

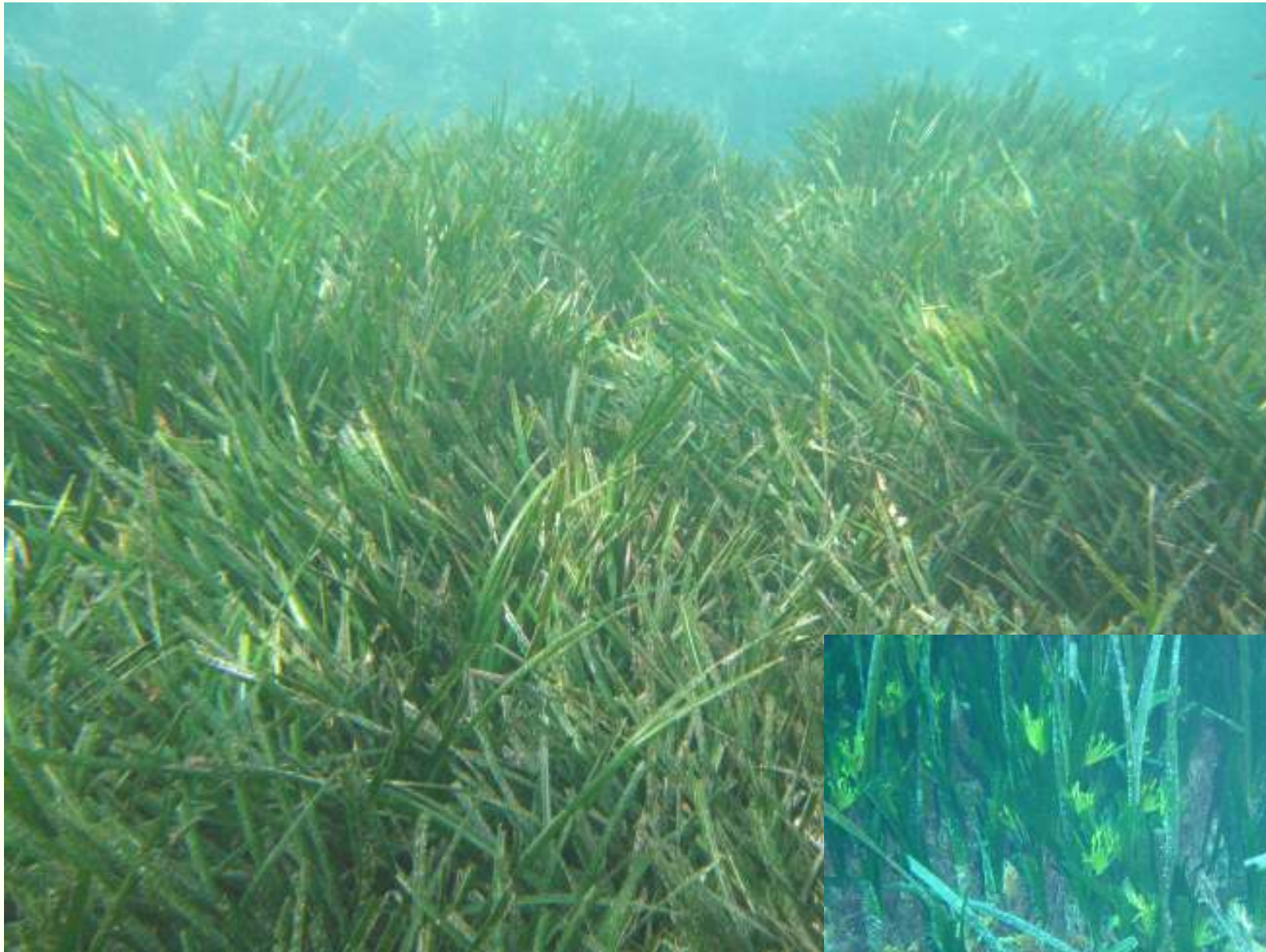
You are what you eat, plus a few per mille:
Apports des isotopes stables à l'Ecologie
Marine

Gilles Lepoint & Krishna Das

*"You are what you eat...plus a few
per mille" DeNiro & Epstein, 1978*

Partim 1: Introduction et Applications
générales (Gilles Lepoint)

Partim 2: Traçage des polluants chez les
mammifères et autres vertébrés marins
(Krishna Das)



Herbier de posidonies





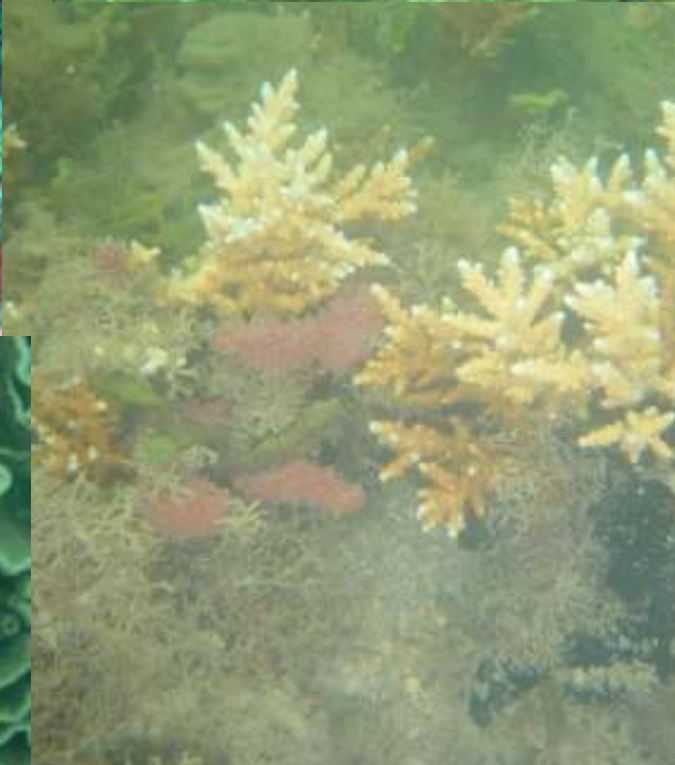
Organismes épiphytes



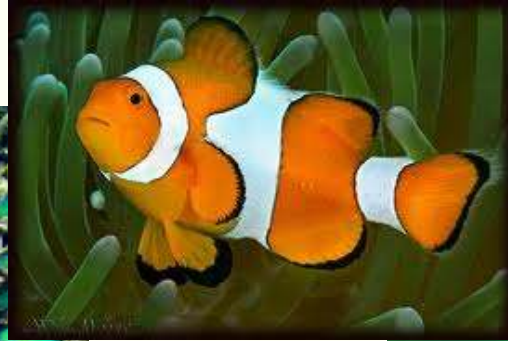
+ Matière planctonique

Quelles sont les sources et les voies de transfert de l'énergie produite au niveau des producteurs primaires vers les consommateurs?

⇒ Application 1: Etude des réseaux trophiques



Pomacentridae



*Diversité biologique – niche écologique

* Niche trophique = aspect alimentaire de la niche écologique d'un animal

⇒ Application 2: Etude de la variabilité trophique intraspécifique (individuelle, populationnelle) et interspécifique





- * Problématique des pollutions diffuses
- * Effets précoces – cartographie des effets des polluants

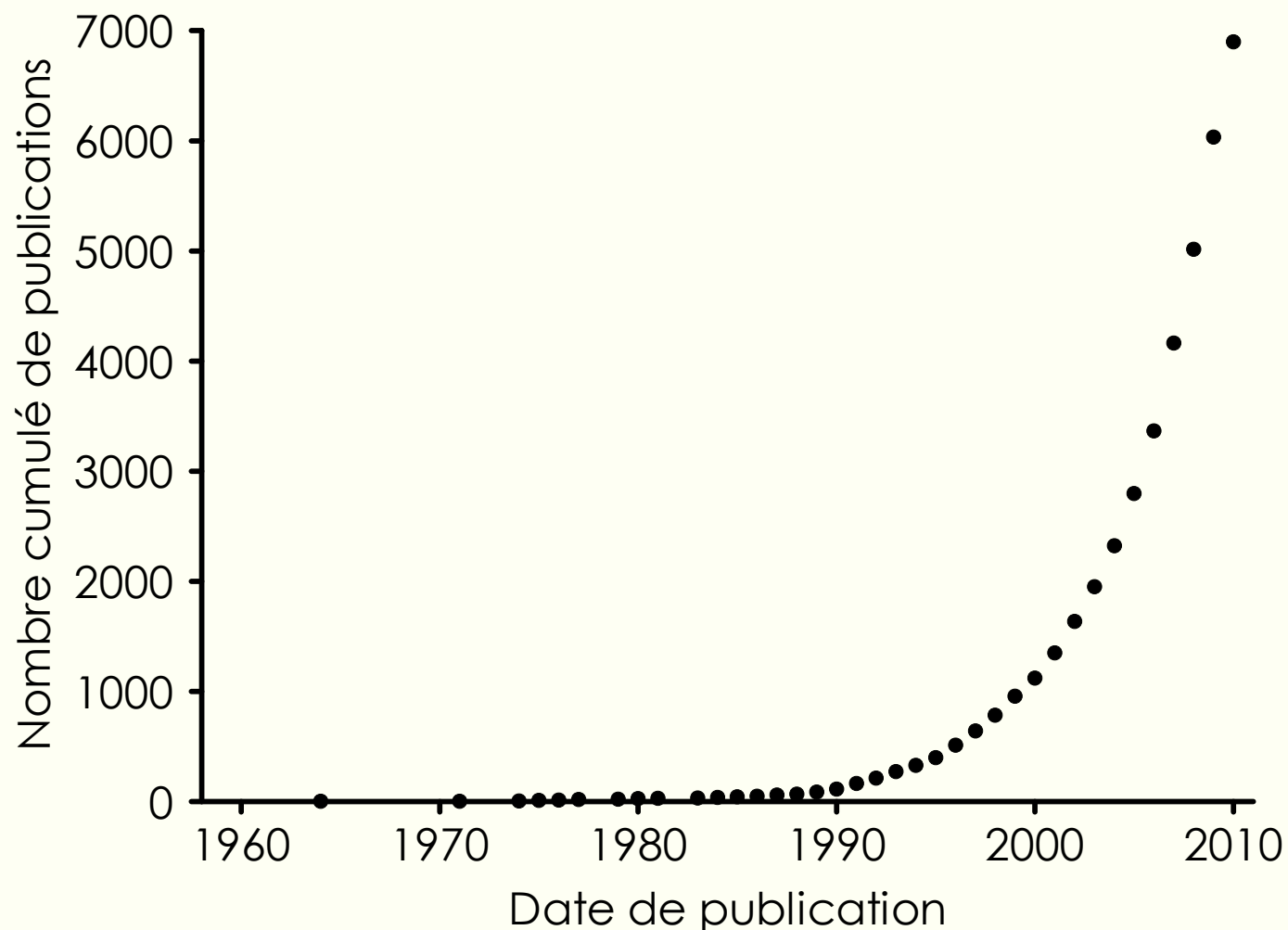
⇒ Application 3: Mise en évidence de pollution

Introduction générale

Isotopes Stables

“The main use of stable isotopes involves magic. We cannot see, feel, touch, hear, smell, or taste stable isotopes with our normal senses, yet there they are, magical scraps of information fluttering gently all around us” Fry, 2006

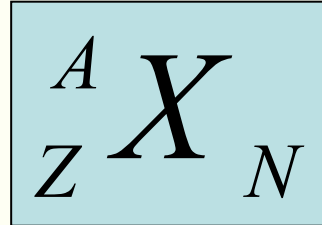
Importance des isotopes stables en Sciences environnementales



Données: [IsiWeb of Knowledge](#), mots clés recherchés : (stable isotope) and (Nitrogen or Carbon) restreints aux domaines des Sciences Environnementales et Agriculture

Qu'est-ce qu'un isotope stable?

Notation atomique



Avec Z = nombre de proton; N = nombre de neutron et A = nombre de masse (protons + neutrons)

⇒ Notation classique: ^{12}C , ^{13}C , ^{14}N , ^{15}N

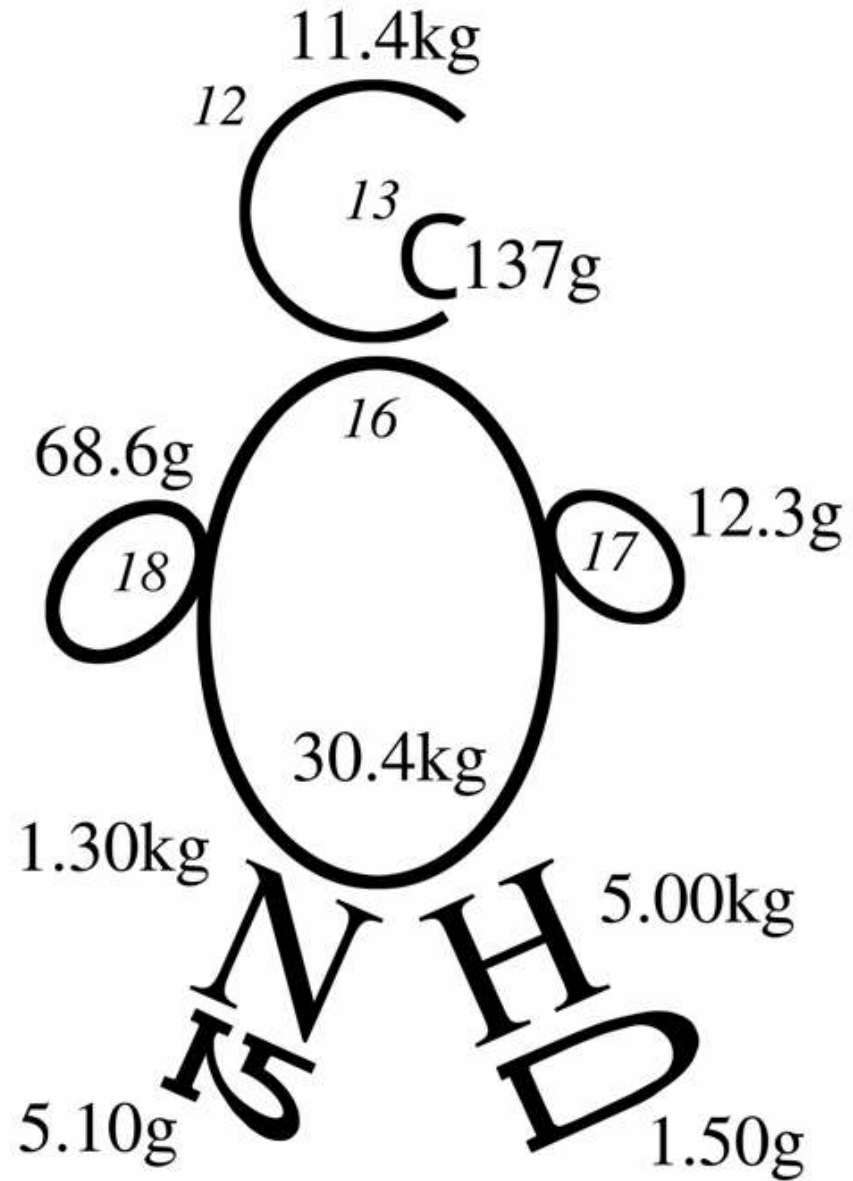
* *Isotope*: du grec *ισο τοπος*
= même endroit
= même case du tableau périodique

* Isotopes stables vs. isotopes radioactifs

* Éléments majoritaires de la Vie:

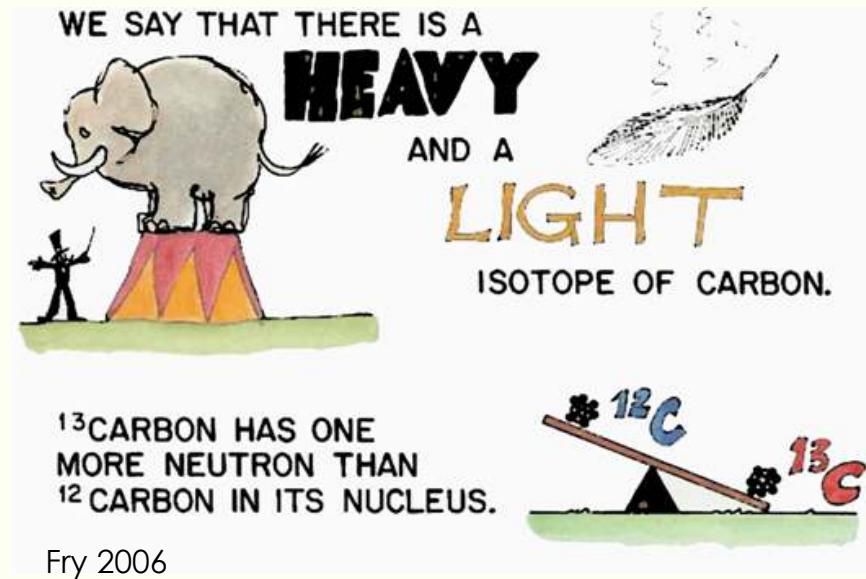
C H N O ~~P~~ S

Un humain de
50kg, c'est:



Fry 2006

*isotope "lourd" vs.
isotope "léger"



Nucléide abondant	Nucléides stables "lourds"	Ratios isotopiques
99.985 ¹ H%	0.015 ² H (ou D)%	D/H = 0.00015
98.9 ¹² C%	1.1 ¹³ C%	¹³ C/ ¹² C = 0.011
99.6 ¹⁴ N%	0.36 ¹⁵ N%	¹⁵ N/ ¹⁴ N = 0.00367
99.76 ¹⁶ O%	0.035 ¹⁷ O% , et 0.2 ¹⁸ O%	¹⁸ O/ ¹⁶ O = 0.002
95.02 ³² S%,	0.75 ³³ S%, 4.21 ³⁴ S% et 0.02 ³⁶ S%	³⁴ S/ ³² S = 0.04505

Que mesure-t-on et Comment le mesure-t-on?

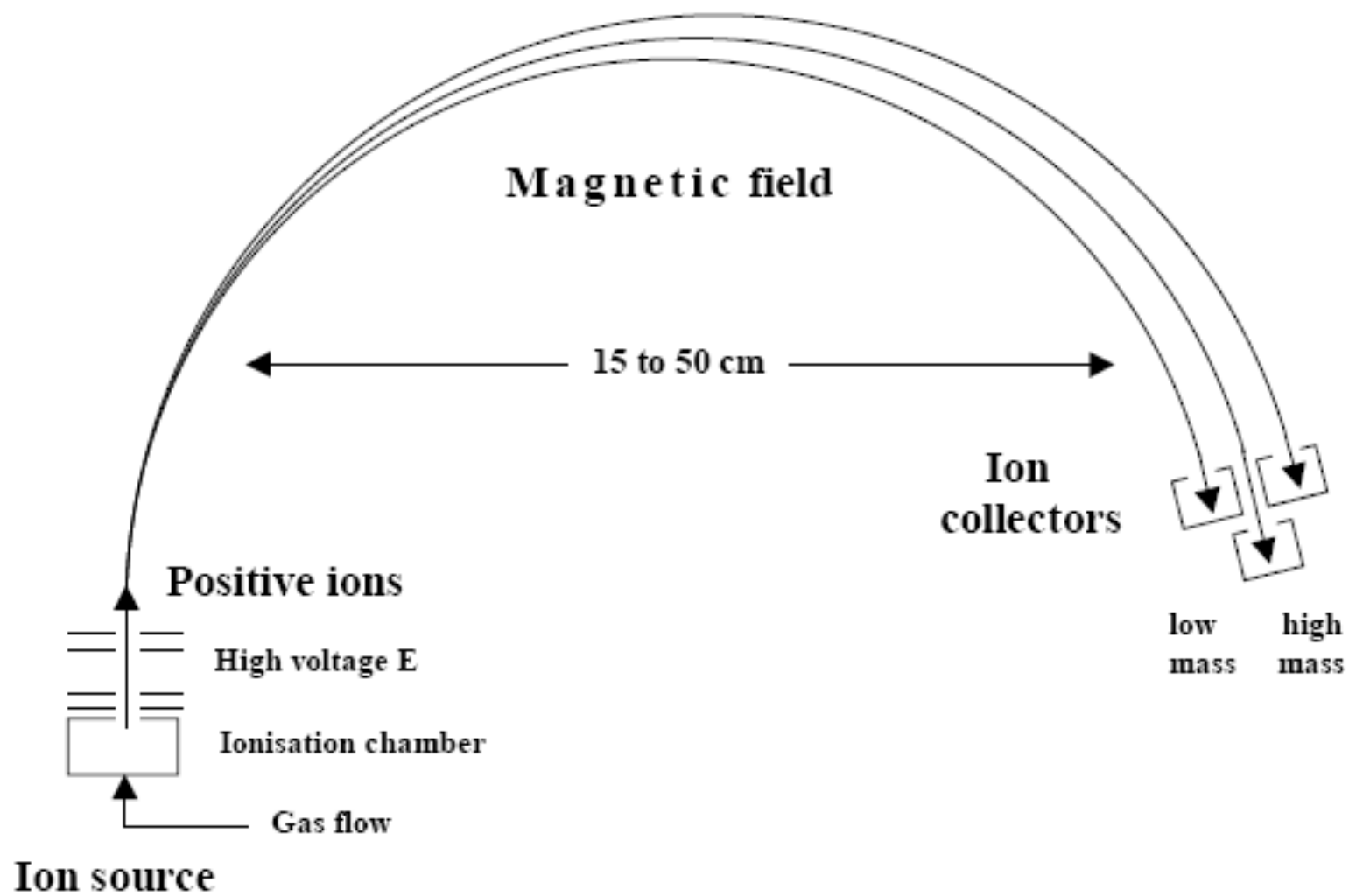
* rapport isotopique (= "*Isotopic ratio*")

