

# Isotopes stables dans les otolithes (pierres d'oreille) : avantages et limites de l'outil pour reconstituer l'histoire migratoire des poissons

~ Audrey Darnaude , Maylis Labonne ~

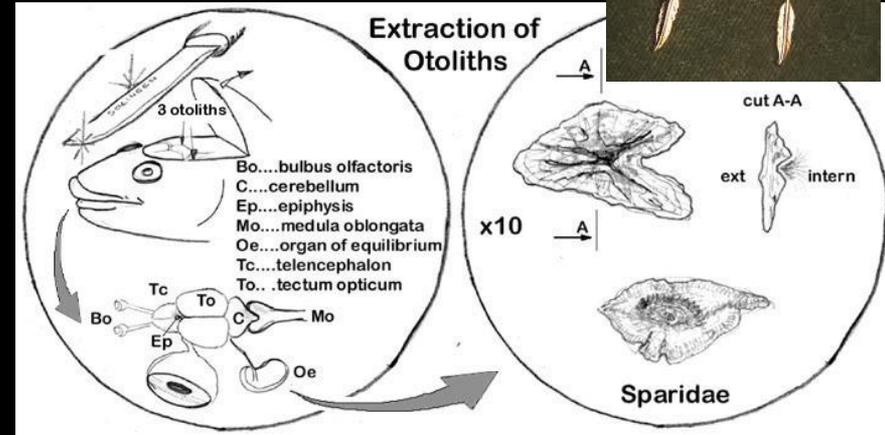
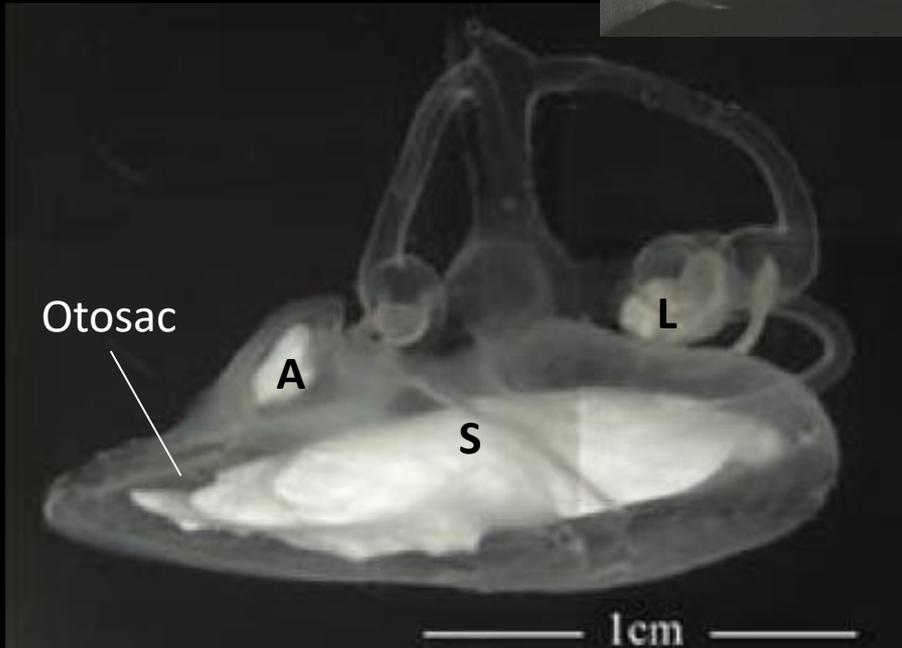
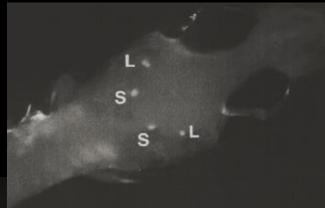
CNRS (UMR 9190 MARBEC), Université de Montpellier (campus Triolet, bat. 24, rez-de-chaussée)

Tel : 04.67.14.41.30

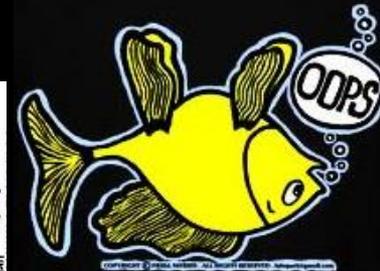
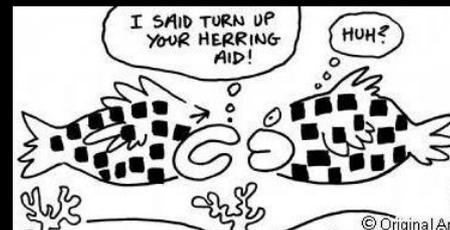
E-mail : [audrey.darnaude@cnrs.fr](mailto:audrey.darnaude@cnrs.fr)

# Les otolithes

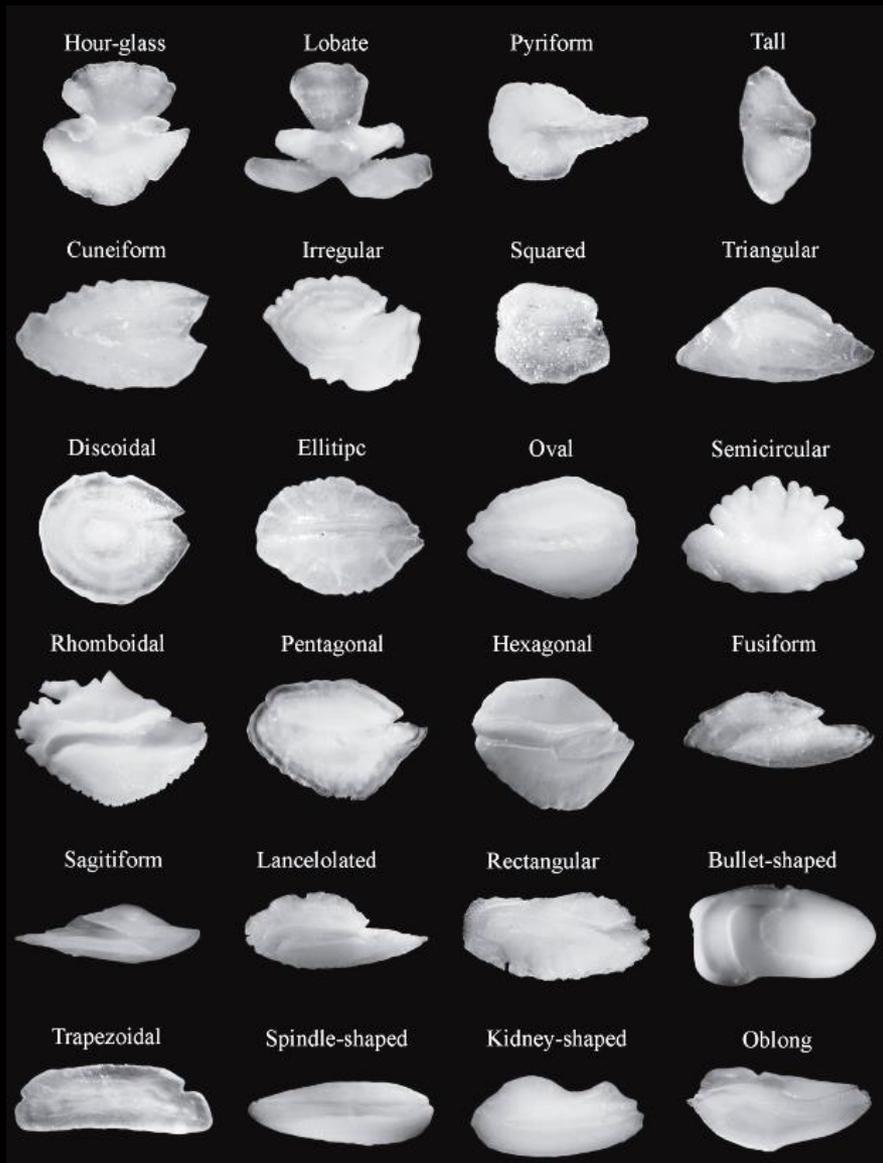
- Concrétions calcaires de l'oreille interne des téléostéens  
il n'y en a pas chez les requins, les raies...
- 3 paires formées très tôt :
  - ✓ Sagitta (S) & lapillus (L)
  - ✓ Asteriscus (A)



- Indispensables pour le poisson :
  - ✓ audition
  - ✓ perception de la pression ambiante
  - ✓ équilibre



## Archives biologiques exceptionnelles



- Ce sont des pierres !  
→ conservation longue (fossiles)
- La forme de l'otolithe (sagitta) permet souvent d'identifier l'espèce

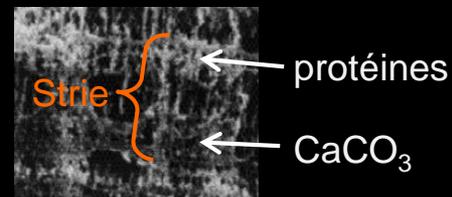
Otolithes fossiles (16 million years BP)



- Structures paires → 2 enregistrements en // pour chaque individu

## L'enregistrement chimique

- Composition chimique de base des otolithes = très pure  
otolithes = cristaux de  $\text{CaCO}_3$  (aragonite) + matrice protéique  
→ 99% = Ca, O, C, N + H (éléments majeurs)



