

# Diversité phénotypique dans la population d'anchois commun (*Engraulis encrasicolus*) du golfe de Gascogne



Mémoire de stage de Master 1 Biodiversité, Ecologie et Evolution

Université Paris-Saclay

Leseur Floriane

**Lieu de stage :** Ifremer de Nantes, Centre-Atlantique

**Equipe :** Ecologie et Modèles pour l'Halieutique

**Encadrement du stage :** Pierre Petitgas

**Durée du stage :** 6 semaines au laboratoire du 29 mars au 4 mai et 10 jours en mer à bord du N/O Thalassa du 23 mai au 2 juin

**Soutenance :** 8 juin 2016

## Remerciements

Je souhaite remercier et témoigner toute ma reconnaissance aux personnes de l'équipe EMH qui m'ont épaulé dans la réalisation de mon rapport de stage de Master 1, pour l'expérience enrichissante et pleine d'intérêt qu'elles m'ont fait vivre durant ces deux mois au sein de l'IFREMER et lors du stage embarqué à bord du N/O Thalassa.

En premier lieu, je remercie M. PETITGAS, Responsable de l'unité EMH et responsable de mon stage, qui a accepté ma candidature et m'a aidé en me fournissant des informations précieuses dans mes recherches, ainsi que d'avoir été présent pour répondre à mes interrogations tout au long de la réalisation de mon rapport.

Je remercie aussi, Anne-Sophie Cornou, qui m'a fourni une aide précieuse en programmation sous R tout au long de mon stage.

Enfin, Je remercie également les post-doc, doctorants et les stagiaires de master un et deuxième année de l'IFREMER de Nantes, qui ont accepté de répondre à mes questions, de m'avoir aidée et pour avoir apporté un regard critique sur mon travail.

Pour finir, je tiens à remercier mes parents, familles et amis pour m'avoir aidé et soutenu tous au long de mon rapport.

## Table des matières

Glossaire.....	2
<b>I. Introduction.....</b>	<b>3</b>
1) Résumé des études précédentes et poursuite de l'étude.....	4
2) Problématique.....	4
<b>II. Matériels et méthodes.....</b>	<b>5</b>
1) Contexte géographique.....	5
2) Cas d'étude : l'anchois commun ( <i>Engraulis encrasicolus</i> ).....	5
3) Méthode d'échantillonnage.....	7
4) Méthode d'extraction des allozymes.....	8
5) Otolithométrie.....	9
6) Calcul des fréquences alléliques :.....	10
7) Statistiques : explication ANOVA et régression linéaire.....	11
<b>III. Résultats.....</b>	<b>11</b>
<b>IV. Discussion.....</b>	<b>15</b>
<b>V. Conclusion.....</b>	<b>17</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>18</b>
<b>Webographie :.....</b>	<b>19</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>20</b>
<b>Résumé.....</b>	<b>22</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>22</b>

### Présentation du lieu de stage :

Mon stage s'est déroulé à l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER) dans l'unité de recherche d'Ecologie et Modèles pour l'Halieutique (EMH) dont le responsable est Pierre Petitgas. Les études de cette équipe visent à définir les conditions d'une exploitation durable des ressources marines vivantes et des écosystèmes qui leur sont associés en utilisant des méthodes mathématiques, statistiques et des modélisations. Les domaines étudiés sont principalement la biologie et l'écologie des populations d'espèces d'intérêt et la modélisation pour l'halieutique.

## Glossaire

**Allozyme** : c'est une enzyme codée par les différents allèles d'un même gène. Elles ont des structures et des fonctions différentes. (A ne pas confondre avec une isoenzyme qui est l'ensemble des enzymes codées par des locus différents mais qui ont la même fonction). (Source : <http://leskykyetgabubumilie.free.fr/sciences/conservation/notescoursnicolas.html>)

**Cycle de Krebs** : il a lieu dans les mitochondries chez les eucaryotes et est constitué de 8 réactions enzymatiques qui permettent le « catabolisme oxydatif des carbohydrates, des acides gras et des acides aminés assure la plus grande part des besoins énergétiques de la cellule grâce à la formation de coenzymes réduits qui seront réoxydés dans la chaîne respiratoire. » (Source : <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Metabo/ck1.htm>)

**Glycolyse** : cette réaction a lieu dans le cytosol des cellules chez les eucaryotes et est constituée « d'une série de réactions catalysées par des enzymes qui dégradent une molécule de glucose (6 carbones) en deux molécules de pyruvate (3 carbones). Cette voie métabolique produit de l'énergie libre sous forme d'ATP ».

(source : <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Metabo/glyco1.html>)

**"-m"** : localisée dans le muscle      **"-f"** : localisée dans le foie

**PGI-m** : isomérase qui catalyse réaction du glucose 6P en fructose (glycolyse)

**LDH1-m** : déshydrogénase qui catalyse le pyruvate en lactate (dans le coeur) (glycolyse)

**LDH2-m** : même réaction diversité de structure (dans le système réticulo-endothélial) (glycolyse)

**ME2-m** : catalyse la décarboxylation du malate en pyruvate

**MDH1-m** : catalyse l'oxydation réversible du malate en oxaloacetate

**PGM-m** : isomérase qui catalyse le 3phosphoglycérate en 2PG (glycolyse)

**aGPD-m** : catalyse du dihydroxyacétone en glycérphosphate (glycolyse)

**IDH-f** : oxydoréductase qui catalyse l'icocitrate en isoglutarate (cycle de Krebs et lipogénèse)

**AAT-f** : élastase qui catalyse les déchets toxiques de l'organisme

**LGG-f** : catalyse les agrégats protéiques

**PP-f** : transférase qui catalyse pyruvate + phosphate en phosphoénolpyruvate

**IDH-m** : oxydoréductase qui catalyse l'icocitrate en isoglutarate (cycle de Krebs)

## I. Introduction

Depuis la fin du 20<sup>ème</sup> siècle, une prise de conscience planétaire sur la nécessité de protéger la nature et de préserver la biodiversité commence à émerger. La population humaine ne cesse d'augmenter et la consommation des ressources avec elle. De ce fait, il devient important d'étudier les espèces exploitées pour mieux comprendre leur mode de vie et avoir une connaissance globale de l'état des stocks de ces espèces. Cela permet de mieux gérer leur exploitation et ne pas les mettre en danger (menacées ou en voie d'extinction). L'halieutique permet d'étudier différentes disciplines et différents modèles qui se rapportent à la pêche, dans un but de développement durable. En effet, l'amélioration des connaissances des espèces marines destinées à la consommation engendre une meilleure exploitation et une meilleure gestion de celles-ci. Cela permet de mesurer l'impact de la pêche sur les organismes marins et plus généralement, celle de l'exploitation des océans. Les résultats trouvés favorisent la mise en place de réglementations pour protéger les espèces lorsque cela est nécessaire, telles que les quotas, l'interdiction de certaines zones de pêches ou l'interdiction de pêcher une certaine espèce pendant une durée déterminée.

Plusieurs laboratoires de recherche comme l'IFREMER se concentrent sur l'étude de ces espèces dans leur écosystème en réalisant des prélèvements en mer afin de recenser la biodiversité et la biomasse des zones de pêche. Cela permet aussi réaliser des projections pour les années futures proches quant au devenir de ces espèces. Le laboratoire d'Ecologie et Modèles pour l'Halieutique réalise des campagnes scientifiques en mer (PELGAS sont les campagnes réalisées au printemps lors de la période de reproduction) visant à recenser les espèces communes comme l'anchois commun, la sardine, le maquereau, le chinchard,...etc Le but de ces études est de suivre les espèces spatialement et temporellement ainsi que de mieux connaître les traits biologiques de chaque espèce, de retracer l'histoire de vie des individus, de déterminer la diversité phénotypique grâce à la génétique et de connaître les paramètres abiotiques de l'écosystème. En Europe, la pêche est bien règlementée grâce au suivi temporel des espèces exploitées tel que l'anchois commun pêché dans le Golfe de Gascogne. De plus, plusieurs espèces pêchées (poissons, langoustine...etc) font l'objet de Total Admissible de Capture (les TACs) permettant de réguler la mortalité par pêche.

## 1) Résumé des études précédentes et poursuite de l'étude

Afin d'analyser la variabilité phénotypique de la population d'anchois commun du golfe de Gascogne, des études de génétique et des mesures biométriques ont été réalisées depuis les années 2000 (Petitgas *et al.* 2005). Il s'agit d'analyses moléculaires basées sur des allozymes de muscles et de foie de 12 loci différents (l'étude actuelle sera portée sur 13 loci car les données du dernier locus sont désormais disponibles), ainsi que des mesures de la longueur totale des individus échantillonnés et du rayon de leur otolithe. Les allozymes étudiées sont des enzymes courantes jouant un rôle dans des réactions telles que la glycolyse ou le cycle de Krebs. Elles sont utilisées comme marqueur co-dominant car elles permettent de distinguer les hétérozygotes et les homozygotes pour un locus.