$${}^X R = \frac{\textit{AbondanceX}}{\textit{AbondanceY}}$$

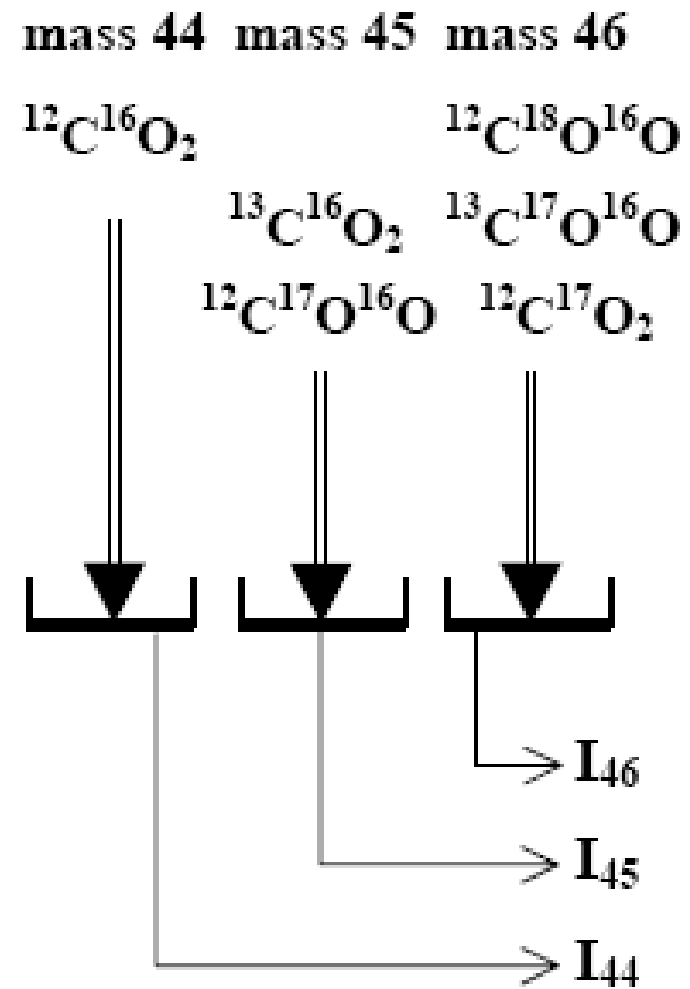
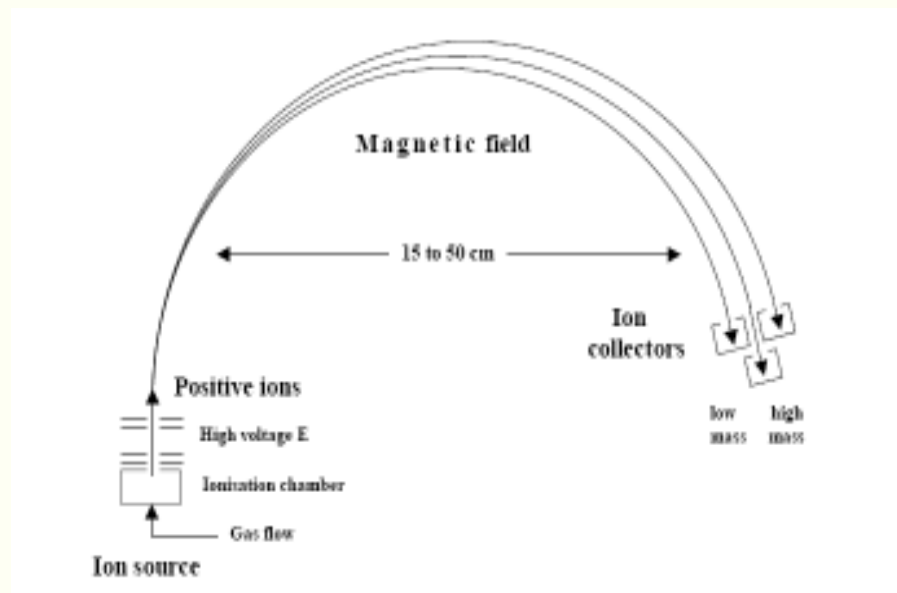
⇒ Mesure relative

* Spectrométrie de masse

⇒ "*Isotope Ratio Mass Spectrometry*" = **IRMS**



Collecteurs d'un IRMS classique (cas du CO₂)



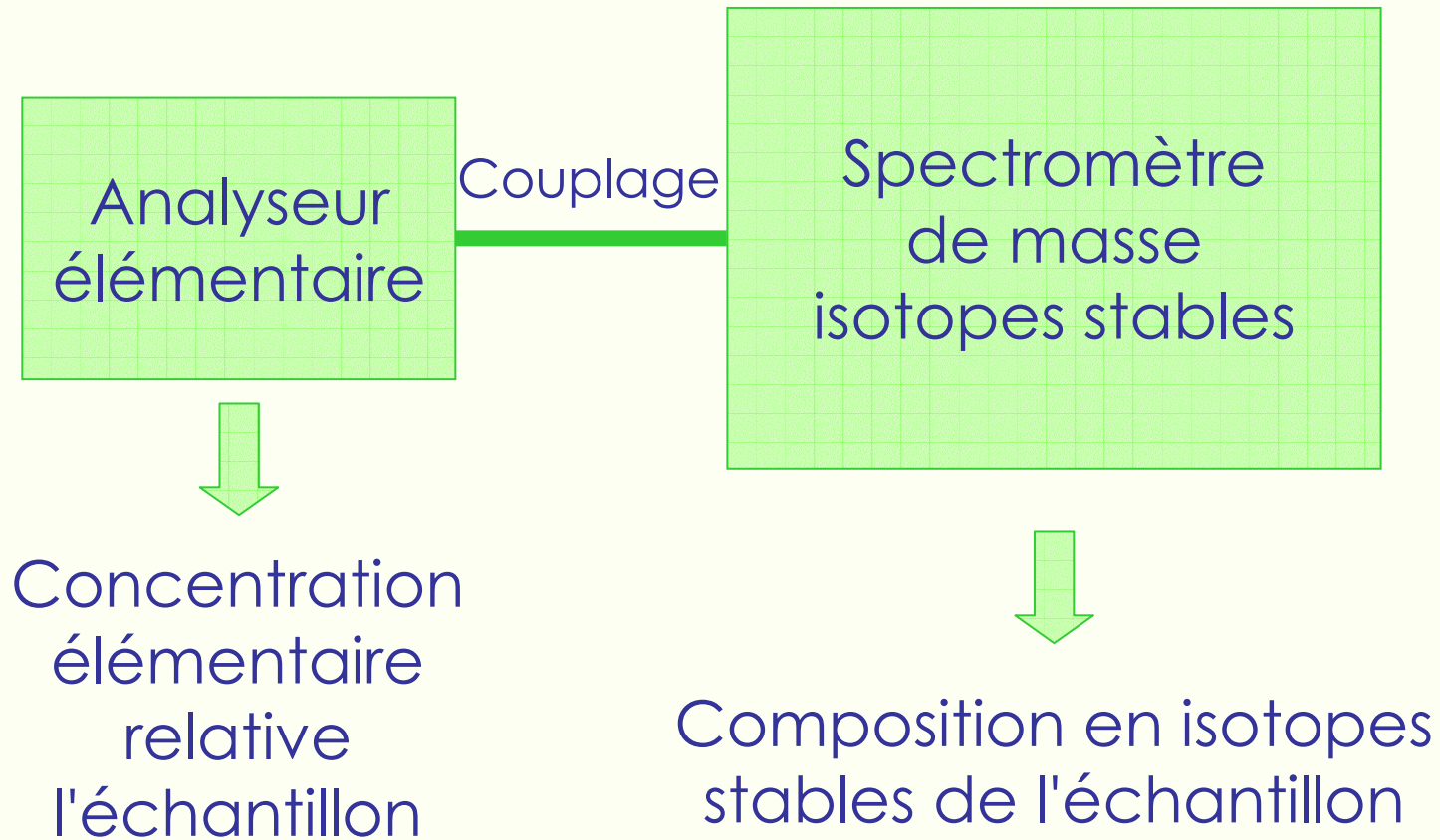
Comment mesure-t-on les rapports isotopiques?

* Détermination de rapports isotopiques sur gaz "simples" (CO_2 , N_2 , SO_2)

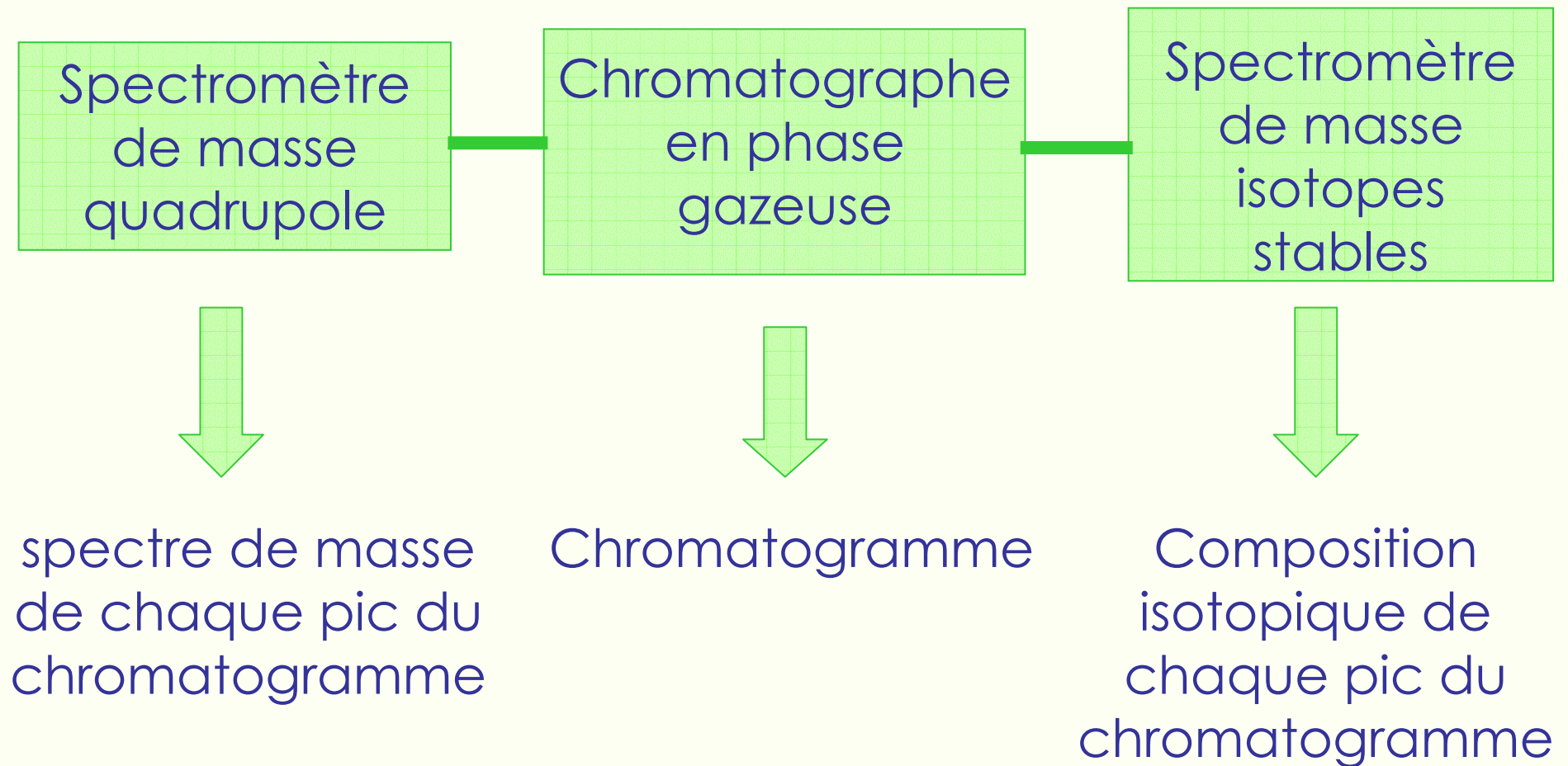
⇒ Combustion de l'échantillon et purification des gaz produits

⇒ COUPLAGE d'Instruments

1. Exemple 1: Couplage EA -IRMS



Exemple 2: Couplage MS-GC-IRMS



⇒ Ratios isotopiques de composés spécifiques

Appareillage Laboratoires d'Océanologie et Systématique & Diversité Animale

1. Couplage EA- IRMS (VG Optima, 1995)

2. Couplage MS-GC-IRMS et EA-IRMS (Isoprime 100, 2011)



La notation delta

* Une notation pratique et standardisée

$$\delta X = \left(\frac{R_{\text{échantillon}} - R_{\text{standard}}}{R_{\text{standard}}} \right) \times 1000$$

δ (‰) = déviation entre le RAPPORT isotopique d'un ECHANTILLON et celui d'un STANDARD

Les Standards Internationaux (IAEA Vienne)

Nom	Standard pour	Molécule	Origine
vPDB (Vienna Pee Dee Belemnite)	Carbone et Oxygène	CaCO_3	Calcaire fossile
vSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water)	Hydrogène et Oxygène	H_2O	Mélange d'eaux océaniques (théorique)
azote moléculaire	Azote	N_2	Azote atmosphérique
CDT (Cañon Diablo Troilite)	Soufre	FeS	Roche météoritique

Valeur	Signification
$\delta = 0$	Rapport isotopique de l'échantillon = rapport isotopique du standard
$\delta > 0$	Rapport isotopique échantillon supérieur à celui du standard \Rightarrow isotope lourd plus abondant dans l'échantillon = <u>ENRICHISSEMENT</u> en isotope lourd
$\delta < 0$	Rapport isotopique échantillon inférieur à celui du standard \Rightarrow isotope lourd moins abondant dans l'échantillon = <u>APPAUVRISSEMENT</u> en isotope lourd

Semaine du bon langage isotopique: Ne disez pas disez, disez dites

Ne dites pas	Dites
La composition en $\delta^{13}\text{C}$	La valeur du $\delta^{13}\text{C}$ <u>ou</u> la composition isotopique du carbone
" <i>Heavy (light)</i> " $\delta^{13}\text{C}$	" <i>High (low)</i> " $\delta^{13}\text{C}$
$\delta^{13}\text{C}$ enrichi (appauvri)	Un $\delta^{13}\text{C}$ plus élevé (plus bas)
Une eau isotopiquement appauvrie	Une eau appauvrie en ^{18}O par rapport à ...
Le contenu en ^{13}C a été mesuré	Le rapport isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ a été mesuré

Effets isotopiques

Propriétés physiques et chimiques des différents isotopes d'un élément sont identiques

Mais

Légères différences de comportement dues à masse différentes

⇒ EFFETS ISOTOPIQUES

⇒ FRACTIONNEMENTS ISOTOPIQUES

Fractionnement isotopique

= un changement de la composition isotopique (par exemple):

1. entre substrat(S) et produit(S) d'une réaction chimique
2. entre états/phases d'une molécule donnée
3. au cours de la diffusion d'une molécule

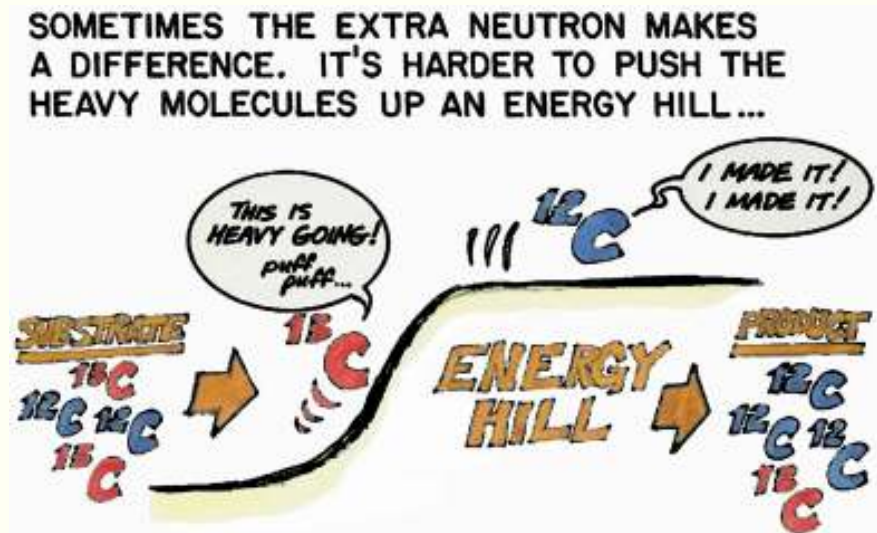
Effets isotopiques car:

l'isotope lourd présente:

a. des vitesses de diffusion plus faibles que l'isotope plus léger

b. des vitesses de réaction/changement d'état plus lentes

c. des énergies de liaison plus grandes



Processus/Réaction	Facteur de fractionnement
Diffusion du CO ₂ dans l'air	1.0044
Effet enzyme Rubisco	≈1.029
Evaporation eau océanique	≈1.013
Glutamine synthétase	≈ 1.016

* "favorise" en général l'isotope léger

* effets isotopiques petits mais mesurables en IRMS

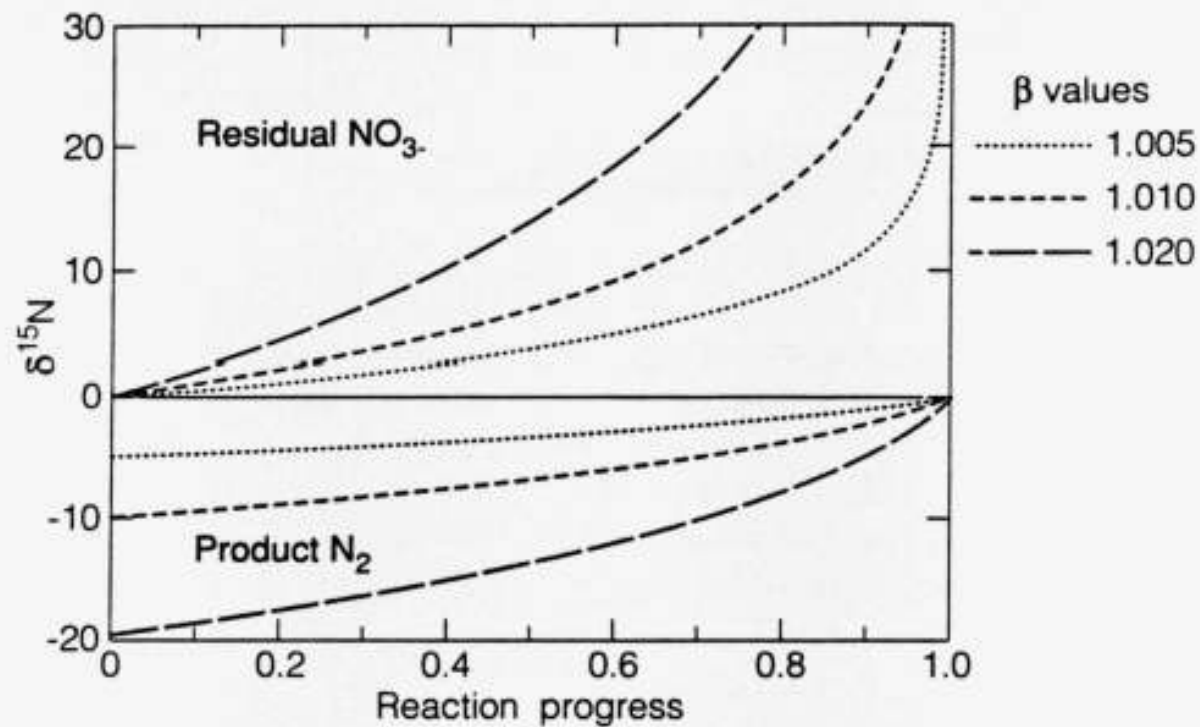


Figure 16.2. Reaction progress vs. the $\delta^{15}\text{N}$ values of residual reactant (NO_3^-) and cumulative product (N_2) resulting from denitrification; calculated using the Rayleigh equation for fractionation factors (β) of 1.005, 1.010, and 1.020. The higher the β value, the higher the $\delta^{15}\text{N}$ of the NO_3^- and the lower the $\delta^{15}\text{N}$ of the N_2 .

Conséquences biologiques

I. Variabilité biochimique

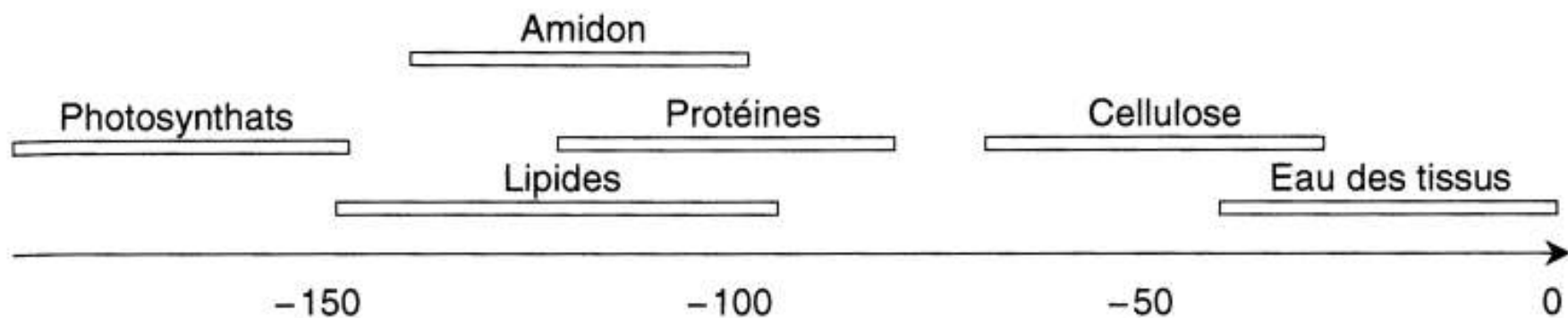


Figure 4 ■ Distribution grossière de la composition isotopique δD de différents constituants des plantes. Il s'agit d'une échelle relative, où l'eau a une valeur maximum arbitraire de 0 ‰. La cellulose mentionnée dans ce schéma est celle des cernes d'arbres.

