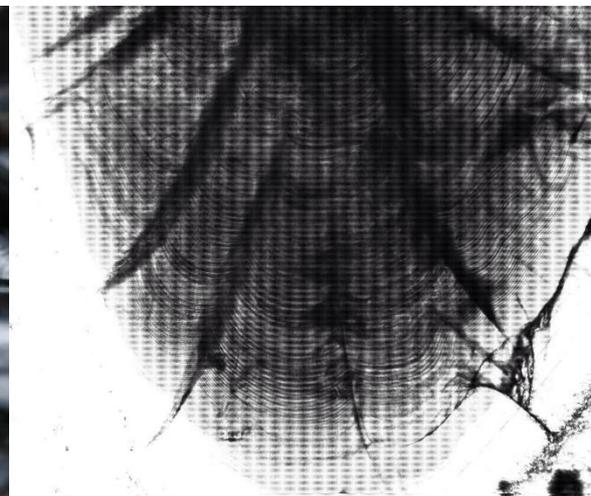


Rapport de stage de Master 1
Année 2016 – 2017

Timothée JULIEN

Mention Sciences de la Mer
Parcours Biologie et Ecologie Marine



Stries journalières dans les otolithes d'anchois (*Engraulis encrasicolus*) d'âge 1 et lien avec l'environnement

Réalisé sous la responsabilité de Pierre PETITGAS et Patrick GRELLIER
IFREMER Unité Ecologie et Modèles pour l'Halieutique
Rue de l'île d'Yeu, 44980 Nantes, France

Enseignant référent : Jérôme BONNIN

Résumé

Mieux comprendre les fluctuations des stocks chez les espèces marines exploitées, telles que l'anchois (*Engraulis encrasicolus*), est une problématique importante en halieutique. Les premiers stades de vie des poissons sont reconnus comme des périodes critiques. Les mécanismes intervenant dans le succès du recrutement sont méconnus aujourd'hui. Le but de cette étude est de définir une période de naissance des individus recrutés à la population d'anchois du golfe de Gascogne. La lecture des incréments journaliers sur des otolithes d'individus d'âge 1 est une approche novatrice. Les otolithes sont issus d'anchois échantillonnés lors de la campagne PELGAS 2004. Les résultats indiquent que la taille des individus recrutés n'est pas dépendante de la date de naissance mais plutôt des conditions environnementales vécues. Dans l'objectif d'étudier les dates d'éclosions des anchois, nous avons analysé les données de la campagne JUVAGA (automne 2003) et effectué une comparaison avec PELGAS (printemps 2004). Pour l'année 2003, la naissance des recrues aurait eu lieu sur une courte période (deux mois). De plus, les recrues de l'âge 1 montrent des taux de croissance otolithaire élevés, supérieur aux juvéniles qui subissent encore un taux élevé de mortalité. L'amélioration de la méthode permettrait de pérenniser cette étude chaque année afin de mieux caractériser les fenêtres de ponte desquelles sont issues le recrutement, indicatrices des processus écosystémiques.

Mots clés : Otolithes, Anchois, Incréments journalier, Recrutement, Croissance.

Remerciements

En premier lieu, je remercie Mr Pierre Petitgas, responsable de l'unité EMH et encadrant de mon stage, qui a accepté ma candidature et m'a aidé en me fournissant des informations précieuses dans mes recherches. Il a su être présent et patient pour répondre à mes interrogations tout au long de la réalisation de mon rapport.

Je remercie également Mr Patrick Grellier, co-encadrant de mon stage, pour m'avoir appris de nombreuses techniques m'ayant servi tout au long de ce stage, dans la joie et la bonne humeur, et avoir répondu à toutes mes questions.

Je souhaite également remercier l'ensemble des personnes au sein de l'équipe EMH qui m'ont épaulé dans la réalisation de mon rapport de stage de Master 1 et avec qui j'ai partagé des pauses cafés enrichissantes. Merci aussi pour l'expérience inédite qu'elles m'ont fait vivre durant ces deux mois au sein de l'Ifremer et notamment lors de l'embarquement à bord du N/O Thalassa. Je remercie d'ailleurs tout spécialement les équipes hydro et pêche, Arthur, Jean-Baptiste, Kévin, Laurence, Paul et Sophie, sans qui le travail n'aurait pas été aussi agréable.

Je remercie Audric pour m'avoir initié à ggplot et Olivier pour son aide précieuse avec le logiciel R. Mais aussi les post-docs, les doctorants et les stagiaires de Master, qui ont répondu à mes questions et m'ont aidé en apportant un regard critique sur mon travail.

Sans oublier, mes collègues et amies, Camille et Pauline, qui ont été sources de nombreux fous rires au quotidien. Mais qui ont été également présentes afin que je puisse me refaire la cerise avant la rédaction de mon rapport.

Enfin, je remercie Angélique, qui m'a soutenue tous les jours et a corrigé mes rapports, ma famille, qui m'a aidé financièrement et affectueusement depuis le début, et Léa qui m'a hébergé sur Nantes.

Table des matières

Introduction	4
Matériels et méthodes	6
Echantillonnage des otolithes	6
Préparation des otolithes	7
Lecture des stries journalières	8
Résultats	9
Croissance otolithaire et somatique	9
Précision de la mesure	10
Date d'éclosion	11
Taux de croissance	13
Incertitude sur la date d'arrêt de croissance	14
Discussion	15
Sur la méthode	15
Sur les résultats	15
Croissance otolithaire et somatique	15
Précision de la mesure	16
Date d'éclosion	16
Taux de croissance	16
Incertitude sur la date d'arrêt de croissance	17
Conclusion	18
Bibliographie	18
Annexes	21

Introduction

Les otolithes sont des structures calcifiées acellulaires, présentes dans l'oreille interne chez tous les téléostéens. Ils perçoivent des variations de pression et interviennent donc dans les fonctions de l'équilibre, de l'orientation et la perception des sons (Campana, 1999). Les poissons osseux possèdent 3 paires d'otolithes que sont la sagitta, le lapillus et l'asteriscus, logés chacun dans un sac (Panfili et al., 2002). Les études de ces structures osseuses commencent à la fin du XIX^{ième} siècle avec le travail de Reibisch (Reibisch, 1899). Pendant la première moitié du XX^{ième} siècle, les otolithes étaient utilisés pour dénombrer les stries annuelles, et définir l'âge. Ils permettent de reconstituer l'histoire de vie de l'individu de l'éclosion jusqu'à sa mort car leur croissance est rythmée et qu'il n'y a pas de remaniement ni de résorption des dépôts réalisés (Stevenson & Campana, 1992). Cette pièce calcifiée croît par incorporation de cristaux d'aragonite sur une trame protéique majoritairement composée d'otoline. Lors d'une période de croissance soutenue (conditions propices) les dépôts d'aragonite sont importants. Ces derniers sont liés au rythme circadien, dépendent de facteurs exogènes biotiques (prédation) ou abiotiques (température, photopériode, profondeur) et de facteurs endogènes (génétique, physiologique) (GrønkJær, 2016). Les dépôts se font avec une rythmicité à différentes échelles, en particulier aux échelles journalières et saisonnières. En lumière optique, les alternances entre aragonite et otoline marquent des zones hyalines et opaques. Les zones opaques sont dues à l'aragonite recouvrant la matrice protéique tandis que l'otoline seule sans aragonite laisse apparaître des stries hyalines. Les stries hyalines hivernales permettent d'estimer l'âge (en années). En 1971, la mise en évidence d'incrément journaliers (Panella, 1971) a ouvert de nouvelles possibilités de recherches et en particulier, la croissance journalière des larves et juvéniles (Allain et al., 2003). La détermination de l'âge par l'étude des otolithes est une méthode reconnue (Bedford, 1983) et utilisée dans de nombreuses études sur diverses espèces (Aldanondo et al., 2010 ; Brothers et al., 1976 ; Cermeno et al., 2008 ; Dougherty, 2008 ; Mendiola & Álvarez, 2008 ; Nakaya et al., 2008).

Cette étude a pour but de déterminer l'âge en jours des individus d'anchois (*Engraulis encrasicolus*) d'âge 1, afin de mieux comprendre les facteurs de survie des larves et juvéniles et donc, le déterminisme des variations importantes du recrutement dans la population d'anchois du golfe de Gascogne. Les recrues dans un stock sont le nouveau groupe d'âge de la population qui entre dans la composante exploitée du stock pour la première fois. Le recrutement des anchois est interprété selon les mécanismes de la triade de Bakun : rétention, enrichissement et concentration (Bakun et al., 1996). L'influence de l'environnement sur le taux

de mortalité des premiers stades de vie a lieu à différentes échelles fonctionnelles, spatiales et temporelles et est expliqué par 3 hypothèses (Aldanondo et al., 2016). Premièrement, le « match mismatch » correspond à la concomitance ou non du pic de production primaire et de la présence de larves. Deuxièmement, les processus hydrodynamiques peuvent transporter les larves dans des zones favorables ou non. Enfin, l'hypothèse « Bigger is better » considère que plus les individus grandissent vite moins ils sont soumis à la prédation et plus leurs chances de survie augmentent (Miller et al., 1988 ; Bailey & Houde, 1989). Chez l'anchois du golfe de Gascogne, les jeunes juvéniles capturés en automne, issus des larves survivantes et constituant le futur recrutement, seraient majoritairement nés à la fin de la période de ponte (Aldanondo et al., 2016). Notre étude permet de valider ou d'invalider les travaux précédents. En effet, on travaille sur des individus recrutés (âge 1) qui ont passé l'hiver et qui ont donc subi toutes les causes de mortalité. Les travaux antérieurs étaient réalisés sur des larves ou des juvéniles et ne prenaient donc que partiellement en compte les sources de mortalité. Toutefois, l'épaisseur de l'otolithe rend la lecture des stries journalières délicate ; lecture qui n'a été que très peu réalisée auparavant. En estimant la date d'éclosion des individus d'un hiver effectivement recruté à la population, on pourra savoir quelles micro-cohortes (quelles parties de l'ogive de ponte) ont réellement été recrutées. Ainsi, les résultats de notre étude pourront aider à comprendre les différentes sources de mortalités au cours des différents stades de vie de la larve, au juvénile et au jeune adulte recruté.

Matériels et méthodes

- **Echantillonnage des otolithes**

Les otolithes sont issus de la campagne PELGAS 2004, réalisée par l'IFREMER sur le navire N/O THALASSA dans le golfe de Gascogne. Les anchois sont capturés au chalut pélagique à différentes stations dont les positions sont définies en fonction des écho-traces observées par sondages acoustiques le long de radiales constituant un réseau de prospection. Les radiales s'étendent de la côte (20 m) au rebord du plateau continental (200 m) (Figure 1).

