

AGROCAMPUS OUEST

CFR Angers CFR Rennes

Année universitaire : 2019 - 2020

Spécialité :

Sciences Halieutiques et Aquacoles (SHA)

Spécialisation (et option éventuelle) :

Aquaculture

Mémoire de fin d'études

d'ingénieur de VetAgro Sup, école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

de master de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST), école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

L'aquaponie sur l'archipel de Saint-Pierre et Miquelon : état des lieux des connaissances actuelles et perspectives de développement

Par : Valentin PIQUARD



Soutenu à Rennes le 17 septembre 2020

Devant le jury composé de :

Président : Dominique Ombredane (Agrocampus Ouest)

Maître de stage : Fabrice Teletchea (URAFPA)

Enseignant référent : Hervé Le Bris (Agrocampus Ouest)

Jury extérieur : Joel Aubin (INRAE)

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Glossaire

ACV	Analyse du cycle de vie
APIVA	AquaPonie Innovation Végétale et Aquaculture
ARDA	Association de Recherche et de Développement pour l'Aquaculture
CICTA	Commission internationale pour la conservation des thonidés de l'Atlantique
DTAM	Direction des Territoires, de l'Alimentation et de la Mer
EDC	Elevage De Coquilles
FAN	Ferme Aquacole du Nord
IEDOM	Institut d'Emission des Départements d'Outre-Mer
NFT	Technique de culture sur film nutritif
OPANO	Organisation des Pêches de l'Atlantique du Nord-Ouest
PAC	Politique Agricole Commune
PCP	Politique Commune des Pêches
PDAD	Pland de Développement Agricole Durable
SPEC	Société de Pêche Et de Congélation
SPM	Saint-Pierre et Miquelon
SRA	Système Recirculé Aquacole
TGC	Coefficient de croissance d'unité thermique
ZEE	Zone économique exclusive

Remerciements

Je tiens à remercier la Collectivité Territoriale de Saint-Pierre et Miquelon ainsi que l'Université de Lorraine pour m'avoir donné l'opportunité de travailler sur ce projet. Je tiens tout particulièrement à remercier mon maître de stage, Fabrice Teletchea pour son encadrement, ses relectures nombreuses et pertinentes ainsi que sa bonne humeur permanente.

Merci à Dominique Ombredane pour ses conseils avisés ainsi qu'à Hervé Le Bris.

Je souhaite également remercier l'ensemble des acteurs qui ont pris le temps de lire le rapport d'avancement et de répondre à mes questions. Ces échanges m'ont été précieux pour affiner ma réflexion sur ce projet.

Avant-propos

Ce stage a été réalisé dans le cadre de la convention pluriannuelle (2018 – 2020) signée entre le Conseil Territorial de Saint-Pierre et Miquelon et l'Université de Lorraine.

Cette convention approuvée le 19 mars 2018 par le Conseil Territorial a deux objectifs principaux :

- Identifier, former et accompagner les personnes qui veulent développer des projets aquacoles innovants sur l'archipel de Saint-Pierre et Miquelon
- Réaliser une étude technico-économique sur la faisabilité de créer des entreprises aquacoles innovantes sur l'archipel.

Plusieurs jeunes de Saint-Pierre et Miquelon (SPM), intéressés par les métiers de la mer et de l'aquaculture, ont été conseillés sur les formations existantes et aiguillés dans leurs recherches de stage par le porteur de ce projet, Fabrice Teletchea, natif de l'archipel et actuellement enseignant-chercheur de l'Université de Lorraine. Des projets pédagogiques innovants (notamment en lien avec l'aquaponie) ont aussi été créés entre les étudiants de la Licence Professionnelle Aquaculture Continentale et Aquariologie (LP ACA) et les lycées de Dombasle-sur-Meurthe et Commercy en Meurthe-et-Moselle mettant SPM au cœur de leur réflexion. Plusieurs structures aquaponiques pédagogiques ont été mises en place au lycée Émile Letournel de Saint-Pierre et une nouvelle formation intitulée « Biotechnologie et biologie marine » y a également été ouverte depuis deux ans.

Parallèlement, plusieurs porteurs de projets de SPM ont été rencontrés et accompagnés à des degrés divers dans la maturation de leurs projets (hydroponie, aquaponie, élevage de homards, éclosierie d'omble fontaine). Plusieurs projets tuteurés ont été réalisés par des étudiants du DUT agronomie et de la LP ACA sur les possibilités d'élevage de poissons, notamment dans un système aquaponique, à SPM.

Le présent document s'intègre dans la seconde action de l'Université de Lorraine prévue par la convention et a pour objectif d'évaluer la possibilité de développer une production aquaponique sur l'archipel.

Table des matières

Introduction.....	1
1. Contexte	2
1.1. Présentation générale de l'archipel.....	2
1.2. Historique.....	3
1.3. La production primaire de Saint-Pierre et Miquelon	3
1.3.1. La pêche : vers une restructuration de la filière ?.....	3
1.3.2. L'agriculture : très loin de l'autosuffisance alimentaire	4
1.3.3. L'aquaculture : un potentiel inexploité.....	6
1.3.4. Bilan	6
2. Matériel et méthode	7
2.1. Synthèse bibliographique sur l'aquaponie dans l'Atlantique Nord	7
2.2. Entretiens avec différentes parties prenantes et acteurs du domaine	7
3. Résultats.....	8
3.1. Définition de l'aquaponie	8
3.1.1. Système aquaponique couplé	8
3.1.2. Système aquaponique découplé	9
3.2. L'aquaponie dans l'Atlantique Nord	11
3.2.1. Présentation des systèmes aquaponiques existants.....	11
3.2.2. Comparaison des volumes de productions et choix techniques.....	13
3.2.3. Budget / Investissement	15
3.2.4. Cadre législatif	15
3.2.5. Exemple d'entreprises existantes, réussites et échecs	16
3.2.6. Bilan	17
3.3. Développement de la production aquaponique sur Saint-Pierre et Miquelon.....	18
3.3.1. Pertinence de l'aquaponie pour l'archipel	18
3.3.2. Potentiel de production aquacole	19
3.3.3. Potentiel de production hydroponique.....	23
3.3.4. Résultats des entretiens	25
3.3.5. Scénarii de développement d'une production aquaponique sur l'archipel	28
4. Discussion	29
Conclusion.....	31

Introduction

Le concept de souveraineté alimentaire s'est développé rapidement depuis qu'il a été proposé pour la première fois il y a plus de vingt ans. Il s'agit d'un terme générique qui désigne des approches visant à s'attaquer aux problèmes de la faim et de la malnutrition, ainsi que de promouvoir le développement rural, la préservation environnementale et la durabilité de nos modes de vies. Cette approche est diamétralement opposée au paradigme de développement général fondé sur la libéralisation du commerce agricole international, la sécurité alimentaire basée sur le commerce et l'agriculture industrielle (Windfuhr, Jonsén, 2005).

Le lien entre souveraineté alimentaire, sécurité alimentaire et justice alimentaire a été discuté pour Saint-Pierre et Miquelon (SPM) comme exemple d'illustration de ces enjeux pour les écosystèmes nordiques (Keske et al., 2016). Depuis des décennies, les habitants de SPM dépendent presque exclusivement de l'exploitation du poisson pour assurer le développement économique de l'archipel, leur permettant ainsi d'importer l'essentiel des produits agricoles qu'ils consomment. Aussi, la production agricole y est très peu développée. Ce développement économique rend l'archipel extrêmement vulnérable à l'épuisement des ressources halieutiques, à l'interruption des échanges commerciaux et à la complexité de la gouvernance locale et internationale (Keske et al., 2016). Très récemment, la crise du coronavirus a renforcé la prise de conscience de la forte dépendance de SPM vis-à-vis de l'extérieur, et notamment du Canada, concernant l'approvisionnement en produits frais.

Depuis le moratoire de 1992 sur le stock de morue de l'Atlantique Nord et la décision du tribunal international concernant la délimitation de la zone économique exclusive (ZEE) de SPM, la pêche industrielle s'est effacée et c'est l'ensemble de l'économie locale qui s'est effondrée (De Beauregard, 2013). Aujourd'hui l'activité économique locale est dominée par les secteurs du bâtiment et des travaux publics et les activités administratives (IEDOM, 2019). Le développement de l'activité touristique représente la priorité du schéma de développement stratégique de la Collectivité Territoriale (IEDOM, 2020). Le renforcement de l'autonomie alimentaire est aussi un axe fort et en 2018 le Plan de développement agricole durable (PDAD) définit comme priorité pour l'agriculture d'élargir la gamme des produits agricoles primaires pour alimenter le marché intérieur et éventuellement développer les exportations.

Dans cette étude, l'aquaponie est envisagée comme une solution durable pour améliorer l'autonomie alimentaire du territoire. Ce rapport offre des éléments d'analyses technique et scientifique sur la faisabilité de l'implantation d'un tel système. Ce document vise à répondre aux deux questions suivantes : Est-ce que l'aquaponie est un système de production pertinent pour l'archipel de Saint-Pierre et Miquelon ? Si oui, quels sont les différents scénarii de développement de systèmes aquaponiques commerciaux envisageables ?

Après un bilan sur la situation actuelle de la production primaire sur l'archipel, un état de l'art de l'aquaponie dans l'Atlantique Nord est dressé. Saint-Pierre et Miquelon a la particularité de se trouver à l'interface de deux continents. Géographiquement l'archipel appartient à l'Amérique du Nord mais culturellement et administrativement c'est un territoire Français et Européen. Il s'agit de tirer parti de cette spécificité pour sélectionner ce qu'il y a de mieux sur les deux continents et ainsi de proposer une solution optimale pour l'archipel. Parmi toutes les espèces aquacoles envisageables à élever dans un système aquaponique, une sélection est faite sur la base de plusieurs critères (acceptabilité sociétale, performances zootechniques, exigences d'élevages et réglementation). Un travail similaire est présenté concernant les espèces végétales. Le choix de chaque espèce est discuté. Suite à des échanges avec plusieurs acteurs plusieurs scénarii de développement sont proposés.

1. Contexte

1.1. Présentation générale de l'archipel

L'archipel français de Saint-Pierre et Miquelon est composé de trois îles principales : Saint-Pierre, Miquelon et Langlade. Il est situé à environ 25km de la province canadienne Terre-Neuve et Labrador (Figure 1). 3800 km séparent l'archipel de la France métropolitaine. Il y a environ 6000 habitants sur l'archipel avec une augmentation de la population durant l'été. L'île de Saint-Pierre abrite 90% de la population ainsi que la plupart des administrations (FranceAgriMer, 2019).

Bien que dépendant de la France métropolitaine (l'État est représenté localement par un préfet), l'archipel a un statut particulier au sein de l'Union Européenne, il est considéré comme un Pays et Territoire d'Outre-Mer. L'archipel est inclus dans la zone euro. Localement, les collectivités sont représentées par le conseil territorial ainsi que les maires des deux communes (Saint-Pierre et Miquelon). Le conseil territorial dispose des compétences de la région et du département tout en bénéficiant d'une forte autonomie propre à l'archipel en matière de fiscalité, douanes, logement et urbanisme (De Beauregard, 2013).

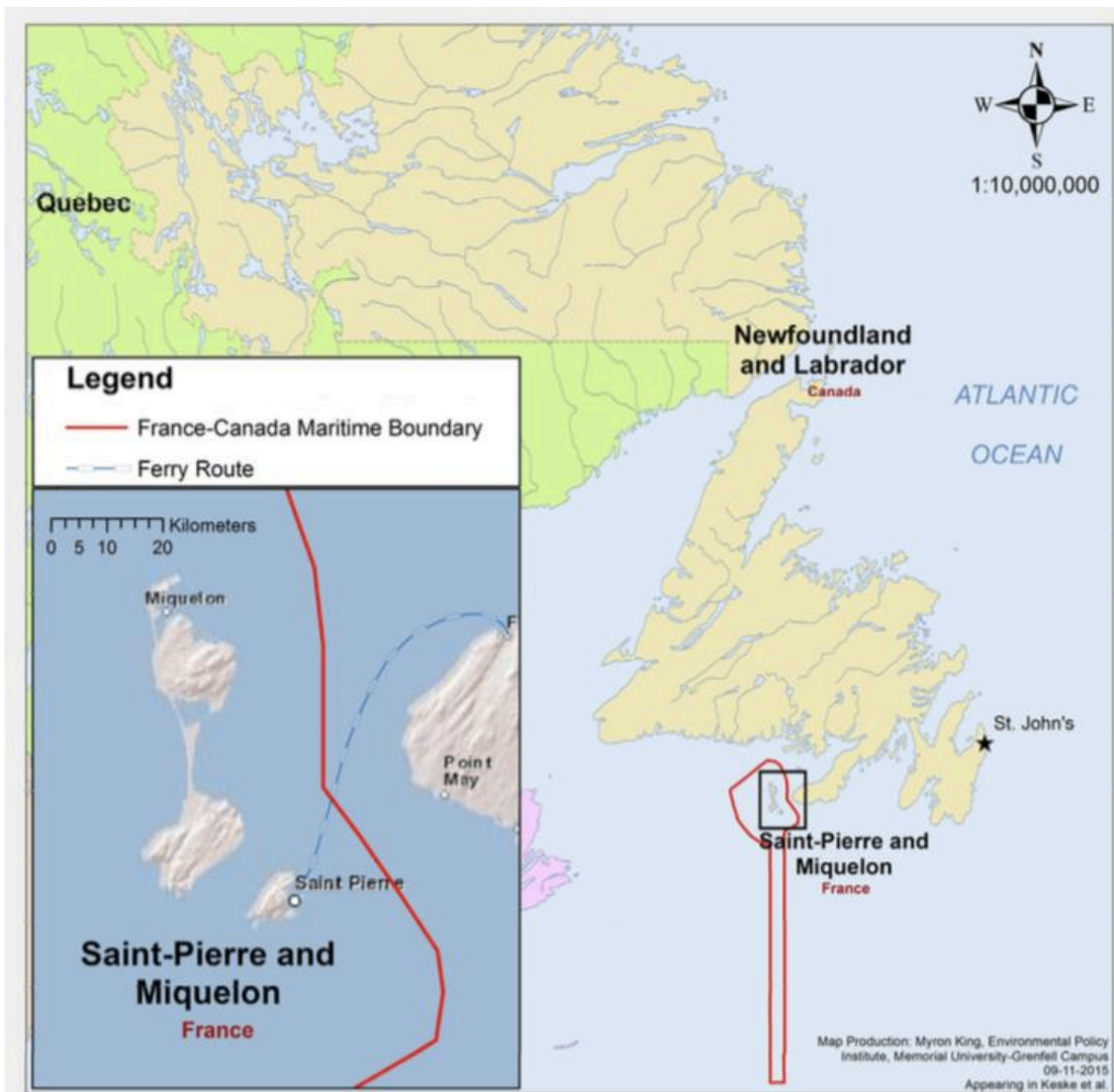


Figure 1 Carte de la région d'étude, archipel de Saint-Pierre et Miquelon, France. Terre-Neuve et Labrador, province la plus orientale du Canada est le voisin direct de l'archipel. En rouge est représenté la ZEE de l'archipel avec sa forme atypique datant de 1992 (Keske et al., 2016).

1.2. Historique

Officiellement découvert en 1520 par un navigateur portugais, l'archipel était néanmoins déjà connu des pêcheurs basques à la baleine. De 1713 à 1816, l'archipel changea régulièrement de dominance, tantôt française, tantôt anglaise, à causes de conflits entre les deux royaumes. Au cours du 20^e siècle, l'archipel connut deux âges d'or. La prohibition au Canada et aux États-Unis a permis à des familles de l'archipel de s'enrichir durant la première moitié du 20^e siècle en vendant de l'alcool européen sur le continent nord-américain. Plus tard, l'archipel a également profité de sa position stratégique de « poste avancé » pour bénéficier de la grande pêche sur les bancs de Terre-Neuve. Le territoire développa ainsi une activité de station-service à proximité des zones de pêche, qui stimula l'économie de l'archipel (De Beauregard, 2013).

Après la seconde guerre mondiale, une activité de pêche industrielle s'y développa. En 1951, la Société de Pêche Et de Congélation (SPEC) fut créée à Saint-Pierre. Elle possédait trois chalutiers de plus de trente mètres, d'une usine de transformation de 150 personnes et employait 60 marins. En 1971, la SPEC fut reprise par la société Interpêche qui développa encore plus son activité. A Miquelon, une société fut créée en 1985, La Miquelonnaise, qui reprit les installations d'une ancienne usine de traitement (De Beauregard, 2013). A la fin des années 80, 83% des captures de l'archipel étaient effectuées dans la zone 3PS (Annexe 1). Saint-Pierre et Miquelon étaient une place forte de la pêche française. A son apogée à la fin des années 1980, près de 50% de la population active de l'archipel travaillait à la pêche à la morue (Guillaume, 2001). Les captures de l'ensemble de la pêche industrielle française dans la région étaient de 133 000 tonnes en 1950 et ont oscillé jusqu'à atteindre un maximum de 174 000 tonnes en 1968 (Bultel, Zylich, 2015). Les gadidés, essentiellement la morue *Gadus morhua*, représentaient la majorité de ces captures.

Parallèlement à la croissance de la filière pêche sur l'archipel, des tensions apparurent entre le Canada et la France. Des négociations s'entamèrent par la suite concernant la délimitation des eaux territoriales. En 1972, les deux états étendirent leur juridiction jusqu'aux 12 miles depuis la côte, puis, en 1977, jusqu'aux 200 miles mais inévitablement les zones revendiquées se recoupaient. La position du Canada était claire : la France n'avait droit qu'à une juridiction étendue jusqu'à 12 miles. Plusieurs années de négociations sans succès se suivirent jusqu'à la désignation d'un médiateur en 1989. En 1992, le jury émit la décision finale concernant la ZEE française. Elle s'étendra sur 12 400 km² (soit moins du quart des 47 000 km² revendiqués) et sera surnommée « French baguette » en raison de sa forme atypique (Figure 1) (Keske et al., 2016). Le tribunal international accorda une bande de 200 miles nautiques depuis la côte sur une largeur de 10.5 miles, et une zone de 24 miles autour de l'archipel. Quelques jours avant la décision du tribunal, le Canada annonçait le moratoire sur la morue. Il interdisait la pêche à la morue dans toute la région pendant cinq ans, suite à l'effondrement des ressources halieutiques. Les usines de poissons de toute la région cessèrent leur activité et les chalutiers et navires-usines de l'archipel français furent vendus ou rendus à leur propriétaire (De Beauregard, 2013 ; McDorman, 1990). La pêche à la morue reprit timidement à la fin du moratoire, en 1997, sans jamais atteindre les niveaux de captures d'autrefois. Cette période a laissé de profondes séquelles sur l'économie de l'archipel encore très perceptibles aujourd'hui.

1.3. La production primaire de Saint-Pierre et Miquelon

1.3.1. La pêche : vers une restructuration de la filière ?

Près de 30 ans après le moratoire sur la pêche à la morue, la flotte de l'archipel ne regroupe plus que 15 navires actifs pour une production de 1736 tonnes réalisées par la pêche artisanale et 1177 tonnes par la pêche industrielle lors de la saison 2017-2018 (DTAM, 2018). Les principales espèces exploitées sont l'holothurie (*Cucumaria frondosa* ; 1198 tonnes en

2017), la raie (*Amblyraja radiata* ; 199 tonnes en 2017), la morue (*Gadus morhua* ; 168 tonnes en 2017), le flétan noir (*Reinhardtius hippoglossoides* ; 117 tonnes en 2017), le homard (*Homarus americanus* ; 37 tonnes en 2017) et le crabe des neiges (*Chionoecetes opilio* ; 21 tonnes en 2017).

Les ressources halieutiques de l'archipel sont exploitées selon cinq réglementations :

- Les espèces nationales de la ZEE
- Les stocks cogérés de l'annexe 1 de l'accord franco-canadien de 1994. Ils sont situés dans la zone 3PS (Annexe 1).
- Les stocks de l'annexe 2 de l'accord nommé au point précédent qui correspond à des espèces situées à l'extérieur de la zone 3PS.
- Les stocks situés en eaux internationales et gérés par l'Organisation des Pêches de l'Atlantique du Nord-Ouest (OPANO).
- Les stocks de poissons migrateurs gérés par la Commission internationale pour la conservation des thonidés de l'Atlantique (CICTA).

Les quotas attribués par la CICTA ne sont pas exploités par l'archipel faute de navire disponible. En 2018, les quotas attribués à l'archipel étaient de 250 tonnes de germon (*Thunnus alalunga*), 9,8 tonnes de thon rouge (*Thunnus thynnus*) et 109 tonnes d'espadon (*Xiphias gladius*) (IEDOM, 2019).

