

Analyses statistiques de facteurs environnementaux susceptible d expliquer l augmentation du prix du crabe au cours des années 1973 - 1982

Louise Percevault et Ethan Cohen

10 Janvier 2020

Contents

Introduction et contexte	2
Matériels et méthodes :	3
Les données :	3
Logiciel et packages :	4
Statistiques descriptives :	4
Résultats :	9
Statistiques descriptives :	9
Analyses en composantes principales (ACP) :	13
Prix du crabe royal :	16
Nombre de capture :	16
Poids moyen :	16
Abondance en mâles capturables :	17
Fertilité des femelles (en potentiel de ponte) :	17
Discussion :	17
Interprétation des modèles :	17
Limites des données et des modèles :	18
Des pistes pour comprendre le non-regains des stocks des Crabe Royaux autour des îles Kodiak : .	19
Conclusion :	19
Bibliographie :	19

Introduction et contexte

Les surfaces immergées occupent la majorité de l'espace sur la Terre. Par conséquent, depuis des décennies, les populations humaines ont eu besoin de puiser des ressources dans ces grands espaces. Dans certaines de ces populations, la pêche est devenue une part importante, voir indispensable de l'économie locale. La question de la durabilité de l'exploitation de ce service écosystémique devient centrale à l'heure où on observe de plus en plus de déclin des stocks d'espèces les plus ciblées. Les exemples sont de plus en plus nombreux. On peut penser au cas historique, de la Morue de l'Atlantique Nord (*Gadus morhua*) au Sud du Labrador (Olsen et al. 2004). Dans cette région du Canada l'économie très dépendante de cette activité a dû faire face au déclin spectaculaire des stocks dans les années 1990. Un moratoire établi par le gouvernement canadien, interdit la pêche à la Morue depuis 1992. Malgré ces mesures les stocks ne sont toujours pas reconstruits, la pêche est toujours interdite. La pression exercée par la pêche sur les populations a engendré des changements de traits d'histoires de vies : taille des poissons ; âge de première reproduction ; nombre de reproduction, sans parler des impacts sur les chaînes trophiques.

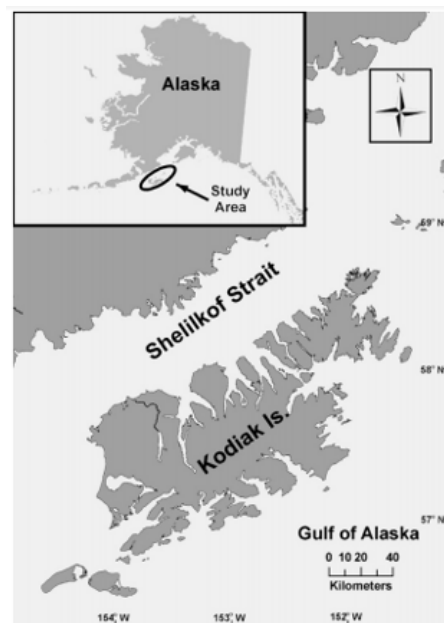


Figure 1 : Région d'étude des populations de Crabe Royal Figure tirée de l'article de Bechtol & Kruse, 2009).

Dans ce rapport, on s'intéressera à un autre exemple historique, celui du Crabe Royal (*Paralithodes camtschaticus*). Une figure centrale de l'économie de la pêche dans le Nord du golf d'Alaska autour des îles Kodiak (Bechtol & Kruse, 2009a) (Figure 1). Lors de la pêche seuls les mâles sont capturés. Cette exploitation, au départ restreinte par sa difficulté (pêche hivernale, petits bateaux de pêche), connaît un essor dans les années 1960 (Bechtol & Kruse, 2009a) avec des bateaux de plus en plus spécifiques à la récolte de crabes. Suite à une augmentation constante allant jusqu'à la pêche de 42 800 tonnes de crabes, les stocks commencent à décliner à partir de 1965. A partir de cette constatation, le gouvernement met en place des mesures de gestion comme la fermeture de certaines zones de pêche, l'instauration de quotas. Puis en 1983, face à une situation catastrophique l'état d'Alaska finit par interdire la pêche au Crabe Royal. Malheureusement, les mesures mises en place n'ont pas permis le rétablissement des populations de crabe.

Plusieurs chercheurs se sont intéressés aux causes de cette non-augmentation des populations autour des îles Kodiak. Des relevés scientifiques par capture ont été réalisés à partir du moment où les stocks ont commencé à décliner dans la région. Des données fournis par le Département d'Alaska du Poisson et du Gibier (The Alaska Department of Fish and Game) sont donc disponibles pour répondre à certaines questions.

Au travers de ces données, plusieurs questions peuvent être posées, plusieurs angles d'approche sont possibles. Suite à une description préliminaire du jeu de données nous avons décidé de partir d'une problématique simple : Pour quelles raisons le prix du Crabe Royal est passé de 0.085 dollars la livre à 3.75 dollars en vingt-deux

ans ? En cherchant à y répondre le plus précisément possible, nous sommes passés par de nombreuses analyses qui permettront d'exploiter les données dans leur globalité.

Cette problématique plutôt portée sur l'économie ne nous empêchera pas d'aborder des questions écologiques en lien direct ou indirect avec le prix du crabe sur le marché. La valeur d'une ressource en économie dépend de nombreux paramètres: la rareté de la ressource, la demande, les conditions de récolte etc. Avec les informations dont nous disposons nous avons émis certaines hypothèses qui permettront de lier directement ou indirectement nos données au prix de la livre de Crabe Royal. Premièrement, la disponibilité en crabe, si les crabes sont plus rares le prix risque d'augmenter car le coup de la pêche sera lui aussi plus élevé. Deuxièmement, le poids des crabes pêchés, plus le poids des crabes est faible, plus on a besoin d'en pêcher pour rentabiliser la pêche, cela peut donc augmenter le coût total de la pêche et par conséquent faire monter les prix sur le marché. D'autres variables seront également analysées et modélisées selon les méthodes décrites dans la partie suivante.

Matériels et méthodes :

Les données :

Les données concernant les crabes proviennent d'un protocole d'échantillonnage réalisé par le Département d'Alaska du Poisson et du Gibier (The Alaska Department of Fish and Game). La campagne a été menée entre 1973 et 1982 autour des îles Kodiak. L'échantillonnage des individus a été fait à l'aide de casiers de pêches identiques à ceux utilisés pour la pêche commerciale, une fois que le crabe est rentré dans le casier en bois, il ne peut plus en ressortir. Plusieurs casiers sont disposés dans des stations préalablement déterminées à l'aide d'une grille de la zone, soit en pleine mer, soit en bord de côte pendant environs une journée. Chaque année le même protocole est réalisé en été avant la reprise de la pêche commerciale. Les crabes sont comptés, mesurés et relâchés. La taille est utilisée ici comme un proxy de l'âge. La législation de cette pêche est basée sur une taille minimum des crabes mâles. Les mâles sont donc classés en six catégories : Les mâles qui seront disponibles à la pêche dans 4 ans ; dans 3 ans ; dans 2 ans ; dans 1 an ; les mâles disponibles l'année de la pêche et les mâles qui étaient déjà disponible depuis au moins un an. Les femelles sont classées en deux catégories : les femelles juvéniles ; les femelles adultes. Les femelles classées dans la catégorie adulte sont seulement les femelles portant des oeufs et atteignant une certaine taille. Les femelles adultes ont aussi été comptées et classées par pourcentage d'embranchage (percent clutch fullness), de zéro à cent pour cent. Toutes les informations dont nous disposons sur les crabes sont répertoriés dans la table ci-dessous (Table 1). Des données sur la pêche commerciale sont également disponibles ainsi que des données spatiales. Les données de salinité et de température sont mis à disposition par l'Institut des Sciences Marines, Université d'Alaska. (Table 2).

Variables disponibles sur les crabes	Variables supplémentaires
Données d'échantillonnage "Survey": <ul style="list-style-type: none"> - Années (1973-1986) - District (1,2,3,4) - Station - Nombre de casier - Nombre de mâle disponible dans 4 ans - Nombre de mâle disponible dans 3 ans - Nombre de mâle disponible dans 2 ans - Nombre de mâle disponible dans 1 an - Nombre de mâle disponible l'année de l'échantillonnage - Nombre de mâle déjà disponible depuis au moins un an - Nombre de femelle juvénile - Nombre de femelle adulte - Nombre total de mâles disponible à la pêche une année donnée. - Sexratio (Nombre de femelle total/ Nombre de mâle total) 	Coordonnées géographique de la région "kodiak": <ul style="list-style-type: none"> - Longitude - Latitude
Données de comptage pour chaque taille "Dsize": <ul style="list-style-type: none"> - Années (1973-1986) - Taille (en millimètre) - Comptage de femelle adulte - Comptage de femelle juvénile - Comptage de tous les mâles 	Statistique de la pêche commerciale "fleet": <ul style="list-style-type: none"> - Années (1960-1982) - Nombre de bateau enregistré pour la pêche - Nombre de crabe capturé - Poids total de crabe capturé (en kilogramme) - Nombre total de casier de pêche - Prix du crabe pour les grossistes (en dollars par livre)
Données de comptage des femelles avec différents potentiels de pontes en pourcentage "fullness": <ul style="list-style-type: none"> - Années (1973-1986) - Taille (en millimètre) - 0% de potentiel de ponte - 1 à 29% de potentiel de ponte - 30 à 59% de potentiel de ponte - 60 à 89% de potentiel de ponte - 90 à 100% de potentiel de ponte 	Statistique de pêche par district "catch": <ul style="list-style-type: none"> - Années (1960-1982) - District (1,2,3,4) - Total des crabes pêchés (comptage) - Poids total de la pêche (en kilogramme) - Poids moyen des crabes (Poids total / Nombre total de crabe)
Données sur les oeufs des femelles "eggs": <ul style="list-style-type: none"> - Années (1973-1986) - Estimation du nombre d'oeuf par femelle adulte 	Données environnementales "salinity et celsius": <ul style="list-style-type: none"> - Année (1970-1983) - Mois - Salinité - Température (°C) - Salinité moyenne - Température moyenne

Table 2 : Détails des variables disponibles sur la pêche, l'environnement (les variables en rouge sont celles que nous avons créés avec les données existantes.