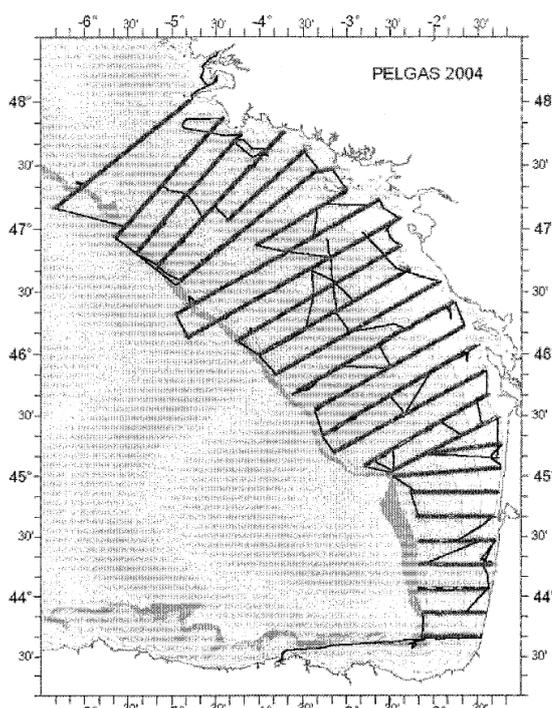


Figure 1 : Carte des radiales prospectées par acoustique au cours de la campagne PELGAS 2004 à bord du N/O Thalassa (source : SISMER)

Des échosondeurs sont utilisés afin de détecter les bancs de poissons en temps réels et de décider de la mise en pêche. Ensuite, un tri du chalut par espèce est réalisé. A chaque station, un échantillon représentatif de 50 anchois est prélevé. Ils sont mesurés à la règle et répartis sur une gamme de classes de taille par pas de 0,5 cm (Doray et al., 2015). Pour extraire les otolithes, les anchois sont posés sur la face dorsale. On effectue une section au travers des branchies, puis une excision du vomer et les ostosacs sont ouverts (Figure 2). Sur les 3 paires d'otolithes, seule la paire de Sagitta est prélevée. Leur taille, plus importante que les deux autres, rend la lecture plus aisée (Cermeno et al., 2008). Les otolithes d'âge 1 sont rincés puis conservés dans des tubes Eppendorf.

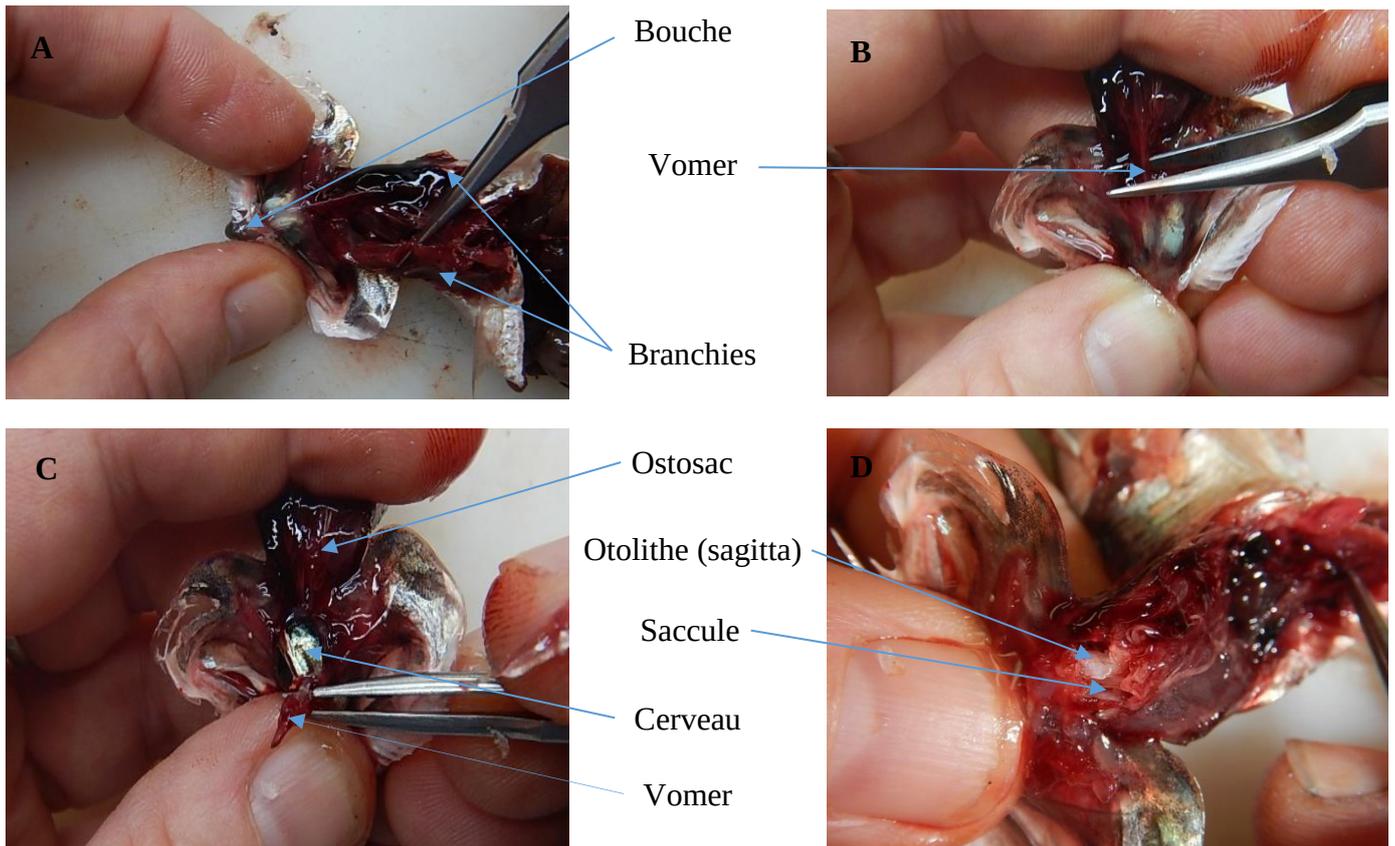


Figure 2 : Méthode de prélèvement des otolithes en vue ventrale chez *Engraulis encrasicolus*
 A : Section à travers les branchies ; B : Rompre le vomer ; C : Enlever le vomer ; D : Ouvrir les saccules contenant

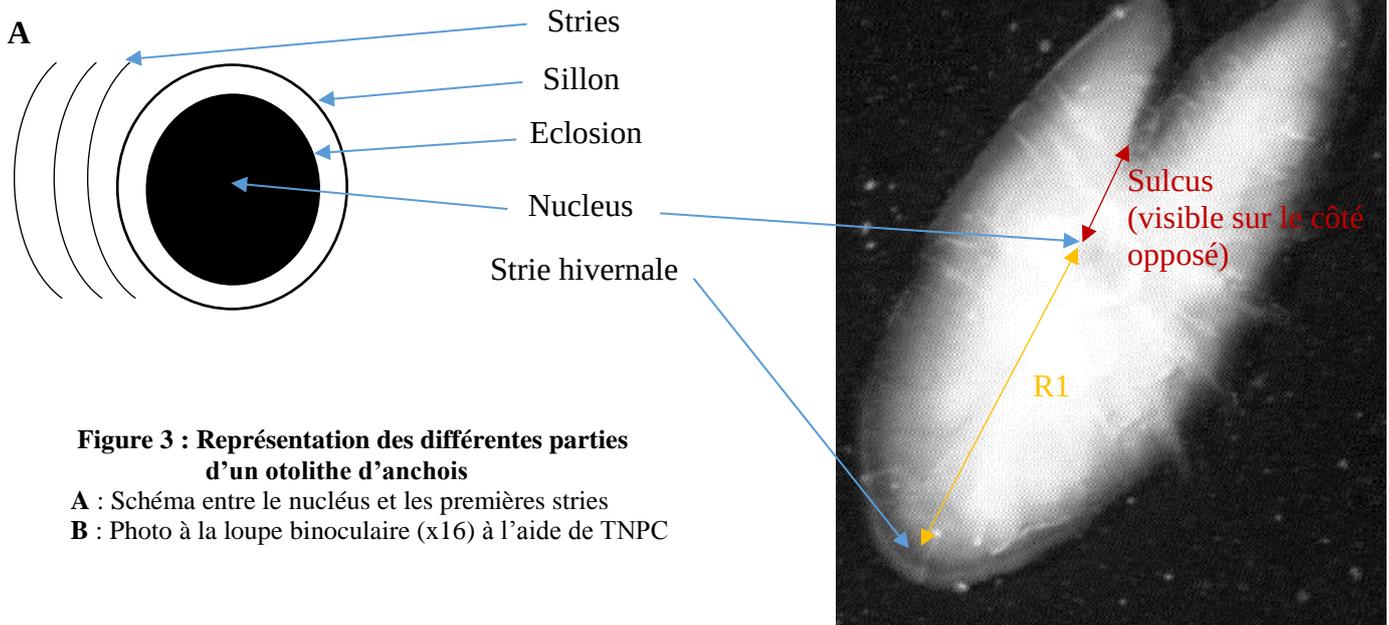
• Préparation des otolithes

La morphologie 3D des otolithes d'anchois est visible en lumière optique sous une loupe binoculaire (grossissement x16). Le nucleus correspond à la période où l'individu est dans l'œuf. L'éclosion est marquée au bord du nucléus. La première prise de nourriture exogène est visible par une strie plus marquée (le sillon). De nombreuses stries se déposent du sillon, jusqu'au bord de l'otolithe.

La mesure de la zone de croissance précédent le premier hiver (R1), entre le nucléus et le bord de la première strie hivernale, est réalisée à l'aide du logiciel TNPC (Traitement Numérique des Pièces Calcifiées) (Figure 3).

L'otolithe est positionné sur la lame face convexe (côté du sulcus) (Figure 3, B), puis placé sur une plaque chauffante afin de rendre la colle thermoplastique (Crystalbond) liquide. L'otolithe est cadré au centre du liquide afin de le recouvrir intégralement. Un séchage rapide à l'air libre permet de fixer l'otolithe sur la lame, cette étape est réalisée sous une loupe binoculaire avec un grossissement x16. Cette pièce osseuse est poncée à l'aide de papiers ayant un grain dégressif (9 μ m, 5 μ m) puis polis avec des grains de 3 μ m. Une fois que le nucleus et les stries de proximité

deviennent apparentes suite au ponçage, l'otolithe est réchauffé, décollé, retourné sur l'autre face puis ré-inclus afin d'effectuer la même opération côté concave. Durant ces opérations, le contrôle de l'avancée du travail sous microscope est primordial. En moyenne, 3 heures sont nécessaires à la préparation d'un otolithe, 1/3 des pièces sont cassées et rendues inexploitable.