Dans l'étude menée de 2000 à 2005 (Petitgas *et al.* 2005), il a été mis en évidence l'apparition de nouveaux génotypes à l'âge 2 ainsi que des allèles rares. Cette observation à l'âge 2 a permis de démontrer qu'il existe une mortalité âge-sélective au sein des cohortes. En effet, les petits individus âgés d'un an se trouvent principalement dans les eaux proches de la côte alors que les individus plus grands et plus âgés se trouvent davantage au large. Cette répartition spatiale peut donner lieu à une pêche taille-sélective car les chalutiers ciblent en priorité les plus grands poissons qu'ils pêchent au large. Les génotypes rares ne sont donc pas visibles à l'âge 1 principalement à cause de la sélection par pêche et à cause du manque d'accessibilité des petits individus d'âge 1. Cependant, il a été montré que la fréquence des nouveaux allèles à l'âge 2 est compatible avec les fréquences de la population des parents. Les différences de croissance observées entre individus avant l'âge 1 sont principalement dues à la date de naissance des larves : les individus nés en début de saison ont plus de temps pour grandir que ceux nés à la fin. Ainsi les allèles rares qui apparaissent à l'âge 2 seraient portés par les petits poissons nés en fin de période de reproduction. Il pourrait ainsi être intéressant de les utiliser comme indicateurs dans la variabilité de recrutement. La structuration de la population chez les anchois est complexe et la variabilité des fréquences alléliques est hétérogène. Bien que la population soit considérée comme une seule métapopulation, il semblerait néanmoins qu'il y ait des subdivisions (Hedgecock *et al.* 1989).

## 2) Problématique

Le but de mon stage est de poursuivre cette étude afin de déterminer la diversité phénotypique dans la population d'anchois commun du Golfe de Gascogne. Plus précisément, il s'agit de caractériser la diversité allélique de différents loci étudiés et de la mettre en relation avec des

paramètres tels que la démographie, la géographie et les traits de vie des individus, en supposant qu'il existe une relation entre certains allèles et les paramètres biométriques (taille, rayon de l'otolithe) et l'habitat (station, sonde).

## II. Matériels et méthodes

### 1) Contexte géographique

Le golfe de Gascogne constitue une partie de l'océan Atlantique qui se situe « à l'est d'une ligne imaginaire qui joindrait la pointe de la Bretagne à La Corogne, province du nord-ouest de l'Espagne » (Le Cam *et al.* 2012). La topographie du golfe est composée majoritairement d'un plateau continental dont les fonds oscillent entre 0 et 200 mètres de profondeur, s'achevant à son extrémité ouest par un talus. La largeur du plateau est d'environ 50 km au sud et de 200 km au large de la Loire-Atlantique. Après le talus, la profondeur de la marge continentale est comprise entre 3 et 4 km (présence de nombreux canyons). Il couvre une surface d'environ 223 000 km<sup>2</sup> (Morvan, SHOM, Brest.2000). Le plateau est soumis à de fortes pressions anthropiques directes (pêche) et indirectes (le réchauffement climatique) (Doray *et al.* 2015).



Figure 1. Photographie prise par satellite du golfe de Gascogne (Wikiwand)

### 2) Cas d'étude : l'anchois commun (*Engraulis encrasicolus*)

Appartenant à la famille des Engraulidés, l'anchois commun est un poisson (10 à 18 cm pour les adultes) que l'on trouve en milieu néritique mais également dans les eaux côtières jusqu'à environ 180 m. Son aire de répartition s'étend en Atlantique Nord-Est (sud de l'Espagne à la Mer du Nord) et en mer Méditerranée. Il se distingue facilement des autres poissons de sa famille grâce à son museau conique et saillant ainsi que par sa grande bouche infère. Ses nageoires pelviennes et abdominales sont bien développées. Il ne possède pas de carène ventrale, qui est une arête horizontale précédant une nageoire permettant la stabilité et le soutien de la nageoire caudale (Quéro *et al.* 2003).



Figure 2. Anchois commun (*Engraulis encrasicolus*) bouche ouverte (à gauche, Fernandez C.) et bouche fermée (à droite, Pruvost P., MNHN 2004-0584, Ocean Atlantique Nord-est)

L'anchois est une espèce grégaire avec une vie courte et qui présente une croissance rapide et une fécondité élevée (Petitgas *et al.* 2010). Ses migrations ne sont pas bien connues. Des migrations nyctémérales ont également été observées : les adultes ont tendance à rester en bancs proche du fond pendant la journée et à remonter à la surface la nuit alors que les bancs se dispersent. Les jeunes juvéniles ont tendance à rester en surface de jour et de nuit puis ils adoptent le comportement nyctéméral des adultes.

Les anchois se reproduisent sur plusieurs mois, généralement d'avril à août, pendant lesquels les femelles pondent des lots d'œufs tous les 3 à 4 jours. Les femelles les plus âgées commencent la ponte en début de saison (avril-mai) et les plus jeunes ensuite. Elles pondent en surface la nuit. Les courants océaniques font dériver les œufs et les larves ont des trajectoires spatiales variables. Allain *et al.* (2003) ont observé que les larves qui se développaient sur le plateau avaient une meilleure survie et une meilleure croissance que celles se trouvant au large en dehors du plateau. Leur recrutement (les poissons d'un an désormais capables de se reproduire) dépend principalement de la survie larvaire et juvénile.

Au printemps, les ressources énergétiques sont allouées à la reproduction. Néanmoins, après la période de ponte et avant l'hiver (été-automne), l'embonpoint des individus est maximal : bien que les anchois grandissent toute leur vie, le taux de croissance est maximal avant la première ponte. En effet, la croissance à l'âge 0 est déterminante pour la dynamique de la population car elle détermine la distribution spatiale des individus, la croissance dans les années ultérieures et la survie jusqu'à l'âge d'après (Petitgas *et al.* 2012). De ce fait, un juvénile présentant un taux de croissance rapide pendant son stade larvaire par rapport aux autres aura une meilleure survie. Cela est probablement dû à l'existence d'une mortalité croissance-sélective entre le stade larvaire et le stade juvénile (Allain *et al.* 2003). Toutefois, les individus ayant la plus grande croissance à l'âge 0 ont la plus petite croissance à l'âge 1 car ils investissent plus d'énergie dans la reproduction. A l'inverse, les individus ayant une faible croissance à l'âge 0 rattrapent la différence en grandissant plus à l'âge 1 et s'investissent donc moins dans la reproduction

(Petitgas *et al.* 2003). La grande variabilité de croissance à l'âge 0 pourrait dépendre de la date de naissance et/ou des conditions nutritives rencontrées (Petitgas *et al.* 2012).

La pêche de l'anchois a lieu principalement au printemps et en automne, sur les zones de ponte et de nutrition. La pêche à l'anchois est gérée dans le cadre de la Politique Commune des Pêches (PCP). Sa pêche a été interdite par l'Union Européenne de 2005 à 2010 suite à un effondrement de la population. Lorsque le recrutement a augmenté suffisamment pour maintenir une classe d'âge 2 viable, la pêche a été ré-autorisée.

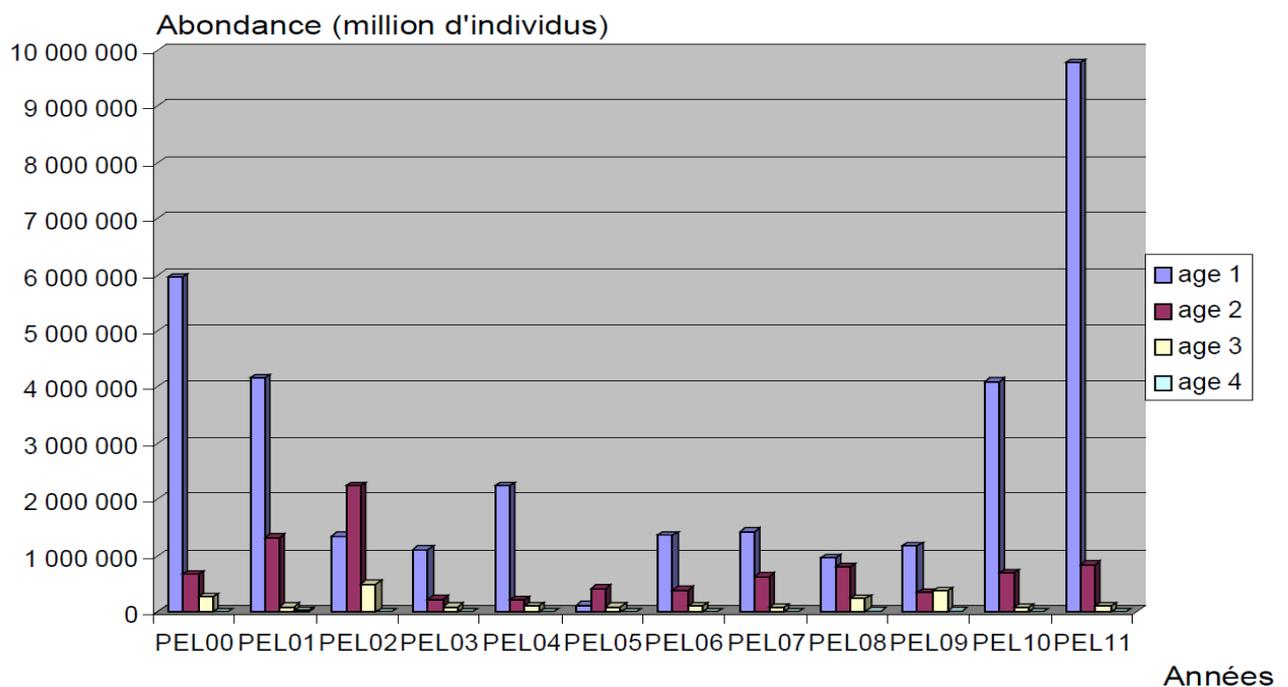


Figure 3. Abondance de l'anchois par classes d'âge sur plusieurs campagnes PELGAS de 2000 à 2011, (Perso., Massé. 2012)

### 3) Méthode d'échantillonnage

Chaque année, la campagne en mer PELGAS de recensement est réalisée afin d'obtenir un suivi spatio-temporel des populations de petits poissons pélagiques (anchois, sardine, maquereau, chinchard, sprat) et de faire des relevés hydrologiques. Les campagnes se déroulent à bord du N/O Thalassa, qui est un navire appartenant à l'IFREMER et dédié à la pêche scientifique. Lors de ces campagnes annuelles, l'équipe acoustique dont j'ai fait partie, détecte les bancs de poissons grâce à des échosondeurs multifaisceaux et multifréquences qui envoient des ondes dans la colonne d'eau. Ces détections se font le long de transects qui sont des radiales standardisées à partir de la côte espagnole jusqu'au nord du golfe de Gascogne. Ces radiales mesurent 75 Miles Nautiques. Ces données sont collectées depuis une plateforme acoustique

qui affiche via des logiciels spécialisés tels que SUMATRA la position du navire en temps réel ainsi que les relevés de données hydrologiques et les informations sur les pêches.