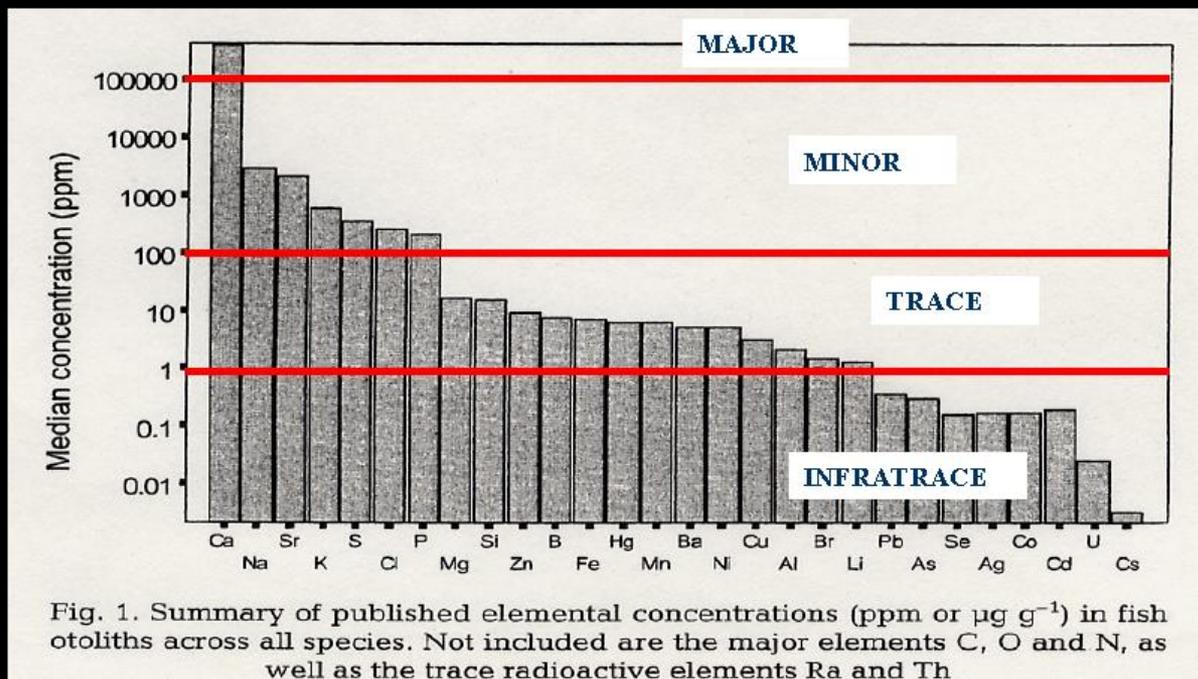
- ⇒ les autres éléments chimiques reflètent l'environnement

mineurs (100 - 3000 ppm) = Sr, Na, K

traces (1 - 100 ppm) = Ba, Mg, Fe, Ni, Cu, Hg, Pb, Zn...

infra-traces (<1 ppm) = As, Co, Cd, terres rares (Y)...

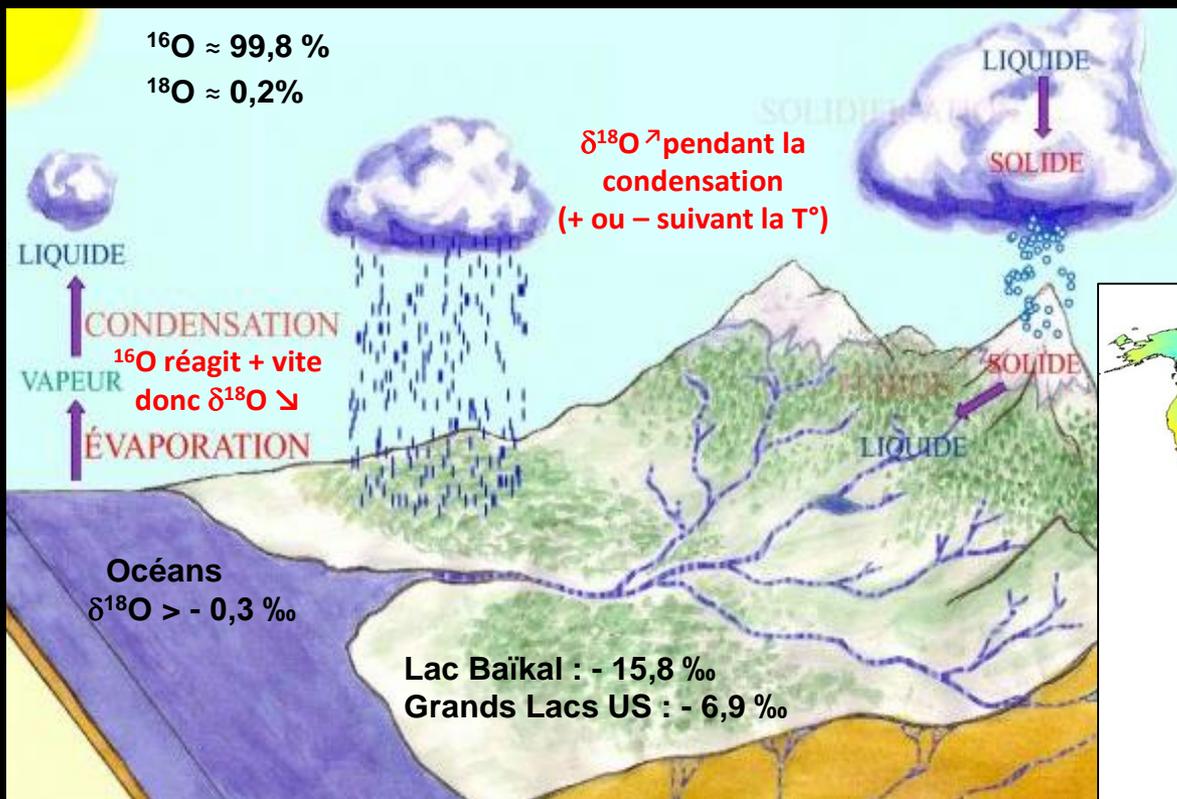
→ histoire de vie du poisson



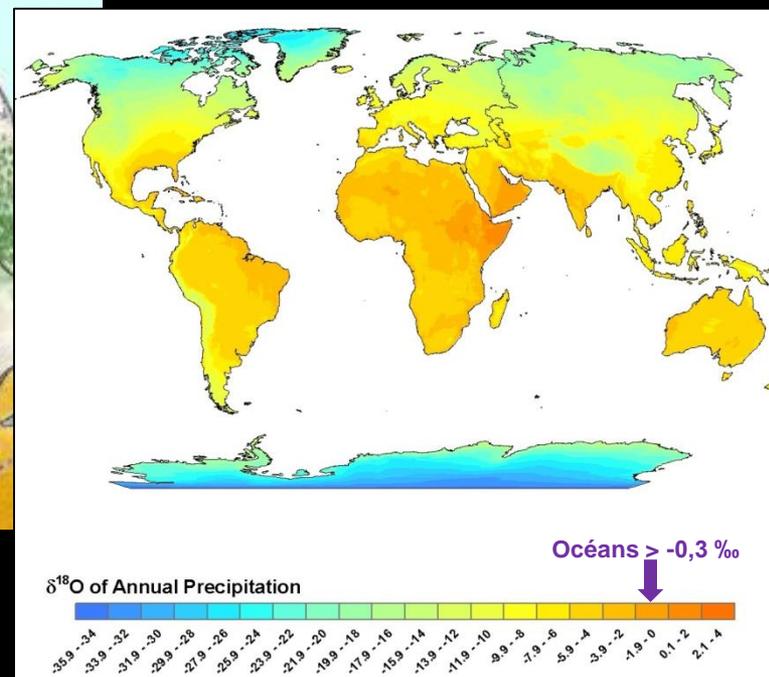
*L'information géographique  
potentiellement stockable*

## Masses d'eau de salinités différentes

- Teneur des eaux en isotopes de l'oxygène ( $\delta^{18}\text{O}$ ) reflète en partie la salinité



$$\delta^{18}\text{O} \approx \text{ratio } ^{18}\text{O}/^{16}\text{O} \text{ (en ‰)}$$