• Lecture des stries journalières

Un comptage des stries est réalisé à partir de photos effectuées en microscopie optique (x100 ou x200). Une double lecture des stries visibles, par deux lecteurs indépendants, est réalisée (Aldanondo et al., 2008). Deux lecteurs comptent les stries visibles sur des photos, les estimations sont, par la suite, additionnées au nombre de stries déterminées par chaque lecteur. Dans une zone non visible, l'estimation est le résultat d'un produit en croix par rapport à la zone lisible la plus proche. Si le bord est cassé, une extrapolation de la strie d'arrêt de croissance (strie hivernale) est calculée, le nombre de stries est alors obtenu par la méthode pré-citée (Figure 4).

Le logiciel R (version 3.0.2) est utilisé afin de déterminer la date d'arrêt de croissance et de réaliser des analyses statistiques (test de régression, analyses de variances) dont les conditions d'applications ont été vérifiées. La méthode du rétrocalcul consiste à déterminer la date d'éclosion en effectuant la différence entre la date d'arrêt de croissance et de nombre de stries comptées et estimées. Le taux de croissance otolithaire est le résultat du rapport entre la

taille (R1) et le nombre de stries. L'analyse de différentes températures de surfaces (SST) est réalisée à partir de données d'images satellites, ces dernières nous indiquent une SST moyenne par jour. Ainsi les températures d'arrêt de croissance correspondent à des dates de début d'hiver à l'échelle du golfe de Gascogne. Une comparaison des dates sera réalisée afin de quantifier les incertitudes des dates d'éclosion obtenues.

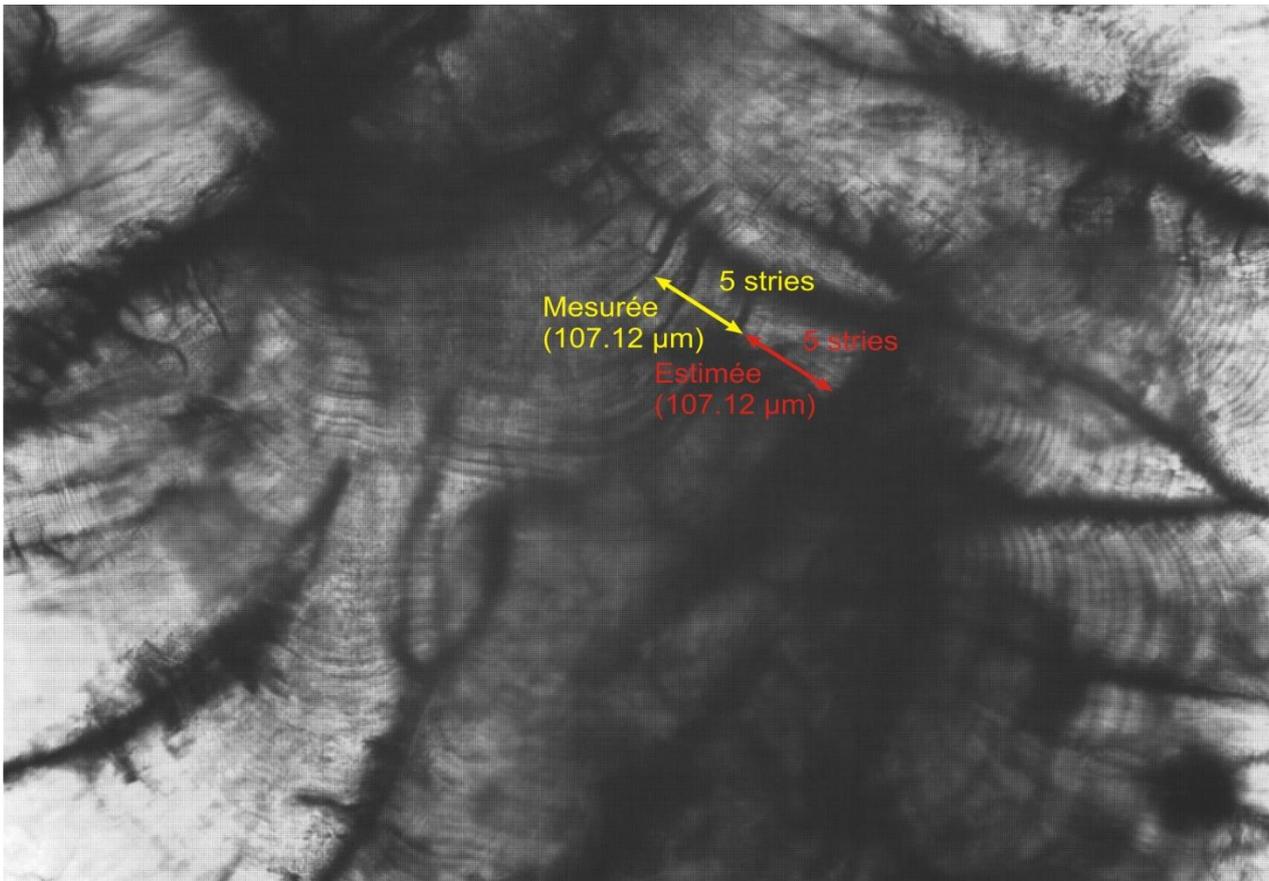


Figure 4 : Schéma représentatif de la méthode d'estimation du nombre de strie sur la longueur d'un otolithe, photo au microscope optique grossissement x100 à l'aide de TNPC

Résultats

- **Croissance otolithaire et somatique**

La mise en place de notre méthode nous a permis de traiter 30 échantillons. Ces pièces mettent en évidence une relation significative (p -value < 0.01) entre la longueur des otolithes et la taille des anchois (Figure 5). Nous vérifions donc bien que la croissance de l'otolithe est indicatrice de la croissance somatique de l'individu.

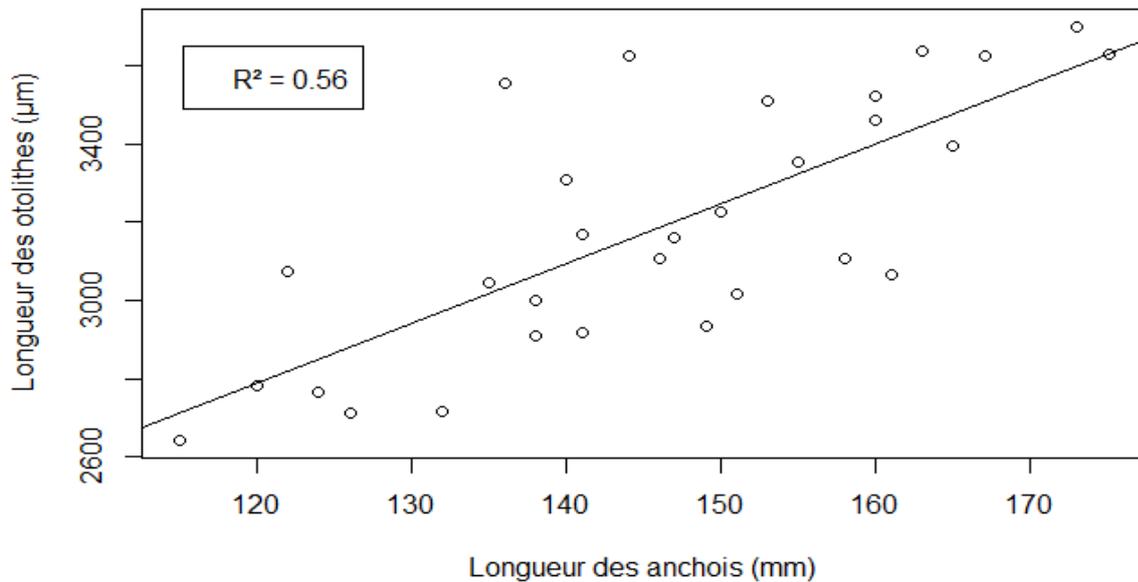


Figure 5 : Représentation de la longueur de l'otolithe en fonction de la taille de l'anchois

- **Précision de la mesure**

Les proportions non lues par rapport aux longueurs totales sont comprises entre 0,06 et 0,26 (avec une moyenne de 0,16 et un écart type de 0,053) (Figure 6).

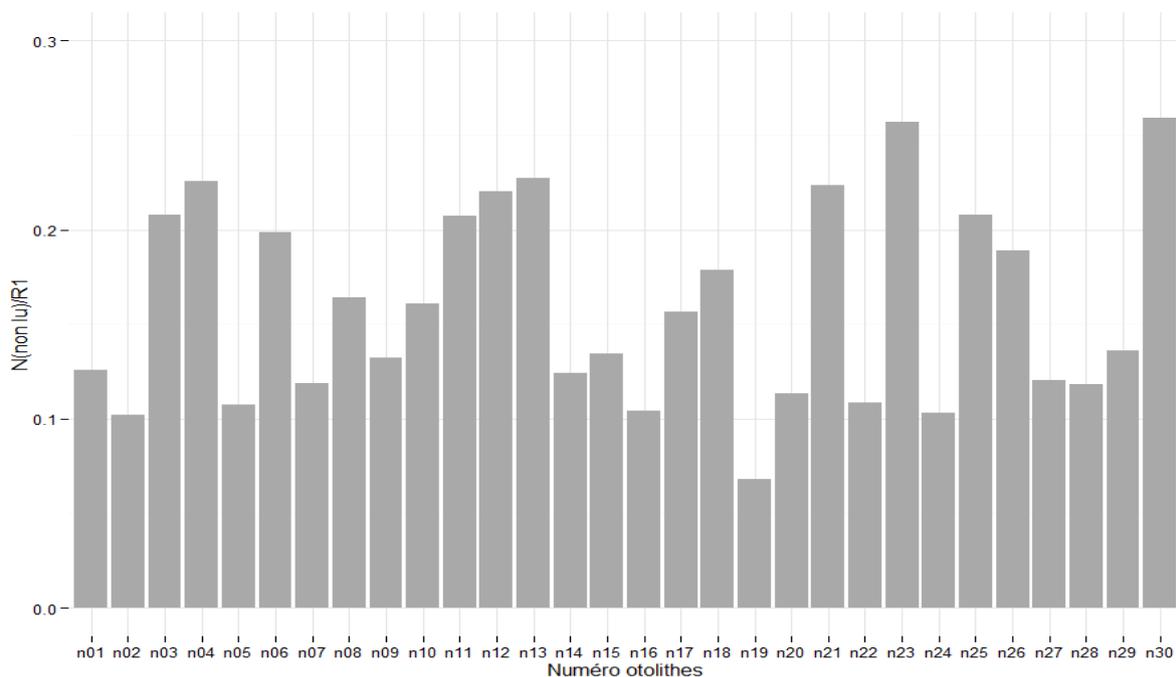


Figure 6 : Représentation de la portion estimée en fonction des otolithes traités

Les différences de comptage des stries entre les deux lecteurs sont représentées pour chaque otolithe, et varient entre 0 et 6 jours (moyenne = 2,9 jours ; écart type = 1,76) (Figure 7).