D'autres logiciels tels que SIMRAD ou MOVIES 3D (développé par des équipes de l'IFREMER) affichent respectivement les fonds marins et l'abondance des organismes pélagiques dans la colonne d'eau (du plancton au poisson). Une autre version de SIMRAD permet également d'émettre à différentes fréquences afin de détecter les différentes couches diffusantes de plancton. Les bancs de poissons sont identifiés par chalutage. La détermination des espèces avec les données acoustiques seules n'est pas assez fiable et il est nécessaire de faire des pêches. Cela permet de distinguer les espèces (qui sont souvent mélangées), compter les individus et faire des relevés biométriques (taille, poids, prélèvements des otolithes, prélèvements du contenu stomacal). Durant les campagnes 2001, 2002, 2003, 2004 et 2006, des anchois ont été congelés pour analyser leurs allozymes au laboratoire. A bord, une fois que les mesures biométriques ont été réalisées, des morceaux de tissu (muscles et foie) sont prélevés et conservés au congélateur à  $-70^{\circ}\text{C}$ . Environ 50 individus sont prélevés par station pour réaliser ces analyses génétiques. Le nombre de stations varie d'une année à l'autre mais il y a toujours minimum 5 stations jusqu'à 16 stations (en 2003).

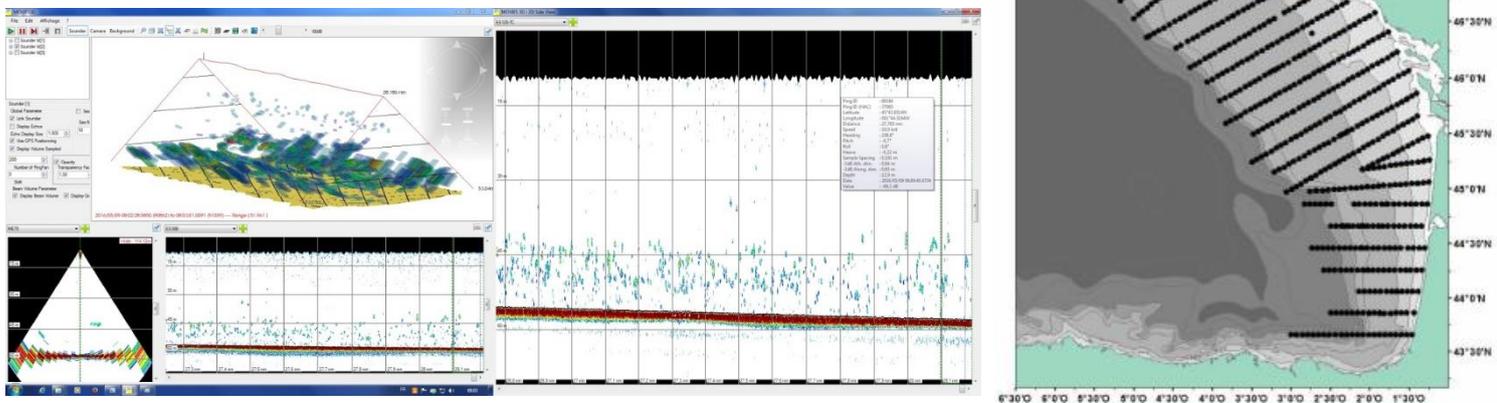


Figure 4. Capture d'écran du logiciel MOVIES 3D (les taches bleues représentent des bancs de poissons) à gauche et carte représentant les transects réalisés dans le Golfe de Gascogne via le logiciel SUMATRA à droite.

#### 4) Méthode d'extraction des allozymes

Au laboratoire, le jour précédent l'extraction, les tissus sont mélangés avec du tampon avec un pH de 7,1. Cela permet de réhydrater et d'homogénéiser le tissu. Tout d'abord, on commence par extraire les enzymes en lysant les tissus avec un détergent qui dissocie les membranes lipidiques. On incorpore ensuite un tampon de lyse qui sépare les protéines, les

dénature (perte de structure tertiaire) et les charge négativement. Ensuite, on les purifie afin d'éliminer les déchets.

On procède ensuite à une électrophorèse pour séparer les allozymes. En effet, les enzymes sont chargées électriquement, ce qui permet de les faire migrer sur un gel d'électrophorèse. Ce gel est un mélange d'acrylamide et de bis-acrylamide polymérisés (appelé ainsi polyacrylamide). Les fibres de polyacrylamide forment un réseau de maille plus ou moins dense à travers lequel les protéines vont pouvoir migrer selon leur taille. Les petites migreront plus loin que les grandes qui seront retenues par les mailles du gel. Le gel liquide est coulé entre 2 plaques de verre pour le faire refroidir (où il prend alors une forme compacte). A l'aide d'un peigne, on creuse des puits sur une extrémité du gel, dans lesquels on viendra déposer les échantillons. On y ajoute également un colorant pour voir les protéines, du saccharose pour les alourdir et les faire tomber au fond des puits. On dépose dans le premier puit les marqueurs de poids moléculaires connus (gamme de valeurs de poids de protéines connues). Le gel trempe dans une cuve remplie de tampon à laquelle on infère un courant électrique. Les protéines, chargées négativement avec le tampon, vont migrer de l'anode vers la cathode selon une vitesse de migration choisie. Une fois la migration terminée, on colore les allozymes pour les identifier. Les protocoles (composition des différents tampons utilisés pour chaque allozyme, les pH...etc) sont détaillés dans Hedgecock *et al.* (1989). Un individu homozygote aura une seule bande (souvent plus épaisse) alors qu'un individu hétérozygote aura 2 bandes, ce qui est révélateur de la diversité allélique.

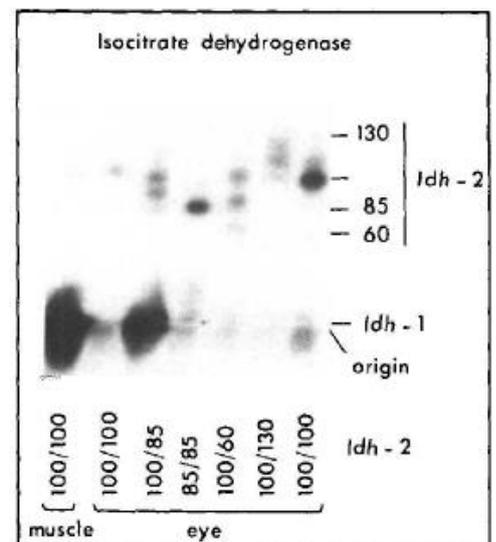


Figure 5. Exemple de gel d'électrophorèse avec l'allozyme IDH (Grant *et al.* 1985)

## 5) Otolithométrie

L'otolithe est une pièce calcifiée dans l'oreille interne des poissons osseux Téléostéens constitués de cristaux de carbonate de calcium (aragonite) incorporés dans une matrice protéique : l'otoline (Lenfant. 1998). Il y a trois paires d'otolithes : Lapillus, Sagitta et Asteriscus. Les otolithes interviennent dans l'audition et l'équilibre.

Pour déterminer l'âge des individus et leur croissance au premier hiver, on utilise la méthode de lecture du rayon des otolithes (Collins *et al.* 1969) : l'accroissement de l'otolithe se fait par dépôt de nouvelles couches concentriques de cristaux à la surface de celui-ci. En hiver, comme

les ressources sont moins abondantes dans le milieu, il y a un ralentissement de la croissance, qui est visible par des stries plus foncées. Il se forme donc une strie d'hiver et la première détermine la croissance de l'individu avant le premier hiver. Après extraction de l'otolithe, on peut lire les stries hivernales en lumière optique sous loupe binoculaire. La mesure se fait sur une photo, par analyse de l'image via le logiciel Visilog : il suffit de régler les paramètres dans le logiciel et de tracer une droite entre le nucleus (centre) et la strie d'hiver.

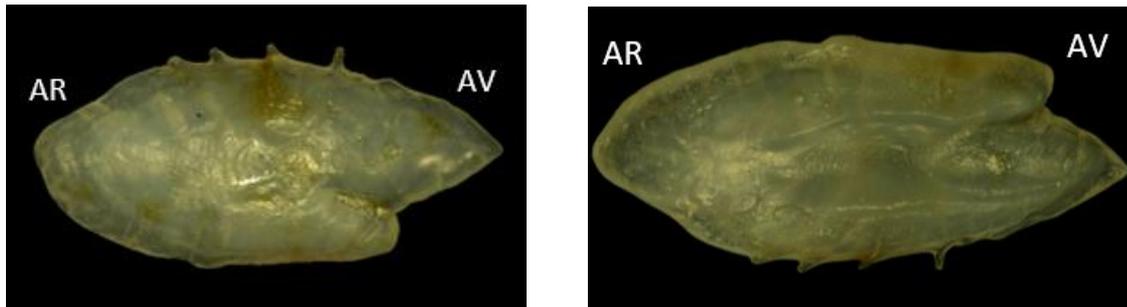


Figure 6. Otolithe d'anchois commun (*Engraulis encrasicolus*) âgé de 1 an avec un rayon de 476,715  $\mu\text{m}$  en vue dorsale (à gauche, Loiseau C.) et en vue ventrale (à droite, Loiseau C.). Les photos ne sont pas à la même échelle.

