P., Bradbury, I., & Glebe, B. (2015). *The potential direct and indirect genetic consequences for native Newfoundland Atlantic Salmon from interbreeding with European-origin farm escapes*.



- Yanong, R. P. E. (2019). *Fish Health Management Considerations in Recirculating Aquaculture Systems – Part 2: Pathogens* / EDIS. University of Florida.
<https://journals.flvc.org/edis/article/view/109177>
- Zhang, Y., et al. (2023). Hazardous substances and their removal in recirculating aquaculture systems: A review. *Aquaculture*, 569, 739399.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739399>