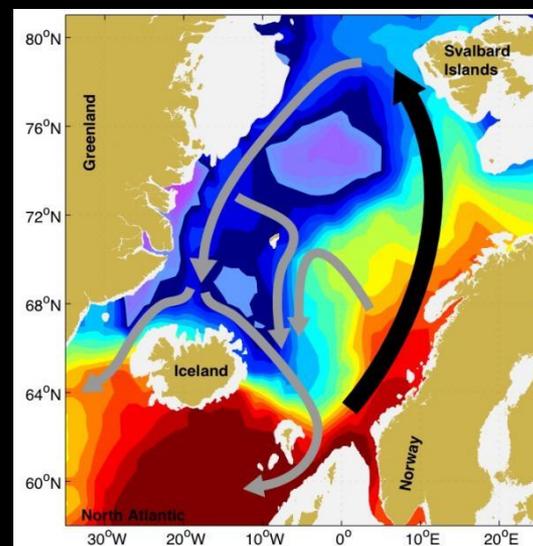
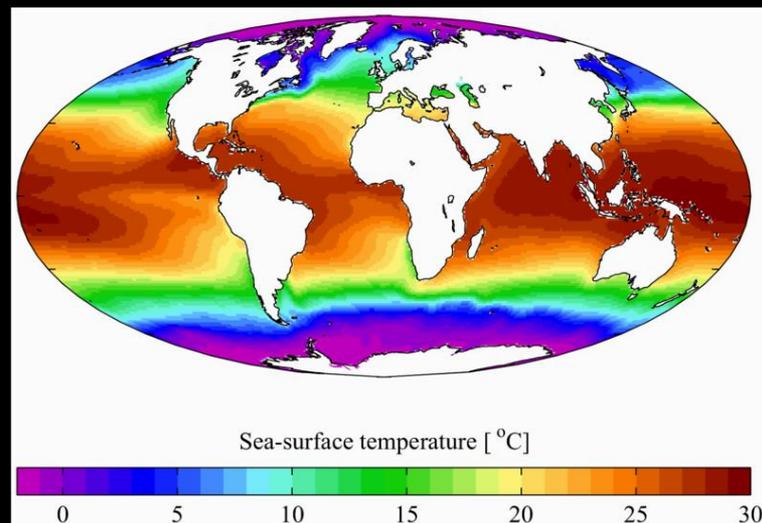
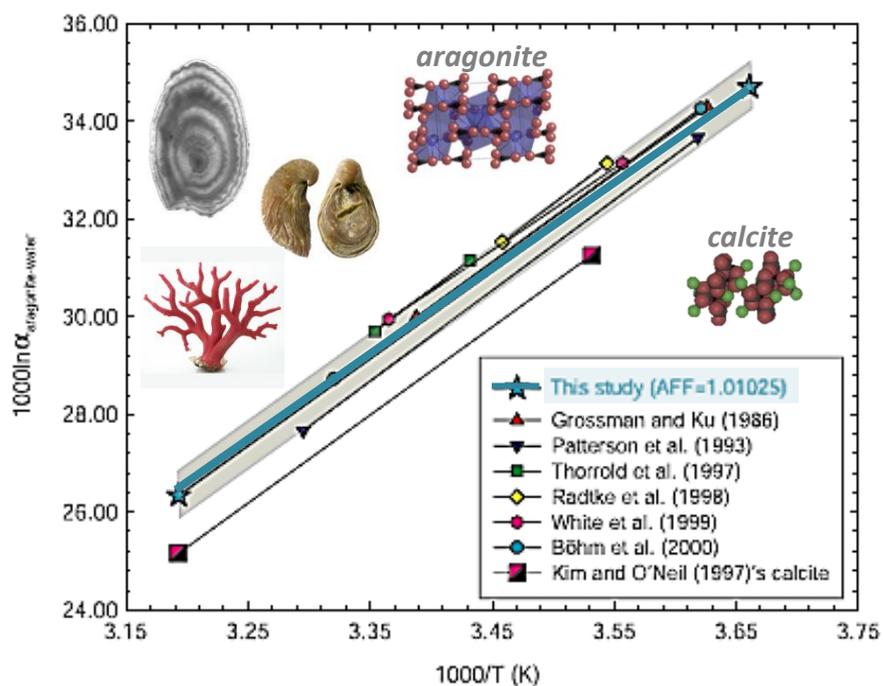
→ Traceur de migrations en zone côtière / estuarienne ?

## Masses d'eau de températures différentes

- Fractionnement isotopique  $\alpha$  de l'oxygène ( $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ ) pendant la calcification (aragonite, calcite) dépend de la température (T en Kelvin)

Kim et al., 2007 (*Geochim. Cosmochim. Acta* 71)

$$1000 \ln \alpha_{\text{aragonite-water}} = 17.88 \pm 0.13 (10^3/T) - 31.14 \pm 0.46$$



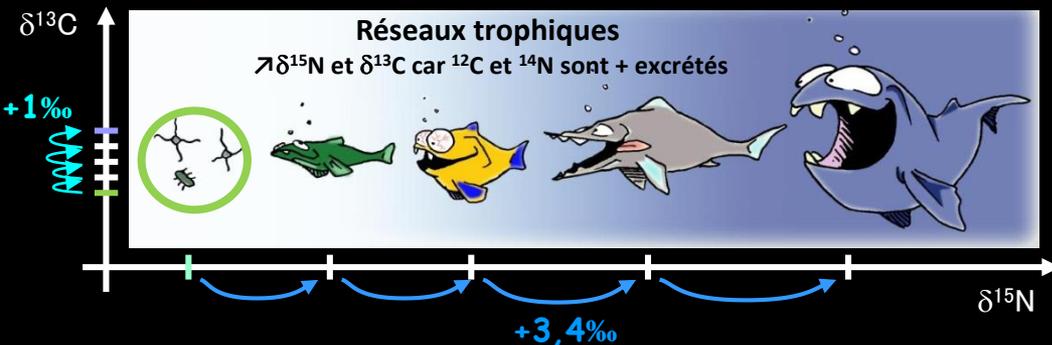
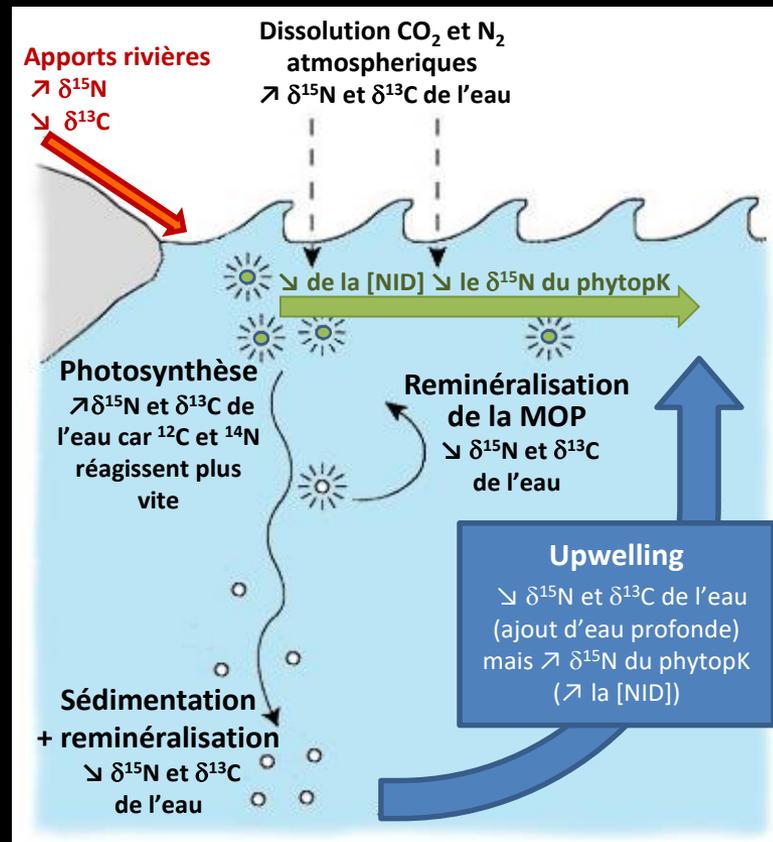
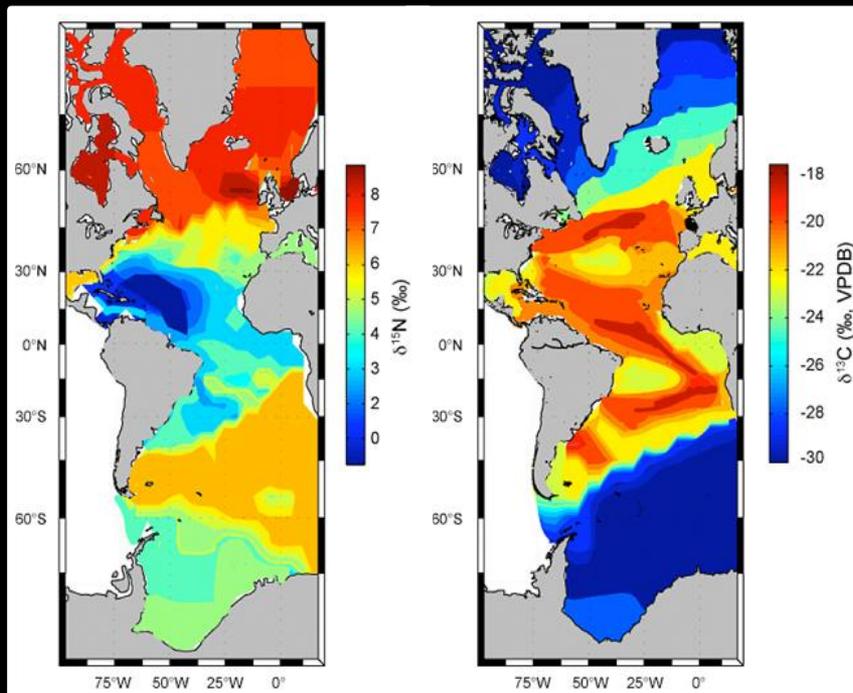
→  $\delta^{18}\text{O}$  = traceur de migrations (quand salinité = constante)?