II. Fractionnement isotopique lié à l'alimentation

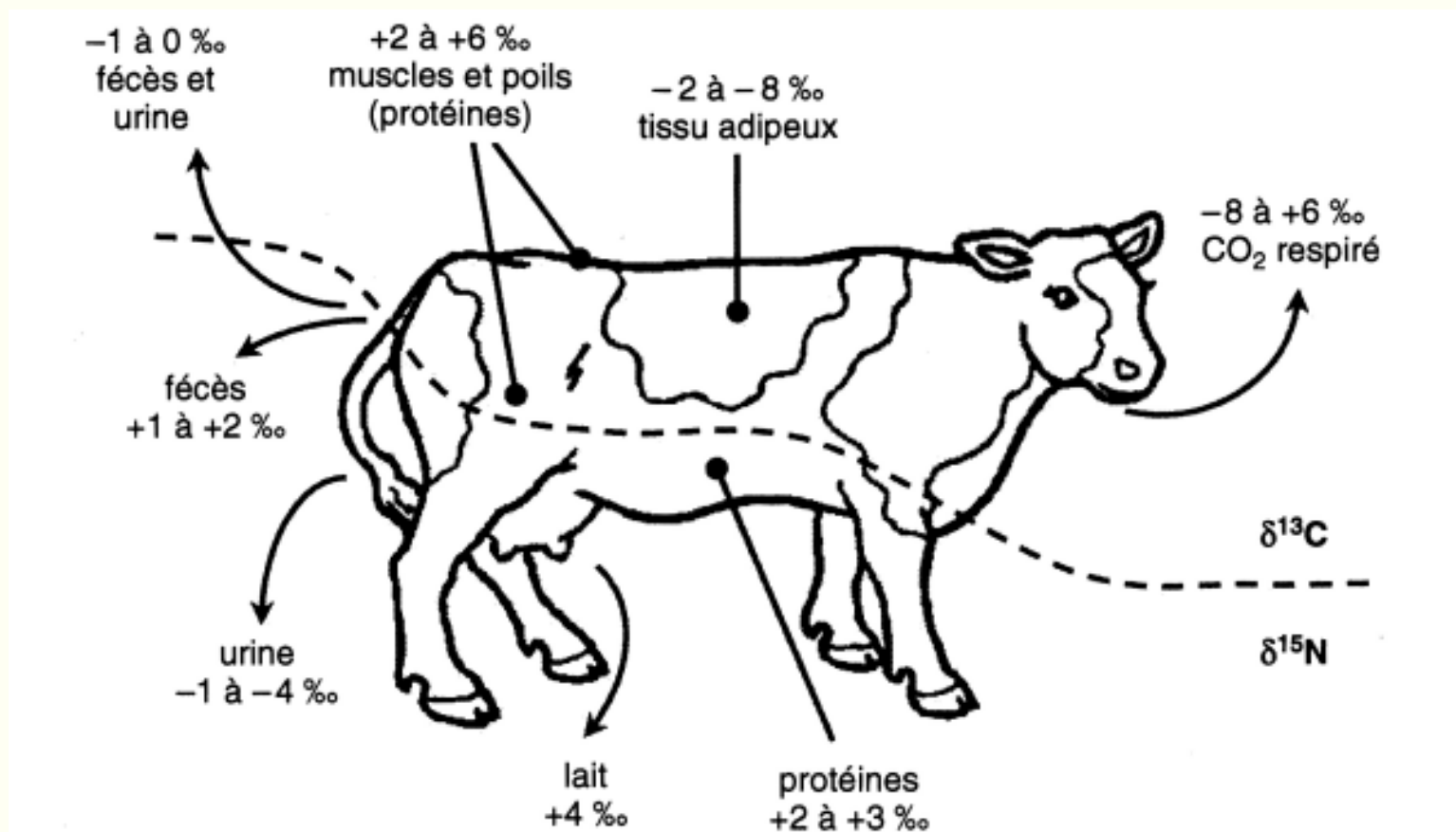


Figure 13 ■ Enrichissement (nombre positifs) ou appauvrissements (nombres négatifs) de différents constituants ou excréments animaux par rapport à la composition isotopique de l'alimentation. ^{13}C dans la partie supérieure et ^{15}N dans la partie inférieure.

Source: Tcherkez 2011

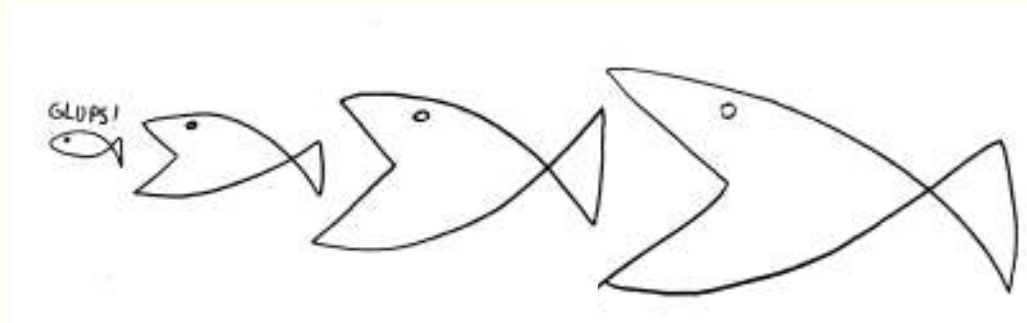
Attention en Ecologie trophique

fractionnement = différence de signatures isotopiques entre les tissus d'un consommateur et sa nourriture

= le résultat net (+ et -) des fractionnements multiples induits par le métabolisme de l'animal

* Souvent noté Δ

Application 1: Etude des réseaux trophiques



Source: adapté de Nyssen 1997

A. Problématique Herbier de posidonies

- * Production primaire et sa destinée
- * Sources de matière organique nombreuses



Epiphytes



- * Contenus stomacaux = nourriture ingérée

B. Composition isotopique des sources "primaires"

* Importance des processus d'acquisition et fixation des éléments inorganiques

* Composition isotopique déterminée par:

_1. composition isotopique de la source

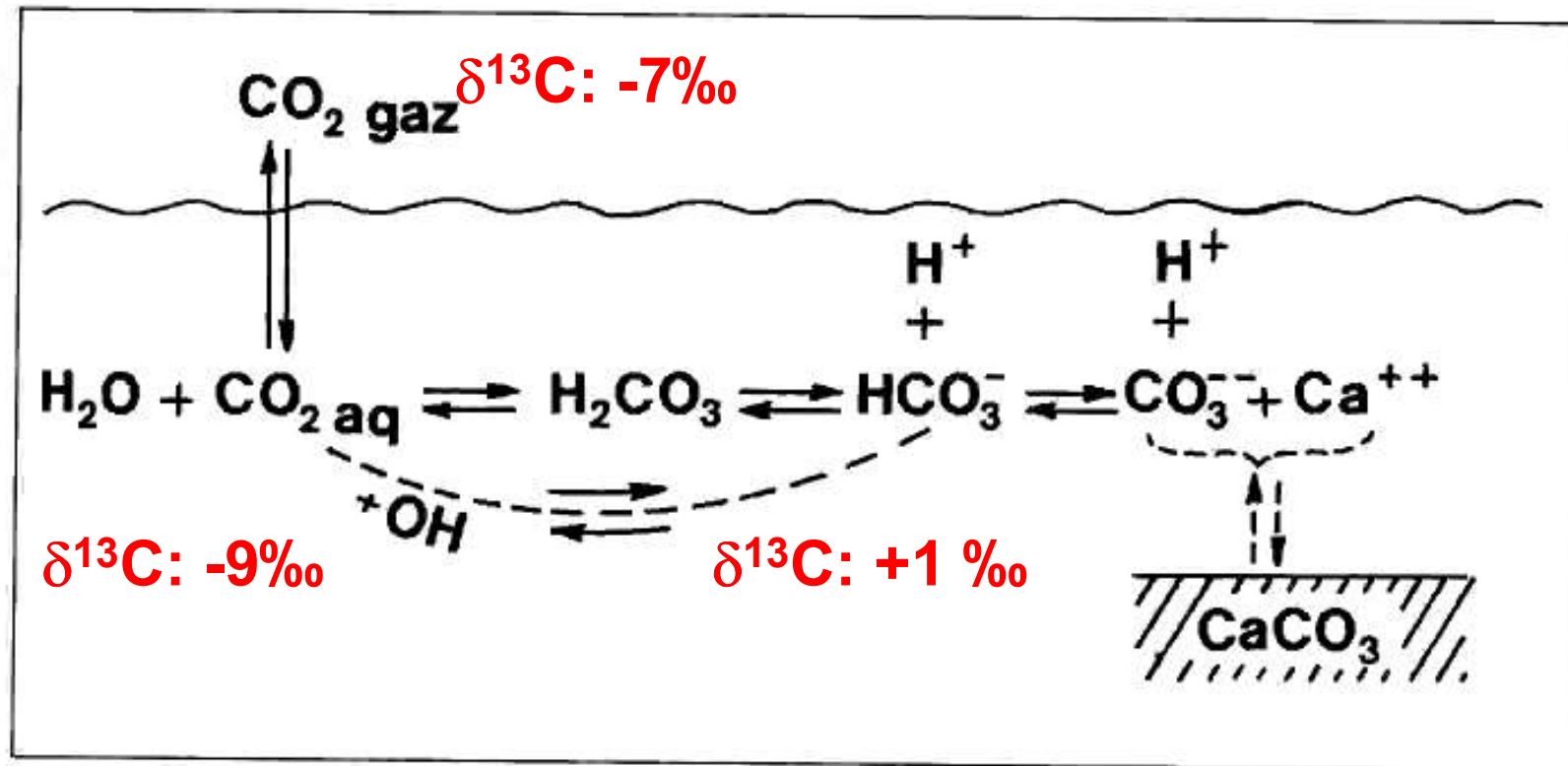
_2. fractionnement isotopique lors des processus

Exemple: Photosynthèse

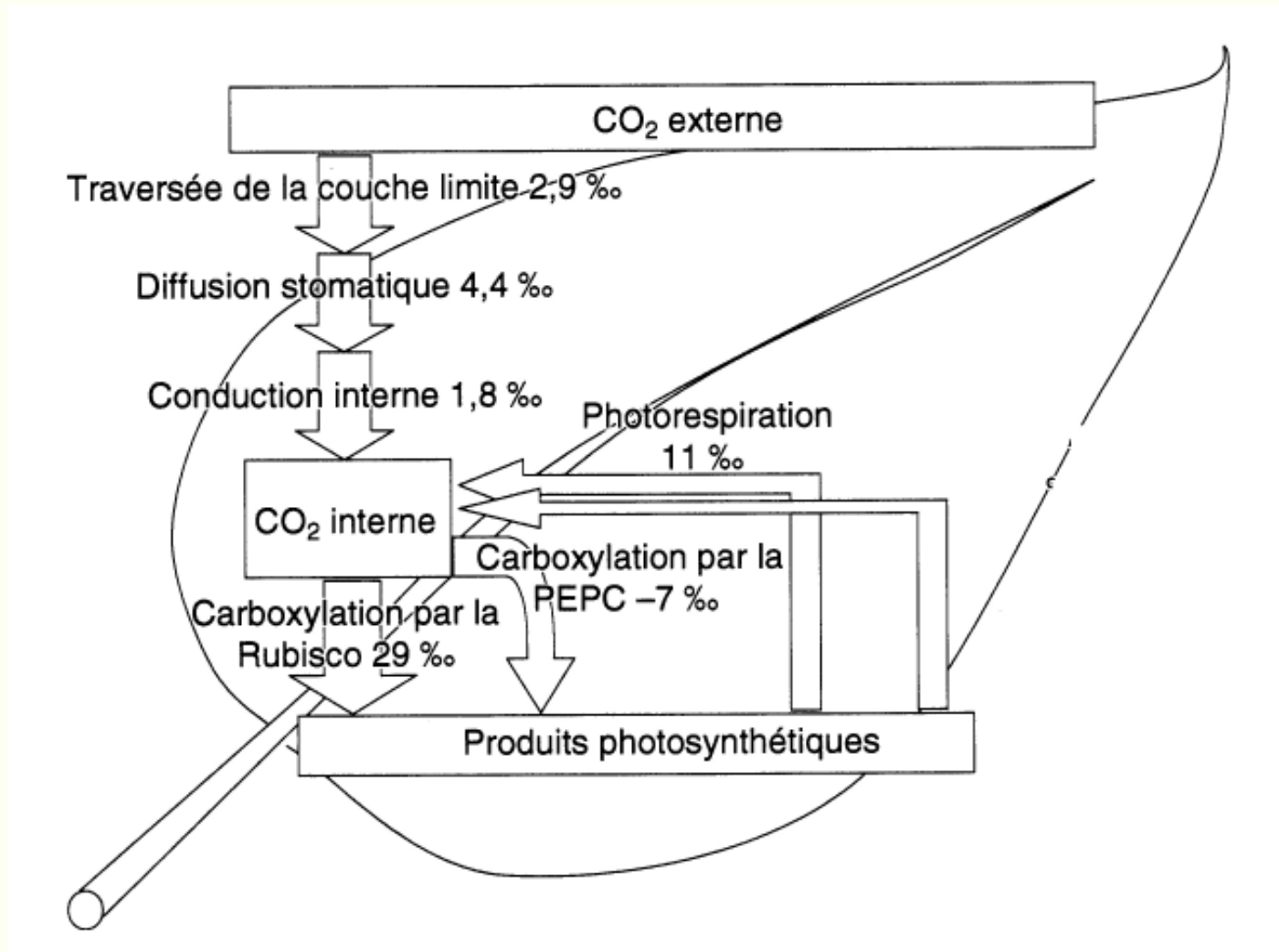


Noms	$\delta^{13}C$ (‰)
Plantes terrestres C3	$\approx -28\text{‰}$ (de -36 à -20‰)
Plantes terrestres C4	$\approx -14\text{‰}$ (de -20 à -10‰)
Phytoplancton marin	de -35 à -15‰
Macroalgues marines	de -40 à -5‰
Phanérogames marines	de -20 à -3‰

Effet composition isotopique de la source inorganique

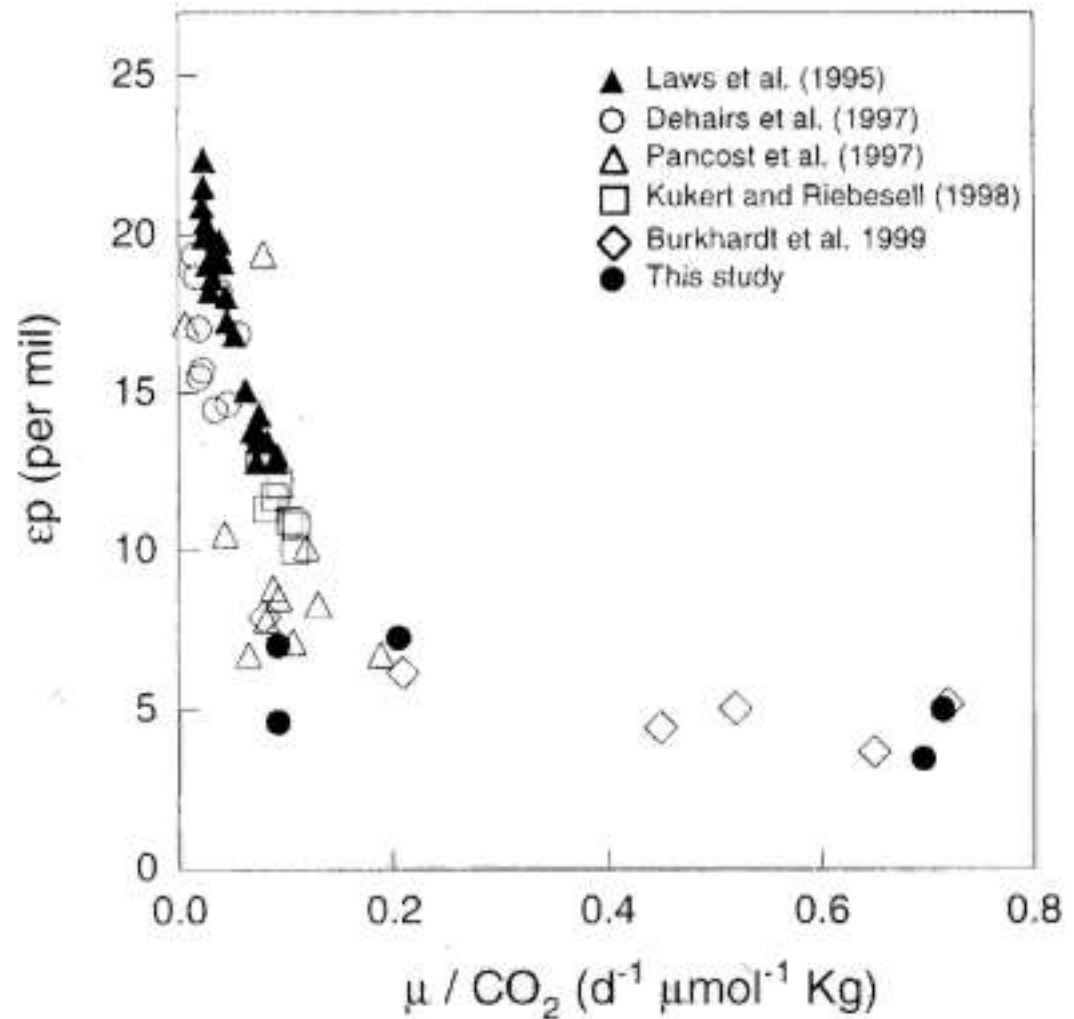


Effet des Fractionnements Isotopiques



en milieu marin

* Fractionnement souvent contrôlé par le taux du processus ou le rapport demande/offre



Phytoplankton

C. Etudes du réseau trophique

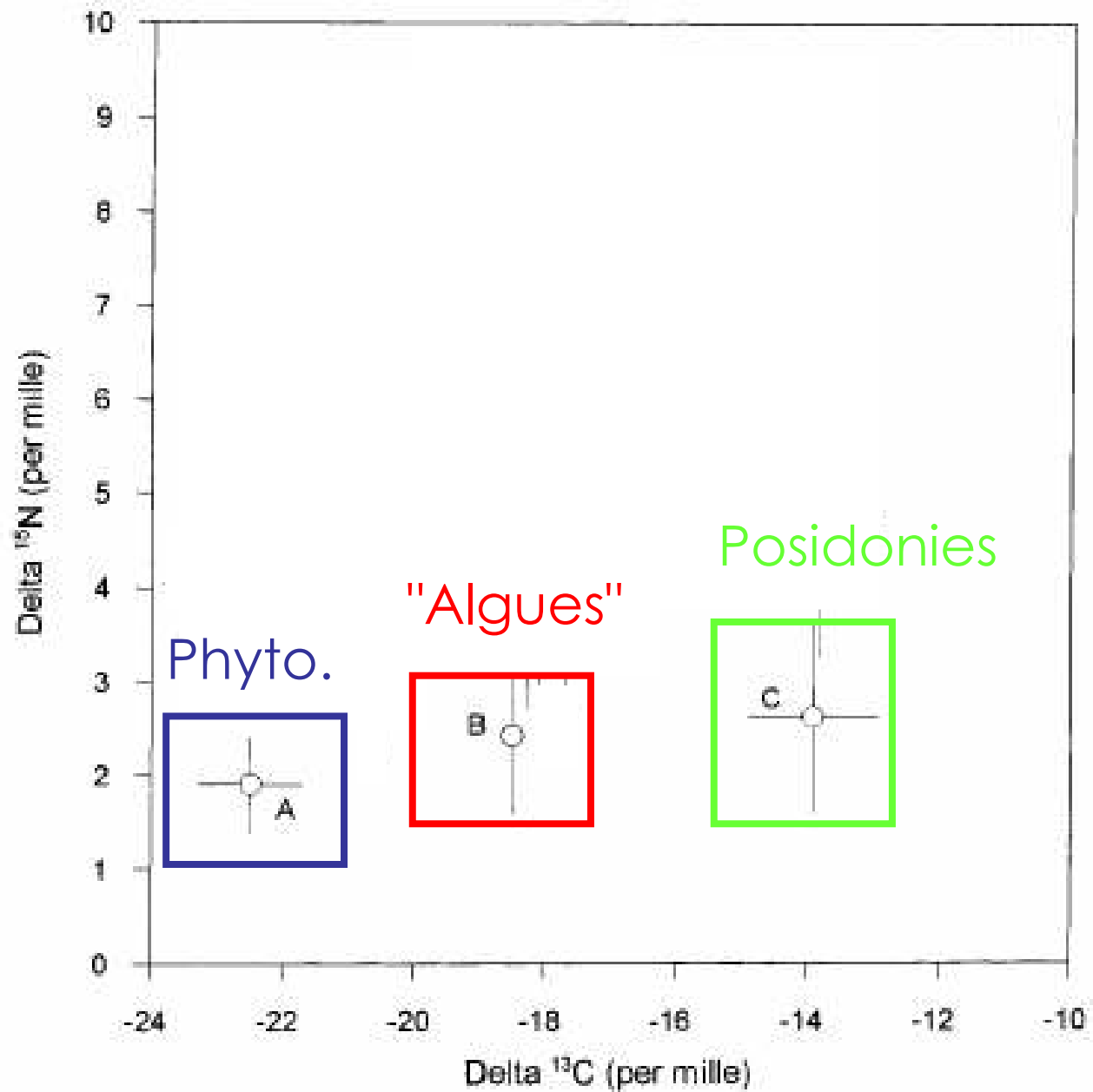
- * Démarche générale
- * Comparaison avec biocénoses algales