#### 6) Calcul des fréquences alléliques :

Le jeu de données dont je dispose contient pour les 3356 individus recensés au cours des campagnes PELGAS de 2001 à 2006 : les allèles pour 13 loci différents (13 allozymes étudiées), l'âge de l'individu, sa taille, le rayon de son otolithe à la première année, le nom de la station de prélèvement et la sonde.

Pour chaque station, je regarde la diversité allélique de chaque locus, c'est-à-dire, le nombre d'allèles présents à ce locus. Dans ces données, tous les loci étudiés sont polymorphes, c'est-à-dire qu'ils possèdent « au moins 2 allèles présents dans la population dont le plus commun a une fréquence inférieure à 0,95 (ou 0,99 selon les auteurs) » (Harry, M. 2014). Je calcule également l'hétérozygotie qui est le « taux d'hétérozygotes dans une population » (Harry, M. 2014), c'est-à-dire le nombre de génotypes avec 2 allèles différents sur le nombre total d'individus :

$H = \text{nombre de génotypes avec 2 allèles différents} / \text{nombre total d'individus}$ .

La fréquence génotypique est calculée par la formule :  $F_g = \text{nombre d'individus avec ce génotype} / \text{nombre total d'individus}$ .

La fréquence allélique est calculée par la formule :  $F_a = \text{nombre de présence d'un allèle donné} / \text{nombre total d'allèles}$ .

## 7) Statistiques : explication ANOVA et régression linéaire

Le jeu de données contient différentes informations : les allèles pour chaque allozyme (données génétiques), les variables relatives à l'habitat (sonde, station) et les variables relatives à la biométrie (taille du poisson et rayon de l'otolithe). Les variables utilisées lors de mes analyses statistiques sont : la variable à expliquer quantitative (la fréquence d'allèles), la variable explicative quantitative d'habitat (la sonde) et les variables explicatives quantitatives des traits de vie (R1 et la taille). Pour vérifier la relation entre les 2 variables, j'utilise une régression linéaire simple sur le logiciel de statistiques R. Je réalise ensuite une ANOVA sur cette corrélation qui permet de regarder la variance des résidus par rapport à la droite de la régression.

### III. Résultats

Tout d'abord, dans une étude menée sur un échantillon représentatif de la population, il est important de réaliser des statistiques descriptives sur le jeu de données pour vérifier la répartition de celles-ci. On observe un effondrement des individus recrutés (d'âge 1) lors de l'année 2002, suivi d'une forte augmentation en 2003 de recrutement en 2003 et de nouveau un effondrement de cette classe d'individus en 2004 jusqu'en 2006. On voit aussi une forte diminution du nombre d'individus d'âge 2 à partir de 2003.

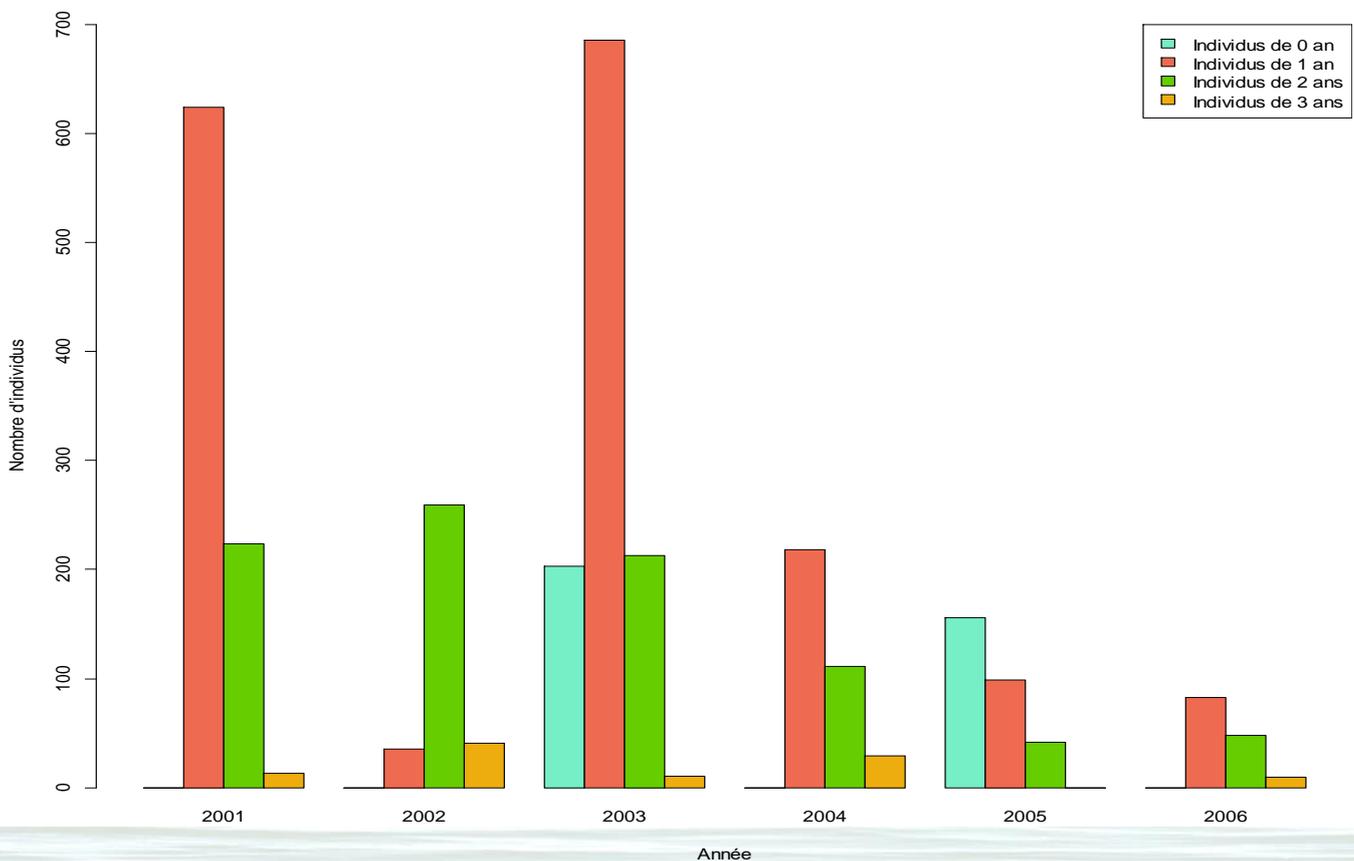


Figure 7. Histogramme représentant le nombre d'individus par classes d'âge et par année

Nombre d'allèles

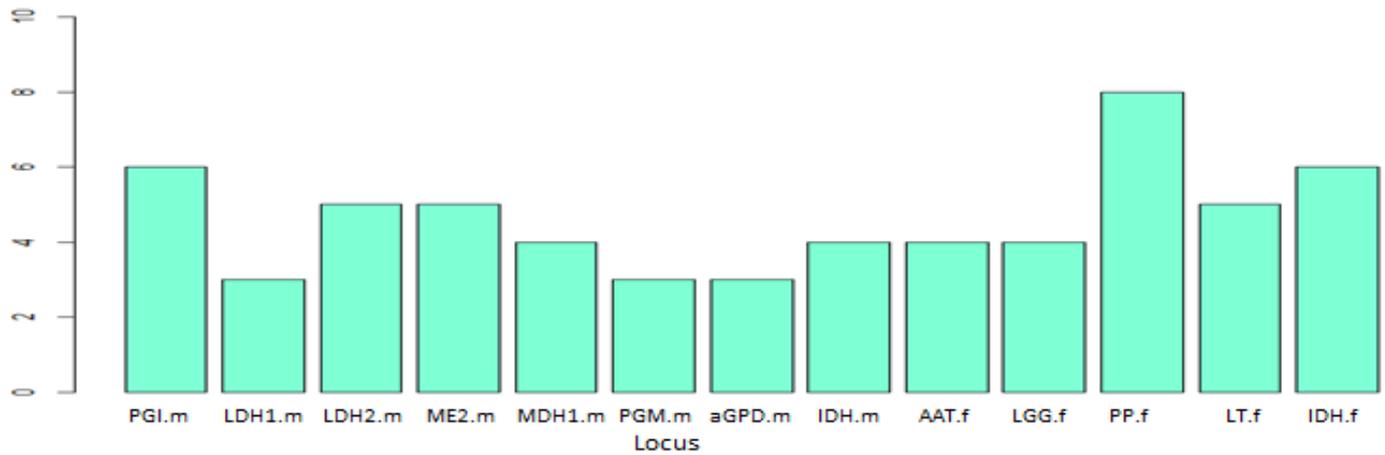


Figure 8. Nombre d'allèles pour chaque locus

On observe que les loci les plus polymorphes sont PP-f avec 8 allèles différents ainsi que IDH-f et PGI-m avec 6 allèles différents.