## Zones avec des sources de matière organique différentes

- Teneurs de l'eau et des proies ingérées en isotopes du carbone ( $\delta^{13}\text{C}$ ) et de l'azote ( $\delta^{15}\text{N}$ ) différent suivant les zones

$$\delta^{13}\text{C} \approx \text{ratio } ^{13}\text{C}/^{12}\text{C} \text{ (en } \text{‰})}$$

$$\delta^{15}\text{N} \approx \text{ratio } ^{15}\text{N}/^{14}\text{N} \text{ (en } \text{‰})}$$

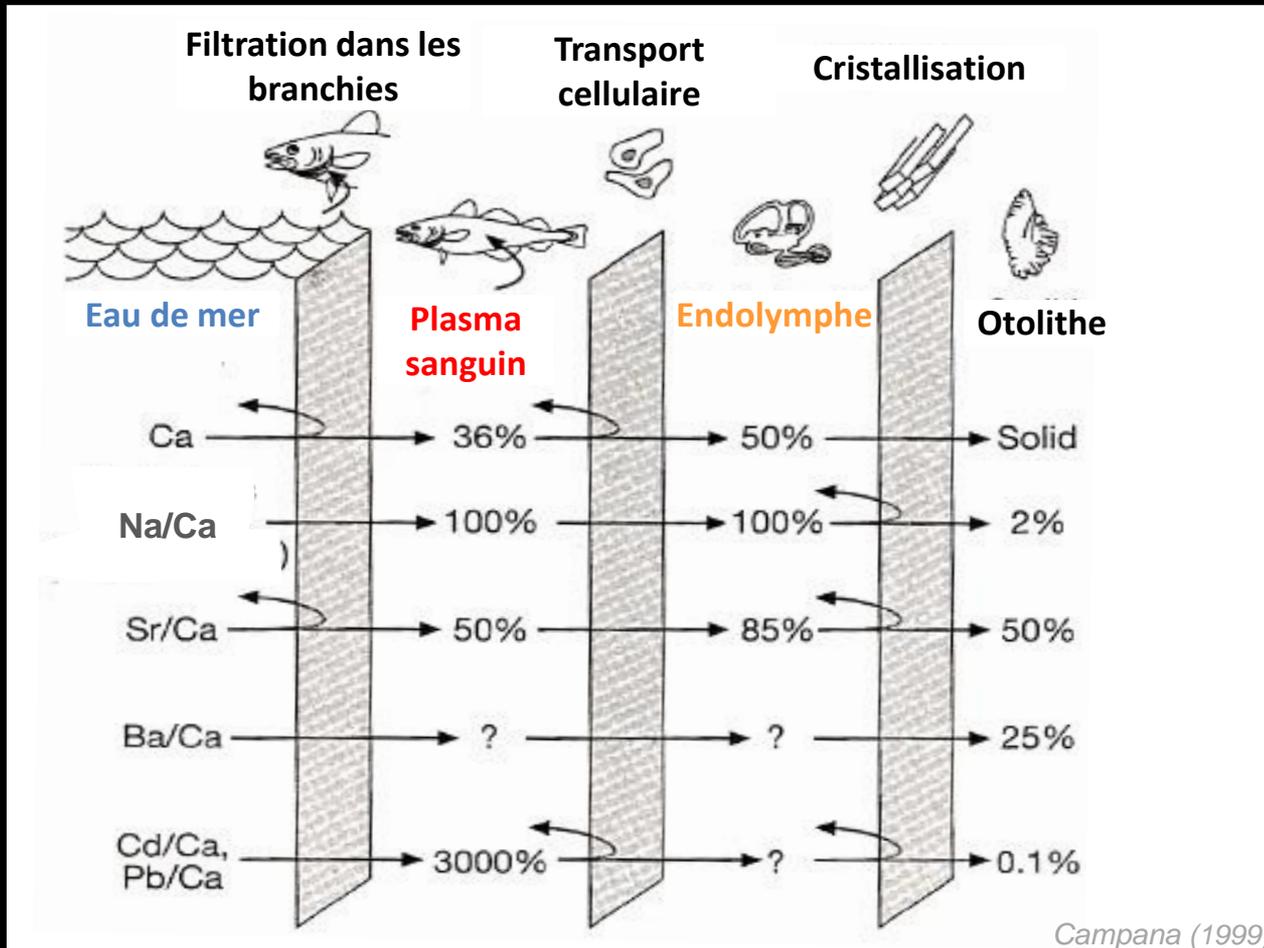


→  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{15}\text{N}$  = traceurs de migrations en mer ?

# *Biais d'enregistrement et limites*

## ⚠ L'otolithe n'est pas en contact direct avec le milieu !

- Avant d'atteindre l'otolithe dans l'oreille interne des poissons, les éléments chimiques (ions) doivent traverser un certain nombre de barrières physiques :

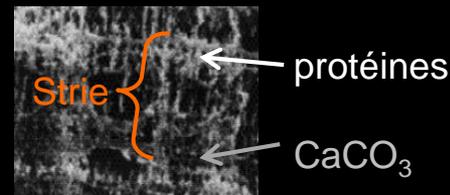


⇒ Les [C] de chaque compartiment vont dépendre de la réactivité chimique des éléments  
de la physiologie du poisson

# L'enregistrement isotopique

**!** Addadi & Weiner (1985) → otolithes =

- 1) cristaux de  $\text{CaCO}_3$  (aragonite) > 90%
- 2) matrice protéique (0,1–10%)

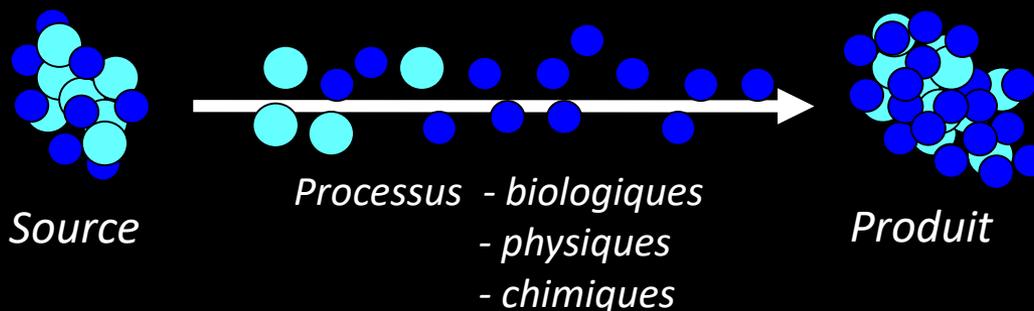
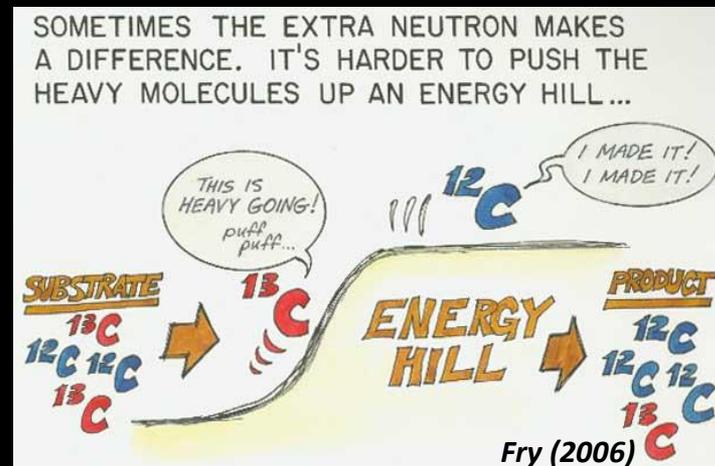


**Différences de comportement des isotopes au cours des réactions physiques, chimiques et biologiques.**

⇒ **fractionnement isotopique** = changement du rapport entre isotopes lourds et isotopes légers (+ de légers)

●  $^{12}\text{C}$  (isotope léger)

●  $^{13}\text{C}$  (isotope lourd)

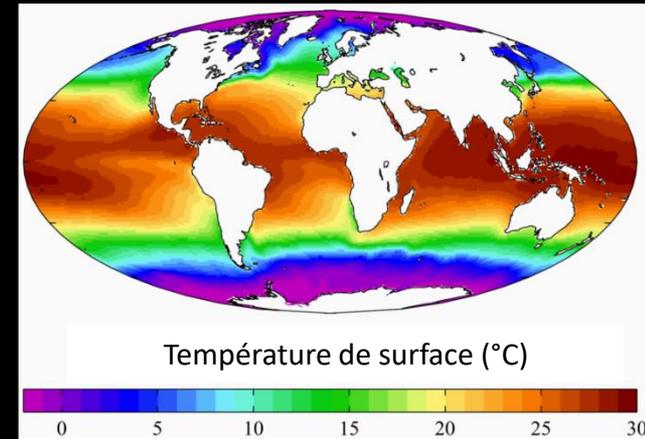
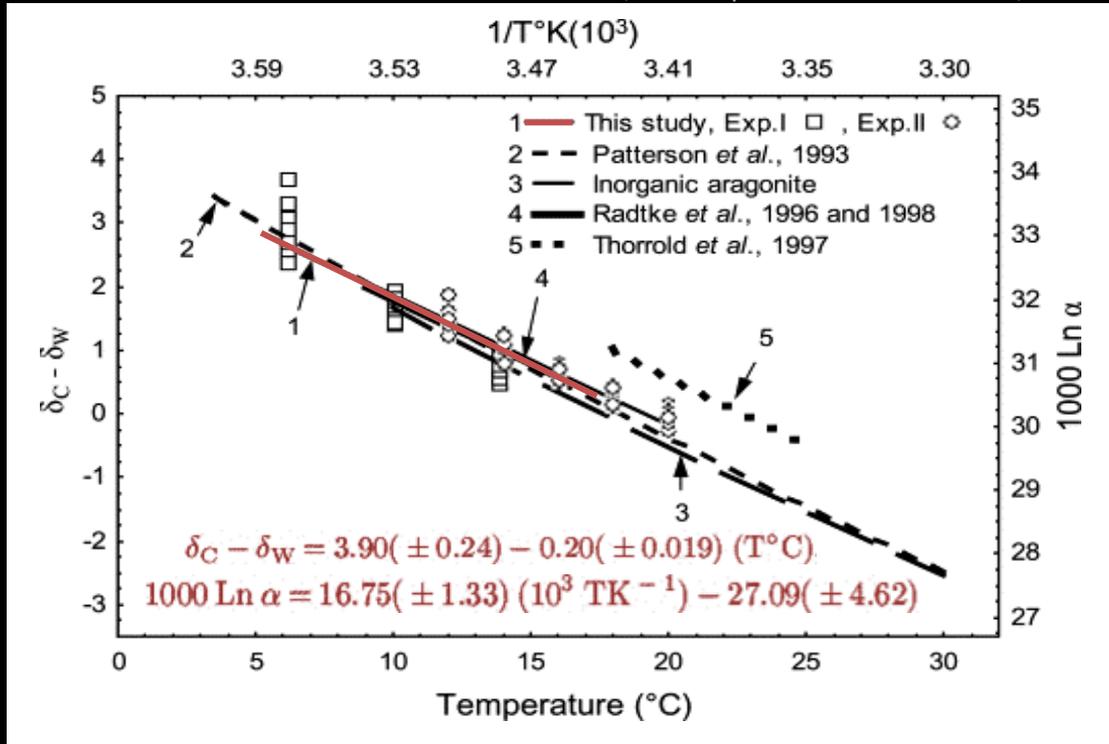