Les sources de nourritures primaires

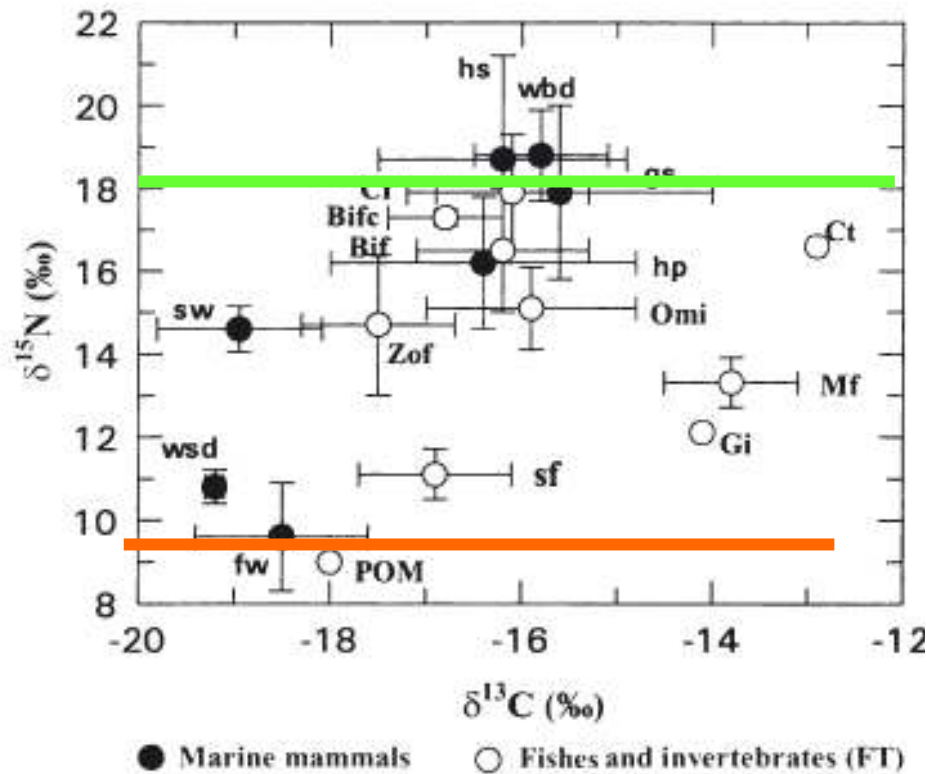
Biota	Groups	Species	<i>n</i>	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	
Rocks	Macroalgae	Green algae	<i>Acetabularia acetabulum</i>	3	2.1 ± 1.1	-11.1
			<i>Cladophora prolifera</i>	1	4.0	-17.5
			<i>Codium bursa</i>	6	3.1 ± 1.2	-10.3 ± 0.7
			<i>Halimeda tuna</i>	3	1.3 ± 0.3	-19.3 ± 1.7
			<i>Udotea petiolata</i>	16	1.8 ± 0.9	-32.6 ± 1.1
	Brown algae		<i>Dictyota</i> spp.	30	3.6 ± 1.7	-17.4 ± 1.4
			<i>Halopteris scoparia</i>	43	1.8 ± 1.2	-20.7 ± 1.7
			<i>Nematochrisopsis</i> sp.	2	4.0 ± 0.3	-25.4 ± 0.6
			<i>Padina pavonica</i>	5	4.3 ± 0.8	-11.9 ± 1.1
	Red algae		<i>Corallina</i> sp.	4	3.8 ± 0.4	-18.1 ± 2.6
			<i>Peysonelia</i> sp.	8	3.2 ± 0.9	-21.7 ± 2.6
			<i>Sphaerococcus coronopifolius</i>	3	2.4 ± 0.4	-33.4 ± 1.3
		Dominant algae	Weighted averages		1.8	-18.3
Sea grass bed	Phanerogam	<i>Posidonia oceanica</i> (living leaves)	28	2.6 ± 1.0	-13.9 ± 1.0	
		<i>Posidonia</i> leaf epifauna (fixed epifauna)	6	3.4 ± 0.6	-19.4 ± 0.8	
	Epiphytic algae	<i>Posidonia</i> leaf epiflora	6	3.0 ± 0.9	-18.6 ± 1.9	
Water column		Organic suspended particulate matter	19	1.9 ± 0.5	-22.5 ± 0.8	

Agrégation des sources primaires



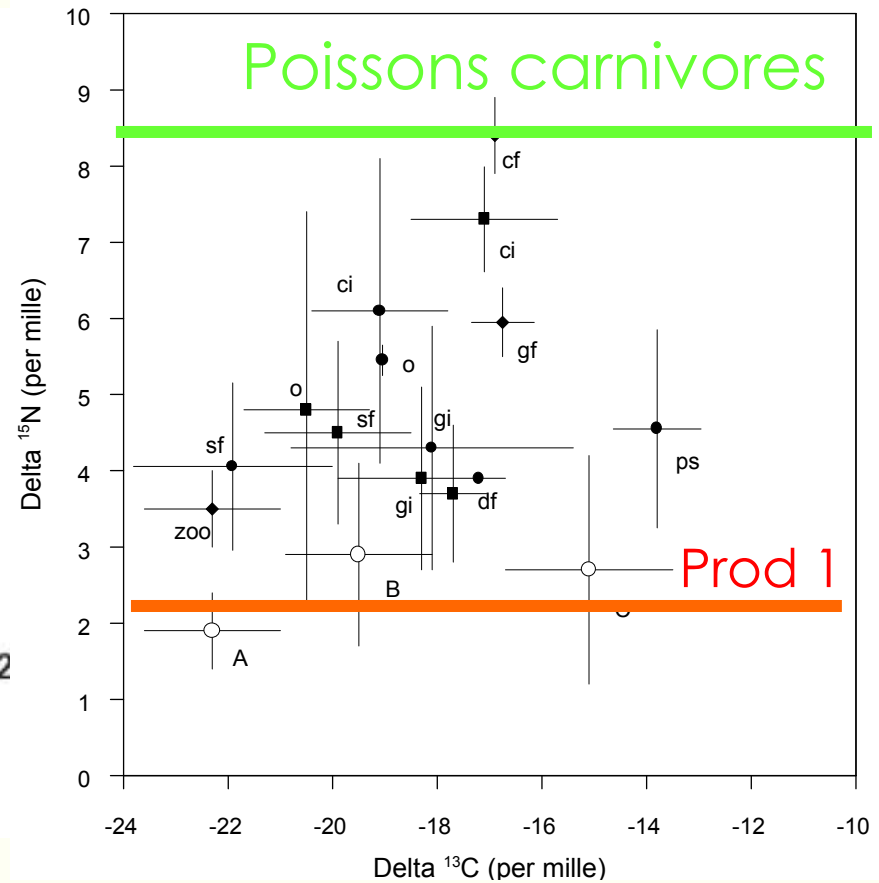
Variabilité du niveau de base

Mer du Nord



Das et al. MEPS 2003

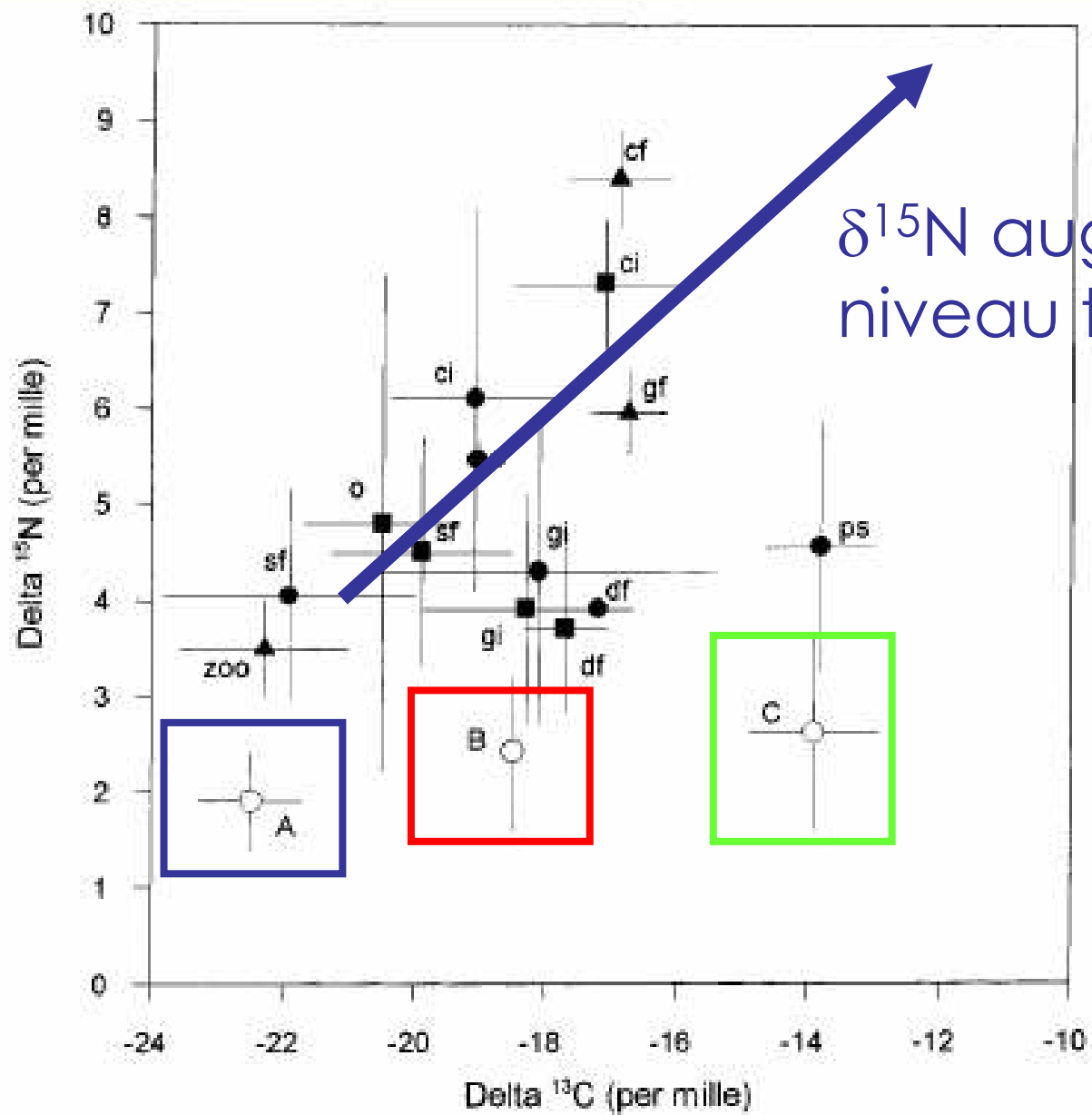
Méditerranée



Lepoint et al. Mar Biol 2000

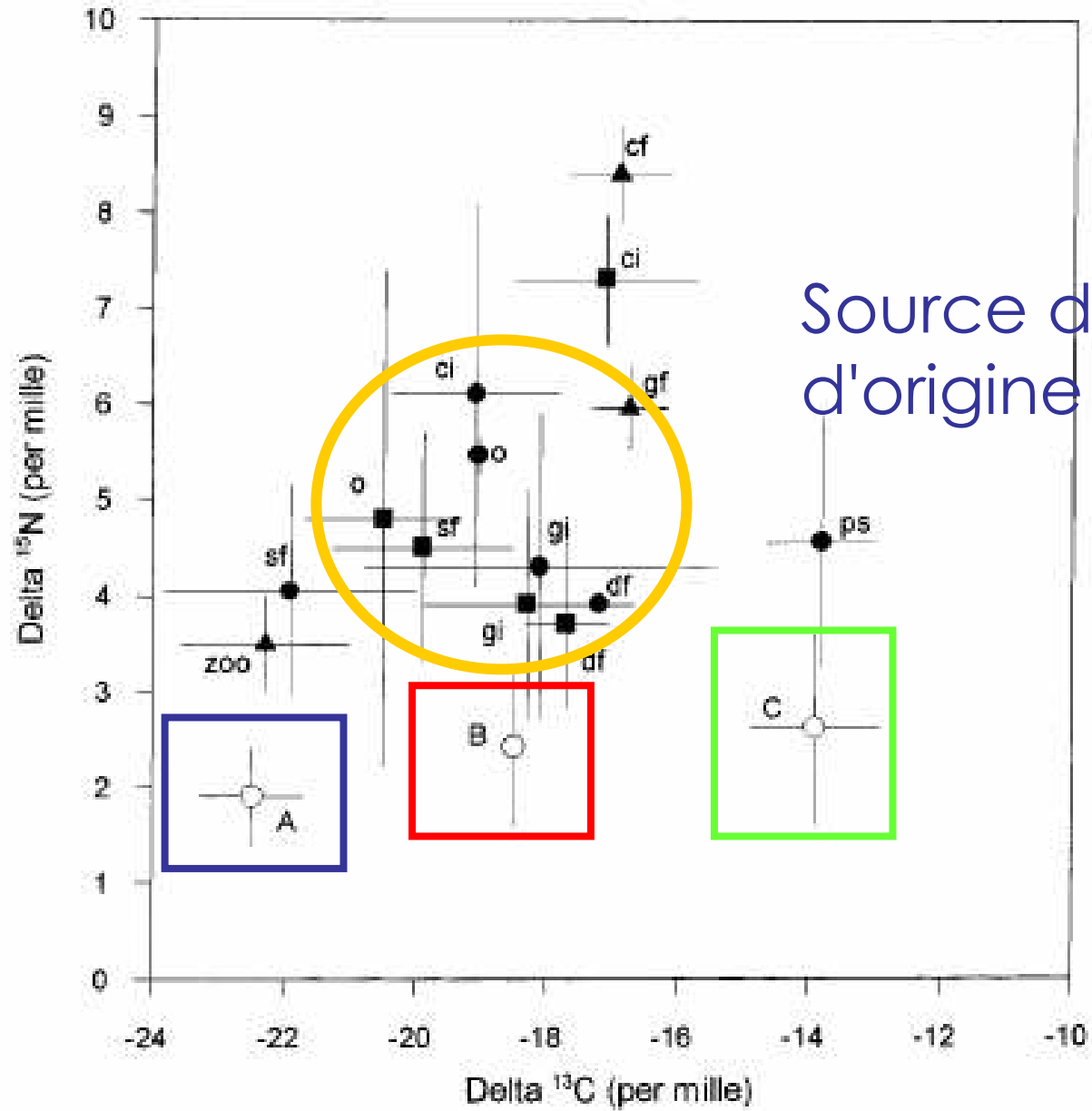
Les consommateurs

Biota, group	Species	FFG	n	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	
Seagrass bed						
	Fixed leaf epifauna	sf	15	3.4 ± 1.3	-19 ± 1.7	
Sponge	<i>Crambe crambe</i>	sf	1	4.2	-22.2	
Cnidarian	<i>Cerianthus</i> sp.	ci	1	8.5	-18.0	
Echiurian	<i>Bonellia veridis</i>	df	1	3.9	-17.2	
Annelid	<i>Sabella pavonina</i>	sf	1	3.4	-20.9	
Mollusc	<i>Pecten</i> sp.	sf	2	5.3 ± 0.3	-19.5 ± 1.4	
	<i>Bittium reticulatum</i>	gi	2	3.2 ± 0.3	-18.0 ± 1.2	
	<i>Calliostoma</i> sp.	gi	1	5.1	-14.6	
	<i>Emarginula</i> sp.	gi	1	4.1	-16.2	
	<i>Gibbula</i> sp.	gi	1	3.3	-16.5	
	<i>Jujubinus</i> sp.	gi	1	2.9	-18.3	
	<i>Rissoa auriscalpium</i>	gi	2	3.6 ± 0.1	-19.2 ± 3.5	
	<i>Tricolia</i> sp.	gi	2	3.4 ± 1.3	-14.2	
	<i>Aplysia punctata</i>	gi	2	2.5 ± 1.8	-24.2 ± 5.9	
	Crustacean	Nudibranch (mixed species)	ci	1	3.7	-20.0
		Amphipods (mixed species)	gi	2	3.5 ± 0.2	-20.1 ± 1.0
		Isopods (mixed species)	gi	1	8.7	-17.2
		<i>Idotea</i> sp.	gi	2	4.1	-15.1 ± 1.3
<i>Sphaeroma</i> sp.		gi	1	3.7	-19.1	
Mysidiaceae (mixed species)		sf	2	6.0	-23.1 ± 1.4	
Paguridae (mixed species)		o	7	5.3 ± 1.1	-19.1	
Galatheidae (mixed species)		o	1	5.6	-19.0	
<i>Thoralus cranchii</i>		gi	2	4.6 ± 0.4	-18.6 ± 0.6	
<i>Hippolyte inermis</i>		gi	2	6.4 ± 0.3	-18.3 ± 0.1	
Bryozoan	<i>Palaemon</i> sp.	ci	3	7.8 ± 1.2	-17.5 ± 0.7	
	<i>Electra posidoniae</i> (leaf epiphytes)	sf	2	4.7 ± 1.6	-22.6	
Echinoderm	<i>Asterina gibbosa</i>	ci	2	5.0 ± 1.3	-20.1 ± 0.4	
	<i>Holothuria stellati</i>	ps	1	3.6	-14.4	
	<i>Holothuria tubulosa</i>	ps	8	5.5 ± 1.0	-13.2 ± 1.7	
Tunicate	<i>Sphaerechinus granularis</i>	gi	2	5.3 ± 2.4	-22.1 ± 1.1	
	Didemnidae (leaf epiphytes)	sf	1	3.5	-25.3	
	<i>Botryllus schlosserii</i> (leaf epiphytes)	sf	1	2.5	-22.3	
Water column						
Crustacean (mainly)	Zooplankton	sf	20	3.5 ± 0.5	-22.3 ± 1.3	
Fish	<i>Cantharus cantharus</i>	cf	1	8.5	-17.0	
	<i>Coris julis</i>	cf	2	9.1 ± 0.4	-17.0 ± 0.4	
	<i>Diplodus anularis</i>	cf	2	8.2 ± 0.4	-17.9 ± 1.5	
	<i>Mullus surmulletus</i>	cf	1	8.6	-15.2	
	<i>Oblada melanura</i>	cf	3	8.5 ± 0.9	-17.6 ± 1.3	
	<i>Sarpa salpa</i> (young)	gf	8	5.4 ± 0.4	-17.4 ± 0.6	
	<i>Sarpa salpa</i> (adult)	gf	3	6.5 ± 0.5	-16.1 ± 0.6	
	<i>Scorparia porcus</i> (young)	cf	2	7.5 ± 0.1	-16.6 ± 0.1	