Table 1 : Détails des variables disponibles sur les crabes femelles et mâles (les variables en rouge sont celles que nous avons créés avec les données existantes.

Logiciel et packages :

Toutes nos données ont été analysés avec le logiciel Rstudio version 1.2.5033 et les packages : knitr, rmarkdown et markdown pour effectuer ce document sous Rmarkdown, ggplot2 pour nos graphiques, lme4 et nlme pour nos modélisations et AER pour tester la surdispersion des données dans le cas d'une distribution suivant la loi de poisson. La création du Rmarkdown a aussi nécessité l'utilisation de LaTeX.

Statistiques descriptives :

Représentations graphiques :

Tout d'abord, même si une période de 13 ans est relativement courte pour étudier l'évolution d'une population, il est intéressant de voir l'évolution des séries temporelles auxquelles nous avons accès. Afin d'y voir une tendance (diminution, augmentation, stabilisation, oscillation...) au cours du temps. C'est pourquoi, nous avons dans un premier temps, représenté graphiquement nos variables en fonction du temps.

Les graphiques qui nous intéressent dans cette partie sont les suivants :

- Le prix en dollars de la livre de Crabe Royal en fonction du temps. Celui nous permettra d'illustrer le point de départ de notre analyse, à savoir, la forte augmentation qu'a connue le prix du Crabe Royal en 22 ans.
- Le nombre de crabe (stock) ayant la taille légale de pêche l'année de la capture en fonction du temps. Ce stock détermine les capacités de pêche de la saison qui arrive, il est donc important de voir sa dynamique au cours du temps dans notre cas.
- Le nombre de bateau enregistré en fonction du temps. La pêche au Crabe Royal a évolué depuis son début, cette variable nous donne une idée des fluctuations d'intensité de celle-ci depuis les années 60.
- La pêche peut aussi être caractérisée par le nombre de piège posé par saison
- Le poids total de crabe pêché.
- Le poids moyen d'un Crabe Royal pêché en fonction du temps. Le poids moyen d'un crabe peut être un facteur indirect du prix, car plus ils sont petits, plus les efforts de pêche doivent être important pour pêcher les mêmes quantités, or les quotas ne permettent pas toujours l'augmentation de l'effort donc cela peut avoir un impact sur l'économie.

- Le nombre total de femelle au plus haut potentiel de ponte par année.

Analyses en composantes principales (ACP) :

L'ACP est une méthode de visualisation globale de données multivariées. Cette analyse nous permet d'extraire des informations telles que : l'importance de certaines variables, la corrélation forte entre deux variables. Avant de faire des modèles complexes contenant plusieurs variables, il peut être intéressant d'utiliser l'ACP pour choisir quelles variables vont être importantes, pour éviter la redondance des variables. Nous avons réalisé une ACP pour les deux principaux jeux de données multivariées : "Survey" et "Catch". Elles sont réalisées avec la fonction `pca` du package `FactominR`. Le nombre de composantes est choisi à l'aide des valeurs propres et des pourcentages d'explication de variabilité de chaque composante.

Analyses et modélisation statistiques :

Tous les modèles présentés ci-dessous sont sélectionnés en amont, parmi d'autres selon une ou plusieurs méthodes, on ne retient que les plus pertinents. Dans un premier temps, on étudie la distribution des variables utilisés. Dans le cas où la variable suit une distribution de poisson, on effectue un test de surdispersion avec la fonction `dispersiontest()` du package "AER". Si on observe une surdispersion, alors on utilise une loi de quasi-poisson dans notre modèle.

Dans un second temps, on choisit les modèles ayant le Akaike information criterion (AIC) le plus faible ou le coefficient de détermination (R^2) le plus fort.

Evolution et modélisation du prix du Crabe Royal entre 1960 et 1982 :

On cherche à tester l'existence d'une augmentation importante du prix de la livre de crabe en 22 ans. Pour cela, on ne peut pas directement utiliser la table "fleet", puisqu'on a une observation pour chaque modalité de la variable année. On a calculé le prix à partir des variables : nombre de crabes capturés, kilogrammes de crabes capturés, le poids moyen d'un crabe en kilogrammes pour chaque année et pour chaque district de la table "catch". On a converti la variable Prix en dollars par livre de la table "fleet" en Prix en dollars par kilogrammes :

$$Prix(dollars/kg) = Prix(dollars/livre) * 0.45$$

On peut ensuite calculer le prix moyen d'un crabe pour chaque district à partir de ces deux nouvelles variables :

$$Prix_moyen_d'un_crabe(dollars) = Poids_moyen_d'un_crabe(kg) * Prix(dollars/kg)$$

On va maintenant pouvoir évaluer l'évolution du prix moyen d'un crabe, puisque pour chaque année, on a quatre observations. Pour cette analyse nous avons utilisé un modèle d'ANOVA à un facteur :

$$Y_i = \mu + \alpha_i + E_i$$

La résiduelle E_i suit une loi normale de moyenne 0 et de variance σ^2 , les résidus sont indépendants et identiquement distribués : $E_i \sim N(0, \sigma^2)$

Y_i suit une loi normale de moyenne μ et de variance σ^2 : $Y_i \sim N(\mu, \sigma^2)$

Les hypothèses à tester sont les suivantes :

Hypothèse nulle (H_0), il n'y a pas de différence significative de prix entre les années :

$$Y_i = \mu + E_i$$

Hypothèse alternative (H_1), il y a une différence de prix significative entre les années. :

$$Y_i = \mu + \alpha_i + E_i$$

- Variable d'intérêt : Prix moyen d'un crabe en dollars (Y_i)
- Facteur : Année α_i , avec $i = 1$ à 22 (modalité du facteur année), α_i l'effet du facteur pour la i ème modalité.

Effets de variable quantitative sur le prix moyen des crabes (dollars) :

On s'intéresse aux variables de la table "fleet", qui ont un effet potentiel sur une variation significative du prix. Comme évoqué dans la partie : Statistiques descriptives, on ne peut pas utiliser dans ce modèle le facteur année, car le nombre d'observations pour chaque modalité du facteur est de 1. On commence par un modèle de régression linéaire simple :

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 * x_{1i} + E_i$$

- Variable d'intérêt : Prix moyen du crabe en dollars / livre (Y_i)
- Variable explicative quantitative : Nombre de bateaux envoyé à la pêche β_1

D'après les graphiques diagnostiques de ce modèle, on note une hétérogénéité dans la variance des résidus. On transforme la variable d'intérêt par son logarithme afin de rectifier cette hétérogénéité et on complexifie le modèle :

$$\log(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 * x_{1i} + \beta_2 * x_{2i} + \beta_3 * x_{3i} + E_i$$

$$E_i \sim N(0, \sigma^2)$$

Hypothèse nulle :

$$\log(Y_i) = \beta_0 + E_i$$

Hypothèse alternative :

$$\log(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 * x_{1i} + \beta_2 * x_{2i} + \beta_3 * x_{3i} + E_i$$

- Variable d'intérêt : Prix moyen du crabe en dollars / livre (Y_i)
- Variables explicatives quantitatives : Nombre de bateaux envoyé à la pêche (β_1), nombre de crabe capturé (β_2) et poids moyen des crabes (β_3).

Bien qu'elles soient corrélées d'après l'ACP, on prend en compte les deux variables en même temps dans le modèle car c'est ce modèle qui a l'AIC le plus faible et ces deux variables ont des significations biologiques différentes. Pour les 4 autres catégories les modèles de régressions sont identiques à celui présenté ci-dessus.

Evolution de la pêche autour des îles Kodiak :

Nous disposons de plusieurs variables relatives à la pêche commerciale. Nous faisons l'hypothèse que le prix du crabe est lié au nombre de crabe pêché ainsi qu'au poids moyen d'un crabe et au poids total de crabe pêché durant une saison. On va donc s'intéresser à l'évolution de ces variables au cours du temps. Dans le but de confirmer certaines hypothèses on s'est aussi intéressé au nombre de pièges à crabe utilisés par les pêcheurs et au nombre de bateaux envoyés en mer. Afin de savoir si l'effort de pêche a été constant, a augmenté ou diminué au cours du temps. La variable à expliquer étant un comptage (quantitative discrète), elle suit une loi de Poisson de paramètre λ_i , $Y_i \sim P(\lambda_i)$ donc on utilise un modèle linéaire généralisé :

$$\log(\lambda_i) = \mu + \alpha_i + E_i$$

Hypothèse nulle :

$$\log(\lambda_i) = \mu + E_i$$

Hypothèse alternative :

$$\log(\lambda_i) = \mu + \alpha_i + E_i$$

- Variable d'intérêt : Nombre de crabe pêché (Y_i).
- Facteur : Année, avec $i = 1$ à 22 (modalité du facteur année), α_i l'effet du facteur année pour la i ème modalité.

