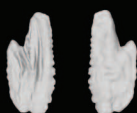


Identification des poissons par leurs otolithes en 3D

Manche et mer du Nord

K. Mahé, A. Matéos, É. Poisson Caillault,
S. Couette, R. Laffont, K. MacKenzie,
N. Andrialovanirina

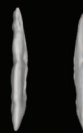
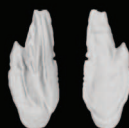
Clupea harengus



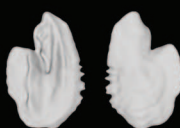
Engraulis encrasicolus



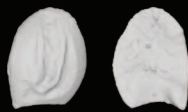
Sardina pilchardus



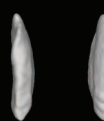
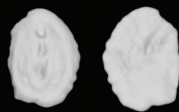
Sprattus sprattus



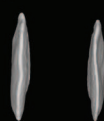
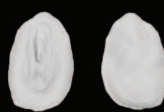
Solea solea



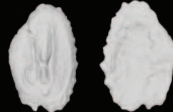
Microstomus kitt



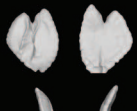
Limanda limanda



Platichthys flesus



Chelidonichthys cuculus



Chelidonichthys lucerna



Mullus surmuletus



Identification des poissons par leurs otolithes en 3D

Manche et mer du Nord

Kélig Mahé, Aurélie Mateos,
Émilie Poisson Caillault,
Sébastien Couette, Rémi Laffont,
Kirsteen MacKenzie
et Nicolas Andrialovanirina

Avec la collaboration de
Lauriane Poloni

Collection *Guide pratique*

Jeux de plateau pour l'agriculture et le paysage.

Penser, concevoir, animer, évaluer, diffuser

S. Dernas, Y. Michelin, N. Blache (coord.), 2023, 176 p.

Atlas des bois résineux de France. Outil d'identification multi-échelle

M.-C. Trouy-Jacquemet, 2023, 240 p.

Infrastructures de données spatiales.

Évaluations économiques : concepts, méthodes et retours d'expérience

H. Rey-Valette, C. Jabbour, P. Maurel, J.-M. Salles, 2022, 120 p.

Élevage de crevettes d'eau douce en Europe.

*Pratiques éco-responsables pour *Macrobrachium rosenbergii**

G. Laval, 2022, 104 p.

Pour citer cet ouvrage : Mahé K., Mateos A., Poisson Caillaud E., Couette S., Laffont R., MacKenzie K., Andrialovanirina N., *Identification des poissons par leurs otolithes en 3D. Manche et mer du Nord*, Versailles, Éditions Quæ, 78 p.

Ce projet a bénéficié d'un financement accordé par l'Université du Littoral Côte d'Opale (ULCO). Ce travail est soutenu par l'École Universitaire de Recherche IFSEA qui bénéficie d'une aide de l'État gérée par l'Agence nationale de la Recherche au titre du plan France 2030 portant la référence « ANR-21-EXES-0011 ».



Les versions numériques de cet ouvrage sont diffusées sous licence CC-by-NC-ND 4.0.



© Éditions Quæ, 2024

ISBN (papier) : 978-2-7592-3865-1

ISBN (PDF) : 978-2-7592-3866-8

ISBN (ePub) : 978-2-7592-3867-5

ISSN : 1952-2770

Éditions Quæ

RD 10

78026 Versailles Cedex

www.quae.com – www.quae-open.com

Sommaire

Introduction	5
Zone d'étude	5
Utilisations des otolithes dans les sciences halieutiques	5
1. Différenciation des espèces par les caractéristiques morphologiques des otolithes	9
Choix des espèces et des prélèvements	10
Méthodologie	10
2. Présentation des espèces	21
Hareng commun	22
Anchois commun	24
Sardine commune	26
Sprat	28
Chinchard commun	30
Bar commun	32
Saint-pierre	34
Maquereau commun	36
Morue commune	38
Tacaud commun	40
Merlan	42
Églefin	44
Grondin rouge	46
Grondin perlon	48
Rouget barbet de roche	50
Sole commune	52
Limande-sole	54
Limande commune	56
Flet commun	58
Turbot	60

Plie commune	62
Barbue	64
Critères d'identification des espèces	66
Forme de l'otolithe liée à son habitat et à son morphotype	71
Conclusion	73
Bibliographie	74
Annexe. Paramètres d'acquisition des images pour chaque espèce de poissons	77

Introduction

Ce guide d'identification des principaux poissons de Manche et de mer du Nord regroupe 22 espèces. Il se veut être un outil pédagogique pour les étudiants et un public averti, mais aussi un outil de référence pour la recherche scientifique qui étudie les otolithes de ces espèces en archéologie ou pour identifier les poissons présents dans les contenus stomacaux de toutes les espèces qui mangent des poissons (phoques, oiseaux, poissons, etc.).