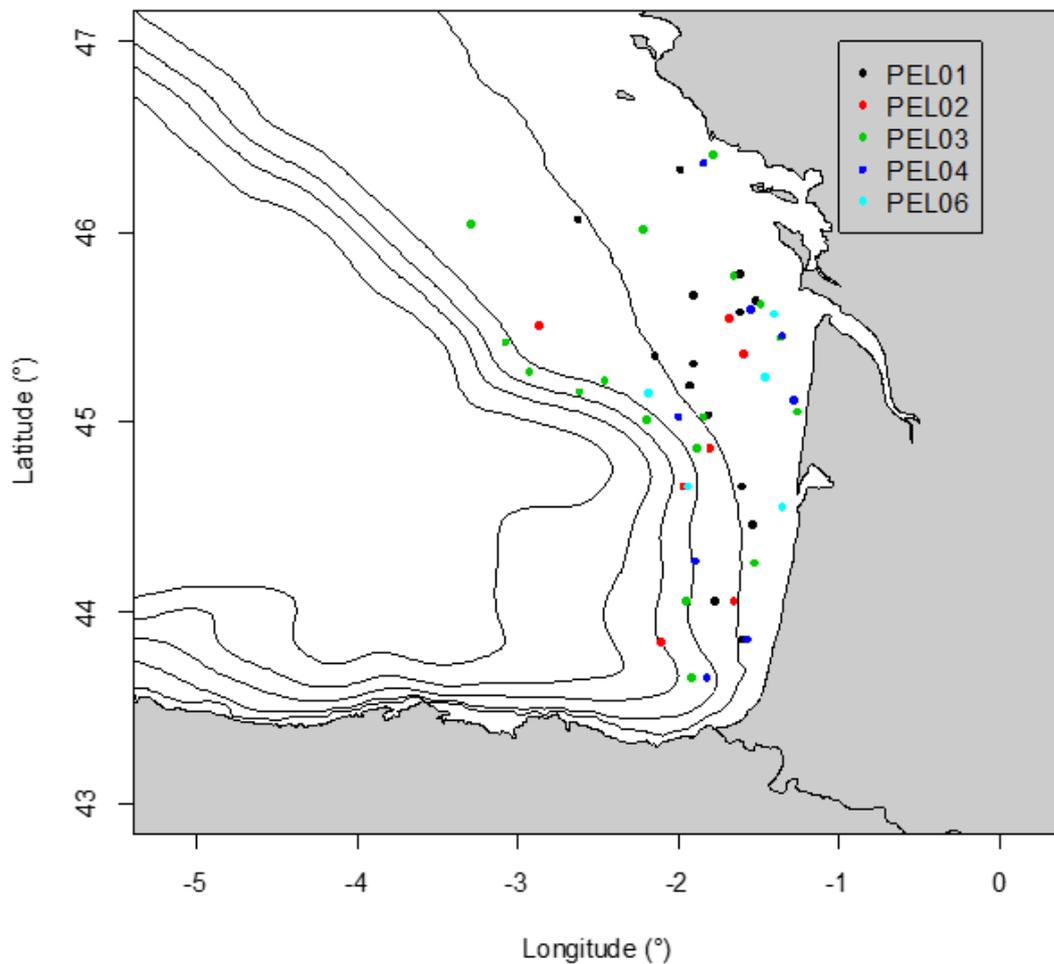


Figure 9. Carte du golfe de Gascogne avec la position des stations échantillonnées. Légende : PEL représente les stations échantillonnées lors des campagnes PELGAS de printemps suivi de l'année

On observe qu'il y a plus de stations échantillonnées dans le centre-sud du golfe de Gascogne par rapport au nord, ce qui correspond à la distribution spatiale de la population. Il y a également des années où il y a eu davantage de stations échantillonnées, notamment lors des campagnes PELGAS 2001 et 2003 : l'abondance était plus forte ainsi que le nombre de stations contenant des anchois.

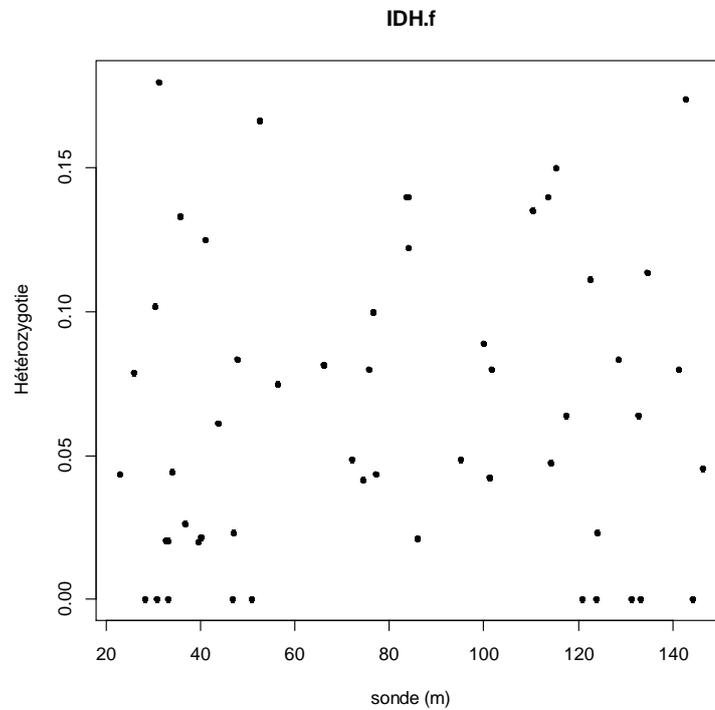


Figure 10. Graphique représentant la fréquence d'hétérozygotes pour le locus IDH-f en fonction de la sonde (m)

Après avoir testé la fréquence d'hétérozygotes pour chaque locus en fonction de la sonde, on n'observe pas de relation particulière pour aucun locus.

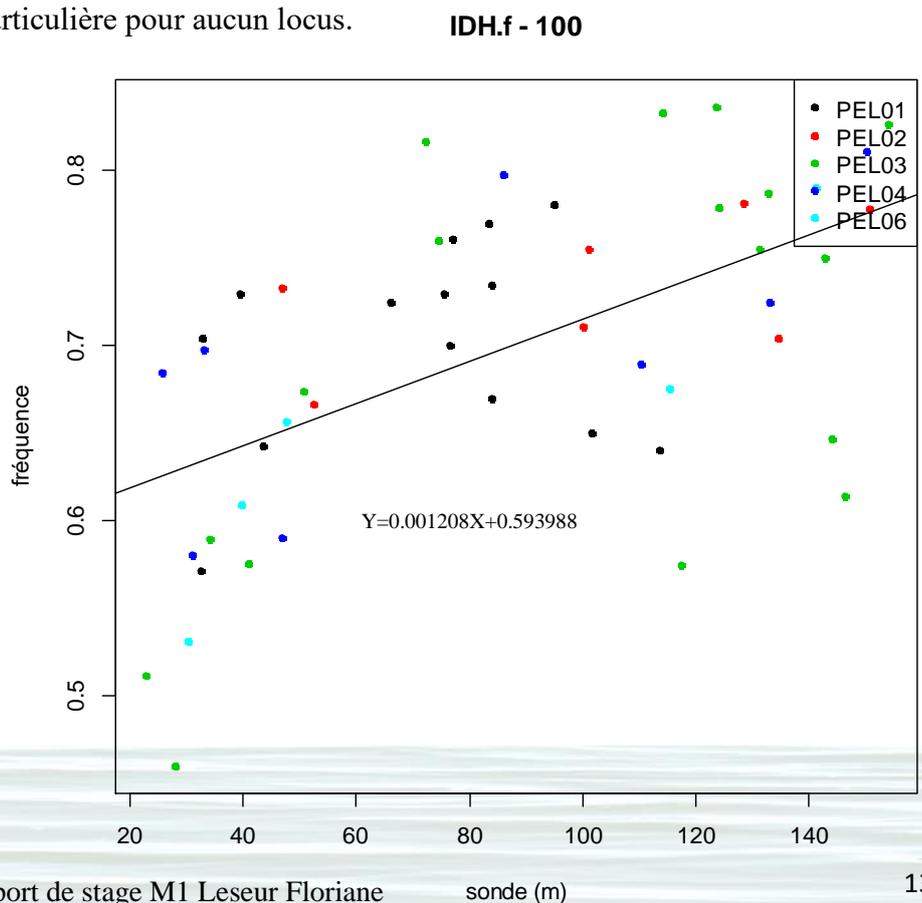


Figure 11. Fréquence de l'allèle 100 du locus IDH-f en fonction de la sonde (m)

On observe une relation positive entre la fréquence de l'allèle 100 du locus IDH-f et le sonde : plus la sonde augmente et plus la fréquence de l'allèle augmente dans la population. On observe cette corrélation positive pour toutes les campagnes PELGAS avec un Fobs de 23.534 et un p-value très significatif de 1.286e-05. Cela signifie qu'on rejette significativement notre hypothèse nulle selon laquelle la sonde n'a pas d'effet sur la fréquence de l'allèle 100 IDH-f.

