

# Mon été au ministère des Pêches et Océans du Canada

Rapport de stage - été 2024

**Julien Thibodeau**

Sous la supervision de  
Tobie Surette



Fisheries and Oceans Canada Pêches et Océans Canada

Math 4000

Université de Moncton

6 septembre 2024

# Contents

<b>1</b>	<b>Résumé</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Concepts scientifiques</b>	<b>2</b>
3.1	Projet Crabe des neiges . . . . .	2
3.1.1	Immature . . . . .	3
3.1.2	Immature et adolescent . . . . .	5
3.2	Projet Otolithe . . . . .	6
3.2.1	Détection du contour . . . . .	7
3.2.2	Détection du noyau . . . . .	7
3.2.3	Balayage de l'otolithe et alignement des anneaux . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Gestion des résultats</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Dynamique du groupe de travail</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>12</b>

# 1 Résumé

Ce rapport fera un résumé de mes expériences vécues et des projets que j'ai réalisés lors de mon stage de l'été 2024 au ministère des Pêches et Océans du Canada. On y trouvera ce que j'ai fait et appris lors de la modélisation et l'analyse statistique des crabes des neiges ainsi que lors de l'analyse et du traitement d'image d'otolithes de plies canadiennes. On y verra aussi mon expérience à travailler avec mes collègues et ma gestion des résultats.

# 2 Introduction

Cet été, j'ai eu la chance de voir ce que c'est de travailler au gouvernement du Canada et plus précisément au ministère des Pêches et Océans. Mon stage s'est fait sous la supervision de Tobie Surette et s'est déroulé du 17 juin au 6 septembre 2024 au Centre des pêches du Golfe. Ce stage m'a permis de travailler sur deux projets différents : la modélisation du crabe des neiges ainsi que le traitement d'images d'otolithes. Le premier projet me voyait créer un modèle représentant la distribution des crabes des neiges femelles dans leurs différents instars (intervalles de tailles). La susceptibilité de l'espèce au réchauffement des eaux puisqu'elle ne vit que dans les eaux très froides et la popularité de sa pêche rend important d'avoir un bon modèle pouvant nous renseigner sur eux. Le projet d'otolithes, lui me voyait préparer les images pour qu'ensuite on puisse automatiquement grâce à l'ordinateur, trouver l'âge des poissons. Ce processus est normalement fait à la main en comptant manuellement les anneaux de l'otolithe ce qui peut être fastidieux lorsqu'on en a des milliers à trouver l'âge. Comme tâches cet été, je devais donc travailler sur un modèle statistique représentant la distribution des crabes des neiges ainsi que de faire la préparation d'image d'otolithe. La section suivante entrera plus en détail sur ces tâches.

# 3 Concepts scientifiques

## 3.1 Projet Crabe des neiges

Le crabe des neiges est une espèce qui grandit par mue, donc de façon discrète. Le saut de croissance est à peu près le même pour tous les crabes d'une même taille ce qui cause la population de crabe de se diviser en groupes distincts selon leur taille qu'on nomme instars.

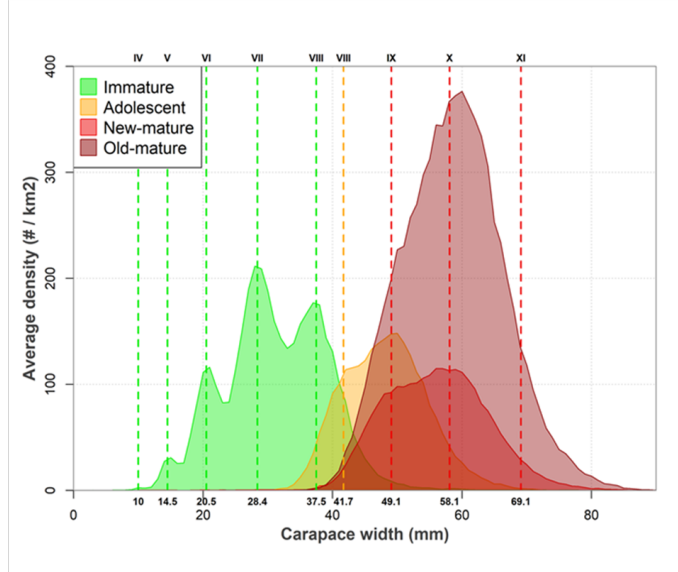


Figure 1: Distribution moyen des crabes des neiges femelles selon leur taille pour les années 1997-2023