Zone d'étude

La Manche et la mer du Nord forment une région stratégique en Europe du Nord-Ouest d'un point de vue socio-économique et écologique¹. Elle représente une zone économique importante qui concerne de nombreuses activités humaines : tourisme et loisirs, ports internationaux et fret, exploitation de ressources vivantes ou non. Cet espace maritime supporte près de 20% du trafic mondial, ce qui en fait un des plus intenses au monde. Il recèle des réserves très importantes de granulats marins (sable, gravier) et de gaz, convoitées par de nombreux industriels. D'autres activités anthropiques se développent autour des énergies marines renouvelables, comme les éoliennes en mer et les hydroliennes.

La Manche et la mer du Nord soutiennent également une activité de pêche commerciale très importante, tant en quantité de poissons qu'en nombre d'espèces exploitées. Ainsi, parmi les 120 espèces identifiées en Manche-mer du Nord, une vingtaine d'entre elles représentent la quasi-totalité des espèces commerciales exploitées.

Utilisations des otolithes dans les sciences halieutiques

Le suivi des populations de poissons est réalisé chaque année pour atteindre le rendement maximum durable (RMD ou *Maximum Sustainable Yield*, MSY, en anglais) nécessaire à une politique commune des pêches soutenable dans l'avenir. Ainsi, les modèles statistiques utilisés dans le suivi des pêcheries requièrent pour chaque unité de gestion, appelée stock, de connaître la structure en âge et d'évaluer les limites de chacun de ces stocks (Cadrin et Dickey-Collas, 2015). Les pièces calcifiées (écailles, vertèbres, rayons de nageoire, otolithes, etc.), qui présentent une croissance par accréation périodique concentrique successive, permettent de déterminer l'âge. Parmi ces pièces calcifiées, seuls les otolithes, situés dans la cavité de l'oreille interne, sont métaboliquement inertes, c'est-à-dire qu'ils ne peuvent ni s'altérer ni se

1. Pour plus d'informations sur la zone et le développement des activités humaines, se référer au document stratégique de la façade Manche Est-mer du Nord finalisé par la France : https://www.dirm.memn.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/straegie_de_facade_maritime_memnor_synthese.pdf (consulté le 15/04/2024).

résorber (Casselmann, 1987). De plus, l'observation de leur structure interne montre qu'ils se développent selon une périodicité des dépôts de carbonate de calcium allant de la journée à l'année.

Les oreilles (droites et gauches, puisqu'il s'agit de structures paires situées de part et d'autre sous le cerveau) sont constituées d'un réseau de canaux qui relie trois cavités (appelées sacs otiques). Tout ce système est rempli d'un liquide appelé endolymphe (Panfili *et al.*, 2002). Les otolithes sont des concrétions formées en grande partie de carbonate de calcium qui sont présentes dans chaque cavité. La plus grande des cavités présente le plus grand otolithe, appelé *sagitta*. Ce dernier est utilisé pour quasiment toutes les études. Pour cette raison, c'est celui qui est présenté dans ce livre, où il est nommé otolithe. L'otolithe baigne dans la cavité otique, mais est relié à l'encéphale par une membrane appelée *macula* (Panfili *et al.*, 2002). Cette membrane est en contact avec l'otolithe sur sa face proximale (face interne) au niveau d'une gouttière nommée *sulcus acusticus* (figure 1). Cette membrane se répartit en trois parties selon un axe antéro-postérieur avec l'*excisura* (zone délimitée par le rostre et l'antirostre), l'*ostium* et la *cauda*. Les caractéristiques de cette zone sont en lien étroit avec le développement acoustique (détection des ondes sonores) et angulaire (détection des accélérations permettant l'équilibre de l'individu). La forme de l'otolithe, bien que très différente d'une espèce à l'autre, montre généralement une face interne proximale convexe et une face externe distale concave. En se positionnant sur la face interne, le développement de l'otolithe est souvent plus important sur l'axe antéro-postérieur (zone de mesure de la longueur de l'otolithe) par rapport à l'axe dorso-ventral (zone de mesure de la largeur de l'otolithe) (figure 1).