Les quotas attribués par l'OPANO sont exploités par affrètement de navires étrangers ou transférés à d'autres pays. Ainsi, en 2018, c'est un chalutier portugais qui a été affrété par la France pour pêcher la limande à queue jaune (*Limanda ferruginea*) et les autres quotas ont été transféré à l'Estonie (IEDOM, 2019).

Il est à noter également le rachat de la Société des Nouvelles Pêcheries de Miquelon, renommée Pêcheurs du Nord, par l'armement boulonnais Le Garrec en 2017 avec une forte volonté d'exploiter les quotas inexploités de l'archipel (IEDOM, 2019).

La pêche artisanale est dynamique depuis quatre ans, notamment grâce aux captures d'une espèce à forte valeur ajoutée, le concombre de mer ou holothurie. Néanmoins c'est un stock qui est très peu connu des scientifiques et le renouvellement de la ressource est difficilement quantifiable. La concentration de l'effort de pêche sur cette espèce se fait au détriment de la diversification du secteur et participe à l'inexploitation des autres quotas de l'archipel.

1.3.2. L'agriculture : très loin de l'autosuffisance alimentaire

Les conditions climatiques de l'archipel sont rudes avec un climat de type nordique, adouci par l'influence océanique. La température moyenne annuelle est de 5,7°C, allant de 19°C durant le mois le plus chaud à -3°C durant le mois le plus froid. On compte en moyenne 120 jours de gel par an, qui entraînent systématiquement le gel des terres (DTAM, 2018). De plus, des études agropédologiques récentes ont démontré la pauvreté des sols de l'archipel (IEDOM, 2019). Ces conditions rendent la culture en plein champ complexe.

Aujourd'hui on dénombre trois exploitations agricoles qui occupent 0,6% de la superficie de l'archipel. Pour comparaison, la France métropolitaine (Guyane incluse) dénombre 470 000 exploitations qui couvrent 27 877 000 ha de surface agricole utile soit 44% de la superficie totale (Agreste, 2019). L'objectif actuel est de se rapprocher le plus possible de l'autosuffisance alimentaire, d'autant plus que par le passé l'archipel valorisait jusqu'à 11% de son territoire par l'agriculture (DTAM, 2018).

En conséquence, l'archipel importe presque tous les produits issus de l'agriculture et de l'élevage. L'analyse des données d'importations et de production montre qu'en 2017, l'archipel couvrait seulement 11% de la demande en volailles, 2% de la demande en bovins ou encore 5% de la demande en racines comestibles (Tableau 1).

Tableau 1 Données de production et importation des principaux produits alimentaire (Groupement Etat / Collectivité territoriale de Saint-Pierre et Miquelon, 2018)

	Importations 2017 (SYDONIA)		Production 2017		Production future			Couverture à 50% : prod. Additionnelle
	kg / L / nb	Codes SYDONIA	kg / L / nb	Commentaires	kg / L / nb	Commentaires	Couverture des besoins	kg / L / nb
Viande								
Volailles	110 957	0207	13 080	Poulets, faisans et canards Grand large, Ferme de l'Ouest et Volière des Iles	25 750	Poulets, faisans et canards, projets déclarés par les exploitants	21 %	42 604
Ovins et caprins	20 098	0204	6 050	Ovins Ferme de l'Ouest : 330 de 18 kg ; Chevreaux Grand large : 10 de 11 kg	6 050	Pas d'évolution a priori	23 %	7 024
Bovins	134 589	0201, 0202 et 02062900	3 600	12 broutards à 300 kg	3 600	Pas d'évolution a priori	3 %	65 495
Porc	144 268	0203 ; 02101100 ; 02101200 ; 02101900	0	Pas de production recensée	0	Pas d'évolution a priori	0 %	72 134
Lapin ou lièvre	244	02081000	?	Chasse uniquement	?	Pas d'évolution a priori	?	?
Autre viande	19 077	02089000	10 000	Cerf de Virginie, autour de 400 animaux/an, hypothèse de 25 kg/animal	10 000	Pas d'évolution a priori	34 %	4 539
Lait								
Lait	324 246	0401	0	Pas de production recensée	0	Pas d'évolution a priori	0 %	162 123
Produits laitiers	377 473	0402 ; 0403 ; 0404 ; 0405 ; 0406	4 305	Grand large, 41 chèvres en production à 735 L/chèvre, 100% transformé avec une moyenne de 7L/kg de produit (diagnostic CAC/IMA, 2016)	4 305	Pas d'évolution a priori	1 %	186 584
Œufs								
Œufs	37 535	04072100 ; 04072900	47 740	Volière des Iles : 2 200 poules à 310 œufs/an, moy de 70 grammes	65 100	Volière des Iles : 3 000 poules à 310 œufs/an à 70g/œuf	76 %	n/a
Productions végétales								
Maraic hage hors pomme de terre	398 707	0702 à 0714	?	Données disponibles non agrégées, avec des unités différentes (pièces, kg, bottes, barquettes, etc.)	2 441	Floradecor 2020 : Cf lignes ci-dessous + 274 kg de courgette, 65 bottes de céleri à 650g/b, 246 bottes de persil à 110g/b, 52 bottes de thym à 100g/b	1 %	198 133
Tomates	57 390	0702	2 175	Floradecor : 1,5t de tomates classiques, 675 kg de tomates cocktail	2 040	Floradecor 2020 : 730 kg cocktail + 1310 kg classique	3 %	27 675
Salade et endives	51 094	0705	1 170	Floradecor : 3900 salades à 300g/s	1 564	Floradecor 2020 : 3930 laitues à 300g/p, 385 kd d'endive	3%	24 765
Racines comestibles	23 397	0706	1 300	Floradecor : 1,3t de carottes	1 307	Floradecor 2020 : 1232 kg de carotte, 10 kg de betterave, 65 kg de céleri rave	5%	11 045
Pommes de terre	138 173	0701	313	Floradecor : 313 kg (essai)	20 000	Floradecor : 350 kg en 2018, 2 500 kg en 2019, 8,273t en 2020, 20t en 2021.	14 %	59 087
Fourrage	260 802	12149000	113 000	Récap CAERN : 113t. (NB : déclarations EA : Ferme de l'Ouest : 4 t/ha sur 15 ha + pâturage fin mai à mi-novembre sur 85 ha ; Grand Large : 12 250 kg sur 10 ha + pâturage sur 10 ha (dès mi-juin))	113 000	Pas d'évolution a priori	30 %	78 401

En 2018, les biens alimentaires représentaient 22,2% des importations totales de l'archipel (IEDOM, 2019). A titre d'exemple, l'Institut d'Emission des Départements d'Outre-Mer (IEDOM) estime que les degrés d'autosuffisance sont très faibles : 3,8% pour les tomates, 3,4% pour les laitues et 0,4% pour les pommes de terre. Cette production maraîchère n'était réalisée jusqu'à cette année que par une seule exploitation, Floradecor, qui effectue de la culture en plein champ et une production sous serre sur l'île de Miquelon. Sur Saint-Pierre, une nouvelle ferme hydroponique, Ligne Verte, a vu le jour et les premières productions sont en vente depuis mai 2020 dans plusieurs magasins de l'île. Arbora'l, une entreprise spécialisée dans l'aménagement paysager et la distribution de bois de chauffage a également fait le choix de réhabiliter une serre pour la production de petits fruits et de jeunes plants comestibles (Elghazouani, 2019). La production agricole est également contrainte par l'isolement

géographique de l'archipel : le coût de transport des intrants est élevé et la liaison inter-île est dépendante des conditions climatiques (IEDOM, 2019).

1.3.3. L'aquaculture : un potentiel inexploité

L'activité aquacole canadienne dans la région est dynamique. Avec 192 000 tonnes de produits d'aquaculture en 2017, le Canada se classe 27^e pays producteur mondial, devant la France classée 29^e avec 166 000 tonnes (FAO, 2019). Le Canada produit principalement des salmonidés comme le saumon atlantique (*Salmo salar*) et la truite arc-en-ciel (*Onchorynchus mykiss*) et des bivalves, essentiellement la moule (*Mytilus edulis*) et l'huître (*Crassostrea gigas* & *Crassostrea virginica*).

L'archipel français ne profite pas du dynamisme de son voisin même si l'aquaculture est présentée comme un possible relais de diversification économique de la pêche depuis de très nombreuses années (DTAM, 2018). Il n'existait qu'une seule entreprise qui se concentrait sur la pectiniculture : Exploitation Des Coquilles (EDC) située dans la rade de Miquelon. Créée en 2000, EDC avait pour objectif de produire 2000 tonnes de pétoncles géants (*Placopecten magellanicus*) par an (De Beauregard, 2013). En 2017, seulement 88 tonnes de coquilles, fruit d'un ensemencement en 2012, ont été pêchées (DTAM, 2018). Cette espèce a droit à l'appellation « noix de Saint Jacques » sur le marché français et européen. Cette entreprise a cessé son activité à l'été 2020.

La Ferme Aquacole du Nord (FAN) est une société de mytiliculture qui avait pour ambition de fournir le marché local en moules. Le naissain était capté directement dans la rade de Miquelon puis les juvéniles étaient placés sur des filières de grossissement. Le plan de production prévoyait trois ans de grossissement pour atteindre une taille commercialisable. Après trois ans de commercialisation (3 tonnes/an) l'activité de la FAN s'est arrêté en 2017 en raison notamment d'un manque de main d'œuvre (IEDOM, 2018 ; DTAM, 2018). Depuis 2019, une nouvelle entreprise s'est lancée dans l'élevage de moules avec pour objectif de produire jusqu'à 40 tonnes au printemps 2021 (Tournoux, 2020).

Une activité salmonicole soutenue a été menée par l'Association de Recherche et de Développement pour l'Aquaculture (ARDA) durant les années 80. Il existait au moins trois structures aquacoles dont un site d'écloserie, un site de production de smolt de saumon atlantique et un site de grossissement de truites arc-en-ciel (Champigneulle, 1982). Des échanges importants de connaissances, compétences et de matériel biologique ont été entretenus entre le Canada et SPM durant cette période.

Enfin pour être exhaustif, un projet de grossissement de morues sauvages a été initié en 2002 par la société Aquafutur. Le processus consistait à capturer des morues d'environ 1 kg, les placer en cage dans la rade de Saint-Pierre et les nourrir de poissons fourrages frais ou congelés jusqu'à atteindre un poids commercialisable de 4 kg. Après 3 à 6 mois de grossissement, les poissons frais transitaient par le Canada pour être affrétés par avion-cargo vers les zones de consommation, dont le marché français. Malgré des investissements importants, la difficulté de s'approvisionner en poissons sauvages répondant aux critères de l'entreprise a mis fin au projet (IEDOM, 2008 ; 2006).

1.3.4. Bilan

La production primaire de l'archipel français est très faible. La forte dépendance à l'importation impacte négativement sa résilience : en cas de mauvais temps empêchant l'approvisionnement par voie maritime, ou de contexte politiques et/ou sanitaires instables, il pourrait y avoir une pénurie de denrées alimentaires. De plus, les habitants de l'archipel subissent ponctuellement des augmentations du prix de certains produits. Par exemple, la

crise sanitaire récente, ayant impacté les abattoirs américains, a eu pour conséquence de faire augmenter le prix du bœuf de 40 à 130% (Raynaud, 2020). Bien que possible, l'agriculture en pleine terre est fortement limitée à cause des conditions climatiques de l'archipel, en plus d'être restreinte à seulement quelques mois dans l'année. Dans ce contexte, la production hors-sol semble être une solution idéale pour l'archipel car elle permettrait de rallonger la période de production en maîtrisant les conditions de lumière et de température à l'intérieur (serre, bâtiment) tout en s'astreignant du climat rude. Dans la suite de ce document, l'aquaponie, méthode d'agriculture innovante associant l'horticulture et l'aquaculture dans un système hors-sol est envisagée comme une solution pour renforcer l'autonomie alimentaire de l'archipel.

2. Matériel et méthode

2.1. Synthèse bibliographique sur l'aquaponie dans l'Atlantique Nord

Pour réaliser cet état de l'art, une revue de la littérature a été réalisée. Les bases de données Science Direct et Google Scholar ont été interrogées avec les mots-clés « aquaponic », « hydroponic », « aquaculture », « recirculating system » et « nutrient ». Sur 6490 résultats obtenus sur Google Scholar, 203 publications ont été sélectionnées pour réaliser ce travail bibliographique. De plus, quelques ouvrages ont été parcourus :

- BITON, Grégory, 2017. *Guide pratique de l'aquaponie: produire ensemble légumes et poissons, construire sa propre installation*. Escalquens : Ed. Du Terran. ISBN 978-2-35981-080-6.
- FIERS, Marie, 2020. *L'aquaponie en pratique: concevoir et entretenir son installation*. Ulmer. S.l. : s.n. ISBN 978-2-37922-103-3.
- FOUCARD, Pierre et TOCQUEVILLE, Aurélien, 2019. *Aquaponie: associer aquaculture et production végétale*. S.l. : s.n. ISBN 978-2-7592-2964-2.
- GODDEK, Simon, JOYCE, Alyssa, KOTZEN, Benz et BURNELL, Gavin M. (éd.), 2019. *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future* [en ligne]. Cham : Springer International Publishing. ISBN 978-3-030-15942-9. Disponible à l'adresse : <http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-15943-6>.
- SOUTHERN, Adrian et KING, Whelm, 2019. *The aquaponic farmer: a complete guide to building and operating a commercial aquaponic system*. Gabriola, BC : New Society Publishers. ISBN 978-0-86571-858-6.

La zone d'étude est limitée à l'Atlantique Nord pour plusieurs raisons (i) les contextes climatiques sont globalement similaires entre ces régions et SPM, (ii) les pays nord-américains et européens ont des situations économiques comparables, (iii) si l'exportation est envisagée, les marchés cibles seront situés sur ces deux continents.

2.2. Entretiens avec différentes parties prenantes et acteurs du domaine

Lors de la réflexion concernant la réalisation de ce stage, il était initialement prévu un séjour sur l'archipel d'une durée d'un mois afin de s'imprégner de la culture et des caractéristiques du territoire et de rencontrer les acteurs institutionnels et les porteurs de projets locaux. A cause de la crise du coronavirus et de l'instauration d'un état d'urgence sanitaire en France, ce séjour a été annulé. Pour remédier à ce changement de programme, des échanges par visioconférence avec différentes personnes ont alors été programmés.

Un rapport d'avancement a ainsi été envoyé à plusieurs acteurs identifiés par le porteur de projet Fabrice Teletchea depuis près de trois ans. La méthode dite « boule de neige », consistant à demander aux interrogés d'éventuels contacts avec d'autres acteurs non

identifiés, a également été appliquée durant les échanges (Biernacki, Waldorf, 1981). Des porteurs de projets, des experts en aquaculture, en horticulture et en aquaponie, des spécialistes de la biologie, des membres d'institutions ou de banques et des membres d'association pour le développement de l'aquaponie ont ainsi été contactés.

Les objectifs de ces entretiens étaient les suivants, (i) avoir un échange sur le contenu du rapport d'avancement, version moins complète mais présentant la même structure que le rapport définitif, (ii) échanger plus généralement sur l'aquaponie, (iii) pour les personnes de SPM, obtenir une meilleure connaissance du contexte de l'archipel. Les échanges avec les acteurs, d'une durée moyenne d'une heure, ont été réalisés sous la forme d'entretiens semi-directifs via le logiciel Skype (© Microsoft 2020). Ce type d'entretien amène le répondant à communiquer des informations nombreuses, détaillées et de qualité sur les sujets liés à la recherche, en l'influençant très peu, et donc avec des garanties d'absence de biais qui vont dans le sens d'une bonne scientificité (Romelaer, 2005). Chaque entretien a été adapté en fonction du domaine d'expertise de l'acteur interrogé mais une trame commune a été utilisée (Annexe 3). Les informations ainsi recueillies ont été analysées avec la méthode d'analyse thématique. C'est une méthode qui permet d'identifier, d'analyser et de signaler des thèmes récurrents dans les données (Braun, Clarke, 2006). Les revues de la littérature ont permis d'identifier des catégories pour classer les thèmes ainsi identifiés.

3. Résultats

3.1. Définition de l'aquaponie

Considérée généralement comme un exemple d'aquaculture multi-trophique intégrée (*c.-à-d.* la production aquacole au sein de systèmes cultureux complexes intégrant plusieurs types d'élevage et d'activités), l'aquaponie est une méthode de culture novatrice, suscitant l'intérêt des professionnels de l'aquaculture et de l'horticulture (Foucard et Tocqueville, 2019). Elle est également considérée comme l'une des « *Dix technologies pouvant changer nos vies* ». (Van Woensel et Archer, 2015). Plusieurs définitions sont possibles mais un consensus définit l'aquaponie comme « *un système recirculé aquacole (SRA) et une unité hydroponique connectée, dans laquelle l'eau est partagée entre les deux unités. Pas moins de 50 % des nutriments fournis aux plantes doivent provenir de déchets de poissons* » (Goddek et al., 2019). Grâce à son approche singulière de recyclage des déchets et nutriments et la particularité de s'affranchir des conditions du milieu, l'aquaponie est particulièrement adaptée aux régions arides et aux zones dépourvues de terres arables (Goddek, Körner, 2019).

3.1.1. Système aquaponique couplé

Bien qu'il existe probablement autant de systèmes aquaponique différents qu'il n'existe d'aquaponistes, ils reposent tous sur une base commune (Figure 2). Les systèmes aquaponique couplés sont les premiers types de systèmes ayant été développés dans les années 70 notamment grâce aux travaux scientifiques réalisés aux Iles Vierges (Rakocy et al., 2006). Ces systèmes comprennent tous trois types d'organismes : les animaux aquatiques, les bactéries et les plantes. L'eau est un moyen de transport des nutriments entre les différents composants du système. Dans une enceinte d'élevage, on assure la croissance de poissons (ou autres animaux aquatiques) en leur apportant de la nourriture. Les poissons produisent de l'ammoniaque comme déchet de leur activité métabolique. Dans un filtre biologique, des bactéries hétérotrophes prolifèrent car les conditions environnementales sont maintenues pour satisfaire leurs exigences. Ces bactéries réalisent la nitrification et la nitrification à partir de l'ammoniaque. Ainsi l'ammoniaque, toxique pour les poissons, est transformé en nitrate non toxique. Un compartiment végétal est irrigué avec cette eau chargée en nitrate. Le nitrate est assimilé par les végétaux et assure leur développement car c'est un macronutriment essentiel.

