



Université du Québec  
à Rimouski

**Utilisation de la télémétrie acoustique pour étudier les déplacements du homard d'Amérique (*Homarus americanus*) en dessous et à proximité d'un site mytilicole (*Mytilus edulis*) aux Îles de la Madeleine**

Mémoire présenté

dans le cadre du programme de maîtrise en Océanographie

en vue de l'obtention du grade de maître en sciences

PAR

© ÉMILIE SIMARD

Février 2017



**Composition du jury :**

**Réjean Tremblay, président du jury, Université du Québec à Rimouski**

**Philippe Archambault, directeur de recherche, Université du Québec à Rimouski**

**Christopher W. McKindsey, codirecteur de recherche, ministère Pêches et Océans**

**Gilles Miron, examinateur externe, Université de Moncton**

Dépôt initial le 4 août 2016

Dépôt final le 10 février 2017



UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI  
Service de la bibliothèque

Avertissement

La diffusion de ce mémoire ou de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire « *Autorisation de reproduire et de diffuser un rapport, un mémoire ou une thèse* ». En signant ce formulaire, l'auteur concède à l'Université du Québec à Rimouski une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de son travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, l'auteur autorise l'Université du Québec à Rimouski à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de son travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits moraux ni à ses droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, l'auteur conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont il possède un exemplaire.



## REMERCIEMENTS

Je remercie sincèrement mon directeur de recherche, Philippe Archambault, de m'avoir donné l'opportunité de travailler sur ce projet. Merci Phil pour ton soutien, tes précieux conseils et ton optimisme. Tu as une belle équipe avec toi et ce fût un réel plaisir d'avoir eu la chance de travailler avec vous.

Un énorme merci à mon codirecteur, Chris McKindsey. Chris merci pour ton soutien incroyable durant ce temps, ton écoute qui m'a fait grandement de bien et tes conseils. Merci aussi pour ces beaux moments, tant aux Îles de la Madeleine qu'à Montpellier! Merci sincèrement.

Annick, merci, merci et merci!! Merci pour tout le temps que tu m'as consacré, tes conseils, ton soutien, tu as su dire les bons mots aux bons moments. Un immense merci à l'équipe de terrain aux Îles de la Madeleine, votre expertise fût d'une grande aide : Anne-Sara Sean, François Roy et Paul Robichaud. Le terrain avec vous fut incroyable. J'en garderai de bons souvenirs.

Merci à Luc Comeau pour tes commentaires positifs et constructifs! Merci aux gens du laboratoire d'écologie benthique, vos commentaires ont toujours été très appréciés. Merci aux gens de l'ISMER pour votre présence qui a agrémenté mon quotidien.

Merci à mes ami(e)s de m'avoir soutenue. Merci à ma famille de m'appuyer dans mes choix qui m'ont rendue où je suis présentement. Un énorme merci à toi qui se reconnaît, merci tout simplement pour ta présence et d'être toi.





## AVANT-PROPOS

Ce projet de maîtrise s'insère dans un projet "Aquaculture Collaborative Research and Development Program (ACRDP)" ayant pour titre Développement durable de la conchyliculture en milieu ouvert aux Îles de la Madeleine : potentiel de production et interactions avec la pêche commerciale. Deux principaux instituts ont participé à ce projet : l'Institut des sciences de la mer à Rimouski et l'Institut Maurice-Lamontagne de Pêches et Océans Canada. Ce projet a été rendu possible grâce au soutien financier de Pêches et Océans Canada et de l'Institut des sciences de la mer

Merci à La moule du Large des Îles de la Madeleine pour leur importante collaboration. Merci aussi à Ocean Tracking Network pour leur aide technique et leur prêt de matériel qui a bonifié le projet.

Merci sincèrement au regroupement de Ressources Aquatiques Québec pour leur financement qui m'a permis de présenter les résultats de ce projet dans plusieurs congrès nationaux et internationaux. Merci aussi pour ces rencontres annuelles fortes enrichissantes!

### **ARTICLE**

Simard E, Drouin A, McKindsey C, Archambault P, Comeau L (en rédaction) Use of acoustic telemetry to determine the movement of American lobster (*Homarus americanus*) in relation with mussel farm (*Mytilus edulis*) in Iles de la Madeleine.

### **AFFICHES**

Simard E, Drouin A, McKindsey C, Archambault P, Comeau L (2015) The influence of offshore aquaculture on the movements of American lobster (*Homarus americanus*). International conference on fish telemetry, Halifax, Canada, July 12-17.



Simard E, Drouin A, McKindsey C, Archambault P, Comeau L (2015) The influence of offshore aquaculture on the movements of American lobster (*Homarus americanus*). Benthic ecology meeting, Quebec, Canada, March 4-8.

Simard E, Drouin A, McKindsey C, Archambault P, Comeau L (2014) Influence de la mytiliculture sur les déplacements du homard d'Amérique (*Homarus americanus*). Ressource Aquatique Québec, Québec, Canada, 13-14 novembre. **Prix de la meilleure affiche.**

Simard E, Drouin A, McKindsey C, Archambault P, Comeau L (2014) Influence of mussel farms on movements of the American lobster (*Homarus americanus*). Ocean Tracking Network, Ottawa, Canada, June 3-5.

#### **PRÉSENTATIONS ORALES**

Simard E, Drouin A, McKindsey C, Archambault P, Comeau L (2015) Analyse des déplacements du homard d'Amérique (*Homarus americanus*) en dessous et à proximité d'un site mytilicole. Ressource Aquatique Québec, Québec, Canada, 10-11 novembre. **Prix de la meilleur présentation orale**

Simard E, Drouin A, McKindsey C, Archambault P, Comeau L (2015) Spatial analysis of American lobster (*Homarus americanus*) movements under and around a mussel farm. Lobster symposium, Charlottetown, Canada, November 3-6.

Simard E, Drouin A, McKindsey C, Archambault P, Comeau L (2015) Spatial analysis of American lobster (*Homarus americanus*) movements under and around a mussel farm. Aquaculture, Montpellier, France, August 23-26.



Simard E, Drouin A, McKindsey C, Archambault P, Comeau L (2015) Analyse des déplacements du homard d'Amérique (*Homarus americanus*) sous un site mytilicole. ACFAS, Rimouski, Canada, 25-29 mai.



## RÉSUMÉ

L'aquaculture est connue pour créer un environnement qui a un effet attractif sur les espèces benthiques en raison de l'abondance de nourriture et d'abris. Des études antérieures ont démontré que le homard est plus abondant dans les sites de moules, ce qui laisse supposer que les fermes fournissent suffisamment de nourriture et d'abris, ce qui peut modifier leurs déplacements. Afin de mieux comprendre l'interaction entre la culture de moules bleues (*Mytilus edulis*) et le homard d'Amérique (*Homarus americanus*), le mouvement des homards a été étudié, aux Îles de la Madeleine à l'été 2014, à l'aide de la télémétrie acoustique sous un site mytilicole et dans un environnement sans activité mytilicole. Au total, 3 sites de 10 bornes réceptrices ont été déployés, pour couvrir une superficie de 14 km<sup>2</sup>. Durant une période de 2 mois, soixante homards ont été marqués et relâchés dans les sites d'étude. De façon plus précise, les hypothèses suivantes ont été testées : (1) les homards utilisent des zones plus petites sous la ferme de moule comparativement à un environnement sans activité mytilicole; et (2) les homards ont un temps de résidence supérieur sous le site mytilicole. Les résultats démontrent que 42 des 60 homards marqués ont quitté la zone d'étude et n'y reviennent pas. Cependant la direction des mouvements durant les premiers jours est modifiée par la ferme de moule; les homards relâchés dans la ferme de moule ont quitté dans des directions aléatoires tandis que ceux relâchés dans les sites à l'extérieur de la ferme de moule ont quitté instantanément vers le nord-est. Parmi les 18 homards qui sont retournés dans les sites; 9 ont fait des mouvements uniquement rectilignes tandis que 9 ont démontré une rétention sous les sites. Les homards ont utilisé des zones plus restreintes sous le site mytilicole comparativement à un environnement sans aquaculture. Cependant, le temps de résidence et la vitesse de déplacement n'ont pas différé entre les différents sites. La seule différence observable est dans le comportement des individus de grande taille (> 90 mm CL) qui ont tendance à passer plus de temps sous la ferme de moule que les homards de plus petite taille. En conclusion, la ferme de moules ne semble pas avoir un effet attractif sur les homards. Malgré une forte densité de homard sous le site mytilicole, il est possible qu'il y ait un important roulement dans la population, voir même à ce que la capacité de support du site soit atteinte. La compétition semble non négligeable; les homards de plus grandes tailles semblent défendre davantage leur territoire comparativement aux homards de petite taille qui vont aller chercher un abri dans un environnement plus adéquat.

*Mots clés* : Aquaculture, *Homarus americanus*, *Mytilus edulis*, Interaction, Télémétrie acoustique, Mouvement, Domaine vital, Comportement





## ABSTRACT

Bivalve aquaculture sites attract a variety of large benthic species because farms provide them an abundance of food and shelter. Previous studies have shown that lobster are more abundant in mussel farm sites than sites outside of farms, suggesting that farms provide adequate lobster food and shelter needs, thereby altering their movements. To better understand the interactions between mussel (*Mytilus edulis*) aquaculture and the American lobster (*Homarus americanus*), in Îles de la Madeleine in summer 2014, we evaluated lobster movements within and around a mussel farm using passive high-resolution acoustic telemetry. Three adjacent arrays of 10 acoustic receivers were deployed, including a central array within a mussel farm. Sixty lobsters were acoustically tagged and released within the receiver arrays. Their behaviour was evaluated, over a 2-months period, to determine whether the mussel farms impacted the lobsters 1) home range (predicted to be smaller in farms) and 2) their time spent in a given area (predicted to be greater in farms). Forty-two of the tagged lobster left the monitored site within the first day and never returned during the study. Directionality of lobster movements was impacted by the farm; lobsters released within the farm departed in random directions, whereas those released outside of the farm left predominantly in the NE direction. Of the 18 returning lobsters, 9 exclusively showed rectilinear movements and 9 displayed foraging behaviors. The home range of lobsters was reduced inside the mussel farm compared to the reference sites. However, the amount of time spent in a given area did not differ between the farm and reference sites. The only notable difference relating to time spent was related to size; large lobsters (> 90 mm carapace length) tended to spend more time inside the farm than small lobsters. In conclusion, mussel farm does not seem to have an attractive effect on lobsters. Despite a great density of lobsters under the mussel farm there may be a high turnover in the population, or the site carrying capacity for lobster has been reached. Competition also seems important; larger lobsters will better defend their territory compared to small lobsters, which may search for shelter in another, more suitable, environment.

*Keywords:* Aquaculture, *Homarus americanus*, *Mytilus edulis*, Interaction, Acoustic telemetry, Movement, Home range, Behavior



## TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS .....	vii
AVANT-PROPOS .....	ix
RÉSUMÉ .....	xv
ABSTRACT .....	xvii
TABLE DES MATIÈRES .....	xix
LISTE DES TABLEAUX .....	xxi
LISTE DES FIGURES .....	xxiii
LISTE DES ANNEXES .....	xxv
INTRODUCTION GÉNÉRALE .....	1
Contexte de l'aquaculture .....	1
Impact de l'aquaculture .....	2
Mouvements des homards .....	4
Téléométrie acoustique .....	5
Site d'étude .....	7
Objectifs et hypothèses .....	9
CHAPITRE I .....	11
1.1 Préambule .....	11
1.2 Use of acoustic telemetry to determine the movement of american lobster ( <i>Homarus americanus</i> ) in relation with mussel farm ( <i>Mytilus edulis</i> ) in Iles de la Madeleine .....	13
1.3 Introduction .....	13
1.4 Materials and methods .....	15
1.4.1 Study area .....	15
1.4.2 Acoustic telemetry design .....	16
1.4.3 Acoustic tag deployments .....	17
1.4.4 Data analysis .....	18
1.5 Results .....	20
1.5.1 General movement in the study site .....	20
1.5.2 Lobster behavior - mussel farm interactions .....	25

1.6	Discussion.....	29
1.6.1	General behaviour .....	29
1.6.2	Mussel farm - lobster interactions .....	29
1.6.3	Home range .....	31
1.6.4	Tagging methods .....	32
1.6.5	Offshore mussel farm dynamics.....	34
1.7	Conclusion .....	35
	Acknowledgements .....	36
	CONCLUSION GÉNÉRALE.....	38
	ANNEXE .....	45
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	47

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1</b> : Liste des études de télémétrie acoustique sur le homard d'Amérique .....	7
<b>Tableau 2.</b> Results of 2-way ANOVAs evaluating the effect of Sex (Male/Female) and Area (Inside/Outside the mussel farm) on the residence time and the walking speed.....	25
<b>Tableau 3</b> : Home range statistics for 9 tagged lobsters <i>Homarus americanus</i> in Îles de la Madeleine, Canada, between July 15 and September 17, 2014.....	.28



## LISTE DES FIGURES

- Figure 1** : Production mondiale de la pêche de capture et de l'aquaculture (millions de tonnes) de 1950 à 2012 (Données tirées de FAO, 2014).....2
- Figure 2** : Emplacement des sites mytilicoles aux Îles de la Madeleine .....8
- Figure 3** : Principales distances entre les filières du site mytilicole .....9
- Figure 4** : Map showing the study site in Îles de la Madeleine and the areas where 60 lobsters were released. The thirty black dots represent the 30 receivers in three different areas .....18
- Figure 5** : Movements of 60 lobsters in the first 24 hours in function of their release areas. For the mussel farm area, the grey color correspond to resident lobsters and the red the introduced lobsters.....21
- Figure 6** : Circular scatter diagrams representing the direction and distance (m) for 60 lobsters. The first circle (700 m) corresponds to the area covered by the farm. Circle dot represent the direction inside the area covered by the farm and the triangle represent the direction outside the area. In the diagram at left, black and red points represent lobsters in west and east area respectively. In the diagram at right, black points represent lobsters caught inside and red points lobsters caught outside the mussel farm. ....22
- Figure 7** : Movements of 18 lobsters returning within the study site .....23
- Figure 8** : Three movement types (A) Foraging and rectilinear, male 77 mm CL, 6 days (a) 3.3 days (b) 12 h (c) 2 days (d) 5 h; (B) Rectilinear, male 93 mm CL, (a) 15 h (b) 7 h and (C) Foraging, female, 90 mm CL, 12 days. White spots are the beginning and the black spots are the end of the movement.....24
- Figure 9** : Mean speed and time ( $\pm$  SE) spent inside and outside of the mussel farm in function of the sex of lobsters .....26
- Figure 10** : The relationship between lobster size and the time spent (hours) within the mussel farm. Females are represented by black circles; males are represented by white

circles. Equation male ( $y = 0.14x - 6.06$ ) and female ( $y = 8.14x - 615$ ).....26