Il n'est pas possible de réaliser un modèle similaire pour le nombre de bateaux et le nombre de pièges car nous ne disposons que d'une valeur par année. Pour celles-ci on a seulement réalisé une représentation graphique (à laquelle on ajoute une droite de régression) pour avoir une idée de leur évolution au cours du temps.

Modèle d'anova à un facteur pour le poids moyen des crabes :

$$Y_i = \mu + \alpha_i + U_k + E_i$$

La résiduelle E_i suit une loi normale de moyenne 0 et de variance σ^2 , les résidus sont indépendants et identiquement distribués : $E_i \sim N(0, \sigma^2)$

Hypothèse nulle :

$$Y_i = \mu + E_i$$

Hypothèse alternative :

$$Y_i = \mu + \alpha_i + E_i$$

- Variable d'intérêt : Y_i = Poids moyen des crabes capturés, avec :

$$\text{Poids_moyen_d'un_crabe}(kg) = \text{Kilogrammes_de_crabes_capturés}/\text{nombre_de_crabes_capturé}$$

- Facteur : Année, avec $i = 1$ à 22 (modalité du facteur année), α_i l'effet du facteur année pour la i ème modalité.

Avec $i = 1$ à 22 (modalité du facteur année), α_i l'effet du facteur pour la i ème modalité.

Evolution de l'abondance en crabes disponible à la pêche:

Les individus visés par la pêche étant exclusivement des mâles, il est pertinent de s'intéresser à l'évolution des stocks de crabe mâles déjà disponible à la pêche et ceux qui vont le devenir. Comme dans la partie précédente, à l'aide d'un modèle linéaire généralisé on a cherché à déterminer si la diminution au cours du temps des stocks de crabe disponible à la pêche l'année de la capture était significative.

On a commencé par créer une nouvelle variable qui équivaut à tous les mâles susceptibles d'être pêchés de la table "survey":

$$\text{M\^ale_l\^egal}(\text{legal_male}) = \text{post_recruit} + \text{recuite_male}$$

Cela nous donne le nombre de mâle disponible à la pêche légale. La variable d'intérêt suit une distribution de poisson donc on utilise un modèle linéaire généralisé :

$$\log(\lambda_i) = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij} + \phi_1 * x_{1k} + E_{ijk}$$

Hypothèse nulle :

$$\log(\lambda_i) = \mu + E_{ijk}$$

Hypothèse alternative :

$$\log(\lambda_{ij}) = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij} + \phi_1 * x_{1k} + E_{ijk}$$

- Variable d'intérêt : Abondance en crabe éligible à la pêche (Y_{ij}), $Y_{ij} \sim P(\lambda_{ij})$.
- Variables explicatives : Facteur année (α_i) à $i = 1$ à 14 modalités, facteur district (β_j) à $j = 1$ à 4 modalités, γ_{ij} l'effet de l'interaction entre les deux facteurs et ϕ_1 la variables quantitative nombre de pots.

Le logiciel R utilise par défaut le district 1 et l'année 1973 comme référence. Néanmoins on observe sur la figure 3, que l'abondance en mâle capturable semble plus faible en 1973 qu'en 1974. En prenant l'année 1973 en référence, on prend le risque de ne pas pouvoir déterminer si la baisse observée dans la figure 3 est significative ou non, puisqu'on compare nos différentes années à une année où l'abondance est déjà faible, pour une raison qu'on ignore. On prend donc 1974 en référence avec la commande `relevel()`.

On s'intéresse également à l'évolution de l'échantillonnage au cours du temps et en fonction des districts, afin de savoir si l'effort d'échantillonnage est constant, pour éviter tout biais dans l'interprétation. La résiduelle E_i suit une loi normale de moyenne 0 et de variance σ^2 , les résidus sont indépendants et identiquement distribués : $E_i \sim N(0, \sigma^2)$ Les hypothèses sont les suivantes :

Hypothèse nulle : l'effort d'échantillonnage est constant au cours du temps

$$Y_i = \mu + E_{ij}$$

Hypothèse alternative : l'effort d'échantillonnage varie au cours du temps

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij} + E_{ij}$$

- Variable d'intérêt : Y_i = nombre de pièges pour l'échantillonnage à la i -ème année.
- Variables explicatives : facteur année à $i = 1$ à 14 modalités, α_i l'effet du facteur pour la i -ème modalité et facteur district à $j = 1$ à 4 modalités, β_j l'effet du facteur pour la j -ième modalité et γ_{ij} l'interaction entre les deux facteurs.

Modélisation de l'abondance en crabe légalement pêchable :

On s'intéresse maintenant aux variables susceptible d'avoir un effet sur l'abondance en crabe légalement pêchable. Pour ce modèle, on a pour chaque année sommé le nombre de crabe pêchable, sommé le nombre de femelles avec un potentiel de ponte de 100% et de 1 à 29 % (on a choisi uniquement ces deux potentiels, pour éviter la redondance entre variables corrélées), calculés les moyennes de température, de salinité et calculé le sexratio suivant ce calcul :

$$\text{Nombre_total_de_femelle} / \text{Nombre_total_de_m\^ale}$$

La variable d'intérêt $Y_i \sim P(\lambda_i)$ donc on utilise un modèle linéaire généralisé :

$$\log(\lambda_i) = \beta_0 + \beta_1 * x_{1i} + \beta_2 * x_{2i} + \beta_3 * x_{3i} + \beta_4 * x_{4i} + \beta_5 * x_{5i} + E_i$$

Hypothèse nulle :

$$\log(\lambda_i) = \beta_0 + E_i$$

Hypothèse alternative :

$$\log(\lambda_i) = \beta_0 + \beta_1 * x_{1i} + \beta_2 * x_{2i} + \beta_3 * x_{3i} + \beta_4 * x_{4i} + \beta_5 * x_{5i} + E_i$$

- Variable d'intérêt : Y_i le nombre de crabe légalement pêchable à la i -ème année.
- Variables explicatives quantitatives : nombre de femelles avec un potentiel de ponte de 100 % (β_1), nombre de femelles avec un potentiel de ponte de 1 à 29 % (β_2), sex-ratio (β_3), températures moyennes (β_4), salinités moyennes (β_5).

Evolution de l'abondance en femelle avec un haut potentiel de ponte :

Dans ce modèle on utilise le potentiel de ponte de 90-100 % et le potentiel de ponte de 60-89 %. La variable d'intérêt suit une distribution de poisson avec surdispersion donc on utilise un modèle linéaire généralisé.

Hypothèse nulle :

$$\log(\lambda_i) = \mu + E_{ij}$$

Hypothèse alternative :

$$\log(\lambda_i) = \mu + \alpha_i + \beta_1 * x_{1j} + E_{ij}$$

- Variable d'intérêt : Abondance en femelles avec un potentiel de ponte de 100 % ou de 60-89 % (Y_i), $Y_i \sim P(\lambda_i)$
- Facteur année (α_i) à $i = 1$ à 14 modalités, variable quantitative taille des femelles (β_1).

Dans un second modèle de régression linéaire généralisé, on s'intéresse à l'effet des variations de température et de salinité du milieu sur l'abondance en femelles avec un potentiel de ponte de 100 %. Pour cela, on crée une nouvelle table de données, avec le nombre moyen de femelles, leurs tailles moyennes, les température moyenne et la moyenne de salinité entre 1973 et 1983.

$$\log(\lambda_i) = \beta_0 + \beta_1 * x_{1i} + \beta_2 * x_{2i} + \beta_3 * x_{3i} + E_i$$

Hypothèse nulle :

$$\log(\lambda_i) = \beta_0 + E_{ij}$$

Hypothèse alternative :

$$\log(\lambda_i) = \beta_0 + \beta_1 * x_{1i} + \beta_2 * x_{2i} + \beta_3 * x_{3i} + E_i$$

- Variable d'intérêt : Abondance en femelles avec un potentiel de ponte de 100
- Variables explicatives quantitatives : taille des femelles (β_1), température moyenne (β_2), salinité moyenne (β_3).

Evolution du sex-ratio :

On s'intéresse à l'évolution en fonction du temps du sex-ratio car il est susceptible d'avoir un effet sur l'abondance en crabe. On utilise un modèle d'ANOVA à deux facteurs sans interaction et on transforme la variable d'intérêt par son logarithme afin de rectifier l'hétérogénéité trouvée dans les graphiques diagnostiques : Hypothèse nulle :

$$\log(Y_i) = \mu + E_i$$

Hypothèse alternative :

$$\log(Y_{ij}) = \mu + \alpha_i + \beta_j + E_{ij}$$

- Variable d'intérêt : Sex-ratio
- Facteur année (α_i) $i = 1$ à 14 modalités et le facteur district (β_j), $j = 1$ à 4 modalités.

La résiduelle E_i suit une loi normale de moyenne 0 et de variance σ^2 , les résidus sont indépendants et identiquement distribués. $E_i \sim N(0, \sigma^2)$.

Evolution des facteurs abiotiques :

La température et la salinité étant deux facteurs abiotiques couramment susceptibles d'avoir un effet sur la physiologie et/ou le comportement des espèces (Swingle, J. S, 2013), on teste leurs variations en fonction du temps. Pour ces deux variables d'intérêts on utilise le même modèle, une ANOVA à 2 facteurs. Hypothèse nulle : La température et / ou la salinité ne varient pas significativement au cours du temps

$$Y_{ij} = \mu + E_{ij}$$

Hypothèse alternative : La température et / ou la salinité varient significativement au cours du temps

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + E_{ij}$$

- Variable d'intérêt : Température ou Salinité
- Variables explicatives : Facteur année (α_i) $i = 1$ à 14 modalités et le facteur mois (β_j), $j = 1$ à 12 modalités.