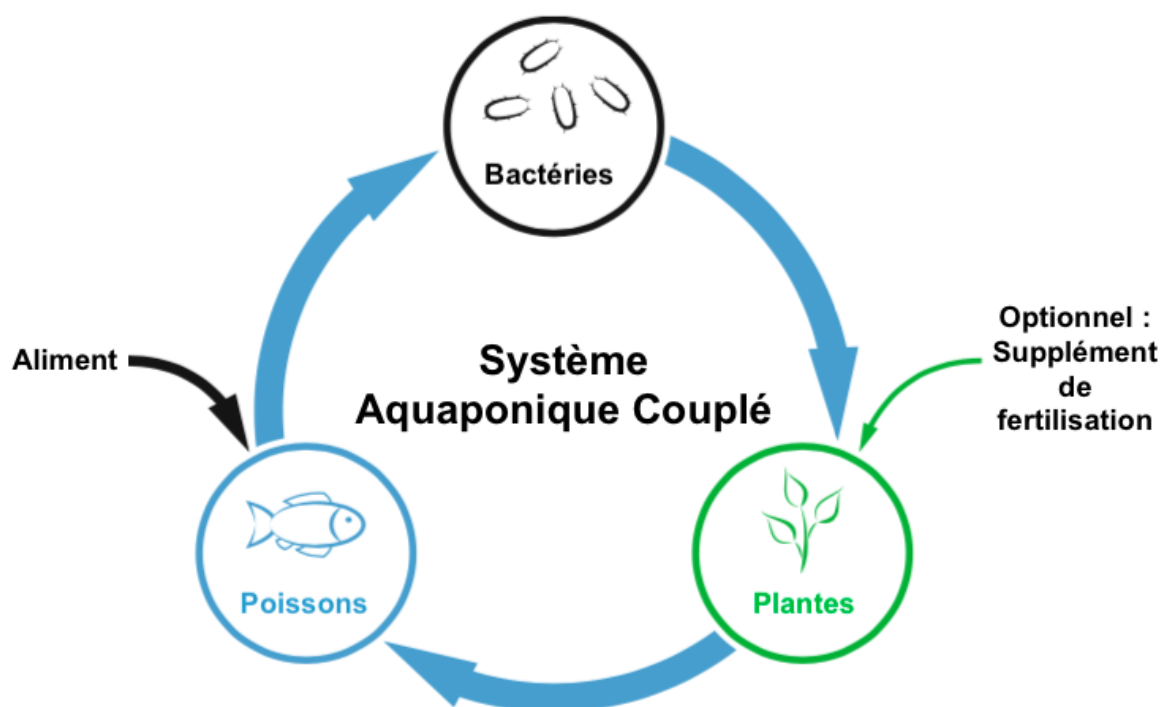


Figure 2 Principe d'un système aquaponique couplé avec des poissons, des bactéries et des plantes dans un système entièrement recirculé (d'après Goddek et al., 2019)

3.1.2. Système aquaponique découplé

Les systèmes aquaponiques traditionnels sont organisés en une seule boucle qui dirige l'eau riche en nutriments des poissons vers les plantes et vice-versa. C'est le type de système adopté par la plupart des particuliers pratiquant l'aquaponie chez eux. Néanmoins, étant donné les différences entre les besoins des plantes et des poissons en termes de nutriments et de conditions environnementales, ces systèmes couplés sont un compromis entre les conditions idéales d'élevage des organismes aquatiques et des végétaux. Ce compromis permet de faire croître ces organismes au sein d'un même système, au détriment de l'efficacité et de la productivité. Là où ces concessions sont acceptables dans un système installé chez un particulier, dans le contexte d'un système aquaponique commerciale de grande taille ayant des obligations de performances économiques, la maximisation de la productivité est incontournable. La conception de système découplé permet une maîtrise plus fine des paramètres de qualité de l'eau pour se rapprocher au mieux des préférences des plantes et des organismes aquatiques tout en permettant un meilleur recyclage des nutriments provenant des effluents d'élevage. Une solution de découplage consiste à séparer les parties aquacole et horticole d'un système aquaponique afin de maximiser le contrôle et l'efficacité de chaque composant, tout en réduisant les compromis entre chaque sous-système (Figure 3). Une autre innovation rendue possible par le découplage des unités consiste à introduire des boucles supplémentaires pour traiter les effluents (Figure 4). L'ajout de processus de reminéralisation (Monsees et al., 2017 ; Yogev et al., 2016) et de distillation (Goddek, Keesman, 2018) peut permettre d'accroître les concentrations en nutriments dans l'unité hydroponique tout en réduisant les effets néfastes induits par des niveaux élevés de nutriments dans l'unité aquacole. La boucle de minéralisation a pour fonction de transformer les boues d'aquaculture en biofertilisants pour le système hydroponique. Dans un bioréacteur, les micro-organismes peuvent décomposer les boues en éléments nutritifs biodisponibles pour les plantes. Une unité de distillation, positionnée en sortie du système hydroponique, entraîne la formation de deux

flux séparés : l'eau déminéralisée redirigée vers le SRA, et la solution nutritive concentrée qui retourne dans la boucle hydroponique.

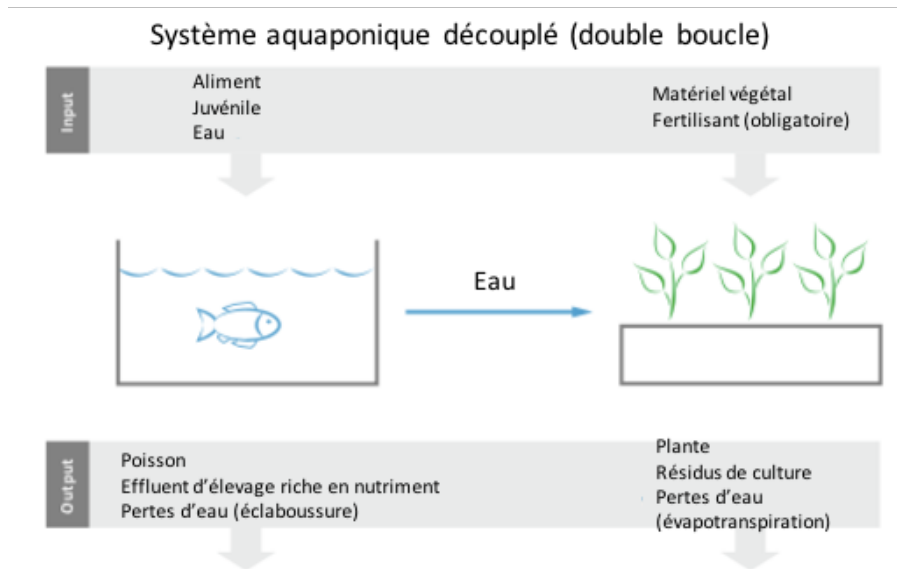


Figure 3 Système aquaponique découplé, l'eau ne circule que dans un seul sens, du compartiment aquacole vers le compartiment horticole. Cette modification permet de compléter l'eau en nutriment pour satisfaire aux mieux les besoins des végétaux sans nuire à la santé des poissons (d'après Goddek et al., 2019)

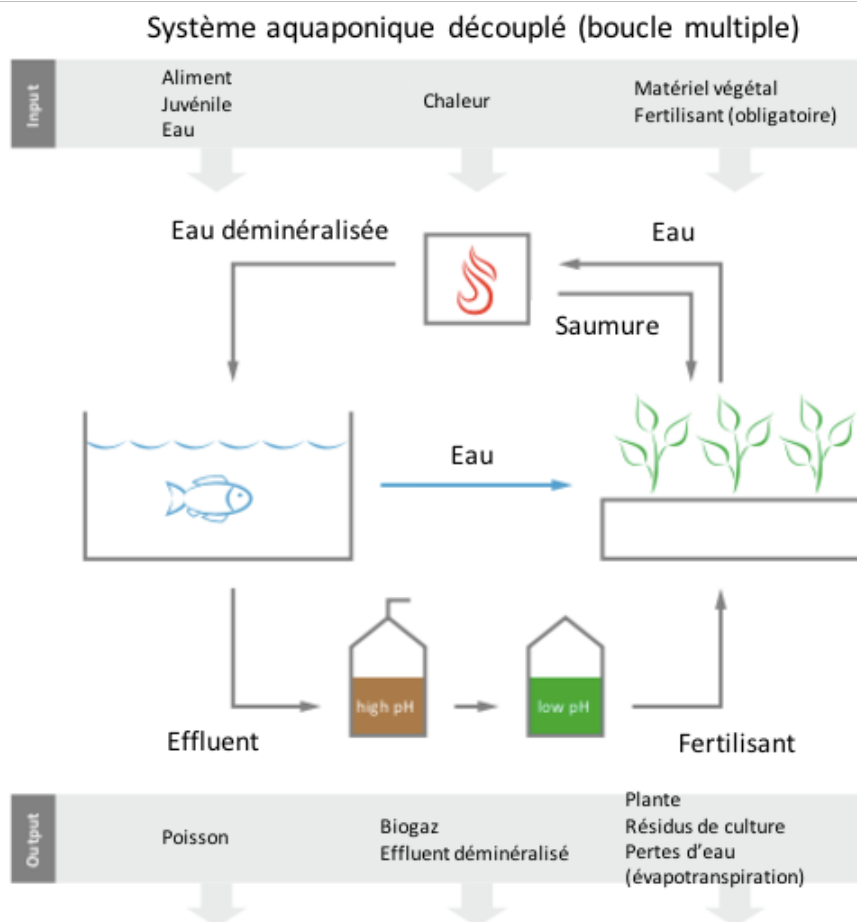


Figure 4 Système aquaponique découplé avec ajout de processus de traitement des effluents. En sortie des bassins d'élevage, les effluents sont concentrés et certains nutriments sont rendus biodisponibles pour les plantes grâce à des processus de digestion de la matière organique. En sortie de la partie horticole, l'eau est déminéralisée sous l'action de la chaleur. La saumure obtenue, riche en nutriments est redirigée vers les plantes (d'après Goddek et al., 2019)

3.2. L'aquaponie dans l'Atlantique Nord

On peut observer une tendance générale dans les pays de l'Atlantique Nord avec une progression de l'aquaponie à deux vitesses : un mode de production alimentaire bien implanté sur le continent Nord-américain et un développement de l'aquaponie beaucoup plus lent sur le continent européen (Turnsek et al., 2020).

3.2.1. Présentation des systèmes aquaponiques existants

En 2014, Love et al. ont réalisé un sondage pour obtenir des informations sur la filière aquaponique dans le monde. Sur 1084 réponses obtenues, 84% des sondés faisaient de l'aquaponie leur passe-temps comme d'autres personnes s'occuperaient de leur potager. Les sondés réalisaient souvent une combinaison d'activités : loisir, éducation et vente. Par exemple la moitié des enquêtés de cette étude combinait le loisir et l'activité éducative et un quart combinait le loisir et l'activité commerciale. Bien qu'à visée internationale, ce questionnaire a au final principalement reçu des réponses de personnes vivant aux États-Unis (80%), en Australie (8%) et au Canada (2%).

Des études ultérieures ont été réalisées pour obtenir plus de détails en séparant les aquaponistes par catégorie : activité commerciale, éducative et loisir. Sur les 257 sociétés aquaponiques interrogées, 37% vendent uniquement des produits issus de leur système aquaponique, 27% proposent des services en lien avec l'aquaponie et 36% vendent à la fois des produits et des services en lien avec l'aquaponie (Love et al., 2015). Parmi ces sociétés, 188 vendaient des végétaux ou des poissons produits dans un système aquaponique. Elles sont majoritairement situées aux États-Unis (81%), en Australie (5%) et au Canada (4%).

Dans une autre étude, plus récente, 142 sociétés commerciales aquaponiques ont été répertoriés uniquement aux États-Unis et au Canada (Figure 5).



Figure 5 L'aquaponie en Amérique du Nord : 142 sociétés commerciales (en rouge) et 17 centres de recherches (en bleu) d'après (Goddek et al., 2019).

Le questionnaire de Love et al. (2015) a été adapté et soumis aux aquaponistes européens : 68 réponses ont été obtenues provenant majoritairement d'universités (43%), de sociétés commerciales (19%) et d'organisation à but non lucratif (15%). L'image de l'aquaponie européenne spécialisée dans la recherche est confirmée par Goddek et al. (2019) avec 50 centres de recherches identifiés en Europe et 45 sociétés commerciales (mélangeant les sociétés de productions et de services) (Figure 6). La source principale de revenu pour 72% des aquaponistes européens est l'expertise (cabinet d'études, cours, visites ou consultant) (Turnsek et al., 2020).

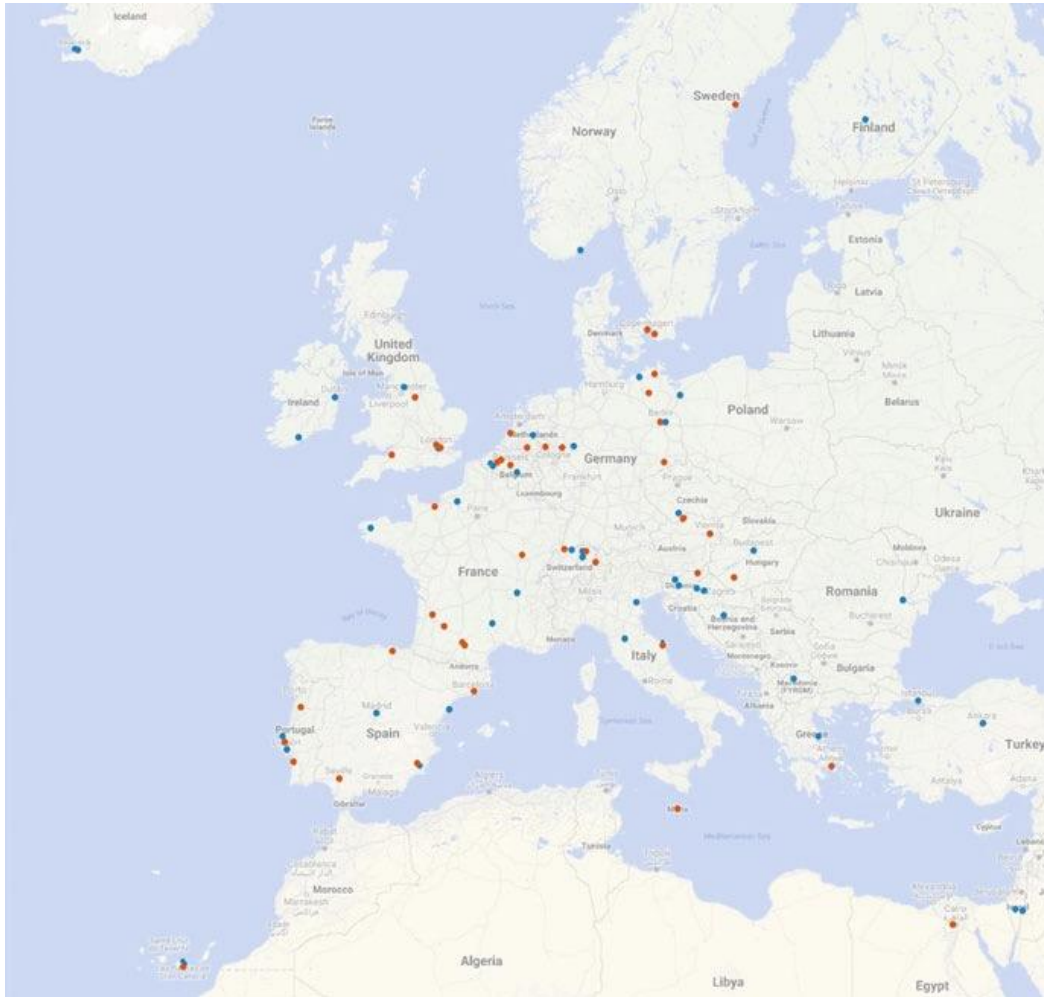


Figure 6 L'aquaponie en Europe : 50 centres de recherches (en bleu) et 45 sociétés commerciales (en rouge) d'après (Goddek et al., 2019).

A l'échelle Française, le projet de recherche APIVA (AquaPonie Innovation Végétale et Aquaculture) a réalisé une carte collaborative ayant pour but de lister des structures à vocation Recherche et Développement, pédagogique, ainsi que les structures privées offrant de la prestation dans ce domaine (Figure 7).



Figure 7 L'aquaponie en France : 16 fermes commerciales (en bleu), 22 projets de fermes commerciales (en orange), 5 centres de recherches (en violet) d'après APIVA ([lien vers la carte](#))

3.2.2. Comparaison des volumes de productions et choix techniques

Les volumes de production des systèmes aquaponiques de l'Atlantique Nord sont faibles, tant sur le continent américain qu'europpéen. Ils ne dépassent en majorité pas plus de 100 kg/an de végétaux et poissons produit en Europe. En Amérique, la production est un peu plus importante mais n'excède pas 500 kg/an de végétaux et poissons produit (Tableau 1). Le volume de production est à mettre en lien avec la taille du système. Les systèmes aquaponiques de petite taille, réfléchis dans une démarche « low-tech » sont simples d'opérations. De plus, ils ont généralement des coûts de fonctionnement faibles. Concernant les systèmes de taille moyenne, ils exigent les mêmes frais de fonctionnement et le niveau technologique qu'un système de grande taille, sans pour autant bénéficier d'un volume de production et des économies d'échelles équivalentes (Goddek et al., 2019). Ces systèmes de très grandes tailles sont rares. En Amérique, seuls cinq systèmes sur 185 produisent plus de 4537 kg/an de poissons et quatre systèmes sur 184 produisent plus de 22680 kg/an de végétaux (Love et al., 2015). En Europe, les valeurs maximales de production sont moindres par rapport à l'Amérique. Ainsi 12 producteurs sur 42 interrogés produisent plus de 1000 kg/an de poissons et un seul système produit plus de 10000 kg/an de végétaux (Villaruel et al., 2016). Bien que techniquement plus complexes à gérer et également plus gourmand en investissement, ces systèmes de grandes tailles semblent pourtant être la clé du développement de l'aquaponie commerciale. En effet, ces systèmes permettent de servir de modèle pour prouver aux investisseurs la faisabilité technique d'un projet et ces systèmes permettent d'optimiser les conditions de production des végétaux et des poissons. Enfin, les producteurs européens indiquent qu'une fois les défis du démarrage d'un système relevés, ils sont rapidement limités par la taille de ce dernier qui ne leur permet pas d'être compétitif avec les grandes exploitations aquacoles ou serres hydroponiques (Turnsek et al., 2020).

Tableau 2 Synthèse des caractéristiques des systèmes aquaponiques européens et américains (d'après Love et al., 2015 ; Villaroel et al., 2016) ; NFT : technique de culture sur film nutritif

Question	Caractéristique des systèmes aquaponiques européens	Taux de réponses selon Villaroel et al. (2016)	Caractéristiques des systèmes aquaponiques commerciaux américains	Taux de réponses selon Love et al. (2015)
Activité principale du système	Recherche scientifique	75%	Activité commerciale	100%
Origine du système	Conçu par le responsable	74%	Conçu par le responsable	83%
Localisation du système	Dans une serre	45%	Dans une serre	71%
	Dans un bâtiment	28%	Dans un bâtiment	37%
	En extérieur	13%	En extérieur	28%
Production annuelle de poissons	Moins de 100 kg / an	68%	Moins de 226 kg / an	70%
	Plus de 1000 kg / an	30%	227 à 2268 kg / an	22%
			Plus de 2269 kg / an	7%
Production annuelle de végétaux	Moins de 100 kg / an	56%	Moins de 226 kg / an	52%
			227 à 2268 kg / an	34%
			Plus de 2269 kg / an	15%
Source d'aliment des poissons	Aliment extrudé	90%	Aliment extrudé	94%
Support de production des végétaux	Radeaux flottants	30%	Radeaux flottants	77%
	Substrat inerte	25%	Substrat inerte	76%
	NFT	15%	NFT	29%
Espèces poissons produites	Tilapia	27%	Tilapia	69%
	Poisson chat	10%	Poisson ornemental	43%
	Poisson ornemental	8%	Poisson chat	25%
Espèces végétales produites	Herbes aromatiques	58%	Basilic	70%
	Salades	47%	Tomates	69%
	Tomates	32%	Salades	64%

L'espèce aquacole la plus utilisée sur les deux continents est le tilapia (*Oreochromis sp.*). C'est une famille d'espèces d'eau chaude robustes qui peut supporter des concentrations en oxygène faible (Timmons, Ebeling, 2012 ; Goddek et al., 2019). La littérature sur ces espèces est très riche car de nombreux travaux scientifiques ont été publiés pour décrire son élevage en aquaponie, dont le fameux système de l'Université des îles Vierges (McMurtry et al., 1997 ; Rakocy, 2012 ; Rakocy et al., 2006 ; Montanhini Neto, Ostrensky, 2015 ; Cerozi, Fitzsimmons, 2016). Des ratios tels que la quantité d'aliment distribué / surface de plante ont été établis (Rakocy et al., 2006). Les températures élevées recommandées pour le tilapia sont également idéales pour certaines herbes aromatiques comme le basilic (Lennard, 2017). Concernant la production végétale, les herbes aromatiques (dont le basilic) ainsi que les salades et les tomates sont privilégiées sur les deux continents.

Un système aquaponique est la plupart du temps installé dans une serre pour s'astreindre des contraintes climatiques. C'est le cas pour 45% de systèmes européens et 71% des systèmes américains (Tableau 1). Dans un contexte d'agriculture urbaine, la ferme aquaponique peut également être implantée dans un ancien bâtiment désaffecté. De plus, en Amérique du Nord, les systèmes sont généralement répartis dans plusieurs endroits, par exemple 13% des systèmes ont une partie abritée par une serre et une autre partie abritée dans un bâtiment.

3.2.3. Budget / Investissement

L'investissement initial dans un projet est une étape clé pour la réussite de ce dernier. C'est la difficulté principale rencontrée par les porteurs de projets en Europe (Turnsek et al., 2020). En 2015, sur 68 réponses, aucun aquaponiste n'a déclaré avoir obtenu de prêt bancaire pour son projet. La plupart des personnes interrogées par cette enquête annonce avoir obtenu des subventions publics (35,3%), des financements privés (12,2%) et des investissements personnels (12,2%) (Villarroel et al., 2016). En 2017, en ne s'intéressant qu'aux projets commerciaux, la principale source de financement est privée (24% en Europe et 33% en France uniquement). Les subventions publiques sont également importantes (11% en Europe), alors qu'elles sont presque absentes en France (2%). Ces dernières sont difficiles à obtenir compte tenu de la nature de l'aquaponie. En effet, les subventions allouées à l'aquaculture ne peuvent pas financer la partie végétale du système et réciproquement pour les subventions agricoles. Le compartiment aquacole peut faire l'objet d'un financement au près du Fonds européen pour les affaires maritimes et la pêche alors que c'est le Fonds européen agricole pour le développement rural qui peut financer le compartiment horticole. Enfin très peu de projets Européens sont mis en place sans avoir recours à des financements extérieurs (3%) alors que c'est beaucoup plus fréquent en France (67%) (Turnsek et al., 2020).