→ La signature isotopique des protéines n'est pas la même que celle du  $\text{CaCO}_3$

## Facteurs influençant les teneurs isotopiques des otolithes

- Le  $\delta^{18}\text{O}$  des otolithes est fonction de la température (à  $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau constant)

Hoie et al., 2004 (ICES J. Mar. Sci. 61, vol. 2)



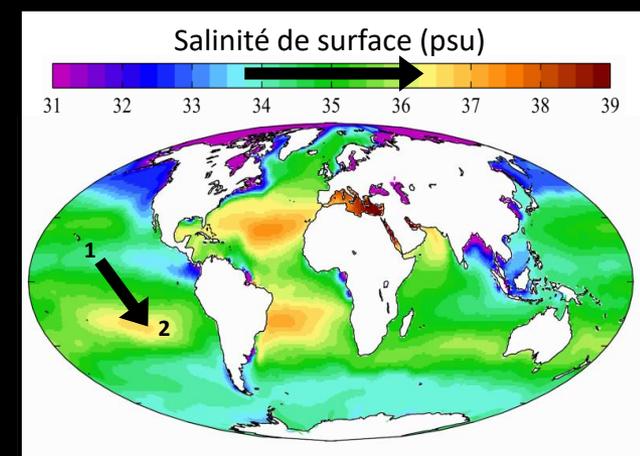
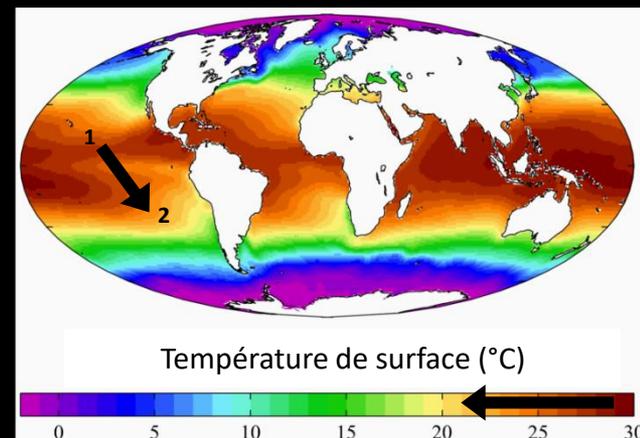
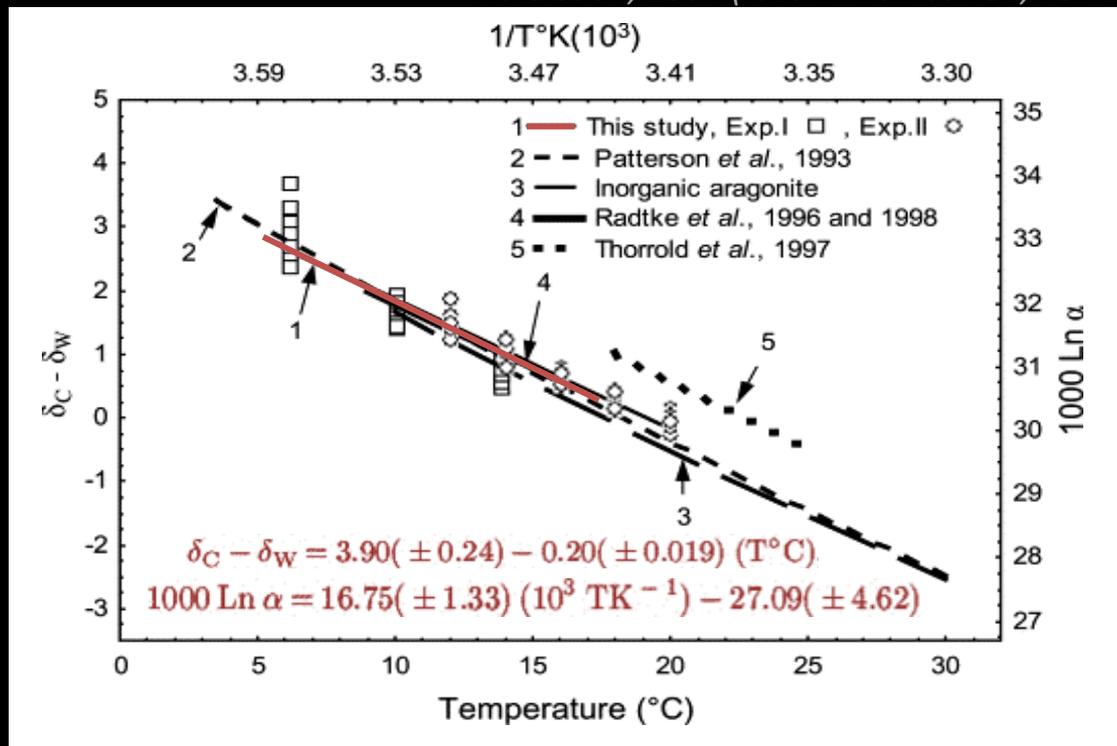
→ relation linéaire avec la température des masses d'eau quand  $\delta_{\text{eau}} = \text{constant}$

$$\delta_{\text{otolithe}} - \delta_{\text{eau}} = -aT^\circ + b \quad \Leftrightarrow \quad \delta_{\text{otolithe}} = -aT^\circ + b + \delta_{\text{eau}}$$

## Facteurs influençant les teneurs isotopiques des otolithes

- Le  $\delta^{18}\text{O}$  des otolithes est fonction de la température (à  $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau constant)

Hoie et al., 2004 (ICES J. Mar. Sci. 61, vol. 2)



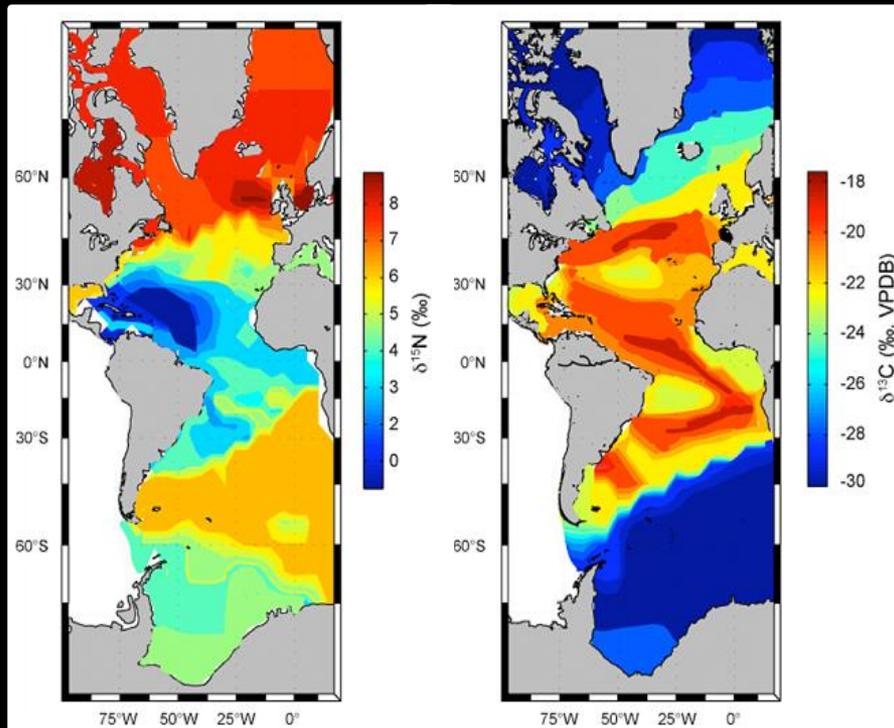
$$\delta_{\text{otolithe}} - \delta_{\text{eau}} = -aT^{\circ} + b \Leftrightarrow \delta_{\text{otolithe}} = -aT^{\circ} + b + \delta_{\text{eau}}$$

**MAIS**  $\delta_{\text{eau}} = cS + d \Rightarrow \delta_{\text{otolithe}} = cS - aT^{\circ} + (b+d)$

→ Les 2 facteurs s'annulent lorsqu'ils évoluent en opposition (ex :  $\searrow T^{\circ}$  et  $\nearrow S$  donc  $\delta_1 = \delta_2$ )