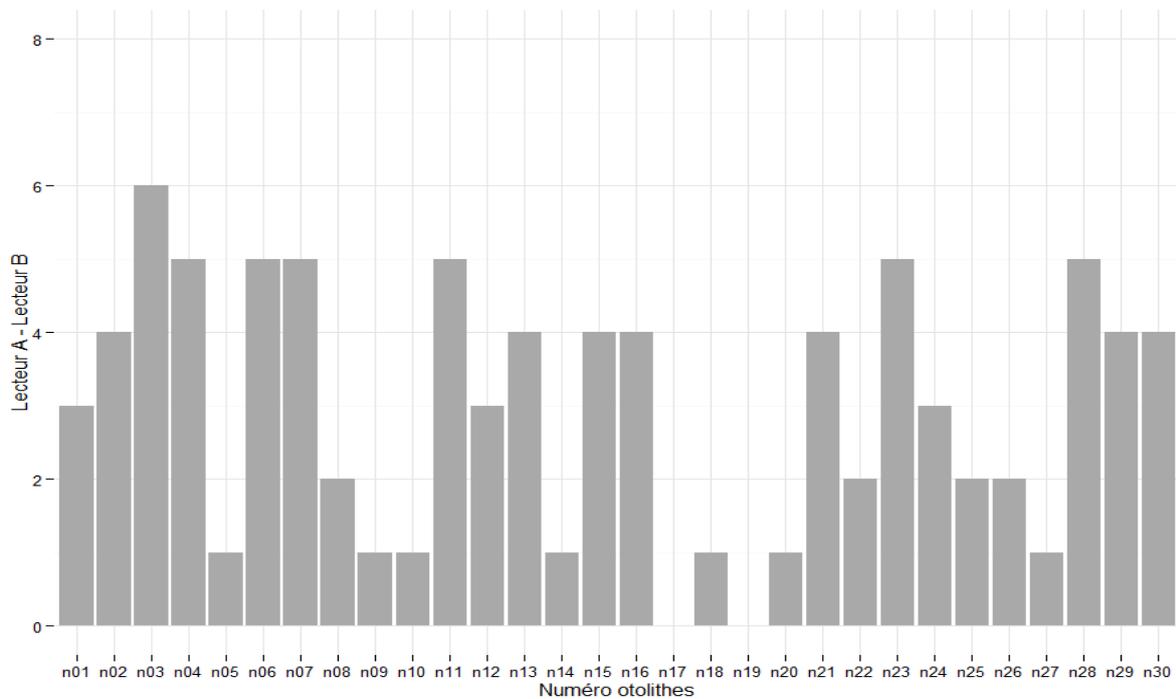


Figure 7 : Représentation des différences de comptages entre les 2 lecteurs en fonction des otolithes traités

- **Dates d'éclosion**

A partir du nombre de stries, la date d'éclosion est calculée en utilisant la date d'arrêt de croissance. Cette dernière est estimée à l'aide de la température, un seuil de 16°C est admis (Petitgas et al., 2012). En dessous de 16°C, on considère que les conditions environnementales ne sont plus optimales pour permettre la croissance. La température de surface du golfe de Gascogne a atteint 16°C le jour 301 (30 octobre 2003). La date d'arrêt de croissance utilisée est donc ce jour de référence.

La campagne JUVAGA (JUVénile d'Anchois dans le golfe de GAscogne) d'octobre 2003, donne accès à 97 otolithes de juvéniles d'anchois dont on a déterminé les dates d'éclosions. Ces données ont été comparées aux 30 échantillons traités issues de PELGAS (PELagique GAScogne) de Mai 2004, concernant uniquement des adultes d'anchois d'âge 1. Ces derniers, ayant passé le 1^{er} hiver, la naissance donc a eu lieu l'année précédente. Une comparaison est possible, uniquement avec d'autres individus nés en 2003.

Les dates d'éclosion issue de JUVAGA sont comprises entre le jour 137 (17 mai) et le jour 225 (13 août). Pour PELGAS, la fenêtre de naissance est plus étroite, du jour 150 (30 mai) au jour 211 (30 juillet). Cependant, pour les 2 campagnes, 90% des éclosions ont lieu dans un intervalle d'environ 2 mois entre début juin (jour 150) et fin juillet (jour 210). La période de ponte se situe de mi-avril (jour 100) à mi-août (jour 225), avec un maximum d'intensité au mois de mai. Aucune éclosion n'est observée au début de la ponte (entre mi-avril et mi-mai). Un faible nombre d'éclosions a lieu après le 31 juillet. Les fréquences d'éclosions ont été regroupées en

classes de dates de 5 jours afin de diminuer les différences de fréquences entre les 2 campagnes, PELGAS ayant un nombre d'échantillons bien inférieurs (Figure 8).

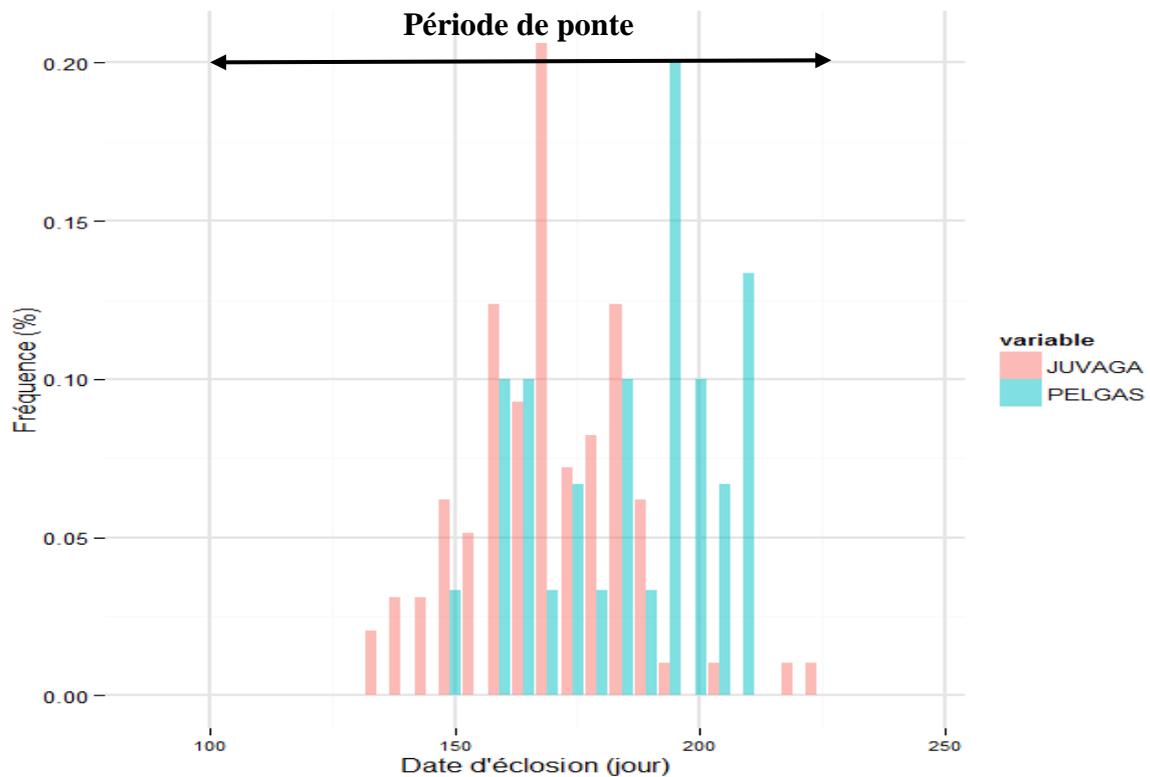


Figure 8 : Distributions de fréquences des éclosions pour les individus échantillonnés lors des campagnes JUVAGA 2003 et PELGAS 2004

La comparaison des dates d'éclosions met en évidence une différence significative entre les données issues des deux campagnes (p -value $< 0,01$). Les moyennes d'éclosion des deux campagnes JUVAGA (jour 170, c'est-à-dire le 19 juin 2003) et PELGAS (jour 188, le 7 juillet 2003) présentent une différence de 18 jours (Figure 9).

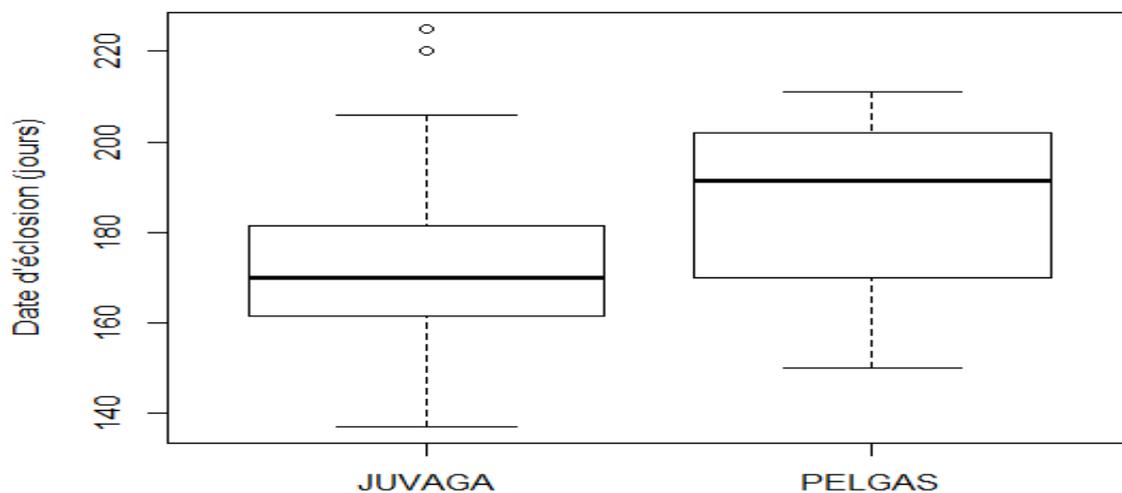


Figure 9 : Boîte à moustache des dates d'éclosion des campagnes JUVAGA 2003 et PELGAS 2004

- **Taux de croissance**

Les taux de croissance otolithaire ont été calculés pour chaque campagne afin d'être comparés. La comparaison met en évidence une différence significative entre JUVAGA et PELGAS (p-value <0,01). En effet, la différence des moyennes de JUVAGA (11 $\mu\text{m}/\text{jours}$) et PELGAS (14,4 $\mu\text{m}/\text{jours}$) est supérieure à 3 $\mu\text{m}/\text{jours}$ (Figure 10).