La résiduelle E_i suit une loi normale de moyenne 0 et de variance σ^2 , les résidus sont indépendants et identiquement distribués. $E_i \sim N(0, \sigma^2)$.

Résultats :

Statistiques descriptives :

Représentation graphiques :

Les représentations graphiques des variables que nous voulions utiliser par la suite ont été une étape indispensable de notre analyse. Même si elles ne reposent pas sur des tests statistiques, elles nous permettent une première compréhension des relations entre variables. Puis, elles nous renseignent sur les modèles qui seront intéressants à réaliser. Pour commencer, la Figure 2 représente l'évolution du prix (en dollars) de la livre de Crabe Royal entre 1960 et 1983. On peut voir qu'au cours de ces 22 ans le prix a d'abord été stable du début de la pêche jusqu'en 1966, puis il commence à augmenter légèrement à partir de 1967. En 1972, le prix de la livre dépasse les 0.5 dollars. C'est à partir de 1975 que les prix augmentent de façon exponentielle pour atteindre 3.75 dollars en 1983. La pêche étant interdite à partir de 1983, il n'y a plus de données disponibles à partir de cette date.

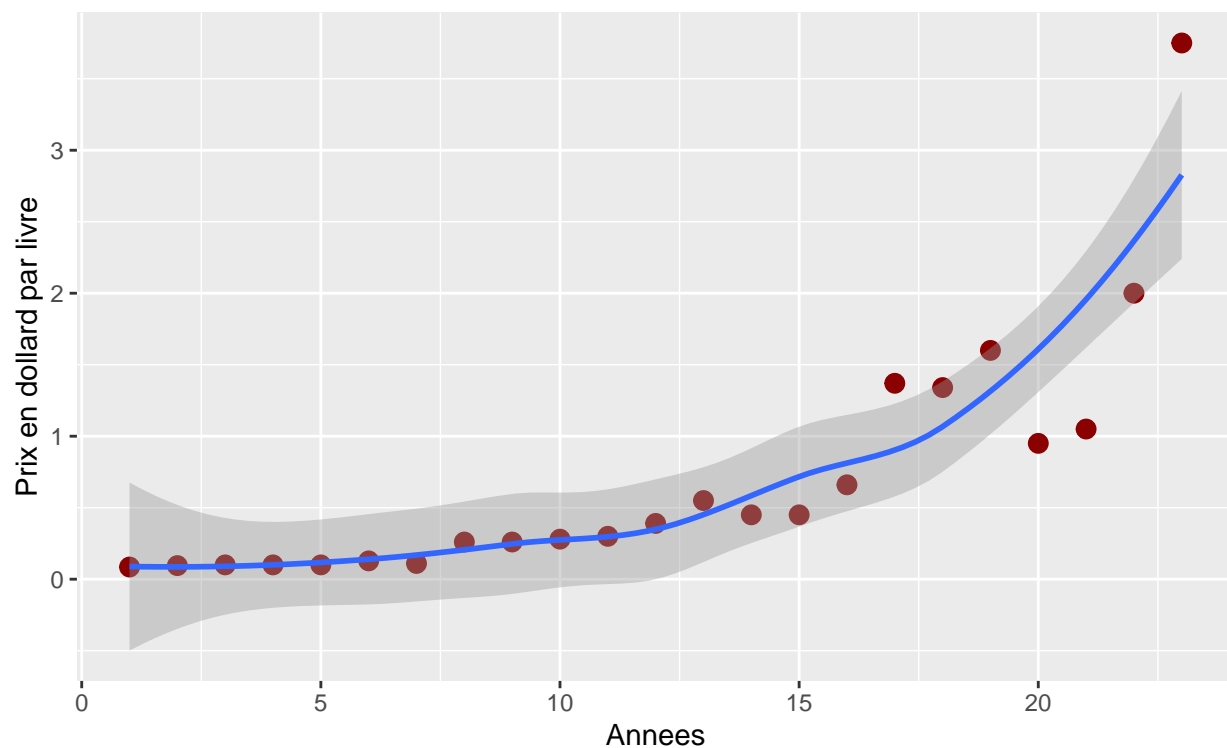


Figure 2 : Evolution du prix de la livre de Crabe Royal (*Paralithodes camtschaticus*) autour des îles Kodiak, Alaska.

La Figure 3 représente le nombre total de Crabe Royal mâle capturé qui ont atteint la taille légale de pêche. Cela correspond à un proxy du potentiel de pêche de chaque année. Ces stocks sont de taille plutôt variable entre 1973 et 1979. Mais à partir de 1981, il y a une forte diminution. En 1986, après comptage on arrive à 1443 crabes contre 63 754 l'année la plus abondante (1977).

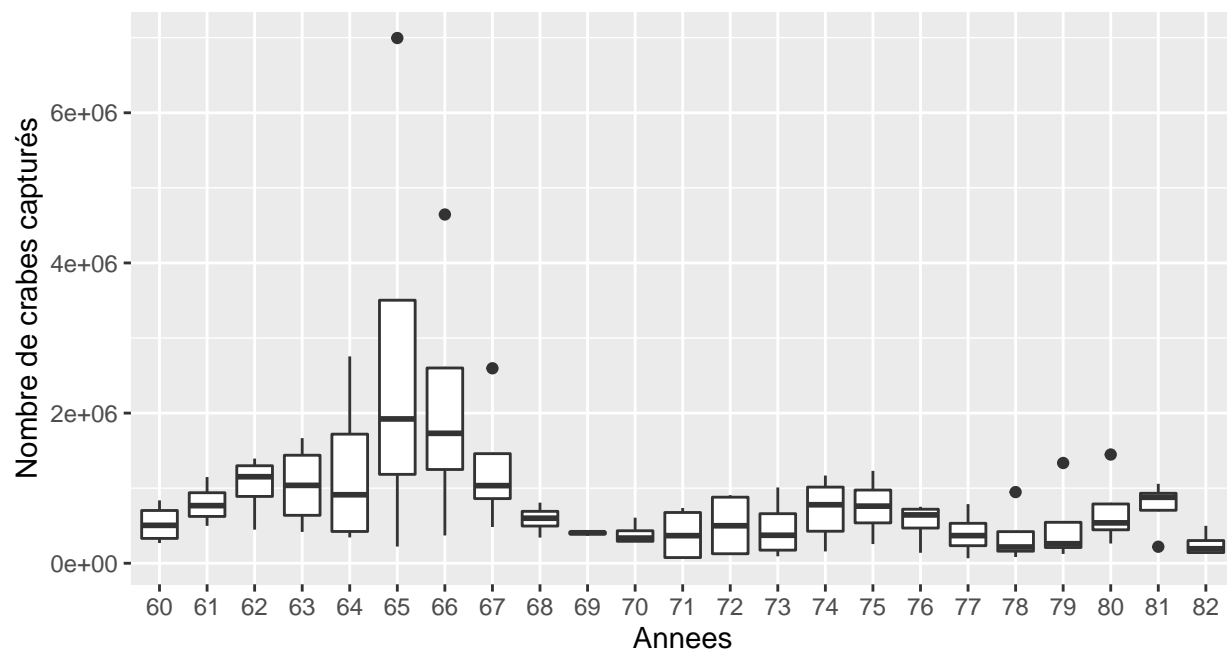


Figure 3 : Evolution du nombre total de crabe mâle disponible à la pêche légale l'année de la capture.

La Figure 4 décrit l'historique de la pêche entre 1960 et 1982. Le nombre de bateau de pêche augmente progressivement jusqu'en 1967 puis chute brutalement et atteint son minimum en 1972. A partir de 1973 le nombre de bateau augmente à nouveau mais on observe de grandes fluctuations.

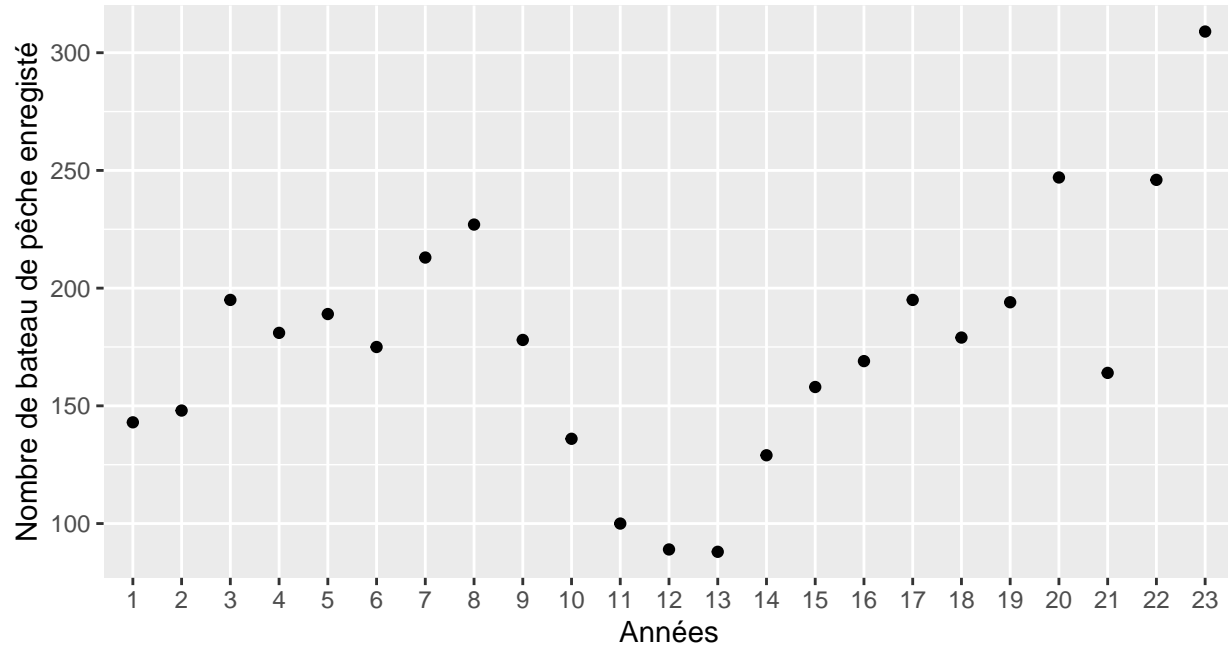


Figure 4 : Evolution du nombre de bateau de pêche enregistré (pêche légale).