### 3.1.1 Immature

Divisons ce problème en différentes étapes et commençons par modéliser les immatures seulement. Dans la figure 1, on remarque que chaque instar est défini par une bosse qui ressemble à une loi normale. Comme il y a plusieurs instars immatures, on utilisera un modèle de mélange gaussien.

$$G(x) = \sum_i w_i \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} e^{\frac{-1}{2\sigma_i^2(x-\mu_i)^2}} \quad (1)$$

où les  $\mu_i$  et les  $\sigma_i$  sont les moyennes et écarts-types des différents instars et  $w_i$  sont les poids des lois normales de chaque instar.

Pour trouver ces paramètres, on va maximiser la fonction de log-vraisemblance de  $G(x)$ . Comme dans notre cas on n'a pas l'échantillon de la taille de tous les crabes, mais seulement leur densité pour chaque taille ( $y$ ), le  $y$  va agir un peu comme une pondération. On se verra alors minimiser (car plus facile dans R avec la fonction optim) la fonction :

$$l = \sum -y \cdot \log(G(x))$$

Cependant, il est très facile de tomber dans un minimum local si on ne commence pas avec de bons paramètres initiaux. C'est pourquoi on ajoute à la fonction à minimiser  $l$  des restrictions quant à la moyenne et la variance pour qu'elles suivent la croissance du crabe. En effet, on remarque que le crabe des neiges immature grandit de façon linéaire lors de chaque mue et on peut donc le caractériser par une droite de régression  $y = ax + b$ .

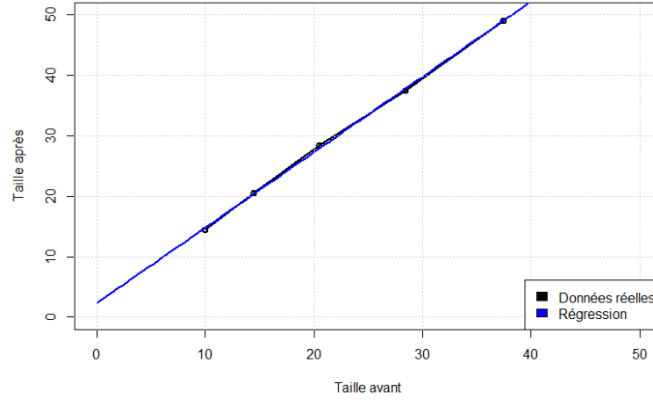


Figure 2: Croissance des femelles immatures selon leur taille avant et après une mue.

En ajoutant ces termes de restriction à notre log-vraisemblance, on se retrouve à minimiser :

$$l = \sum -y \cdot \log(G(x)) + k \sum_{i=1}^{n-1} (a\mu_i + b - \mu_{i+1})^2 + c \sum_{i=1}^{n-1} (a^2 \sigma_i^2 + \varepsilon - \sigma_{i+1}^2)^2 \quad (2)$$

où  $y$  est la densité de crabe par  $\text{km}^2$  de chaque taille,  $a$  et  $b$  sont les paramètres de la droite de régression représentant la croissance,  $k$  et  $c$  sont des constantes désignant l'importance des termes de restriction et  $n$  est le nombre d'instars.

En minimisant (2) et en utilisant ces paramètres pour  $G(x)$ , on retrouve :

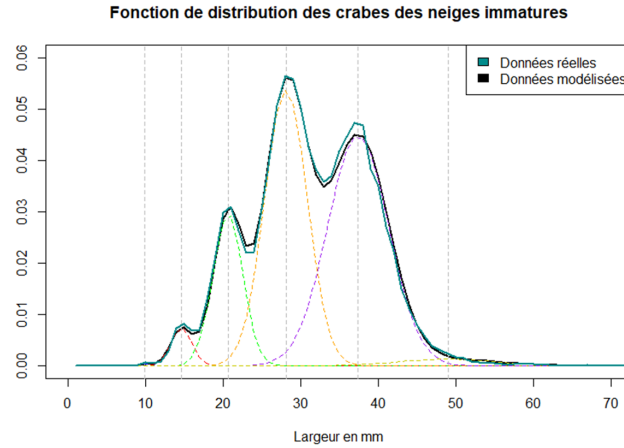


Figure 3: Comparaison entre les données réelles et le modèle pour les femelles immatures

### 3.1.2 Immature et adolescent

Une difficulté s'ajoute lorsqu'on ajoute les adolescents. En effet, pour les immatures des instars 7 et 8, ils peuvent soit devenir adolescent s'ils sont plus gros ou rester immature s'ils sont plus petits. Une division se fait alors lors de ces mues et il faudra donc la représenter.

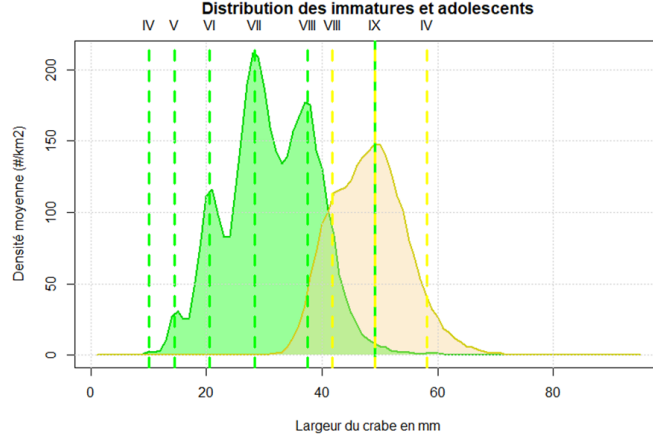


Figure 4: Distribution de la densité de crabs par km<sup>2</sup> selon leur taille

Pour représenter cela, divisons ces instars en deux différentes lois normales : une pour les crabs qui restent immatures et l'autre pour ceux qui vont devenir adolescents. On les divise aussi de sorte que la somme des deux lois normales donne à peu près la loi normale de l'instar au complet. Les paramètres des gaussiennes sont trouvés de la façon suivante :

$$\begin{cases} \mu_{imm} = \mu - t\sqrt{\frac{1-p}{p}}\sigma \\ \mu_{ado} = \frac{\mu - p\mu_{imm}}{1-p} \\ \sigma_{imm}^2 = \sigma_{ado}^2 = \sigma^2 - p(1-p)(\mu_{ado} - \mu_{imm})^2 \end{cases} \quad (3)$$

où  $p$  est la proportion de crabs qui reste immatures,  $t$  est un paramètre de séparation des moyennes,  $\mu_{imm}$ ,  $\mu_{ado}$  et  $\mu$  sont respectivement les moyennes des crabs restant immature, qui deviennent adolescent et la moyenne de l'instar total. Même chose pour  $\sigma_{imm}$ ,  $\sigma_{ado}$  et  $\sigma$  sauf que ce sont les écarts-types.

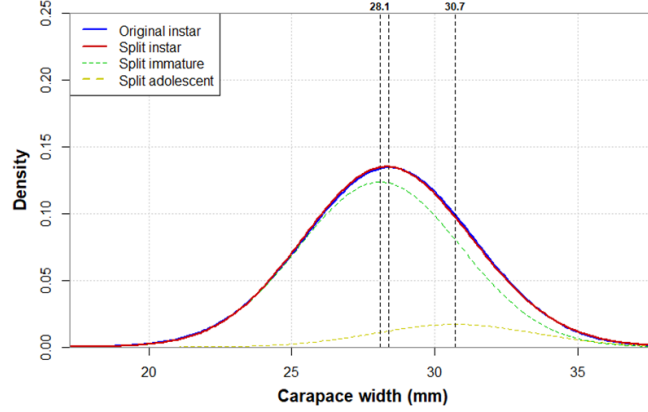


Figure 5: Exemple d'une division d'un instar

En appliquant cette division au modèle, on retrouve cette représentation des immatures et adolescents :

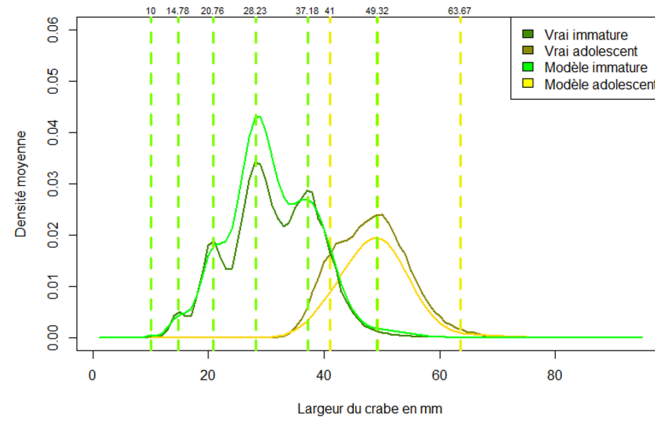


Figure 6: Comparaison entre les données réelles et le modèle pour les femelles immatures et adolescentes

### 3.2 Projet Otolithe

L'otolithe est une pierre se trouvant dans l'oreille de plusieurs poissons et est composé de multiples anneaux (comme pour un tronc d'arbre) permettant de donner des informations sur l'âge et la croissance du poisson. Actuellement, le compte des anneaux est fait manuellement par des biologistes ce qui peut être long quand il y en a des milliers à faire. C'est pourquoi il y a beaucoup d'intérêt à

vouloir automatiser ce processus par l'ordinateur. Les méthodes d'apprentissage profond peuvent nous aider pour cela, mais pour améliorer leur efficacité il faut d'abord préparer les images. Cette préparation se fait en quatre étapes : la détection du contour, la détection du noyau, le balayage de l'otolithe ainsi que l'alignement des anneaux. À noter que toutes les images ont été changées en gris et que le travail s'est fait seulement avec les otolithes de plies canadiennes.

### 3.2.1 Détection du contour

Pour définir le contour, nous prenons plusieurs points aléatoires dans l'otolithe et pour chaque point  $(x_i, y_i)$ , on applique :

$$\begin{cases} C_x = x_i + r \cos(\theta) \\ C_y = y_i + r \sin(\theta) \end{cases} \quad (4)$$

où  $\theta \in [0, 2\pi[$  et  $r$  est le rayon de l'otolithe à partir du point  $(x_i, y_i)$ . Prendre plusieurs points nous assure qu'on définit tout le contour.

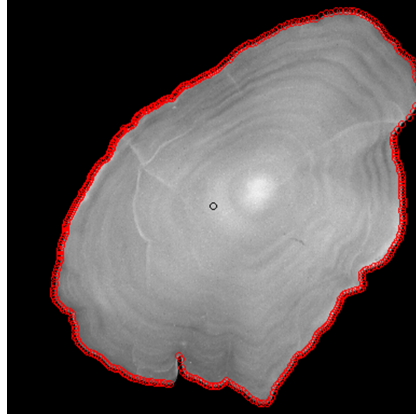


Figure 7: Exemple d'un contour mal défini

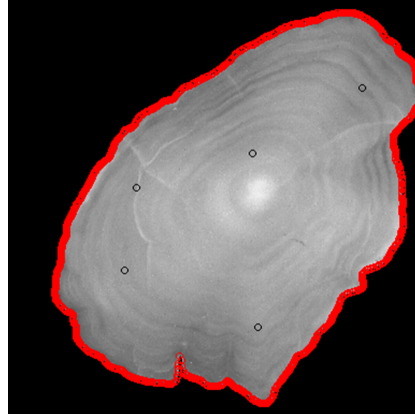


Figure 8: Exemple d'un contour bien défini

### 3.2.2 Détection du noyau

La détection du noyau se fait avec l'assomption qu'il est généralement le point le plus blanc de l'image. Cette assomption n'est pas très rigoureuse puisque plusieurs facteurs peuvent changer cela comme un éclat de lumière lors de la prise de photo qui est plus blanc que le noyau. C'est pourquoi cette méthode est seulement temporaire et nous permet de tester les prochaines étapes.

$$Image_{binaire} = \begin{cases} Pixel_{binaire} = 1 & \text{si } Pixel > k \\ Pixel_{binaire} = 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

Pour  $k \in [0, 1]$



On prend l'image issue du plus grand k et qui contient encore au moins un pixel blanc. Ce groupe de pixel blanc sera le noyau.

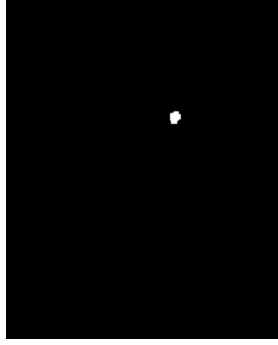


Figure 9: Dernière image contenant encore au moins un pixel blanc

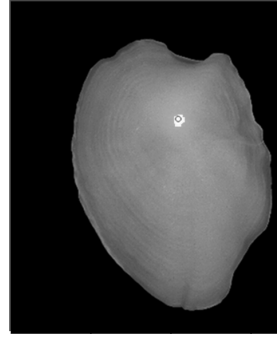


Figure 10: Exemple de détection du noyau

### 3.2.3 Balayage de l'otolithe et alignement des anneaux

Le balayage est fait en prenant l'intensité de gris dans un rayon qui part du noyau au contour de l'otolithe, et ce pour toute une tranche de l'otolithe. On y applique ensuite une fonction de contraste pour mieux faire ressortir les différences entre les anneaux. Cette fonction de contraste est la suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} A = \log\left(\frac{x}{1-x}\right), x \in Image \\ A = \frac{A - \text{mean}(A)}{\text{sd}(A)} \\ Image = \frac{1}{1 + e^{-A}} \end{array} \right. \quad (5)$$

Ensuite on applique un filtre médian qui passe par chaque pixel de l'image et le remplace par la valeur médiane de gris dans un voisinage. Ce filtre va nettoyer l'image comme un filtre de moyenne le ferait, mais n'aura pas d'effet flou et donc gardera une bonne distinction entre les anneaux.

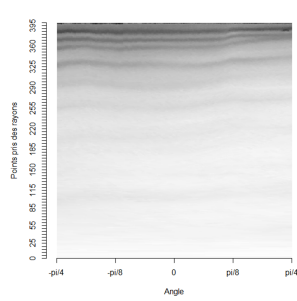


Figure 11: Balayage

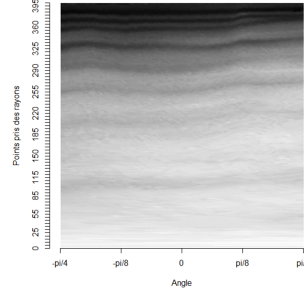


Figure 12: Balayage et contraste

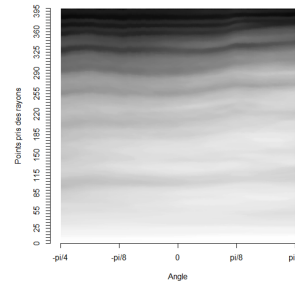


Figure 13: Balayage, contraste et filtre

Après avoir bien nettoyé l'image, on peut remarquer que même si on a normalisé les longueurs des rayons autour du noyau en prenant 400 points par rayon, on remarque encore des vagues dans les anneaux. Pour les aligner, nous allons appliquer une transformation des coordonnées de l'image avec une fonction de distribution cumulative bêta. Elle nous sera très utile dans notre situation, car son domaine et son image sont bornés ce qui veut dire que nos coordonnées transformées resteront dans les bornes des coordonnées initiales. On applique la fonction bêta de la façon suivante :

- On choisit un rayon de référence (normalement le plus long) qui deviendra celui dont les autres rayons chercheront à ressembler.
- En commençant par les rayons voisins, on trouve les paramètres de la fonction bêta tels que ces rayons ressemblent le plus au rayon de référence. Cela peut se faire avec `optim` dans R ou autre fonction d'optimisation.
- On saute au voisin du dernier rayon transformé et on trouve encore les paramètres pour qu'il ressemble au rayon de référence, mais en donnant à `optim` les paramètres du rayon précédent comme paramètres initiaux (car deux rayons voisins devraient se ressembler).
- On continue comme ça jusqu'à transformer tous les rayons.
- On applique aussi une transformation linéaire au niveau de gris de chaque rayon pour les rapprocher de celui de référence.