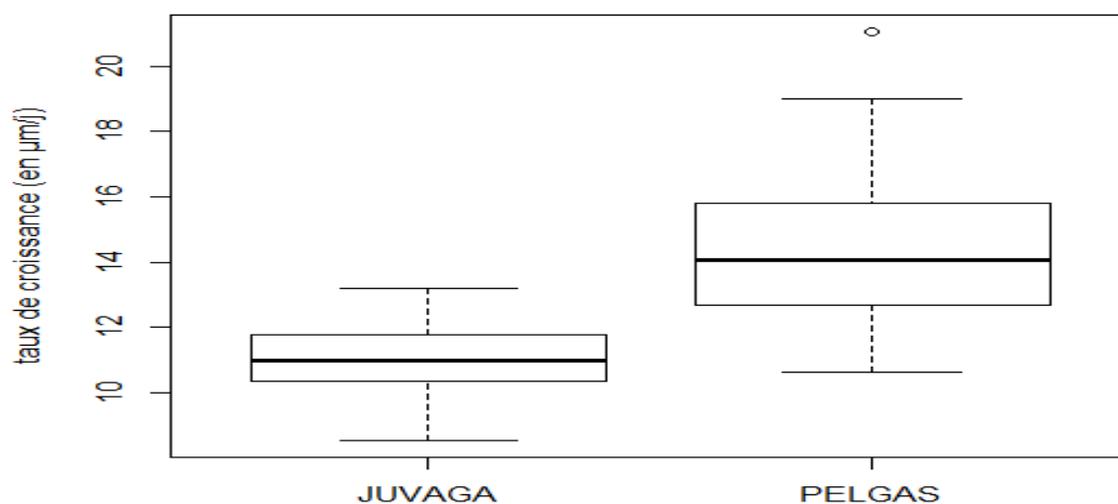


Figure 10 : Boîte à moustache des taux de croissance otolithaire des campagnes JUVAGA 2003 et PELGAS 2004

Les nombres de stries comptées par les 2 lecteurs, à partir des 30 otolithes lisibles, varient entre 88 et 150 avec une moyenne arrondie à 113. La longueur des rayons 1 est comprise entre 1391 et 1895 μm . Aucune relation n'est visible entre le nombre de stries et la longueur du R1 (p-value >0.05) (Figure 11).

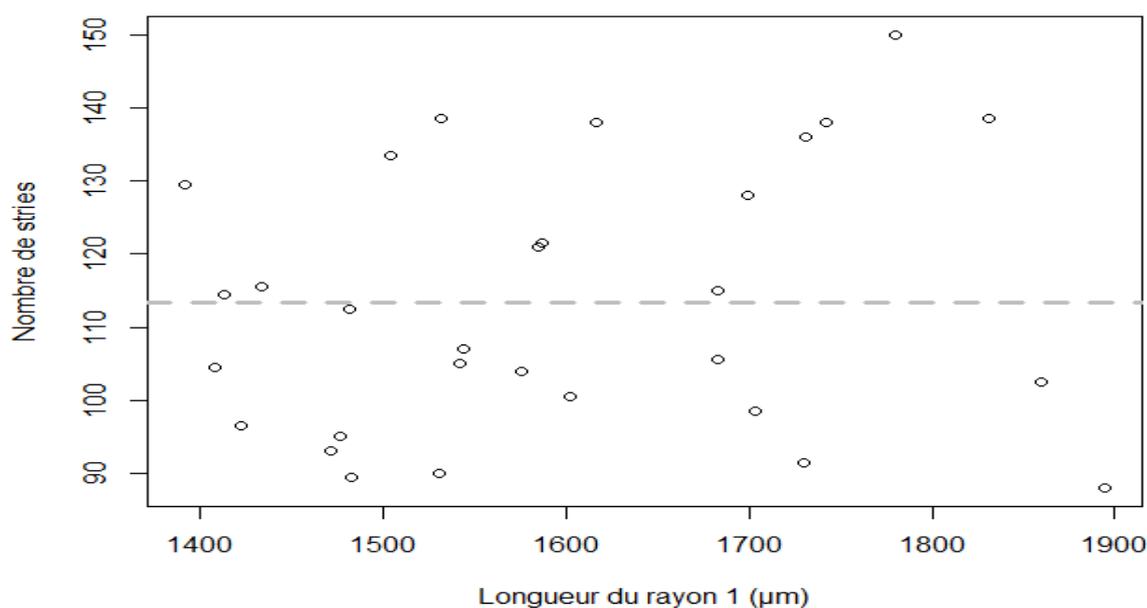


Figure 11 : Représentation du nombre de stries en fonction de la longueur du R1. Les pointillés indiquent la moyenne du nombre de stries.

- **Incertitude sur la date d'arrêt de croissance**

La température a une influence majeure sur les incréments des otolithes. En effet, il s'agirait du principal facteur externe agissant sur la régulation du dépôt des stries (Panfili et al., 2002). Pour les résultats précédents, la température d'arrêt de croissance (début de l'hiver) est fixée à 16°C. Cependant, cette valeur est discutable et est déterminante pour l'estimation de la date d'éclosion. Pour évaluer cela, nous avons analysé les différentes dates pour 5 températures de surface (Figure 12). Ces dernières sont comprises entre 14 et 18°C et correspondent à l'intervalle de température pendant lequel les anchois arrêtent de croître. Un mois et demi (47 jours) est nécessaire à la diminution globale de 4°C de la température de surface du golfe de Gascogne.

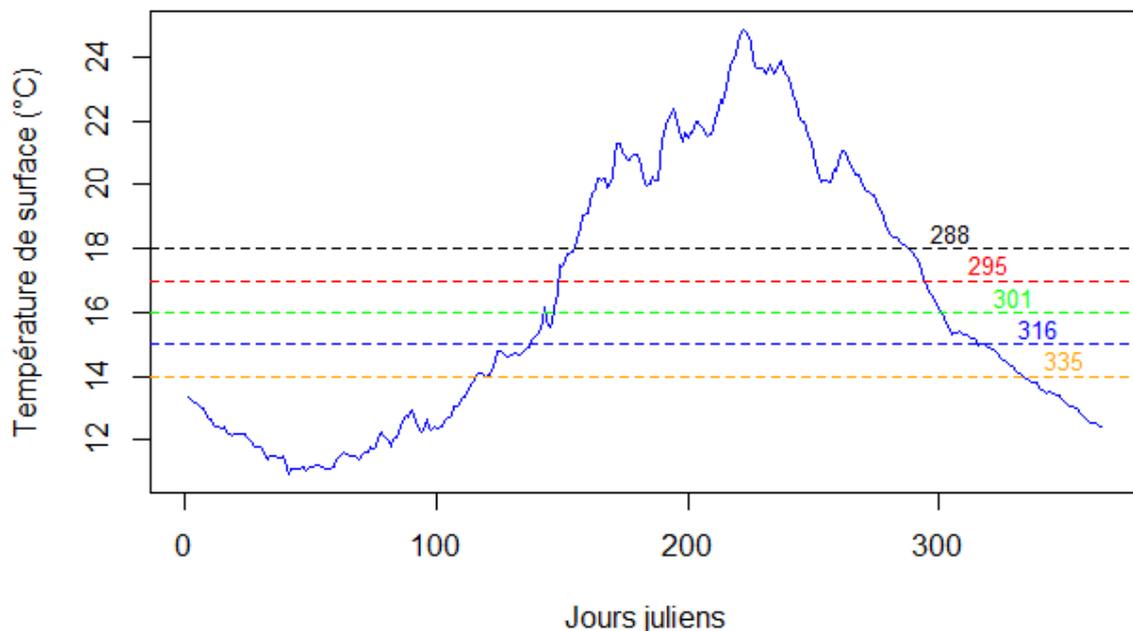


Figure 12 : Evolution de la température moyenne de surface issue de données satellitaires au cours de l'année 2003 dans le golfe de Gascogne (les pointillées et les chiffres représentent le jour auquel la température est atteinte)

Afin de visualiser quand ont eu lieu les variations brutales de températures, nous avons mis en relation les jours d'arrêt de croissance obtenue (Figure 12) en fonction des températures de surface (Figure 13). Le graphique indique que seulement 13 jours suffisent à la perte de 2°C (de 18 à 16°C), tandis la transition de 17 à 15°C s'effectue en trois semaines. Ces 21 jours nous renseignent sur la quantification de l'incertitude de nos résultats.

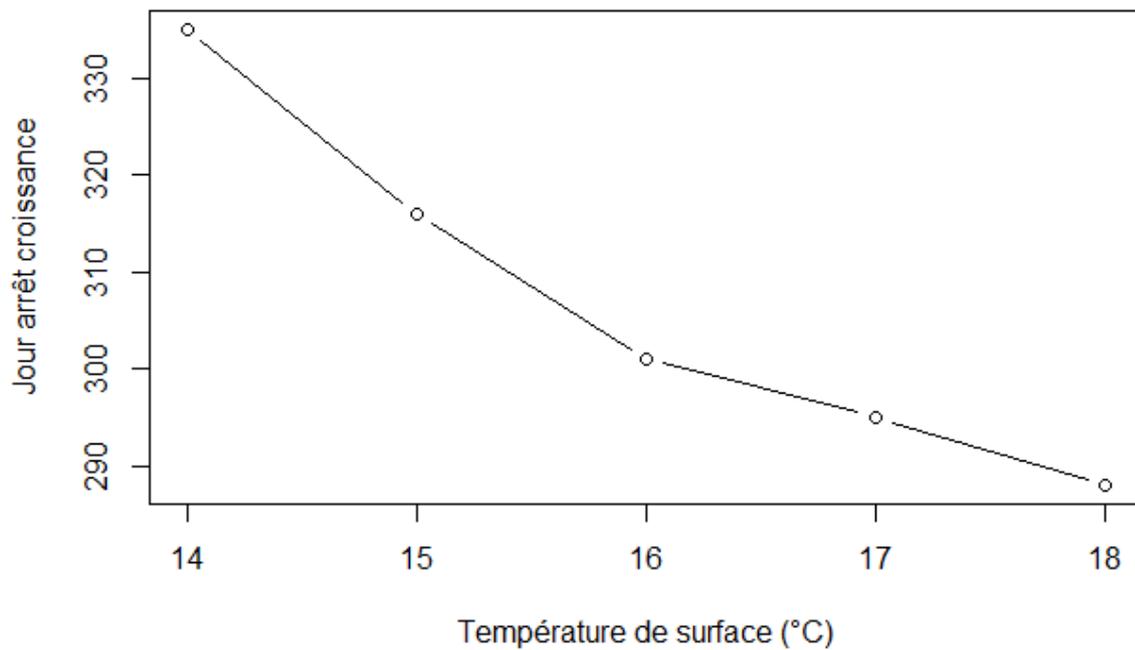


Figure 13 : Représentation des jours d'arrêt de croissance en fonction de 5 températures de surface dans le golfe de Gascogne

Discussion

- **Sur la méthode**

Des comptages des incréments journaliers des larves et des juvéniles chez *Engraulis encrasicolus* ont déjà été effectués (Cermeno et al., 2003). Des expériences ont mis en évidence des dépôts sous journaliers, des stries inter-quotidiennes (Cermeno et al., 2006). De plus, il a été montré que des stries peuvent se former avant l'éclosion (Aldanondo et al., 2008). La confusion entre des incréments journaliers et ceux à échelle plus fine est donc possible et peut entraîner une surestimation de l'âge. Un comptage par paires d'otolithes (droit et gauche) aurait permis de comparer les nombres de stries, ainsi que la mise en place d'indices de précision et d'exactitude (Campana & Jones, 1992). Cependant, la méthode utilisée est très coûteuse en temps et son rendement est faible, avec de nombreuses pièces rendues inexploitables. Pour estimer la précision de comptage, le choix a été d'effectuer une double lecture.