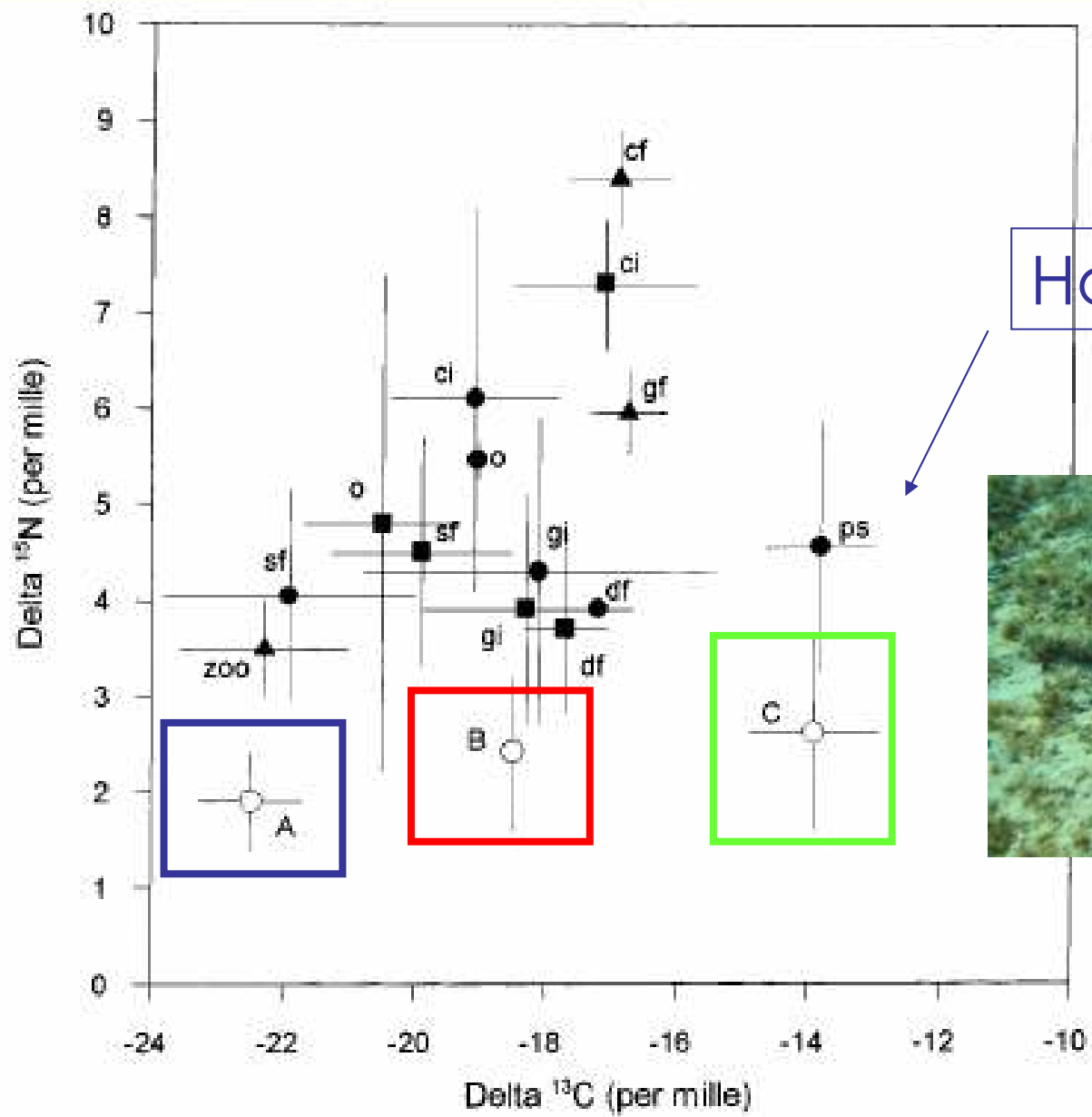


$\delta^{15}\text{N}$ augmente avec le niveau trophique

Source: Lepoint et al. 2000



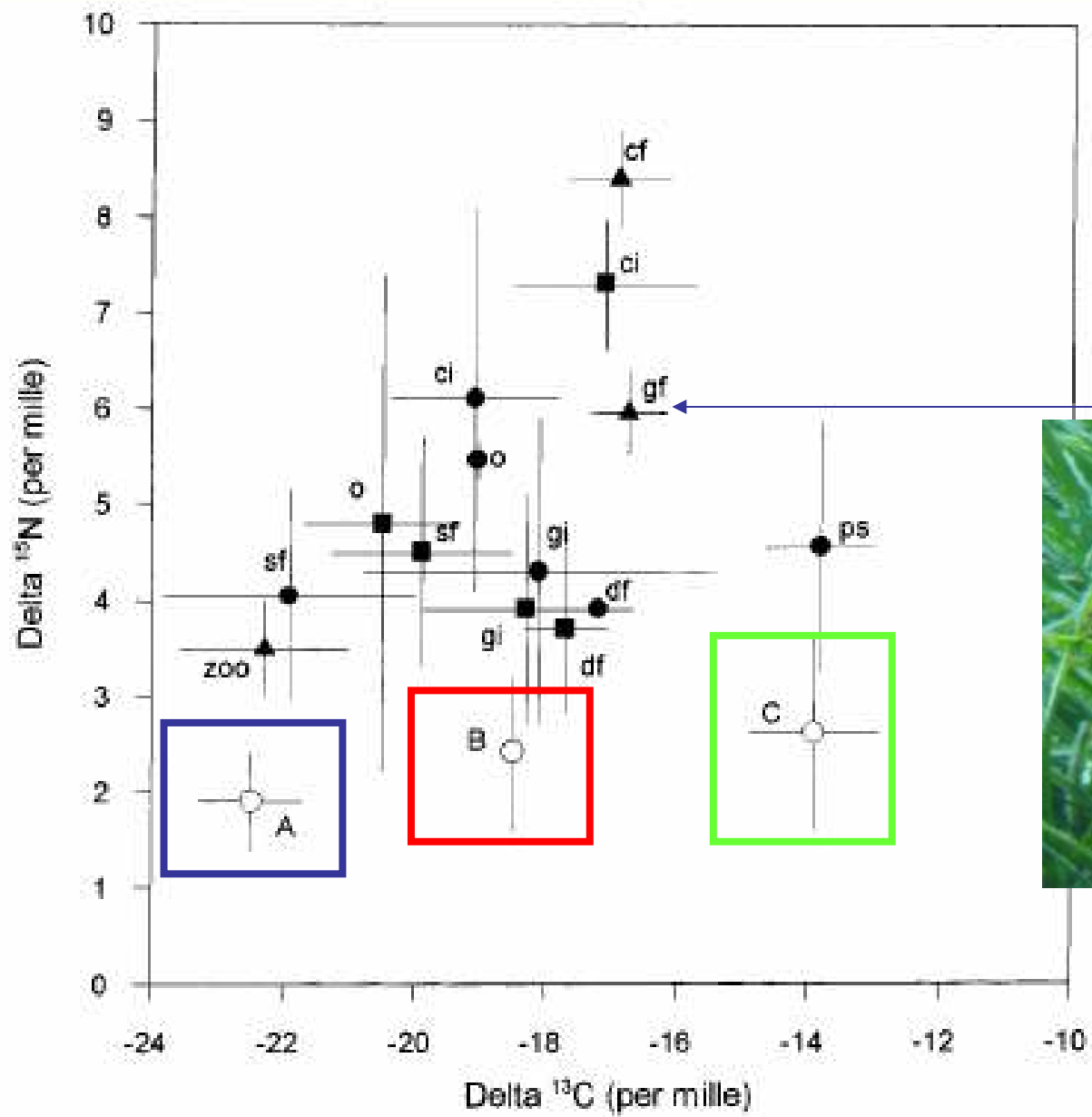
Source de carbone
d'origine algale

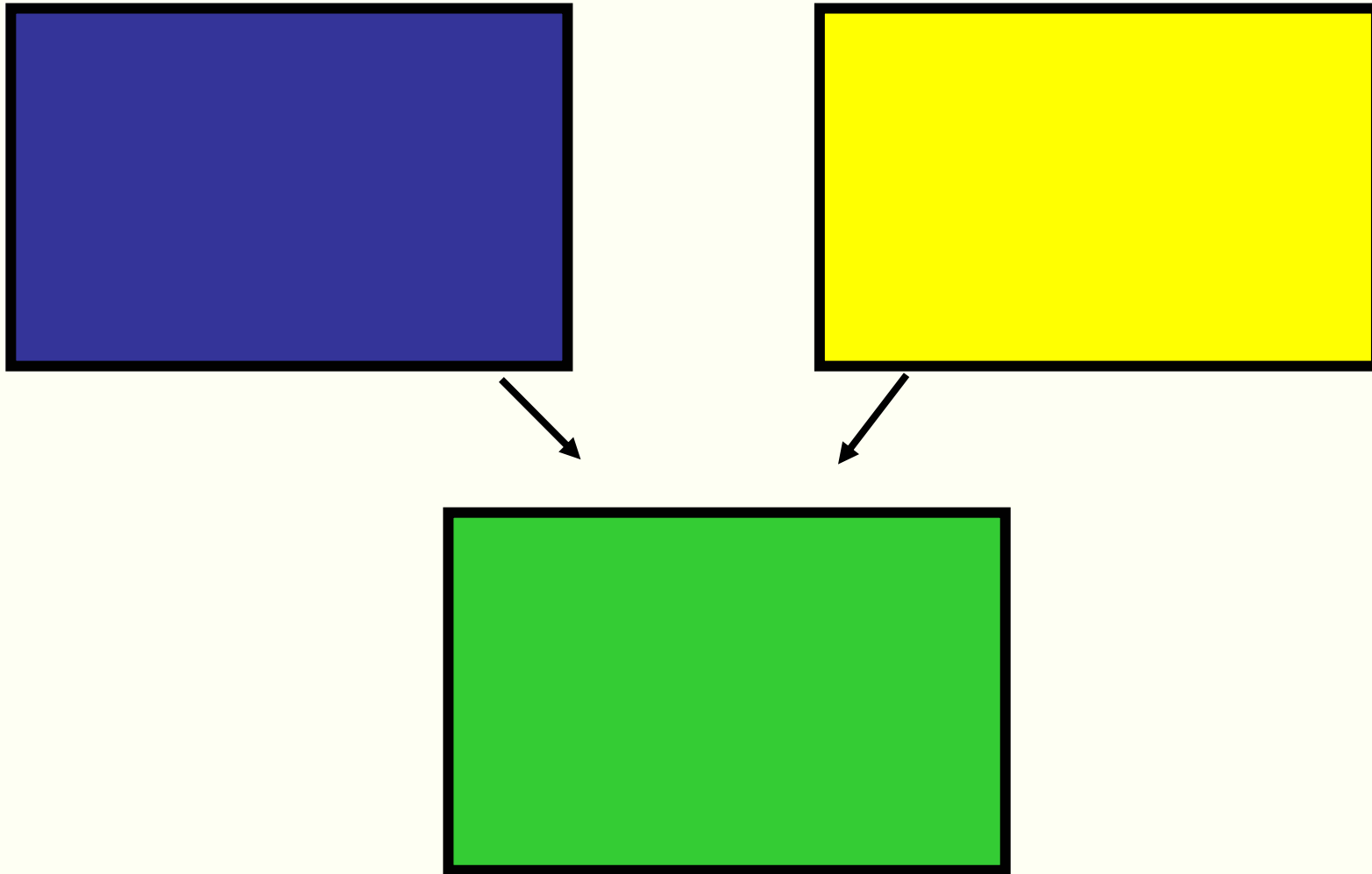


Holothurians



Saupes





Loi des mélanges applicables:
"YOU ARE WHAT YOU EAT"

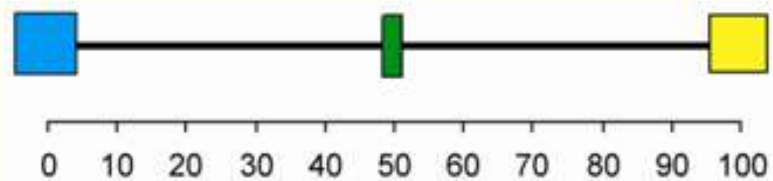
Equation de mélange pour 2 sources:

$$f_1 + f_2 = 1$$

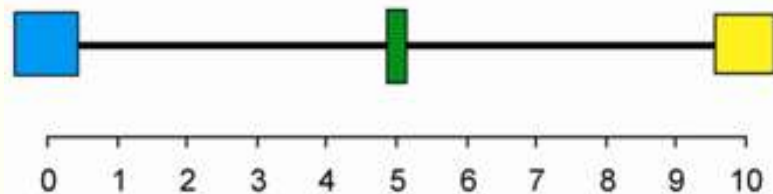
$$\delta m = (\delta_{source_1} \times f_1) + (\delta_{source_2} \times f_2)$$

Source A

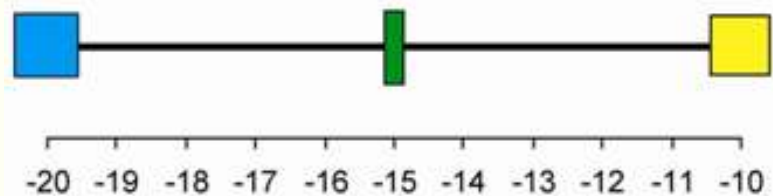
Source B



%

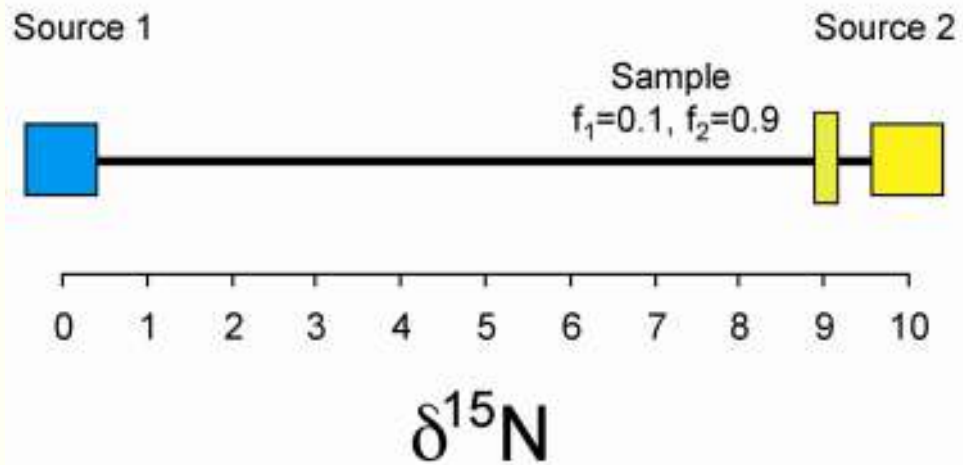
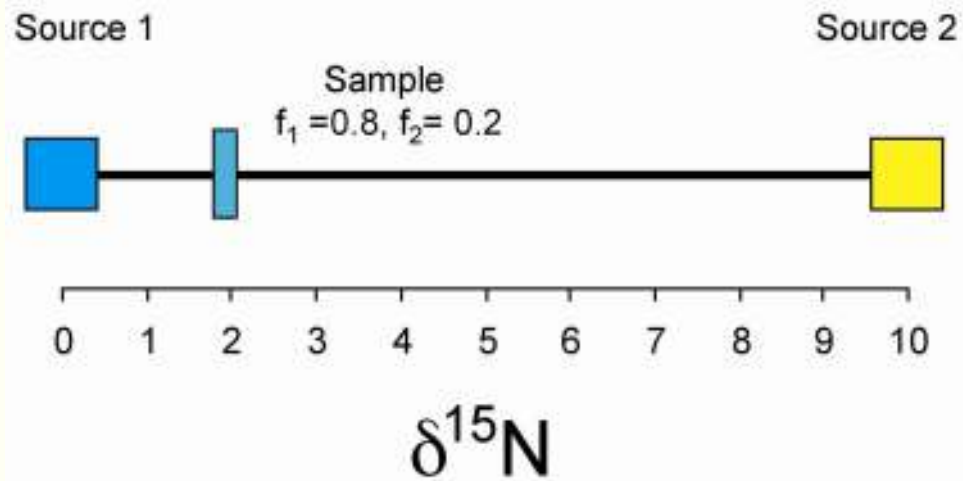


$\delta^{15}\text{N}$



$\delta^{13}\text{C}$

Source: Fry 2006



Source: Fry 2006

Equation de mélange pour n sources:

$$\delta_m = (f_a \delta_a + f_b \delta_b + f_c \delta_c + \dots)$$

⇒ Modèles de mélange complexes ne donnant pas de solution unique

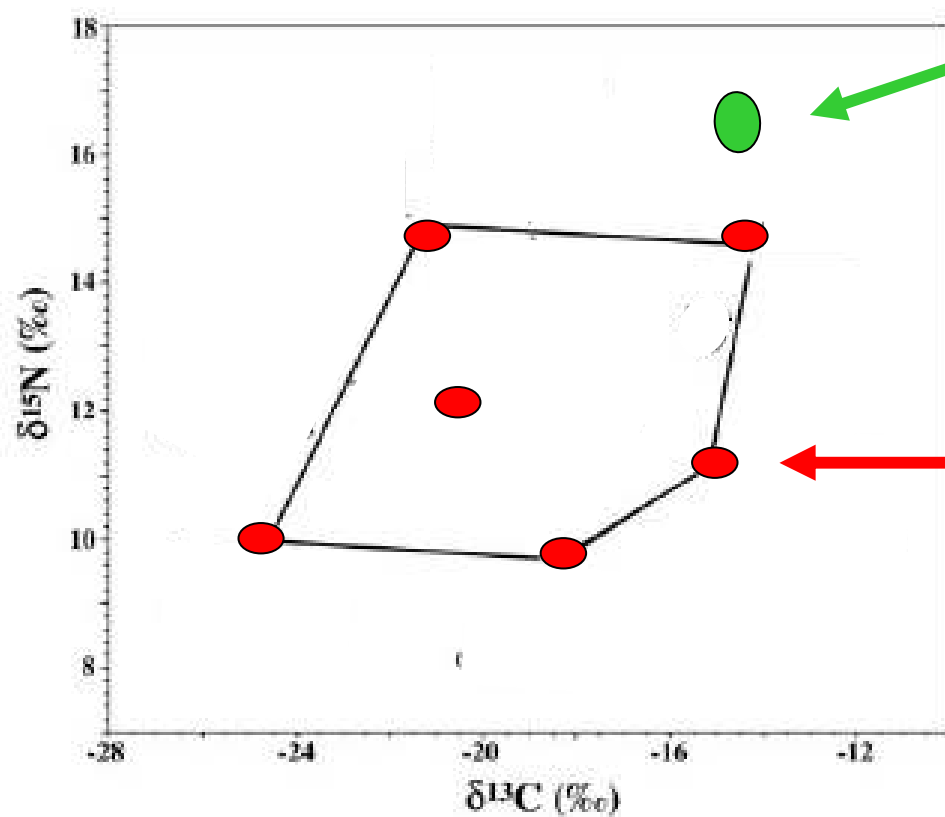
Exemples:

A. Isosource (Philips & Gregg 2001)

(www.epa.gov/wed/pages/models/isotopes/isosource.htm)

B. SIAR (Parnell et al. (2010)

(cran.r-project.org/web/packages/siar)

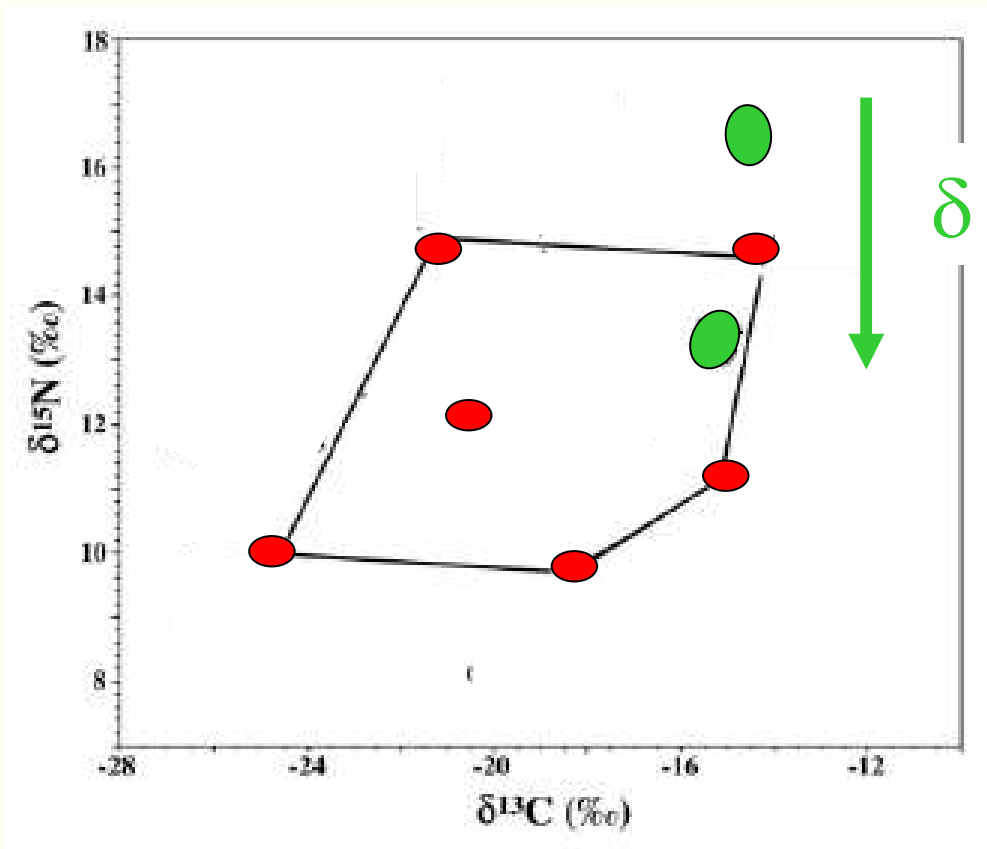


δ consommateur

Sources de
nourriture
potentielles

Fig. 4 Mixing polygon for $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ signatures of seven food sources for spring coastal mink in SE Alaska (after correcting for trophic fractionation). Histograms show the distribution of feasible contributions from each source to the mink diet (M). Values shown in the boxes are 1–99 percentile ranges for these distributions.

Source: Philips & Gregg, 2003)



δ consommateur - Δ
 Δ = fractionnement isotopique

⇒ You are what you eat... plus few per mille

Source: Philips & Gregg, 2003

Problématique du fractionnement isotopique

⇒ You are what you eat... plus few per mille

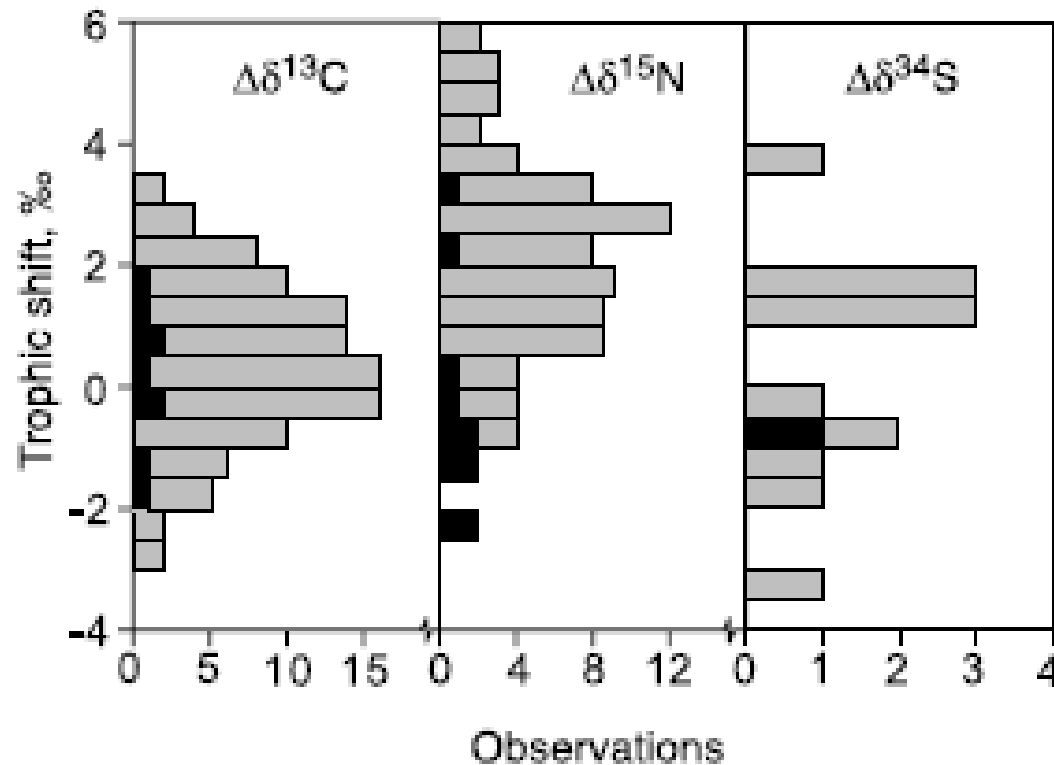
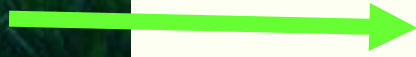


Fig. 1. Histograms for estimates of trophic shift for C, N, and S. Fluid-feeding consumers are indicated by dark bars. Statistical outliers (see Table 1 and Appendix 1) are not included.