3.2.4. Cadre législatif

La législation encadrant l'aquaponie en Europe est inexistante probablement dû au développement récent de cette activité. Ainsi à l'échelle européenne, la Politique Agricole Commune (PAC) et la Politique Commune de la Pêche sont toutes deux concernées par l'aquaponie. La PAC encadre les activités hydroponiques et la PCP l'aquaculture en système recirculé. Il n'existe pas de politique européenne concernant l'aquaponie car il n'existe pas suffisamment d'exemple de réussite de sociétés commerciales (Hoevenaars et al., 2018). Les activités aquaponique, comme toute activité agroalimentaire, sont encadrées à l'échelle européenne par le Paquet Hygiène qui fixe les exigences des denrées alimentaires et animales (Goddek et al., 2019).

L'aquaculture en système recirculé est considérée comme une activité aquacole et est encadrée par les entités gouvernementales en charge de la pêche et de l'aquaculture dans certains pays (e.g. France, Hongrie ou Suisse). D'autre part, l'hydroponie est considérée comme une activité agricole et est à ce titre sous la responsabilité des différents ministères de l'agriculture. Comme l'aquaponie combine ces deux activités, l'obtention de licences, permis et autres formalités est à obtenir de différentes administrations ce qui rend les étapes préliminaires à l'élaboration d'un nouveau projet chronophages et difficiles (Joly et al., 2015). Dans d'autres pays, comme la Belgique par exemple, l'aquaculture et le maraîchage sous serre sont considérés comme des activités agricoles, ce qui rend les démarches administratives beaucoup plus simples car centralisées (Joly et al., 2015).

En France, les projets d'aquaponie ne permettent pas aux porteurs de projets de prétendre au statut d'agriculteur. Ce statut présente de nombreux avantages comme celui de bénéficier de la couverture sociale agricole, d'avoir accès à des régimes fiscaux avantageux ou encore de faciliter le recrutement de travailleurs (Joly et al., 2015). Seul le Royaume-Unis fait figure d'exemple en ayant rédigé un guide à destination des monteurs de projets. Ce document rédigé par le Centre for Environment Fisheries et Aquaculture intitulé *Statutory guidance for Aquaponics business in UK* définit les procédures administratives à suivre en fonction de la taille et de la finalité de la structure et de la commercialisation des produits. Il a permis l'émergence de différents systèmes éducatifs ainsi que de sociétés commerciales comme Bioaqua Farm.

3.2.5. Exemple d'entreprises existantes, réussites et échecs

Exemples d'entreprises qui ont cessé leurs activités

Ponika était une entreprise installée en Slovénie qui s'était spécialisée dans la vente d'herbes aromatiques fraîchement coupées. Il s'agissait d'un marché de niche car l'entreprise était la seule ferme slovène à proposer un tel produit. Des contrats avaient été établies avec les chaînes de grande distribution du pays qui ont été séduites par l'idée. Des contraintes ont rapidement été rencontrées par les producteurs, le système était trop petit pour pouvoir assurer une production régulière et ininterrompue comme le demandaient leurs clients. L'entreprise a dû mettre fin à ses activités car ses coûts liés à la main d'œuvre ne permettaient pas d'atteindre un équilibre économique. Les enseignes de la grande distribution étaient prêtes à favoriser l'entreprise locale plutôt que les produits d'importation, à condition de s'aligner sur les tarifs de cette dernière. Mais le système aquaponique de petite taille et avec des coûts de mains d'œuvre importants ne pouvait pas concurrencer les prix fixés par les exploitations extensives d'herbes fraîches coupées dans les pays d'Afrique du Nord où le coût de la main-d'œuvre est plus faible, même en incluant les frais de transport (Goddek et al., 2019). L'entreprise a également dépensé beaucoup de temps et d'énergie à vouloir vendre de la formation, de l'ingénierie et du service, au détriment de la production.

Urban Farmers était une entreprise Suisse qui avait développé une ferme aquaponique sur le toit d'un bâtiment industriel de Bâle. L'installation de 250 m² permettait de produire 850 kg de tilapia et 5 tonnes de légumes. La production était commercialisée dans les enseignes de grandes distributions de la ville. L'entreprise a mis fin à ses activités suite à une faillite (Turnsek et al., 2020).

GrowUp Urban Farm était une entreprise qui s'était spécialisée dans l'agriculture verticale située en banlieue londonienne. L'entreprise possédait un unique site de production, dénommée Unité 84. Aujourd'hui cette unité aquaponique a cessé sa production. Aucune information supplémentaire n'est disponible dans les médias concernant cette entreprise. Elle semble inactive sur son site internet et les réseaux sociaux depuis 2018.

Propriété de Pentair, entreprise leader dans la gestion des fluides et la filtration, Urban Organics Minnesota était une entreprise installée dans les locaux d'une ancienne brasserie. Le système s'étendant sur 8000 m², a produit pendant six ans et était très réputée dans la communauté éco-responsable du Minnesota. L'entreprise Pentair a mis fin à l'activité de Urban Organics en 2017. Un porte-parole de Pentair a déclaré que l'entreprise n'avait pas répondu à leurs attentes, mais sans expliquer si les préoccupations étaient d'ordre financier, opérationnel ou les deux (Painter, 2019).

Exemples d'entreprises qui ont réussi

ML Aquaponics Inc. est une entreprise commerciale pionnière de l'aquaponie au Canada. Après plusieurs années à mettre au point un prototype de système aquaponique, elle a commencé sa production et a réalisé ses premières ventes en juin 2005. La ferme aquaponique est située dans la province du Québec. L'entreprise semble néanmoins avoir ralenti sa production depuis quelques années pour se consacrer essentiellement à son activité d'ingénierie et de vente de services (communication personnelle, Pierre-Olivier Fontaine).

Superior Fresh est une ferme aquaponique à la pointe de la technologie située dans l'état du Wisconsin, Etats-Unis. Cette entreprise présente la particularité de produire des saumons atlantiques, ainsi que des truites arc-en-ciel. La totalité du cycle de production est réalisée sur site, de la reproduction des géniteurs jusqu'à la pêche des saumons de 4,5 kg et âgés de deux ans. Grâce à un projet de serres horticoles ambitieux, le volume de production est estimé à 1

800 tonnes de produits alimentaires / an. Il s'agit actuellement de la plus grande ferme aquaponique au monde.

Ouroboros Farms située dans l'état de Californie, États-Unis est une de ces entreprises qui associe plusieurs activités : production, diffusion de connaissances et visites guidées des infrastructures. Toutes ces activités permettent à l'entreprise de maintenir un équilibre économique. Néanmoins ce choix stratégique témoigne peut-être d'une instabilité dans son business plan.

NerBreen, basé en Espagne, est actuellement le plus grand système d'Europe avec ses 6000 m² (Annexe 2). Durant ses premières saisons de production, l'entreprise a dû adapter ses productions végétales à la demande du marché. Par exemple, la première récolte de tomates a été très bonne, mais le marché était déjà saturé de tomates, par conséquent le prix trop bas ne permettait pas à l'entreprise de rentrer dans ses frais. L'entreprise s'est alors adaptée en se concentrant sur des variétés spécifiques de tomates cerises. Ce marché de niche permet à la société d'être compétitrice sur la qualité de ses produits et atteindre des prix de vente plus élevés. Son volume de production est estimé à 75 tonnes de tilapia, 7 tonnes de tomates et 60 000 têtes de laitues par an (Goddek et al., 2019).

ECF Farmsystems est un cabinet d'études allemand qui a mis au point sa propre solution de systèmes aquaponiques. Comme de nombreuses fermes de grande taille, cette innovation repose sur un système aquaponique découplé.

3.2.6. Bilan

Dans un premier temps considéré comme un sujet de recherche, l'aquaponie s'est rapidement développée durant les années 2000. Les premières personnes ayant adopté ce mode de production sont des particuliers mettant au point des systèmes dans leurs jardins. Ces personnes ont été séduites par le fait de pouvoir produire leur propre nourriture et d'améliorer l'autosuffisance alimentaire de leur famille. Les exemples d'entreprises aquaponiques ayant atteint une pérennité dans leur modèle économique sont peu nombreux. La majorité des entreprises existantes représentent des infrastructures de petites tailles et des volumes de production modestes. Les exemples de réussites d'implantation de grands systèmes commerciaux manquent pour accroître la crédibilité de l'aquaponie professionnelle et envisager son développement. Turnsek et al. (2020) analyse l'évolution de l'aquaponie en utilisant la théorie de « Gartner's hype cycle » qui décrit l'adoption d'une innovation technologique. Il s'agit d'un modèle fréquemment utilisé pour conseiller les entreprises sur leurs stratégies. Bien que l'on manque encore de recul sur la situation et en faisant l'hypothèse que cette théorie puisse s'appliquer à l'aquaponie, ce mode de production serait dans une phase d'emballage médiatique aboutissant à des attentes exagérées et non réalistes. La prochaine étape serait une phase de désillusion à cause d'espoirs excessifs qui ont été formulés. Puis une maturation de la technologie permettrait une seconde vague de développement d'entreprises et une consolidation du marché.

3.3. Développement de la production aquaponique sur Saint-Pierre et Miquelon

3.3.1. Pertinence de l'aquaponie pour l'archipel

La nécessité de renforcer l'autonomie alimentaire de l'archipel n'étant plus à démontrer, il reste à savoir quel système de production est envisageable. L'aquaponie présente plusieurs avantages :

- C'est un système de production hors-sol qui permet de produire une diversité de fruits et légumes sur des terres non arables (Goddek et al., 2019). Les sols de l'archipel sont particulièrement pauvres et gelés près d'un tiers de l'année, ainsi une production hors-sol permettrait de s'affranchir de cette contrainte. De plus, l'aquaponie est généralement réalisée dans une serre ou un bâtiment qui permet de maîtriser les conditions de production (température, humidité, photopériode etc.). Le climat rude de l'archipel est peu propice à l'agriculture en plein champ. Une serre aquaponique permettrait d'établir des conditions favorables à une production maraîchère toute l'année.
- Actuellement les fruits et légumes sont importés du Canada et de Californie. En conséquence et en lien avec le mode d'approvisionnement de l'archipel, les produits présents dans les commerces de SPM ont au moins deux ou trois semaines depuis la cueillette. En lien avec le point précédent, un tel système permettrait de fournir des fruits et légumes frais aux habitants de l'archipel.
- Le coût des transports des intrants agricoles et l'instabilité des livraisons sont des points critiques pour le développement agricole de l'archipel. L'aquaponie est un système basé sur le recyclage des déchets et des nutriments qui permettrait de contourner en partie ces contraintes (Goddek et al., 2019).
- Un réel potentiel aquacole existe sur l'archipel. Néanmoins, il est nécessaire d'évaluer la faisabilité des différents systèmes d'élevage :
 - o Cage en mer. Bien que largement répandu dans les immenses baies abritées de la province de Terre-Neuve et Labrador, voisine de l'archipel, l'élevage en cage en mer est difficilement envisageable sur les côtes exposées de SPM. Cette technique a déjà été utilisée par le passé, voir exemple de la société Aquafutur (1.3.3.) sans réellement faire ses preuves.
 - o Raceway. L'élevage en raceway est la méthode la plus couramment utilisée pour produire des salmonidés. Dès 1980, l'ARDA a exploité deux structures aquacoles de ce type, une sur le ruisseau du Renard pour produire des smolts de saumon atlantique et une sur le ruisseau de la Carcasse pour assurer le grossissement de truites arc-en-ciel. Aujourd'hui ces sites sont à l'abandon mais l'expérience semble prouver que cette méthode d'élevage est possible sur l'archipel. Il serait intéressant d'échanger avec les porteurs de projet de l'époque pour mieux comprendre les raisons de cet arrêt.
 - o Pisciculture d'étang. Le grand étang de Miquelon, seul site viable pour cette technique sur l'archipel, semble présenter les caractéristiques requises pour une exploitation aquacole raisonnée (Le Moine et al., 2016).
 - o Système aquacole recirculé. C'est la technique la plus moderne, qui permet de s'astreindre de toutes les contraintes du milieu grâce à un système hors-sol et donc le plus adapté à l'archipel. Il est possible d'envisager la production seule ou couplée à l'hydroponie.
- Selon l'espèce de poissons qui serait produite sur SPM, plusieurs débouchés commerciaux pourraient être envisagés (pour la consommation locale, pour l'export avec production de valeur ajoutée ou pour l'empoissonnement avec la pêche sportive très pratiquée sur l'archipel).

3.3.2. Potentiel de production aquacole

Espèces présentes sur l'archipel

La liste des espèces dulçaquicoles et diadromes natives de l'archipel de SPM est très restreinte : seules sept espèces ont été répertoriées (CPPMA, 2011). Ci-dessous la liste de ces espèces :

- Omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*)
- Saumon atlantique (*Salmo salar*)
- Anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*)
- Eperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*)
- Epinoche à trois épines (*Gasterosteus aculeatus*)
- Epinoche à quatre épines (*Culaea inconstans*)
- Epinoche à neuf épines (*Pungitius pungitius*)

Toutes ces espèces présentent potentiellement un intérêt dans le cadre de ce projet car étant native de l'archipel, elles sont plus simples à élever en aquaculture d'un point de vue réglementaire qu'une espèce introduite. De ces sept espèces, il est possible d'en écarter plusieurs car ne présentant qu'un intérêt très faible d'un point de vue aquacole. Ainsi les trois épinoches et l'éperlan arc-en-ciel sont de petites espèces ne dépassant pas 20 cm à taille adulte et n'étant pas couramment consommées dans l'alimentation humaine. Bien que possible, l'aquaculture de l'anguille d'Amérique est très difficile car sa reproduction en captivité n'est pas parfaitement maîtrisée (Teletchea, Fontaine, 2014). L'omble de fontaine et le saumon atlantique sont donc les deux seuls candidats natifs de l'archipel crédibles pour ce projet.

Mais ce ne sont pas des espèces très couramment utilisées dans un système aquaponique. En effet, l'espèce piscicole la plus utilisée en aquaponie est le tilapia (Love et al., 2014). Néanmoins plusieurs arguments rendent l'élevage de cette espèce inenvisageable sur l'archipel de SPM. *Oreochromis sp.* sont des espèces tropicales inféodées aux eaux chaudes. Leur température optimale de croissance est comprises entre 28 et 32°C (Timmons, Ebeling, 2012). Bien que techniquement faisable, maintenir une telle température dans le climat nordique de SPM entrainerait une consommation énergétique très importante et demanderait des investissements élevés dans la structure d'élevage pour optimiser l'isolation thermique. De plus l'article L411-5 du Code de l'Environnement interdit l'introduction de « tout spécimen d'espèces animales à la fois non indigènes au territoire d'introduction et non domestiques ». Il semble ainsi très compliqué d'arriver à introduire ces espèces sur l'archipel à des fins d'élevages. Viennent ensuite les poissons ornementaux, comme la carpe koï, sur la liste des espèces les plus utilisées en aquaponie (Love et al., 2014). Cette idée est à ce jour écartée car la volonté d'établir un système aquaponique sur SPM est d'assurer son autonomie alimentaire ; mais elle mériterait d'être étudiée en lien avec le développement du marché aquariophile sur l'archipel.

Aussi, les salmonidés, dont la truite arc-en-ciel couramment utilisée dans les systèmes aquaponiques, sont les seuls retenus comme des espèces d'intérêt. Le saumon atlantique et la truite arc-en-ciel (cette dernière est non native sur l'archipel de Saint-Pierre et Miquelon) sont des espèces massivement produites dans les provinces canadiennes voisines de SPM (Terre Neuve et Labrador, New Brunswick, Nouvelle Écosse, Québec, Ile Prince Edouard). Ce sont des espèces à très forte valeur ajoutée. L'omble de fontaine est également une espèce d'intérêt, elle est endémique de la région de l'Est du Canada et de Saint-Pierre et Miquelon, et sa production est importante au Québec.

Un modèle simple de prédiction de la croissance

De nombreuses équations ont été développées pour prédire la croissance de différentes espèces de poissons d'intérêt commercial. Parmi tous ces modèles, le coefficient de croissance d'unité thermique (abrégé TGC de l'anglais Thermal unit Growth Coefficient) initialement développé par Iwama et Tautz (1981), est largement utilisé par les fournisseurs d'aliment, les aquaculteurs et on le retrouve régulièrement dans la littérature scientifique (Dumas et al., 2007). La formule du modèle TGC est la suivante :

$$\sqrt[3]{Pt} = \sqrt[3]{Pi} + \frac{T}{1000} \times t$$

Où T est la température en °C, t est le temps en jour, Pi est le poids initial en gramme, Pt est le poids après t jours en gramme. Cela signifie que pour un poisson élevé à une température constante, la relation entre la racine cubique de son poids et le temps est linéaire. Le coefficient d'unité thermique (TGC) est calculé en intégrant la notion de degré-jour ($T \times t$) :

$$TGC = 1000 \times \frac{(\sqrt[3]{Pt} - \sqrt[3]{Pi})}{(T \times t)}$$

Et la façon la plus courante d'utiliser ce modèle est de prédire le poids après un nombre de degré jour d'élevage connu. Dans ce cas, la formule est :

$$Pt = \left\{ \sqrt[3]{Pi} + \frac{TGC}{1000} \times (T \times t) \right\}^3$$

L'utilisation de ce modèle nécessite trois hypothèses (i) la croissance augmente de manière régulière et prévisible avec l'augmentation de la température, (ii) la relation entre la longueur (L) et le poids (P) est $P \sim L^3$ et (iii) L augmente linéairement dans le temps. Néanmoins certaines hypothèses peuvent ne pas être respectées en conditions d'élevage, rendant le modèle inutilisable (Jobling, 2003). L'utilisation du TGC reste fiable dans la majeure partie des cas, à conditions de l'utiliser à des températures qui sont proches des optimums de croissance (Jobling, 2003; Thorarensen et Farrell, 2011).

Performance de croissance

Dans la littérature scientifique une forte variabilité de TGC intra et inter espèce est observable. Ainsi pour la truite arc-en-ciel, le TGC varie de 1,52 à 2,64 selon les études. Pour le saumon atlantique la variabilité est encore plus importante avec une valeur minimale de 0,3 et une valeur maximale de 4,76. Les données sur la croissance de l'omble de fontaine sont beaucoup moins abondantes et des valeurs de TGC de 0,39 à 1,35 ont été obtenues (Annexe 4).

Ainsi à partir de données résumées dans le Tableau 3, il est possible de tracer une courbe de croissance théorique de ces trois salmonidés dans un système aquacole recirculé (Figure 8). Le grossissement de la truite arc-en-ciel et de l'omble de fontaine débute lorsque les poissons ont un poids de 10g de la même manière que le font les aquaculteurs (Thorarensen, Farrell, 2011). Le poids initial du saumon atlantique est de 100g qui correspond au stade smolt. C'est à ce poids que les aquaculteurs entament le grossissement en cage en mer ou en système recirculé (Bergheim et al., 2009). Il est important de souligner que le modèle TGC n'est pas adapté pour simuler la croissance des premiers stades de vie des poissons. Pour le saumon, il est recommandé de l'utiliser de 30 à 3000g (Austreng et al., 1987). De plus, il est beaucoup plus long de produire des smolts de saumons de 100g que des juvéniles de truites de 10g. Les vitesses de croissance des trois espèces sont donc standardisées sur une base commune qui est le nombre de jours post-éclosion.