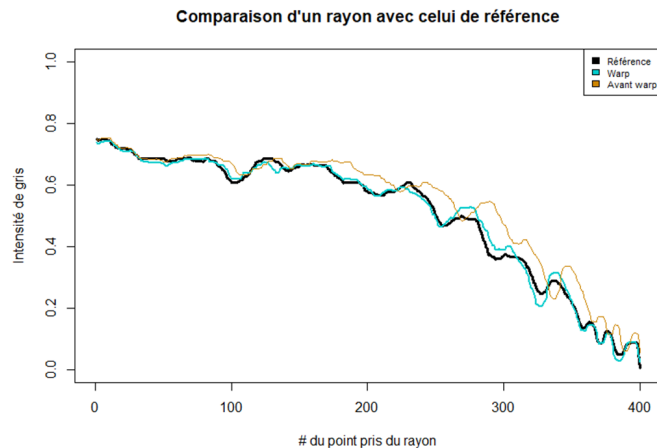


Figure 14: Transformation d'un rayon de l'image pour ressembler au rayon de référence.

L'image qui résulte de ce processus est la suivante :

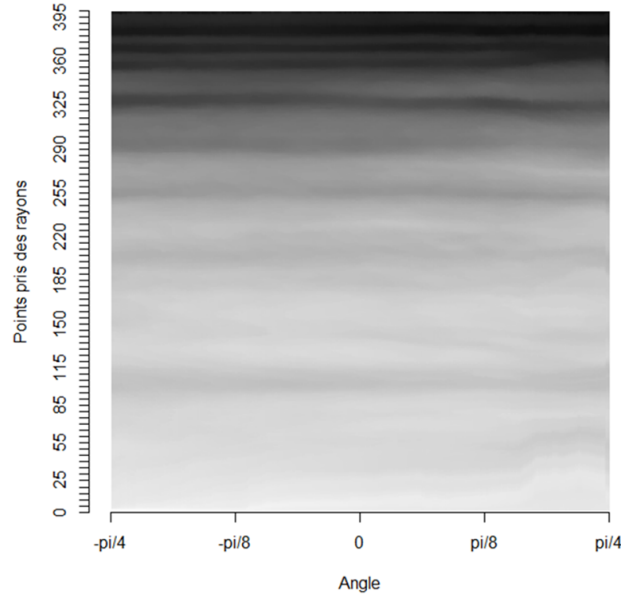


Figure 15: Balayage de l'otolithe transformé pour aligner les anneaux.

Avec les anneaux maintenant aligner, il est plus facile pour l'ordinateur de savoir où sont ces dernières. En effet, on peut prendre la moyenne de chaque rangée de l'image de sorte à avoir un rayon moyen. Les anneaux de l'otolithe sont représentés par les creux de ce rayon moyen. Puisqu'on a pris la moyenne de tous les rayons, on nettoie les irrégularités. En soustrayant une courbe suivant seulement la tendance du rayon moyen au rayon moyen, on ramène celui-ci à osciller autour d'une droite plus horizontale (au lieu de descendante) ce qui nous permet de mieux voir les creux.