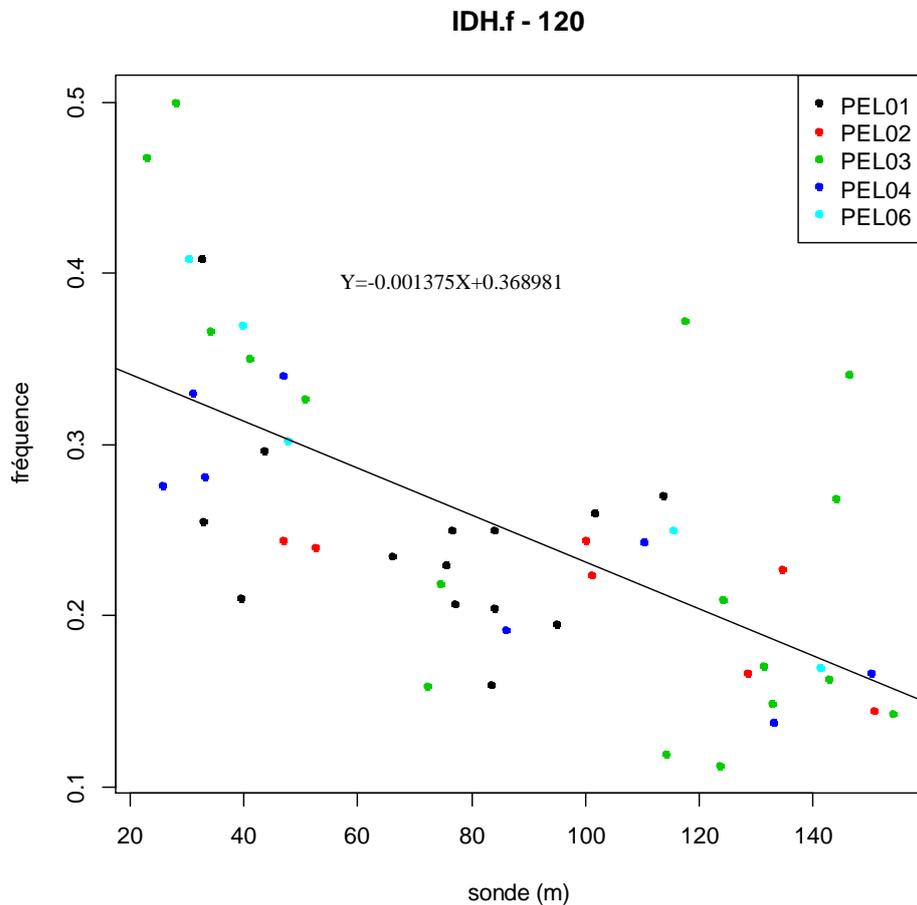


Figure 12. Fréquence de l'allèle 120 du locus IDH-f en fonction de la sonde (m)

On observe une relation négative entre la fréquence de l'allèle 120 du locus IDH-f et la sonde : plus la sonde augmente et plus la fréquence de l'allèle diminue dans la population. On observe cette corrélation négative pour toutes les campagnes PELGAS avec un Fobs de 35.618 et une p-value très significative de 2.621e-07. Cela signifie qu'on rejette notre hypothèse nulle selon laquelle la sonde n'a pas d'effet sur l'allèle 120 IDH-f.

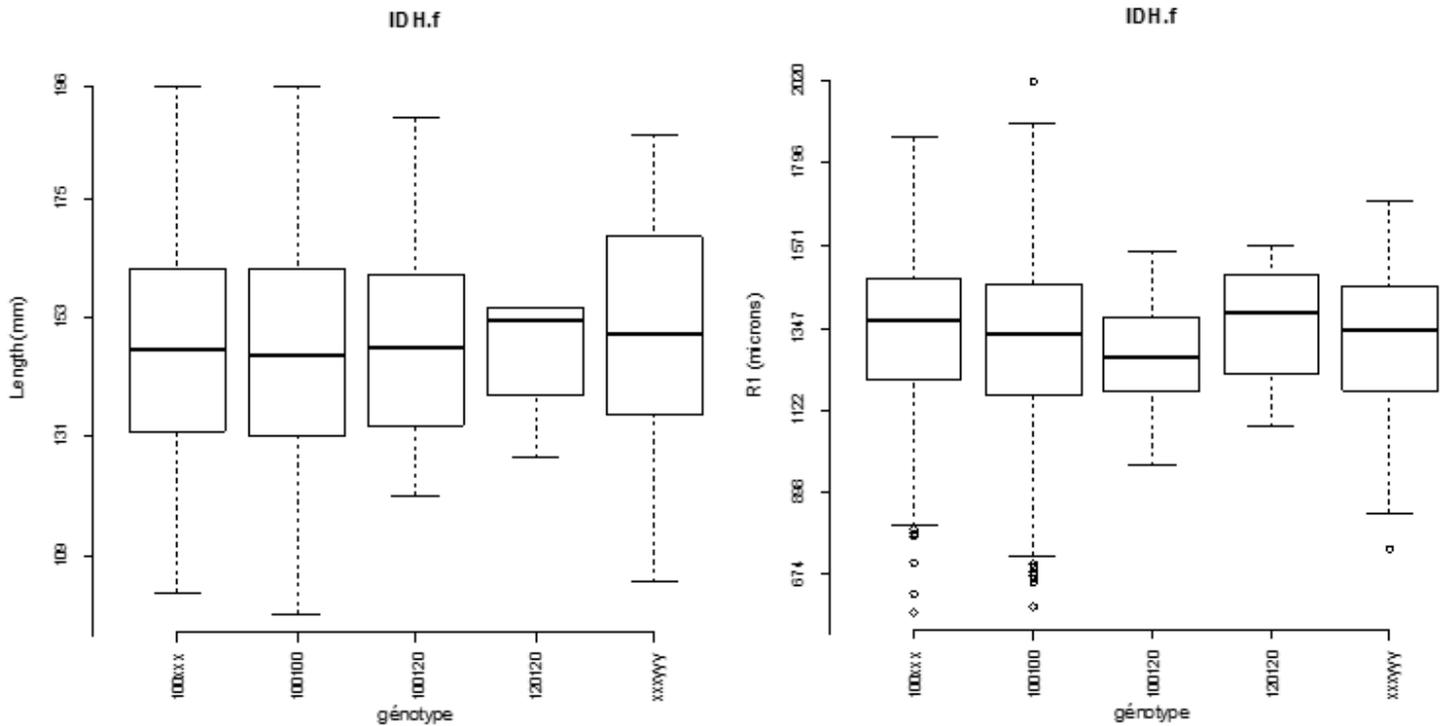


Figure 14. Boîtes à moustaches représentant la taille en mm (à gauche) et le rayon de l'otolithe au premier hiver en microns (à droite) en fonction des différents génotypes pour le locus IDH-f. Légende : 100xxx signifie l'allèle 100 et un autre allèle du locus, xxxyyy signifie 2 allèles différents (ou non) aléatoires du locus

On n'observe pas de relation particulière entre les paramètres biométriques (taille et le rayon de l'otolithe) en fonction des différents génotypes de chaque locus. On regarde plus spécifiquement le locus IDH-f (ci-dessus), qui ne montre pas de relation non plus.

#### IV. Discussion

Parmi les 13 loci étudiés, 3 sont très polymorphes PP-f, PGI-m et IDH-f, qui est celui sur lequel je me suis davantage penchée.

On ne trouve pas de relation particulière entre les allèles de la plupart des loci et la sonde. Les loci étudiés possèdent peu de diversité génétique. C'est pour cela qu'il est intéressant de se pencher sur les loci les plus polymorphes. Les seuls allèles présentant une relation avec la sonde sont ceux du locus IDH-f : 100 et 120. L'allèle 100 présente une corrélation positive avec la sonde et l'allèle 120 présente une corrélation négative avec la sonde. Ces allèles ne sont pas les plus rares dans la population les deux fréquences sont proches de 0,5). On remarque toutefois que ces relations se retrouvent bien d'une année sur l'autre et que ce n'est donc pas anecdotique. L'allozyme IDH joue un rôle important dans le cycle de Krebs, où elle limite la vitesse de

réaction. Des études ont montré que chez les juvéniles de truite, cette allozyme permet aux individus d'être plus tolérants aux variations de fortes températures et aux faibles taux d'oxygène dissous dans l'eau (Redding *et al.* 1979). La distribution géographique observée des allèles permet de soupçonner l'importance adaptative des allozymes à l'environnement. Ces auteurs trouvent notamment que pour l'allozyme LDH (et non IDH), les individus côtiers présentent une prédominance d'un allèle alors que ceux plus au large présentent la prédominance d'un autre allèle. Bien que ce ne soit pas la même allozyme pour laquelle une relation est établie, on retrouve bien une prédominance de l'allèle IDH 120 chez les individus côtiers et une prédominance de l'allèle 100 chez les individus au large. Ils démontrent aussi que la combinaison allélique est soit favorable à de fortes températures soit à de faibles taux d'oxygène dissous dans l'eau. On peut donc penser que la combinaison allélique 120xxx est plus favorable pour résister aux variations de l'environnement en milieu côtier et que la combinaison allélique 100yyy est plus favorable aux individus vivants au large. Leurs résultats démontrent que l'allozyme IDH a une possible importance adaptative chez les juvéniles de truite. C'est également le cas pour les individus échantillonnés. Une autre étude a révélé que l'enzyme IDH joue également un rôle dans la lipogenèse, qui est aussi une réaction aérobie (Childress *et al.* 1979). Ils établissent que l'activité enzymatique d'IDH décroît avec la profondeur. Cela est cohérent étant donné que la disponibilité en oxygène décroît également et par conséquent, la consommation en oxygène aussi. Or chez les anchois, on sait que les individus côtiers et ceux du large ne sont pas cantonnés à leur territoire respectif mais migrent d'une zone à l'autre. Posséder une combinaison allélique particulière quand les individus sont davantage côtiers ou davantage au large permet donc d'avoir une meilleure régulation de l'activité enzymatique et donc une meilleure gestion de la consommation d'oxygène. Cependant, il faut prendre ces interprétations avec beaucoup de précaution car les références bibliographiques ne permettent pas de trouver de rôle précis à chaque allèle d'une allozyme. On sait donc que cette allozyme joue un rôle dans l'adaptation aux variations de températures et dans les variations d'oxygène dissous dans l'eau, mais on ne peut pas conclure sur l'effet direct de posséder un allèle spécifique. On peut en déduire que posséder une combinaison allélique particulière permet aux individus de mieux s'adapter aux changements environnementaux. Pour pouvoir interpréter avec plus de certitude ces résultats, il faudrait davantage se pencher sur les paramètres abiotiques du milieu et relatifs à l'écosystème des anchois. Il serait utile de mettre en place des sondes qui permettraient de mesurer la température exacte de l'eau à chaque fois qu'un banc d'anchois est pêché ainsi que le taux d'oxygène dissous (à la profondeur à laquelle le banc est pêché). De plus, il serait très intéressant d'en apprendre

davantage sur les migrations spatiales effectuées par les anchois mais cela reste un protocole très difficile à mettre en place. Les anchois sont de petits poissons difficiles à marquer et qui, une fois capturés, ne sont souvent plus en bon état pour être remis à l'eau. On ne trouve pas de corrélation entre les paramètres biométriques (taille et rayon de l'otolithe) et les différents génotypes. On en déduit que les différentes combinaisons alléliques de ces allozymes testées n'ont pas d'effet direct sur la croissance des individus. Cependant, une étude sur les anchois de la mer Adriatique a montré qu'il existait une correspondance très claire entre la morphométrie (différence de croissance) et la différenciation génétique, qui démontre dans ce cas une importance du pattern géographique (Bembo *et al.* 1996). Plusieurs auteurs s'accordent sur le fait que les conditions environnementales jouent le rôle le plus important dans la détermination des variations morphologiques. Il est mis en évidence qu'il existe 2 stocks distincts d'anchois de la mer Adriatique correspondant aux caractéristiques hydrographiques telles que la profondeur et la productivité du milieu. L'environnement pourrait donc sélectionner préférentiellement certains allèles et conduire à des variations des paramètres morphologiques. Ils précisent toutefois que la distribution des fréquences alléliques n'est pas bimodale et qu'il y a une continuité dans les patterns. Il faudrait faire des études sur d'autres locus impliqués dans la croissance pour pouvoir mettre en évidence le rôle de certains allèles (pouvant être associés avec les allèles du locus IDH) dans la population d'anchois du Golfe de Gascogne.

## **V. Conclusion**

L'anchois commun est une espèce soumise à de fortes pressions de pêche et pour cela, il est essentiel de faire un suivi temporel des populations (biomasse et répartition) afin de préserver des effectifs suffisamment grands pour maintenir la population du Golfe de Gascogne. Les données génétiques trouvées révèlent l'importance de l'adaptation phénotypique des individus à l'environnement et la nécessité de mieux connaître celui-ci afin de comprendre l'évolution des populations d'anchois.

## Bibliographie

Allain, G., Petitgas, P., Lazure, P. & Grellier, P. 2003. The selection process from larval to juvenile stages of anchovy in Biscay investigated by Lagrangian simulation and comparative larval growth. *Fisheries Oceanography*, 12 : 1-12.

Bembo, D. G., Carvalho, G. R., Cingolani, N., Arneri, E., Giannetti, G. & Pitcher, T. J. 1996. Allozymic and morphometric evidence for two stocks of the European anchovy *Engraulis encrasicolus* in Adriatic waters. *Marine Biology*, 126: 529-538

Childress, J. J. & Somero, G. N. 1979. Depth-related enzymic activities in muscle, brain and heart of deep-living pelagic marine teleosts. *Marine Biology* 52, 3, pp 273-283

Collins, R. & Spratt, J. 1969. Age determination of northern anchovies, *Engraulis mordax*, from otoliths. *Marine Resources Region*, 147 : 39-55

Doray, M., Badts, V., Huret, M., Duhamel, E., Doremus, G., Masse, J. & Petitgas, P. 2015. Guide du chef de mission de la campagne PELGAS

Grant, W. S. 1985. Biochemical genetic variation in the Cape anchovy *Engraulis capensis* Gilchrist. *South African Journal of Marine Science* 3, 23–31

Harry, M. 2014. Constitution génétique des populations. Cours de licence en 3ème année.

Hedgecock, D., Hutchinson, E., Li, G., Sly, F. & Nelson, K. 1989. Genetic and morphometric variation in the pacific sardine, *Sardinops sagax caerulea*: comparisons and Contrasts with historical data and with variability in the northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Fishery Bulletin*, 87: 653-671

Lenfant, P. 1998. Influence des paramètres démographiques sur la différenciation génétique intra- et inter-populations : le cas du poisson marin, *Diplodus sargus* (Linné, 1758). Thèse de doctorat

Morvan, G. 2012. Caractéristiques et état écologique, Golfe de Gascogne. SHOM, Brest. 1:12 ([https://www.ifremer.fr/sextant\\_doc/dcsmm/documents/Evaluation\\_initiale/GDG/EE/GDG\\_E E 02 Topographie bathymetrie fonds marins](https://www.ifremer.fr/sextant_doc/dcsmm/documents/Evaluation_initiale/GDG/EE/GDG_E E 02 Topographie bathymetrie fonds marins))

Petitgas P. & Grellier, P. 2003. Size selective processes for anchovy in Biscay, 2000-2002, adult survival and spawning. ICES CM 2003/N:07

Petitgas, P., Uriarte A., Nogueira E., Massé J. & Cotano U. 2005. Life cycle spatial patterns of small pelagic fish in the Northeast Atlantic. ICES CM 2010/N:306

Petitgas, P., Lenfant, P., Gonzalez, C. & Grellier, P. 2005. Tracking individual variability in Bay of Biscay anchovy population using genetics and otolith analysis to understand the mechanisms of population maintenance. ICES CM 2005/T:09

Petitgas, P., Grellier P., Duhamel E.Huret M., Massé J. & Doray M. 2012. Variability and controls of otolith growth in the anchovy of the Bay of Biscay. ICES CM 2012/J:18

Quéro, J.-C., Porché, P. & Vayne, J.-J., 2003. Guide des poissons de l'Atlantique européen, Les guides du naturaliste. Delachaux et Niestlé, Lonay, Switzerland

Redding, J. M. & Schreck, C. B. 1979. Possible Adaptive Significance of Certain Enzyme Polymorphisms in Steelhead Trout (*Salmo gairdneri*). Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada, 1979/36(5) : 544-551, 10.1139/f79-078

ICES. 2005. État du stock d'Anchois du Golfe de Gascogne : situation à l'été 2005. Cooperative Research Report  
([http://sih.ifremer.fr/content/download/7231/50324/file/note-anchois\\_290705.pdf](http://sih.ifremer.fr/content/download/7231/50324/file/note-anchois_290705.pdf))

## Webographie :

Ressource IFREMER Biologie *Engraulis encrasicolus* :  
<http://wwz.ifremer.fr/peche/content/download/34647/472138/file/anchois.pdf>

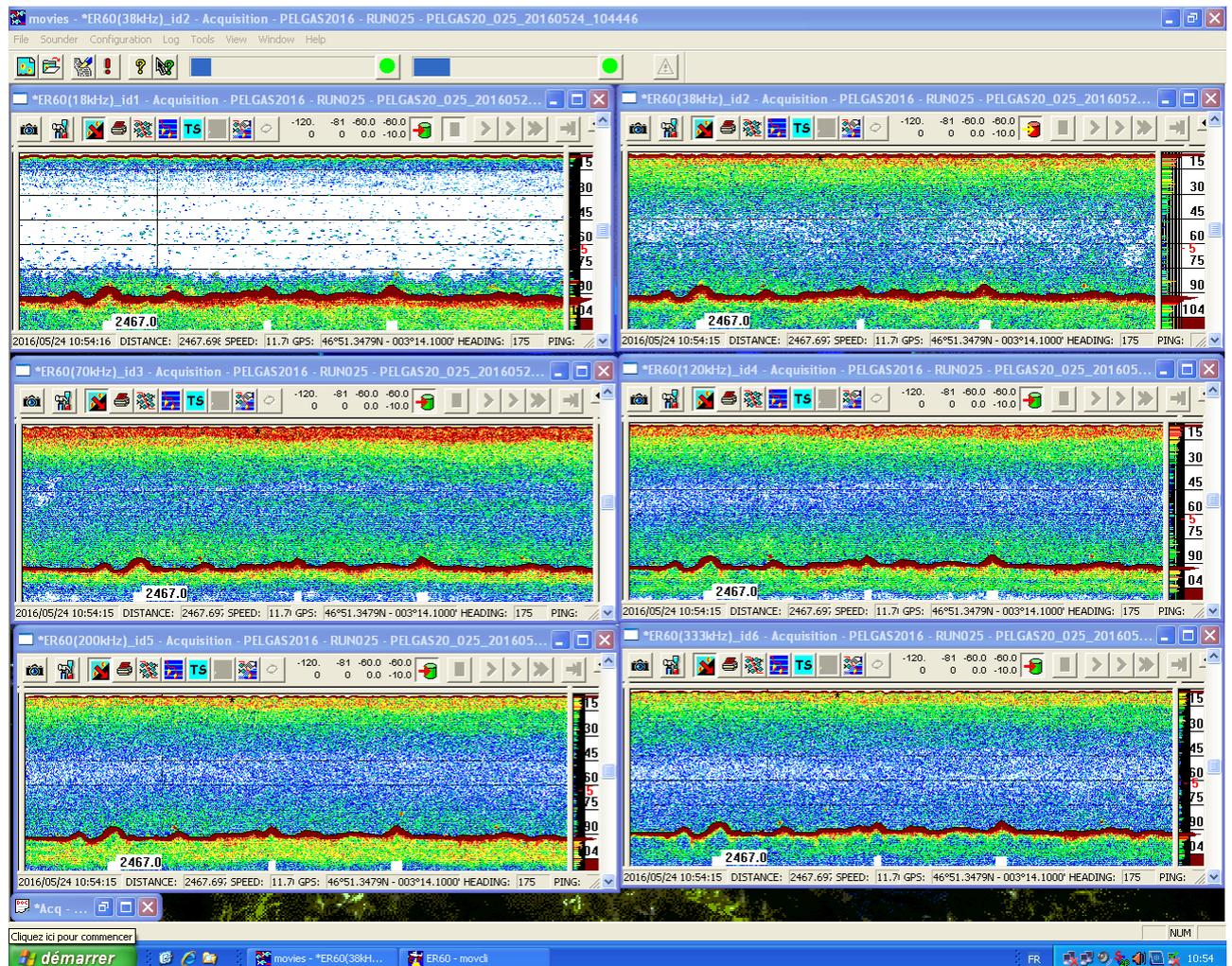
Ressource IFREMER Exploitation *Engraulis encrasicolus* :  
<http://wwz.ifremer.fr/peche/content/download/37363/507328/file/anchoisExpl.pdf>

Ressource IFREMER observations acoustiques :  
<http://wwz.ifremer.fr/peche/Le-role-de-l-Ifremer/Observation/Outils-pour-l-observation/Acoustique>

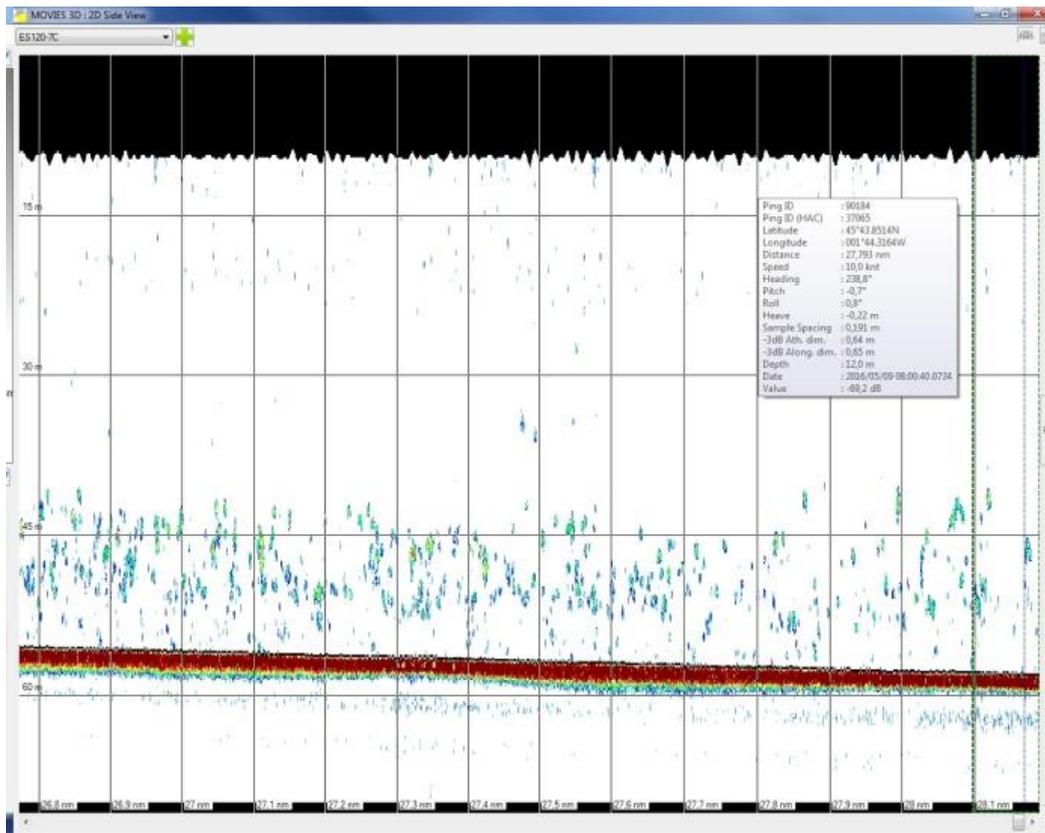
## Annexes



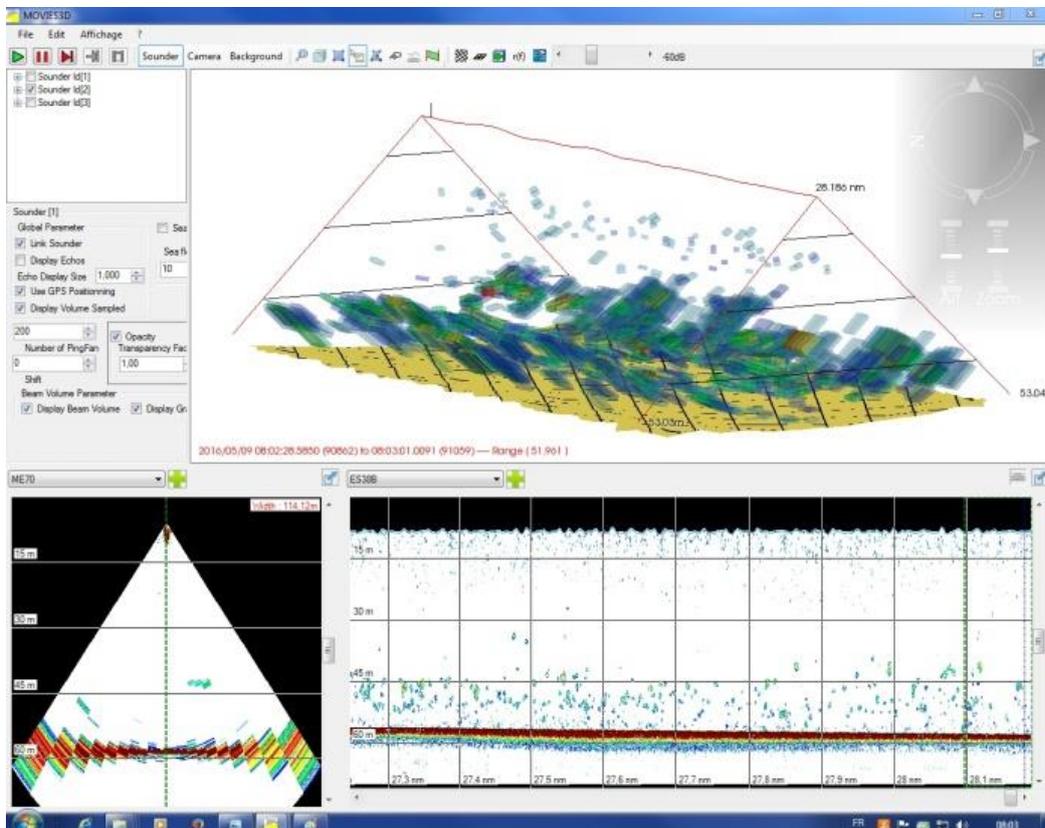
Annexe 1. Photographie du navire N/O Thalassa en 2015 (IFREMER commun)



Annexe 2. Capture d'écran des signaux reçus par les échosondeurs sur la logiciel MOVIES (en 2 dimensions). Chaque fenêtre représente un sondeur différent qui émet dans une fréquence différente.



Annexe 3. Capture d'écran montrant les bancs de poissons repérés par les échosondeurs sur le logiciel MOVIES 3D. (la ligne rouge représente le fond). Représentation 2D des bancs sous le navire.



Annexe 4. Capture d'écran représentant les bancs de poissons en 3D sous le navire avec le logiciel MOVIES 3D. Même représentation que l'annexe2 mais en 3D.

## Résumé

Avec l'augmentation constante de la population humaine, il est primordial d'évaluer voire de réguler l'exploitation des espèces marines destinées à la consommation comme l'anchois commun du Golfe de Gascogne. Grâce aux campagnes PEGAS réalisées chaque année, les stocks de chaque espèce pêchée sont estimés (biomasse, répartition) et des études sont menées afin de mieux connaître l'espèce. Les études allozymiques réalisées sur l'anchois commun ont permis de trouver une corrélation entre 2 allèles du locus IDH et l'habitat (la sonde). Cette allozyme joue un rôle important dans le cycle de Krebs (limitation la vitesse de réaction). Elle permet de tolérer des variations de la température et du taux d'oxygène dissous. Il faudrait mener de nouvelles recherches sur les variations du milieu de l'anchois et les migrations de cette espèce.

**Mots clés :** Anchois, Golfe de Gascogne, allozyme, locus, allèle, adaptation

## Abstract

With the constant rising of the human population, it is essential to assess and manage the exploitation of the marine species for human consumption such as the anchovy of Bay of Biscay. Thanks to the PELGAS annual surveys, stocks of each species are estimated (biomass, repartition) and studies are undertaken to improve our knowledge about these species. Allozymic studies realized on the anchovy allowed to find a correlation between 2 alleles of the locus IDH and the habitat (depth). This allozyme has a key role in Krebs' cycle, being speed limiting.. It enables to tolerate variations of temperature and dissolved oxygen. It would be interesting to do new research on variations in the anchovy's environment and its migrations.

**Key words:** Anchovy, Bay of Biscay, allozyme, locus, allele, adaptation