Tableau 3 Paramètres utilisés pour simuler la croissance des trois salmonidés avec le modèle TGC et poids simulé après 300j d'élevage

	Truite arc-en-ciel	Saumon atlantique	Ombre de fontaine
TGC (source)	1,94 ⁽¹⁾	2,70 ⁽²⁾	1,05 ⁽³⁾
Age au début de la phase de grossissement (en jours post-éclosion)	90	260	150
Poids au début de la phase de grossissement (en g)	10	100	10
Température (en °C)	14	14	14
Poids à 300j de grossissement (en g)	1097	4057	283

¹ (Pedersen et Wik, 2020) ; ² (Thorarensen, Farrell, 2011) ; ³ (Fischer et al., 2009)

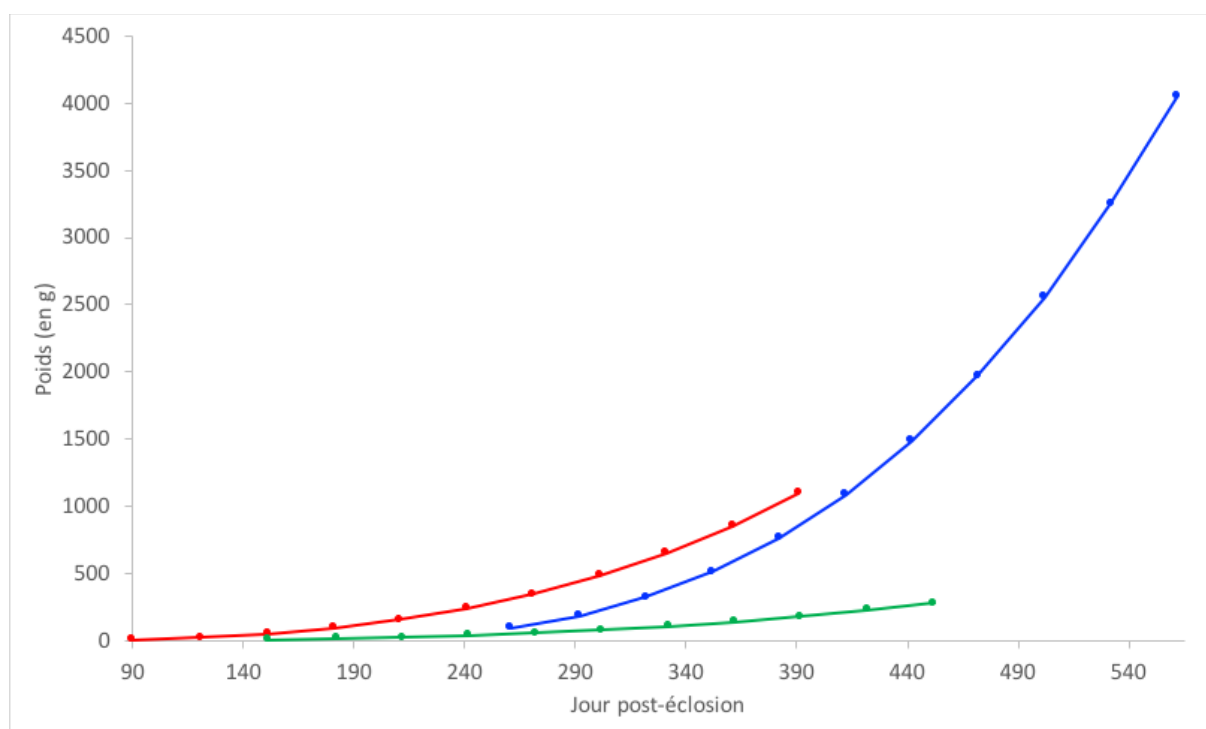


Figure 8 Croissance prédite de la truite arc-en-ciel (rouge), du saumon atlantique (bleu) et de l'ombre de fontaine (vert), à une température de 14°C. Les coefficients de croissance d'unité thermique proviennent de Pedersen et Wik (2020) pour la truite arc-en-ciel, Thorarensen et Farrell (2011) pour le saumon atlantique et Fischer et al. (2009) pour l'ombre de fontaine.

La domestication plus poussée et ancienne pour la saumon atlantique et la truite arc-en-ciel que pour l'ombre de fontaine explique en partie les différences de croissance prédites par le modèle TGC. Le premier programme familial d'élevage sélectif en aquaculture a été lancé en Norvège par AKVAFORSK en 1975 pour le saumon atlantique (Gjedrem, 2010). Depuis, 13 programmes de sélection impliquant le saumon atlantique et 13 autres programmes pour la truite arc-en-ciel ont été réalisés (Gjedrem et al., 2012). Au vu de sa faible importance économique, aucun programme similaire n'a été réalisé sur l'ombre de fontaine. Les objectifs de sélection sont généralement l'amélioration du taux de croissance, la résistance aux maladies et l'amélioration de la qualité des produits (Gjedrem, 2010). Bien que récents, les programmes de sélection génétique sur les salmonidés ont rapidement fait leur preuve grâce à une héritabilité forte sur des caractères d'intérêts commerciaux, une fécondité importante et un temps intergénérationnel court (3 à 4 ans) (Gjedrem et al., 2012). En partant de souche domestiquée de truite arc-en-ciel, et après cinq générations de sélection, Leeds et al. (2016) ont observé une amélioration du poids à 10 mois de +53% et un TGC qui est passé de 1,47 à 2,28. Un travail similaire réalisé à partir de souche sauvage de saumon atlantique ont amené à une amélioration du taux de croissance de +113 et à une diminution du taux de conversion

alimentaire de -20%, en cinq générations (Thodesen et al., 1999). Ces progrès scientifiques se sont répercutés directement sur le secteur de la production. Ainsi la quasi-totalité de la production de saumons norvégiens repose sur des souches issues de ces programmes de sélection. Les estimations de gain en performance de croissance, taux de conversion alimentaire et âge à maturité sont estimées à \$2,50 par poisson produit (Gjedrem et al., 2012).

Ces résultats différents s'expliquent également par la variabilité du taux de croissance entre les sites de production. Les coefficients de croissance d'unité thermique sont résumés dans le tableau 3. Ces taux de croissances devraient être atteints dans un système aquacole recirculé dans lequel on maîtrise les paramètres de qualité de l'eau. Le TGC permet d'estimer la croissance de ces salmonidés pour des températures qui sont proches de leur optimal de développement. Si on s'intéresse au TGC moyen des industries aquacoles, on peut observer qu'il est inférieur au TGC utilisé dans le tableau 3. Par exemple, pour le saumon atlantique il est de 2,3 pour les saumons élevés en cage en mer (Thorarensen, Farrell, 2011). De même que le système le plus courant d'élevage des truites et ombles est le raceway, les cages en mer sont des milieux dans lesquels la qualité de l'eau est parfois sous-optimale durant une partie de l'année avec des températures trop faibles en automne et en hiver. Inversement, le TGC au printemps et en été dans ces systèmes aquacoles ouverts peut être largement supérieure à celui observé dans les systèmes aquacoles recirculés (Thorarensen, Farrell, 2011). Ces systèmes fermés permettent ainsi, non pas d'élever des poissons dans des conditions leur permettant d'exprimer leur plein potentiel génétique, mais de recréer un environnement dans lequel tous les individus vont croître dans des conditions maîtrisées et optimales.

Acceptabilité sociétale des espèces piscicoles

L'archipel de SPM est de petite taille, avec un patrimoine culturel et historique fort, marqué notamment par la crise de pêche à la morue. Ce projet a pour ambition de renforcer la sécurité alimentaire de l'archipel tout en dynamisant son économie. Les quelques 6000 habitants de l'archipel connaissent leur « caillou » et le choix de l'espèce piscicole à élever localement est fondamental. Il s'agit de développer un projet qui vise à fédérer un maximum de personnes sous peine de le voir échouer.

La truite arc-en-ciel est une valeur sûre de la production aquacole en eau douce. C'est une espèce robuste qui peut supporter des conditions variables. C'est également une espèce qui est couramment produite en aquaculture recirculée et en aquaponie ; la part de prise de risques est donc nettement moindre que pour les deux autres espèces. Néanmoins le fait que ce ne soit pas une espèce native de l'archipel implique une autorisation d'introduction (Code de l'Environnement article L411-5 et suite). De plus, même si son introduction pouvait être autorisée, elle pourrait être mal perçue par de nombreuses personnes sur l'archipel. Néanmoins, le risque de colonisation des cours d'eau de l'archipel par des truites arc-en-ciel échappées d'un élevage ayant bénéficié d'une autorisation d'introduction reste tout de même très faible. Depuis 1954 et pendant 60 ans le programme Salmevol a étudié l'introduction de différentes espèces de salmonidés aux îles Kerguelen. Cet ensemble d'îles appartenant aux Terres Australes et Antarctiques présentent un climat similaire à celui de SPM avec des températures moyennes estivales de 7,7°C et hivernales de 2°C. Certaines rivières peuvent totalement être prises en glace lors de l'hiver austral, mais peuvent aussi atteindre des températures de 20°C durant la saison estivale. Dans ces conditions, aucune reproduction n'a jamais été observée, et l'échec de cette espèce à Kerguelen est avéré. Les causes peuvent être une infériorité dans la compétition avec la truite, ou une incapacité à se reproduire dans les conditions de Kerguelen. Les températures normales lors du frai en avril-juin dans l'hémisphère Nord sont de 10-15°C, bien au-dessus des températures observées à Kerguelen aux périodes correspondantes du printemps, mais également aux températures observées à SPM (Scott, Crossman, 1974). En Europe, où la truite arc-en-ciel a été introduite à la fin du 19^{ème} siècle et soumise à un élevage intensif pour la consommation humaine, il existe très peu

d'exemples de reproductions naturelles de cette espèce dans un milieu déjà occupé par la truite commune (Labonne et al., 2013).

La question ne se pose pas concernant l'omble de fontaine et le saumon atlantique car ce sont des espèces natives de l'archipel dont l'élevage est autorisé.

Le saumon atlantique est l'espèce qui présente les performances de croissance les plus élevées. Bien que techniquement possible aux vues de la littérature scientifique, la réalisation de la totalité du cycle de production en eau douce est une nouveauté et implique une prise de risque technique et biologique. Le saumon atlantique est également un poisson très apprécié des consommateurs et des procédés comme la fumaison permettent d'obtenir des produits à très haute valeur ajoutée.

L'omble de fontaine quant à lui est l'espèce qui présente les performances de croissance les moins intéressantes. Par rapport aux deux autres salmonidés, il semble très difficile de produire en l'état actuel des connaissances des individus d'une taille supérieure à la portion (300g). Cette affirmation est à nuancer car une seule publication scientifique fait référence aux performances de croissance de l'omble de fontaine en circuit fermé. Au cours de mes échanges avec les différentes personnes, une croissance plus forte de l'omble semble pouvoir être envisageable. Selon Pierre-Olivier Fontaine, des souches d'omble de fontaine utilisée au sein du collège d'enseignement général et professionnel (GEGEP) de la Gaspésie peuvent atteindre un poids commercial de 900g. De plus, selon Loïc Perrin, la souche d'omble de SPM croît de 6 à 8 cm par an dans un ruisseau de bonne qualité (pH proche de la neutralité et forte quantité de nourriture). Sachant qu'un omble de 7cm pèse 10g ; qu'à 15cm il pèse 42g ; qu'à 22cm il pèse 153g ; qu'à 30cm il pèse 378g (Cooper, 1961). Les procédés de transformation comme la fumaison ne sont donc pas envisageables pour une entreprise de grande taille. Néanmoins, l'omble de fontaine bénéficie d'une forte réputation car c'est un poisson très apprécié par les pêcheurs sportifs de l'Est du Canada, et c'est l'espèce-phare de l'archipel. Sur l'archipel, c'est une espèce prisée par les adhérents des deux associations agréées de pêche et de protection des milieux aquatiques de SPM (la société de pêche sportive SP/Langlade et les joyeux pêcheurs de Miquelon) qui réunit 10% des habitants de l'archipel. L'acceptabilité sociétale du projet par les habitants de l'archipel serait donc *a priori* forte pour l'omble de fontaine et il serait possible d'utiliser cette image positive pour créer plus facilement de la valeur ajoutée.

3.3.3. Potentiel de production hydroponique

Choix des végétaux à produire sur l'archipel

Pour déterminer les végétaux nécessaires à produire sur l'archipel pour améliorer son autonomie alimentaire, les principaux fruits et légumes importés sur Saint-Pierre et Miquelon en 2019 sont présentés ci-dessous (Tableaux 4 et 5). Ces données proviennent de Sydonia, la base de données des douanes de Saint-Pierre et Miquelon. Bien qu'officielle et facile d'accès, cette source de données présente l'inconvénient d'être soumise à des règles de confidentialité. Si le nombre d'opérateurs d'importations est inférieur à trois ou si la part de marché d'un opérateur est supérieure à 85%, la donnée est considérée comme non diffusable. En 2019, 476 tonnes de légumes et tubercules alimentaires et 435 tonnes de fruits comestibles ont été importés. Les pommes de terre (129 tonnes), les tomates (42 tonnes) et les laitues (42 tonnes) étaient les légumes et tubercules les plus importés en 2019. Concernant les fruits comestibles, les agrumes (83 tonnes), les pommes, poires et coings (59 tonnes) et les dattes, figes, ananas, avocats, goyaves et mangues (30 tonnes) étaient les plus importés. Sept catégories d'aliments sont classées confidentiels. 140 tonnes de légumes et 151 tonnes de fruits sont classées dans la catégorie « Autres » et aucune information plus détaillée n'est disponible sur la base de données.

Tableau 4 Importations en 2019 de légumes, plantes, racines et tubercules alimentaires sur SPM (données Sydonia)

Type de marchandise	Importation (en kg) en 2019
Pommes de terre	129 313
Tomates	41 984
Oignons, échalotes et autres légumes alliacé	22 806
Choux et produits comestibles du genre <i>Brassica</i>	10 333
Laitues (<i>Lactuca sativa</i>) et chicorées (<i>Cichorium spp.</i>)	41 964
Carottes, navets et racines comestibles similaires	22 508
Concombres et cornichons	Non diffusable (*)
Légumes à cosses	Non diffusable (*)
Autres légumes	171 589
- Asperges	- 838
- Aubergines	- 1 086
- Céleris	- 3 996
- Champignons du genre <i>Agaricus</i>	- Non diffusable (*)
- Piments	- Non diffusable (*)
- Epinards	- Non diffusable (*)
- Artichauts	- Non diffusable (*)
- Citrouilles, courges et Calebasses	- Non diffusable (*)
- Autres	- 139 832
Légumes à cosse secs	1 325
Gingembre, safran, curcuma, thym, feuilles de laurier, curry et autres épices ^a	14 387

(*) : Données non diffusables, en raison des règles de confidentialité appliquées : Nombre d'opérateurs inférieur à trois ou part de marché d'un opérateur supérieure à 85%.

^a Catégorie de produits d'importations telle qu'elle apparaît dans la base de données Sydonia des douanes de SPM. Bien que ça n'apparait pas explicitement, l'hypothèse est faite que cette catégorie comprend les herbes aromatiques (basilic, persil, coriandre etc.) couramment produites dans les systèmes aquaponiques commerciaux.

Tableau 5 Importations en 2019 de fruits comestibles sur SPM (données Sydonia)

Type de marchandise	Importation (en kg) en 2019
Noix de coco, noix du Brésil et noix de cajou	4 800
Autres fruits à coques	9 113
Bananes	13 604
Dattes, figues, ananas, avocats, goyaves et mangues	30 477
Agrumes	82 948
Raisins	19 380
Melons	4 186
Pommes, poires et coings	58 778
Abricots, cerises, pêches, prunes et prunelles	6 771
Autres fruits	193 463
- Fraises	- Non diffusable (*)
- Framboises et mûres	- 8 243
- Airelles, myrtilles	- Non diffusable (*)
- Kiwis	- 27 792
- Autres	- 151 082

(*) : Données non diffusables, en raison des règles de confidentialité appliquées : Nombre d'opérateurs inférieur à trois ou part de marché d'un opérateur supérieure à 85%.

Espèces dont la production est possible en aquaponie

Aux vues des connaissances existant sur la culture de fruits et légumes en hydroponie, de la demande en produit frais sur l'archipel obtenu grâce à la base de données Sydonia et des espèces de végétaux qu'il est possible de produire en aquaponie, il semble réaliste de pouvoir cultiver sur SPM la liste de fruits et légumes suivante :

- Tomates
- Choux et produits comestibles du genre *Brassica*
- Laitues (*Lactuca sativa*) et chicorées (*Cichorium spp.*)
- Concombres et cornichons
- Légumes à cosses (pois et haricots)
- Aubergines
- Piments
- Epinards
- Herbes aromatiques (basilic, persil, coriandre, etc.)
- Fraises
- Framboises et mûres

Ainsi, en se référant aux données d'importations et compte tenu des règles de confidentialités rendant non diffusables les données d'importations de certains des produits alimentaires de cette liste (légumes à cosses, piments, épinards et fraises), l'ensemble de ces fruits et légumes représentait en 2019 un volume d'importation de 117 tonnes. Pour satisfaire l'objectif du PDAD fixant un niveau d'autonomie alimentaire couvrant 50% des volumes d'importation de l'archipel, le potentiel de production végétal en aquaponie est de 59 tonnes.

3.3.4. Résultats des entretiens

Aux 42 personnes identifiées initialement se sont ajoutées 11 personnes qui ont été recommandées grâce à la méthode boule de neige. 53 acteurs ont ainsi été contactés. Au total, 14 personnes ont accepté de relire et de faire des commentaires sur le rapport d'avancement et 10 personnes ont été contactées par visioconférence (Tableau 6).

Tableau 6 Liste des acteurs ayant relus et commentés le rapport d'avancement

Nom	Prénom	Localisation	Institut / Organisme / Entreprise	Principal domaine d'expertise
Berge-Sicard	Jean-Louis	SPM	Caisse d'Épargne	Finance
Bry	Stéphane	SPM	Ligne Verte	Hydroponie
Combes	Marianne	SPM	Ligne Verte	Hydroponie
Demagny	Anaïs	SPM	OFB	Réglementation
Perrin	Loïc	SPM	FTSPM	Biologie
Urtizbera	Frank	SPM	DTAM	Réglementation
Bergeron	Josiane	Québec	CEGEP Iles-de-la-Madeleine	Biologie
Fontaine	Pierre-Olivier	Québec	CEGEP Gaspésie	Aquaculture et Aquaponie
Gilmore-Solomon	Lisandre	Québec	CEGEP Iles-de-la-Madeleine	Aquaculture
Garsi	Pierre	France	Lycée professionnel de Guérande	Aquaponie
Jouan	Yannick	France	FAGE	Aquaculture
Petit-Gosgnach	François	France	Association ADANat	Aquaponie
Robin	Christophe	France	INRAE	Horticulture
Libioulle	Jean-Marc	Belgique	Noe Aquaculture Consultants	Aquaculture

La totalité des personnes valident l'intérêt de renforcer l'autonomie alimentaire sur l'archipel et l'aquaponie leur semble être une solution pertinente pour atteindre cet objectif. Néanmoins, plusieurs freins au développement de l'aquaponie sur l'archipel ont été identifiés à l'aide de l'analyse thématique. Ces freins ont été classés en cinq catégories incluant des freins d'ordre technique, financier, réglementaire, environnemental et relevant de l'acceptabilité sociétale d'un tel projet (Tableau 7).

Tableau 7 Freins au développement de l'aquaponie sur l'archipel identifiés durant les entretiens

Catégorie de freins	Source	Freins évoqués par les personnes	Nombre d'occurrences
Catégorie n°1 Contraintes réglementaires	En Europe, réglementation inexistante pour encadrer les activités aquaponique (Foucard, Tocqueville, 2019 ; Goddek et al., 2019)	Introduction nouvelle espèce piscicole	5
		Introduction nouvelle espèce végétale	2
		Importation œuf / juvénile	1
		Accès au foncier	1
Catégorie n°2 Contraintes techniques	Besoin d'une main d'œuvre qualifiée pour faire fonctionner un système (Hart, 2013) Besoin de renforcer le transfert de connaissances (Goddek et al., 2019)	Absence compétences locales	4
		Faisabilité technique	3
Catégorie n°3 Contraintes environnementales	Utilisation d'une ressource primaire partagée, l'eau, et génération d'effluents (Foucard, Tocqueville, 2020) Consommation électrique importante augmentant l'impact environnemental (Boxman et al., 2017)	Risque de pollution	2
		Utilisation énergétique	1
Catégorie n°4 Acceptabilité sociétale	L'aquaculture en Europe n'est pas perçue de manière positive (Aubin, Jerome, 2018) NA	Image du poisson d'aquaculture	2
		Nouveau projet	1
Catégorie n°5 Contraintes financières	Nécessité d'avoir un volume de production important pour rivaliser avec les entreprises spécialisées en aquaculture et en hydroponie (Turnsek et al., 2020)	Investissement important	2

La réglementation est la contrainte la plus forte pour le développement de l'aquaponie à SPM selon les différentes personnes interrogées. Dans le rapport d'avancement apparaissait un scénario proposant d'élever de la truite arc-en-ciel, espèce non native de l'archipel, dont son introduction est actuellement impossible à cause des barrières administratives. De la même manière, des personnes ont évoqué un frein lié aux contraintes réglementaires concernant l'introduction de nouvelles espèces végétales pour assurer la production hydroponique. Après échange avec le responsable des inspections phytosanitaires sur l'archipel, il s'avère que la réglementation concernant l'introduction de végétaux et de semences de végétaux est similaire à la réglementation nationale, voir l'arrêté du 24 mai 2006 relatif aux exigences sanitaires des végétaux, produits végétaux et autres objets. Une vigilance particulière est apportée à la traçabilité des semences et tous les produits végétaux et dérivés de produits végétaux doivent faire l'objet d'une demande d'importation auprès du service des inspections phytosanitaires de la Direction des Territoires, de l'Alimentation et de la Mer (DTAM).