- **Sur les résultats**

- **Croissance otolithaire et somatique**

La longueur des otolithes évoluant avec la taille des anchois, ces pièces calcifiées sont donc de bons indicateurs de la croissance somatique (Allain et al., 2003). De nombreux facteurs vont induire des variations autour de cette relation. Ceux-ci sont soit endogènes (physiologie, génétique), soit exogènes (température, luminosité, disponibilité en

nourriture, ...). En effet, les otolithes sont considérés comme des structures stable enregistrant les conditions environnementales rencontrées pendant la vie du poisson (Jolivet et al., 2013).

○ **Précision de la mesure**

Les estimations liées aux portions non visibles (proportion d'environ 0.16) sont dans un ordre de grandeur acceptable. Ces portions non visibles sont principalement dues à l'épaisseur de l'otolithe d'un individu d'âge 1. Les différences entre les 2 lecteurs sont faibles par rapport au total des stries comptées (moyenne de 113 sur les 30 échantillons traités). Les sources d'erreurs et d'incertitudes du nombre de stries proviennent majoritairement des zones illisibles.

○ **Dates d'éclosion**

La comparaison des dates d'éclosion de deux campagnes par rapport à la période de ponte, met en évidence un maximum de naissance entre juin et mi-juillet. Ce résultat a déjà été observé lors d'étude sur les juvéniles de *Engraulis encrasicolus* (Aldanondo et al., 2016). Aucune larve survivante ne serait née lors du maximum d'intensité de ponte (mois de mai), pourtant, des spécimens sont observées dans le milieu (Irigoién et al., 2007). Nous pouvons émettre des hypothèses quant à la mort des larves issues du début de la période de ponte, les premiers individus seraient soumis à une prédation plus intense, les jeunes anchois semblent servir de poissons fourrages. De plus, des conditions environnementales défavorables au cours de la saison pourrait être une cause supplémentaire de mortalité. Les individus issus de fin de ponte (mois d'août), sont des juvéniles de petites tailles (ces derniers n'étant pas présents dans la campagne PELGAS). Une mortalité hivernale est possible due à une accumulation énergétique insuffisante pour supporter les conditions hivernales. La représentation en boîte à moustache des dates d'éclosion (Figure 9) tend à confirmer que des mortalités ont lieu entre le stade juvénile et adulte. De plus, l'importante variabilité des dates d'éclosion de PELGAS met en évidence que les larves survivantes ne sont pas nées en même temps mais dans un intervalle de 60 jours.

○ **Taux de croissance**

Le comptage des stries sur le segment R1 entre le nucléus et la marque d'arrêt de croissance hivernale, définit le nombre de jours entre l'éclosion et le début de l'hiver. La comparaison des taux de croissance otolithaire, montre que les individus recrutés d'âge 1 ont des taux de croissance bien plus élevés que ceux des juvéniles non encore recrutés. En effet, les individus échantillonnés sur la campagne PELGAS, nés fin juillet, présentent des taux de

croissance otolithaire très élevés supérieurs à 15 $\mu\text{m}/\text{j}$ (Figure 10). Ces résultats soutiennent l'hypothèse du « bigger is better », les spécimens ayant une croissance plus importante seraient plus aptes à survivre (Miller et al., 1988 ; Bailey & Houde, 1989).

Cependant, aucune relation n'est visible entre le nombre de stries et la longueur du R1. L'hypothèse émise pour expliquer ce résultat, est que la taille (longueur du R1) ne dépend pas de la durée de vie (l'âge) de l'organisme mais plutôt des conditions environnementales dans lesquelles a vécu l'anchois. Cette hypothèse est valable ici que pour les premiers mois de vie.

○ **Incertitude sur la date d'arrêt de croissance**

Notre étude présente une incertitude d'approximativement 3 semaines et une période de ponte de l'anchois qui s'étend d'avril à août, les hypothèses formulées précédemment restent valables. On aurait pu affiner les écarts de température, les prendre à plus grande échelle (tous les 2°C) ou à plus fines échelles (tous les 0,5°C) afin de caractériser au mieux les variations brutales de température pouvant engendrer un arrêt de croissance. Les données de température de surface utilisées sont à l'échelle du Golfe entier, en latitude de la côte nord Espagnole à 47°N et en longitude de 3°W à la côte Française (Figure 12, 13). Dans cette zone, des variabilités spatio-temporelles des dates d'arrêts de croissance existent probablement. De plus, une variabilité inter-individuelle peut être observée pour les dates d'arrêt de croissance car la méthode utilisée ne permet pas de caractériser ces fluctuations. L'analyse des isotopes d'oxygène stables dans les otolithes serait une option afin de déterminer la température précise d'arrêt de croissance pour chaque individu. Des expériences ont été menées notamment sur la morue de l'Atlantique (*Gadus morhua*), les conclusions indiquent que les otolithes peuvent donner des estimations précises de la température ambiante subie par les poissons dans des conditions de faibles variations de salinité (Hoie et al., 2004). L'utilisation de cette technique préciserait une date d'arrêt de croissance. De surcroît, les résultats auraient une meilleure précision.

Enfin, le faible nombre d'échantillons traités ne permet pas de tirer de conclusion quant au recrutement de *Engraulis encrasicolus*. Cependant, les hypothèses émises sont en adéquations avec de nombreuses études. L'augmentation du nombre d'otolithes permettrait d'affirmer ou d'infirmier les hypothèses énoncées.

Conclusion

Les échantillons étudiés ne permettent pas de tirer de conclusions précises concernant le recrutement de la population d'anchois dans le golfe de Gascogne. Seulement des hypothèses ont pu être formulées. Différentes périodes de fortes mortalités des larves ont été confirmées (Avril-Mai et Août). Des forts taux de croissance liés à des conditions favorables contribueraient fortement à la survie des juvéniles, et donc au recrutement. Une incertitude de 3 semaines liée à la date d'arrêt de croissance a pu être déterminée grâce à l'analyse d'images satellite. Améliorer la méthodologie pourrait fournir de précieux indices sur les facteurs qui expliquent la variabilité du recrutement de *Engraulis encrasicolus*. La finalité serait de réaliser cette étude chaque année à partir des otolithes issus des campagnes océanographiques printanières. La mise en place d'un suivi en routine renseignerait les scientifiques sur les évolutions de la fenêtre de survie et son importance dans l'écosystème. Les hypothèses énoncées pourront être confirmées ou infirmées et viendront compléter les modèles de recrutement déjà existants. L'objectif final sera de mieux comprendre la dynamique de la population d'anchois dans le golfe de Gascogne, au printemps.

Bibliographie

- Aldanondo, N., Cotano, U., Etxebeste, E., Irigoien, X., Álvarez, P., de Murguía, a. M., & Herrero, D. L. (2008). Validation of daily increments deposition in the otoliths of European anchovy larvae (*Engraulis encrasicolus* L.) reared under different temperature conditions. *Fisheries Research*, 93(3), 257–264. <http://doi.org/10.1016/j.fishres.2008.04.012>
- Aldanondo, N., Cotano, U., Goikoetxea, N., Boyra, G., Ibaibarriaga, L., & Irigoien, X. (2016). Interannual differences in growth and hatch-date distributions of early juvenile European anchovy in the Bay of Biscay: Implications for recruitment. *Fisheries Oceanography*, 25(2), 147–163. <http://doi.org/10.1111/fog.12142>
- Aldanondo, N., Cotano, U., Tiepolo, M., Boyra, G., & Irigoien, X. (2010). Growth and movement patterns of early juvenile European anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.) in the Bay of Biscay based on otolith microstructure and chemistry. *Fisheries Oceanography*, 19(3), 196–208. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2419.2010.00537.x>
- Allain, G., Petitgas, P., Grellier, P., & Lazure, P. (2003). The selection process from larval to juvenile stages of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Bay of Biscay investigated by Lagrangian simulations and comparative otolith growth. *Fisheries Oceanography*, 12(4-5), 407–418. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2419.2003.00245.x>

- Bailey, K. M., & Houde, E. D. (1989). Predation on Eggs and Larvae of Marine Fishes and the Recruitment Problem. *Advances in Marine Biology*, 25(C), 1–83. [http://doi.org/10.1016/S0065-2881\(08\)60187-X](http://doi.org/10.1016/S0065-2881(08)60187-X)
- Bakun, A. (1996). Patterns in the ocean: Ocean processes and marine population dynamics. *California Sea Grant, La Jolla, CA, and Centro de Investigaciones Biologicas Del Noroeste, La Paz, BCS, Mexico*, 17(3), 1945–1946. [http://doi.org/10.1016/S0278-4343\(97\)00037-X](http://doi.org/10.1016/S0278-4343(97)00037-X)
- Bedford, B. C. (1983). A method for preparing sections of large numbers of otoliths embedded in black polyester resin. *ICES Journal of Marine Science*, 41(1), 4–12. <http://doi.org/10.1093/icesjms/41.1.4>
- Brothers, E. B., Mathews, C. P., & Lasker, R. (1976). Daily growth increments in otoliths from larval and adult fishes. *Fishery Bulletin*, 74(1), 1–8. <http://doi.org/10.1006/jfbi.1993.1006>
- Campana, S. (1999). Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Marine Ecology Progress Series*, 188, 263–297. <http://doi.org/10.3354/meps188263>
- Campana, S.E., & Jones, C. M. (1992). Analysis of otolith microstructure data, p. 73-100. In Stevenson, D. K., & Campana, S. E. (1992). Otolith Microstructure Examination and Analysis. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*. [http://doi.org/10.1016/0022-0981\(93\)90010-L](http://doi.org/10.1016/0022-0981(93)90010-L)
- Cermeño, P., Morales-Nin, B., & Uriarte, A. (2006). Juvenile European anchovy otolith microstructure. *Scientia Marina*, 70(3), 553–557. <http://doi.org/10.3989/scimar.2006.70n3553>
- Cermeño, P., Uriarte, A., De Murguía, a. M., & Morales-Nin, B. (2003). Validation of daily increment formation in otoliths of juvenile and adult European anchovy. *Journal of Fish Biology*, 62(3), 679–691. <http://doi.org/10.1046/j.1095-8649.2003.00056.x>
- Cermeño, P., Uriarte, A., Morales-Nin, B., Cotano, U., & Álvarez, P. (2008). Establecimiento de un criterio de interpretación para datar otolitos de juveniles de anchoa europea. *Scientia Marina*, 72(4), 733–742. <http://doi.org/10.3989/scimar.2008.72n4733>
- Doray, M., Badts, V., Huret, M., Duhamel, E., Doremus, G., Masse, J., Petitgas, P. (2015). Guide du chef de mission de la campagne PELGAS. *Direction des Moyens et Opérations Navals*.
- Dougherty, A. B. (2008). Daily and sub-daily otolith increments of larval and juvenile walleye pollock, *Theragra chalcogramma* (Pallas), as validated by alizarin complexone experiments. *Fisheries Research*, 90(1-3), 271–278. <http://doi.org/10.1016/j.fishres.2007.10.021>
- Grønkjær, P. (2016). Otoliths as individual indicators: A reappraisal of the link between fish physiology and otolith characteristics. *Marine and Freshwater Research*, 67(7), 881–888. <http://doi.org/10.1071/MF15155>

- Høie, H., Otterlei, E., & Folkvord, A. (2004). Temperature-dependent fractionation of stable oxygen isotopes in otoliths of juvenile cod (*Gadus morhua* L.). *ICES Journal of Marine Science*, *61*(2), 243–251. <http://doi.org/10.1016/j.icesjms.2003.11.006>
- Irigoién, X., Fiksen, Cotano, U., Uriarte, a., Alvarez, P., Arrizabalaga, H., Motos, L. (2007). Could Biscay Bay Anchovy recruit through a spatial loophole? *Progress in Oceanography*, *74*(2-3), 132–148. <http://doi.org/10.1016/j.pocean.2007.04.011>
- Jolivet, A., Bardeau, J.-F., Fablet, R., Paulet, Y.-M., de Pontual, H., & Gillanders, B. (2013). How do the organic and mineral fractions drive the opacity of fish otoliths? Insights using Raman microspectrometry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *70*(5), 711–719. <http://doi.org/10.1139/cjfas-2012-0298>
- Mendiola, D., & Álvarez, P. (2008). Validation of daily increments in the otolith microstructure of Northeast Atlantic mackerel fish larvae. *Fisheries Research*, *89*(3), 300–304. <http://doi.org/10.1016/j.fishres.2007.10.018>
- Miller, T. J., Crowder, L. B., Rice, J. A., & Marschall, E. A. (1988). Larval size and recruitment mechanisms in fishes: toward a conceptual framework. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *45*, 1657-1670
- Nakaya, M., Morioka, T., Fukunaga, K., Sekiya, S., Jinbo, T., Nagashima, H., & Ueno, Y. (2008). Validation of otolith daily increments for larval and juvenile Japanese halfbeak *Hyporhamphus sajori*. *Fisheries Research*, *93*(1-2), 186–189. <http://doi.org/10.1016/j.fishres.2008.04.004>
- Panfili, J., de Pontual, H., Troadec, H., & Wright, P. J. (2002). Manual of Fish Sclerochronology. *Ifremer-IRD*, 464. <http://doi.org/10.1643/OT-03-266>
- Pannella, G. (1971). Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns. *Science (Wash.)*, *173*, 1124-1127
- Petitgas, P., Alheit, J., Peck, M. a., Raab, K., Irigoien, X., Huret, M., Dickey-Collas, M. (2012). Anchovy population expansion in the North Sea. *Marine Ecology Progress Series*, *444*, 1–13. <http://doi.org/10.3354/meps09451>
- Reibisch, J. (1899). Ueber die Eizahl bei *Pleuronectes platessa* und die Altersbestimmung dieser Form aus den Otolithen (The number of eggs in the *Pleuronectes platessa* and the fixing of its age by means of the otolith) (Translated by A. T. A. Dobson). *Wissenschaft liche Meeresuntersuchungen/Abteilung Kiel Neue Folge*, *4*, 231-248
- Stevenson, D. K., & Campana, S. E. (1992). Otolith Microstructure Examination and Analysis. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*. [http://doi.org/10.1016/0022-0981\(93\)90010-L](http://doi.org/10.1016/0022-0981(93)90010-L)

Annexes

Les éphémérides

La durée du jour est définis comme la période entre le lever et le coucher du soleil. Une corrélation positive (p -value < 0.05) existe entre cette période et la température de surface dans le golfe de Gascogne (Figure 1).

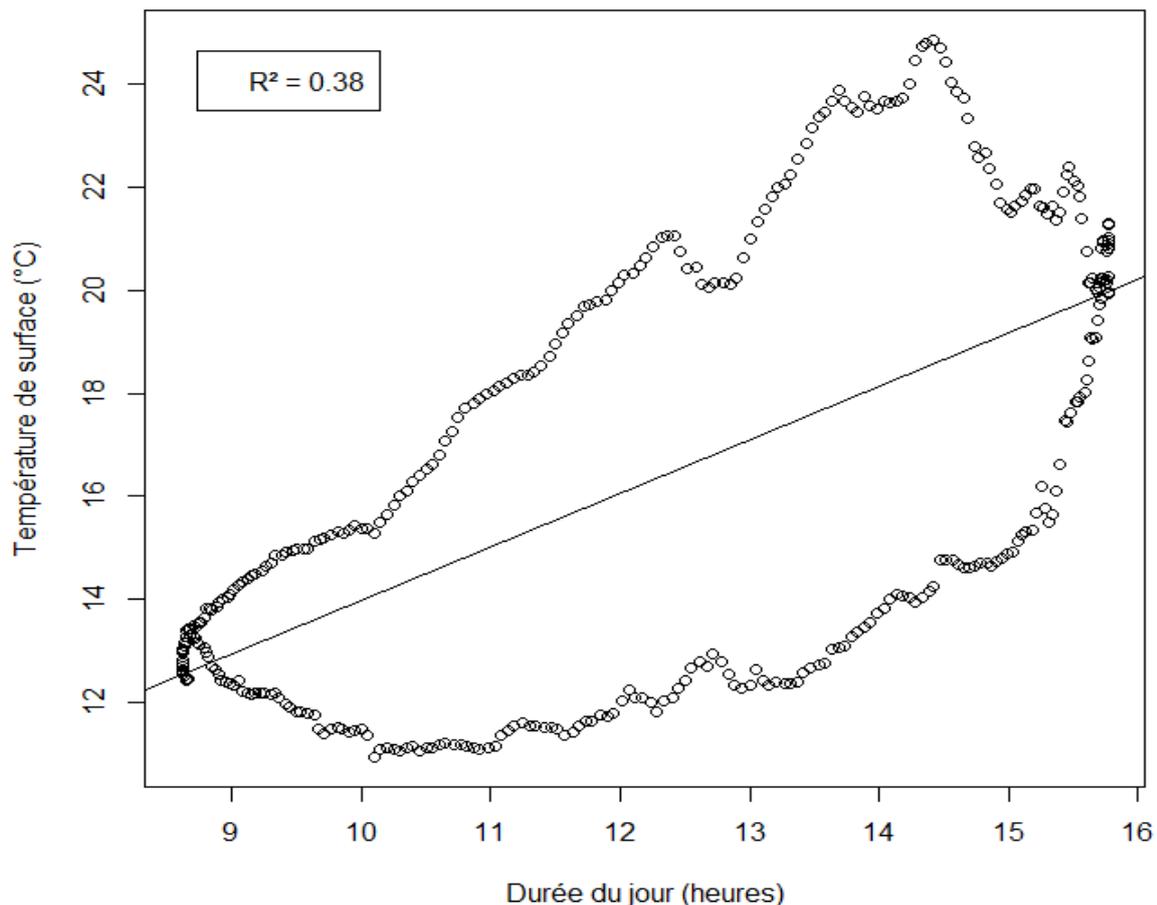


Figure 1 : Représentation de la température moyenne de surface en fonction de la durée du jour à La Rochelle.

Les résultats des éphémérides rendent compte de l'influence de la photopériode sur les populations d'anchois. Un gradient spatial N/S, à l'échelle du golfe du Gacogne met en évidence une variation spatiale de cette photopériode selon les latitudes. Pour les deux années étudiées, 2003 et 2015, l'équinoxe automnale (23 septembre), définissant une durée du jour égal à toutes les positions géographiques, la température de surface est respectivement de 20,15°C et 18,75°C (Figure 2, 3).

Année 2003

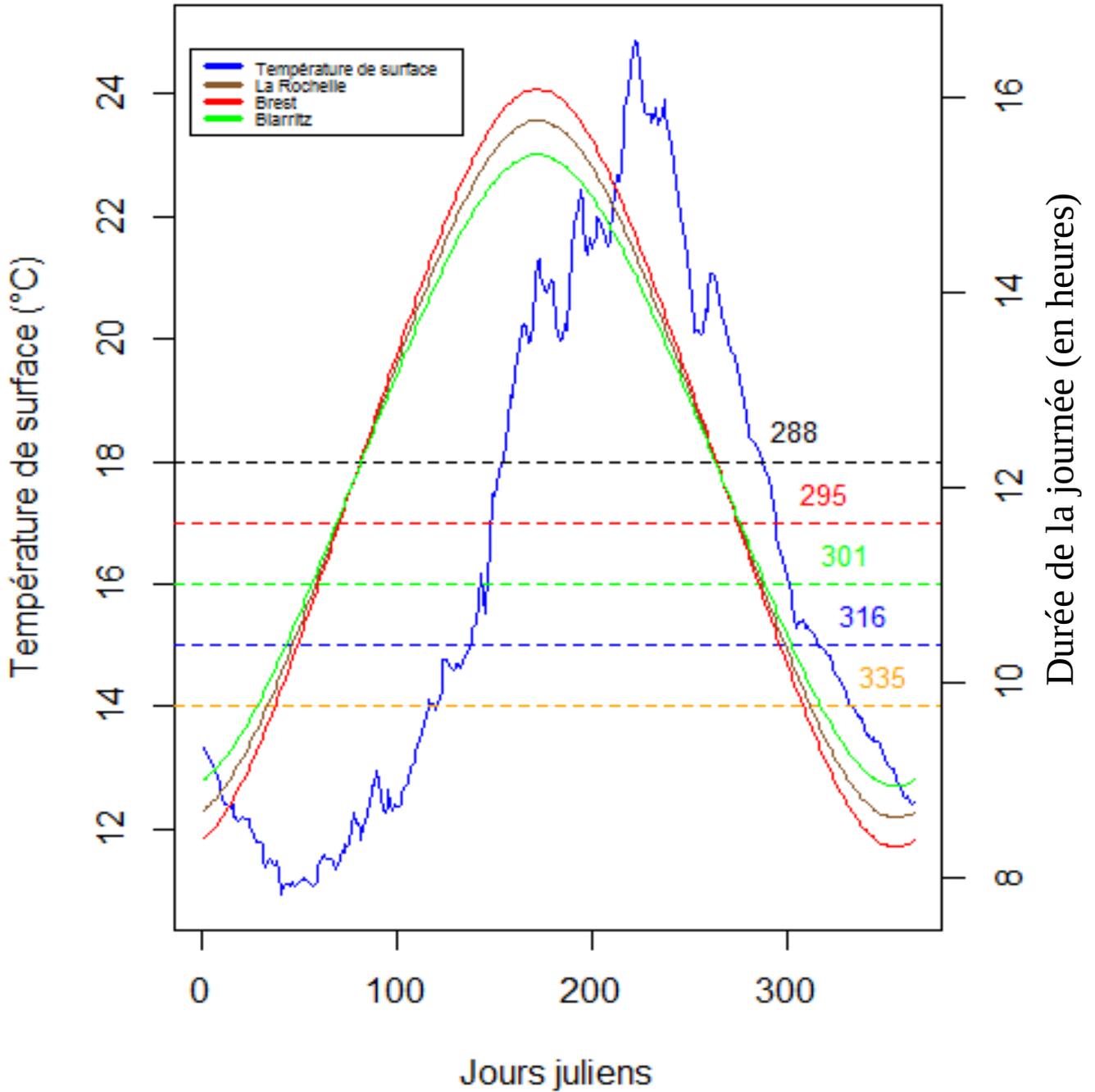


Figure 2 : Evolution de la température moyenne de surface à l'échelle du golfe de Gascogne et de la durée de la journée dans différentes villes : Brest, La Rochelle, Biarritz pour l'année 2003. Les pointillés et les chiffres représentent le jour auquel la température est atteinte.

Année 2015

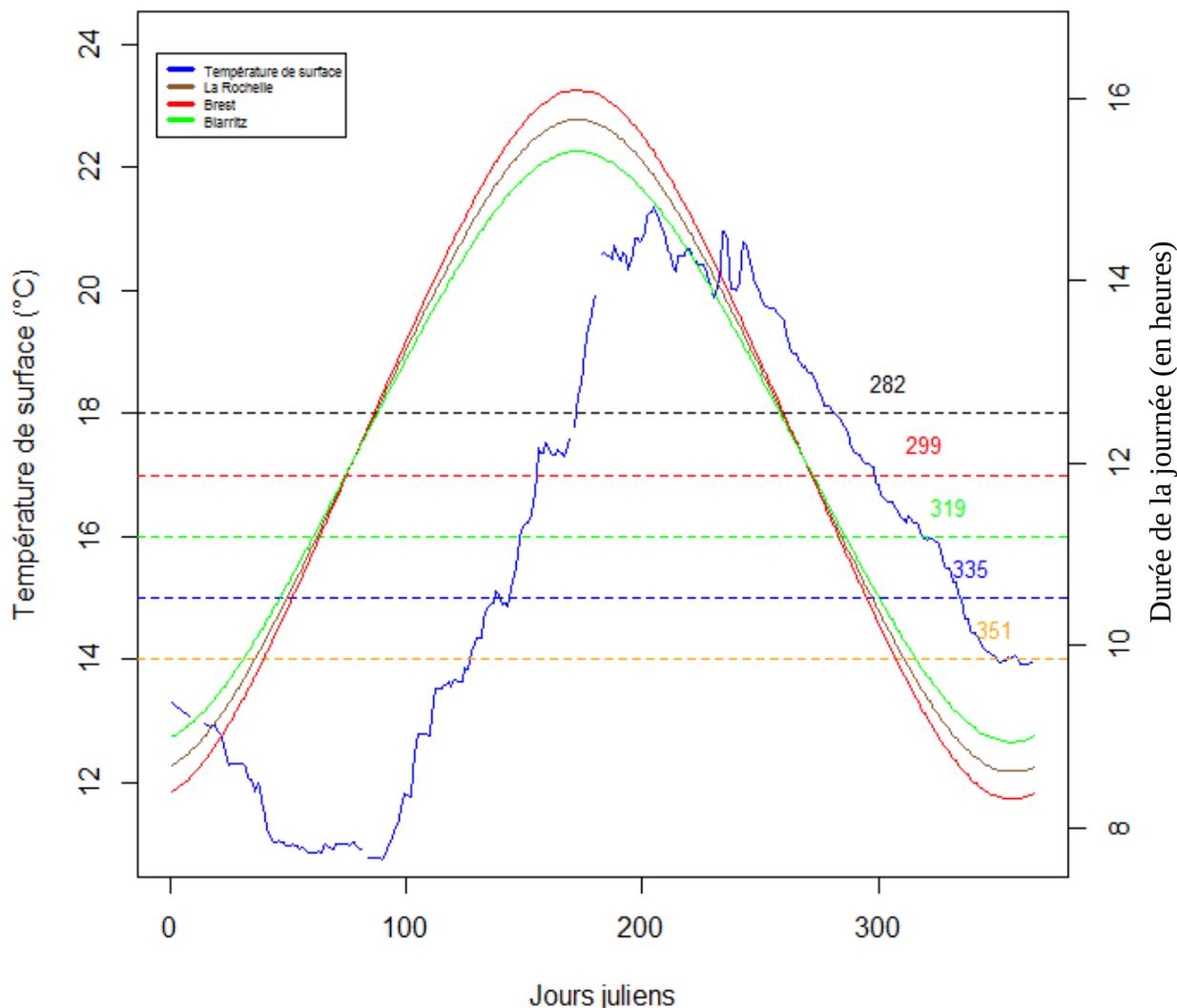


Figure 3 : Evolution de la température moyenne de surface à l'échelle du golfe de Gascogne et de la durée de la journée dans différentes villes : Brest, La Rochelle, Biarritz pour l'année 2015. Les pointillés et les chiffres représentent le jour auquel la température est atteinte.

En 2003, la date d'arrêt de croissance estimée, jour 301, correspond à une période située après l'équinoxe de septembre. La durée du jour diminuant plus vite à Brest qu'à Biarritz, cette hétérogénéité de la durée du jour induit un arrêt de croissance d'abord dans le Nord puis au Sud. Un gradient Nord/Sud existe également pour les température de surface à l'échelle du golfe du Gascogne.

Pour 2015, les anchois ont été échantillonnés au large de Capbreton (Landes) le 24 octobre, une strie hyaline est visible se traduisant par un arrêt de croissance réel (Figure 4). Vis-à-vis de la température de surface, les individus arrêtent de croître approximativement à 18°C.

L'analyse de la durée du jour met en évidence que la marque d'arrêt de croissance se serait déposé après l'équinoxe automnale, comme en 2003.

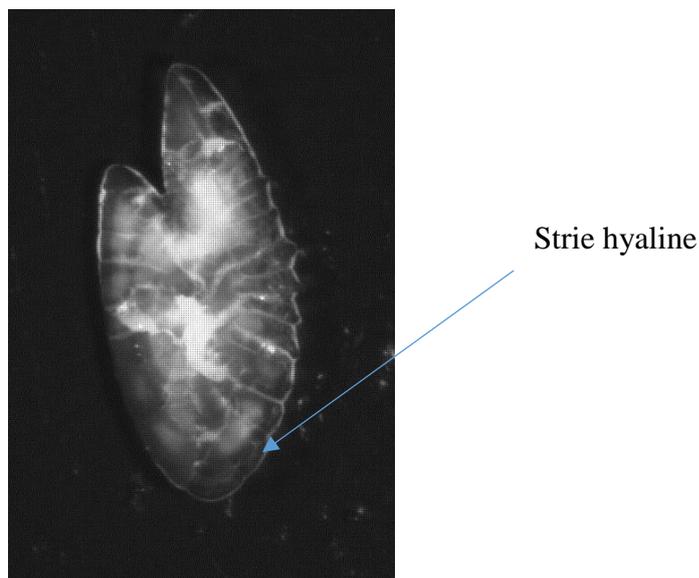


Figure 4 : Photo d'un otolithe d'anchois (*Engraulis encrasicolus*) d'âge 0 à la loupe binoculaire au grossissement x16 à l'aide du logiciel TNPC. Echantillonné lors de la campagne EVHOE le 24 octobre 2015 au large de Capbreton (longitude 43.69009, latitude -1.4887734)

Une variation spatiale des éphémérides est constatée. Cependant, aucune fluctuation temporelle de la durée du jour est observée (Figure 5).

Quant à la température de surface, des mouvements spatiaux temporelles sont démontrées.

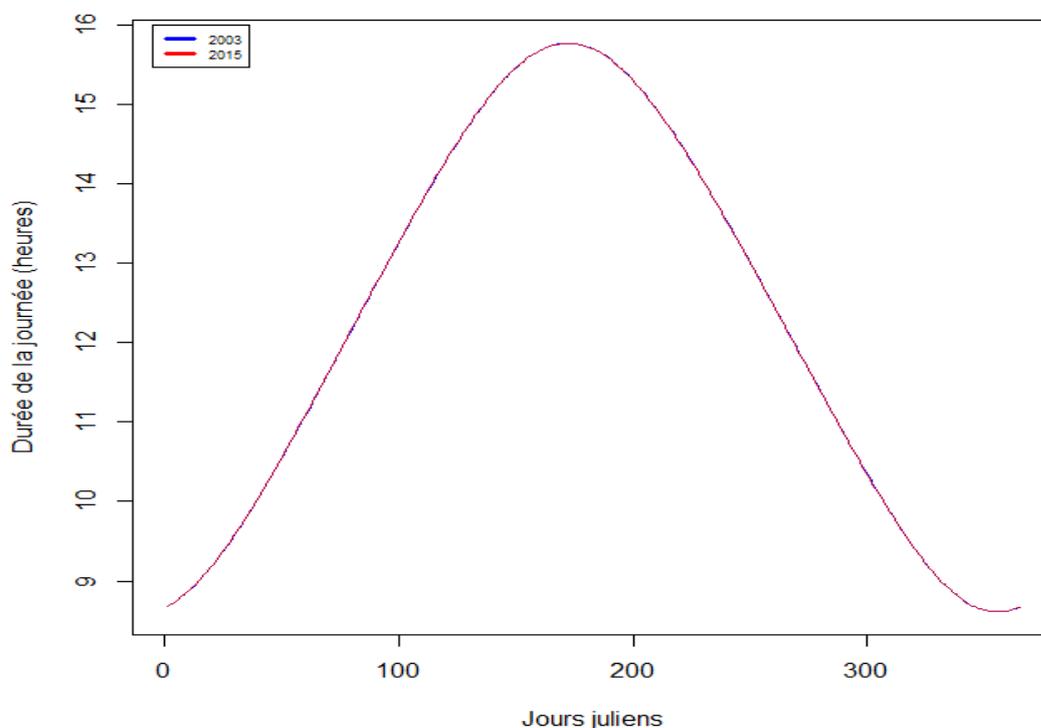


Figure 5 : Evolution de la durée de la journée à La Rochelle pour l'année 2003 et 2015.