La Figure 5 correspond au nombre de piège à crabe disposé chaque saison de pêche. L'évolution est semblable à celle du nombre de bateau.

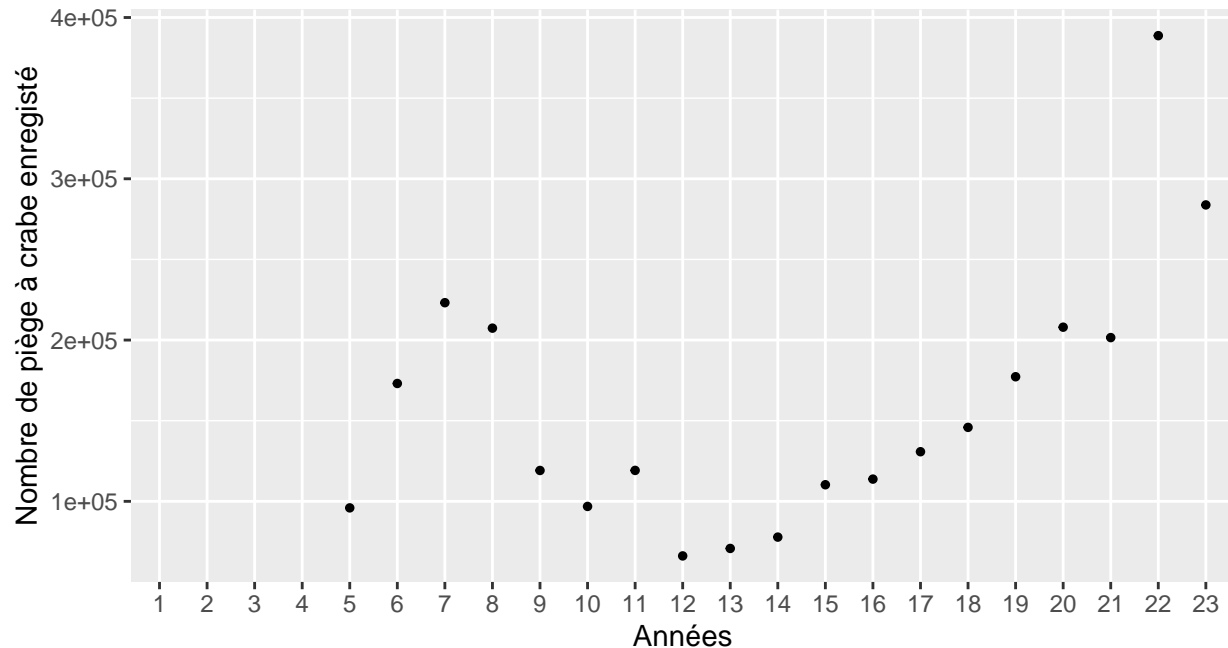


Figure 5 : Nombre total de piège à crabe enregistré (les données ne sont pas disponible de 1960 à 1963).

En revanche, le poids total de crabe pêché chaque année (Figure 6) ne suit pas la même dynamique. Les prises les plus abondantes sont en 1965, ensuite malgré quelques fluctuations les prises sont de plus en plus faibles (maximum (1965) : 42 833 244 kilogramme de crabe ; minimum (1982) : 3 948 467 kilogramme de crabe).

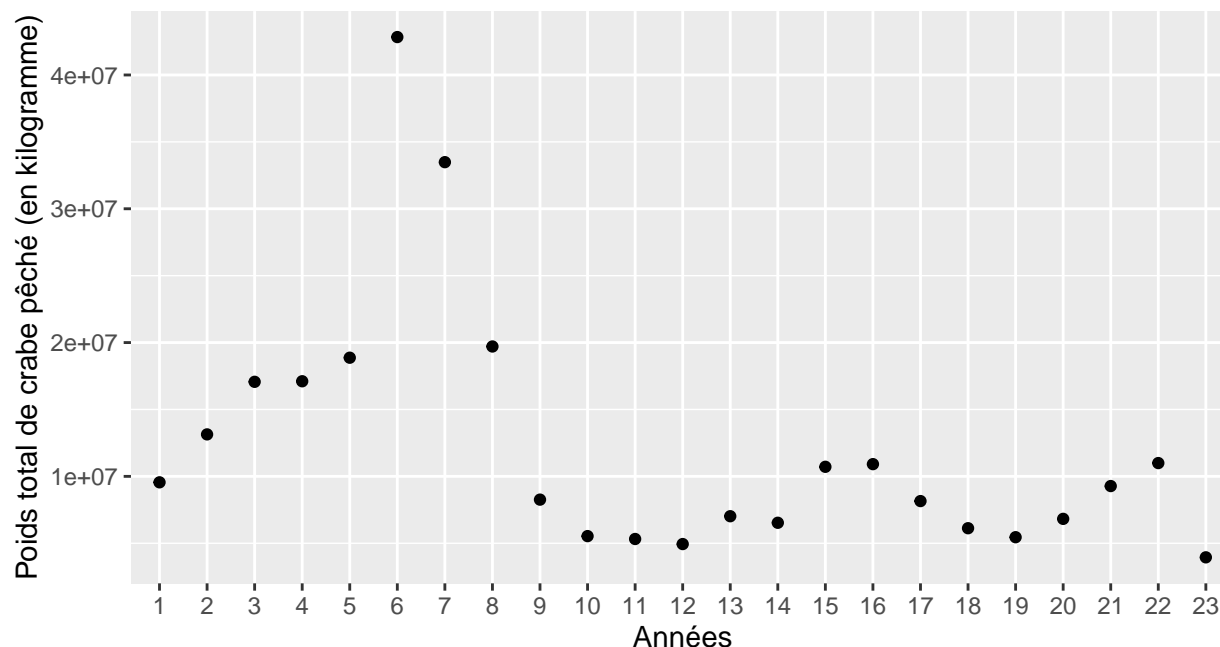


Figure 6 : Poids total de crabe pêché (en kilogramme).

La Figure 7, décrit les variations du poids moyen des crabes mâles pêchés. Cette évolution semblable à celle de la Figure 6, met en évidence une tendance à la diminution du poids des crabes mâles pêchés depuis 1960. Pour finir, la Figure 8, nous montre une diminution globale du nombre de femelle au plus haut potentiel de ponte, surtout visible à partir de 1980.

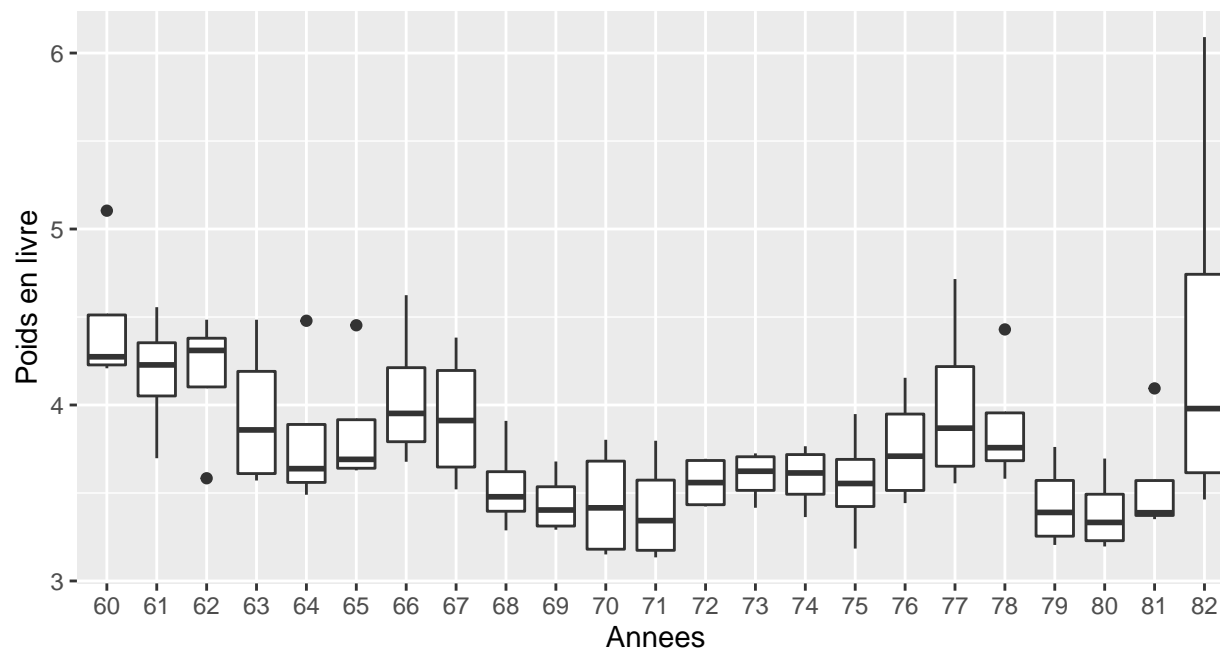


Figure 7 : Poids moyen d'un crabe pêché entre 1960 et 1982.