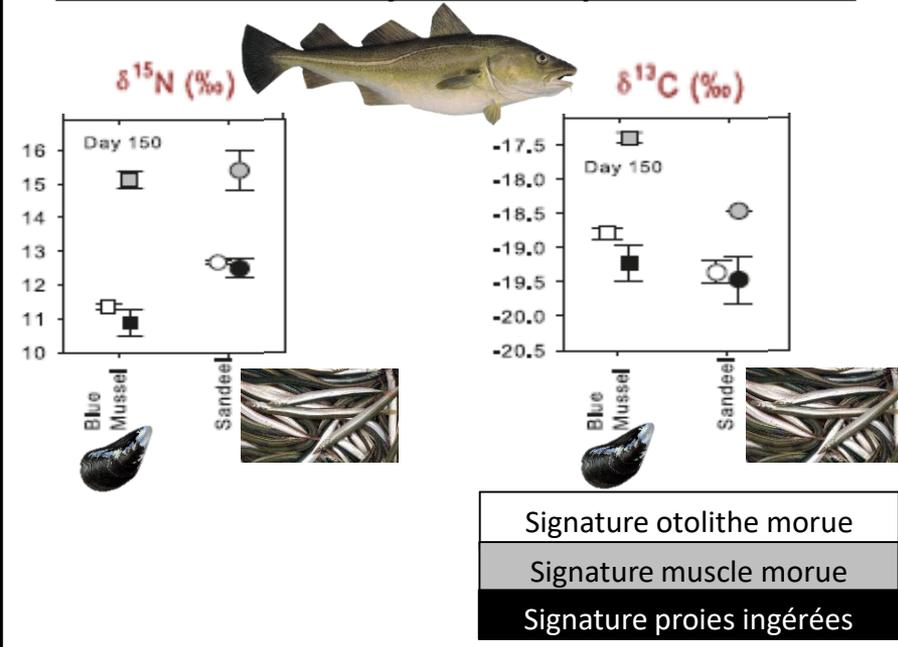
## Facteurs influençant les teneurs isotopiques des otolithes

- Les  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{15}\text{N}$  des protéines solubles de l'otolithe = reflet fidèle des  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{15}\text{N}$  des proies ingérées (qui reflètent eux-mêmes les  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{15}\text{N}$  des masses d'eau fréquentées)



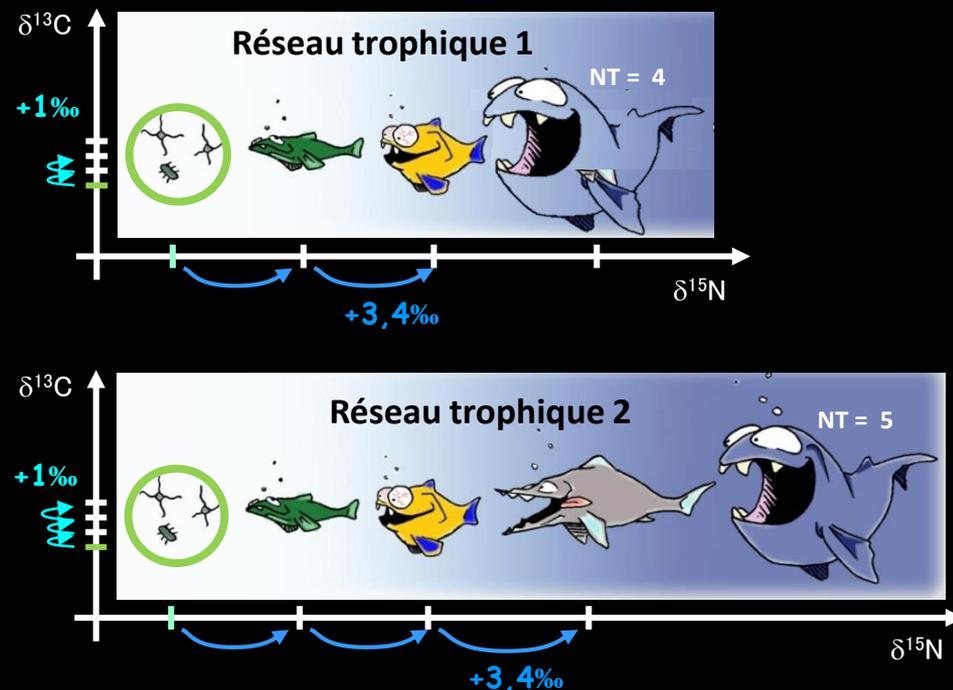
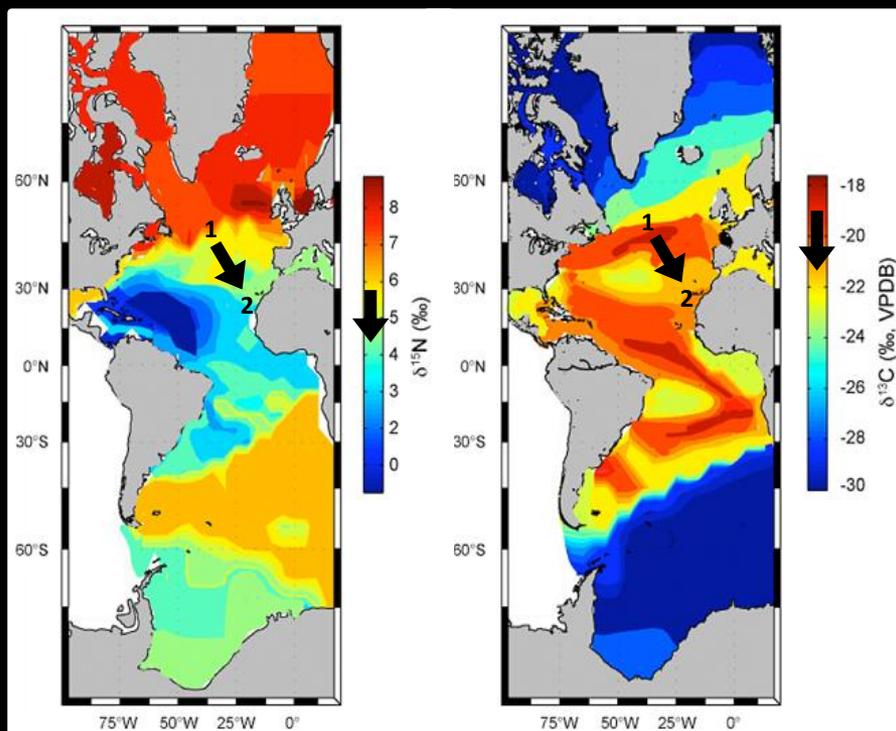
GrønkJær *et al.* (2013)

### Morues nourries 150 jours avec 2 proies différentes



## Facteurs influençant les teneurs isotopiques des otolithes

- Les  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{15}\text{N}$  des protéines solubles de l'otolithe = reflet fidèle des  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{15}\text{N}$  des proies ingérées (qui reflètent eux-mêmes les  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{15}\text{N}$  des masses d'eau fréquentées)



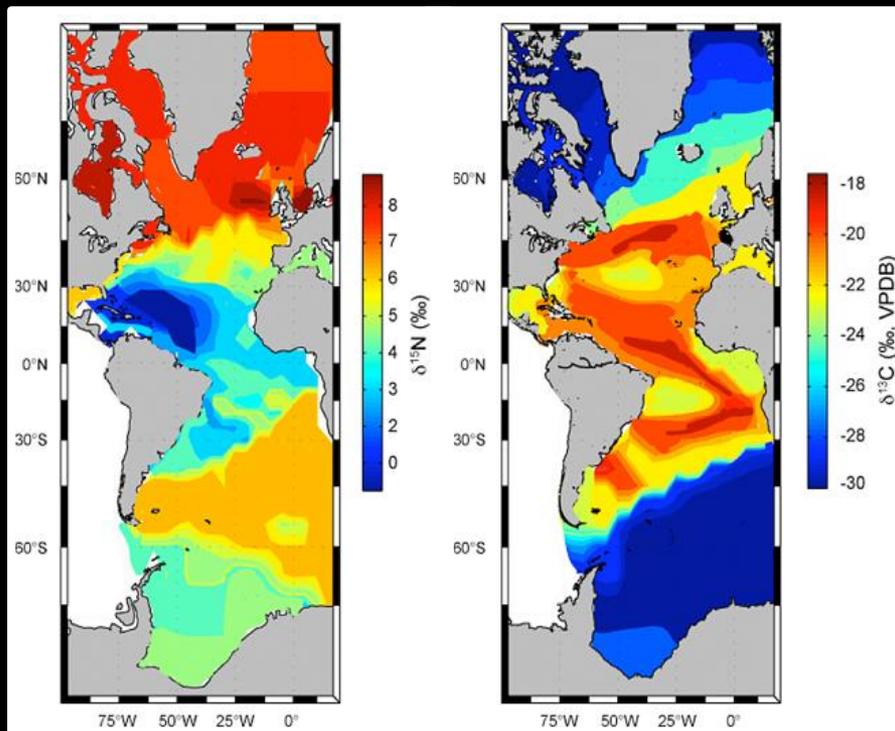
- MAIS la signature des proies dépend de leur niveau trophique  
→ biais dans le reflet des signatures isotopiques du C et du N de l'eau

ex :  $\searrow \delta^{15}\text{N}$  et  $\delta^{13}\text{C}$  de l'eau entre 1 et 2 **MAIS**  $\nearrow$  NT donc pour le poisson