Concernant l'importation d'œufs ou de juvéniles de poissons et après avoir contacté le chef de service de la DTAM en charge de l'agriculture, de l'alimentation, de l'eau et de la biodiversité, il apparaît que toute importation de poissons doit faire l'objet d'une demande de certificat zoosanitaire qu'ils soient destinés à l'élevage, au reparcage ou à des pêcheries récréatives avec repeuplement. La traçabilité des espèces importées doit être irréprochable et les espèces doivent être classées indemnes de maladies contagieuses. Finalement, la dernière contrainte réglementaire identifiée concerne l'accès au foncier sur l'archipel, évoqué par un seul acteur. A SPM, la majorité du foncier appartient à la Collectivité Territoriale. De plus, de nombreux terrains sont classés en zone inondables ce qui rend de nombreux espaces non constructibles.

Le deuxième frein le plus régulièrement évoqué après l'introduction de nouvelles espèces piscicoles concerne l'absence de compétences locales en aquaponie. En effet, l'aquaponie est un mode de production alimentaire requérant la maîtrise de connaissances en hydroponie, en aquaculture et en traitement de l'eau pour gérer la production au quotidien. Ainsi le développement de l'aquaponie sur l'archipel ne peut se faire sans l'arrivée de personnes compétentes ou la formation de nouvelles personnes résidentes sur l'archipel.

La troisième catégorie de freins identifiés correspond à des contraintes d'ordre technique. La faisabilité technique concernant la mise en place d'un système aquaponique à SPM n'a jamais été remise en cause durant les entretiens. La technologie de fonctionnement d'un tel système commence à être suffisamment maîtrisée pour être adapté aux contraintes climatiques de l'archipel et de nombreux bureaux d'études sont spécialisés dans la création de systèmes commerciaux. Néanmoins plusieurs détails techniques ont été critiqués par des personnes comme par exemple la maîtrise de la pollinisation dans une serre hermétique, la nécessité de chauffer la serre pour assurer une production de végétaux toute l'année ou à l'inverse produire des végétaux de saisons mais accepter de réduire la production durant les mois les plus froids.

Les contraintes environnementales constituent une quatrième catégorie de freins identifiés. Les risques de pollutions sont un point d'interrogation soulevé par les personnes en charge de la protection de la biodiversité. La pollution des masses d'eau par les effluents d'élevage ou les solutions nutritives potentiellement utilisés en aquaponie sont un risque. Une autre source de pollution possible concerne d'éventuels fuite de poissons de l'enceinte d'élevage qui pourraient se retrouver dans le milieu naturel et coloniser le milieu (dans le cas d'une espèce introduite) ou modifier le patrimoine génétique des souches présentes dans le milieu en se reproduisant avec.

La forte consommation énergétique, indispensable pour assurer le traitement et la mise en mouvement de l'eau est également pointé du doigt au cours des entretiens.

L'acceptabilité sociétale est une autre catégorie de freins abordés par les personnes. L'image du poisson d'aquaculture est remise en question par des acteurs locaux. En effet, il existe une possible concurrence entre les poissons produits par un système aquaponique et les poissons pêchés par les habitants pratiquant la pêche de loisir, qui pourrait devenir un frein pour un nouveau projet.

Finalement la dernière catégorie de freins évoqués concerne l'aspect financier et plus spécifiquement les investissements importants nécessaires pour mettre au point un tel projet. Suivant la taille du projet souhaité et l'importance des ambitions que pourraient avoir un investisseur, les investissements initiaux peuvent rapidement dépasser le million d'euros (Annexe 2). L'accompagnement par des banques et des institutions est indispensable pour voir émerger une telle production sur l'archipel.

3.3.5. Scénarii de développement d'une production aquaponique sur l'archipel

Scenario 1 : éclosion d'omble de fontaine aquaponique à SPM ; une espèce à forte valeur patrimoniale sur l'archipel mais performance zootechnique moindre

Ce scénario vise principalement à développer l'activité touristique de l'archipel tout en maintenant le patrimoine génétique des souches d'omble de fontaine natives. Bien qu'existante, l'économie autour de la pêche sportive est faible et principalement centrée sur les pêcheurs de SPM. Il s'agit néanmoins d'une économie avec un potentiel fort mais qui est freinée par le manque d'infrastructures et d'installations pour accueillir les pêcheurs étrangers. Une éclosion d'omble de fontaine serait créée. En automne, lors de la migration des ombles sauvages, une partie des géniteurs serait captée dans le milieu naturel et leur reproduction serait assurée au sein du système. Une fois les larves éclosent, les juvéniles seraient maintenus dans le système jusqu'à atteindre une taille jugée suffisante pour assurer leur survie dans leur environnement naturel. Adjacente à cette éclosion, une serre hydroponique serait construite. L'eau d'élevage des ombles serait dirigée vers la serre hydroponique pour irriguer les plantes et former un système aquaponique découplé. Afin de permettre une production maraîchère tout au long de l'année, une partie des ombles serait gardée dans le système pour entrer en phase de production. Ses souches d'omble sauvage seraient commercialisées sous forme d'omble portion de 300g après deux à trois ans post-éclosion. Il est difficile d'estimer les performances de croissance de ces individus sachant qu'aucune expérience aquacole documentée n'a été réalisée avec une souche native d'ombles de fontaine de SPM, même si des essais d'élevage ont déjà eu lieu sur l'archipel. Ce projet aurait un faible volume de production aquacole, la majeure partie de la production de juvéniles étant destinée à l'empoissonnement des cours d'eau de l'archipel pour la pêche sportive. En conséquence, le volume de production en végétaux serait également faible car limité par la production organique des poissons. A terme, il est possible qu'une concurrence se développe entre les poissons produits en aquaponie et les poissons pêchés car de nombreux habitants de l'archipel pratiquent la pêche. Il s'agit également d'un scénario exigeant d'un point de vue technique, tant pour le dimensionnement du système que pour le maintien du cheptel de poissons. Le statut sanitaire de la souche locale d'omble de fontaine est inconnu et la présence de vibriose et autres pathologies est fort possible.

Scenario 2 : production de truite arc-en-ciel aquaponique à SPM ; faire sauter des verrous réglementaires pour augmenter la performance de production

Ce scénario vise à renforcer fortement l'autonomie alimentaire et l'activité économique de l'archipel. Une ferme aquaponique de grande taille et à la pointe de la technologie serait créée. Au lieu d'effectuer la totalité du cycle de production de la truite arc-en-ciel sur l'archipel (du géniteur jusqu'au poisson de consommation), les juvéniles de truites arc-en-ciel seraient achetés à 10g à une éclosion canadienne. Ceci permettrait d'externaliser l'étape de la reproduction qui demande des installations et un savoir-faire spécifique et qui est une étape sensible du cycle d'élevage. Des souches à haut potentiel génétique seraient sélectionnées pour maximiser la croissance des individus. Les truites seraient maintenues en grossissement jusqu'à atteindre un poids de 2 à 3 kg au bout d'un an. Les truites de grande taille pourraient être salées et fumées pour augmenter la valeur ajoutée sur le produit. Une partie de la production serait destinée à être consommée sur l'archipel. L'exportation vers le Canada, les États-Unis voire la France métropolitaine grâce aux différentes voies maritimes existantes serait envisagée. La production maraîchère diversifiée (tomates, salades, herbes aromatiques etc.) devrait permettre d'enrichir l'offre en produit frais sur l'archipel. Ces végétaux pourraient également être exportés vers le Canada ou les États-Unis. Cependant ce projet nécessite en amont de s'assurer de la possibilité réglementaire d'introduire la truite arc-en-ciel pour l'aquaculture.

Scenario 3 : production de saumon atlantique aquaponique à SPM ; le compromis entre acceptabilité sociétale, législative et performances zootechniques ?

Ce scénario a les mêmes ambitions que le précédent, en remplaçant la truite arc-en-ciel par le saumon atlantique qui présente des contraintes réglementaires moindres. Pour les mêmes raisons que dans le scénario 2, les smolts de saumon atlantique seraient achetés à un poids de 100g à une écloserie canadienne. Le grossissement serait assuré dans un système aquaponique de haute technologie jusqu'à atteindre un poids commercial de 4 à 5 kg au bout d'un an de grossissement. Cette taille est idéale pour effectuer une transformation comme un salage et une fumaison qui permettrait d'augmenter la valeur ajoutée du produit. L'exportation des saumons vers le Canada, les États-Unis et la France métropolitaine serait également un objectif du projet. Ce poisson présente l'avantage d'être fortement apprécié des consommateurs métropolitains. Il est plus intéressant à exporter que la truite car la France métropolitaine est très fortement dépendante des importations de saumon alors qu'elle n'est que faiblement dépendante des importations de truite (FranceAgriMer, 2018). Les productions maraichères seraient tout aussi diversifiées que pour le scénario 2 et permettrait de proposer de nombreux légumes frais sur l'archipel. L'exportation d'une partie des végétaux vers le Canada ou les États-Unis pourrait également être envisagée.

4. Discussion

Le développement de l'aquaponie à Saint-Pierre et Miquelon est une des solutions envisageables pour renforcer l'autonomie alimentaire de l'archipel. Les trois scénarii présentées sont tous techniquement réalisables. Le scénario n° 1 permettrait de soutenir la population locale d'ombles de fontaines qui est confrontés à des problèmes de gestion tels que la surexploitation liée à l'activité de pêche sportive (CPPMA, 2011). Il serait alors possible d'envisager le développement d'une activité éco-touristique, tel que proposé dans le projet OMBLESPM qui vient tout juste d'être financé pour trois ans. Néanmoins l'omble de fontaine présente les performances de croissances les moins intéressantes des trois espèces étudiées et ceci peut constituer un frein majeur pour faire accepter le scénario par des investisseurs. Les scénarii n° 2 et 3 sont dépendants de l'approvisionnement en alevins. De plus le scénario n° 2 est lié à l'obtention d'une dérogation réglementaire pour l'introduction de la truite arc-en-ciel qui peut être à la base de conflits environnementalistes. Jamais critiqué par les différents acteurs durant les entretiens, l'aquaponie est un mode de production qui manque de modèle économique ayant fait ses preuves (Turnsek et al., 2020 ; Palm et al., 2018 ; Love et al., 2015 ; Goddek et al., 2015). Pour que ces scénarii deviennent rentables, des investissements importants devraient être réalisés pour atteindre des volumes de production élevés, notamment pour les 2 et 3. L'exportation de la production serait une nécessité car le marché local ne pourrait en absorber la totalité. La réalisation d'étude de marché (local et en frais pour le scénario n° 1 et international (France, Canada, USA) et en frais, congelé, fumé pour les scénarii n° 2 et 3 seraient nécessaire pour s'assurer de la compétitivité économique des projets.

Explorée comme une piste pour renforcer l'autonomie alimentaire de SPM, l'aquaponie permettrait d'assurer une double production i) maraichère qui est très faible sur l'archipel et ii) piscicole afin d'augmenter le chiffre d'affaire et de fournir l'archipel en protéine animale. L'objectif de la Collectivité Territoriale, tel que décrit dans le PDAD, est de développer une agriculture durable pour l'archipel et cette réflexion ne peut se faire sans prendre en compte l'impact environnemental liée à l'implantation d'un mode de production alimentaire comme l'aquaponie. L'analyse du cycle de vie (ACV) est une méthodologie qui permet d'estimer de multiples indicateurs de l'impact environnemental d'un système de production. Plusieurs ACV

ont été menées sur les systèmes aquaponique, certaines d'entre elles ont été réalisées avec le tilapia comme espèce piscicole (Boxman et al., 2016 ; Hollmann, 2017), d'autres avec la truite arc-en-ciel (Forchino et al., 2017) voire avec la carpe commune (*Cyprinus carpio*) (Jaeger et al., 2019) ou encore le doré hybride (*Sander vitreus x Sander canadensis*) (Ghamkhar et al., 2019). Les résultats entre ces différentes études sont tous similaires même si les systèmes utilisés comme référence pour obtenir les données de modélisation sont différents. L'impact environnemental d'un système aquaponique est essentiellement dû à deux éléments : l'alimentation des poissons et la consommation énergétique. Ces deux éléments ont été soulignés durant les entretiens et sont visibles dans les catégories n°3 Contraintes environnementales et n°4 Acceptabilité sociétale. Le recours à un aliment formulé aquacole augmente la dépendance d'un système aquaponique aux ressources naturelles, essentiellement lié à l'utilisation de farine et d'huile de poissons (Jaeger et al., 2019). Une option pour réduire l'impact environnemental lié à l'alimentation serait d'intégrer des farines d'insectes à la place des farines de poissons. Suivant le taux de substitution appliqué, cette alternative diminue l'impact environnemental de la production de truite en réduisant l'utilisation de ressources primaires naturelles ainsi que la consommation d'eau (Le Féon et al., 2019). Pour éviter l'utilisation de poissons fourrage issus de la pêche minotière, l'utilisation d'un aliment associant les farines d'insectes et les microalgues, pour remplacer l'huile de poisson, permettrait d'obtenir un aliment possédant un profil en omega-3 nécessaire aux espèces à haute valeur comme le saumon (Cottrell et al., 2020).

Les besoins électriques sont importants dans un système aquaponique dus à l'utilisation systématique de pompes et d'aérateurs. L'utilisation d'une source d'énergie renouvelable (énergie solaire, éolienne ou biomasse) permet de diminuer de façon significative l'impact environnemental de l'aquaponie (Boxman et al., 2016). La réduction des besoins en électricité et l'incorporation de ressources renouvelables ont également un intérêt économique. Le coût de l'électricité est l'un des coûts variables les plus élevés dans les SRA et les systèmes aquaponiques (Bailey et al., 1997). Aux États-Unis, les besoins en électricité ont un coût encore plus important pour les systèmes aquaponiques situés sur des îles où le coût monétaire de la production d'électricité à partir de combustibles fossiles est sensiblement plus élevé (EIA, 2019). Ainsi, les îles disposant de ressources énergétiques renouvelables peuvent réduire les coûts opérationnels des systèmes aquacoles, tout en réduisant les impacts environnementaux. Les Îles-de-la-Madeleine, voisines de SPM, ont récemment fait le choix, au travers de leurs stratégie énergétique 2017-2025 de réduire leur consommation d'énergie fossile au profit d'énergies renouvelables. Sur l'archipel français, la production énergétique est assurée par deux centrales thermiques Diesel. L'utilisation de l'énergie éolienne est envisageable au même titre que cette piste est explorée aux Îles-de-la-Madeleine. De plus, en 2018 a été inauguré sur l'archipel un réseau de chauffage urbain récupérant la chaleur produite par les groupes électrogènes de la centrale thermique de Saint-Pierre (IEDOM, 2020). Ce réseau pourrait être utilisé pour le chauffage de serres aquaponiques par exemple.

Néanmoins il existe d'autres opportunités sur l'archipel pour renforcer l'autonomie alimentaire et l'élevage est une activité qui est déjà développée. En plus des trois entreprises maraîchères présentées en amont (paragraphe 1.3.2.), trois entreprises (Grand Large, la Ferme de l'Ouest et la Volière des îles) se partagent la production d'œufs, de volailles, d'agneaux, de chèvres et de quelques produits laitiers à base de lait de chèvres. Cette offre pourrait être complétée par le développement de nouvelles entreprises d'élevages, par exemple de bovins et de porcins, d'autant plus que des données historiques de 1894 prouvent qu'une activité agricole importante est possible sur SPM (DTAM, 2018). Plusieurs visions complémentaires de l'agriculture pourraient ainsi coexister sur l'archipel ; celui d'une « repaysannisation » de l'agriculture impliquant le ré-ancrage territorial des systèmes alimentaires (Ploeg et al., 2014) ; et celui du renouveau du productivisme s'appuyant sur un modèle agricole à haute performance non seulement économique, mais également environnementale et sociale, ici incarné par l'aquaponie (Allaire, Daviron, 2017).

Conclusion

L'objectif de cette étude était de déterminer si l'aquaponie est un mode de production pertinent pour l'archipel et de proposer des scénarii de développement cohérent avec le contexte de SPM. Un état de l'art a permis de décrire l'avancée de l'aquaponie à l'échelle commerciale dans l'Atlantique Nord. En s'appuyant sur une analyse de réussites et d'échecs d'entreprises existantes, sur la bibliographie et sur les entretiens réalisés avec une dizaine de personnes, le type de système aquaponique ayant le plus de chance de réussir est proposé. Un système aquaponique de grande taille, utilisant un flux d'eau découplé entre les parties aquacole et horticole et produisant des espèces piscicoles d'eau froide comme les salmonidés est la meilleure solution pour l'archipel.

Plusieurs scénarii sont proposés et leur pertinence est discutée. Trois pistes sont explorées, un scénario basé sur la production de la truite arc-en-ciel, un sur le saumon atlantique et un dernier sur l'omble de fontaine.

La truite arc-en-ciel présente la prise de risque technique la plus faible car son élevage en aquaculture recirculée et en aquaponie est largement étudié. Néanmoins c'est une espèce non native de l'archipel et son introduction est soumise à autorisation. De plus, même si cette autorisation était accordée, l'acceptabilité sociétale de l'espèce peut être un frein, selon plusieurs acteurs locaux interrogés.

Le saumon atlantique présente les performances de croissance les plus élevées. Bien que techniquement possible aux vues de la littérature scientifique, la réalisation de la totalité du cycle de production en eau douce est une nouveauté et implique une prise de risque technique et biologique. C'est néanmoins le choix qui a été fait par Superior Fresh, une des plus grandes entreprises aquaponiques situées aux États-Unis. De plus le saumon atlantique est très apprécié des consommateurs et des procédés comme la fumaison peuvent augmenter la valeur ajoutée des produits.

L'omble de fontaine présente quant à lui les performances de croissance les moins intéressantes. Il semble effectivement difficile, en l'état actuel des connaissances, de produire des individus d'une taille supérieure à la portion (environ 300g). Cette affirmation est tout de même à nuancer car une seule publication scientifique fait référence aux performances de l'omble de fontaine en circuit fermé. Néanmoins cette espèce est le poisson-phare de l'archipel et il est très prisé des pêcheurs sportifs de l'archipel et du Canada. L'acceptabilité sociétale du projet par les habitants de l'archipel serait donc *a priori* forte pour l'omble de fontaine et il serait possible d'utiliser cette image positive pour créer de la valeur ajoutée. La production de cette espèce dans le contexte d'un développement d'une activité éco-touristique est envisageable.

Un exemple de production aquaponique pour assurer l'autonomie alimentaire de l'archipel non présenté ici mais a aussi été développé dans le rapport final (DOI: 10.13140/RG.2.2.19340.95366/2) et pourrait servir de base pour la réflexion de futurs porteurs de projets. Cet exemple chiffré permet également d'évaluer l'aspect économique du développement de l'aquaponie sur l'archipel, même si celui-ci dépasse le cadre du présent stage. Un résumé des facteurs internes et externes favorables et défavorables au développement de l'aquaponie sur l'archipel est présenté dans le tableau 8.

La mise en place de systèmes aquaponiques commerciaux sur l'archipel est envisageable d'un point de vue scientifique et technique. De plus le territoire présente plusieurs intérêts pour un investisseur dont l'accès à d'importantes subventions, des décideurs politiques conscients de l'intérêt de renforcer l'autonomie alimentaire de l'archipel, des institutions prêtes à accompagner les porteurs de projets et un ensemble de consommateurs demandeur de produits frais et locaux. L'archipel se situe à l'intersection entre l'Europe et l'Amérique du Nord

et peut bénéficier d'un transfert de connaissances et de technologies acquises sur les deux continents.

Tableau 8 Analyse AFOM sur le développement de l'aquaponie à SPM

Atouts	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> - Permet une production sur des terres non-arables - Production sous serre ou en bâtiment qui permet de s'astreindre du climat rude - Production locale de fruits et légumes frais qui sont difficiles à importer - Faible dépendance au fret maritime pour assurer la production car système basé sur le recyclage des déchets aquacoles - Double production (horticole et aquacole) 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessite d'importer l'ensemble des éléments indispensables à l'implantation et au fonctionnement du système (pompes, tuyauteries, oxygène, etc) - Selon les scénarii, nécessite d'importer du matériel biologique (semence et œufs/juvéniles de poissons) - Nécessite de forts investissements initiaux
Opportunités	Menaces
<ul style="list-style-type: none"> - Autonomie alimentaire proche de zéro sur l'archipel - Le coût des denrées alimentaires est élevé - La prise de conscience des limites de cette dépendance à l'importation a été renforcé avec la crise sanitaire - Les politiques locales veulent développer l'autonomie alimentaire - Connaissances, matériels et compétences à proximité de l'archipel grâce au Canada - Subventions importantes disponibles dans le cas d'un investissement sur SPM - Exploitation possible du réseau de chaleur urbain 	<ul style="list-style-type: none"> - Manque de compétences en aquaculture et aquaponie sur l'archipel - Contraintes réglementaires sur l'importation de nouvelles espèces aquacoles - Photopériode courte et température froide la majorité de l'année, nécessité d'utiliser un éclairage artificiel et un chauffage énergivore - Accès au foncier - Acceptabilité sociale - Eviter la concurrence entre d'éventuels porteurs de projets (viser la complémentarité des productions)

Il est également envisageable d'exporter une partie de la production vers le Canada ou les États-Unis grâce aux voies maritimes existantes voire directement vers l'Europe grâce à la création de nouvelles voies maritimes, comme Neoline qui est un projet de transport maritime réalisé par un cargo à voiles. En 2021, le premier navire-pilote devrait réaliser des liaisons régulières entre St-Nazaire, Saint-Pierre et Miquelon et Baltimore (<https://www.neoline.eu/>). La poursuite du développement de l'aquaponie à SPM ne peut se faire sans l'identification et l'accompagnement de porteurs de projets motivés et compétents.