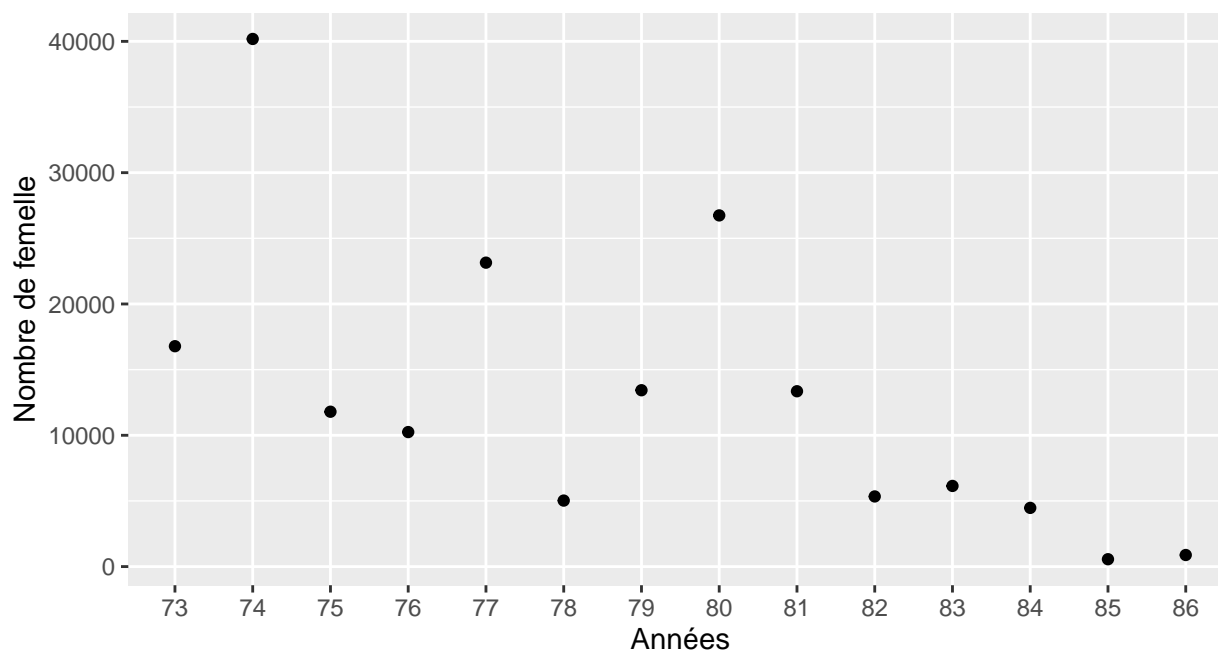


Figure 8 : Nombre total de femelle au plus haut potentiel de ponte (fullness 90-100%).

Ces analyses nous ont permis de mettre en évidence plusieurs phénomènes : l'augmentation du prix de la livre de Crabe Royal ; la diminution des stocks de crabes mâle disponibles à la pêche ; la diminution du poids moyen des Crabes Royaux et du poids total des pêches ; des effort de pêche fluctuant mais avec des tendances moins marquées. On s'intéressera plus tard dans les analyses à la significativité des relations observés ci-dessus.

Analyses en composantes principales (ACP) :

Pour les données de la table "catch" seulement deux composantes étaient utiles à l'ACP (Figure 9), elles représentent 80.4 % de la variation totale des données.

Les valeurs de Cos^2 nous donnent la qualité de représentation d'une variable par les composantes principales. Plus la valeur est élevée, meilleure est la représentation. Ici l'ensemble des variables est bien représenté. Les variables "Nombre de bateau" et "Nombre de pièges" sont très corrélées entre elles, mais les deux sont bien représentés par la première composante (les flèches sont proches du cercle et de l'axe vertical). De la même façon, les variables "Nombre de crabe pêché", "Poids des crabes pêchés" et "Poids moyen d'un crabe" sont très corrélées (flèches superposées). Le "Prix de la livre de crabe" même s'il n'est pas mieux représenté par une composante que par l'autre et tout de même bien représenté par l'ensemble (flèche proche du cercle entre les deux axes).

Pour l'ACP de la table "fleet" (Figure 10 et 11), 3 composantes étaient nécessaire pour atteindre un pourcentage d'explication de la variation supérieur à 80%. Nous avons choisi de représenter seulement les graphes des composantes 1 et 2, 1 et 3 car ce sont ceux qui nous donnent le plus d'information. Les variables "Nombre de mâles total", "Nombre de mâles éligible à la pêche" et "Nombre de femelles total" sont très corrélés. Le "sexratio" est bien représenté par la composante 1 (flèche proche de l'axe et du cercle). Les variables "Longitude" et "Latitude" sont inversement corrélées.

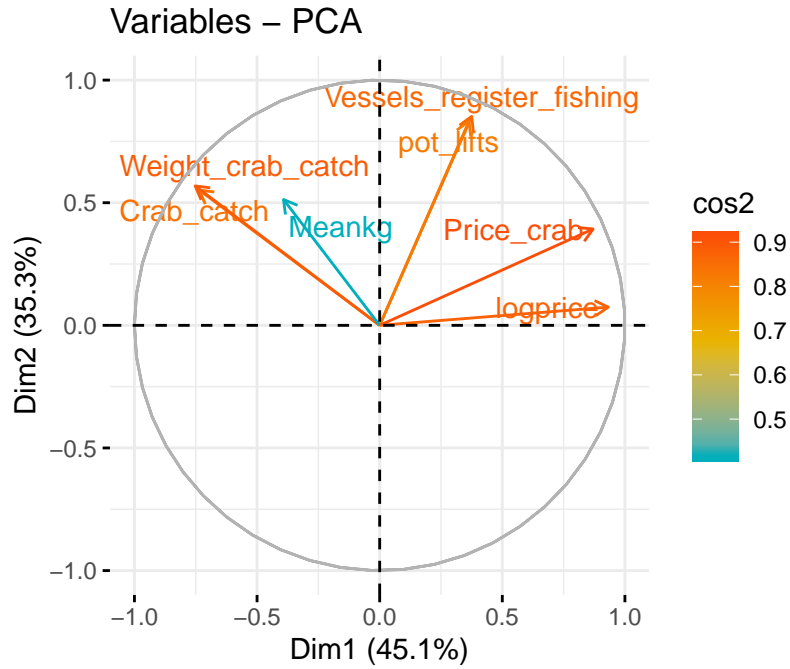


Figure 9 : Représentation graphique de l'analyse en composante principale des données de la table « catch » (Year = année ; Vessels_register_fishing = nombre de bateau de pêche enregistré ; Weight_crab_catch = Poids total des crabes pêchés ; Pot_lifts = nombre de piège ; Crab_catch = nombre de crabe pêché ; Price_crab = prix de la livre de crabe et masse_crab = poids moyen d'un crabe). Le gradient de couleur correspond au Cos^2 , c'est-à-dire la qualité de la représentation de chaque variable par les deux composantes.

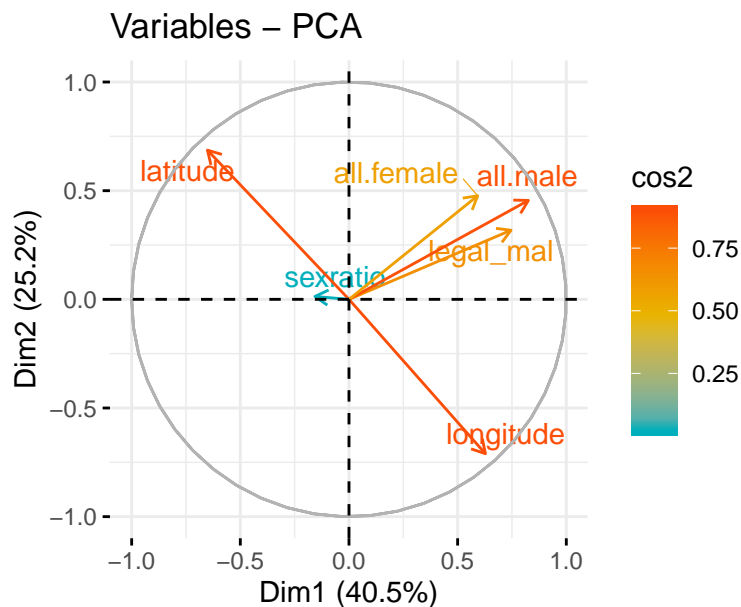


Figure 10 : Représentation de l'analyse en composante principale (ACP) des variables suivantes : Années, District, Legal_male (mâles disponible à la pêche), all_male (Tous les mâles), all. Female (Toutes les femelles), Sexratio, Température, Salinité, Longitude et Latitude. La représentation est colorée en fonction des valeurs du COS^2 (qualité de la représentation de chaque variables).