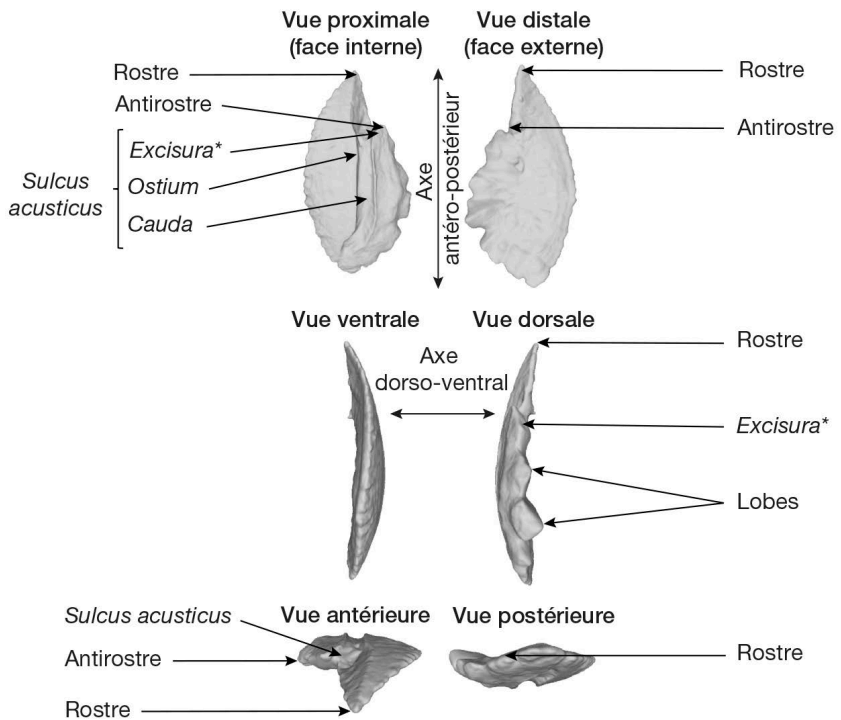


Figure 1. Présentation d'un otolithe droit à partir des différentes vues extraites de l'image en trois dimensions.

* *Excisura* : encoche séparant le rostre de l'antirostre.

Les otolithes, qui évoluent pendant toute la vie des poissons, présentent des signatures chimiques et physiques qui correspondent aux conditions biologiques et environnementales que le poisson a subies (Casselman, 1987). Il a fallu attendre la fin du XIX^e siècle pour que des scientifiques observent ces otolithes et comptent sur leur surface externe des accroissements présentant une périodicité et donc permettant d'estimer l'âge des poissons (Reibish, 1899). Depuis cette date, l'utilisation scientifique des otolithes n'a cessé de croître. Si l'âge et la croissance sont les premières informations extraites de ces otolithes, beaucoup d'autres recherches scientifiques utilisent la forme et la composition chimique de l'otolithe pour discriminer les populations au sein d'une espèce ou retracer les déplacements géographiques des individus. De même, il existe une relation significative entre la croissance du poisson et celle de ses otolithes (Lagardère et Troadec, 1997 ; Fossen *et al.*, 2003 ; Mahé *et al.*, 2017). En mesurant un otolithe d'une espèce, il est donc possible de connaître la taille du poisson auquel il appartenait. Ainsi, Campana et Thorrold (2001) ont estimé que près de 800 000 otolithes furent utilisés au niveau mondial durant la seule année 1999, pour connaître les structures en âge des espèces de poissons commerciaux, ce qui représentait une somme de l'ordre de 8 millions de dollars canadiens. De même, en 2010, un bilan européen des pièces calcifiées fournies par les différents pays pour suivre les stocks des eaux européennes était de 759 403 (CIEM, 2011). Ainsi, chaque année dans le monde, le nombre de pièces calcifiées analysées, essentiellement des otolithes, est supérieur au million.