Source: McCutchan et al. 2002

Macrophytodétritus exportés



* Accumulation colonisée par "Détritivores"

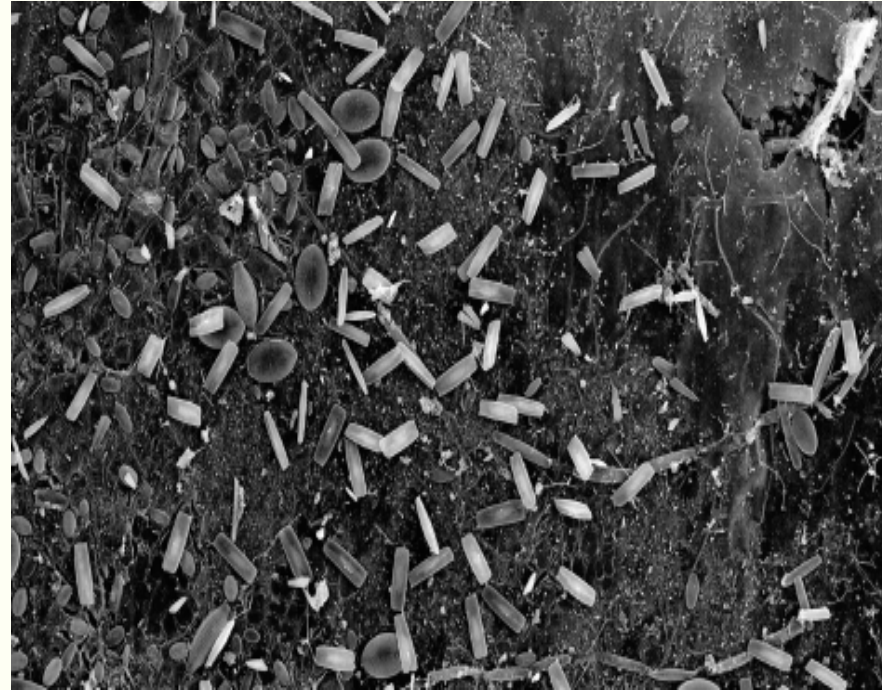


Amphipode des litières de Posidonies

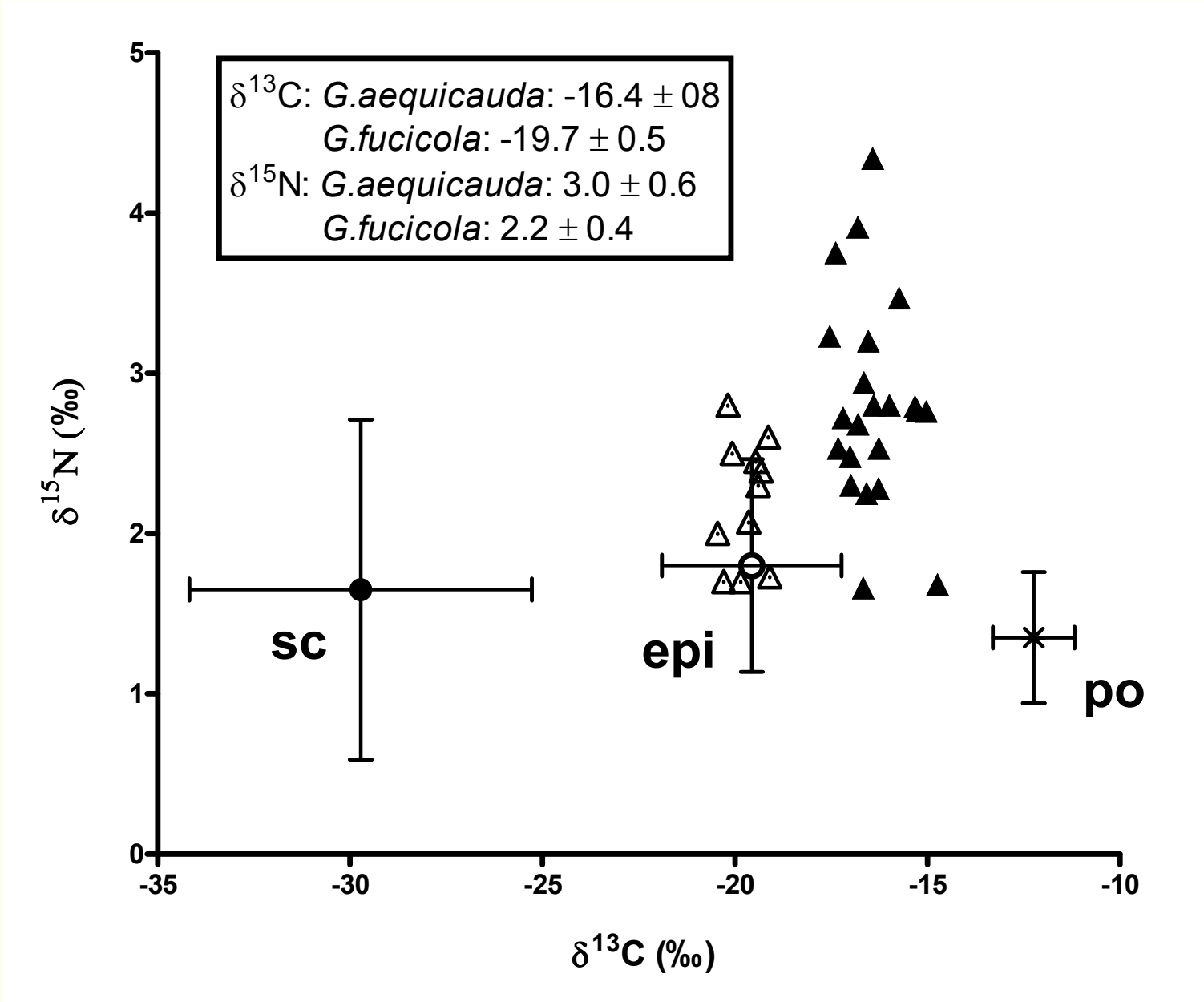
* Contenus stomacaux: pièces de *P. oceanica* en proportions variables selon espèce

* Nourriture ingérée = nourriture assimilée?

Autres Sources de nourritures potentielles

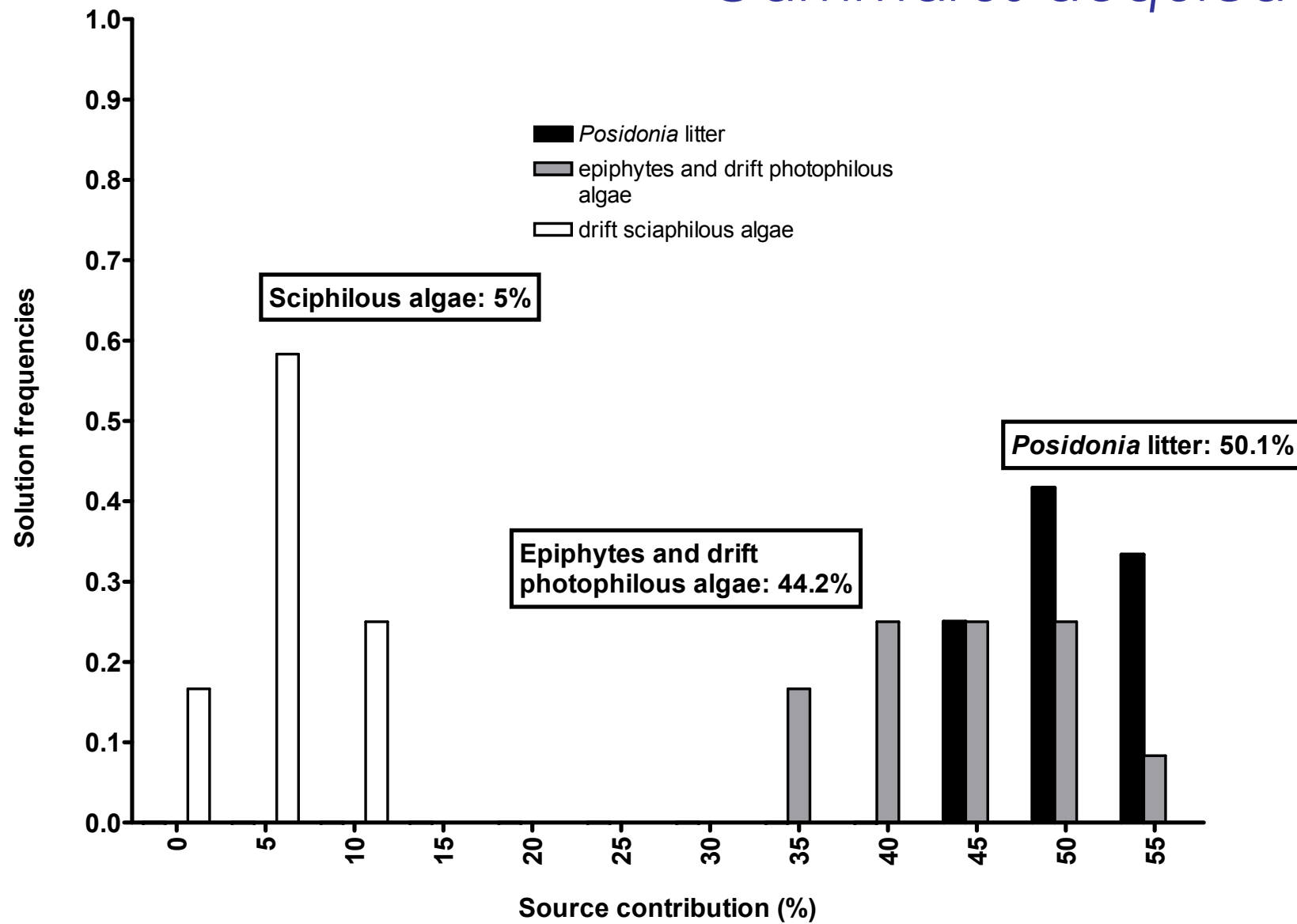


+ autres macrophytodetrititus (algues,...)



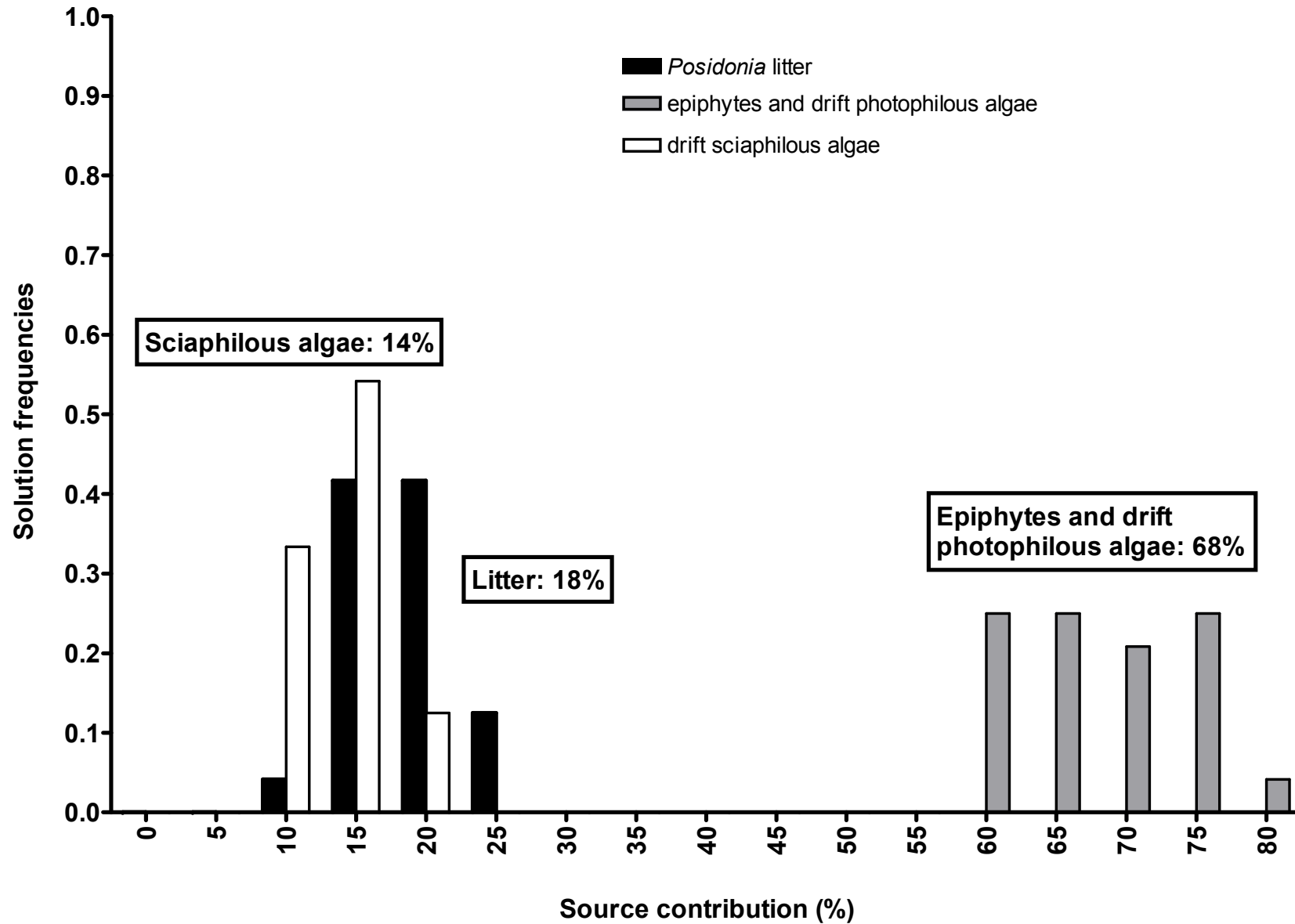
Source Lepoint et al. 2006

Gammarus aequicauda



Source Lepoint et al. 2006

Gammarella fucicola





Idotea baltica

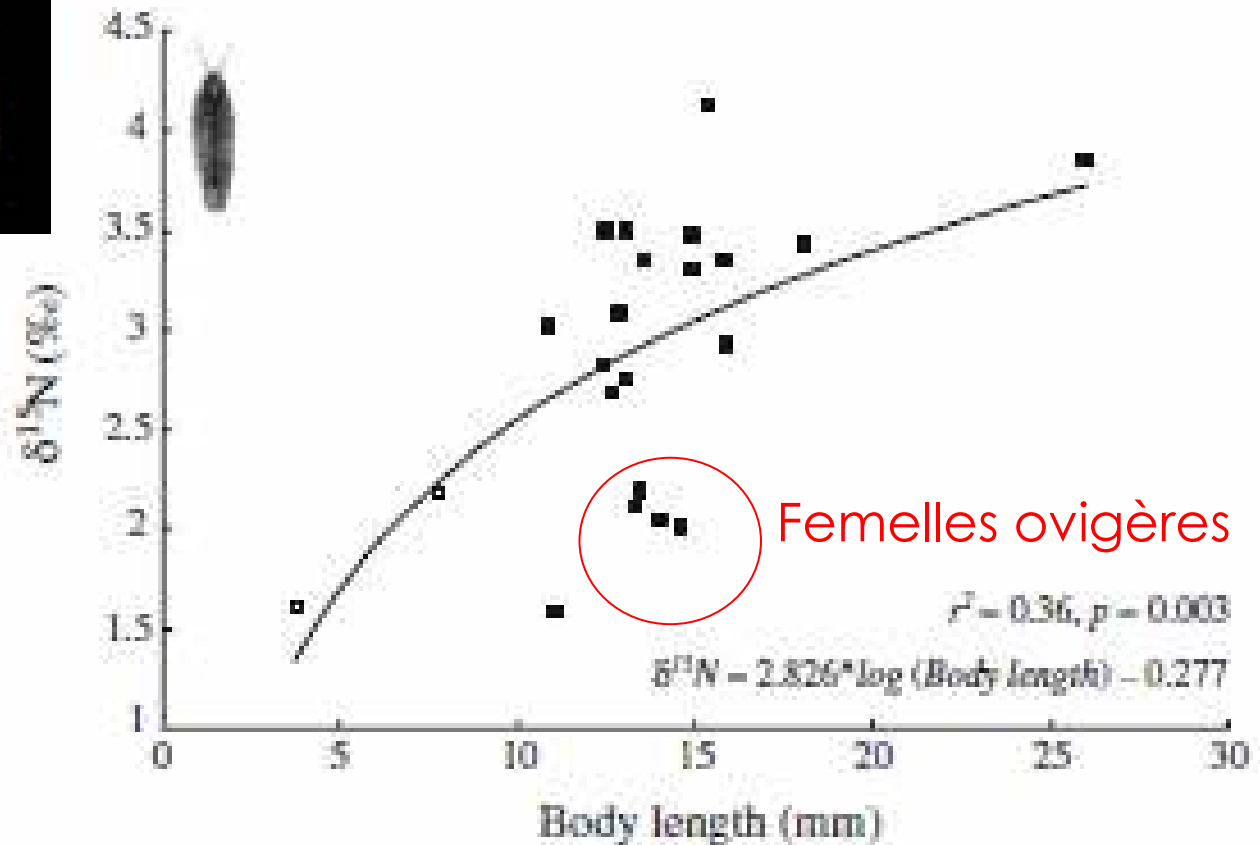


Fig. 3 Correlation between body length and $\delta^{15}\text{N}$ values of *Idotea baltica*. Black and white colours indicate values for individual and pooled specimens, respectively

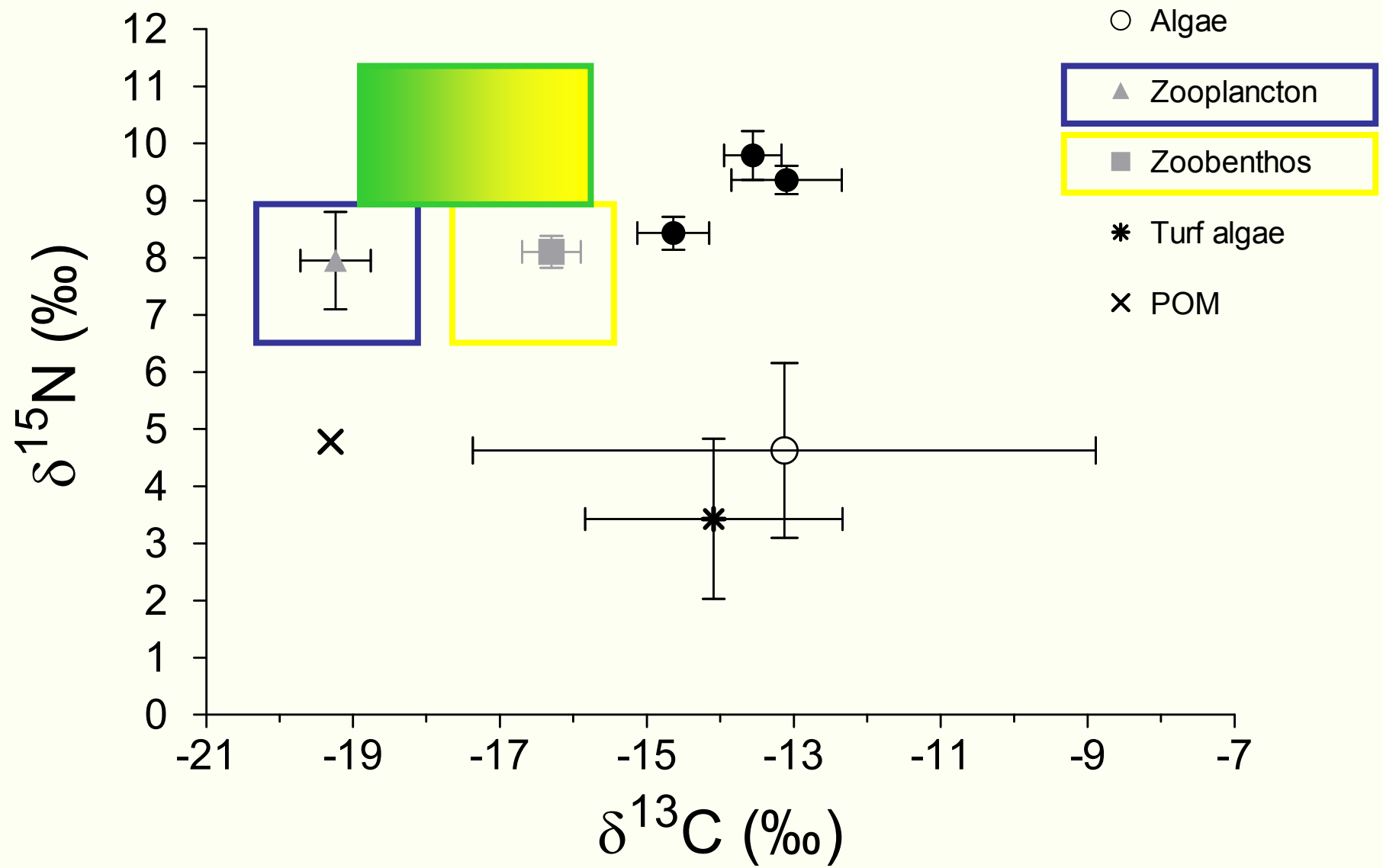
Source: Sturaro et al. 2010

Application 2:
Etude de la variabilité
trophique intraspécifique
(individuelle, populationnelle)
et interspécifique