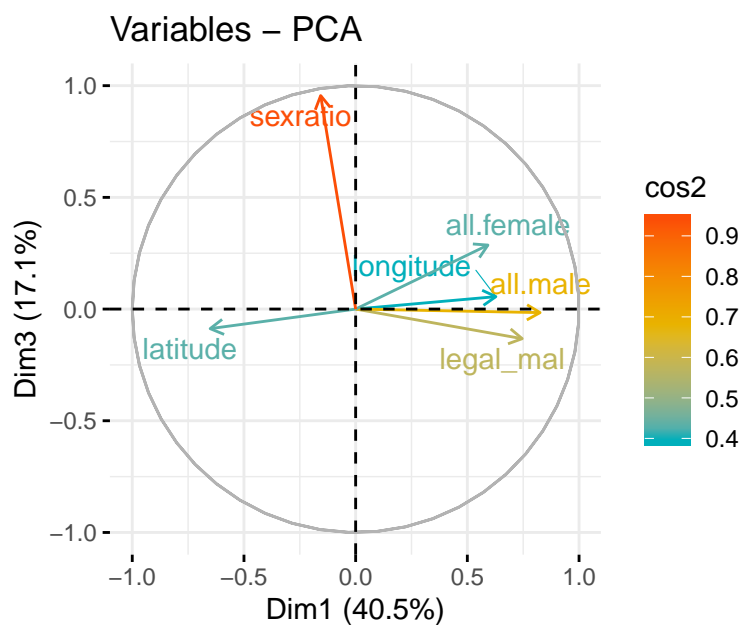


Figure 11 : Représentation de l'analyse en composante principale (ACP) des variables suivantes : Années, District, Legal_male (mâles disponible à la pêche), all_male (Tous les mâles), all. Female (Toutes les femelles), Sexratio, Température, Salinité, Longitude et Latitude. La représentation est colorée en fonction des valeurs du COS^2 (qualité de la représentation de chaque variables).

Prix du crabe royal :

Dans un premier temps, nous avons modélisé le prix moyen d'un crabe (dollars) en fonction du temps, par une ANOVA à un facteur. La variable d'intérêt suit une distribution de poisson, sans surdispersion des données. On note une augmentation significative du prix moyen d'un crabe dès l'année 1971 ($\alpha_{12} = 1.2521867 \pm 0.6173667$; p-value = $0.0425326 < 0.05$) et jusqu'en 1982 ($\alpha_{22} = 1.2521867 \pm 0.6173667$; p-value = 0.0425326). On a ensuite cherché à savoir quelles variables ont une influence sur le prix du crabe. En se basant sur les résultats de notre régression linéaire ($\log(\text{Prix moyen du crabe}) \sim \text{Nombre de bateaux envoyé} + \text{nombre de capture} + \text{poids moyen}$), le nombre de bateaux envoyé à la pêche est positivement corrélé au prix moyen ($\beta_1 = 0.0127481 \pm 0.0029037$; p-value = 3.1461607×10^{-4}) alors que le nombre de capture ($\beta_2 = -2.2252952 \times 10^{-7} \pm 6.4242642 \times 10^{-8}$; p-value = 0.0025998) et le poids moyens sont négativement corrélé ($\beta_3 = -1.8073994 \pm 0.5134344$; p-value = 0.0022879), R^2 ajusté = 0.6421759 .

```
##
## Call:
## lm(formula = fleet$logprice ~ fleet$Vessels_register_fishing +
##     fleet$Crab_catch + fleet$Meankg)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -1.01878 -0.49396  0.06143  0.46676  1.04401
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)      4.281e+00  1.802e+00   2.376 0.028197 *
## fleet$Vessels_register_fishing  1.275e-02  2.904e-03   4.390 0.000315 ***
## fleet$Crab_catch    -2.225e-07  6.424e-08  -3.464 0.002600 **
## fleet$Meankg       -1.807e+00  5.134e-01  -3.520 0.002288 **
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.6787 on 19 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.691, Adjusted R-squared:  0.6422
## F-statistic: 14.16 on 3 and 19 DF, p-value: 4.381e-05
```

Nombre de capture :

La variable nombre de capture à un effet significatif sur le prix moyen du crabe. Pour chaque capture supplémentaire, le logarithme du prix moyen du crabe diminue de $-2.2252952 \times 10^{-7}$ dollars / livre. On cherche donc à savoir si au cours du temps le nombre de capture a diminuer, ce qui pourrait en partie expliquer la hausse des prix. D'après notre ANOVA à un facteur, hormis en 1965 et 1966 où on note une augmentation significative du nombre de capture, le nombre de capture est constant. A noter que le nombre de capture suit une distribution de poisson avec une forte surdispersion des données. Donc la variable d'intérêt suit une loi de quasi-poisson de paramètre $\tau * \lambda$, avec τ le paramètre de dispersion égal à 459341.7.

Poids moyen :

Pour les même raisons que la variable nombre de capture, on s'intéresse au variation du poids moyen des crabes en fonction du temps, avec les districts en variable aléatoire. D'après notre modèle linéaire à effet mixte on note une diminution significative du poids moyen de 1963 ($\alpha_4 = -0.5222581 \pm 0.2880421$, p-value

= 0.0739223) à 1981 ($\alpha_{22} = -0.909992 \pm 0.2880421$, p-value = 0.0023019), excepté pour les années 1966, 1977 et 1982.

Abondance en mâles capturables :

Dû à la surdispersion des données, on applique une loi de quasi-poisson avec $\tau = 103.47$ comme paramètre de dispersion. Comme le montre la Figure 3, on a une abondance significativement plus faible entre les années 1974 et 1973, d'où ce changement de référence. On observe une diminution significative de cette abondance dès 1977 ($\alpha_5 = -1.4286591 \pm 0.3585491$, p-value = 6.9026638×10^{-5}) et jusqu'en 1986 ($\alpha_{14} = -3.8755506 \pm 1.4199997$, p-value = 0.0063804) (excepté en 1981). On note également une corrélation positive entre l'effort d'échantillonnage représenté par la variable "pots" et l'abondance ($\phi_1 = 0.1213648 \pm 0.0103892$, p-value = $6.1251456 \times 10^{-31}$) et quelques interactions avec des effets significatifs diverses entre certains district et certaines années. On observe un effort d'échantillonnage moyen significativement différent en 1975, 1978, 1980, 1985 et 1986 mais aussi entre les districts. Le R^2 ajusté calculer est de 0.4531054.

Concernant les variables ayant un effet significatif sur l'abondance en crabes légalement pêchables, on note une corrélation positive avec le nombre de femelles avec un potentiel de ponte de 100 % ($\beta_1 = 4.5203226 \times 10^{-5} \pm 6.0843507 \times 10^{-6}$, p-value = 6.9617214×10^{-4}) et une corrélation négative avec le sex-ratio ($\beta_3 = -1.494129 \pm 0.2173301$, p-value = 9.9593432×10^{-4}) et la salinité ($\beta_5 = -3.217599 \pm 0.7411418$, p-value = 0.007419). Le taux de surdispersion des données est de $\tau = 336.8$ et le R^2 est de 0.9730615.

Fertilité des femelles (en potentiel de ponte) :

Dû à la surdispersion des données, on applique une loi de quasi-poisson avec $\tau = 168.86$ comme paramètre de dispersion. Dès les années 1976 on observe une diminution significative des femelles avec un potentiel de ponte de 90-100 % ($\alpha_i = -0.4687317 \pm 0.1629316$, p-value = 0.0040904). On note également une corrélation négative significative entre la taille et la fertilité ($\beta_1 = -0.0204519 \pm 0.0012515$, p-value < $3.6860184 \times 10^{-54}$). On observe les mêmes conclusions pour les femelles avec un potentiel de ponte de 60 - 89 %. En revanche, dans notre second modèle, on note une corrélation positive entre l'abondance en femelles ayant un potentiel de ponte de 100 % et la taille ($\beta_1 = 0.1144957 \pm 0.0421975$, p-value = 0.030054). Il n'y a pas d'effet des températures et de la salinité.

Discussion :

Le premier constat global que nous avons pu faire avant toute analyses de modélisation c'est la tendance générale à la diminution des variables "écologiques" : c'est à dire celles relatives aux individus : Poids moyen des crabes mâles ; Nombre de crabes légalement pêchables ; Nombre de femelle au plus haut potentiel de ponte. Quand les données sont disponibles jusqu'en 1986, après la clôture de la pêche, on peut voir que la dynamique de diminution ne s'inverse pas. On peut aussi souligner le fait que pour les variables : nombre de mâles légalement pêchable et poids moyen, les valeurs les plus hautes sont observées autour des années 60. Becthol & Kruse, 2009 expliquent cette forte augmentation à cette période par un très fort taux de recrutement de mâles des stades post-pêchable. Cela s'est traduit par une forte augmentation de la pêche (Figure 4 et 5) et du perfectionnement des bateaux quelques années après cette augmentation de la population. Les analyses en composantes principales ont montré de nombreuses corrélations entre variables. Cela nous a donc contraint à utiliser peu de variables dans nos modèles.

Interprétation des modèles :

Nous avons montré qu'il y avait eu une augmentation significative du prix des crabes (en dollars). Par la suite, on a pu déterminer trois variables d'intérêts qui ont une influence sur ce prix. Premièrement, l'augmentation du nombre de bateau de pêche engendre une diminution du logarithme du prix de la livre de crabe. Deuxièmement, le nombre de capture a un effet négatif, c'est à dire que plus le nombre de capture est important, plus les prix sont bas. Et troisièmement, le poids moyen des crabes à un effet négatif, donc si le poids des crabes est plus important, cela va faire diminuer la valeur de la livre de crabe.

Ces deux résultats sont en accord avec les hypothèses que nous avons exposé en introduction. Cependant, quand on regarde l'évolution de chacune de ces trois variables dans le temps indépendamment les unes des autres, on n'observe pas de différence significative du nombre de captures des crabes entre les années, mais des captures plutôt stable dans le temps, alors que le poids moyen des crabes capturés a significativement diminué entre les années sur la même période. En sachant que cette variable a un effet négatif sur le prix cela peut expliquer son augmentation. Quant au nombre de bateaux, en regardant la Figure 4, l'évolution est plus complexe, on a des fluctuations du nombre de bateaux au cours du temps. Par exemple pour 1982, c'est l'année où on a le plus de bateau de pêche, mais aussi le plus haut prix de la livre de crabe. Alors que le modèle nous prédirait plutôt l'inverse. Néanmoins, on observe sur les Figures 4 et 5 qu'à partir de 1973, l'effort de pêche ne fait qu'augmenter (hormis 1980). On ne peut pas affirmer avec nos modèles que cette augmentation de l'effort de pêche est significative, mais d'après les graphiques, on est certains qu'elle ne diminue pas et est au moins constante au cours du temps. On peut en déduire, que la pêche était moins rentable à partir de 1973 puisque le nombre de captures et l'effort de pêche était constant, mais que le poids moyen des crabes diminuait. Les pêcheurs revenaient donc avec le même nombre de crabes, mais avec un poids moyen plus faible, ce qui peut expliquer en partie cette hausse des prix.

Toujours en se fiant à la Figure 4 et 5, si on postule que l'effort de pêche augmente, bien que le nombre de captures soit constant, on en déduit que les proies sont plus rares. On a donc exploré cette possibilité. On trouve d'après notre modèle que le nombre total de mâles légalement pêchable diminue. Cependant, ce résultat est légèrement biaisé puisque l'effort d'échantillonnage n'est pas identique pour quelque-une de nos années d'études et entre les districts. On observe d'après nos modèles que cette abondance en mâle légalement pêchable augmente avec l'abondance en femelles avec un potentiel de ponte élevé, mais diminue avec un sex-ratio en faveur des femelles. De plus, une augmentation de la salinité a un effet négatif sur le nombre de mâle. Le modèle incluant ces trois variables explicatives semble bien adapté à nos données, car le pourcentage d'explication de la variabilité est de 97 %, ce qui est particulièrement élevé. Becthol & Kruse (2009) relèvent aussi l'effet du sex-ratio biaisé en faveur des femelles (moins touchées par la pêche) sur la diminution du nombre de mâle et donc l'effet négatif que cela engendre sur la pêche. Par conséquent, la diminution du nombre de mâle éligible à la pêche peut aussi être expliquée par la diminution importante du nombre de femelles avec le meilleur potentiel de ponte à partir de 1976. Cette date correspond effectivement au premier constat d'une diminution des stocks de ces populations.

Limites des données et des modèles :

Nous avons rencontré plusieurs contraintes en réalisant ces analyses sur les données disponibles. Les données venant de différents organismes, elles n'ont pas toutes été récoltées selon le même protocole, au cours de la même période. Il est donc compliqué voire impossible de confronter les variables de différentes tables de données dans certains cas, or cela aurait été intéressant pour pouvoir réaliser des modèles plus complexes et répondre à plus de questions. De plus, la majorité de nos données étant des comptages, on s'est qu'ils sont souvent dépendant de l'effort d'échantillonnage, or celui-ci n'est pas toujours équilibré ou sans répétitions. Ce qui limite grandement les analyses. On peut penser aussi aux données environnementales, qui sont mesurées selon des protocoles et dans des zones non-spécifiées. Elles peuvent être utilisées qu'avec très peu d'autres variables. Becthol & Kruse (2009), souligne l'importance de l'étude des conditions environnementales et écologiques sur le long terme afin de comprendre la dynamique de cette espèce dans le Golf d'Alaska.

D'autre part, en réalisant nos statistiques descriptives nous avons pu observer une certaine cyclicité dans les séries temporelles dont nous disposons. On peut observer ce phénomène notamment sur la Figure 6 et 7. Or les modèles que nous avons utilisés, modèles linéaires simples, généralisés, à effets aléatoires ou des analyses de variances ne rendent pas compte de ces cyclicités dans le temps. La période que couvre les données reste très courte pour étudier la dynamique d'une population ou comprendre l'effet d'une pression d'exploitation sur celle-ci. Par exemple, les séries temporelles sont trop courtes pour étudier l'influence de la pression de pêche sur les traits d'histoire de vie comme : la taille à maturité ; le nombre d'oeufs produit ; l'âge de reproduction. Il serait aussi intéressant d'avoir plus de données datant d'après la date de clôture de la pêche. Cela pourrait nous permettre de mieux comprendre les phénomènes biologiques qui affectent la dynamique de la population et donc de comprendre plus en détail pourquoi le prix du Crabe Royal est devenu si important.

Après analyse de nos résultats de modélisation de l'abondance de crabe disponible à la pêche légale dans

lequel nous avons inclus en variable explicative la fertilité des femelles (nombre de femelle au plus haut potentiel de ponte), nous nous sommes rendu compte que l'interprétation était difficile. Effectivement, une diminution de la fertilité à l'année t ne peut pas impacter le nombre de mâles légalement pêchable de cette même année. Il aurait donc fallu tenir compte de cette précision, peut être en créant une nouvelle variable. Mais le peu de donnée dans le temps ne nous le permettait pas. Enfin, dû à la surdispersion des données pour certaines variables, nous avons été obligés d'utiliser une loi Quasi-Poisson. Ce qui rend difficile la comparaison de modèle, car l'AIC n'est pas estimé pour ce type de test.

Des pistes pour comprendre le non-regains des stocks des Crabe Royaux autour des îles Kodiak :

Le fait que la population de Crabe Royal reste très faible impact fortement l'économie de la pêche qui ne peut pas reprendre. Plusieurs études ont cherché à montrer l'existence d'autres pressions pesant sur les crabes qui pourraient expliquer la dynamique de ces populations. Premièrement, Long et al. (2004), soulèvent la question de la pêche fantôme. C'est à dire tous les outils de pêche égarés ou abandonnés qui dérivent et continus à capturer et tuer des proies. En menant une étude sur une petite zone autour des îles kodiak ils ont montré que la mortalité dûe à la pêche fantôme des crabes dont la taille était inférieure à 63 mm était supérieure à toutes les autres causes de mortalité recensées. Ce qui peut avoir de forte conséquence sur la dynamique des populations, déjà très peu nombreuses cette zone. Deuxièmement, Bechtol & Kruse (2009,b) ont étudié l'effet du rapport entre taille de la population et recrutement des mâles. Même si leurs données n'ont pas permis de confirmer leur résultats, ils soulèvent plusieurs points qui peuvent impacter la dynamique des crabes : Densité dépendance ; mortalité élevé des femelles porteuses dû à des perturbations importantes des fonds marins par d'autres type de pêche (pêche à la crevette, chalutier ...). Ces effets sont peu étudiés malheureusement et demanderaient qu'on y porte plus d'intérêt. Troisièmement, en étudiant des oeufs de Crabe Royaux, Kuris et al. (1991) ont découvert de très fort taux d'infestation de parasites, (Carcinonemertes regicides notamment qui causent de fort taux de mortalité des oeufs.

Conclusion :

Ce rapport nous a permis de mettre en évidence plusieurs facteurs important dans le calcul du prix de la livre de crabe. L'un des principaux facteurs est le poids des crabes pêchés. Pour un même nombre de crabe récolté, le poids total de la pêche diminue. Elle est donc de plus en plus coûteuse. Ensuite, en partant du fait que la pêche s'intéresse seulement aux individus mâles d'une certaine taille, nous avons montré que la taille de ce stock (qui déterminera indirectement le prix du crabe) avait diminué depuis 1960. De plus, la taille du stock de crabe légalement pêchable est négativement impactée par le nombre de femelle au plus haut potentiel de ponte, qui lui diminue aussi depuis 1976. L'augmentation du prix de la livre de crabe entre 1960 et 1986 est donc engendrée par une succession de phénomène relatif au déclin des populations.

Bibliographie :

- Bechtol W. R., Kruse G. H., 2009.a. Reconstruction of historical abundance and recruitment of red king crab during 1960-2004 around Kodiak, Alaska. *Fisheries Research*, 100,86-98.
- Bechtol W. R., Kruse G. H., 2009.b. Analysis of a Stock-Recruit Relationship for Red King Crab off Kodiak Island, Alaska, *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science*, 1:1, 29-4.
- Kuris, A. M., S. F. Blau, A. J. Paul, J. D. Shields, and D. E. Wickham. 1991. Infestation by brood symbionts and their impact on egg mortality of the red king crab, *Paralithodes camtschatica*, in Alaska: geographic and temporal variation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48: 559-568.
- Long W.C, Cummiskey P.A., Munk J.E.. 2014. Effects of ghost fishing on the population of red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) in Womens Bay, Kodiak Island, Alaska. *Fishery Bulletin*. 112:101-111.
- Olsen E.M., Heino M., Lilly G.R., Morgan M.J., Bratterry J., Ernande B., Dieckmann U.. 2004. Maturation trends indicative of rapid evolution preceded the collapse of northern cod. *Nature*. vol 428, 932-935.