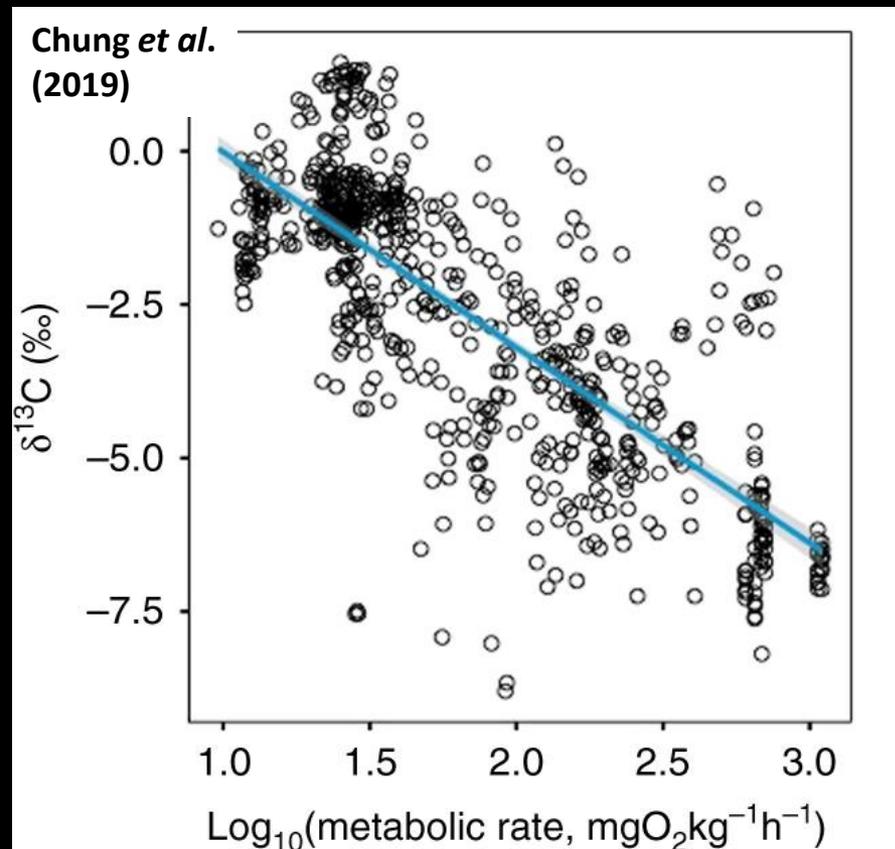
$\delta^{15}\text{N}_1 = \delta^{15}\text{N}_2$	$\delta^{15}\text{N}_1 = \delta^{15}\text{N}_2$
$\delta^{13}\text{C}_1 \approx \delta^{13}\text{C}_2$	$\delta^{13}\text{C}_1 \approx \delta^{13}\text{C}_2$

## Facteurs influençant les teneurs isotopiques des otolithes

- Le  $\delta^{13}\text{C}$  total de l'otolithe = reflet de celui de l'eau ( $\text{CaCO}_3$ ) et du régime alimentaire (protéines) mais aussi du taux métabolique  $M$  des poissons.

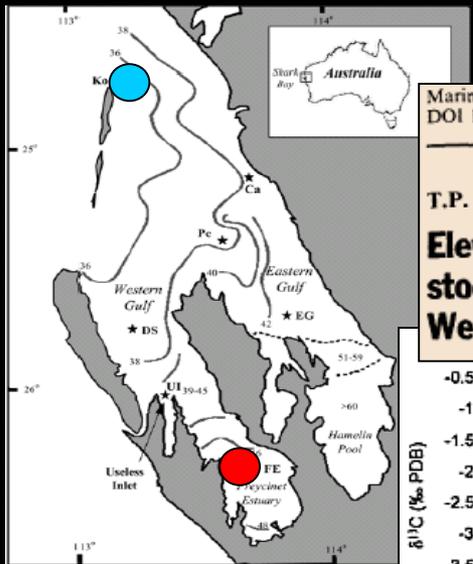


⇒ Biais liés à la température, à l'espèce, à la population et au stade de vie?



# *Exemples d'applications*

# $\delta^{18}O$ et $\delta^{13}C$ (habitats sous influence + ou - continentale en zone c\u00f4ti\u00e8re)

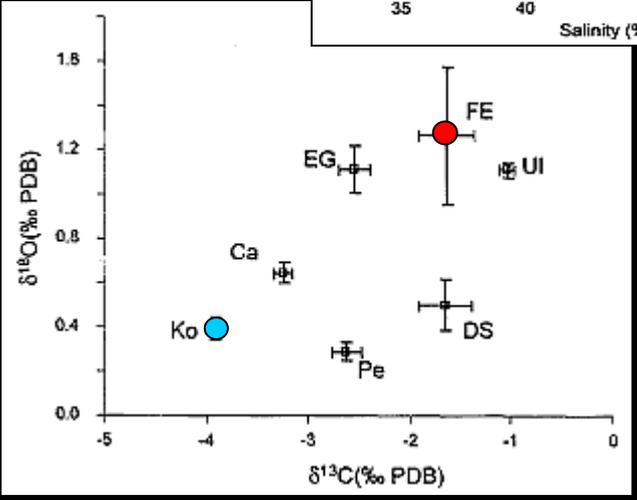
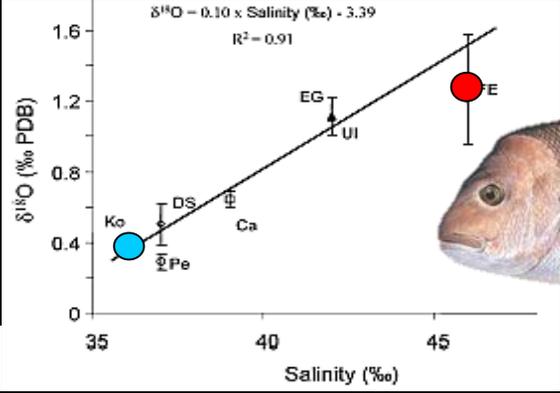
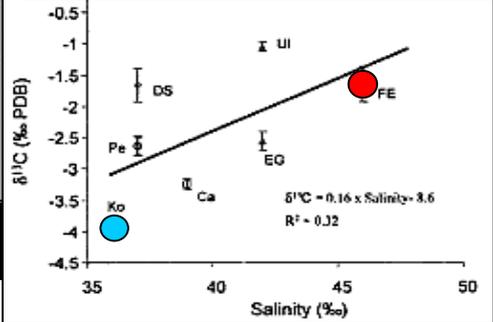


## Migrations du Pageot dans une baie hypersal\u00e9e d'Australie

Marine Biology (2002) 141: 801-806  
DOI 10.1007/s00227-002-0884-8

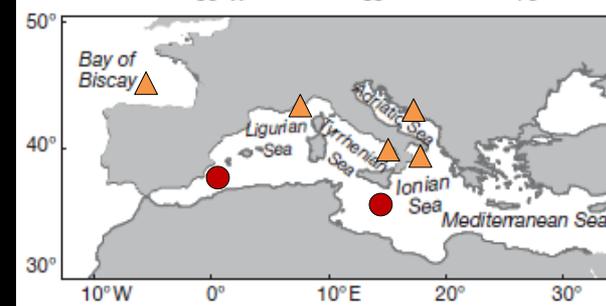
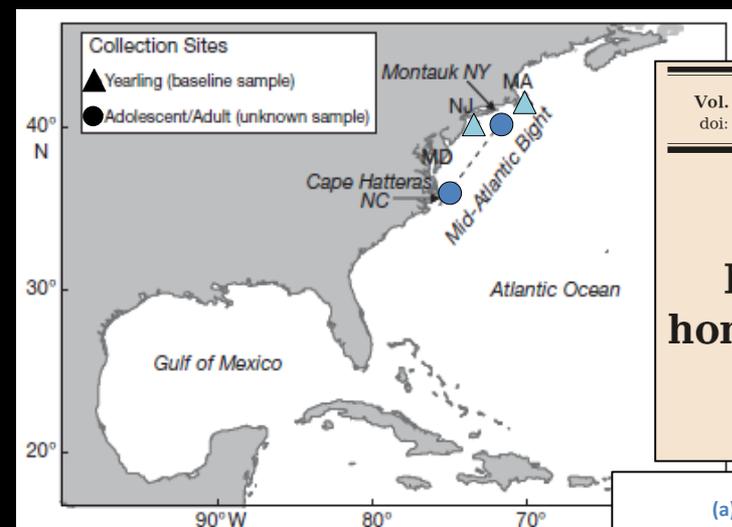
T.P. Bastow · G. Jackson · J.S. Edmonds

**Elevated salinity and isotopic composition of fish otolith carbonate: stock delineation of pink snapper, *Pagrus auratus*, in Shark Bay, Western Australia**



- Structure des populations et degr\u00e9 d'\u00e9changes entre elles.
- Le peu de variabilit\u00e9 inter-individuelle / site et les fortes diff\u00e9rences d'un site \u00e0 l'autre (driv\u00e9es par la salinit\u00e9, donc l'environnement) ont permis de prouver que ces poissons sont tr\u00e8s s\u00e9dentaires dans cette r\u00e9gion.
- Il a \u00e9t\u00e9 possible d'identifier les zones de m\u00e9lange potentiel entre assemblages (e.g. FE et UI ou EG).

# $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$ (zones marines de températures et salinités différentes)



Vol. 368: 231–239, 2008  
doi: 10.3354/meps07602

MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES  
Mar Ecol Prog Ser

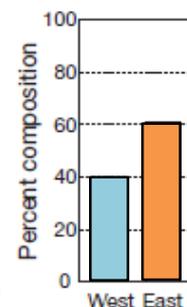
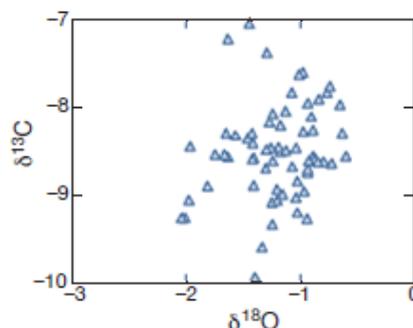


OPEN ACCESS

## Evidence of trans-Atlantic movement and natal homing of bluefin tuna from stable isotopes in otoliths

Jay R. Rooker<sup>1,\*</sup>, David H. Secor<sup>2</sup>, Gregorio DeMetrio<sup>3</sup>, Alan J. Kaufman<sup>4</sup>, Antonio Belmonte Ríos<sup>5</sup>, Vjekoslav Tičina<sup>6</sup>

(a) adults from US Atlantic Ocean



(b) adults from the Mediterranean

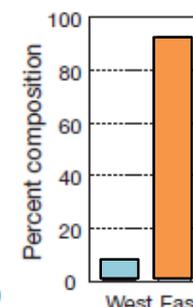
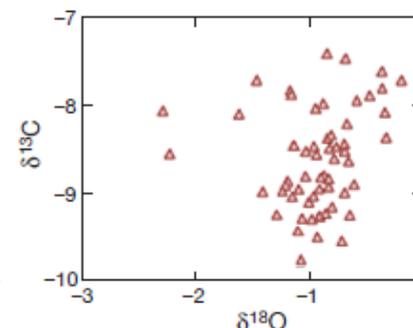
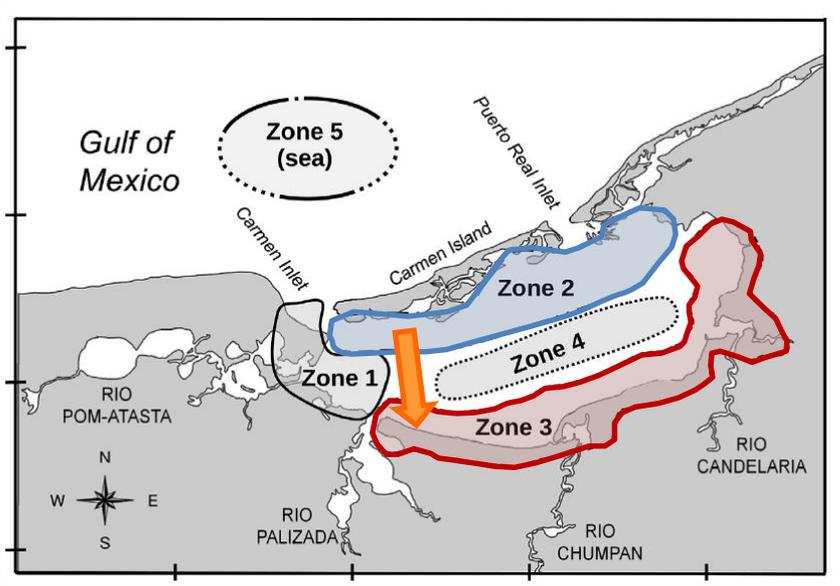


Fig. 4 - Otolith core  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  of (a) adolescents of *Thunnus thynnus* collected in the USA Atlantic Ocean and (b) adults of the species collected from the Mediterranean Sea 'spawning grounds'. % composition estimates derived from mixed-stock analysis (right) indicate the nursery origin (eastern vs western nursery) of individuals based on yearling signatures from 1999 to 2004 (i.e. from fish of known origin).

- Identification des migrations trans-océaniques au stade juvénile et au stade adulte.
- Mise en évidence de "natal homing" (94% des individus de Méditerranée) et de mélange des stocks entre océans (60% des sub-adultes des USA issus de Méditerranée ou d'Atlantique Est).

# $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des protéines solubles (zones de réseaux trophiques différents)

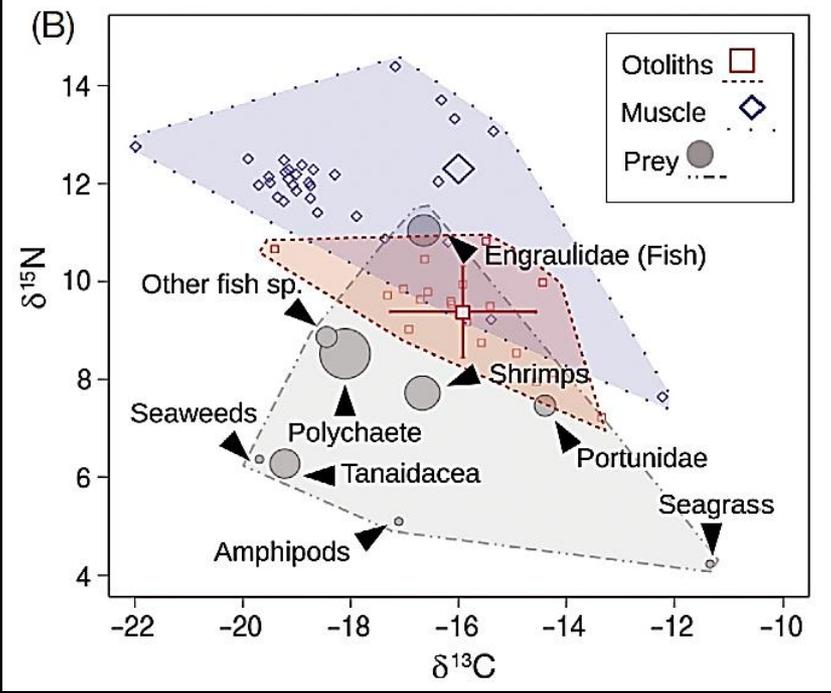
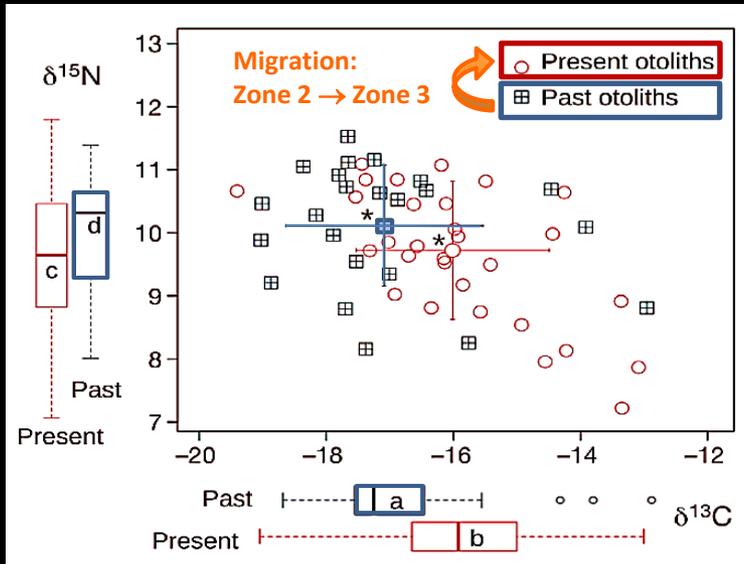


Vol. 575: 137–152, 2017  
<https://doi.org/10.3354/meps12166>

MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES  
 Mar Ecol Prog Ser

### Using otolith organic matter to detect diet shifts in *Bardiella chrysoura*, during a period of environmental changes

C. Sirot<sup>1,\*</sup>, P. Grønkjær<sup>2</sup>, J. Brøgger Pedersen<sup>2</sup>, J. Panfili<sup>1</sup>, M. Zetina-Rejon<sup>3</sup>, A. Tripp-Valdez<sup>3</sup>, J. Ramos-Miranda<sup>4</sup>, D. Flores-Hernandez<sup>4</sup>, A. Sosa-Lopez<sup>4</sup>, A. M. Darnaude<sup>1</sup>



## CONCLUSION

- Isotopie O, C, N des otolithes = outil performant pour étudier les migrations des poissons tout au long de leur vie (nature, fréquence, timing, importance pour les populations) :
    - migrations côtières ( $\delta^{18}\text{O}$  et  $\delta^{13}\text{C}$ ) ou océaniques ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{15}\text{N}$ ),
    - migrations à petite ou grande échelle ( $\delta^{18}\text{O}$  et  $\delta^{13}\text{C}$ ),
    - Info permettant gestion des stocks, protection de la biodiversité + estimation des flux.
  - MAIS... Facteurs à contrôler pour une utilisation optimale :
    - ✓ validité (et nature) de la relation entre la composition de l'environnement et celle de l'otolithe pour l'espèce concernée et les traceurs mesurés (autant que possible, par expérimentations en conditions contrôlées),
    - ✓ biais liés à l'ontogénie : effet du métabolisme, modification des relations, perte d'information temporelle par diminution de la croissance avec l'âge (du poisson et donc de son otolithe),
    - ✓ biais liés à l'alimentation (limite ou avantage?)
    - ✓ biais liés aux interactions entre paramètres physico-chimiques de l'eau (e.g. interférences température/salinité) et à leurs variabilités spatio-temporelles (échantillonnage adapté).
- ⇒ L'avenir est dans la validation *in situ* de l'outil pour la géolocalisation + utilisation conjointe avec les autres tags (électroniques, marqueurs génétiques...).