* Niche trophique = aspect alimentaire de la niche écologique d'un animal



Diversité trophique des Poissons Demoiselles d'un récif corallien



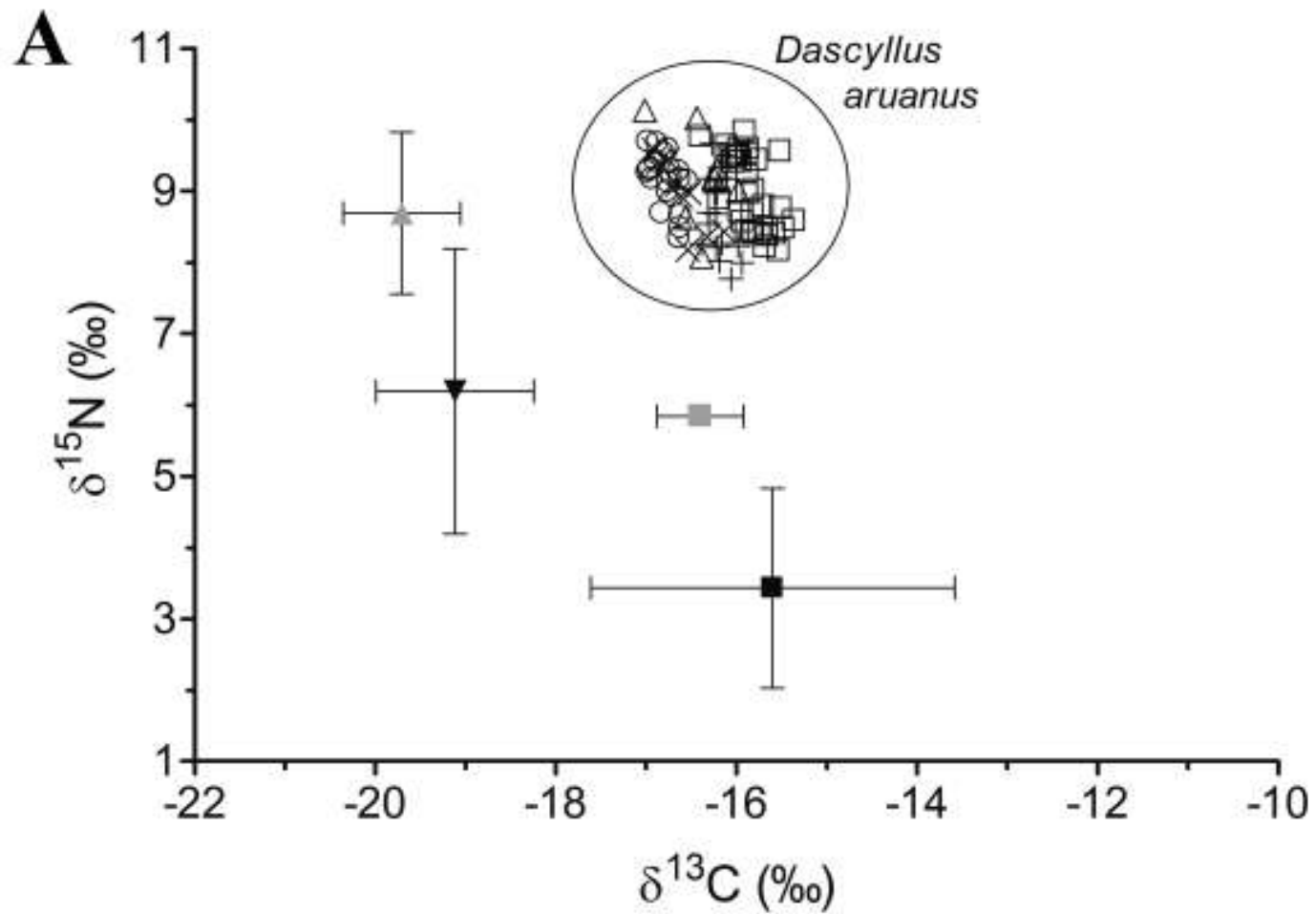
Source: Frédéricich et al. 2008

Variabilité alimentaire intra-spécifique



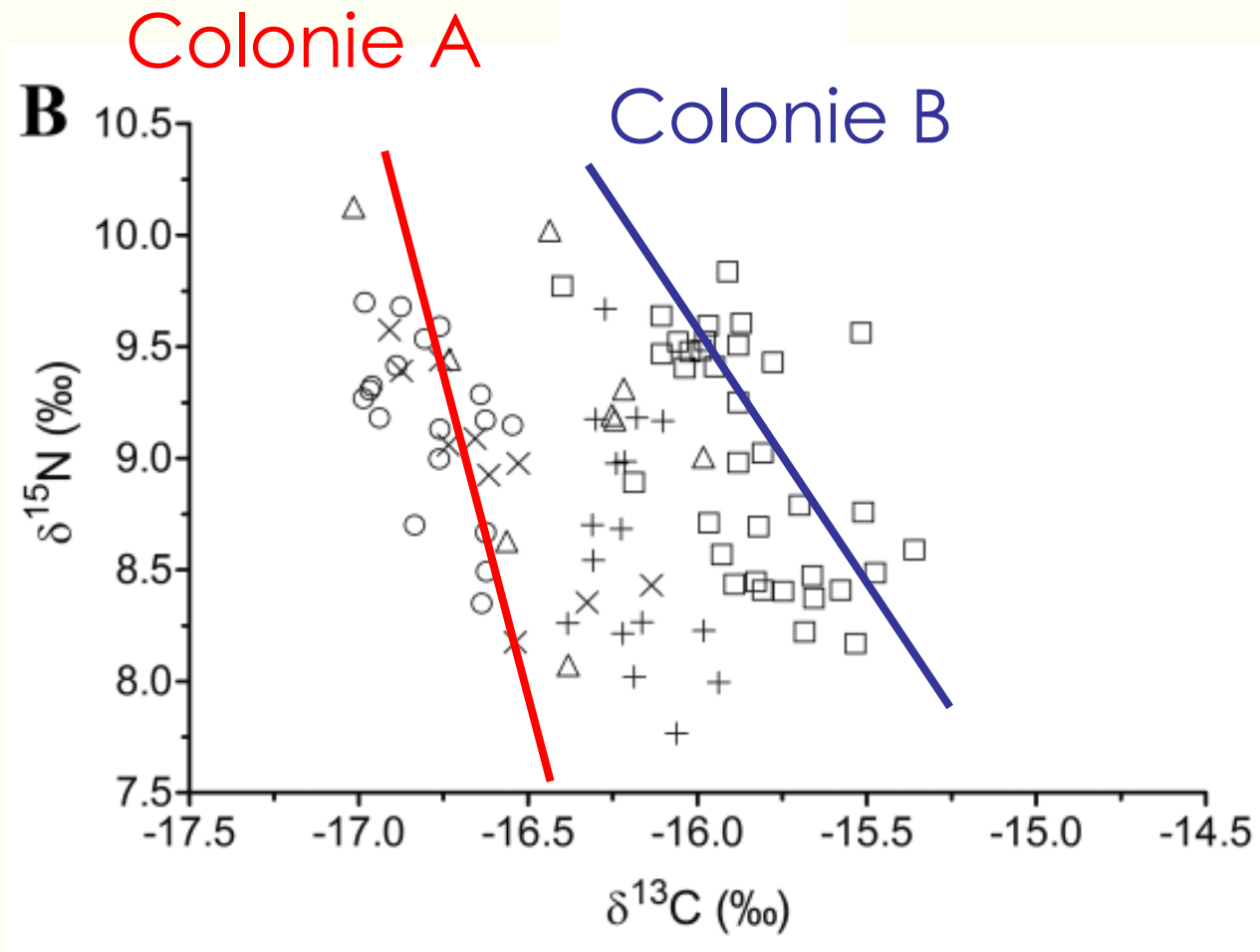
Dascyllus aruanus





Variabilité inter-individuelle: $\approx 2\text{‰}$

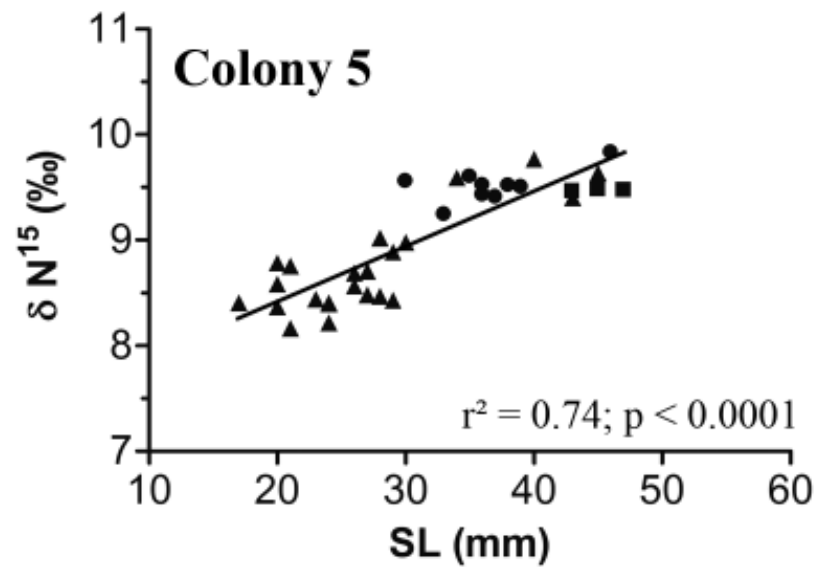
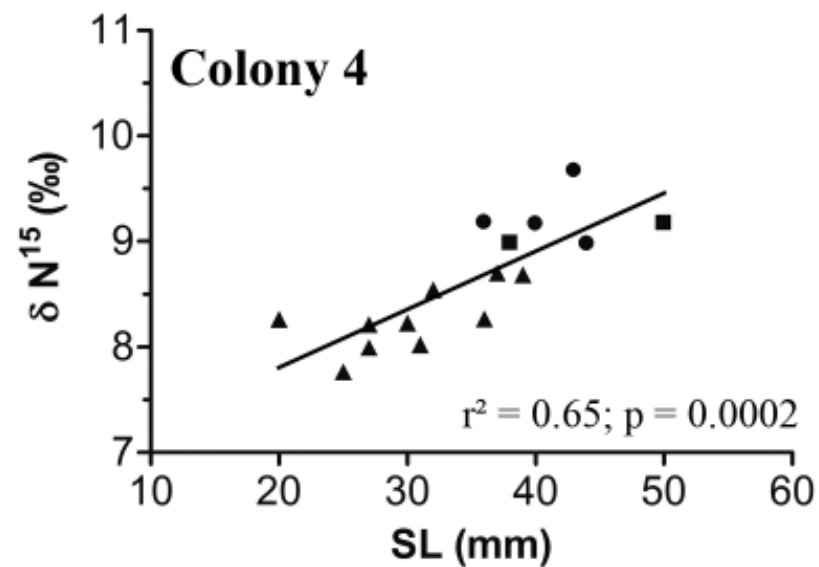
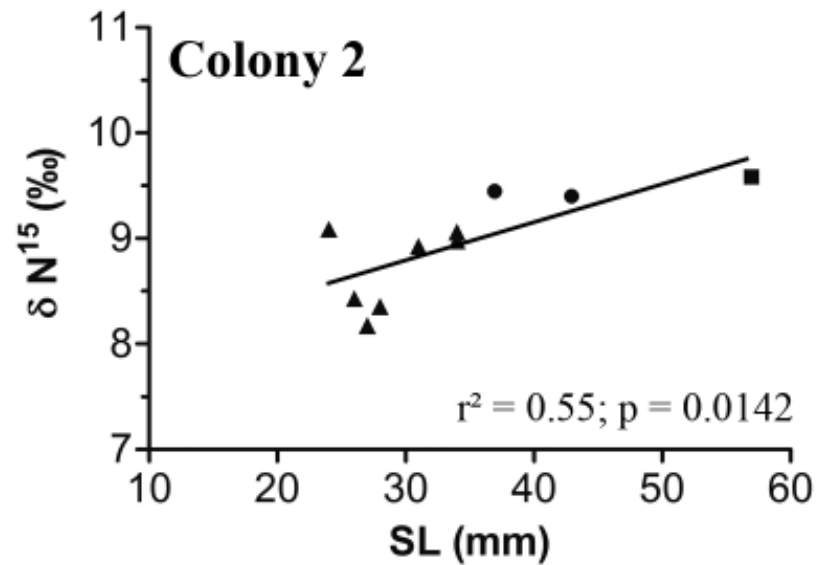
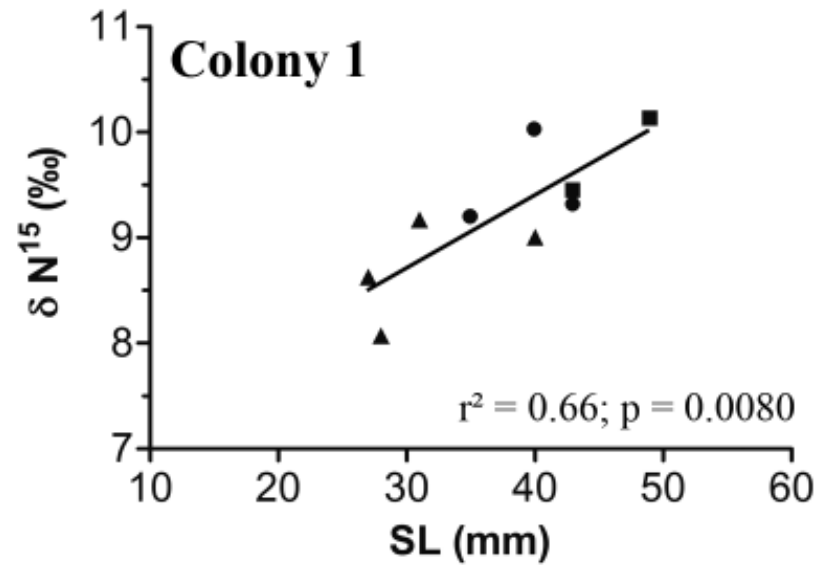
Source: Frédérick et al. 2010



- * Co-variation $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$
- * Relation variable selon colonie

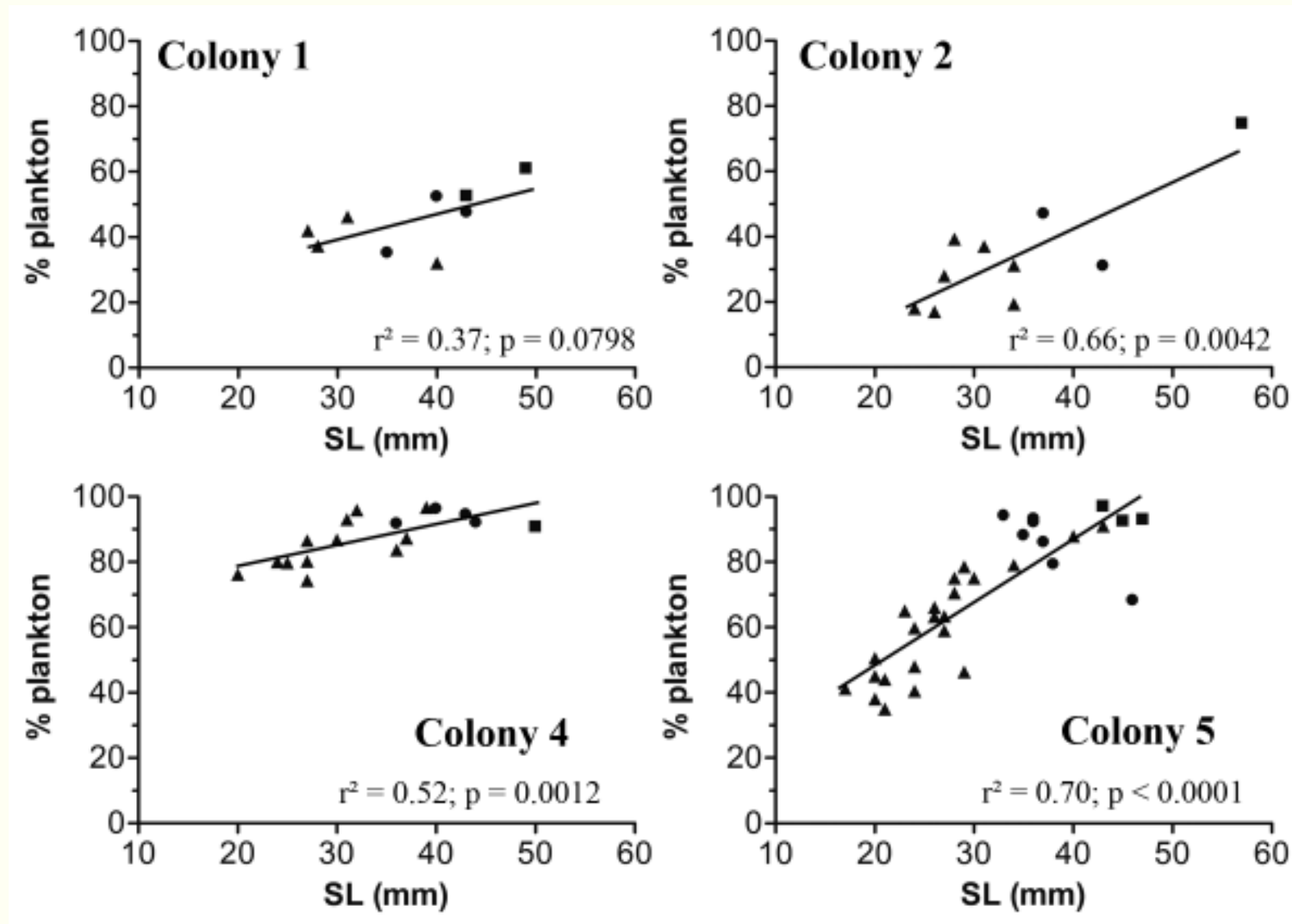
Source: Frédéricich et al. 2010

Relation Taille vs Composition isotopique

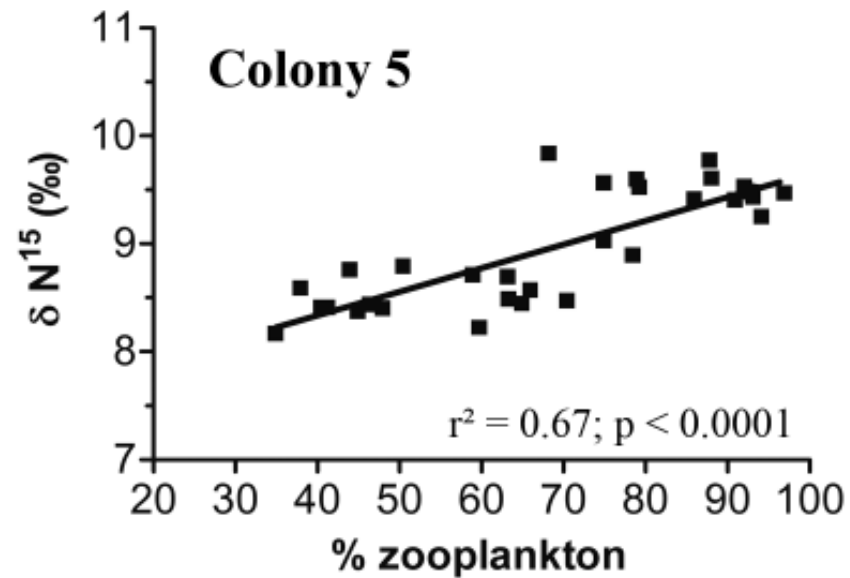
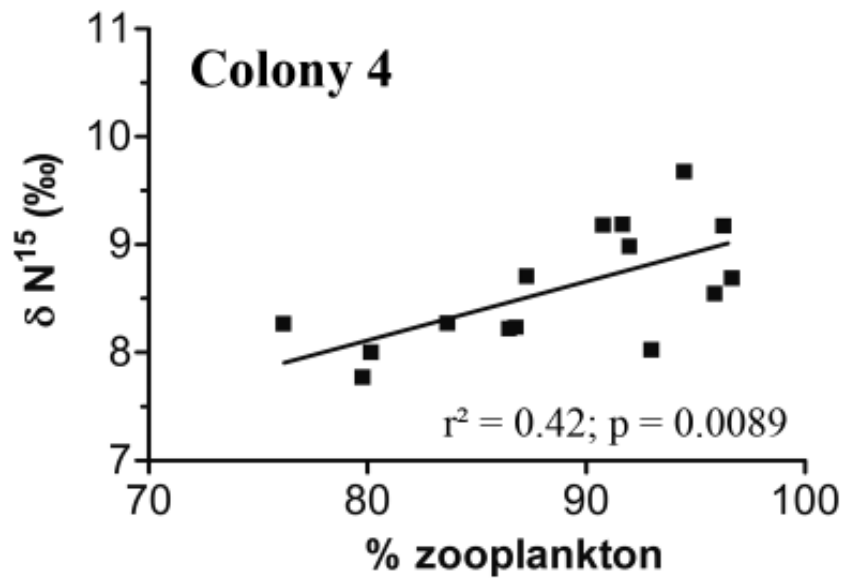
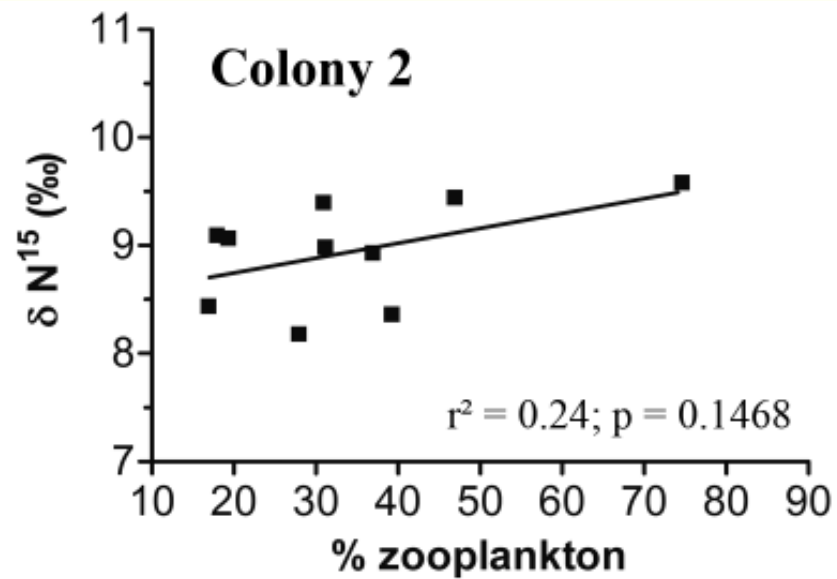
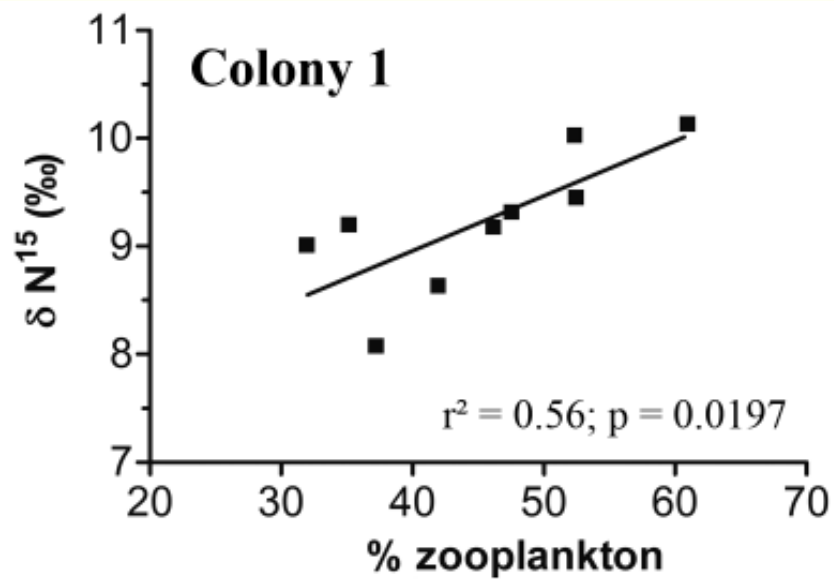


Source: Frédérich et al. 2010

Relation Taille vs Contenus stomacaux



Relation $\delta^{15}\text{N}$ vs. Contents stomacaux



Source: Frédéricich et al. 2010

Mise en évidence de changements trophiques:

* Âge (= changements interindividuels)

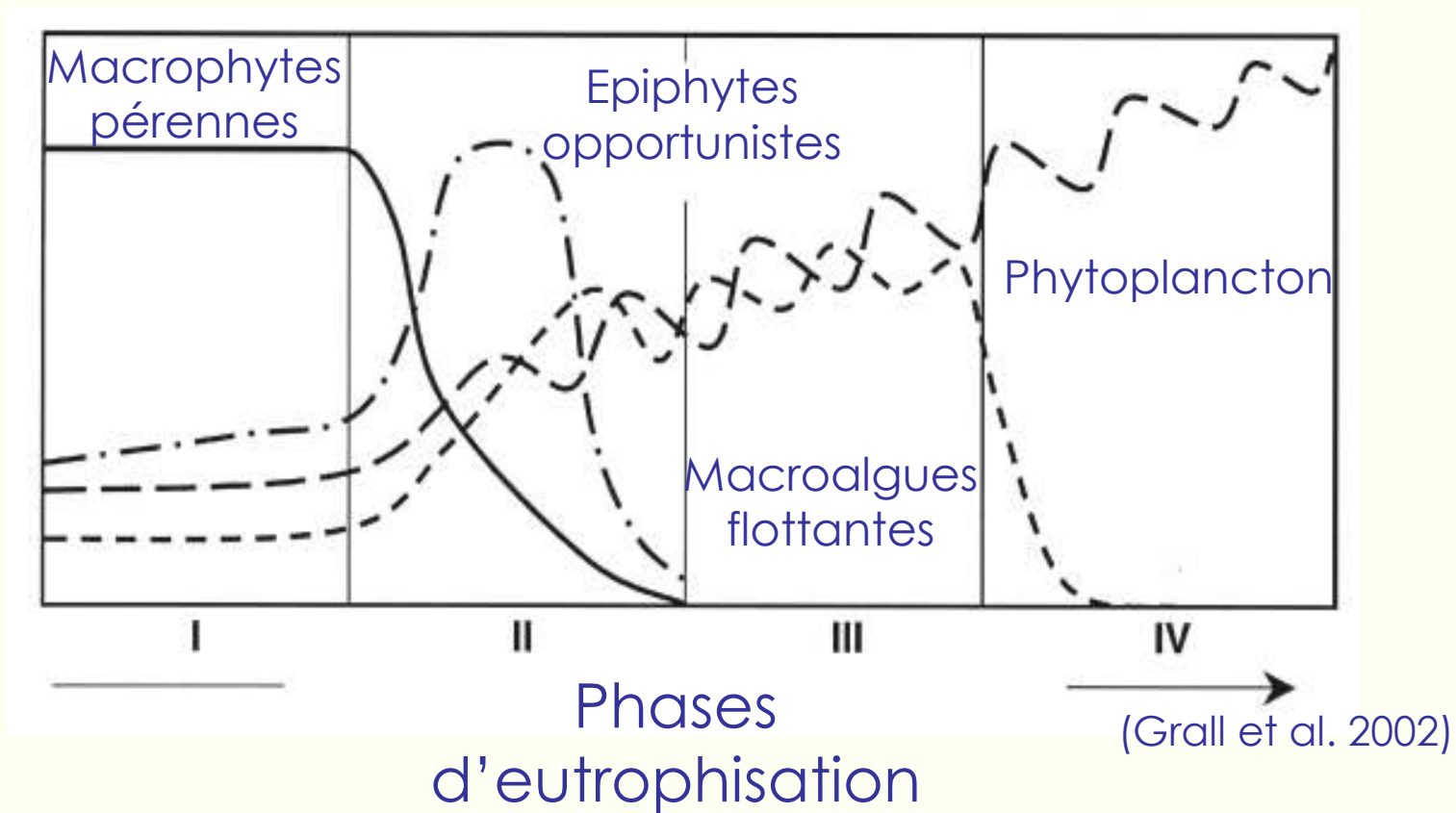


* Structure des colonies (= changement intra populationnel)

Application 3:
Mise en évidence de
pollutions

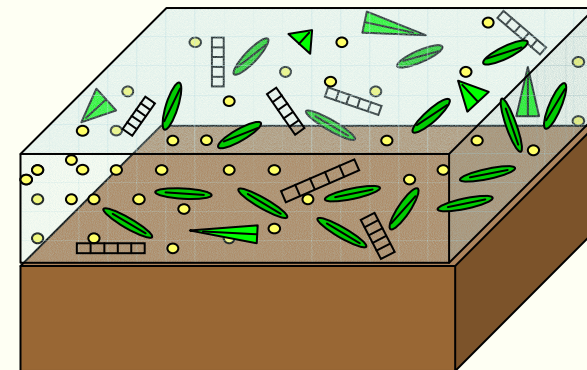
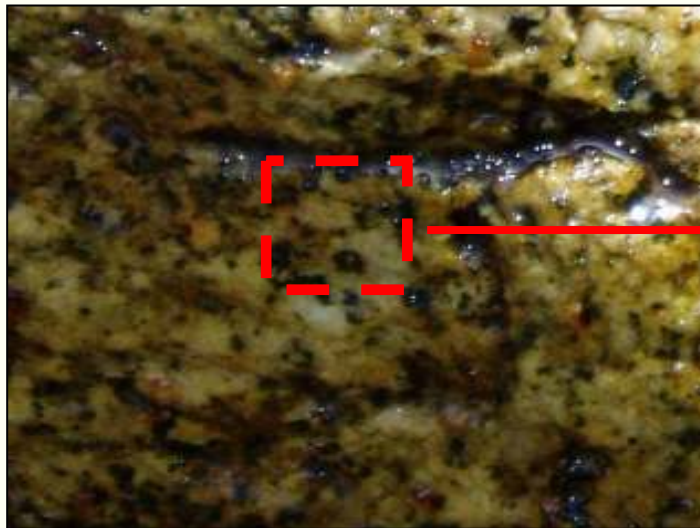
Eutrophisation

= Enrichissement du milieu aquatique en nutriments stimulant la production primaire



- * Besoins d'indicateurs précoces
- * Besoins d'indicateurs "sensibles"

⇒ Biofilms médiolitoraux



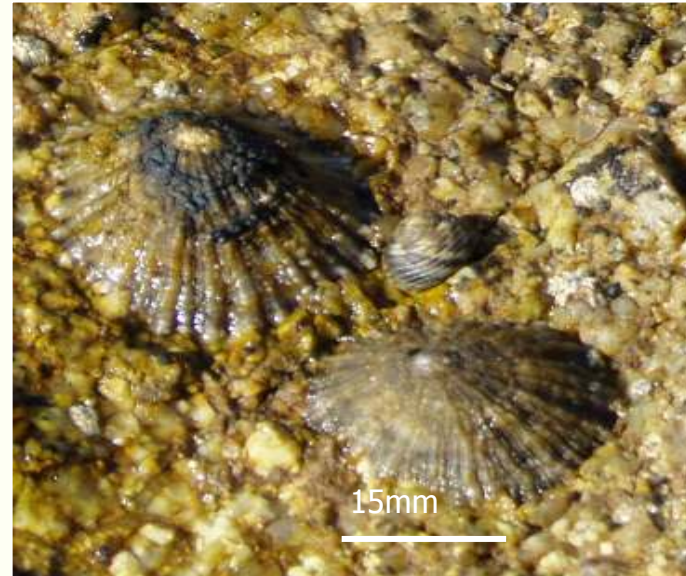
- ▲ Spores macroalgues
- ◌ Diatomées
- Bactéries
- ▤ Cyanophycées

Source: Vermeulen (2006)

Et leurs consommateurs Gastéropodes ...



Monodonta turbinata

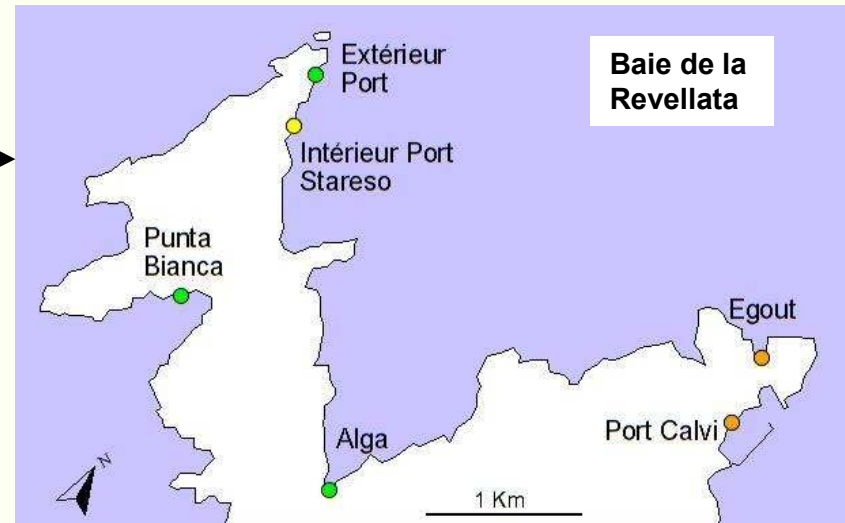
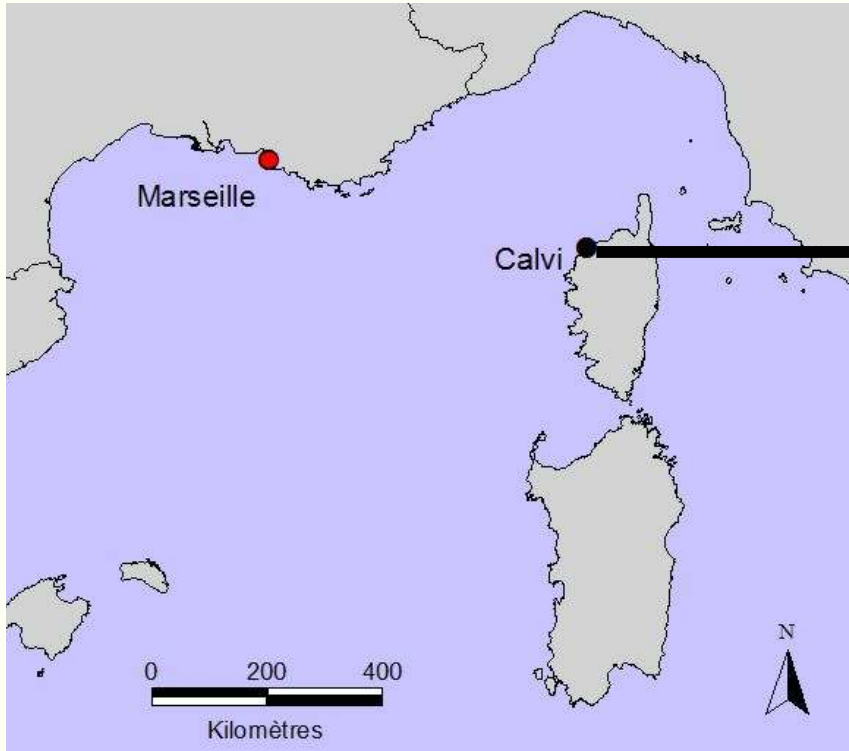


Patella caerulea

Question 1: la composition isotopique du biofilm est-elle indicatrice de phénomènes d'eutrophisation?

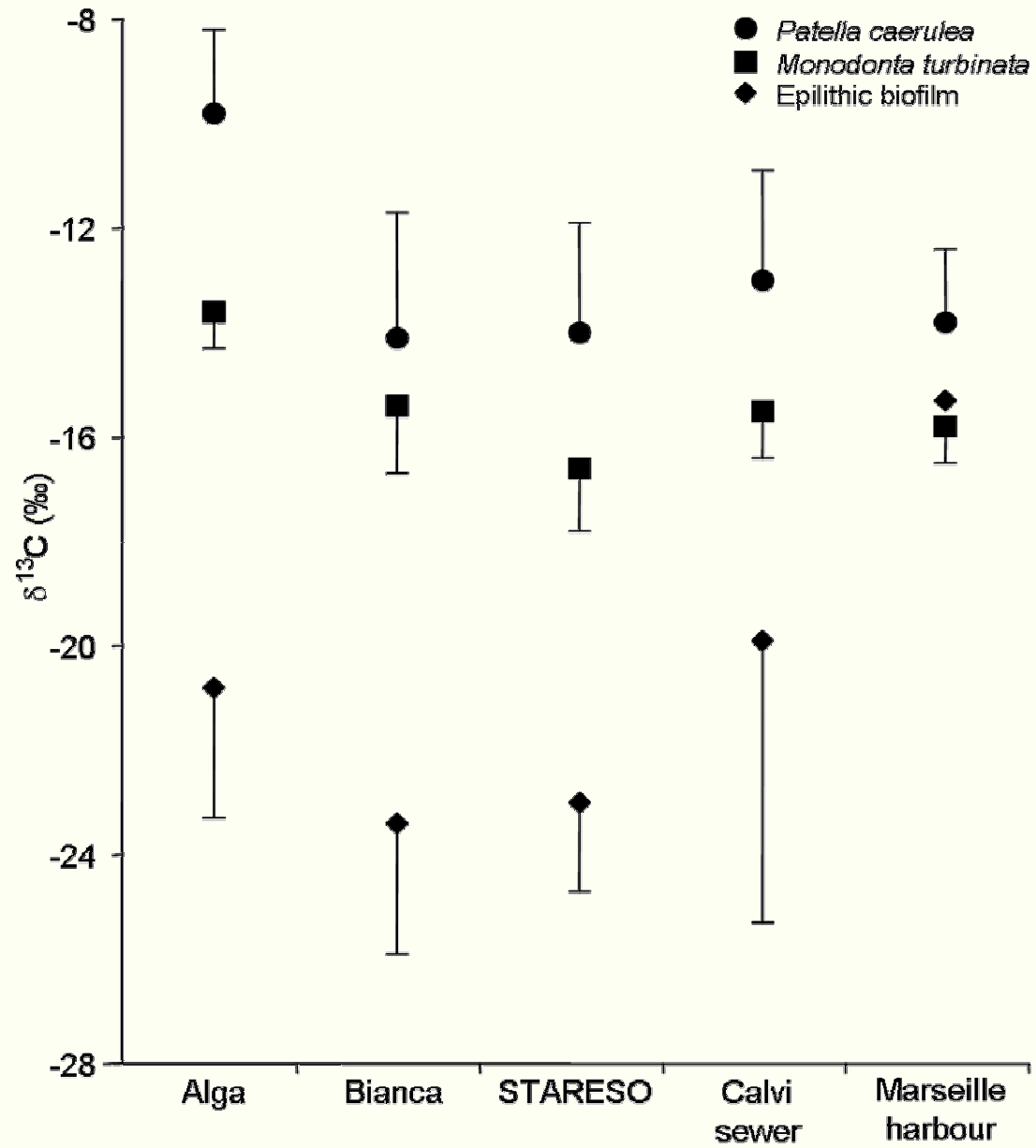
Question 2: ce signal se transmet-il à l'échelon trophique supérieur?

Question 3: ce signal est-il proportionnel à la pollution?

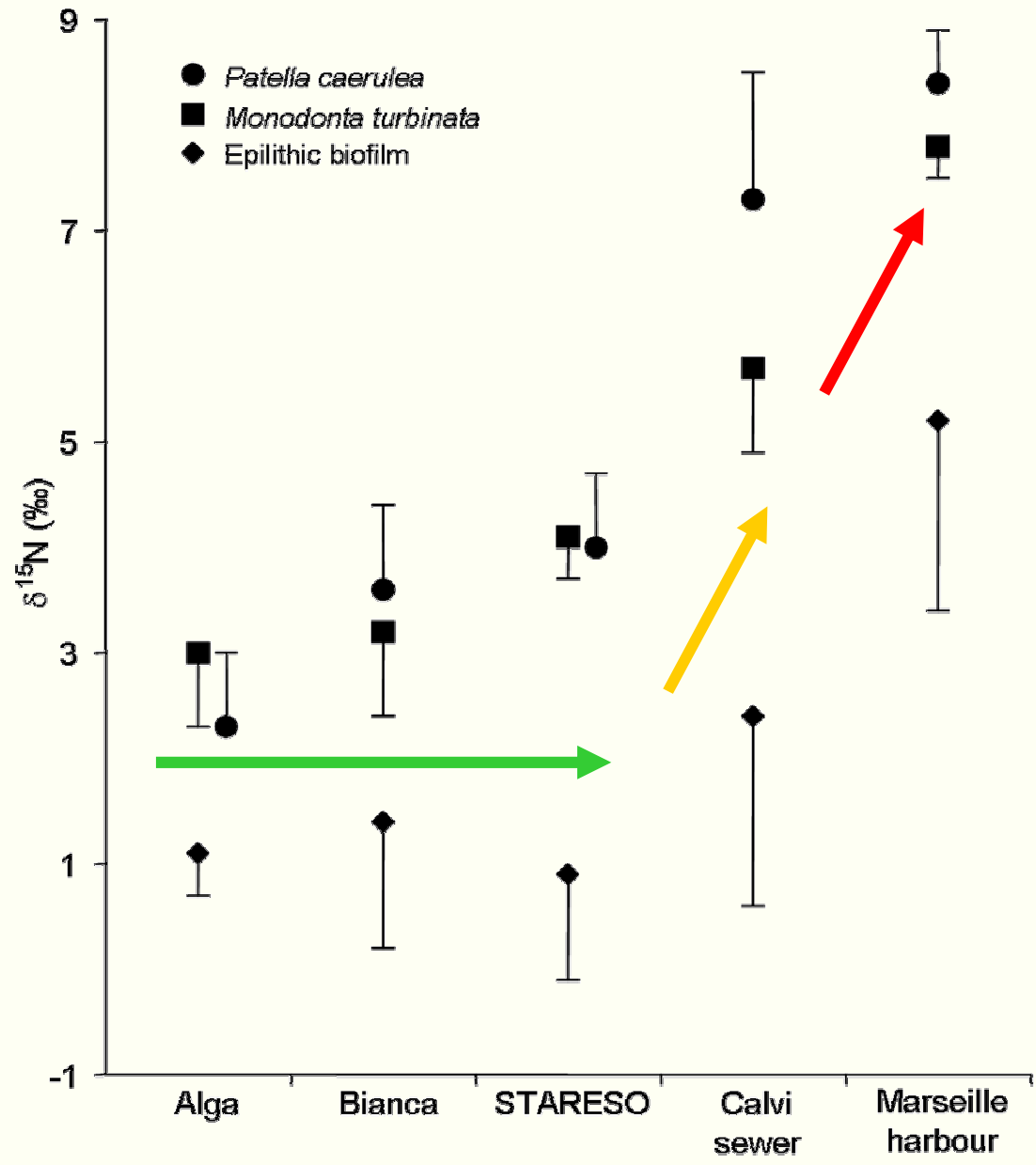


STARESO (ULg)

Source: Vermeulen (2006)



Source: Vermeulen et al. (2011)



Source: Vermeulen et al. (2011)

Autres Applications Environnementales

⇒ Traçage des polluants chez les mammifères
et autres vertébrés marins (Krishna Das)

DEMAIN ICI A LA MEME HEURE

Remerciements

* Au Personnel et Membres de l'Académie Royale de Belgique ayant permis la réalisation de cette Conférence

* Aux Collègues et nombreux Collaborateurs ayant permis la réalisation de ces travaux



Lectures Conseillées:


1. Stable Isotope Ecology, B. Fry, 2006, e-ISBN 0-387-33745-8
2. Principles of Stable Isotope Geochemistry, Z. Sharp, 2007, ISBN-13: 978-0-13-009139-0
3. Isotopie Biologique, G. Tcherkez, 2011, ISBN 978-2-7430-1267-0

Principales Références Iconographiques

Livres: Fry 2006, Sharp 2007, Tcherkez 2011 (Op. Cit.)

Articles

1. Das, K., Lepoint, G., Leroy, Y., & Bouquegneau, J.-M. (2003). Marine mammals from the southern North Sea: feeding ecology data from delta C-13 and delta N-15 measurements. *Marine Ecology. Progress Series*, 263. <http://hdl.handle.net/2268/290>
2. Frederich, B., Fabri, G., Lepoint, G., Vandewalle, P., & Parmentier, E. (2009). Trophic niches of thirteen damselfishes (Pomacentridae) at the Grand Récif of Toliara, Madagascar. *Ichthyological Research*, 56, 10-17. <http://hdl.handle.net/2268/12690>
3. Frederich, B., Lehanse, O., Vandewalle, P., & Lepoint, G. (2010). Trophic niche width, shift, and specialization of *Dascyllus aruanus* in Toliara lagoon, Madagascar. *Copeia*, 2010(2), 218-226. <http://hdl.handle.net/2268/38005>
4. Lepoint, G., Cox, A.-S., Dauby, P., Poulicek, M., & Gobert, S. (2006). Food sources of two detritivore amphipods associated with the seagrass *Posidonia oceanica* leaf litter. *Marine Biology Research*, 2(5), 355-365. <http://hdl.handle.net/2268/956>
5. Lepoint, G., Dauby, P., Fontaine, M., Bouquegneau, J.-M., & Gobert, S. (2003). Carbon and nitrogen isotopic ratios of the seagrass *Posidonia oceanica*: Depth-related variations. *Botanica Marina*, 46(6), 555-561. <http://hdl.handle.net/2268/1106>
6. Lepoint, G., Nyssen, F., Gobert, S., Dauby, P., & Bouquegneau, J.-M. (2000). Relative impact of a seagrass bed and its adjacent epilithic algal community in consumer diets. *Marine Biology*, 136, 513-518. <http://hdl.handle.net/2268/951>
7. Sturaro, N., Caut, S., Gobert, S., Bouquegneau, J.-M., & Lepoint, G. (2010). Trophic diversity of isopods (Crustacea, Isopoda) inhabiting the *Posidonia oceanica* litter. *Marine Biology*, 157(2), 237-247. <http://hdl.handle.net/2268/67868>
8. Vermeulen S. , N. Sturaro, S. Gobert, JM. Bouquegneau, G. Lepoint (2011). Potential early indicators of anthropogenically derived nutrients: a multiscale stable isotope analysis. *Marine Ecology. Progress Series*, 422: 9-22.



Merci pour votre Attention