A l'automne 2020, à condition que la situation sanitaire le permette, devrait se tenir à SPM le premier congrès franco-canadien sur les sciences aquatiques. L'objectif de ce congrès est de renforcer et développer les collaborations scientifiques dans l'Atlantique Nord. Ce congrès représente une grande opportunité pour faire la promotion de l'archipel et éventuellement découvrir de nouveaux porteurs de projets prêts à investir pour développer l'aquaponie ou plus largement contribuer à renforcer l'autonomie alimentaire.

Bibliographie

- AGRESTE, 2019. *Exploitations de l'Union Européenne, nombre et taille* [en ligne]. 2019. S.l. : s.n. [Consulté le 11 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/GraFraChap2.2/Graf196%20-%20Exploitations%20de%20l'Union%20europ%C3%A9enne.pdf>.
- ALLAIRE, Gilles et DAVIRON, Benoit, 2017. *Transformations agricoles et agroalimentaires*. S.l. : éditions Quae.
- AUBIN, Joël et JEROME, Hussenot, 2018. Integrated Aquaculture-Agriculture and agroecology in aquaculture: views from Europe. In : . août 2018.
- AUSTRENG, Erland, STOREBAKKEN, Trond et ÅSGÅRD, Torbjørn, 1987. Growth rate estimates for cultured Atlantic salmon and rainbow trout. In : *Aquaculture*. 1 février 1987. Vol. 60, n° 2, p. 157-160. DOI 10.1016/0044-8486(87)90307-3.
- BAILEY, Donald S, RAKOCY, James E, COLE, William M, SHULTZ, Kurt A et ST CROIX, US, 1997. Economic analysis of a commercial-scale aquaponic system for the production of tilapia and lettuce. In : *Tilapia aquaculture: proceedings of the fourth international symposium on Tilapia in aquaculture, Orlando, Florida*. S.l. : s.n. 1997. p. 603–612.
- BERGHEIM, A., DRENGSTIG, A., ULGENES, Y. et FIVELSTAD, S., 2009. Production of Atlantic salmon smolts in Europe—Current characteristics and future trends. In : *Aquacultural Engineering*. 1 septembre 2009. Vol. 41, n° 2, p. 46-52. DOI 10.1016/j.aquaeng.2009.04.004.
- BIERNACKI, Patrick et WALDORF, Dan, 1981. Snowball Sampling: Problems and Techniques of Chain Referral Sampling. In : *Sociological Methods & Research*. novembre 1981. Vol. 10, n° 2, p. 141-163. DOI 10.1177/004912418101000205.
- BOXMAN, Suzanne E., ZHANG, Qiong, BAILEY, Donald et TROTZ, Maya A., 2016. Life Cycle Assessment of a Commercial-Scale Freshwater Aquaponic System. In : *Environmental Engineering Science*. 8 novembre 2016. Vol. 34, n° 5, p. 299-311. DOI 10.1089/ees.2015.0510.
- BOXMAN, Suzanne E., ZHANG, Qiong, BAILEY, Donald et TROTZ, Maya A., 2017. Life Cycle Assessment of a Commercial-Scale Freshwater Aquaponic System. In : *Environmental Engineering Science*. mai 2017. Vol. 34, n° 5, p. 299-311. DOI 10.1089/ees.2015.0510.
- BRAUN, Virginia et CLARKE, Victoria, 2006. Using thematic analysis in psychology. In : *Qualitative research in psychology*. 2006. Vol. 3, n° 2, p. 77–101.
- BULTEL, Elise et ZYLICH, Kyrstn, 2015. *Fisheries catch reconstruction of the Western Atlantic French archipelago of Saint Pierre et Miquelon, 1950-2010*. S.l. : s.n.
- CEROZI, Brunno da Silva et FITZSIMMONS, Kevin, 2016. Use of Bacillus spp. to enhance phosphorus availability and serve as a plant growth promoter in aquaponics systems. In : *Scientia Horticulturae*. 1 novembre 2016. Vol. 211, p. 277-282. DOI 10.1016/j.scienta.2016.09.005.
- CHAMPIGNEULLE, A., 1982. *Mission à Saint-Pierre et Miquelon*. S.l. INRA.
- COOPER, Edwin L., 1961. Growth of Wild and Hatchery Strains of Brook Trout. In : *Transactions of the American Fisheries Society*. 1961. Vol. 90, n° 4, p. 424-438. DOI 10.1577/1548-8659(1961)90[424:GOWAHS]2.0.CO;2.
- COTTRELL, Richard S., BLANCHARD, Julia L., HALPERN, Benjamin S., METIAN, Marc et FROEHLICH, Halley E., 2020. Global adoption of novel aquaculture feeds could substantially reduce forage fish demand by 2030. In : *Nature Food*. mai 2020. Vol. 1, n° 5, p. 301-308. DOI 10.1038/s43016-020-0078-x.
- CPPMA, 2011. *Plan de gestion piscicole intermédiaire de Saint-Pierre et Miquelon*. S.l.

- DE BEAUREGARD, Guillaume, 2013. *Perspectives d'avenir de la pêche à Saint-Pierre et Miquelon*. S.I. EEAM.
- DTAM, 2018. *Document stratégique de bassin maritime de Saint-Pierre & Miquelon, situation de l'existant*. S.I.
- DUMAS, André, FRANCE, James et BUREAU, Dominique P., 2007. Evidence of three growth stanzas in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) across life stages and adaptation of the thermal-unit growth coefficient. In : *Aquaculture*. 3 juillet 2007. Vol. 267, n° 1, p. 139-146. DOI 10.1016/j.aquaculture.2007.01.041.
- EIA, 2019. *Virgin Islands Territory Energy Profile and Energy Estimates* [en ligne]. 2019. S.I. : s.n. [Consulté le 10 août 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.eia.gov/state/analysis.php?sid=VQ>.
- FAO, 2019. *Fao yearbook fishery and aquaculture statistics 2017 (english/french/spanish edition)*. Rome : Food & Agriculture Organisation. ISBN 978-92-5-131669-6.
- FISCHER, Gregory J., HELD, James, HARTLEB, Christopher et MALISON, Jeffrey, 2009. Evaluation of brook trout production in a coldwater recycle aquaculture system. In : *Aquacultural Engineering*. 1 septembre 2009. Vol. 41, n° 2, p. 109-113. DOI 10.1016/j.aquaeng.2009.06.012.
- FORCHINO, A. A., LOURGUIOUI, H., BRIGOLIN, D. et PASTRES, R., 2017. Aquaponics and sustainability: The comparison of two different aquaponic techniques using the Life Cycle Assessment (LCA). In : *Aquacultural Engineering*. 1 mai 2017. Vol. 77, p. 80-88. DOI 10.1016/j.aquaeng.2017.03.002.
- FOUCARD, Pierre et TOCQUEVILLE, Aurélien, 2019. *Aquaponie: associer aquaculture et production végétale*. S.I. : s.n. ISBN 978-2-7592-2964-2.
- FOUCARD, Pierre et TOCQUEVILLE, Aurélien, 2020. *L'aquaponie, une filière en quête de réglementation*. 2020. S.I. : s.n.
- FRANCEAGRIMER, 2018. *Étude sur la politique d'approvisionnement de produits aquatiques des transformateurs et conserveurs en France Métropolitaine*. S.I.
- FRANCEAGRIMER, 2019. *Étude sur les perspectives économiques des filières pêche et aquaculture dans les territoires d'Outre-Mer*. S.I.
- GHAMKHAR, Ramin, HARTLEB, Christopher, WU, Fan et HICKS, Andrea, 2019. Life cycle assessment of a cold weather aquaponic food production system. In : *Journal of Cleaner Production*. octobre 2019. p. 118767. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.118767.
- GJEDREM, Trygve, 2010. The first family-based breeding program in aquaculture. In : *Reviews in Aquaculture*. mars 2010. Vol. 2, n° 1, p. 2-15. DOI 10.1111/j.1753-5131.2010.01011.x.
- GJEDREM, Trygve, ROBINSON, Nick et RYE, Morten, 2012. The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demands for animal protein: A review. In : *Aquaculture*. juin 2012. Vol. 350-353, p. 117-129. DOI 10.1016/j.aquaculture.2012.04.008.
- GODDEK, Simon, DELAIDE, Boris, MANKASINGH, Utra, RAGNARSDOTTIR, Kristin, JIJAKLI, Haissam et THORARINSDOTTIR, Ragnheidur, 2015. Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics. In : *Sustainability*. 10 avril 2015. Vol. 7, n° 4, p. 4199-4224. DOI 10.3390/su7044199.
- GODDEK, Simon, JOYCE, Alyssa, KOTZEN, Benz et BURNELL, Gavin M. (éd.), 2019. *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future* [en ligne]. Cham : Springer International Publishing. [Consulté le 26 novembre 2019]. ISBN 978-3-030-15942-9. Disponible à l'adresse : <http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-15943-6>.
- GODDEK, Simon et KEESMAN, Karel J., 2018. The necessity of desalination technology for designing and sizing multi-loop aquaponics systems. In : *Desalination*. 15 février 2018. Vol. 428, p. 76-85. DOI 10.1016/j.desal.2017.11.024.

- GODDEK, Simon et KÖRNER, Oliver, 2019. A fully integrated simulation model of multi-loop aquaponics: A case study for system sizing in different environments. In : *Agricultural Systems*. 1 mai 2019. Vol. 171, p. 143-154. DOI 10.1016/j.agsy.2019.01.010.
- GROUPEMENT ETAT / COLLECTIVITÉ TERRITORIALE DE SAINT-PIERRE ET MIQUELON, 2018. *Plan de développement agricole durable à Saint-Pierre et Miquelon -Stratégie et plan d'action*. S.I.
- GUILLAUME, Jacques, 2001. Une collectivité insulaire coincée entre géopolitique océanique et développement local : Saint-Pierre-et-Miquelon. In : . 2001. p. 12.
- HART, Emily, 2013. Implementation of Aquaponics in Education: An Assessment of Challenges, Solutions and Success. In : *Masters Theses 1911 - February 2014* [en ligne]. 1 janvier 2013. Disponible à l'adresse : <https://scholarworks.umass.edu/theses/1126>.
- HOEVENAARS, Kyra, JUNGE, Ranka, BARDOCZ, Tamas et LESKOVEC, Matej, 2018. EU policies: New opportunities for aquaponics. In : *Ecocycles*. 2018. Vol. 4, n° 1, p. 10-15. DOI 10.19040/ecocycles.v4i1.87.
- HOLLMANN, Rebecca Elizabeth, 2017. *An aquaponics life cycle assessment: Evaluating an inovative method for growing local fish and lettuce*. S.I. : University of Colorado at Denver.
- IEDOM, 2006. *Rapport annuel IEDOM Saint-Pierre et Miquelon - rapport 2005*.
- IEDOM, 2008. *Rapport annuel IEDOM Saint-Pierre et Miquelon - rapport 2007*.
- IEDOM, 2018. *Rapport annuel IEDOM Saint-Pierre et Miquelon - rapport 2017*.
- IEDOM, 2019. *Rapport annuel IEDOM Saint-Pierre et Miquelon - rapport 2018*.
- IEDOM, 2020. *Rapport annuel IEDOM Saint-Pierre et Miquelon - rapport 2019*.
- IWAMA, George K. et TAUTZ, Arthur F., 1981. A Simple Growth Model for Salmonids in Hatcheries. In : *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1 juin 1981. Vol. 38, n° 6, p. 649-656. DOI [10.1139/f81-087](https://doi.org/10.1139/f81-087).
- JAEGER, Christophe, FOUCARD, Pierre, TOCQUEVILLE, Aurélien, NAHON, Sarah et AUBIN, Joël, 2019. Mass balanced based LCA of a common carp-lettuce aquaponics system. In : *Aquacultural Engineering*. février 2019. Vol. 84, p. 29-41. DOI 10.1016/j.aquaeng.2018.11.003.
- JOBLING, Malcolm, 2003. The thermal growth coefficient (TGC) model of fish growth: a cautionary note. In : *Aquaculture Research*. juin 2003. Vol. 34, n° 7, p. 581-584. DOI 10.1046/j.1365-2109.2003.00859.x.
- JOLY, Agnes, JUNGE, Ranka et BARDOCZ, Tamas, 2015. Aquaponics business in Europe: some legal obstacles and solutions. In : *Ecocycles*. 2015. Vol. 1, n° 2, p. 3-5. DOI 10.19040/ecocycles.v1i2.30.
- KESKE, Catherine, DARE, Jennifer, HANCOCK, Tiffany et KING, Myron, 2016. The connectivity of food security, food sovereignty, and food justice in boreal ecosystems: the case of Saint-Pierre and Miquelon. In : *Spatial Vision*. 31 janvier 2016.
- LABONNE, J., AYMES, J.C., BEALL, E., CHAT, J., DOPICO-RODRIGUEZ, E.D., GARCIA VAZQUEZ, E., GAUDIN, P., GUÉRAUD, F., HENDRY, A.P., HORREO-ESCANDON, J.L., HUTEAU, D., JARRY, M., KAEUFFER, R., LECOMTE, F., MANICKI, A., RIVES, J., ROUSSEL, J.M., TREMBLAY, J., VIGNON, M. et ZHOU, M., 2013. *Ecologie évolutive de la colonisation des îles Kerguelen par les salmonidés. Rapport de fin de programme IPEV SALMEVOL-1041*. 2013. S.I. : s.n.
- LE FÉON, Samuel, THÉVENOT, Alexandre, MAILLARD, Frédéric, MACOMBE, Catherine, FORTEAU, Louise et AUBIN, Joël, 2019. Life Cycle Assessment of fish fed with insect meal: Case study of mealworm inclusion in trout feed, in France. In : *Aquaculture*. février 2019. Vol. 500, p. 82-91. DOI 10.1016/j.aquaculture.2018.06.051.
- LE MOINE, Olivier, GEAIRON, Philippe, ROBERT, Stéphane, COUDRAY, Sylvain, FIANDRINO,

- Annie, GORAGUER, Herlé et GOULLETQUER, Philippe, 2016. Hydrologie du Grand Etang de Miquelon. In : . 2016. p. 67.
- LEEDS, Timothy D., VALLEJO, Roger L., WEBER, Gregory M., GONZALEZ-PENA, Dianelys et SILVERSTEIN, Jeffrey T., 2016. Response to five generations of selection for growth performance traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). In : *Aquaculture*. 1 décembre 2016. Vol. 465, p. 341-351. DOI <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.08.036>.
- LENNARD, Wilson, 2017. *Commercial aquaponic systems: integrating recirculating fish culture with hydroponic plant production*. Victoria, Australia : Aquaponic Solutions. ISBN 978-1-64204-837-7.
- LOVE, David C., FRY, Jillian P., GENELLO, Laura, HILL, Elizabeth S., FREDERICK, J. Adam, LI, Ximin et SEMMENS, Ken, 2014. An International Survey of Aquaponics Practitioners. In : WANG, Hanping (éd.), *PLoS ONE*. 16 juillet 2014. Vol. 9, n° 7, p. e102662. DOI 10.1371/journal.pone.0102662.
- LOVE, David C., FRY, Jillian P., LI, Ximin, HILL, Elizabeth S., GENELLO, Laura, SEMMENS, Ken et THOMPSON, Richard E., 2015. Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. In : *Aquaculture*. janvier 2015. Vol. 435, p. 67-74. DOI 10.1016/j.aquaculture.2014.09.023.
- MCDORMAN, Ted L., 1990. The Canada-France Maritime Boundary Case: Drawing a Line Around St. Pierre and Miquelon. In : *The American Journal of International Law*. janvier 1990. Vol. 84, n° 1, p. 157. DOI 10.2307/2203018.
- MCMURTRY, M. R., SANDERS, D. C., CURE, J. D., HODSON, R. G., HANING, B. C. et AMAND, E. C. St, 1997. Efficiency of Water Use of an Integrated Fish/Vegetable Co-Culture System. In : *Journal of the World Aquaculture Society*. 1997. Vol. 28, n° 4, p. 420-428. DOI 10.1111/j.1749-7345.1997.tb00290.x.
- MONSEES, H, KEITEL, J, PAUL, M, KLOAS, W et WUERTZ, S, 2017. Potential of aquacultural sludge treatment for aquaponics: evaluation of nutrient mobilization under aerobic and anaerobic conditions. In : *Aquaculture Environment Interactions*. 18 janvier 2017. Vol. 9, p. 9-18. DOI 10.3354/aei00205.
- MONTANHINI NETO, Roberto et OSTRENSKY, Antonio, 2015. Nutrient load estimation in the waste of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) reared in cages in tropical climate conditions. In : *Aquaculture Research*. juin 2015. Vol. 46, n° 6, p. 1309-1322. DOI 10.1111/are.12280.
- PALM, Harry W., KNAUS, Ulrich, APPELBAUM, Samuel, GODDEK, Simon, STRAUCH, Sebastian M., VERMEULEN, Tycho, HAÏSSAM JIJAKLI, M. et KOTZEN, Benz, 2018. Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. In : *Aquaculture International*. juin 2018. Vol. 26, n° 3, p. 813-842. DOI 10.1007/s10499-018-0249-z.
- PEDERSEN, Simon et WIK, Torsten, 2020. A comparison of topologies in recirculating aquaculture systems using simulation and optimization. In : *Aquacultural Engineering*. 1 mai 2020. Vol. 89, p. 102059. DOI 10.1016/j.aquaeng.2020.102059.
- PLOEG, J. D. van der, EL KAÏM, A, NICHOLSON, P et DE SCHUTTER, O, 2014. *Les paysans du XXIe siècle: mouvements de repaysanisation dans l'Europe d'aujourd'hui* [en ligne]. S.l. : s.n. [Consulté le 11 août 2020]. ISBN 978-2-84377-183-5. Disponible à l'adresse : <http://edepot.wur.nl/423148>.
- RAKOCY, James E., 2012. Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture. In : TIDWELL, James H. (éd.), *Aquaculture Production Systems* [en ligne]. Oxford, UK : Wiley-Blackwell. p. 344-386. [Consulté le 1 décembre 2019]. ISBN 978-1-118-25010-5. Disponible à l'adresse : <http://doi.wiley.com/10.1002/9781118250105.ch14>.
- RAKOCY, J.E., MASSER, Michael et LOSORDO, Thomas, 2006. Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics-Integrating fish and plant culture. In : *SRAC Publication*. 2006. Vol. 454.