## LISTE DES ANNEXES

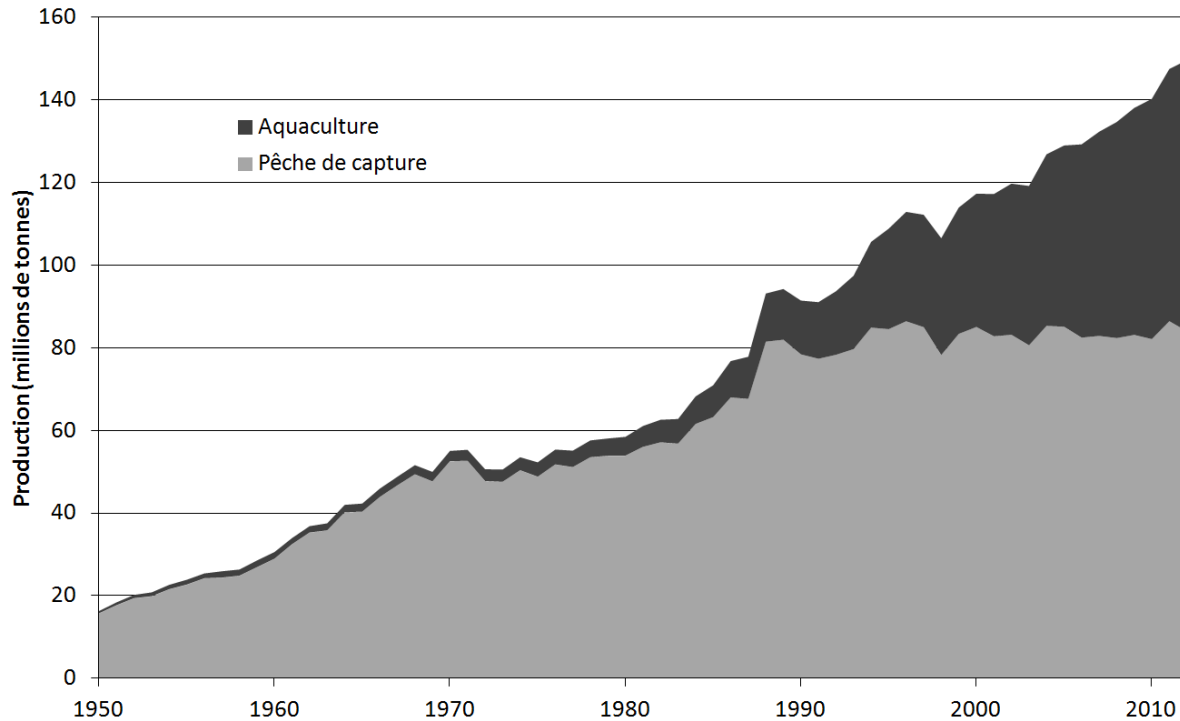
<b>Annexe 1</b> : Exemple d'analyse de kernels pour un individu mâle.....	44
---	----



## **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

### **CONTEXTE DE L'AQUACULTURE**

L'industrie de l'aquaculture est le secteur de production alimentaire dont la croissance mondiale est la plus rapide (FAO, 2014). De plus, depuis les années 1995, la production du secteur de la pêche commerciale tend à se stabiliser. D'un autre côté, pour subvenir aux besoins grandissants de la population, la production de l'aquaculture mondiale augmente de façon significative avec un taux de croissance de 8% par année (FAO, 2013), le plus élevé du secteur de la production alimentaire. En 2012, les produits de l'aquaculture représentaient 1/3 de la production totale du secteur de la pêche (FAO, 2014) (Fig. 1). Au Canada, la production aquacole totale a quadruplé au cours des vingt dernières années (MPO, 2013) et en ce qui concerne les mollusques, la production mondiale est passée de 1,1 million de tonnes en 1970 à 15,5 millions de tonnes en 2013 (FAO, 2014). La culture des moules dans l'est du Canada se fait généralement sur filières dans les baies ou les lagunes fermées. Cependant afin de favoriser l'expansion de l'industrie, des sites d'élevage établis en mer sont en développement. Les conditions de croissances ainsi que la dynamique du milieu d'élevage sont différentes en mer par rapport aux milieux protégés de faible profondeur. Cette nouvelle technique a aussi pour but de diminuer les conflits avec les activités de pêche commerciale.



**Figure 1:** Production mondiale de la pêche de capture et de l'aquaculture (millions de tonnes) de 1950 à 2012 (Données tirées de FAO, 2014)

### IMPACT DE L'AQUACULTURE

Il a été démontré que selon l'intensité des élevages, la production de bivalves peut entraîner des modifications à différentes échelles dans l'écosystème. L'une des plus étudiées est celle de l'influence de la culture des moules (*Mytilus* spp.) en suspension sur l'environnement benthique dû à l'augmentation de la charge organique venant de la biodéposition des fèces et pseudofèces (Hatcher *et al.* 1994; Newell, 2004) ainsi que des chutes de moules sur le fond (Fréchette 2012). Les biodépôts sont principalement dus au mode de nutrition des bivalves. Les bivalves se nourrissent de phytoplancton, de petit zooplancton ainsi que d'autres particules dans la colonne d'eau. Une partie est assimilée pour satisfaire aux besoins du bivalve et les parties non consommées sont rejetées en fèces (matières digérées) et pseudofèces (non digérées) (Navarro & Thompson, 1997). La

biodéposition qu'engendre la mytiliculture augmente la matière organique et accroît l'eutrophisation et influence les processus biogéochimiques.

L'enrichissement organique modifie les conditions du sédiment telles qu'une diminution des niveaux d'oxygène (en raison de l'augmentation de la respiration benthique, notamment par la prolifération bactérienne), une réduction des potentiels redox et une altération des flux de nutriments à l'interface sédiment-eau (Miron *et al.* 2005; Cranford *et al.* 2006; Richard *et al.* 2006; McKindsey *et al.* 2011). L'impact le plus souvent documenté de cette augmentation locale de l'enrichissement organique est un changement de la structure de la communauté benthique endofaunique vers un stade dominé par des espèces opportunistes et de petites tailles (Callier *et al.* 2007).

La mytiliculture apporte aussi des changements physiques dans l'environnement. L'impact physique le plus commun à un site mytilicole est l'accumulation de moules et de morceaux de coquilles sous les filières (Wilding & Nickell 2013). Les moules sont une source de nourriture pour de nombreuses espèces benthiques, ce qui amène une plus grande abondance d'espèces de prédateurs ou de nécrophages, tels les étoiles de mer, les crabes et les homards aux sites mytilicole ( Inglis & Gust 2003; Clynick *et al.* 2008; D'amour *et al.* 2008; Wilding & Nickell, 2013). L'élevage de la moule en suspension en mer amène aussi des structures physiques telles que des filières, des cordages et des blocs d'ancrage. De plus, les structures qui sont installées dans un environnement de sédiments sableux, créent de nouvelles structures pouvant être colonisées par des organismes sessiles et pouvant servir d'abris pour les organismes mobiles (McKindsey *et al.* 2011).

L'augmentation de la charge organique et l'ajout de structures physiques dans un site mytilicole peut favoriser la concentration de la macrofaune dans cet environnement. Il est aussi possible d'observer des variations de la distribution des organismes à l'intérieur des sites mytilicoles, avec une plus grande abondance des individus à proximité des filières (Clynick *et al.* 2008; D'Amours *et al.* 2008; McKindsey *et al.* 2011; Wilding & Nickell 2013; Drouin *et al.* 2015). Récemment, une étude de Drouin *et al.* (2015) a démontré que

les blocs d'ancrage modifient la distribution spatiale des homards (*Homarus americanus*) à un site mytilicole dans une lagune aux Îles de la Madeleine.

L'attraction des homards pour les sites mytilicoles soulèvent des inquiétudes chez certains pêcheurs de homards. Il est aussi possible que les homards trouvent les sites d'élevage de moules attrayants en raison de la nourriture et des abris et qu'ils y restent, les rendant ainsi inaccessibles pour la pêche commerciale. Les sites mytilicoles pourraient donc agir comme des pièges écologiques pour le homard. L'agrégation des homards dans les sites mytilicoles peut les rendre indisponible pour la pêche, comme suggéré pour divers espèces de poissons (Dempster *et al.* 2009).

### **MOUVEMENTS DES HOMARDS**

Le homard est une espèce commerciale importante dans l'est du Canada avec des débarquements annuels d'environ 74 000 tonnes en 2013 (MPO, 2013). Les homards sont charognards, se nourrissant de crabes, mollusques, poissons et autres. Il a un stade de vie pélagique (stades larvaires) et benthique (post-larve, juvénile et adulte). Le homard adulte est une espèce s'abritant majoritairement dans les substrats rocheux, réduisant ainsi leur vulnérabilité à la prédation (Factor, 1995). Des migrations saisonnières sont documentées; l'été les homards se déplacent vers les zones moins profondes et en hiver ils se déplacent vers les eaux plus profondes afin de profiter des températures plus élevées. (Munro & Therriault 1983).

L'étude des mouvements des homards a commencé dans les années soixante-dix par la méthode de marquage/recapture. Cette méthode consiste à comparer la position d'un individu marqué lors de la mise à l'eau et de son lieu de recapture. Cette méthode fournit des renseignements sur les mouvements à grande échelle spatiale et peut s'échelonner sur une longue échelle temporelle. La méthode de marquage/recapture à l'avantage de ne pas nécessiter beaucoup de matériel, donc un faible coût, ce qui permet d'identifier un grand nombre d'individus. Cependant, le taux de recapture peut s'avérer faible. Par exemple Watson *et al.* (1999) ont recapturé 1 212 sur 11 143 (10.9%) homards d'Amérique et

Campbell *et al.* (1985) en ont recapturé 5 375 sur 18 359 (29.3%). La méthode de marquage/recapture fournit des renseignements importants sur les déplacements des homards. Des études de marquage/recapture réalisées dans l'est du Canada ont conclu que les homards côtiers effectuent des déplacements sur de courtes distances (< 25km) (Comeau & Savoie 2002). Comeau & Savoie (2002) ont réalisé une méta-analyse sur le mouvement du homard d'Amérique. Les résultats démontrent que la distance moyenne parcourue par les homards étudiés par marquage/recapture est relativement faible, de l'ordre d'une dizaine de kilomètres et que leurs déplacements se font généralement le long des côtes.

D'un autre côté, l'étude de Dow (1974) a démontré que 6% des homards de grande taille identifiée dans Penobscot Bay, Maine, se sont déplacés jusqu'à plus de 100 km de leur point initial de remise à l'eau et l'étude de Uzmann *et al.* (1977) a démontré que 12 homards se sont déplacés de 93 à 161 km sur une période de 21 à 41 jours. Aussi, l'étude de Campbell & Stasko (1985) a démontré que les homards matures se déplacent sur de plus grandes distances que les homards immatures. Cependant, cette méthode fournit souvent seulement deux coordonnées (point initial et final), il n'est donc pas possible d'avoir des données intermédiaires afin de connaître le comportement des individus à différentes périodes de l'année et leurs interactions avec différents habitats et d'autres espèces.

### **TÉLÉMÉTRIE ACOUSTIQUE**

L'avancement technologique a ensuite permis d'innover vers la télémétrie acoustique. La télémétrie acoustique consiste en un système récepteur d'information (hydrophone) et un système de transmetteurs, qui sont fixés sur des animaux d'intérêt. Le système peut rester en place plusieurs mois afin d'avoir des données d'un ou plusieurs individus. L'utilisation de la télémétrie acoustique permet donc de recueillir des données à haute résolution afin d'obtenir une représentation de l'usage de l'habitat et des déplacements des individus à différentes échelles spatiales et dans différents environnements. Cet outil permet d'avoir des données précises permettant de mieux comprendre les comportements inter et intra-espèces, l'utilisation de l'habitat, la territorialité ainsi que les comportements

de reproduction (Pittman & McAlpine 2003). Les suivis par télémétrie acoustique ont démontré leurs pertinences dans le cadre de recherches portant sur les crustacés, notamment le crabe commun, *Cancer irroratus* (Comeau *et al.* 2012) et les homards, *Homarus americanus* et *Homarus gammarus* (Golet *et al.* 2006; Moland *et al.* 2011; Skerrett *et al.* 2015). Chez le homard d'Amérique, la télémétrie acoustique a été utilisée afin de mieux comprendre le lien prédateur-proie (morue de l'Atlantique, *Gadus morhua*, McMahan *et al.* 2013), le comportement des homards résidents et la dispersion entre les individus (Bowlby *et al.* 2007), la zone d'influence d'appât de pêche (Watson *et al.* 2009) et les mouvements saisonniers (Goldstein & Watson 2015) (voir Tableau 1). Ces études ont permis d'obtenir des renseignements à différentes résolutions sur le mouvement et les interactions des homards. À notre connaissance, les interactions entre la culture de moule et le comportement des homards d'Amérique n'ont jamais été documentées. Étant donné que le homard d'Amérique a une valeur commerciale élevée, il est important de comprendre comment il s'adapte et/ou modifie ses comportements face à ces nouvelles structures aquacoles érigées en mer. La télémétrie acoustique a donc été utilisée afin d'évaluer l'influence d'un site mytilicole sur les mouvements des homards en suivant leurs déplacements à l'intérieur et à l'extérieur de celui-ci.

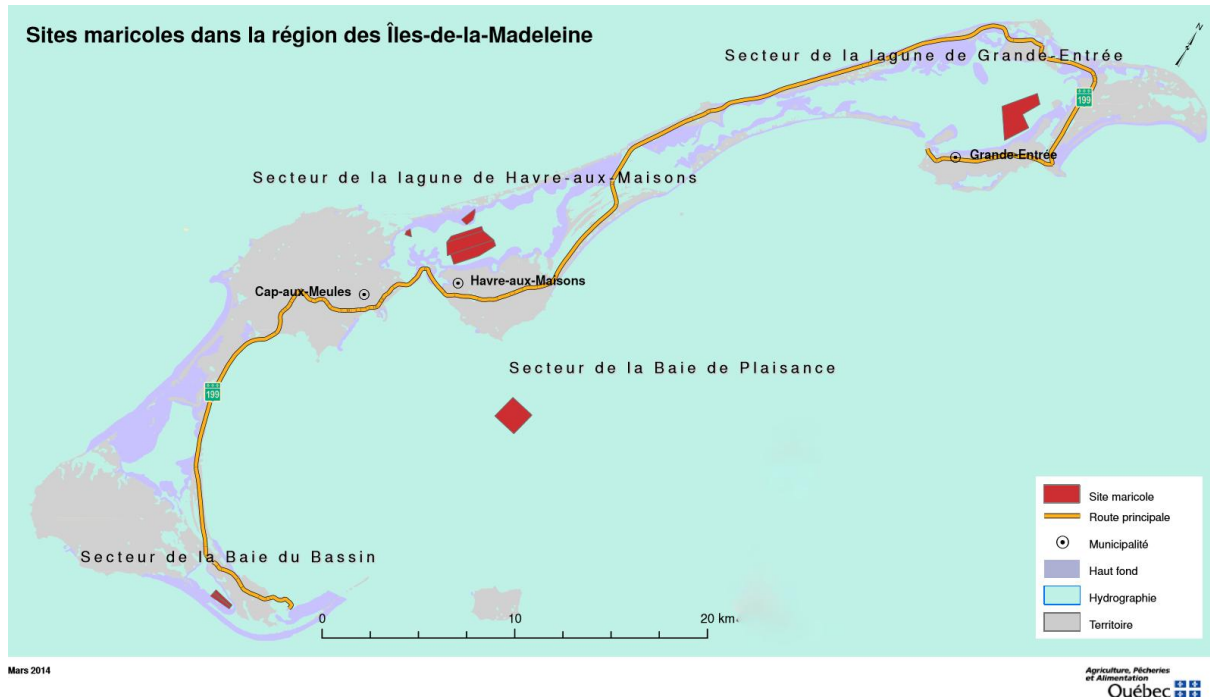


**Tableau 1** : Liste des études de télémétrie acoustique sur le homard d'Amerique

Es pèce	Auteurs	Sujet général	Nbr. ind. identifié
<i>Homarus americanus</i>	Bowlby et al. (2007)	- Mouvement des homards résidents - La dispersion entre les individus	119
	Goldstein et al. (2015)	- Mouvements saisonniers	45
	Golet et al. (2006)	- Patron de déplacement pour le relâchement des larves - Patron de déplacement journalier du homard dans son habitat naturel	44
	Maynard et al. (1984)	- Étude sur le mouvement de courte durée - Impact de la manipulation des homards	25
	McMahan et al. (2013)	- Effet des prédateurs (morue) sur le comportement des homards	5
	Scopel et al. (2009)	- Domaine vital du homard	63
	Tremblay et al. (2003)	- Mouvement à fine échelle	5
	Watson et al. (1999)	- Mouvements des homards - Utilisation de l'habitat	26
	Watson et al. (2009)	- Déterminer la zone d'influence de l'appât de pêche	25

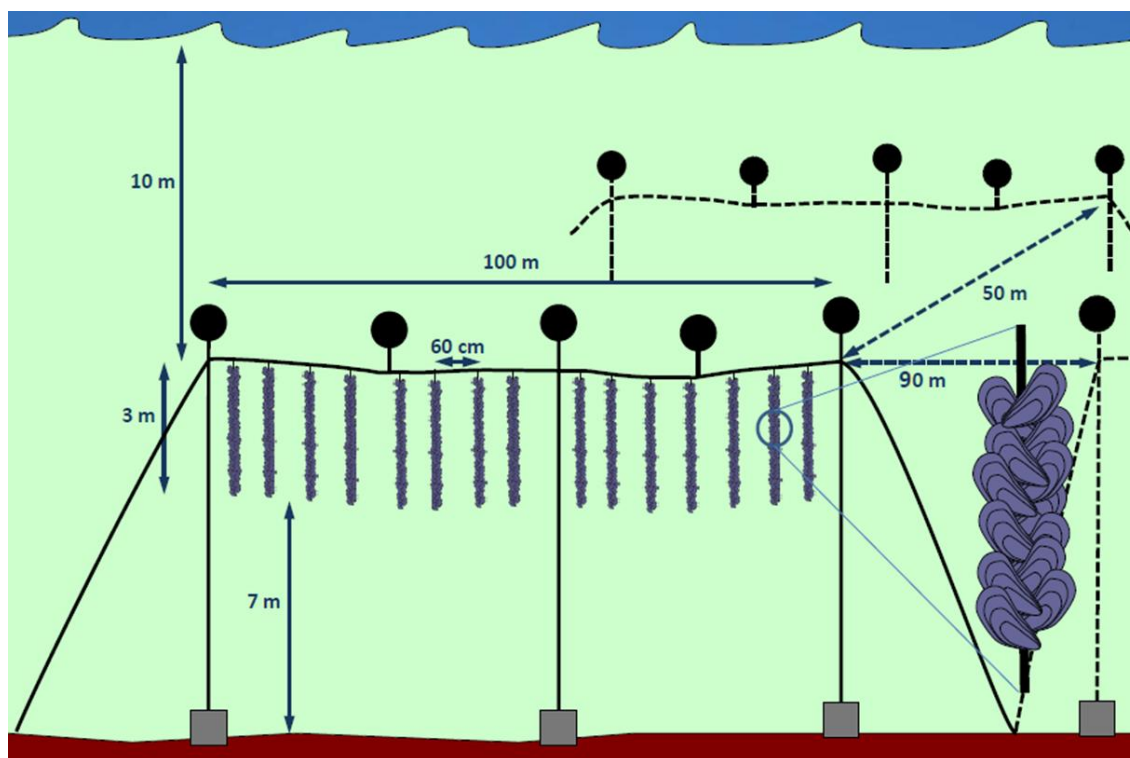
### SITE D'ÉTUDE

L'élevage de la moule bleue (*Mytilus edulis*) aux Îles de la Madeleine se pratique majoritairement en lagune, un environnement contrôlé d'une faible profondeur où la pêche commerciale n'est pas permise. Par contre, l'implantation d'un site mytilicole exige une profondeur minimale ( $\approx 6$  m) et avec l'expansion de l'aquaculture, l'espace disponible et propice dans les lagunes est vouée à une saturation. C'est pour cette raison que l'industrie de l'aquaculture innove en installant des fermes de culture de moule sur filières directement en mer (Fig. 2).



**Figure 2 :** Emplacement des sites mytilicoles aux Îles de la Madeleine (MAPAQ, 2014)

Le site à l'étude est une ferme mytilicole située à 3 km des côtes de la Baie de Plaisance, aux Îles de la Madeleine. La profondeur moyenne de la zone à l'étude est de 18 mètres et est principalement sur un fond sableux. Le site mytilicole est composé de 27 rangés de 7 filières d'une longueur de 100 m. Au total, 90 m sépare les rangées entre elles et chaque filière est séparée par 50 m perpendiculaire. Les boudins de moules (3 m) sont suspendus dans la colonne d'eau à environ 10 m sous la surface (Fig. 3). Le site couvre une superficie de 2.5 km<sup>2</sup>. Différents types de maturité de moules sont observés dans ce site, par contre il n'y a pas de cartographie précise pour les localiser.



**Figure 3 :** Principales distances entre les filières du site mytilicole

### OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES

L'objectif de cette étude est de mieux comprendre la dynamique des déplacements (vitesse de déplacement, temps de résidence, domaine vital) du homard d'Amérique à l'intérieur d'un site mytilicole en mer comparativement à un environnement sans activité mytilicole. La mytiliculture s'effectue généralement sur fond sableux et crée un environnement pouvant attirer les espèces benthiques. Il a déjà été observé que la présence d'installations mytilicoles influencent la dispersion des homards en raison d'une plus grande abondance de proie et d'habitats comparativement à des habitats références adjacents (Clynick *et al.* 2008; D'Amours *et al.* 2008; Drouin *et al.* 2015). Cependant, il est à noter que le substrat sableux n'est pas un habitat préférentiel pour les homards d'Amérique. La télémétrie acoustique passive a été utilisée pour tester deux hypothèses, soit que (1) les homards ont un temps de résidence supérieur sous le site mytilicole et que (2)

les homards utilisent des aires plus restreintes sous la ferme de moule comparativement à un environnement sans aquaculture. Cette étude s'insère donc dans l'avancement des connaissances concernant la présence d'un site mytilicole sur le comportement des homards d'Amérique à grande échelle et dans un environnement ouvert.

## CHAPITRE I

### UTILISATION DE LA TELEMETRIE ACOUSTIQUE POUR DETERMINER LE MOUVEMENT DU HOMARD D'AMERIQUE (*HOMARUS AMERICANUS*) EN RELATION AVEC UN SITE DE CULTURE DE MOULE BLEUE (*MYTILUS EDULIS*) AUX ÎLES DE LA MADELEINE.

#### 1.1 PREAMBULE

Cet article, intitulé « Use of acoustic telemetry to determine the movement of American lobster (*Homarus americanus*) in relation to a mussel farm (*Mytilus edulis*) in Iles de la Madeleine», fut rédigé en collaboration avec les Drs. Christopher W. McKindsey, Philippe Archambault, Annick Drouin et Luc Comeau. En tant que premier auteur, ma contribution à ce travail fût la rédaction, la recherche de la documentation scientifique, le développement du projet sur le terrain ainsi que la recherche des méthodes d'analyses de données. Le professeur Philippe Archambault a développé l'idée original du projet en collaboration avec les Drs. Christopher McKindsey et Luc Comeau. Tous trois ont également aidé au développement du projet ainsi qu'à la révision de l'article. Annick Drouin a aidé au développement du projet, des méthodes d'analyses et à la rédaction.

Une version préliminaire de l'article a été présentée dans le cadre de deux conférences: *Aquaculture* à Montpellier (France) à l'été 2015 ainsi que le *Lobster Symposium* à Charlottetown (Canada) à l'automne 2015.

**Simard E**, Drouin A, McKindsey C, Archambault P, Comeau L (2015) Spatial analysis of American lobster (*Homarus americanus*) movements under and around a mussel farm. *Aquaculture*, Montpellier, France, August 23-26.

**Simard E**, Drouin A, McKindsey C, Archambault P, Comeau L (2015) Spatial analysis of American lobster (*Homarus americanus*) movements under and around a mussel farm. *Lobster symposium*, Charlottetown, Canada, November 3-6.



## **1.2 USE OF ACOUSTIC TELEMETRY TO DETERMINE THE MOVEMENT OF AMERICAN LOBSTER (*HOMARUS AMERICANUS*) IN RELATION TO A MUSSEL FARM (*MYTILUS EDULIS*) IN ÎLES DE LA MADELEINE**

### **1.3 INTRODUCTION**

Bivalve aquaculture has been shown to have a variety of ecosystem-level effects. The influence of suspended mussel (*Mytilus* spp.) culture on the benthic environment, has been studied with respect to enhanced organic loading in farm sites from biodeposition of mussel feces and pseudofeces (Hatcher *et al.* 1994; Newell 2004) or to mussel fall-off (Fréchette 2012). Organic loading due to mussel biodeposition may alter sediment conditions such that oxygen levels are decreased (due to increased benthic respiration), sediment sulfide levels are increased, redox potentials are reduced, and nutrient fluxes at the sediment-water interface are altered (Richard *et al.* 2006, 2007; McKindsey *et al.* 2011). Nonetheless, the most commonly reported impact of this locally increased organic loading is a shift in benthic infaunal community structure towards one that is dominated by smaller opportunistic species (Giles & Pildich 2006; Callier *et al.* 2007). In addition, the most evident physical effect of mussel farms is often the accumulation of mussel shells and shell hash below longlines (Wilding & Nickell 2013). Fallen mussels serve as a food source for many macrobenthic species and thus there is commonly an increase in the abundance of predatory and scavenging species, such as seastars, crabs, and lobsters, in mussel farms relative to areas outside of mussel farms (Inglis & Gust 2003; Clynick *et al.* 2008; D'Aours *et al.* 2008; Wilding & Nickell 2013). The addition of the physical structure associated with suspended mussel culture (longlines, dropper lines and anchor blocks) also often creates novel hard habitats in soft-bottom areas that can be colonized by sessile fouling organisms and serve as shelter for various mobile species (McKindsey *et al.* 2011). Together, mussel farm-related increases in organic loading and the provision of physical structure have been suggested to concentrate macrofauna in farm sites, at times also creating within-farm variation in the abundance of these organisms (D'Aours *et al.* 2008; McKindsey *et al.* 2011; Wilding & Nickell, 2013; Drouin *et al.* 2015).

Recently, Drouin *et al.* (2015) used observational and manipulative studies to show that the spatial distribution of macrofauna (lobster, crab, sea stars and flounder) in a lagoon in Îles de la Madeleine, eastern Canada, was due to the distribution of food resources (i.e., fallen mussels from a mussel farm or farm-related modified infaunal or macrofaunal communities) in the farm and surrounding area. The abundance of lobster was also greatly increased by the presence of anchor blocks used in the farm site. It was suggested that future studies should examine the movement of lobster in and around mussel farms to better understand the potential of mussel farms of acting as ecological traps for lobster, whereby the aggregation of the species within farm sites may make it more vulnerable to predation, including fishing, as has been suggested for various fishes (Dempster *et al.* 2009). It is also possible that the opposite effect may occur, whereby lobster may find mussel farm sites so attractive that they remain in culture sites, thus making them inaccessible to the fishery. Information on lobster movement is needed to evaluate both possibilities.

To better understand general lobster movements over large spatial scales, a variety of mark/recapture methods have been used. For example, Dow (1974) showed that 6% of the large lobsters tagged in Penobscot Bay, Maine, traveled greater than 100 km. Using the same technique, Uzmann *et al.* (1977) showed that 12 lobsters travelled distances ranging from 93 to 161 km over periods of 21 to 41 days. The advent of acoustic telemetry has allowed the recognition of meso-scale lobster movements. For example, telemetry-based studies have shown that lobsters display three types of movement: local meandering (or homing – the ability for a lobster to locate a previously occupied shelter after foraging), medium distance locomotion (or nomadic movement – undirected long movements that may require movements over periods greater than a day, thus displacing a lobster away from its normal foraging/shelter area) and rapid excursions (migratory movements that take reproductively active females from their forage/shelter areas to different areas to release eggs) (Herrnkind 1980; Watson *et al.* 1999). More recent advances in telemetric methods have enabled the elucidation of fine-scale variation in movements, including habitat-related movements, foraging ecology, territoriality, and reproductive activities (Pittman and



McAlpine 2003). Notably, this includes work done on rock crab (*Cancer irroratus*) (Comeau *et al.* 2012) and lobsters (*Homarus americanus* and *Homarus gammarus*) (Moland *et al.* 2011; Golet *et al.* 2006; Skerrett *et al.* 2015). For *H. americanus*, the technology has led to a better understanding of predator (Atlantic cod *Gadus morhua*)-prey interactions (McMahan *et al.* 2013), dispersal behavior (Bowlby *et al.* 2007), and the influence of bait in trapping areas (Watson *et al.* 2009). However, to our knowledge, interactions between longline mussel culture and *H. americanus* behaviour have not been investigated.

Given that suspended mussel culture provides both appropriate shelter (anchor blocks) and an abundance of food options (i.e., fallen mussels and scavenging species), and that lobster are typically more abundant in mussel farms than they are in the surrounding environment, it is hypothesized that the presence of mussel culture sites encourages the establishment of a resident lobster population. Following this logic, it could be further hypothesized that culture-resident and other lobsters within a mussel farm display distinct behaviours. In this study, we used acoustic telemetry methods to evaluate the influence of an offshore longline mussel farm on the fine-scale movements of American lobsters. Specifically, we examined the hypotheses that (1) lobsters spend more time within mussel farm area than they do outside of farms; and (2) lobsters use smaller areas under mussel farm than they do in similar environments without aquaculture activities. This study thus advances knowledge on the influence of a mussel site on the behavior of American lobsters over a large scale in an offshore environment.

## **1.4 MATERIALS AND METHODS**

### **1.4.1 Study area**

The study was conducted in Baie de Plaisance, Îles de la Madeleine (47.3613N, 61.7447W), eastern Canada, from July 15 to September 17, 2014. The study area was characterized by a mostly sandy bottom at a mean depth of 18 m (range: 15-22 m). The focal area was an offshore (3 km south of the coast) blue mussel (*Mytilus edulis*) farm that

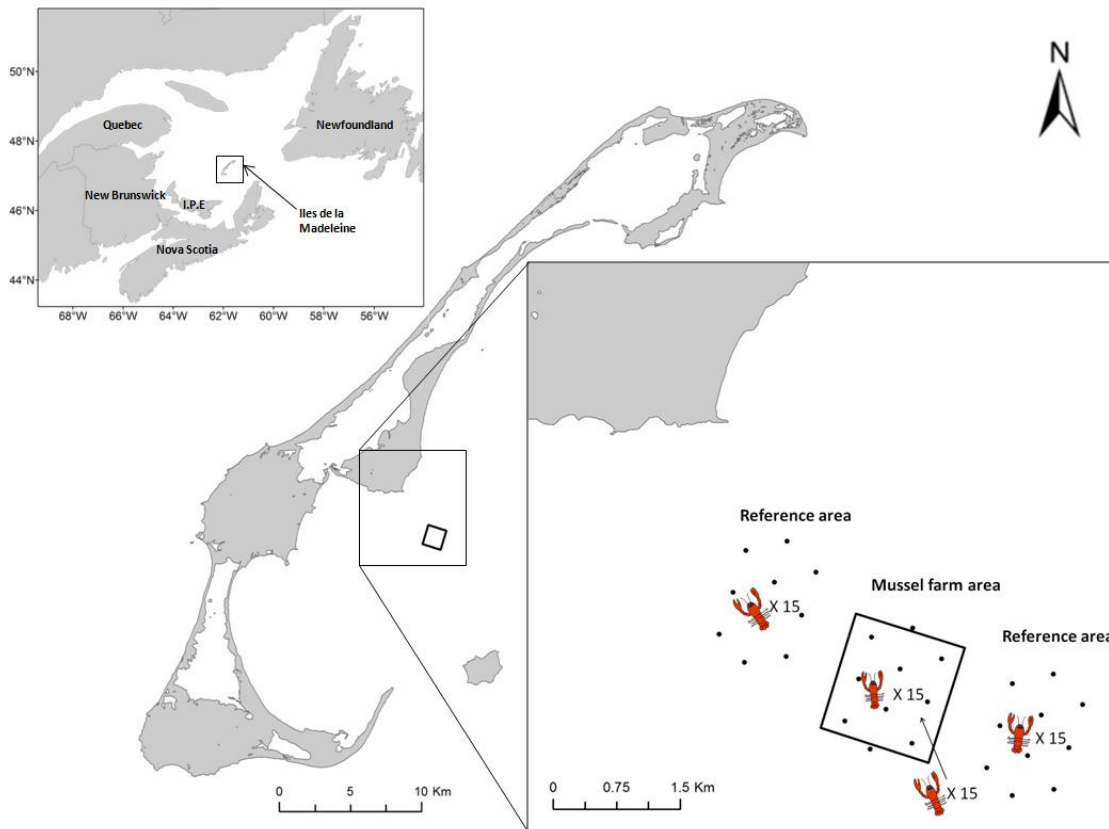
had been in operation for 3 years at the time of the study. The 2.5 km<sup>2</sup> farm site has 27 rows of 7 longlines (100 m each). Each row is separated from the adjacent by 90 m and within rows, longlines are separated by 50 m. Mussel sleeves (3 m long) are suspended mid-water about 10 m above the bottom. Age classes of mussels are distributed haphazardly throughout the farm and no attempt was made to focus on lobsters in any specific area of the farm.

#### **1.4.2 Acoustic telemetry design**

Three adjacent arrays of 10 acoustic receivers (VEMCO, VR2W, 69 Hz), each receiver separated by 500 m from its closest neighbour (distances were determined following a 1 week long range test to determine optimal receiver spacing), were established, the central one being within the mussel farm. An array was also set up ca. 1 km to the east and 1 km to the west of the central mussel farm array on June 26 and removed September 15, 2014. This corresponds to the period directly following the lobster fishing season (to avoid concerns of lobster fishing damaging the arrays) until lobsters commonly moult in the study site. Each array covered an area of ca 1.8 km<sup>2</sup> but the range tests underestimated the sensitivity of the receivers and the total area covered was closer to ca 14.8 km<sup>2</sup>. Each receiver was deployed using SCUBA divers such that receivers were attached by cable ties to the top of 2-m steel garden posts, the post being half buried in bottom sediments using a diver-deployed benthic sledge. The use of stakes avoided using anchors that could be used by lobster as refuges in the study site. To increase the precision of lobster movement data, a synchronization tag (VEMCO, V13, 69 Hz) was affixed 1 m above each receiver to a 2 m rope attached to each stake that was kept in the vertical position by a hard buoy affixed to the distal end of each rope. Reference tags (VEMCO, V16, 69 Hz) were placed in the centre of each array to further increase the precision of spatial data.

### 1.4.3 Acoustic tag deployments

A total of sixty lobsters (32 males, 28 females) ranging in size from 63 mm to 122 mm (mean 81 mm  $\pm$  11 mm) cephalothorax length were caught using commercial fishing cages or by SCUBA divers on July 15, 2014, brought to the boat where they were fitted with acoustic transmitters (VEMCO, V9, 69Hz; transmitters were attached to cleaned – sandpaper followed by alcohol swabs – carapaces and affixed using LePage® Ultra Gel Control® Super Glue) and released back into the study arrays (Withy-Allen *et al.* 2013) on the seafloor. Lobsters were placed in plastic crates, transported to the bottom by divers in the same general area as they were captured (i.e. same GPS coordinates), and released. This approach reduces the likelihood of lobsters moving large distances following handling (Goldstein & Watson 2015). Manipulations took about 3 min for each lobster, which were released within about 30 min of being captured. A total of 15 lobsters were captured and released within the centre of the mussel farm array and within each reference area array. A further 15 lobsters were caught outside of the mussel farm and placed within the farm site to compare the behavior of resident and introduced lobsters (Fig. 4). Lobster movements were followed for 2 months, after the fishing season, from July 15 through September 15.



**Figure 4:** Map showing the study site in Îles de la Madeleine, Canada and the areas where 60 lobsters were released. The thirty black dots represent the 30 receivers in three different areas.

#### 1.4.4 Data analysis

Analyses were done using ArcGIS 10.2.1 and Geospatial Modelling Environment. Receivers were more efficient than predicted based on the range test. They captured signals from lobsters in a radius of ca. 800 m. Thus, the total surface covered by the 3 adjacent arrays was actually about 14 km<sup>2</sup>. Movement within the 24 h following release was compared by evaluating polar plots to determine the directionality of lobster movements within the mussel farm and reference arrays. Polar plots with a radius of 700 m, corresponding to the distance between where the tagged lobsters were deposited in the mussel farm and the edge of the mussel farm, were compared to show movements of

lobster immediately after being returned to the study site. Movements outside of these 1.4 km diameter areas were evaluated using further polar plots (i.e., movements of lobsters once they were outside of the 1.4 km diameter area used to construct the initial polar plots). This allowed comparisons of lobster movements within the mussel farm immediately after being tagged to those of lobsters outside of the farm returned at the same time and of lobster movements inside of the farm to those of the same lobsters once they left the farm. Movements recorded in the first 24 h were not compared to those of lobsters that subsequently returned to the study site because these data did not appear to reflect typical daily activity; they are more rectilinear and unidirectional. This removed potential bias in lobster movements due to the stress of tagging.

The remaining data were filtered to remove any points with a horizontal position error (HPE) > 30 m and that were computed based on a recording from a single receiver (Espinoza *et al.* 2011). To compare lobster movements between periods and areas, each step (segment with two positions) was standardized to the same temporal scale to determine direction, speed, and distance covered (Fortin & Dale 2005; Calenge *et al.* 2009). Lobster movements were analysed with respect to residence time and walking speed in the three areas. Residence times correspond to the cumulative time spent during the study by each lobster in different areas.

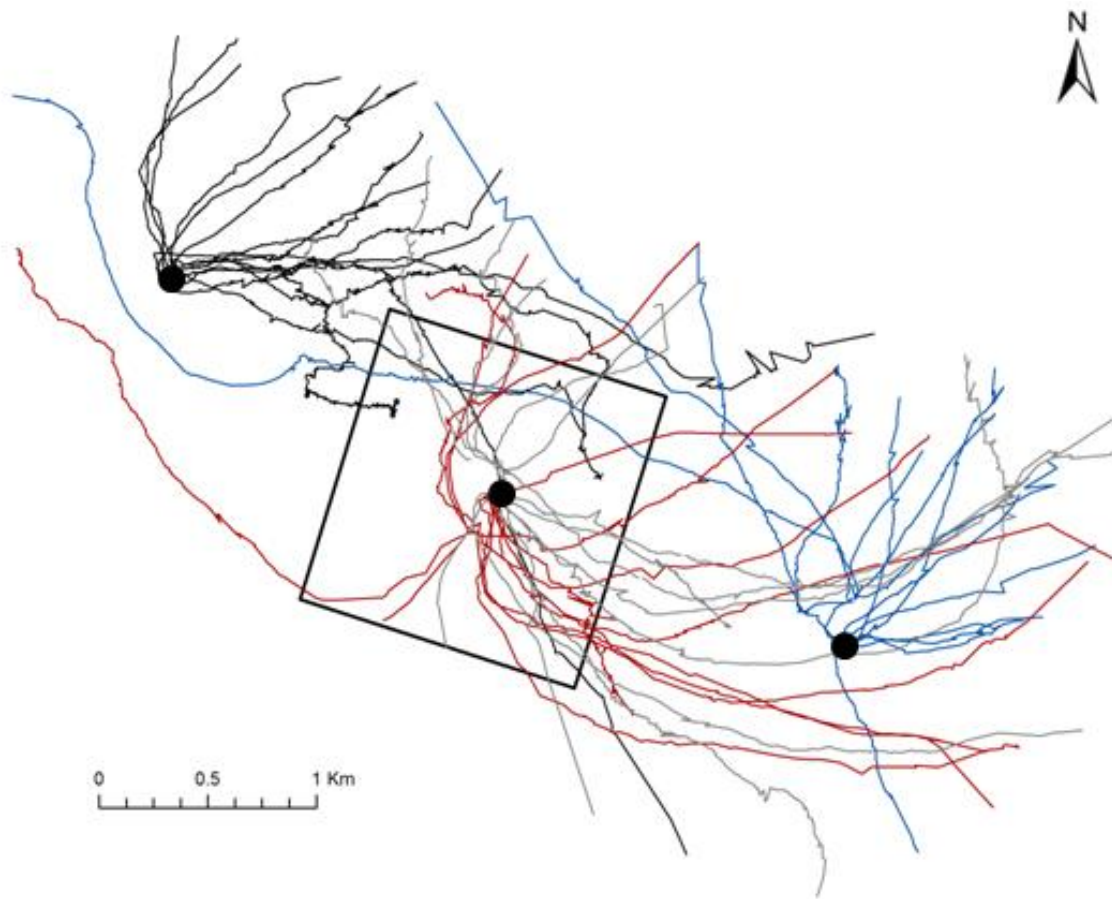
Statistical analyses were done using R (v.3.0.2) software. Variation in movement parameters (time, speed) were examined using ANCOVA and two-way ANOVA with the factor Site (mussel farm, reference east, reference west), Sex or Size of lobster as an independent variable. Assumptions of homoscedasticity were evaluated using the Barlett test (Quinn & Keough 2002). Data were transformed where necessary to satisfy the assumptions of ANOVA ( $\log x+1$ ). A posteriori comparisons were done using Tukey's tests. Regression analysis was used to evaluate the relationship between lobster size (mm CL) and the time spent in the mussel farm for females and males.

Home range analyses were performed using data from all lobsters that returned to the study site after 24h. Lobster home ranges were determined by a Fixed Kernel Density using Least-Square Validation as a smoothing parameter (Seaman & Powell, 1996). Kernel 95% and 50% utilisation distributions (UD) were calculated for each individual lobster (see Annexe I). The 50:95 UD ratio inside and outside of the farm indicate the degree to which lobsters concentrate their activities in a restricted area (Moland *et al.* 2011; Taylor & Ko 2011; Withy-Allen *et al.* 2013).

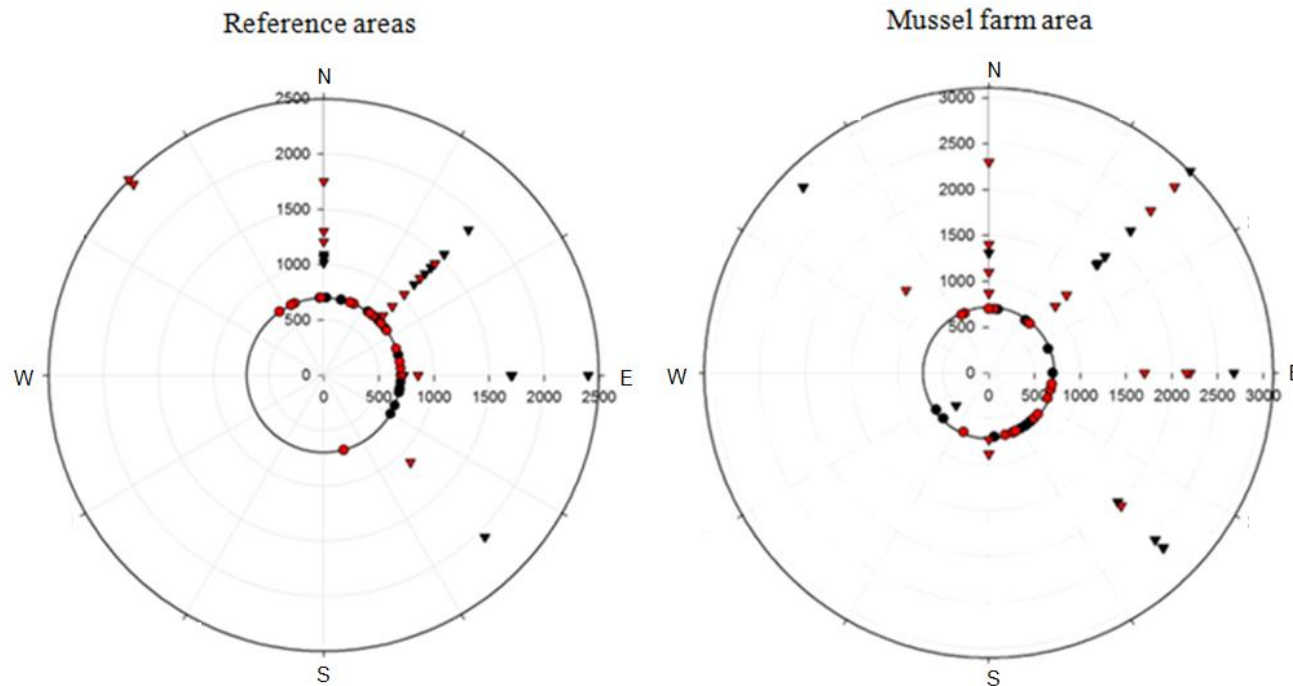
## **1.5 RESULTS**

### **1.5.1 General movement in the study site**

All lobster movements in the first 24 hours were rectilinear (Fig. 5). Tagged lobsters that were returned to reference areas moved mostly in the north-east direction both within and outside the 700 m radius area surrounding their release location. In contrast, lobsters that returned to and placed within the mussel area dispersed in more random directions immediately after their release (inside the mussel farm). However, these lobsters also moved in the NE direction once they had left the farm site (Fig. 6). The time that lobsters spent within the mussel farm and in an equivalent area in reference areas during the first day did not differ.



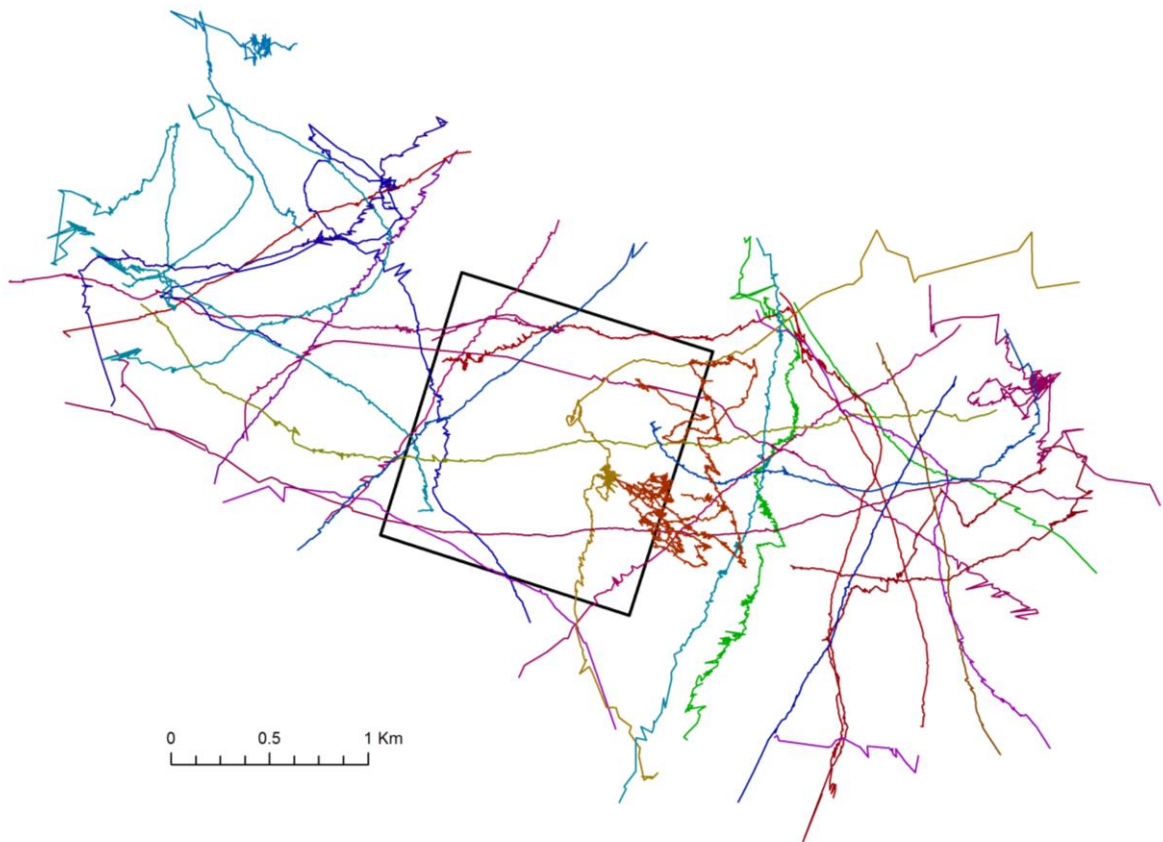
**Figure 5 :** Movements of 60 lobsters in the first 24 hours as a function of their capture and release areas. For the mussel farm area, the grey color corresponds to resident lobsters and the red to introduced lobsters. The blue and black color corresponds to lobsters released outside the mussel farm. Black dots represent the release point of lobsters in each area.



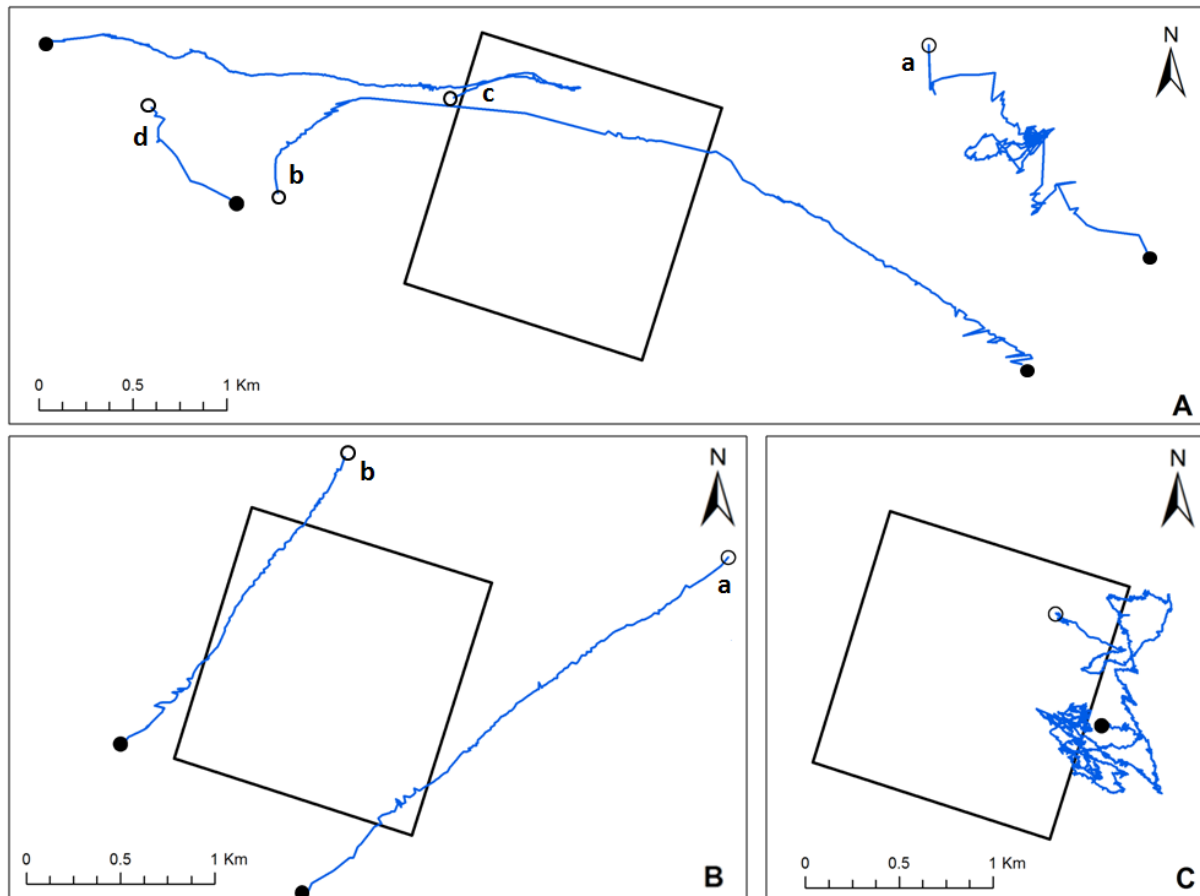
**Figure 6 :** Circular scatter diagrams representing the direction and distance (m) traveled by the 60 lobsters immediately after their release until they left the monitored area. The inner circle (700 m) corresponds to the area covered by the farm or equivalent area in the reference areas – roughly equivalent to the width of the receiver arrays. Round symbols represent the direction of lobster movements within farm or equivalent reference areas and triangle symbols represent the direction of lobster movements outside of these areas. For reference areas, black and red points represent lobsters in west and east reference areas, respectively. In the farm area, black and red points represent lobsters caught inside and outside the mussel farm, respectively.



Of the 60 tagged lobsters, 42 left the monitored studied site within the first day and never returned over the course of the 2-month period of the study. This group included 19 males and 23 females. The other 18 lobsters returned to the monitored site over the course of the study, 9 (7 males, 2 females) of which displayed only rectilinear movements and the other 9 (6 males, 3 females) displayed foraging behavior (Fig. 7, Fig. 8). The maximum distance travelled by an individual within the study site was 41.43 km (female, 75 mm CL) over two months. Cumulative residence time in areas over the 2-month observation period was relatively short and ranged from 2 h to 12 days. On average, lobsters were detected by receivers in the mussel area only 16% of the total time that lobsters were detected in the overall study site.



**Figure 7 :** Movements of 18 lobsters that returned to the study site



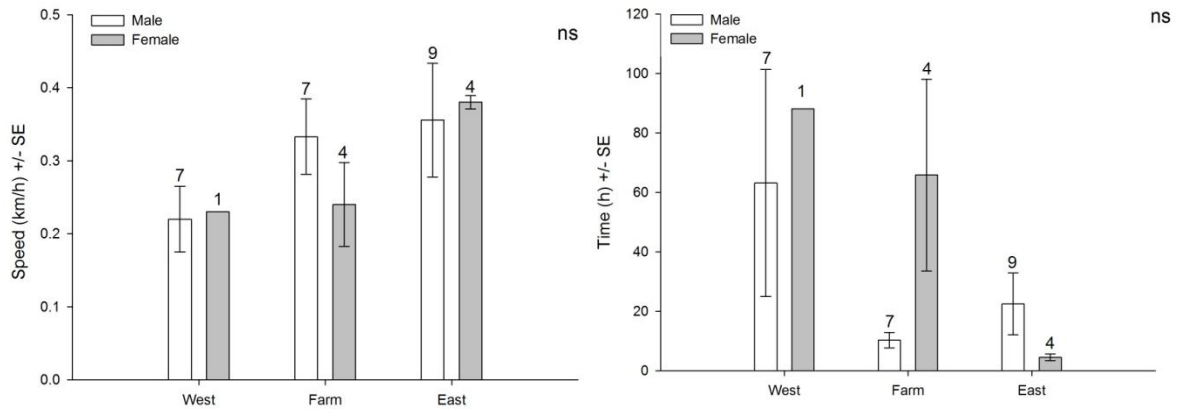
**Figure 8 :** Three movement types (A) Foraging and rectilinear, male 77 mm CL, 6 days (a) 3.3 days (b) 12 h (c) 2 days (d) 5 h; (B) Rectilinear, male 93 mm CL, (a) 15 h (b) 7 h and (C) Foraging, female, 90 mm CL, 12 days. White and black circles represent the beginning and end of movements, respectively.

### 1.5.2 Lobster behavior - mussel farm interactions

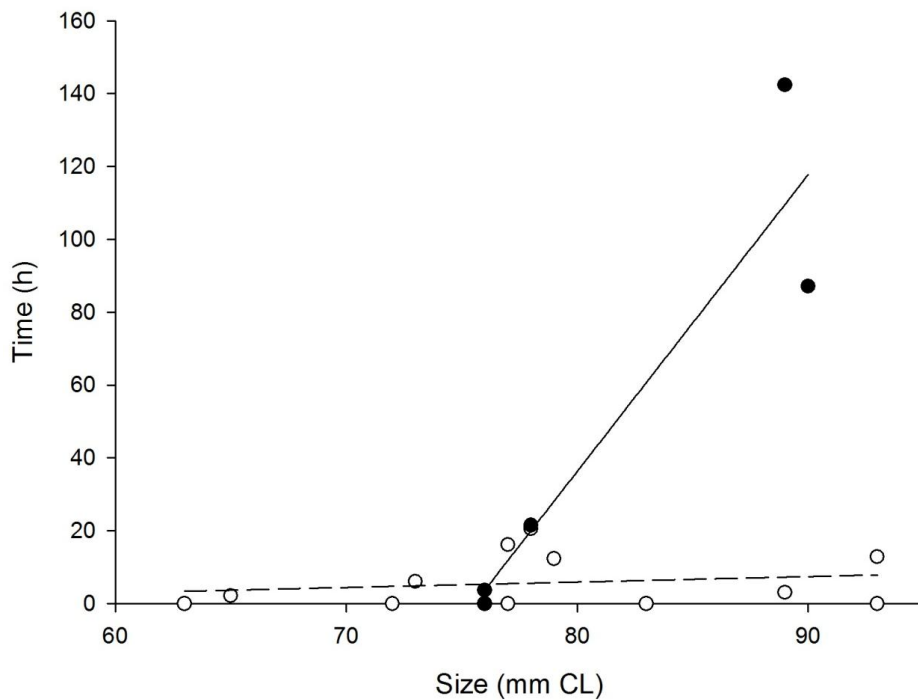
Walking speed and residence time spent within area types did not differ between lobster sexes (Table 2, Fig. 9). Although ANCOVA (with lobster size as the co-factor) did not detect significant differences in time male and female lobsters spent in different areas, lobster size was significantly related to the time spent inside the farm (ANCOVA;  $F_{2,26} = 4.172$ ,  $p = 0.0268$ ). Specifically, there was a trend for large ( $> 90$  mm CL) females to spend more time within the mussel area than male lobsters (Fig. 10).

**Table 2.** Results of 2-way ANOVAs evaluating the effect of Sex (Male/Female) and Area (Inside/Outside of the mussel farm) on the residence time and the walking speed of lobsters

Source	df	MS	<i>F</i>	<i>p</i>
<b>Time</b>				
Sex	1	0.0522	0.166	0.6867
Area	2	0.8705	2.775	0.0808
Sex × Area	2	0.7231	2.306	0.1197
Residual	26	0.3136		
<b>Speed</b>				
Sex	1	0.0007	0.002	0.969
Area	2	0.11069	20258	0.125
Sex × Area	2	0.04904	1.000	0.381
Residual	26	0.04902		



**Figure 9 :** Mean speed and time ( $\pm$  SE) spent by lobsters inside and outside of the mussel farm as a function of sex. Numbers above bars indicate sample sizes.



**Figure 10 :** The relationship between lobster size and the time spent (hours) within the mussel farm. Females are represented by black circles; males are represented by white circles. Equation male ( $y = 0.14x - 6.06$ ) and female ( $y = 8.14x - 615$ )

Lobster 95%, 50%, and 50:95 ratio surface kernels were compared for 9 lobsters (6 males, 3 females, size 72 to 90 mm CL) as only these lobsters displayed retention or foraging behaviours in the study site (Table 3). Home range sizes of these lobsters based on a kernel density estimator of the 95% within the mussel farm ranged from 32 566 m<sup>2</sup> to 413 574 m<sup>2</sup> (mean 159 013 ± SE 70 957 m<sup>2</sup>) and outside the mussel farm ranged from 4 887 to 1 236 707 m<sup>2</sup> (mean 543 273 ± SE 199 225 m<sup>2</sup>). Home range based on a 50% kernel within the mussel farm ranged from 2 539 to 237 547 m<sup>2</sup> (mean 68 158 ± SE 38 386 m<sup>2</sup>) and outside the mussel farm from 1595 to 134 432 m<sup>2</sup> (mean 61 465 ± SE 18 407 m<sup>2</sup>). Surface kernel 95% utilisation distribution was greater for male than female lobsters. Likewise, comparison of the 50:95 ratios showed that lobsters within the mussel farm seem to used smaller areas than lobsters in reference sites, although trend this was not statistically significant (ANOVA;  $F_{1,16} = 1.292$ ,  $p = 0.272$ ).

**Table 3 :** Home range statistics for 9 tagged lobsters *Homarus americanus* in Îles de la Madeleine, Canada, between July 15 and September 17, 2014

	Size (mm CL)	Total distance (km)	* IN 50% area (x10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> )	* IN 95% area (x10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> )	50:95 ratio (%)	* OUT 50% area (x10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> )	* OUT 95% area (x10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> )	50:95 ratio (%)
<b>Female</b>								
	78	33.33	21.24	121.69	17.45	134.43	1236.71	10.87
	89	16.46	2.54	60.21	4.22	—	—	—
	90	42.22	10.03	82.34	12.18	—	4.89	—
Mean ± SE		30.67 ± 7.55	11.27 ± 5.43	88.08 ± 17.97	11.28 ± 3.85	—	620.80 ± 615.91	—
<b>Male</b>								
	63	16.92	—	—	—	83.09	387.74	21.43
	72	12.35	—	—	—	1.60	81.18	1.96
	73	6.29	117.84	225.22	52.32	55.60	337.04	16.5
	77	21.51	53.57	282.72	18.95	128.24	864.89	14.83
	78	15.17	237.55	413.57	57.44	76.23	1377.88	5.53
	89	15.01	—	32.57	—	24.03	210.92	11.39
Mean ± SE		14.54 ± 2.06	136.32 ± 53.91	238.52 ± 79.16	42.90 ± 12.07	61.46 ± 18.40	543.27 ± 199.22	11.94 ± 2.95
<b>Overall mean ± SE</b>		19.92 ± 3.71	73.79 ± 36.99	174.05 ± 52.54	27.09 ± 9.06	71.89 ± 18.72	562.65 ± 187.01	11.79 ± 2.49

\* The 50% and the 90% area IN represent the core area under the mussel farm and OUT represent the reference area

## **1.6 DISCUSSION**

### **1.6.1 General behaviour**

The results represent, to the best of our knowledge, the first evaluation of the effect of longline mussel culture on lobster behaviour. Contrary to our predictions based on the general distribution of lobsters in and around mussel farms, this study showed that American lobsters are not strongly associated with the habitat created by longline mussel aquaculture. Most lobster that entered the farm site displayed only rectilinear movements – both outside and inside of the studied mussel farm. However, movements of half of the lobsters inside mussel farm were constrained relative to those of lobsters outside of the mussel farm, although this did not translate into spending more time within the farm than they spent in areas of the same size outside of the farm. There was also a trend for large lobster to spend more time within the mussel farm than did smaller lobsters.

### **1.6.2 Mussel farm - lobster interactions**

Lobsters that returned to the study area after 24 hours remained there for short periods of time, suggesting an ephemeral use of the study area. The literature is rich with accounts of lobster shelter affinity and a number of scientists have reported seeing the same lobsters in a given shelter on many occasions over stretches of a week or more (Cobb 1971; Ennis 1984; Karnofsky *et al.* 1989). In general, results from this study show that tracked lobsters moved considerable distances each day (mean of ca. 3 km day<sup>-1</sup>) and displayed more nomadic than sedentary behaviours. This same pattern of intermittent movements and nomadic behavior has also been observed in two species of crayfish (Gherardi *et al.* 2002; Robinson *et al.* 2000). Many factors may influence the tendency of lobsters to leave their core area and move to other environments: (1) the habitat created by the mussel farm on a sandy bottom is not a preferred habitat for lobsters (2) lobsters are known to undertake seasonal migrations along the coast of Îles de la Madeleine (Munro & Therriault 1983), and (3) depending on competition, small lobsters are less capable of defending a shelter and are more often evicted, requiring them to find another one.

Lobsters in the first day after being tagged display different behaviors in the farm and reference areas. Lobsters placed in the farm move in random directions before leaving the study area in northeast direction, although they do not spend more time in the area than those that were returned to the reference areas. Movement in the northeast direction are against the prevailing southwest current in the study area (El-Sabh 1976), suggesting that lobster movement is against the prevailing current. If this is so, the random movement of lobster within the mussel farm may be due to the physical structure of the farm altering currents within it, as has been described in other locations (Gibbs *et al.* 1991, Plew *et al.* 2005), such that lobsters continue to head into the prevailing current. Alternately, the observed behaviour inside the farm may be due to lobsters responding to the abundant prey and shelter within the farm site modifying their course so as to make it less rectilinear.

Lobsters that returned to the study area after 24 hours displayed two types of behaviours: rectilinear movement and foraging. Lobsters displayed rectilinear movements within the study area over variable distances and lengths of time, only to change course and travel rectilinearly in another, apparently random, direction (Turchin 1957). American lobsters are known to periodically make long excursions to new areas, or “neighborhoods”, and may stay in an area for a week or so and then move rapidly to another one a short distance away (Scopel *et al.* 2009).

Some lobsters were observed to display foraging behaviour. This type of behaviour is characterized by shorter step lengths and important turn angles between steps (Turchin 1957). This pattern was not observed more frequently within the mussel lease than reference areas, suggesting that the aquaculture site did not offer greater feeding opportunities. Again, this observation is contrary to our predictions based on the distribution of lobsters in an around near-by mussel farms (Drouin *et al.* 2015). Adult lobsters are mostly found associated with rocky bottoms, but may also be found in other benthic habitats, including mixed, sandy, and muddy bottoms, relying on shelter in the form of rocky heterogeneities or depressions they create in soft sediments (Factor 1995). Sandy habitats such as that of the study area are not typically considered to be of high quality for



American lobsters and more preferred habitats (i.e. rocky bottom) are located a relatively short distance (ca. 2 km) from the farm area (Gendron *et al.* 2014). Thus, movements of American lobster on rocky substrates (Tremblay *et al.* 2003; Goldstein & Watson 2015) showed more sedentary behaviors than those observed in the present study. The presence of preferred lobster habitat in close proximity to the mussel farm site may have reduced lobster homing behaviour, thus explaining the low number of lobster that remained in the farm site. Given the observed direction of lobster movements, lobsters tagged in the present study may have been in transition to reach those reefs.

The lobsters examined in the present study displayed much greater displacements than those examined in other studies of lobster movements on sandy habitats using acoustic telemetry. A possible reason for this distinction is the use of mesocosms in the other studies (Golet *et al.* 2006; Scopel *et al.* 2009; Watson *et al.* 2009), which may have hindered lobsters from displaying natural movement behaviours. Since sand is by far the dominant bottom type in the study region, the results from the present study may well describe movements of a great proportion of adult lobsters in the studied population.

### **1.6.3 Home range**

The large home ranges observed in the present study may indicate that American lobsters in the study area have low site fidelity and travel far from their core areas. However, home ranges may have been underestimated as they were evaluated over relatively short time periods, in summer. In comparison, American lobster home ranges observed in controlled environments have typically been reported as being much smaller than those reported in the present study, although they too may also be somewhat underestimated. For example, Scopel *et al.* (2009) measured home ranges of American lobsters in a large enclosure to be about 760 m<sup>2</sup>. Skerrit *et al.* (2015) observed smaller home ranges using unconfined experimental design; however, these were obtained with a different species, *H. gammarus*, which is known to have smaller home ranges than *H. americanus* (Moland *et al.* 2011). Moreover, the Skerrit *et al.* (2015) study was done over a gradient of different types of rocky surfaces, where shelters might favor smaller movements

and homing behavior. Goldstein & Watson (2015) followed American lobster in the Gulf of Maine within an area of ca. 375 km<sup>2</sup> and observed that only 30% of the tagged lobsters moved greater than 10 km from their general core area. Subsequent work on American lobster movement has been done in small mesocosms (Golet *et al.* 2006; Scopel *et al.* 2015) or by using manual ultrasonic tracking methods (Goldstein & Watson 2015) and thus may also have under-estimated home ranges. Comparisons among studies are difficult as tracking methods, temporal and spatial scales, as well as species and habitat types evaluated have not been consistent.

#### **1.6.4 Tagging method**

Many tagging methods have been used, each of which may influence post-manipulation behavior. In the present study, lobsters were trapped/captured, tagged directly on the carapace, and released, from the boat or directly on the ground by divers, in the same area they were caught. This has also been done in other studies, but may have introduced some bias (Tremblay *et al.* 2003; Wiig *et al.* 2013; Withy-Allen *et al.* 2013; Goldstein & Watson 2015). Goldstein & Watson (2015) suggested that lobsters should be returned to their habitat by placing tagged lobsters in disabled traps which are deployed on the seafloor so that the lobsters may gradually leave the traps and return to their shelters.

Other factors may also influence lobster behaviour post-manipulation, including the habitat to which are returned (i.e. bottom type, availability of shelter) and biological effects (e.g. competition, food availability, seasonal effects). Post-handling responses due to bringing lobsters to research boats have been observed in other lobster studies and typically consist of extensive post-release movements (Scopel *et al.* 2009). In contrast, lobsters in the present study eventually all headed in the northeast direction, which is against the prevailing southwest current in the study area (El-Sabh 1976) but consistent with previous observations of lobster seasonal movement in the area (Munro & Therriault 1983).

Further experiments are needed to explain the mussel site effect immediately post-release. The abundance of food and shelter under the mussel farm logically provides an attractive environment for lobsters. However, this farm environment may have reached its carrying capacity for lobster, increasing predation and competition. This may explain the different behaviours outside and inside the mussel farm on the first day. Lobsters in the farm may have perceived an appropriate habitat (i.e., abundant food and shelter) and thus traveled in random direction in search of a potential territory but, finding none that were unoccupied, continued heading in the northeast direction once they had left the farm site. The general northeast trend for lobster movements immediately following tagging and being returned to the study sites is consistent with other observations made during the study period. Other researchers detected 4 of the lobsters tagged in the present study some 25 km northeast of the study site using acoustic methods for unrelated studies in the general study area (i.e. grey seals fitted with receivers and fixed stations; Damian Lidgard, Dalhousie University, and Martin Castonguay, Fisheries and Oceans Canada, respectively, personal communications).

These observations reflect a well-documented migration by lobsters in the study area (Munro & Therriault 1983). Adult lobsters are commonly reported to move inshore in the summer, as coastal waters warm more rapidly than offshore waters, and offshore in the fall, as coastal waters cool (Cooper & Uzmann 1971). These results support those of Munro & Therriault (1983) who observed lobsters in the area to disperse northeast along the coast of Îles de la Madeleine. Munro & Therriault (1983) showed that lobsters in the area migrate into Îles de la Madeleine lagoons during the spring (May-June) and leave in the fall (October), coincident with changes in water temperature. Likewise, Jury *et al.* (2013) found a correlation between lobster movements and water temperature, with movements being greatest during the summer when temperatures are ca. 16 °C. Seasonal, temperature-dependent, migrations along the coastline may account for the observed dispersal of lobster from where they were returned to the seafloor within the study site and suggests that other behaviours may have been observed at other times of the year.

### 1.6.5 Offshore mussel farm dynamics

Past studies have suggested that mussel aquaculture sites attract American lobsters as they have been observed to be much more abundant in farms than in areas outside of them (Clynick *et al.* 2008; D'Amours *et al.* 2008; Drouin *et al.* 2015). To test if this observation may be generalized to the studied offshore mussel site, a series of transects were sampled both inside and outside of the mussel farm and at different distance from the mussel lines. In short, lobsters were more abundant in the mussel site than outside of it, particularly directly below the mussel lines, where lobsters were observed during day-time sampling periods to inhabit burrows dug out below cement anchor blocks (A-S. Sean, unpublished data). In contrast, this telemetry study shows that lobster showed no particular affinity to the mussel farms site, with 70% of lobsters placed in the farm site leaving it within 24 hours and that most of those that returned displayed mostly rapid and rectilinear movements within the mussel site. This behaviour may be explained by intraspecific competition due to the greater density of lobsters in the mussel farm (O'Neil & Cobb 1979).

Lobsters are territorial and may defend their territories for food and shelter (O'Neill & Cobb 1979). Given that lobsters were placed back only to the same general area (i.e. same GPS coordinates) as they were captured a short time after being fitted with an acoustic tag, it is possible that their territories may have been taken over in the interim or that they did not find their burrows and simply left to find other suitable habitats. Once evicted, or if lobster return to find another lobster in their shelter, they often seek another one rather than defend their own shelter (Scopel *et al.* 2009). Large, competitive, lobsters have been shown to choose to live in habitats where population densities and competitive pressure are low (Steneck 2006).

In addition, American lobsters undergo ontogenetic habitat changes and dietary shifts as they grow through their life cycles (Boudreau & Worm 2012). Although mussel sites likely provide greater feeding opportunities for lobsters, directly or indirectly, the presence of shelter structures has an immediate attractive effect (Drouin *et al.* 2015). Thus, a greater abundance of lobster there may likewise reduce the availability of appropriate

habitats and may increase the level of intraspecific predation and competition. The results from the present study suggest that these latter factors may be at play in mussel sites, given that lobsters displayed mostly rectilinear movements in the farm and that larger, and presumably competitively superior, lobsters spent more time in the farm site than did smaller lobsters. Smaller lobsters might be less capable of defending a shelter and, as a result, they are evicted from shelters more often and must search for a new shelter (Scopel *et al.* 2009).

Although trends for associated macrofaunal species (i.e., a greater abundance of most scavenging species such as crabs and gastropods in farm sites than nearby reference locations) are similar to those observed in nearby coastal areas and farms in both locations provide similar habitat structure in the form of cement anchor blocks, a mussel farm in offshore conditions may have different effects than farms in more protected or enclosed locations due to a number of factors. For example, line spacing in the offshore farm examined was 50 m whereas it is typically less than half of that (e.g., 12 and 20 m in the nearby Îles de la Madeleine lagoon farms (Callier *et al.* 2008) and averages between 12 and 13 m in nearby Prince Edward Island farms (Drapeau *et al.* 2006)). Offshore sites are also typically deeper than those in protected embayments (e.g., 18-20 m in the studied farm versus 5-8 m in the aforementioned neighbouring locations) and are characterised by coarse sandy bottoms as opposed to muddy or sandy mud bottoms in nearby coastal and near-shore mussel farms. In addition, given the wide spacing and relatively stronger hydrodynamic conditions in offshore sites, effects related to benthic loading on infaunal communities are less evident in offshore conditions (Drapeau *et al.* 2006, McKindsey *et al.* 2011, Wilding & Nickell 2013). Together, these differences may make offshore sites less attractive to lobsters than near-shore or within-bay mussel farms.

## **1.7 CONCLUSION**

Results from the present study provide information about the impact of offshore aquaculture on lobster movements. Mussel farming is generally considered to have an attractive effect on a variety of scavenging macrobenthic species, such as lobster, crabs and

seastars (Inglis & Gust 2003; D'amour *et al.* 2008; Wilding & Nickell 2013). Notwithstanding this, the studied mussel farm did not seem to have an attractive effect on the lobsters that were followed in the present study. Indeed, other than the short-term effects observed immediately following tagging and release – i.e., that the directionality of lobster movements seem to be muted in the mussel site relative to movements of lobster tagged and released outside of the farm – lobster movements in and around the mussel site seemed to operate at larger spatial scales. Several points are highlighted in the study: (1) the habitat created by the mussel farm on a sandy bottom does not seem to be a preferred habitat for lobsters and they seem to search shelter in another environment (2) the NE displacement is consistent with documented lobster migrations in Iles de la Madeleine, and (3) competition may account for the low retention and return of lobsters to the study area; small lobsters are more often evicted from shelters and must find other ones. Tagging resident lobsters in situ in their burrows may allow them to display different behaviour than those that are caught and released to the general area in which they were captured.

The results also highlight several unanswered question relating to intraspecific and interspecific competition and turnover in the population that is otherwise associated with the mussel site. These results could be used to provide better knowledge on the interactions between mussel farming and fishing activities.

#### **ACKNOWLEDGEMENTS**

We are grateful to Anne-Sara Sean, François Roy and Paul Robichaud for help in project planning and field assistance. This study was supported by the Aquaculture Collaborative Research and Development Program (ACRDP), Fisheries and Oceans Canada, and Ressources Aquatiques Québec (RAQ). We also express gratitude to the Ocean Tracking Network for allowing us to use some of their equipment. We also thank our mussel farmer collaborator, Christian Vigneau, from La Moule du Large.



## CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette étude a permis d'acquérir des données afin d'accroître les connaissances concernant l'interaction entre le homard d'Amérique et la mytiliculture effectuée en mer. Les résultats collectés par télémétrie acoustique lors de l'été 2014 ont démontré que les homards n'ont pas un temps de résidence, ni une vitesse de déplacement significativement différente sous un site mytilicole comparativement à un environnement sans activité aquacole, malgré le fait qu'ils y concentrent leurs activités dans un espace plus restreint. Les résultats importants de l'étude sont : (1) les homards ont une direction de dispersion vers le nord-est à la mi-juillet, (2) dans le premier 24 h les homards dans le site mytilicole ont une direction de dispersion aléatoire comparativement aux homards dans les sites à l'extérieur qui quittent vers le nord-est et (3) une tendance est observable dans le comportement des homards de plus grande taille, c'est-à-dire qu'ils ont un temps de résidence sous le site mytilicole supérieur aux homards de petite taille.

### INTERACTION HOMARD - MYTILICULTURE

Plusieurs études font état d'un effet attractif de l'aquaculture sur les organismes benthiques en raison des structures physiques et de la déposition de matière organique. Cependant, les résultats démontrés dans cette étude, notamment le fait que les homards n'ont pas un comportement de rétention sous la ferme de moule, n'appuient pas les observations faites par d'autres études sur les espèces benthiques en relation avec la mytiliculture. Ce qui peut expliquer cette différence est notamment que les études d'abondance par observation ou par transect se basent sur des relevés ponctuels dans une fenêtre de temps donnée, ce qui peut être limitant concernant l'interprétation des données comportementales à long terme. En contrepartie, le suivi par télémétrie acoustique fournit des données de façon continue à l'échelle temporelle souhaitée. Il est donc possible d'avoir des données dans une fenêtre temporelle et spatiale plus grande. Cette méthode fournit donc d'avantages d'informations biologiques permettant de mieux comprendre le comportement des individus à différentes périodes et dans différents milieux.



Ce projet est complémentaire à d'autres études sur les interactions concernant la mytiliculture et les homards (Drouin *et al.* 2015, A-S. Sean, données non publiées). La mise en commun de données par suivi d'observation ponctuel et des données par télémétrie acoustique va permettre de mieux comprendre l'interaction entre ces deux secteurs économiques importants. Par exemple, connaître les densités de plusieurs espèces dans le même environnement et à la même période de l'année va permettre de comparer et de coupler les données d'abondance et de mouvement.

### **ORIGINALITÉ DU PROJET**

Les domaines vitaux des *H. americanus* dans un environnement naturel ont été peu étudiés. De façon générale, la majorité des études ont lieu dans un environnement fermé et/ou contrôlé (Golet *et al.* 2006; Scopel *et al.* 2009; McMahan *et al.* 2013). Par exemple, Golet *et al.* (2006) et Scopel *et al.* (2009) ont étudié le mouvement des homards d'Amérique dans des mésocosmes de 2 500 m<sup>2</sup> et 3 125 m<sup>2</sup> respectivement et McMahan *et al.* (2013) dans une baie de 250 m par 250 m. Les homards sont donc confinés à un endroit qui restreint le déplacement naturel des individus. Il est possible que ces études sous-estiment les domaines vitaux des homards. L'étude démontrée dans ce mémoire s'est déroulée en mer, donc sans barrière naturelle ou anthropique pouvant contenir les individus. En ce sens, une première étude sur le mouvement du *H. gammarus* dans un milieu naturel non contrôlé, d'une superficie d'environ 0.75 km<sup>2</sup> a été réalisée par Skerritt *et al.* (2015) au nord-est de l'Angleterre. Cette étude fournit des données intéressantes concernant les domaines vitaux des homards Européens à différentes périodes de l'année et dans différents substrats. Dans l'étude présentée dans ce mémoire, le type de milieu (substrat sableux, 20 m de profondeur) dans lequel le système de télémétrie a été implanté réunissait de bonnes conditions afin d'avoir une couverture de détection de 14 km<sup>2</sup>.

Aussi, étant donnée le coût élevé de la technologie, les études de télémétrie acoustique sur les homards ont un nombre d'individus relativement faibles. Par exemple, quelques études ont identifié un nombre d'individus inférieur à 10 (Tremblay *et al.* 2003; McMahan *et al.* 2013) tandis que la majorité des études ont identifié en moyenne de 20 à

40 individus (Watson *et al.* 1999; Golet *et al.* 2006; Watson *et al.* 2009; Goldstein & Watson 2015). En contrepartie, l'étude présentée dans ce mémoire suit le mouvement de 60 homards, un nombre relativement élevé.

Un autre point fort de l'étude est la fréquence et la précision des données. De façon générale, la télémétrie acoustique est utilisée de façon active ou passive. La méthode active permet de recueillir manuellement des données à la fréquence désirée (journalière, bi-journalière, hebdomadaire) selon les ressources disponibles. D'un autre côté, la méthode passive permet de recueillir un maximum de données à l'aide d'un système fixe durant le temps déterminé par l'étude. Par exemple, Moland *et al.* (2001) ont utilisé la méthode de suivi manuel avec un hydrophone et estime que le *H. gammarus* a un domaine vital d'environ 20 000 m<sup>2</sup>. Une autre étude sur le homard Européen démontre des résultats contrastant. Wiig *et al.* (2013) ont utilisé la méthode de télémétrie acoustique passive dans une superficie d'environ 3 000 000 m<sup>2</sup> et détermine à un domaine vital de 170 000 m<sup>2</sup> durant la saison de pêche en septembre. Aussi, Skerritt *et al.* (2015) ont utilisé la méthode de télémétrie passive dans une superficie d'environ 750 000 m<sup>2</sup> et estime un domaine vital, pour la même espèce, à 11 000 m<sup>2</sup> au printemps et de 450 m<sup>2</sup> en automne. Ces résultats démontrent que les comparaisons entre les études sont difficiles étant donné les différentes méthodes de suivi et les différences entre les échelles temporelles et spatiales. De plus, les dernières études sur les homards d'Amérique ont été réalisées dans des mésocosmes (Golet *et al.* 2006; Scopel *et al.* 2015) ou en utilisant la méthode de suivi manuel (Goldstein & Watson 2015). Dans ces deux cas, les données sur les domaines vitaux peuvent être sous-estimé.

De façon générale, le nombre élevé d'individus identifiés, la grande couverture de détection ainsi que des données à fine résolution apportent une puissance importante à l'étude.

## POINTS À AMÉLIORER

Si l'étude était à refaire, la disposition des bornes réceptrices serait installée autrement, de façon à avoir une superficie comparable dans les différents environnements étudiés. Il serait préférable d'agrandir le plus possible la superficie couverte en partant du site mytilicole et prendre de l'expansion vers l'extérieur. Ceci permettrait d'avoir une superficie comparable afin d'obtenir une meilleure puissance statistique et une continuité dans les mouvements.

Un autre point important, est qu'il serait préférable d'identifier les individus directement sous l'eau afin de pouvoir les remettre immédiatement dans leur abri ou à un endroit à proximité. Plusieurs méthodes de capture et de remise à l'eau des homards sont décrites dans la littérature. Quelques études identifient les individus *in situ*; les homards ne sont donc pas remontés à la surface (Golet *et al.* 2006; Scopel *et al.* 2009; Watson *et al.* 2009). D'autres études capturent les homards à l'aide de casier à homard, les remontent à la surface et les relâche après 24 h au même endroit de leur capture (Giacalone *et al.* 2015; Rotlant *et al.* 2015). Finalement, d'autres les relâchent à des endroits différents de leur lieu de capture (Bowlby *et al.* 2007). Chaque méthode peut induire un biais dans les données. La méthode *in situ* permettrait cependant de s'assurer que les homards ne soient pas expulsés de leur abri durant les manipulations sur le bateau et ainsi réduire l'incertitude des premières journées de collecte de données.

De plus, étant donné que cette étude soulève de nouvelles interrogations, il serait intéressant de faire l'acquisition de paramètres environnementaux physiques tel que le courant de fond. En prenant ces données en considération, il serait possible de vérifier de façon plus précise les corrélations entre les déplacements et ces paramètres. Aussi, il est fréquent que l'échantillonnage soit restreint aux individus dans les casiers ou ceux qui sont trouvés sur le fond marin. Il serait intéressant d'assurer une proportion d'individus de grande taille dans l'échantillonnage afin de bien pouvoir comparer leur comportement avec les individus de plus petite taille.

## PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Dans cette étude, étant donné que l'objectif principal est de connaître l'impact de la mytiliculture, la couverture est largement satisfaisante. Par contre, afin d'avoir une meilleure compréhension de l'utilisation des habitats, il serait intéressant d'étudier le comportement des homards à plus grande échelle en associant leurs déplacements à un type d'habitat et de substrat déjà cartographié et documenté. Ces données pourraient aider à mieux comprendre l'impact réel de la mytiliculture dans un environnement non préférentiel pour le homard.

Il est à noter qu'un projet dirigé par le Dr. McKindsey a déjà permis d'améliorer certaines méthodes. Le projet a eu lieu dans Malpeque Bay, à l'Île-du-Prince-Édouard, à l'été 2015. L'objectif principal était d'évaluer l'impact de l'aquaculture dans une baie ( $\pm 7$  m de profondeur) sur les homards d'Amérique pendant et après la pêche commerciale. Un suivi par télémétrie acoustique a été fait durant 3 mois sur 104 homards dans une superficie d'environ 2.5 km<sup>2</sup>. Selon les constatations et les recommandations de l'étude démontrée ci-haut, la couverture de détection a été installée de sorte que l'analyse des mouvements puisse être comparable en ayant la même superficie à l'intérieur du site aquacole et à l'extérieur de celui-ci. Par contre, étant donné la difficulté de trouver, lors du marquage, des individus de grande taille, les tailles n'ont pu être sélectionnées. Il n'a donc pas été possible de voir si des différences sont observables dans le comportement des individus de grande taille ( $> 90$  mm) comparativement aux plus petites tailles. Cependant, les résultats préliminaires du projet confirment les observations de l'étude aux Îles de la Madeleine; les homards ne restent peu ou pas dans l'environnement immédiat d'un site mytilicole.

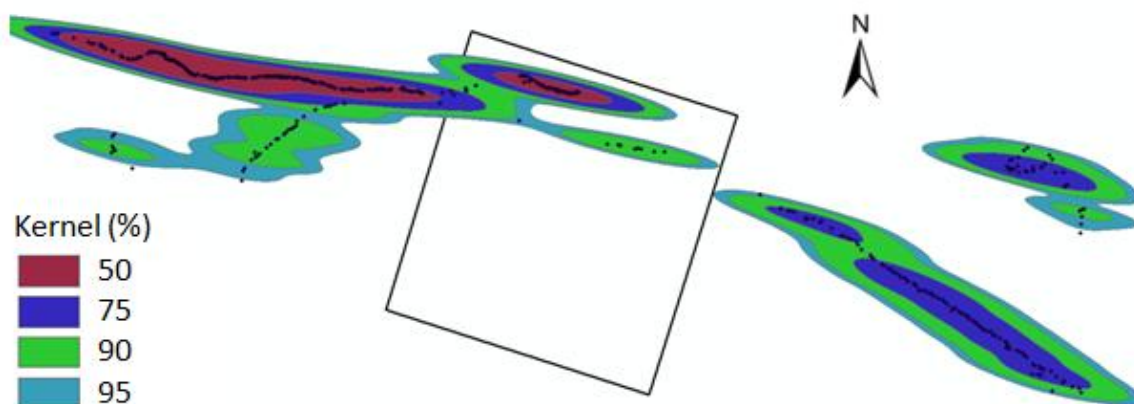
Les résultats obtenus dans ces deux études répondent aux inquiétudes des pêcheurs mais soulèvent aussi de nouvelles questions, notamment concernant la compétition intra-spécifique, ainsi que la dynamique de roulement dans la population de homard. Il serait intéressant d'aller chercher de nouvelles données concernant la condition de croissance, la santé des individus et la capacité de support du milieu. La question d'habitat préférentiel

aussi est soulevée, à savoir qu'elle est l'impact réel de l'aquaculture dans un environnement où le substrat sableux n'est pas privilégié par le homard.

Le développement des connaissances du comportement du homard d'Amérique est essentiel afin d'avoir de meilleures connaissances sur l'impact de la mytiliculture en milieu ouvert en relation avec un secteur économique important, la pêche commerciale. En ce sens, les résultats de cette étude montrent une nouvelle vision, à plus grande échelle temporelle et spatiale, de l'effet de la mytiliculture sur le comportement des homards. Dans un avenir rapproché, ces données pourront être utilisées afin que les deux secteurs économiques soient avantagés et qu'ils puissent continuer de tirer profit à travailler dans un sens commun.



## ANNEXE

**Annexe 1** : Exemple d'analyse de kernels pour un individu mâle





## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Boudreau, S. A., & Worm, B. (2012). Ecological role of large benthic decapods in marine ecosystems: a review. *Marine Ecology Progress Series*, 469: 195-213. doi: 10.3354/meps09862
- Bowlby, H. D., Hanson, J. M., & Hutchings, J. A. (2007). Resident and dispersal behavior among individuals within a population of American lobster *Homarus americanus*. *Marine Ecology Progress Series*, 331: 207-218. doi: 10.3354/meps331207
- Calenge, C., Dray, S., & Royer-Carenzi, M. (2009). The concept of animals' trajectories from a data analysis perspective. *Ecological Informatics*, 4(1): 34-41. doi: 10.1016/j.ecoinf.2008.10.002
- Callier, M. D., McKindsey, C. W., & Desrosiers, G. (2007). Multi-scale spatial variations in benthic sediment geochemistry and macrofaunal communities under a suspended mussel culture. *Marine Ecology Progress Series*, 348: 103-115. doi: 10.3354/meps07034
- Campbell, A., & A. B. Stasko. (1985). Movements of tagged American lobsters, *Homarus americanus*, off southwestern Nova Scotia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 42: 229-238. doi:10.1139/f85-030
- Clynick, B. G., McKindsey, C. W., & Archambault, P. (2008). Distribution and productivity of fish and macroinvertebrates in mussel aquaculture sites in the Magdalen Islands (Québec, Canada). *Aquaculture*, 283(1-4): 203-210. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.06.009
- Cobb JS. (1971). The shelter-related behavior of the lobster *Homarus americanus*. *Ecology*. 52: 108–115.
- Comeau, M., Savoie, F. (2002). Movement of American lobster (*Homarus americanus*) in the southwestern Gulf of St. Lawrence. *Fishery Bulletin*, 100: 181-192.
- Comeau, L. A., Sonier, R., & Hanson, J. M. (2012). Seasonal movements of Atlantic rock crab (*Cancer irroratus* Say) transplanted into a mussel aquaculture site. *Aquaculture Research*, 43(4): 509-517. doi: 10.1111/j.1365-2109.2011.02856.x
- Cooper, R. A., & Uzmann, J. R. (1971). Migrations and growth of deep-sea lobsters, *Homarus americanus*. *Science*, 171: 288-290. doi: 10.1126/science.171.3968.288
- Cranford P, Anderson R, Archambault P, Balch T, Bates S, Bugden G, Callier MD, Carver C, Comeau L, Hargrave B, Harrison G, Horne E, Kipay PE, Li WKW, Mallet A, Ouellette M, Strain P (2006). Indicators and thresholds for use in assessing shellfish aquaculture impacts on fish habitat. *DFO Canadian Science Advisory Secretariat Research Document*, 2006/034, viii + 116 p.

- D'Amours, O., Archambault, P., McKindsey, C. W., & Johnson, L. E. (2008). Local enhancement of epibenthic macrofauna by aquaculture activities. *Marine Ecology Progress Series*, 371: 73-84. doi: 10.3354/meps07672
- Dempster, T., Uglem, I., Sanchez-Jerez, P., Fernandez-Jover, D., Bayle-Sempere, J., Nilsen, R., & Bjørn, P. A. (2009). Coastal salmon farms attract large and persistent aggregations of wild fish: an ecosystem effect. *Marine Ecology Progress Series*, 385: 1-14. doi: 10.3354/meps08050
- Dow, R.L. (1974). American lobsters tagged by Maine commercial fishermen 1957-59. *Fishery Bulletin* 72: 622-623
- Drapeau, A., Comeau, L. A., Landry, T., Stryhn, H., & Davidson, J. (2006). Association between longline design and mussel productivity in Prince Edward Island, Canada. *Aquaculture*, 261(3): 879-889. doi: 10.1016/j.aquaculture.2006.07.045
- Drouin, A., Archambault, P., Clynick, B., Richer, K., & McKindsey, C. W. (2015). Influence of mussel aquaculture on the distribution of vagile benthic macrofauna in Îles-de-la-Madeleine, eastern Canada. *Aquaculture Environment Interactions*, 6(2): 175-183. doi: 10.3354/aei00123
- El-Sabh, M. I. (1976). Surface circulation pattern in the Gulf of St. Lawrence. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 33: 124-138. doi: 10.1139/f76-015
- Ennis, G. P. (1984). Territorial behavior of the American lobster, *Homarus americanus*. *Transactions of the American Fisheries Society*, 113: 330-335.
- Espinoza, M., Farrugia, T. J., Webber, D. M., Smith, F., & Lowe, C. G. (2011). Testing a new acoustic telemetry technique to quantify long-term, fine-scale movements of aquatic animals. *Fisheries Research*, 108(2-3): 364-371. doi: 10.1016/j.fishres.2011.01.011
- Factor, J. R. (1995). *Biology of the Lobster (Homarus americanus)*. San Diego: Academic Press.
- FAO (2013). World aquaculture production of fish, crustaceans, molluscs, etc., by principal species in 2013. En ligne "<ftp://ftp.fao.org/FI/STAT/summary/a-6.pdf>". Consulté le 13 avril 2016.
- FAO (2014). The State of World Fisheries and Aquaculture. En ligne "<http://www.fao.org/3/d1eaa9a1-5a71-4e42-86c0-f2111f07de16/i3720e.pdf>". Consulté le 13 avril 2016.
- Fréchette, M. (2012). Self-thinning, biodeposit production, and organic matter input to the bottom in mussel suspension culture. *Journal of Sea Research*, 67(1): 10-20. doi: 10.1016/j.seares.2011.08.006

- Fortin, M.-J., & Dale, M. (2005). *Spatial Analysis A Guide for Ecologists*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gendron, L., Savard, G. & Bourassa, M.-N. (2014). Data on Lobster (*Homarus americanus*) densities from Nephrops trawl surveys conducted off the Magdalen Islands, Quebec, from 1995 to 2012. *Canadian Science Advisory Secretariat Research Document* 2013/136. iv + 99 p.
- Gherardi, F., Tricarico, E., & Ilheu, M. (2002). Movement patterns of an invasive crayfish, *Procambarus clarkii*, in a temporary stream of southern Portugal. *Ethology Ecology & Evolution*, 14(3): 183-197. doi: 10.1080/08927014.2002.9522739
- Giacalone, V. M., Barausse, A., Gristina, M., Pipitone, C., Visconti, V., Badalamenti, F., & D'Anna, G. (2015). Diel activity and short-distance movement pattern of the European spiny lobster, *Palinurus elephas*, acoustically tracked. *Marine Ecology*, 36(3): 389-399. doi: 10.1111/maec.12148
- Giles, H., & Pilditch, C. A. (2006). Effects of mussel (*Perna canaliculus*) biodeposit decomposition on benthic respiration and nutrient fluxes. *Marine Biology*, 150(2): 261-271. doi: 10.1007/s00227-006-0348-7
- Goldstein, J. S., & Watson, W. H. III (2015). Seasonal movements of American lobsters in southern Gulf of Maine coastal waters: patterns, environmental triggers, and implications for larval release. *Marine Ecology Progress Series*, 524: 197-211. doi: 10.3354/meps11192
- Golet, W. J., Watson, W. H. III, Cooper, A. B., & Scopel, D. A. (2006). Daily patterns of locomotion expressed by American lobsters (*Homarus Americanus*) in their natural habitat. *Journal of Crustacean Biology*, 26(4): 610-620. doi: 10.1651/s-2729.1
- Hatcher, A., Grant, J., & Schofield, B. (1994). Effects of suspended mussel culture (*Mytilus* spp.) on sedimentation, benthic respiration and sediment nutrient dynamics in a coastal bay. *Marine Ecology Progress Series*, 115: 219-235
- Hardy, M. (2007). Dynamique spatio-temporelle du homard d'Amérique (*Homarus americanus*) dans le secteur de Saint-Godefroi, baie des Chaleurs, Québec, Canada : facteurs pouvant expliquer les diminutions de rendements. Mémoire présenté à l'Université du Québec à Rimouski. xiii + 248 p.
- Herrnkind, W.F. (1980). Spiny lobsters: Patterns of movement. In "The Biology and Management of Lobsters" (J.S. Cobb and B.F Phillips, eds.), Vol. 1, pp. 349-407. Academic Press, New York.
- Inglis, G., & Gust, N. (2003). Potential indirect effects of shellfish culture on the reproductive success of benthic predators. *Journal of Applied Ecology*, 40: 1077-1089. doi: 10.1111/j.1365-2664.2003.00860.x

- Jury, S. H., Watson, W. H. III (2013). Seasonal and sexual differences in the thermal preferences and movements of American lobsters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 70(11): 1650-1657. doi: 10.1139/cjfas-2013-0061
- Karnofsky EB, Atema J, & Elgin RH. (1989). Field observations of social behavior, shelter use, and foraging in the lobster, *Homarus americanus*. *Biological Bulletin*, 176, 239–246.
- Maynard, D. R., & Conan, G. Y. (1984). Preliminary monitoring of short term movements for lobsters (*Homarus americanus*) in the Biddeford River, Prince Edward Island, using ultrasonic telemetry. *Canadian Atlantic Fisheries Scientific Advisory*, 84-99.
- McMahan, M. D., Brady, D. C., Cowan, D. F., Grabowski, J. H., Sherwood, G. D., & Jech, J. M. (2013). Using acoustic telemetry to observe the effects of a groundfish predator (Atlantic cod, *Gadus morhua*) on movement of the American lobster (*Homarus americanus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 70(11): 1625-1634. doi: 10.1139/cjfas-2013-0065
- Miron, G., Landry, T., Archambault, P., & Frenette, B. (2005). Effects of mussel culture husbandry practices on various benthic characteristics. *Aquaculture*, 250(1-2): 138-154. doi: 10.1016/j.aquaculture.2005.01.030
- Moland, E., Olsen, E. M., Andvord, K., Knutsen, J. A., Stenseth, N. C., & Sainte-Marie, B. (2011). Home range of European lobster (*Homarus gammarus*) in a marine reserve: implications for future reserve design. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 68(7): 1197-1210. doi: 10.1139/f2011-053
- McKindsey, C. W., Archambault, P., Callier, M. D., & Olivier, F. (2011). Influence of suspended and off-bottom mussel culture on the sea bottom and benthic habitats: a review. *Canadian Journal of Zoology*, 89(7): 622-646. doi: 10.1139/z11-037
- Munro, J., & Therriault, J.-C. (1983). Migrations saisonnières du homard (*Homarus americanus*) entre la côte et les lagunes des Îles-de-la-Madeleine. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40: 905-918.
- MPO. (2013). Statistiques, faits et chiffres sur l'aquaculture. En ligne "<http://www.dfo-mpo.gc.ca/aquaculture/sector-secteur/stats-fra.htm>". Consulté le 3 mars 2014.
- Navarro, J.M, Thompson, R.J. (1997). Biodeposition by the horse mussel *Modiolus moliolus* (Dillwyn) during the spring diatom bloom. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 209: 1-13. doi:10.1016/0022-0981(96)02681-0
- Newell, R. I. E. (2004). Ecosystem influences of natural and cultivated populations on suspension-feeding bivalve molluscs: a review. *Journal of Shellfish Research*, 23(1): 51-61
- O'Neill, D. J., & J. S. Cobb. (1979). Some factors influencing the outcome of shelter competition in lobsters (*Homarus americanus*). *Marine Behavior Physiology* 6: 33-45. doi: 10.1080/10236247909378551

- Pittman SJ, & McAlpine CA. (2003). Movements of marine fish and decapod crustaceans: process, theory and application. *Advances in Marine Biology*, 44: 205–294
- Quinn, G., & Keough, M. (2002). Experimental design and data analysis for biologists. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511806384
- Richard, M., Archambault, P., Thouzeau, G., & Desrosiers, G. (2006). Influence of suspended mussel lines on the biogeochemical fluxes in adjacent water in the Îles-de-la-Madeleine (Quebec, Canada). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 63(6): 1198-1213. doi: 10.1139/f06-030
- Richard, M., Archambault, P., Thouzeau, G., McKindsey, C. W., & Desrosiers, G. (2007). Influence of suspended scallop cages and mussel lines on pelagic and benthic biogeochemical fluxes in Havre-aux-Maisons Lagoon, Îles-de-la-Madeleine (Quebec, Canada). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 64(11): 1491-1505. doi: 10.1139/f07-116
- Robinson, C. A., Thom, T. J., & Lucas, M. C. (2000). Ranging behaviour of a large freshwater invertebrate, the white-clawed crayfish *Austropotamobius pallipes*. *Freshwater Biology*, 44(3): 509-521. doi: 10.1046/j.1365-2427.2000.00603.x
- Rotllant, G., Aguzzi, J., Sarria, D., Gisbert, E., Sbragaglia, V., Del Rio, J., Simeo, C., Manuel, A., Molino, E., Costa, C., & Sarda, F. (2015). Pilot acoustic tracking study on adult spiny lobsters (*Palinurus mauritanicus*) and spider crabs (*Maja squinado*) within an artificial reef. *Hydrobiologia*, 742(1): 27-38. doi: 10.1007/s10750-014-1959-5
- Scopel, D. A., Golet, W. J., & Watson, W. H. III (2009). Home range dynamics of the American lobster, *Homarus americanus*. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 42(1): 63-80. doi: 10.1080/10236240902781498
- Seaman DE, & Powell RA. (1996). An evaluation of the accuracy of kernel density estimators for home range analysis. *Ecology*, 77: 2075–2085. doi: 10.2307/2265701
- Skerritt, D. J., Robertson, P. A., Mill, A. C., Polunin, N. V. C., & Fitzsimmons, C. (2015). Fine-scale movement, activity patterns and home-ranges of European lobster *Homarus gammarus*. *Marine Ecology Progress Series*, 536: 203-219. doi: 10.3354/meps11374
- Steneck, R. (2006). Possible demographic consequences of intraspecific shelter competition among American lobster. *Journal of Crustacean Biology*, 26(4): pp. 628-638. doi: 10.1651/s-2753.1
- Taylor, M. D., & Ko, A. (2011). Monitoring acoustically tagged king prawns *Penaeus (Melicertus) plebejus* in an estuarine lagoon. *Marine Biology*, 158(4): 835-844. doi: 10.1007/s00227-010-1610-6

Tremblay, M. J., Andrade, Y., & O'Dor, R. K. (2003). Small-scale movements of lobsters (*Homarus americanus*): An application of radio-acoustic positioning and telemetry (RAPT) with an analysis of system resolution. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2439, iv + 19

Turchin, P. (1957). *Quantitative Analysis of Movement: measuring and modeling population redistribution in animals and plants*. Sinauer Associates Inc, Sunderland.

Uzmann, J.R., Cooper, R. & Pecci, K. (1977). Migration and Dispersion of Tagged American Lobsters, *Homarus americanus*, on the Southern New England Continental Shelf. NOAA Technical Report NMFS SSRF-705

Watson, W. H. III, Vetrovs, A., & Howell, W. H. (1999). Lobster movements in an estuary. *Marine Biology*, 134(1): 65-75. doi: 10.1007/s002270050525

Watson, W. H. III, Golet, W., Scopel, D., & Jury, S. (2009). Use of ultrasonic telemetry to determine the area of bait influence and trapping area of American lobster, *Homarus americanus*, traps. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 43(1): 411-418. doi: 10.1080/00288330909510010

Wiig, J. R., Moland, E., Haugen, T. O., Olsen, E. M., & Jech, J. M. (2013). Spatially structured interactions between lobsters and lobster fishers in a coastal habitat: fine-scale behaviour and survival estimated from acoustic telemetry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 70(10): 1468-1476. doi: 10.1139/cjfas-2013-0209

Wilding, T. A., & Nickell, T. D. (2013). Changes in benthos associated with mussel (*Mytilus edulis*) farms on the west-coast of Scotland. *PLoS One*, 8(7): e68313. doi: 10.1371/journal.pone.0068313

Withy-Allen, K. R., & Hovel, K. A. (2013). California spiny lobster (*Panulirus interruptus*) movement behaviour and habitat use: implications for the effectiveness of marine protected areas. *Marine and Freshwater Research*, 64(4): 359-371. doi: 10.1071/mf12127