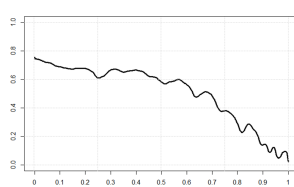


Figure 16: Rayon moyen

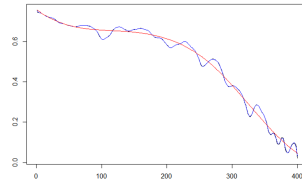


Figure 17: Tendance du rayon moyen

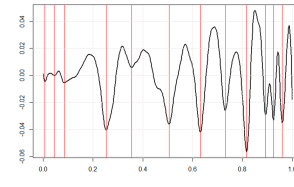


Figure 18: Rayon moyen mis à l'horizontal

## 4 Gestion des résultats

Cet été, j'ai eu une certaine liberté quant à la gestion des résultats. Mon superviseur me laissait tester des choses et nous essayions ensemble de comprendre les résultats pour connaître la marche à suivre. Lors du projet des crabes des neiges, les résultats me donnaient beaucoup d'information sur comment améliorer le

modèle. Par exemple, l'instar IX immature n'existait pas au début, mais avec le modèle, on a remarqué que certains plus gros crabes n'étaient pas bien pris en compte ce qui a amené la réalisation qu'il manque un instar. Pour le projet d'otolithe, je devais me baser sur les images que j'obtenais pour déterminer l'efficacité des différentes méthodes. Pour bien comprendre ces résultats, il m'a fallu lire plusieurs publications sur le crabe des neiges, les otolithes et sur les différentes méthodes statistiques ou de traitement d'image que j'ai utilisées. Vers la fin de l'été, j'ai dû compiler et vulgariser mes résultats afin de les présenter aux gens du département. En effet, j'ai eu la chance de présenter ce que j'ai accompli à mes collègues de travail afin de leur présenter les avancements que j'ai faits cet été.

## 5 Dynamique du groupe de travail

Lors de mon stage d'été, je travaillais principalement avec mon superviseur. Puisque c'est l'été, la plupart des employés sont partis en mer récolter des informations sur les différents animaux marins ou en vacances. Néanmoins, j'étais bien encadré par mon superviseur et était toujours bien occupé et stimulé. Ensemble, nous discutons de ce qu'on a accompli depuis la dernière rencontre, ce qui fonctionnait ou qui ne fonctionnait pas ainsi que de nouvelles idées à tester. Pour le projet d'otolithe, j'ai aussi pu avoir le support de deux autres personnes du département des poissons de fond. Nous échangeons nos avancements avec eux lors de réunions et bénéficions aussi de leur point de vue. Lors de mon stage, on m'a aussi fait la visite du Centre des pêches du Golfe qui a compris l'endroit où se passe la préparation, prise de photo et compte des anneaux des otolithes. Les gens étaient très gentils et ont pris le temps de bien répondre à toutes mes questions. Cela m'a permis de bien mettre en contexte à quoi représentait les images sur lesquels je travaillais.

## 6 Conclusion

Pour conclure, ce dernier stage coop m'a appris beaucoup de choses en statistique et en traitement d'image. Il m'a aussi permis de mieux voir à quoi ressemble le marché du travail en le vivant, mais aussi en observant les gens autour de moi. J'ai pu renforcer mes connaissances du langage R qui étaient très basiques avant ce stage et utilisé plusieurs concepts appris lors de cours de statistiques tel que le maximum de vraisemblance. J'ai beaucoup appris de techniques pour traiter une image ce qui est très présent de nos jours avec la montée en popularité de l'intelligence artificielle. Toutes ces compétences et expériences me seront très utiles plus tard dans mes projets futurs.

## 7 Bibliographie

- [1] Frédéric Cao and Ronan Fablet. Automatic morphological detection of otolith nucleus. *Pattern Recognition Letters*, 27(6):658–666, 2006.
- [2] Arno Formella, José Vázquez, E. Cernadas, Antonio Rodríguez, Germán Pérez, and Gándaras. Age reading of cod otoliths based on image morphing, filtering and fourier analysis. *Proceedings of the 7th IASTED International Conference on Visualization, Imaging, and Image Processing, VIIP 2007*, 01 2007.
- [3] Andre E. Punt, TzuChuan Huang, and Mark N. Maunder. Review of integrated size-structured models for stock assessment of hard-to-age crustacean and mollusc species. *ICES Journal of Marine Science*, 70(1):16–33, 01 2013.