L'utilisation de la forme externe de l'otolithe, au sein d'une espèce, s'est fortement développée dans la recherche pour mieux comprendre les populations de poissons et leurs limites géographiques. Cette forme intègre toutes les variations de conditions environnementales et de forçage climatique durant la vie du poisson et les caractéristiques génétiques des parents. Ces différences de forme de l'otolithe peuvent être attribuées à des différences géographiques liées à l'activité métabolique des organismes, cette dernière étant elle-même le résultat des facteurs environnementaux et de la composante génétique propre à chaque individu (Gauldie et Nelson, 1990 ; Smith, 1992 ; Begg et Brown, 2000). Cette utilisation de la forme de l'otolithe comme méthode pour discriminer les stocks s'est développée depuis les années 1990 avec en particulier les études de Pontual et Prouzet (1987) et Campana et Casselman (1993). Depuis les années 1990, les scientifiques ont développé un engouement certain à utiliser la forme de l'otolithe comme méthode de discrimination de stocks de poissons avec près de 50 articles scientifiques par an lors de ces dernières années. Le suivi réalisé chaque année par un groupe d'experts internationaux (Groupe de travail sur les méthodes d'évaluation des stocks, *Stock Identification Methods Working Group* en anglais, mis en place par le Conseil international pour l'exploration de la mer, CIEM) montre que l'analyse de forme des otolithes devient la principale méthode employée pour définir et valider les limites des stocks, devant l'analyse génétique. Ceci peut s'expliquer par les avancées récentes en matière d'analyse d'images et de traitement des données, en particulier avec le développement des outils statistiques tels que R (R Core Team, 2023), ou Shape (développé par Iwata et Ukai, 2002) qui permettent de réaliser des études par un plus grand nombre et à faible coût en comparaison avec l'approche des traceurs génétiques, en montrant des résultats généralement comparables. Depuis le début des années 1980, les otolithes sont également utilisés pour appréhender l'écologie des poissons, en se basant sur leur composition chimique. En effet, la chimie de l'otolithe est le reflet des facteurs exogènes (chimie de l'eau, profondeur, température, disponibilité trophique, facteurs de stress, pollutions

chroniques ou accidentelles, etc.) et endogènes (ontogénie, métabolisme, reproduction, santé, etc.) (Radtke et Shafer, 1992). En comparant la chimie de l'otolithe à la composition chimique de l'eau de différents endroits, il est possible de retracer le parcours géographique qu'a réalisé le poisson pendant sa vie en connaissant le temps passé dans chaque endroit si les compositions chimiques sont suffisamment distinctes.

1. Différenciation des espèces par les caractéristiques morphologiques des otolithes

La forme externe des otolithes permet d'identifier les différentes espèces de poissons auxquelles ils appartiennent. Ainsi, ces analyses sont utilisées lors d'études archéologiques (Disspain *et al.*, 2016 ; Agiadi, 2022) ou ciblées sur les relations proies-prédateurs au sein d'un réseau trophique (Lowry, 2011 ; Stock *et al.*, 2021 ; Quigley *et al.*, 2023). Entre les espèces (c'est-à-dire au niveau interspécifique), il a été démontré qu'il n'existait pas de lien entre la taille des individus et la taille de leurs otolithes (Campana, 2005). C'est ainsi que des poissons pélagiques² comme le thon ou l'espadon peuvent présenter des otolithes de petite taille ; et à l'inverse, certaines petites espèces récifales peuvent avoir des otolithes de grande taille (Campana, 2005). De même, les poissons présentant des qualités de nage rapide tendent à avoir des otolithes plus allongés que ceux d'espèces benthodémersales³ (Volpedo *et al.*, 2008 ; Tuset *et al.*, 2015).

La forme externe du poisson évolue du stade d'œuf à celui d'adulte. Sa morphologie change donc au cours de sa vie. Ce processus de développement s'appelle l'ontogénie. Si les facteurs génétiques et environnementaux sont des sources d'explications de la forme de l'otolithe, ce principe d'ontogénie joue lui aussi un rôle. Ainsi, pour un même individu, la forme de l'otolithe évolue au cours de sa vie. Il faut donc tenir compte du stade de vie. Dans cet ouvrage, plusieurs individus, répartis le long de gradient de tailles observées dans le milieu naturel, par espèce, couvrant les différents stades de vie (juvéniles, jeunes adultes, adultes déjà reproduits, etc.) sont présentés et analysés (figure 2).

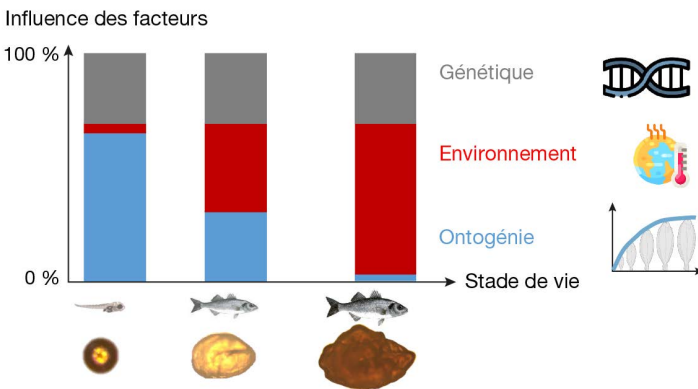


Figure 2. Influence des facteurs potentiels (ontogénie, environnement, hérédité génétique) sur la forme du poisson et de son otolithe à chaque stade de vie.

2. Les poissons pélagiques évoluent essentiellement en haut de la colonne d'eau, c'est-à-dire à proximité de la surface.

3. Les espèces benthiques vivent en bas de la colonne d'eau, c'est-à-dire à proximité du fond, et se nourrissent principalement d'animaux dans ou sur le fond. Les espèces benthodémersales vivent à proximité du fond, mais peuvent également être une partie du temps au milieu de la colonne d'eau.

Choix des espèces et des prélèvements

Puisque l'exploitation commerciale ne concerne très majoritairement qu'une vingtaine d'espèces parmi les 120 identifiées en Manche-mer du Nord, les 22 espèces de poissons les plus exploitées commercialement ont été retenues en prenant de trois à cinq individus par espèce afin de pouvoir comparer les otolithes au sein d'une espèce ou entre les espèces. Le choix du nombre d'individus permet à l'ensemble de la gamme de tailles de chaque espèce d'être représentée de manière précise. Pour les stades adultes, il s'agit d'individus de différentes tailles, sans se limiter aux mâles ou aux femelles. Parmi ces espèces, il y a deux morphotypes différents que sont les poissons plats, fortement en interaction avec le fond, et les poissons ronds ayant une interaction moins forte avec le fond. De plus, ces espèces vivent différemment dans la colonne d'eau : certaines sont pélagiques et d'autres benthiques. Tous les prélèvements d'individus ont été réalisés par l'institut Ifremer, en particulier l'équipe de l'unité halieutique Manche-mer du Nord, à travers des campagnes scientifiques réalisées sur le navire océanographique Thalassa. Ces échantillons ont été prélevés en Manche et mer du Nord dans le cadre du suivi international des populations de poissons permettant d'évaluer l'état de santé des populations commerciales de poissons. Les deux campagnes scientifiques menées par l'Ifremer chaque année pour la France couvrant la Manche et la mer du Nord ont été utilisées : *International Bottom Trawl Survey* (IBTS, en janvier et février) et *Channel Ground Fish Survey* (CGFS, en septembre et octobre).

Méthodologie

Acquisition des images en 3D

Principe général de la microtomographie à rayons X

La technique utilisée pour l'acquisition des images des différents otolithes s'appelle la microtomographie⁴ à rayons X. Il s'agit d'une technique non destructive et non invasive, utilisée pour la caractérisation de la microstructure des matériaux denses et poreux. Ainsi, cette technique est employée dans des secteurs variés comme le domaine médical, celui des matériaux, de l'archéologie ou encore le domaine agroalimentaire. La microtomographie à rayons X permet d'avoir accès à la géométrie 3D d'un échantillon à partir d'images acquises en 2D. En effet, l'appareil réalise l'acquisition de multiples radiographies lors de la rotation de l'objet d'un certain nombre de tours. Un logiciel de reconstruction transforme alors les images en 2D en une image volumique en 3D.

La figure 3 présente schématiquement le principe de l'acquisition en microtomographie à rayons X. L'échantillon est placé dans la chambre d'acquisition de l'appareil, les rayons X traversent l'échantillon. En fonction de la densité de l'échantillon, ces rayons sont plus ou moins atténués et sont recueillis en sortie par un détecteur qui permet d'obtenir une radiographie de l'échantillon. La rotation de l'échantillon sur lui-même rend possible l'acquisition de multiples radiographies prises sous différents angles.

4. Le terme « microtomographie » provient de la source de rayons X, un tube scellé avec un foyer d'un diamètre de l'ordre du micromètre.