- ROMELAER, Pierre, 2005. Chapitre 4. L'entretien de recherche. In : *Management des ressources humaines* [en ligne]. Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur. Méthodes & Recherches. p. 101-137. ISBN 978-2-8041-4711-2. Disponible à l'adresse : <https://www.cairn.info/management-des-ressources-humaines--9782804147112-p-101.htm>. Cairn.info
- SCOTT, William Beverley et CROSSMAN, Edwin John, 1974. *Poissons d'eau douce du Canada*. S.l. : Service des pêches et des sciences de la mer, Ministère de l'Environnement.
- TELETCHÉA, Fabrice et FONTAINE, Pascal, 2014. Levels of domestication in fish: implications for the sustainable future of aquaculture. In : *Fish and Fisheries*. 2014. Vol. 15, n° 2, p. 181-195. DOI 10.1111/faf.12006.
- THODESEN, Jørn, GRISDALE-HELLAND, Barbara, HELLAND, Ståle J et GJERDE, Bjarne, 1999. Feed intake, growth and feed utilization of offspring from wild and selected Atlantic salmon (*Salmo salar*). In : *Aquaculture*. novembre 1999. Vol. 180, n° 3-4, p. 237-246. DOI 10.1016/S0044-8486(99)00204-5.
- THORARENSEN, Helgi et FARRELL, Anthony P., 2011. The biological requirements for post-smolt Atlantic salmon in closed-containment systems. In : *Aquaculture*. 25 février 2011. Vol. 312, n° 1, p. 1-14. DOI 10.1016/j.aquaculture.2010.11.043.
- TIMMONS, Michael B. et EBELING, James M., 2012. Recirculating Aquaculture Systems. In : TIDWELL, James H. (éd.), *Aquaculture Production Systems* [en ligne]. Oxford, UK : Wiley-Blackwell. p. 245-277. [Consulté le 1 décembre 2019]. ISBN 978-1-118-25010-5. Disponible à l'adresse : <http://doi.wiley.com/10.1002/9781118250105.ch11>.
- TURNSEK, Maja, JOLY, Agnes, THORARINSDOTTIR, Ragnheidur et JUNGE, Ranka, 2020. Challenges of Commercial Aquaponics in Europe: Beyond the Hype. In : *Water*. janvier 2020. Vol. 12, n° 1, p. 306. DOI 10.3390/w12010306.
- VAN WOENSEL, Lieve et ARCHER, Geoff, 2015. Ten technologies which could change our lives: potential impacts and policy implications - Think Tank. In : [en ligne]. 2015. [Consulté le 20 février 2020]. Disponible à l'adresse : http://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document.html?reference=EPRS_IDA%282015%29527417.
- VILLARROEL, Morris, JUNGE, Ranka, KOMIVES, Tamas, KÖNIG, Bettina, PLAZA, Ignacio, BITTSÁNSZKY, András et JOLY, Agnès, 2016. Survey of Aquaponics in Europe. In : *Water*. octobre 2016. Vol. 8, n° 10, p. 468. DOI 10.3390/w8100468.
- WINDFUHR, Michael et JONSÉN, Jennie, 2005. *Food Sovereignty: Towards democracy in localized food systems* [en ligne]. Rugby, Warwickshire, United Kingdom : Practical Action Publishing. [Consulté le 3 juillet 2020]. ISBN 978-1-85339-610-6. Disponible à l'adresse : <https://www.developmentbookshelf.com/doi/book/10.3362/9781780441160>.
- YOGEV, Uri, BARNES, Adrian et GROSS, Amit, 2016. Nutrients and Energy Balance Analysis for a Conceptual Model of a Three Loops off Grid, Aquaponics. In : *Water*. 10 décembre 2016. Vol. 8, n° 12, p. 589. DOI 10.3390/w8120589.

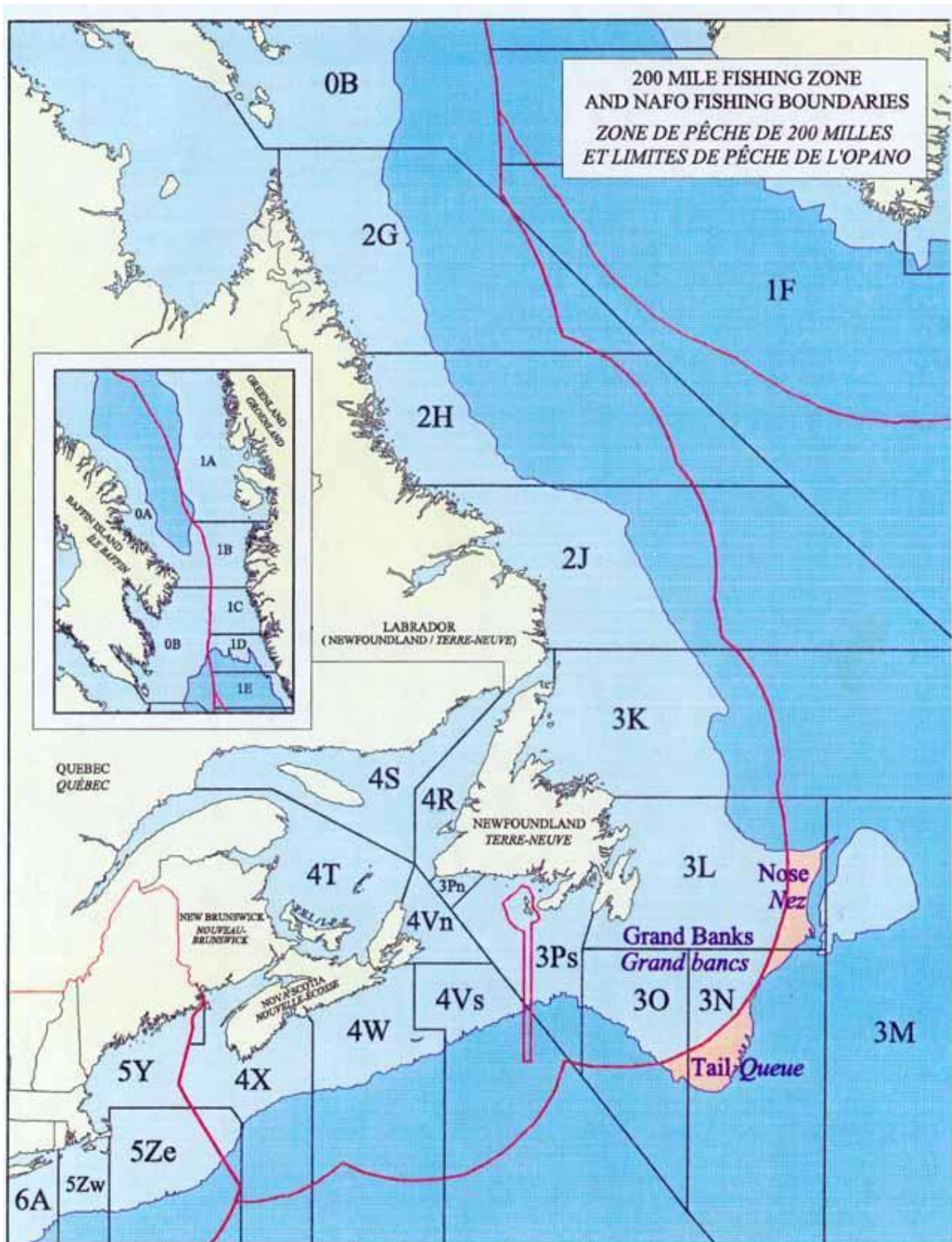
Sitographie

- ELGHAZOUANI, Mehdi, 2019. In Saint-Pierre et Miquelon La Première. Disponible sur : <https://la1ere.francetvinfo.fr/saintpierremiquelon/nouveau-projet-serriculture-saint-pierre-691326.html> (Consulté le 21 juillet 2020).
- PAINTER, Kristen, 2019. In Startribune. Disponible sur : <https://www.startribune.com/pentair-is-closing-urban-organics-a-pioneering-aquaponics-venture-in-the-old-schmidt-brewery/509906052/?refresh=true> (Consulté le 31 mai 2020).

RAYNAUD, Mathias, 2020. In Saint-Pierre et Miquelon La Première. Disponible sur : <https://la1ere.francetvinfo.fr/saintpierremiquelon/consommation-prix-du-boeuf-explose-saint-pierre-miquelon-839118.html> (Consulté le 05 juin 2020).

TOURNOUX, Agathe, 2020. In Saint-Pierre et Miquelon La Première. Disponible sur : <https://la1ere.francetvinfo.fr/saintpierremiquelon/miquelon-langlade/bientot-moules-100-miquelonnaises-859808.html> (Consulté le 08 août 2020).

Annexe 1 : Zone de pêche des 200 milles et limites de pêche OPANO.
Apparaît dans De Beauregard, 2013.



Annexe 2 : Informations générales sur quelques entreprises aquaponique commerciales existantes

Entreprise	Localisation	Source de l'information	Investissement initial	Superficie totale du système	Superficie atelier végétal	Type de plantes	Type de poissons	Age de la structure
ECF Farmsystem	Allemagne	Goddek et al., 2019	1,3 million €	1800 m ²	1000 m ²	Basilic	Tilapia	2 ans
Nerbreen	Espagne	Goddek et al., 2019		6000 m ²	3000 m ²	Salade, Framboise, Tomate, Poivron	Tilapia	5 ans système pilote de 500m ² 1,5 an le gros système
Ponika		Goddek et al., 2019	100 000 €	400 m ² de serre + local froid dans un container	320 m ²	Basilic, Ciboulette, Menthe	Carpe, Truite, Black-bass (vente de carpe uniquement)	2 ans. Production arrêtée
Samraekt Laugarmyri	Islande	Goddek et al., 2019	640 000 €	NA	1000 m ²	Tomate, Salade, Herbes aromatiques	Tilapia, Omble chevalier	Élaboration du projet commercial
Uit je Eigen Stad	Hollande	Goddek et al., 2019	Inclus dans d'autres projet, environ 200 000 €	400 m ²	200 m ²	Salade	Poisson chat africain (<i>Clarias spp.</i>), Tilapia rouge hybride	Partiellement opérationnel durant 1 an. Production arrêtée.
BigH / Ferme abattoir	Belgique	Site Internet : https://bigh.farm/fr/home-fr/ - consulté le 17 février 2020	NA	2000 m ²	Non précisé mais minimum 700 m ² de jardin extérieur	Tomate, Jeunes pousses, Herbes aromatiques	Bar rayé	5 ans
Nutreets	France	Site Internet : https://www.nutreets.fr/ - consulté le 17 février 2020	NA	Serre de 2500 m ²	NA	Forte diversité : Herbes aromatiques, Jeunes pousses, Salades, Fruit, Tomate etc.	Anguille, Black-Bass, Esturgeon, Perche, Sandre	4 ans
Bioaqua Farm	Angleterre	Personnelle	Environ 200 000 €	400 m ²	300 m ²	+ 60 espèces différentes :	Truite arc-en-ciel	5 ans

Annexe 3 : Guide d'entretien pour les acteurs

Objectif général de l'entretien : Prendre contact avec les potentiels partenaires institutionnels et administratifs du projet et évaluer l'intérêt de ces personnes pour le projet d'installation de système(s) aquaponique(s) sur l'archipel.

Généralités

Objectif : Connaître la personne avec qui je communique.

Question 1 : Quelle est votre formation / votre parcours professionnel ?

Question 2 : Quelle est votre profession ?

Question 3 : Quelles sont vos principales missions

Retour sur le rapport d'avancement

Objectif : Recevoir des critiques concernant le rapport d'avancement préalablement envoyé et éventuellement me permettre d'approfondir des remarques déjà reçu par écrit.

Question 4 : Avez-vous des remarques à me faire concernant le rapport d'avancement que vous avez pu lire ?

Autonomie alimentaire

Objectif : Déterminer s'il existe une prise de conscience concernant les enjeux de l'autonomie alimentaire de l'archipel.

Question 5 : Considérez-vous que l'autonomie alimentaire soit une priorité sur l'archipel ?

Aquaculture

Objectif : Cerner les opinions de la personne concernant l'aquaculture à SPM.

Question 6 : Que pensez-vous de l'activité aquacole de SPM ?

Question 7 : Êtes-vous plutôt optimiste ou pessimiste pour le futur de cette activité sur l'archipel ?

Aquaponie

Objectif : Introduire le concept d'aquaponie et déterminer l'acceptation de ce mode de production.

Question 8 : Avez-vous déjà entendu parler d'aquaponie ?

- *Définition : L'aquaponie est un système d'aquaculture en recirculation (RAS) connecté à une unité hydroponique, dans lequel l'eau est partagée entre les deux unités. Pas moins de 50 % des nutriments fournis aux plantes doivent provenir de déchets de poissons.*

Question 9 : Pensez-vous que l'aquaponie est un mode de production alimentaire adapté à l'archipel ?

Salmonidés

Objectif : Évaluer l'image perçue des trois salmonidés envisagés pour le projet.

- Présenter le saumon atlantique, l'omble de fontaine et la truite arc-en-ciel.

Question 10 : De ces trois espèces de salmonidés, quelle est celle qui serait la plus pertinente à élever sur l'archipel ?

Question 11 (*question spécifique pour la DTAM mais peut être posée à tout le monde*) : Seule la TAC n'est pas native de l'archipel, pensez-vous qu'il est possible de l'introduire pour l'aquaculture ?

Tourisme

Objectif : Obtenir des informations sur le lien entre activité touristique et pêche sportive sur l'archipel.

Question 12 : Que pensez-vous de l'attrait touristique de l'archipel ?

Question 13 : Est-ce que la pêche sportive est un des moteurs du tourisme de SPM ?

Se tourner vers l'extérieur

Objectif : Cerner si les personnes sur l'archipel sont disposées à coopérer avec d'autres pays.

Question 14 : Considérez-vous une coopération avec le Canada possible pour un nouveau projet ?

Question 15 : Pensez-vous que l'exportation de la production vers le Canada soit possible ? Et vers la France métropolitaine ?

Annexe 4 : Coefficient de croissance d'unité thermique (TGC) issus de plusieurs études sur la truite arc-en-ciel (TAC), le saumon atlantique et l'omble de fontaine (adapté de Thorarensen et Farell, 2011).

Source	Espèce	TGC	Poids (en g)	Conditions d'élevage	Commentaire
Davidson et al., 2014	TAC	1,52	1 - 5097	SRA	—
Davidson et al., 2009	TAC	2,64	133 - 1401	SRA	Fort taux de renouvellement
	TAC	2,62	133 - 1366	SRA	Faible taux de renouvellement
Davidson et al., 2011	TAC	2,15	294 - 1161	SRA	Faible taux de renouvellement / ajout ozone
	TAC	1,84	296 - 993	SRA	Faible taux de renouvellement / sans ajout ozone
	TAC	2,52	151 - 1348	SRA	Faible taux de renouvellement / ajout ozone
	TAC	2,54	151 - 1379	SRA	Fort taux de renouvellement / sans ajout ozone
	TAC	1,78	18 - 206	SRA	Fait taux de renouvellement / sans ajout ozone
	TAC	1,65	18 - 180	SRA	Faible taux de renouvellement / sans ajout ozone
Good et al., 2010	TAC	2,56	64 - 849	SRA	Fort concentration CO2
	TAC	2,55	64 - 817	SRA	Faible concentration CO2
Davidson et al., 2019	TAC	2,41	407 - 1911	SRA	Avec utilisation acide peracétique (désinfectant)
	TAC	2,45	407 - 1954	SRA	Sans utilisation acide peracétique
Pedersen et Wik, 2020	TAC	1,94	—	SRA	Valeur utilisée dans un outil de modélisation de SRA
Davidson et al., 2016	Saumon Atl	2,01	340 - 4200	SRA	Souche domestiquée « St John River »
	Saumon Atl	1,65	750 - 4100	SRA	Souche domestiquée « Cascade 1 »
	Saumon Atl	1,86	510 - 4900	SRA	Souche domestiquée « Cascade 2 »
Davidson et al., 2017	Saumon Atl	1,74	102 - 1148	SRA	Forte concentration NO3
	Saumon Atl	1,76	102 - 1174	SRA	Faible concentration NO3
Good et al., 2018	Saumon Atl	1,45	197 - 2879	SRA	Forte concentration CO2
	Saumon Atl	1,46	197 - 2896	SRA	Faible concentration CO2
Davidson et al., 2016	Saumon Atl	2,12	281 - 1720	SRA	Aliment à base de farine de poisson
	Saumon Atl	2,14	281 - 1716	SRA	Aliment à base de farine végétale
Thorarensen et Farell, 2011	Saumon Atl	2,7	—	SRA	Recommandation faite à partir de leur état de l'art
Nordgarden et al., 2003	Saumon Atl	0,3 – 3,9	1086 - 5190	Raceway	—
Sveier et Lied, 1998	Saumon Atl	3,82	2866 - 4955	Raceway	—
Krogdalen et al., 2004	Saumon Atl	3,09	199 - 296	Raceway	—

Kiessling et al., 1995	Saumon Atl	3,02	—	Raceway	—
Thodesen et al., 1999	Saumon Atl	2,96	814 - 1455	Raceway	—
Opstvedt et al., 2003	Saumon Atl	2,86	120 - 169	Raceway	—
Gridale-Helland et al., 2007	Saumon Atl	2,56	485 - 962	Raceway	—
Bjerkeng et al., 2007	Saumon Atl	2,15	695 - 1208	Raceway	—
Thodesen et al., 2001	Saumon Atl	1,08	148 - 191	Raceway	—
Mørkøre et Rørvik, 2001	Saumon Atl	1,24 – 4,94	90 - 5100	Cage en mer	—
Karalazos et al., 2007	Saumon Atl	4,76	1168 - 1784	Cage en mer	—
Johnston et al., 2007	Saumon Atl	2,1 – 3,66	273 - 3807	Cage en mer	—
Johnston et al., 2002	Saumon Atl	2,61 – 3,11	57 - 5363	Cage en mer	—
Morris et al., 2003	Saumon Atl	2,39 – 2,77	3600	Cage en mer	—
Lysfjord et al., 2004	Saumon Atl	2,69	35 - 107	Cage en mer	—
Bailey et al., 2003	Saumon Atl	2,68	1250	Cage en mer	—
Ytrestøyl et al., 2006	Saumon Atl	2,5	2000	Cage en mer	—
Ng et al., 2004	Saumon Atl	2,15 – 2,21	3370 - 4830	Cage en mer	—
Johnston et al., 2006	Saumon Atl	2,09	80 – 3807	Cage en mer	—
Morris et al., 2005	Saumon Atl	1,82	2530 - 3350	Cage en mer	—
Fischer al., 2009	Omble font	1,05	9 - 263	SRA	—
	Omble font	0,78	9 - 65	Raceway	—
Cooper et al., 1961	Omble font	1,35	3 - 536	Raceway	Souche domestiquée « pond 90 »
	Omble font	1,31	3 - 499	Raceway	Souche domestiquée « pond 94 »
	Omble font	1,35	3 - 419	Raceway	Souche domestiquée « pond 98 »
	Omble font	1,20	3 - 419	Raceway	Souche domestiquée « pond 92 »
	Omble font	1,15	2 - 349	Raceway	Souche domestiquée « pond 96 »
Cooper, 1953	Omble font	0,39	10 - 52	Raceway	Souche sauvage « Hunt Creek »
	Omble font	0,42	14 - 52	Raceway	Souche sauvage « Pigeon River »

 agriculture • alimentation • environnement	Diplôme : Ingénieur agronome de VetAgro Sup Spécialité : Sciences halieutiques et aquacoles Spécialisation / option : Aquaculture Enseignant référent : Dominique Ombredane
Auteur(s) : Valentin Piquard Date de naissance* : 27/05/1996	Organisme d'accueil : URAFFPA Adresse : UR AFPA USC INRA 340 Université de Lorraine - ENSAIA
Nb pages : 43 Annexe(s) : 4	2 avenue de la Forêt de Haye - BP 20163
Année de soutenance : 2020	54505 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex Maître de stage : Fabrice Teletchea
Titre français : L'aquaponie sur l'archipel de Saint-Pierre et Miquelon : état des lieux des connaissances actuelles et perspectives de développement Titre anglais : Aquaponics in the Saint-Pierre and Miquelon archipelago: current state of knowledge and development perspectives	
Résumé (1600 caractères maximum) : Après un bilan sur la situation actuelle de la production primaire sur l'archipel, un état de l'art de l'aquaponie dans l'Atlantique Nord est dressé. Saint-Pierre et Miquelon a la particularité de se trouver à l'interface de deux continents. Géographiquement l'archipel appartient à l'Amérique du Nord mais culturellement et administrativement c'est un territoire Français et Européen. Il s'agit de tirer parti de cette spécificité pour sélectionner ce qu'il y a de mieux sur les deux continents et ainsi de proposer une solution optimale pour l'archipel. Parmi toutes les espèces aquacoles envisageables à élever dans un système aquaponique, une sélection est faite sur la base de plusieurs critères (acceptabilité sociétale, performances zootechniques, exigences d'élevages et réglementation). Un travail similaire est présenté concernant les espèces végétales. Le choix de chaque espèce est discuté. Suite à des échanges avec plusieurs acteurs institutionnels et scientifiques, plusieurs scénarii de développement sont proposés.	
Abstract (1600 caractères maximum) : After an assessment of the current situation of primary production on the archipelago, a state of the art of aquaponics in the North Atlantic is drawn up. Saint-Pierre and Miquelon has the particularity of being at the interface of two continents. Geographically, the archipelago belongs to North America, but culturally and administratively, it is a French and European territory. The goal is to take advantage of this specificity to select the best of both continents and thus propose an optimal solution for the archipelago. Among all the possible aquaculture species to be raised in an aquaponic system, a selection is made on the basis of several criteria (social acceptability, zootechnical performance, farming requirements and regulations). Similar work is presented for plant species. The choice of each species is discussed. Following exchanges with several institutional and scientific actors, several developmental scenarios are proposed.	
Mots-clés : aquaponie, hydroponie, aquaculture, synthèse bibliographique, entretien Key Words: aquaponic, hydroponic, aquaculture, review, interview	

* Élément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires