



Isognomon alatus, l'espèce sentinelle aux Antilles.

R.N.O

Surveillance du Milieu Marin

Travaux du Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin

Edition 2006



SOMMAIRES DES EDITIONS PRECEDENTES

Des copies des millésimes épuisés sont disponibles sur demande

Les éditions marquées **W** sont téléchargeables à l'adresse :

<http://www.ifremer.fr/envlit/surveillance/rnopublis.htm>

- 1988** (épuisé) Le RNO : programmes actuels
Niveaux et tendances des paramètres prioritaires (1)
Gros plan sur les nitrates en rade de Brest
- 1989-1990** Le RNO : programmes actuels
Niveaux et tendances des paramètres prioritaires (suite)
Gros plan sur la surveillance des effets biologiques
- 1991** Le RNO : programmes actuels
Tendances des polluants dans la matière vivante
Gros plan sur la surveillance microbiologique et phytoplanktonique
- 1992-1993** Le RNO : programmes actuels
Surveillance des éléments nutritifs et de la chlorophylle
Qualité du milieu marin littoral : une synthèse
- 1994** **W** (épuisé) Le RNO : programmes actuels
Surveillance des effets biologiques par la mesure de l'activité enzymatique EROD
L'arsenic et le chrome dans les coquillages
- 1995** **W** (épuisé) Le RNO : programmes actuels
Les contaminants dans la matière vivante + poster central
Les métaux lourds dans les sédiments de la Baie de Seine (campagne 1993)
- 1996** **W** (épuisé) Le RNO : programmes actuels
Le macrobenthos marin : témoin des variations de l'environnement côtier
La surveillance des contaminants dans la matière vivante : comparaison France / Etats-Unis
- 1997** **W** Le RNO : programmes actuels
QUADRIGE, une base de données pour l'environnement littoral
- 1998** **W** Le RNO : programmes actuels
Les contaminants chimiques dans les sédiments du littoral méditerranéen
- 1999** **W** Editorial : 25 ans de surveillance RNO
Le RNO : programmes actuels
Le méthylmercure dans les mollusques du littoral français
Le tributyl étain (TBT) dans les sédiments des étangs littoraux méditerranéens
Index des sujets traités depuis 1988
- 2000** **W** (épuisé) Le RNO : programmes actuels
Tendances temporelles des teneurs en contaminants dans les mollusques du littoral français
- 2001** **W** Le RNO : programmes actuels
L'argent, le cobalt, le nickel et le vanadium dans les mollusques du littoral français
Les carottes sédimentaires, mémoire de la contamination
- 2002** **W** Le RNO : programmes actuels
Les polychlorobiphényles (PCB) dans l'environnement littoral
Utilisation des données du RNO dans le cadre du naufrage de l'Erika
- 2003** **W** Le RNO : présentation générale
Surveillance des éléments nutritifs dans l'eau de mer de 1985 à 2003, bilan et perspectives
Le RNO aux Antilles (hydrologie)
- 2004** **W** Le RNO : présentation générale
Poster des 30 ans du RNO
Un bioindicateur spécifique de la contamination par le TBT : l'imposex chez *Nucella lapillus*
Les estuaires fortement contaminés : des nourriceries de poissons aux performances écologiques médiocres
- 2005** **W** Le RNO : présentation générale
Le RNO à la réunion. bilan de deux ans d'étude préliminaire
Les métaux dans les sédiments du golfe de Gascogne
Les composés organostanniques dans les mollusques du littoral français
Utilisation du flet pour le suivi du cadmium et du mercure en estuaire de Seine

En cas d'utilisation de données ou d'éléments de ce bulletin, il doit être cité sous la forme suivante :

RNO 2006.- Surveillance du Milieu Marin. Travaux du RNO. Edition 2006. Ifremer et Ministère de l'Écologie et du Développement Durable.
ISSN 1620-1124

Surveillance du milieu marin

Travaux du RNO

Edition 2006

Sommaire

1

Page 3 Le RNO : présentation générale.

2

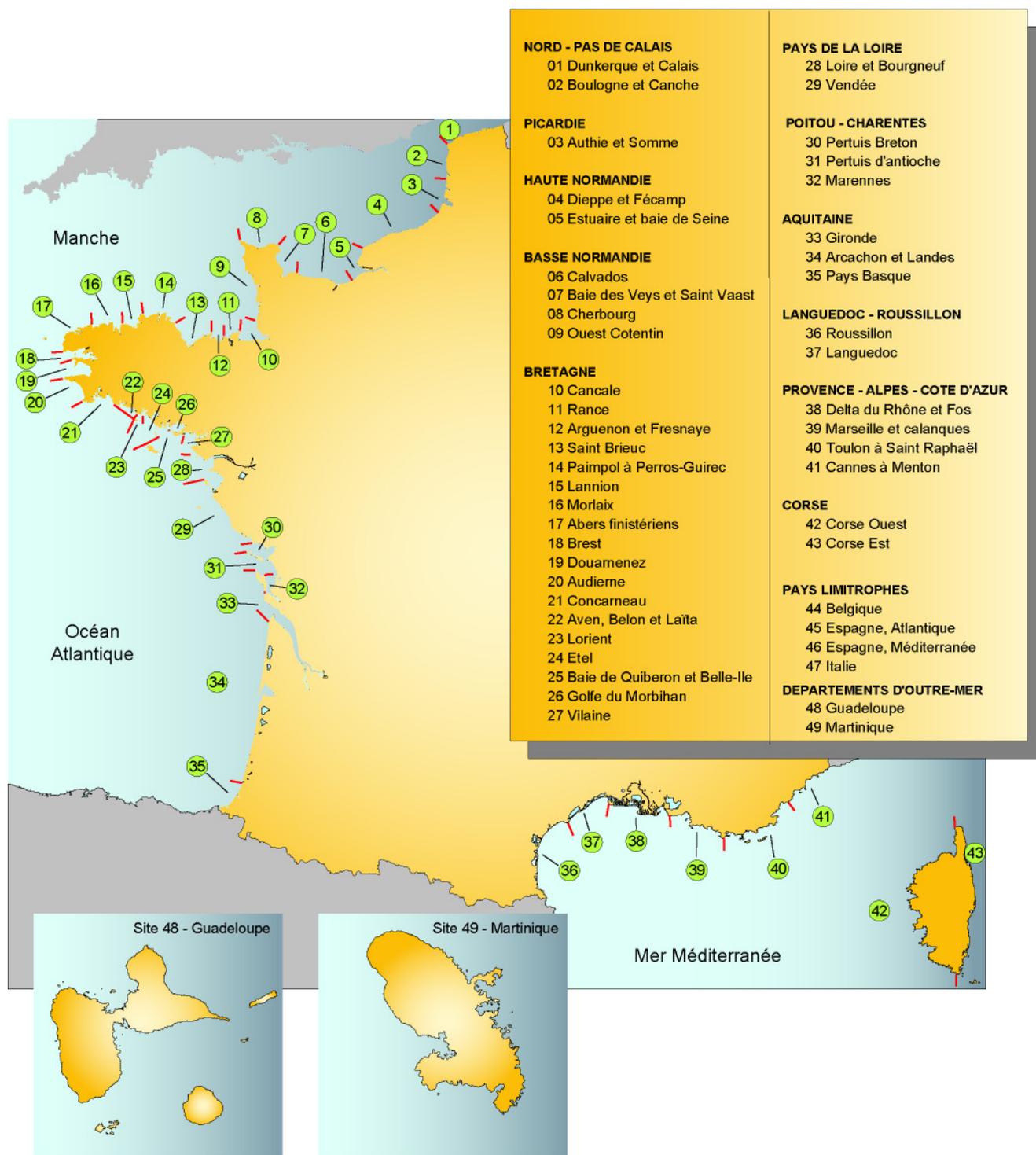
Page 11 Directive cadre européenne sur l'eau, l'état chimique des masses d'eau.

3

Page 27 Ligne de base : les contaminants chimiques dans les huîtres et les moules du littoral français.

Réseau national d'observation de la qualité du milieu marin

Disposition des sites de surveillance



1

Le RNO : présentation générale

Didier CLAISSE

Cadre général et évolution

Le Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin (RNO) a pour objectif d'évaluer les niveaux et les tendances de la contamination chimique du littoral et des paramètres généraux de la qualité du milieu. Il intègre également des mesures d'effets biologiques des contaminants. Créé en 1974 par le Ministère chargé de l'Environnement, il est actuellement coordonné par l'Ifremer pour le compte du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD). Les trois grands volets structurant le réseau ont été mis en place successivement :

1974 : Paramètres généraux de qualité - Mesures dans l'eau.

1979 : Contaminants - Mesures dans les organismes et le sédiment marins.

1991 : Effets biologiques - Etudes et suivis expérimentaux (2003 suivi Imposex pérenne).

L'année 2006 marque un tournant important dans la longue histoire du RNO. La Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE) fixe désormais un nouveau cadre réglementaire à la surveillance chimique et sa mise en place suppose de faire évoluer bien des aspects de celle-ci.

L'expérience du RNO est un atout de premier ordre dans la mise en place de la DCE. Dès sa création il fut un défricheur et un précurseur dans le domaine de la surveillance chimique du milieu marin. Son rôle moteur dans la création d'une compétence nationale est reconnu, aussi bien sur le plan analytique que sur celui des stratégies de surveillance.

Ce réseau de surveillance chimique doit désormais évoluer pour servir de base à la surveillance DCE, tout en préservant ce qui en a fait jusqu'ici la richesse.

Actuellement, la DCE fixe une liste de substances qui implique d'élargir celle des contaminants actuellement surveillés. C'était déjà une préoccupation historique du RNO qui est passé en 30 ans de 9 à 59 contaminants mesurés. Une des évolutions majeures sera de s'intéresser aux contaminants "hydrophiles" (essentiellement les pesticides), ce qui impose de mettre en place une stratégie spécifique avec, sans doute, une nouvelle répartition des partenariats.

Pour les contaminants hydrophobes, la couverture spatiale du RNO sera modifiée pour s'adapter aux masses d'eau identifiées par les bassins dans la frange littorale. Les réseaux de surveillance existants, dont le RNO, participent déjà à cette couverture mais il sera parfois nécessaire de créer de nouveaux points d'échantillonnage ou de déplacer des points existants. D'autres points pourront être supprimés dans un but d'optimisation du réseau de surveillance chimique.

La présente édition du bulletin RNO fait donc une large part à la DCE, dont la mise en œuvre pour la chimie est détaillée au chapitre 2.

Programmes en cours et travaux menés en 2005

Surveillance des paramètres généraux de qualité

Cette surveillance est effectuée dans l'eau. Les paramètres de base sont la température, la salinité, les sels nutritifs (nitrate + nitrite, ammonium, phosphate), la chlorophylle *a* et les phéopigments. Sur certains sites, un ou plusieurs paramètres supplémentaires sont aussi mesurés (oxygène dissous, silicate, matières en suspension, turbidité, etc.).

Depuis 2003, les campagnes ont lieu en hiver, printemps et automne. La surveillance est pratiquée sur onze sites. Sur le littoral de la Manche et de l'Atlantique, le suivi comporte trois à cinq campagnes par an selon les sites, et le plan d'échantillonnage s'attache à décrire au mieux l'ensemble de la masse d'eau par des prélèvements répartis sur toute la gamme de salinité. En Martinique et Guadeloupe le suivi est du même type, mais avec une fréquence mensuelle. En Méditerranée, trois à douze campagnes par an portent sur un nombre limité de points fixes. Sur tous les sites sauf Brest, les Cellules Qualité des Eaux Littorales (CQEL) réalisent les campagnes, dont les échantillons sont analysés par des laboratoires locaux. Le tableau 1 récapitule les travaux de surveillance dans l'eau menés en 2005.

Régions	Sites		Nombre de campagnes pour l'année			Nombre d'échantillons pour l'année	
	n°	libellé	hiver	Prin-temps	automne	programme hydrologie	paramètres supplémentaires
Nord-Pas de Calais	1	Dunkerque	2	1		60	60
Haute Normandie	5	Seine (aval)	3	1	1	150	150
	5	Seine (amont)	6 par an dont 1 au printemps et 1 en automne			12	12
Basse Normandie	7	baie des Veys	2	1	1	20	20
Bretagne	18	Brest	2	1	1	120	120
	23	Lorient	2	1	1	60	
Pays de la Loire	28	Loire (estuaire)	3	1	1	125	75
Aquitaine	33	Gironde	2	1	1	120	40
Provence-Alpes-Côte d'Azur	38	Fos (golfe)	10 par an			90	48
	38	Fos (Rhône)	12 par an			12	12
	38	Etang de Berre	10 par an			70	70
Corse	42	Ajaccio	2	1 en été		42	
Guadeloupe	48	Guadeloupe	12 par an			120	
Martinique	49	Martinique	12 par an			168	
TOTAL			94			1169	607

Tableau 1 :
Surveillance 2005
(hydrologie).

Surveillance des contaminants

Compte tenu des difficultés de collecte d'échantillons valides pour des analyses de traces dans l'eau et de la faible représentativité spatiale et temporelle de ceux-ci, cette surveillance porte en priorité sur des matrices intégratrices, organismes et sédiment. Les mollusques bivalves, moules et huîtres, sont utilisés comme indicateurs quantitatifs de contamination. Ce volet du RNO constitue, depuis 1979, le principal outil de connaissance systématique des niveaux de contamination du littoral français (voir chapitre 3). Environ 90 points de prélèvements (dont 9 dans les DOM) sont échantillonnés par les agents de l'Ifremer deux fois par an en

métropole et quatre fois par an aux Antilles. Les contaminants mesurés figurent dans le tableau ci-dessous :

Contaminants mesurés dans la matière vivante
Métaux :
argent (Ag), cadmium (Cd), chrome (Cr), cuivre (Cu), mercure (Hg), nickel (Ni), plomb (Pb), vanadium (V), zinc (Zn)
Organochlorés :
DDT, DDD, DDE, lindane (γ -HCH), α -HCH, polychlorobiphényles (Congénères 28, 52, 101, 105, 118, 138, 153, 156, 180).
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) :
Naphtalène, mono, di, tri et tétra méthyles naphtalènes, acénaphtylène, acénaphène, fluorène, mono et di méthyles fluorènes, phénantrène, anthracène, mono, di et tri méthyles phénanthrènes/anthracènes, fluoranthène, pyrène, mono et di méthyles pyrènes/fluoranthènes, benzo[a]anthracène, triphénylène, chrysène, mono et di méthyles chrysène, benzo[fluoranthènes, mono méthyle benzo[fluoranthènes, benzo[e]pyrène, benzo[a]pyrène, pérylène, dibenzo[a,h]anthracène, benzo[g,h,i]pérylène, indéno[1,2,3-cd]pyrène. <u>Hétérocycles soufrés</u> : dibenzothiophène, mono, di et tri méthyles dibenzothiophène, benzonaphtothiophènes, monométhyle benzonaphtothiophènes.

Les analyses sont effectuées par le département DCN/BE de l'Ifremer, au centre de Nantes. Une partie aliquote des échantillons est systématiquement conservée pour d'éventuels contrôles a posteriori ou pour la recherche ultérieure d'autres contaminants. Ceci a permis de constituer une banque d'échantillons couvrant l'ensemble du littoral depuis 1981. Le tableau 2 récapitule le volume des travaux de surveillance des contaminants dans la matière vivante menés en 2005.

Tableau 2 :

Surveillance 2005 dans la matière vivante.

Un échantillon se compose de 50 moules, de 10 huîtres, ou d'un poisson dont l'analyse porte sur le muscle et le foie.

En métropole, les métaux sont mesurés sur deux échantillons annuels (février et novembre).

Les contaminants organiques sont mesurés uniquement sur l'échantillon de novembre.

Aux Antilles, tous les contaminants sont mesurés sur quatre échantillons annuels (février, mai, août et novembre).

Régions	Nombre de points de prélèvements	Nombre d'échantillons pour l'année		Espèce
		métaux	organiques	
Nord - Pas de Calais	2	4	2	Moule
Picardie	2	4	2	Moule
Haute Normandie	5	10	5	Moule
	1	25		Flet
Basse Normandie	7	14	7	Moule
Bretagne	12	24	12	Moule
	11	22	11	Huître
Pays de la Loire	1	2	1	Moule
	3	6	3	Huître
Poitou - Charentes	1	2	1	Moule
	7	14	7	Huître
Aquitaine	1	2	1	Moule
	9	18	9	Huître
Languedoc - Roussillon	7	14	7	Moule
Provence - Alpes - Côte d'Azur	8	16	8	Moule
Corse	4	8	4	Moule
Guadeloupe	5	20	20	Huître
Martinique	4	16	16	Huître
TOTAL	90	221	116	

Pour une évaluation à plus long terme, les contaminants sont aussi mesurés dans les sédiments dont le premier centimètre superficiel peut intégrer plusieurs années d'apports. La stratégie actuelle du RNO permet de couvrir en dix ans l'ensemble du littoral français. Le suivi dans le sédiment permet également de s'affranchir de la présence de coquillages et d'étendre la surveillance, en particulier vers le large. Les contaminants recherchés sont les mêmes que dans la matière vivante, accompagnés des paramètres descriptifs et normalisateurs propres à cette matrice, tels que granulométrie, carbone organique, carbonates, aluminium, fer, lithium, manganèse. Sur quelques points sélectionnés, des carottes profondes sont prélevées et découpées en de nombreux horizons. L'analyse de chacun de ces horizons et leur datation permet de retracer l'historique de la contamination sur plusieurs dizaines d'années (voir édition 2001 de ce bulletin). En 2005, la campagne a porté sur le littoral méditerranéen occidental, déjà visité en 1995 (de la frontière espagnole au Rhône).

Surveillance des effets biologiques

Cette surveillance peut se faire à différents niveaux d'organisation biologique (communauté, population, individu, cellule, etc.). Des recommandations de techniques appliquées à la surveillance d'effets biologiques sont formulées au niveau international et prises en compte par le RNO. Dans les années 1990, l'activité RNO dans ce domaine a consisté principalement à soutenir des études de faisabilité. Selon les résultats obtenus, ces techniques sont pérennisées ou réservées à des études ponctuelles ou locales.

Pour répondre aux obligations de la Convention OSPAR (cf. page 10) le suivi du TBT et de ses effets biologiques a été introduit à partir de 2003. Les effets du TBT sont évalués par la mesure de l'imposex (masculinisation des femelles d'un gastéropode, *Nucella lapillus*). Les premiers résultats de cette surveillance ont été présentés dans l'édition 2004 de ce bulletin.

Le RNO soutient également le suivi des populations benthiques dans la baie de Morlaix réalisé par la Station Biologique de Roscoff. Cette surveillance a débuté un an avant le naufrage de l'Amoco Cadiz. Une première synthèse des résultats a été présentée dans l'édition 1996 de ce bulletin.

Extension du RNO outre-mer

La surveillance RNO a été étendue au littoral de certains départements d'outre-mer. En Martinique et Guadeloupe des études préliminaires ont été engagées dès 1999 pour inventorier les problèmes environnementaux, évaluer les potentialités analytiques et logistiques locales et proposer une première stratégie de surveillance. Deux laboratoires ont été assistés par Ifremer pour acquérir les techniques analytiques en milieu marin, puis intercalibrés. Les premières opérations de routine (hydrologie et matière vivante) ont débuté fin 2001. Le programme du suivi hydrologique dans ces deux départements et une étude critique des premiers résultats ont été présentés dans l'édition 2003 de ce bulletin. La surveillance des contaminants dans les organismes utilise une espèce très commune dans les deux îles, *Isognomon alatus*. La surveillance en routine se heurte cependant à un problème d'instabilité des gisements naturels. Les premiers résultats sont présentés dans le chapitre 3 de la présente édition.

Dans l'île de La Réunion, l'Ifremer assiste la DIREN depuis 2001 dans la conduite d'une étude pilote de trois ans démarrée fin 2002. Les premiers résultats ont été présentés dans l'édition 2005 de ce bulletin.

En Guyane, des études préliminaires avaient été initiées par la DIREN. Une visite de deux personnes de l'Ifremer a eu lieu en 2006 pour préciser le contexte DCE.

Assurance de qualité

Le suivi et l'animation des développements méthodologiques, l'assistance aux laboratoires, la participation aux exercices d'intercalibration, sont des activités permanentes du RNO. Si nécessaire, des exercices d'intercomparaisons spécifiques peuvent être organisés par l'Ifremer, comme ce fut le cas en 2005 pour la chlorophylle. L'Ifremer et certains laboratoires partenaires sont impliqués dans les programmes européens QUASIMEME (*Quality Assurance for Information from Marine Environmental Monitoring in Europe*) ou BEQUALM (*Biological Effects QUALity assurance in marine Monitoring*). L'inclusion de matériaux de référence certifié (CRM) dans les séries analytiques est systématique lors des analyses dans la matière vivante et le sédiment. Plusieurs laboratoires partenaires bénéficient d'un agrément du ministère chargé de l'environnement pour un ou plusieurs types d'analyses. Les modalités d'obtention de ces agréments sont en cours de révision par le MEDD. Dans ce cadre, l'Ifremer a entrepris l'édition d'une série de fascicules décrivant les méthodes analytiques pratiquées par l'Ifremer dans le cadre du RNO.

Les CRM utilisés, ainsi que les exercices auxquels ont participé les partenaires du RNO en 2005, sont listés dans les tableaux 3 et 4, pour les laboratoires ayant répondu à notre enquête au bouclage de cette édition.

Tableau 3 :

Matériaux de référence certifiés (CRM) utilisés par les laboratoires partenaires du RNO en 2005. Seuls apparaissent les CRM concernant des matrices et paramètres pour lesquels le laboratoire réalise des analyses pour le RNO.

Laboratoire	Code du CRM utilisé	Provenance	Matrice	Paramètres RNO concernés
Flandres-Analyses Dunkerque	VWR	MERCK	Eau	NO ₃ , NO ₂ , PO ₄
LAR - Rouen	SLRS4	NIST	Eau	Cu, Cd, Ni, Pb, Zn
LDA 50 Saint-Lô	ICUS 1407 ICC - 005A ICUS 1405	Ultra scientifique	Eau	NO ₃ PO ₄ NO ₂ , NH ₄
L.A.B.O. Brest	IAPSO IAPSO 4400-131522	SPIN SPIN SPIN	Eau de mer Eau estuarienne Eau douce	Salinité Salinité NO ₃ , PO ₄ , Si
I.D.A.C. Nantes	QCWW1B QCDWB	VKI VKI	Eau Eau	NO ₃ , NH ₄ , PO ₄ Fluorures
Centre d'Océanologie Marseille	8065 7064 8050 9002 4002	OSI	Solutions concentrées	NO ₃ Si PO ₄ NO ₂ NH ₄
Ifremer DCN / BE Nantes	CRM 278R SRM 1566 b MESS-3 BCSS-1 IAEA 142 CARP 2	BCR NIST NRC NRC IAEA NRC	Moule Huître Sédiment Sédiment Moule Poisson	Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Ag, Ni, V Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Ag, Ni, V Hg, Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Ag, Ni, V Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Ag, Ni, V Hg Organochlorés

BCR : Bureau Communautaire de Référence (Bruxelles, Belgique).

IAEA : International Atomic Energy Agency.

NIST : National Institute of Standards and Technology (USA).

NRC : National Research Council (Canada).

NWRI : National Water Research Institute (Canada).

OSI : Ocean Scientific International

SPIN : Société SPIN (Limours, France).

Tableau 3 :

Exercices d'intercomparaison auxquels ont participé les laboratoires partenaires du RNO en 2005. Seuls apparaissent les exercices concernant des matrices et paramètres pour lesquels le laboratoire réalise des analyses pour le RNO.

Laboratoire	Organisateur de l'exercice	Code de l'exercice	Matrice	Paramètres RNO concernés
Flandres-Analyses Dunkerque	AGLAE	05 M 6.1 05 M 6.2	Eau Eau	S ^{0/00} , NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ , Si, COT S ^{0/00} , NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ , Si, COT
Laboratoire de Rouen	AGLAE QUASIMEME Ifremer	05 M 10.2 et 10.4 05 M 10.1 et 10.3 QNU SW 137 à 146 EIL chlorophylle	Sédiment Sédiment Eau de mer Extrait acétonique et filtrat	HAP PCB NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ , Si Chlorophylle
LDA 50 Saint-Lô	AGLAE Ifremer	05 M 6.1 05 M 6.2 EIL chlorophylle	Eaux salines Eaux salines Extrait acétonique et filtrat	Sal., NO ₂ , PO ₄ , Si, MES, COT Sal., NO ₂ , PO ₄ , Si, MES, COT Chlorophylle
L.A.B.O. Brest	QUASIMEME Ifremer	QNU SW 137 138 139 144 145 146 QNU EW 140 141 142 143 147 148 149 EIL chlorophylle	Eau de mer Eau estuarienne Extrait acétonique et filtrat	NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ , Si NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ , Si Chlorophylle
I.D.A.C. Nantes	AGLAE Ifremer	05 M 6.1 05 M 6.2 05 M 1C.1 04 M 1C.2 05 M 1A.1 05 M 1A.2 EIL chlorophylle	Eau de mer filtrée Eau de mer filtrée Eau de rivière Eau de rivière Eau de distribution Eau de distribution Extrait acétonique et filtrat	S ^{0/00} , NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ S ^{0/00} , NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ Chlorophylle, phéophytine Chlorophylle, phéophytine Fluorures Fluorures Chlorophylle
IFREMER DCN / BE Nantes	QUASIMEME IAEA	QTM 065 BT QTM 066 BT QTM MS 070, 071 654 R40 686 R42 IAEA-435	Moule Poisson Sédiment Organismes Organismes Muscle de thon	Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn, Ag, Ni Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn, Ag, Ni Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn, Li HAP Organochlorés Organochlorés
IEEB Bordeaux	AGLAE	05 M 6.1 05 M 6.2	Eau Eau	S ^{0/00} , NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ , Si, MES, COT S ^{0/00} , NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ , Si, MES, COT
Centre d'Océanologie Marseille	QUASIMEME QUASIMEME Ifremer	QNU 137, 138, 139 SW QNU 140, 141, 142, 143 EW EIL chlorophylle	Eau de mer Eau estuarienne Extrait acétonique et filtrat	NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ , Si NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ , Si Chlorophylle
LHMA - Faculté de Pharmacie Marseille	AGLAE	05 M 6.1 05 M 6.2 05 M 8.1 05 M 8.3	Eau saline et saumâtre Eau de mer dopée Eau synthétique	S ^{0/00} , NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ , MES, COT S ^{0/00} , NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ , MES, COT CB 28 52 101 118 138 153 180 CB 28 52 101 118 138 153 180
LDA Ajaccio	AGLAE Ifremer	05 M 6.1 05 M 6.2 EIL chlorophylle	Eau Eau Extrait acétonique et filtrat	S ^{0/00} , NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ , MES, COT S ^{0/00} , NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ , MES, COT Chlorophylle
Institut Pasteur de Guadeloupe	AGLAE	05 M 6.1 05 M 6.2	Eau de mer Eau de mer	S ^{0/00} , NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ , Turbidité S ^{0/00} , NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , PO ₄ , Turbidité

AGLAE : Association Générale des Laboratoires d'Analyses de l'Environnement.

QUASIMEME : Quality Assurance for Information from Marine Environmental Monitoring in Europe.

Gestion et valorisation des données, publications

Depuis juillet 1996, les résultats des différents réseaux de surveillance dont Ifremer a la charge sont archivés dans la base QUADRIGE, regroupant notamment les données du RNO et des réseaux microbiologique (REMI) et phytoplanktonique (REPHY). L'homogénéisation des concepts et des structures permet d'envisager une utilisation plus large de cette base et d'y accueillir tous résultats provenant de prélèvements en milieu marin effectués dans le cadre de programmes structurés. En particulier les données du Réseau de Surveillance des Ports Maritimes (REPOM) y sont archivées. En 2004, l'Ifremer a initié la refonte de QUADRIGE pour l'adapter, entre autres, à la DCE et à l'accueil de données d'un type différent (suivis benthiques par exemple). Dans le cadre de ce projet QUADRIGE², les référentiels seront également harmonisés avec ceux du SANDRE (Secrétariat d'Administration Nationale des Données Relatives à l'Eau).

L'Ifremer a développé un site Internet incluant une large section consacrée à la surveillance : <http://www.ifremer.fr/envlit/surveillance/>. On peut y trouver une présentation des réseaux gérés par l'Ifremer et visualiser ou télécharger les données de contaminants dans les mollusques pour chaque point de prélèvement. Dans le cadre de QUADRIGE², les résultats des mesures dans l'eau et le sédiment seront également disponibles. Par ailleurs, les bulletins RNO postérieurs à 1993 sont consultables et téléchargeables sur ce site. Il est également possible de consulter le site du Système d'Information Eau (SIE) qui présente les réseaux de surveillance à partir d'un atlas géographique : <http://www.eaufrance.fr/>.

Enfin, depuis 1988, les éditions successives de ce bulletin annuel présentent les résultats d'un ou plusieurs volets du RNO (voir sommaires en page de garde). Le tirage de ce document est de 1000 exemplaires dont 800 sont diffusés systématiquement à 540 correspondants français et étrangers. Par ailleurs, les statistiques de fréquentation du site Internet de l'Ifremer pour l'année 2005 relèvent 7700 consultations et/ou téléchargements du bulletin, tous millésimes confondus.

Depuis la dernière édition plusieurs rapports ou publications en relation avec les techniques ou les résultats de la surveillance RNO sont parues :

MUNSCHY C. *et al.*, 2005. Analyse de contaminants organiques (PCB, OCP, HAP) dans les organismes marins. *Editions de l'Ifremer*. 44 p. ISBN 2-84433-144-0.

TRONCZYNSKI J. *et al.*, 2005. Analyse de contaminants organiques (herbicides, PCB, OCP, HAP) dans les eaux estuariennes et marines côtières. *Editions de l'Ifremer*. 52 p. ISBN 2-84433-148-3.

TRONCZYNSKI J. *et al.*, 2005. Analyse de contaminants organiques (PCB, OCP, HAP) dans les sédiments marins. *Editions de l'Ifremer*. 44 p. ISBN 2-84433-145-9.

QUINIOU F. *et al.*, 2005. Bio-indicateur de toxicité potentielle de milieux aqueux : bio-essai. Développement embryon-larvaire de bivalve. *Editions de l'Ifremer*. 22 p. ISBN 2-84433-146-7.

MUNSCHY C. *et al.*, 2005. Retrospective monitoring of the contamination of marine mussels from the French Coasts by PCDD/Fs (1981-2004). *Organohalogen Compounds*, 1243--1246. Communication orale.

CHIFFOLEAU J.F. *et al.*, 2005. Distribution of silver in mussel and oysters along the French coasts : Data from the national monitoring program. *Mar. Poll. Bull.*, 50, (2005), 1713-1744.

HUET M. *et al.*, 2005. Suivi annuel de l'imposex le long des côtes françaises. Rapport final de contrat universitaire n° 2005 5 50881450. 38 p. + annexes.

Ifremer, laboratoires côtiers, 2006. Résultats de la Surveillance de la Qualité du Milieu Marin Littoral, édition 2006. *10 rapports régionaux, env.* 60 p.

Aspects internationaux - Directive Cadre sur l'Eau

Au plan international, la Convention OSPAR pour la protection du milieu marin de l'Atlantique Nord Est s'intéresse à la réduction des pollutions d'origine tellurique. Les travaux de surveillance du RNO permettent de satisfaire une partie des obligations françaises concernant cette convention. La mise en œuvre de chaque stratégie est suivie par un comité spécialisé et ses groupes de travail.

Le comité sur l'évaluation et la surveillance (ASMO) s'appuie sur plusieurs groupes de travail. Parmi ceux-ci, le groupe SIME (*Concentrations, trends and effects of substances in the marine environment*) traite les données de surveillance, donc celles du RNO. A cet effet celles-ci sont systématiquement communiquées au CIEM* qui les gère pour le compte d'OSPAR. La base de donnée du CIEM est mise à disposition des experts lors des évaluations périodiques de l'environnement de la zone de la Convention réalisées par le groupe MON (*Monitoring*).

*Conseil International pour
l'Exploration de la Mer.

Le Comité "eutrophisation" (EUC) est chargé de la mise en œuvre de la procédure commune OSPAR de détermination de l'état d'eutrophisation des zones marines côtières. Le RNO a fait évoluer la stratégie de son volet hydrologique sur les secteurs sensibles à l'eutrophisation, en relation avec le réseau REPHY. La mise en œuvre de la DCE, qui prévoit également un suivi hydrologique des masses d'eau dans le cadre du contrôle de surveillance, devrait également entraîner une densification des points de surveillance, en complément des points déjà suivis.

Enfin, le Comité sur les substances dangereuses (HSC) s'occupe de prioriser les substances à surveiller, en tenant compte de celles qui sont déjà considérées par d'autres instances, telles que la DCE.

La "Convention de Barcelone pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution", a mis en œuvre la phase III du programme de surveillance MED POL dans le cadre du Plan Action Méditerranée (PAM) du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). Le RNO est également amené à fournir des données dans ce cadre.

De la même façon que le RNO a évolué tout au long de ses 30 années d'existence pour mieux répondre aux stratégies des conventions internationales, il doit maintenant s'adapter à la mise en œuvre de la Directive Cadre européenne sur l'Eau en ce qui concerne la surveillance chimique. L'expérience du RNO a été une des bases des propositions de recommandations pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE, rédigées par l'Ifremer à la demande du MEDD.

Dans chaque bassin, la coordination du RNO et les experts de l'Ifremer ont participé aux travaux de préparation du futur programme de surveillance (9 réunions - ateliers entre décembre 2004 et octobre 2006). Dans la majorité des cas une adaptation du plan d'échantillonnage suffit à couvrir les masses d'eau sujettes à surveillance. L'élargissement à des techniques différentes (caging, échantillonneurs passifs...) doit permettre de répondre à certaines situations particulières.

L'harmonisation des instruments de protection internationale du milieu marin doit être recherchée, par exemple entre OSPAR et la DCE à propos de la procédure commune "eutrophisation". C'est l'objectif que poursuit la commission européenne.

En 30 ans, toutes les adaptations du RNO aux demandes internationales ont été menées en préservant son objectif premier de connaissance patrimoniale et d'acquisition de séries à long terme.



2

Directive cadre européenne sur l'eau, l'état chimique des masses d'eau

1 Contexte et programme de surveillance

Anne PELLOUIN-GROUHEL

Ce que la DCE change

Le parlement européen et le conseil de l'union européenne ont signé le 23 octobre 2000 le texte de la directive établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau (directive 2000/60 CE). Ce texte, qui concerne toutes les eaux (eaux de surface continentales, eaux souterraines et eaux littorales), vise notamment la préservation ou l'amélioration de la qualité de celles-ci dans un but de protection des écosystèmes aquatiques et d'utilisation durable de l'eau. Plus précisément, l'article premier de ce texte affiche un objectif de réduction des rejets de substances prioritaires* et de suppression des rejets de substances dangereuses prioritaires**.

* Polluants ou groupes de polluants présentant un risque significatif pour ou *via* l'environnement aquatique (art. 16 1).

** Substances ou groupes de substances qui sont toxiques, persistantes et bioaccumulables, et autres substances qui sont considérées, à un degré équivalent, comme sujettes à caution. (art. 2, § 30)

La directive fixe un objectif de résultat à atteindre pour 2015, le bon état chimique et le bon état écologique des masses d'eau. L'état chimique, qui ne peut prendre que deux valeurs (bon ou mauvais), sera évalué par rapport à des valeurs-seuils (les normes de qualité environnementale ou NQE) fixées pour chaque substance prioritaire. Pour l'évaluation de l'état écologique, aux côtés des éléments de qualité biologique (phytoplancton, faune et flore benthique), d'autres contaminants chimiques rejetés en quantités significatives dans le milieu pourront être pris en compte. C'est donc l'ensemble de ces contaminants chimiques qu'il faudra considérer dans le milieu naturel, à la fois dans le cadre du contrôle des niveaux de présence et dans le cadre des mesures correctives à mettre en oeuvre pour atteindre le bon état en 2015.

Les programmes de surveillance de l'état des eaux au sein de chaque bassin comprennent en particulier le contrôle de surveillance pour l'évaluation de l'état général des eaux devant aboutir à la classification de chaque masse d'eau, et le contrôle opérationnel ciblé sur les masses d'eau à problème. Des contrôles complémentaires sont prévus : le contrôle d'enquête à mettre en place pour déterminer la cause *a priori* inconnue d'un problème observé et les contrôles additionnels sur des zones protégées au titre de réglementations antérieures (Natura 2000, etc.).

Le calendrier de la DCE

En ce qui concerne l'état chimique, les étapes clés du calendrier sont les suivantes :



Le 20 novembre 2001, la liste des substances prioritaires dans le domaine de l'eau, prévue à l'annexe X de la directive, a été arrêtée par décision du parlement européen et du conseil (décision 2455/2001/CE). Elle comprend une liste de 33 substances et groupes de substances, en complément de celles mentionnées à l'annexe IX de la directive, d'où un total de 41 substances à prendre en compte. Cette liste est susceptible d'être modifiée par la suite.

 A la fin de l'année 2004, les états membres devaient transmettre à la commission européenne un état des lieux initial dans chaque bassin hydrographique, établi à partir des données existantes complétées éventuellement de l'avis des experts. Cet exercice a souffert à la fois de l'absence de valeurs-seuils et de l'insuffisance des données pour l'identification des masses d'eau présentant un risque de non atteinte du bon état chimique (RNABE) en 2015.

 Au 22 décembre 2006 (soit six ans après l'entrée en vigueur de la directive), le programme de surveillance pour l'ensemble des éléments de qualité considérés par l'annexe V de la directive doit être défini, le rapport complet devant être transmis à la commission européenne dans les trois mois qui suivent cette échéance. Pour la chimie soutenant l'état écologique, la direction de l'eau du ministère de l'écologie et du développement durable établit la liste précise des contaminants qui devront être intégrés au programme de surveillance. Elle comprend environ 113 substances ou groupes de substances, abstraction faite des contaminants déjà inclus dans la liste des 41 substances prioritaires (voir encadré ci-contre). Le programme devra inclure le contrôle de surveillance et le contrôle opérationnel. En France, le démarrage effectif du contrôle de surveillance est prévu dès le début de l'année 2007, au moins pour les paramètres pour lesquels les stratégies d'échantillonnage et les méthodes de mesures sont applicables, et dès le début de l'année 2008 pour le contrôle opérationnel.

 Pour décembre 2009, les états membres devront avoir défini leur plan de gestion et notamment le programme des mesures correctives qu'ils comptent mettre en oeuvre dans chaque bassin pour améliorer l'état des masses d'eau risquant de ne pas atteindre le bon état en 2015. De manière à établir les conditions initiales, le contrôle opérationnel sur ces masses d'eau devra commencer au moins un an avant l'application des mesures correctives.

 Pour décembre 2013, l'état des lieux initial de 2004 devra être remis à jour. Ce bilan servira notamment à la révision du plan de gestion en décembre 2015.

La directive 76/464/CE codifiée, vise à éliminer la pollution des eaux par les substances de la liste I et à la réduire pour celles de la liste II. Ces substances sont décrites dans le décret n°2005-378 du 20 avril 2005.

Le programme vise donc les substances de la liste I, qui sont réglementées au plan européen par des "directives filles" de la directive 76/464/CE, transposées, notamment en ce qui concerne les normes de qualité, par l'arrêté du 20 avril 2005.

En ce qui concerne les substances de la liste II, la France doit désigner celles jugées pertinentes, c'est-à-dire celles qui sont, soit quantifiées dans les milieux aquatiques, soit retrouvées dans les émissions vers ces milieux.

En appliquant la méthode décrite au point 3.1 de l'annexe de l'arrêté du 30 juin 2005, les résultats des inventaires 2005 relatifs à l'identification de la présence des substances dans les milieux aquatiques et dans les rejets, conduisent à retenir 95 substances de la liste II, dont 60 de la "liste II-99 substances", 10 de la "liste 15 substances potentiellement liste I maintenant liste II" et 25 de la "liste II second tirt (métaux et autres substances)".

Le programme national vise donc 113 substances parmi les 156 indiquées dans le décret n°2005-378.

L'application concrète en France

La DCE sera mise en oeuvre pour l'essentiel dans le cadre des schémas directeurs des données sur l'eau (SDDE) pour la surveillance, et des schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) pour les mesures correctives.

La mise en place de la surveillance chimique dans le milieu marin bénéficie de l'expérience de plus de trente ans du RNO. Ceci a permis l'élaboration de recommandations techniques opérationnelles et adaptées aux caractéristiques de ce milieu. Elles se fondent sur deux principes :

- mesure des niveaux de concentration dans le sédiment fin superficiel ou dans les mollusques bivalves pour les substances hydrophobes* et intermédiaires. La mesure directe dans l'eau pose le problème de la représentativité de prélèvements ponctuels dans un milieu dynamique et n'est proposée que pour les substances strictement hydrophiles. Elle devra alors être menée dans l'eau filtrée.
- dans le cadre du contrôle opérationnel, suivi de l'évolution des concentrations dans les mollusques (pour les contaminants au comportement hydrophobe ou intermédiaire) de manière à pouvoir apprécier les tendances temporelles.

L'expérience acquise en surveillance dans le sédiment, pratiquée par le RNO depuis 1979 en complément de la surveillance dans les mollusques, a permis d'optimiser la stratégie d'échantillonnage et de montrer qu'un suivi décennal dans le sédiment superficiel rend compte de l'évolution de la qualité chimique du milieu

* Pour la définition des caractères hydrophobes et hydrophiles des substances, voir le tableau 1 de la page 24 ainsi que l'annexe pages 25 et 26.

marin avec une finesse suffisante. Par souci de cohérence avec la durée d'un plan de gestion (six ans), il est proposé de ramener la surveillance dans le sédiment à une campagne de prélèvement par secteur tous les six ans.

L'analyse chimique des sédiments fins d'une zone permet d'en cartographier la qualité. La dispersion des sédiments fins aptes à retenir les substances chimiques, ainsi que leur mobilité (sédimentation, remise en suspension, déplacements par les courants) nécessite à chaque campagne le prélèvement d'échantillons sur plusieurs points, notamment dans un but de comparaison de l'état chimique d'une campagne à l'autre, ainsi que pour permettre la normalisation des résultats.

Pour les masses d'eau évaluées sur la base des teneurs en contaminants chimiques de la chair de mollusques, les variations inter-annuelles doivent être prises en compte. Une surveillance au moins annuelle est donc nécessaire à l'instar de ce qui est préconisé dans le cadre de la convention OSPAR.

Une première proposition de programme de surveillance à mettre en place à partir de 2007 est présentée dans les cartes des pages 14 à 19 (figures 1 à 6). Le principe d'un point de surveillance dans le sédiment superficiel par masse d'eau suivie a été retenu dans la plupart des cas. L'information obtenue sur ce point sera complétée par celle venant des points voisins. La localisation du site de prélèvement, basée sur les coordonnées précises du point échantillonné lors de la campagne précédente, est susceptible d'évoluer en fonction des mouvements du sédiment fin. Pour les contaminants à rechercher dans l'eau, il est proposé, dans un premier temps, un suivi mensuel dans chaque masse d'eau retenue pour le contrôle de surveillance. L'organisation du suivi pour ces contaminants sera complétée au cours de l'année 2007, pour une mise en œuvre effective dès 2008. Les points correspondants du réseau n'ont donc pas été intégrés aux cartes présentées ici.

Concernant les performances analytiques requises, il est demandé que la sensibilité (limites de détection et de quantification), ainsi que la précision (reproductibilité et justesse) répondent, *a minima*, aux critères suivants :

- limite de quantification au moins égale à 30% de la limite du bon état (NQE)
- aptitude à classer les masses d'eau dans l'une ou l'autre classe, avec une marge d'erreur acceptable.

Cependant, l'analyse des coûts de la surveillance chimique en milieu marin montre qu'une part importante de ceux-ci concernent l'étape de prélèvement qui mobilise des moyens nautiques assez lourds. Par exemple, pour une campagne RNO courante de prélèvements de sédiments, sur navire hauturier et personnel qualifié à bord, le coût est de l'ordre de 7000 € (TTC) par jour. Il convient donc d'assurer, dès la phase de collecte des échantillons, les conditions nécessaires à leur exploitation optimale. Ceci passe par l'utilisation de techniques et matériels permettant le prélèvement et le stockage d'une quantité suffisante pour chaque échantillon, à l'abri de toute modification de ses caractéristiques et de ses teneurs en contaminants chimiques (matériaux et flaconnage employés, précautions opératoires, conservation au froid, etc.).

Pour permettre l'appréciation de l'évolution des teneurs au cours du temps et la détection d'éventuelles tendances pouvant conduire au déclassement ou au reclassement de la masse d'eau, les méthodes d'analyses employées au laboratoire devront être suffisamment performantes pour mesurer avec la précision nécessaire les concentrations habituellement rencontrées dans le milieu marin, quand bien même celles-ci seraient très inférieures aux limites du bon état (NQE).

Figure 1 : Carte présentant le programme du contrôle de surveillance chimique pour le district Artois-Picardie (document provisoire).

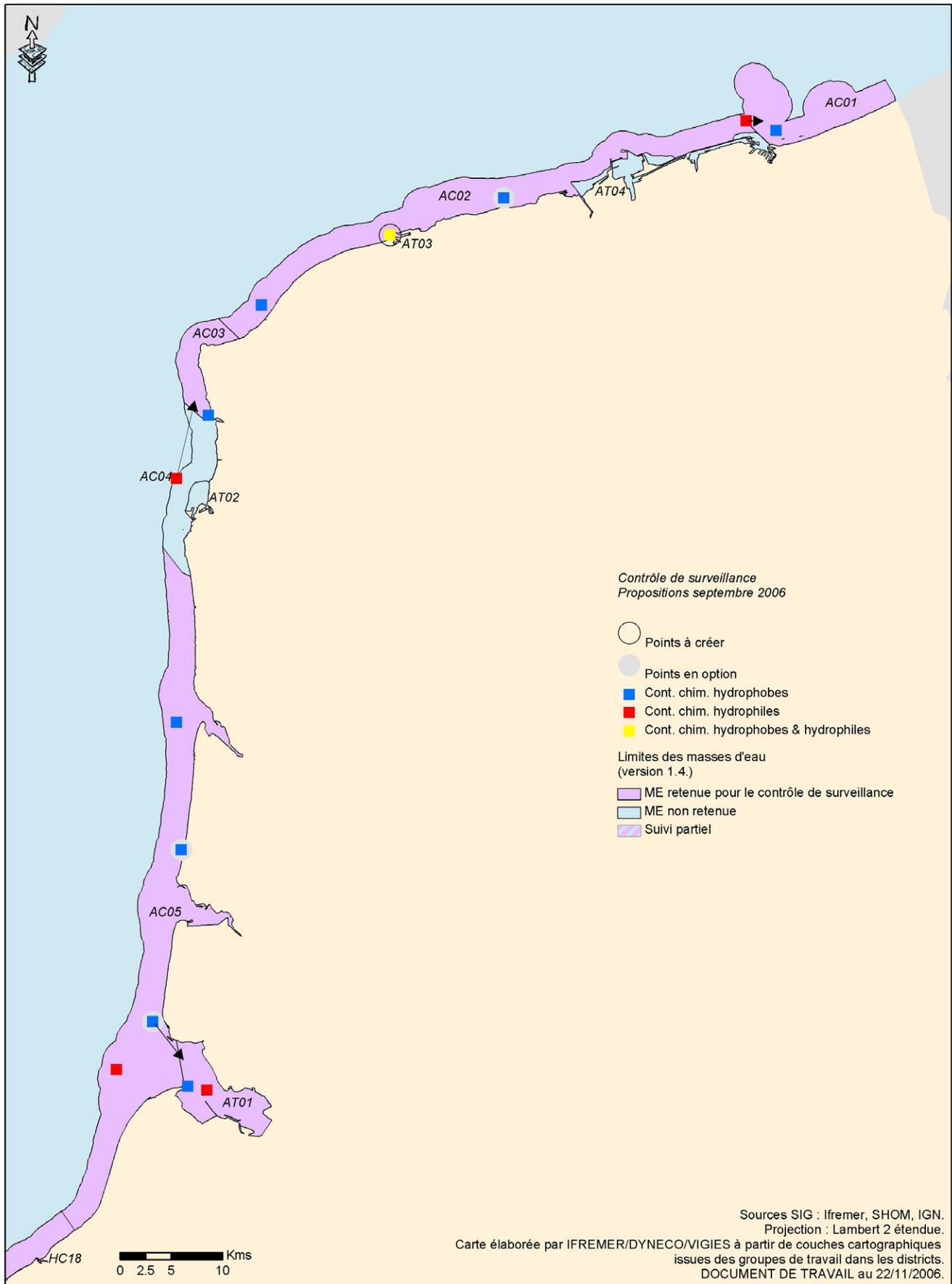


Figure 2 : Carte présentant le programme du contrôle de surveillance chimique pour le district Seine-Normandie (document provisoire).

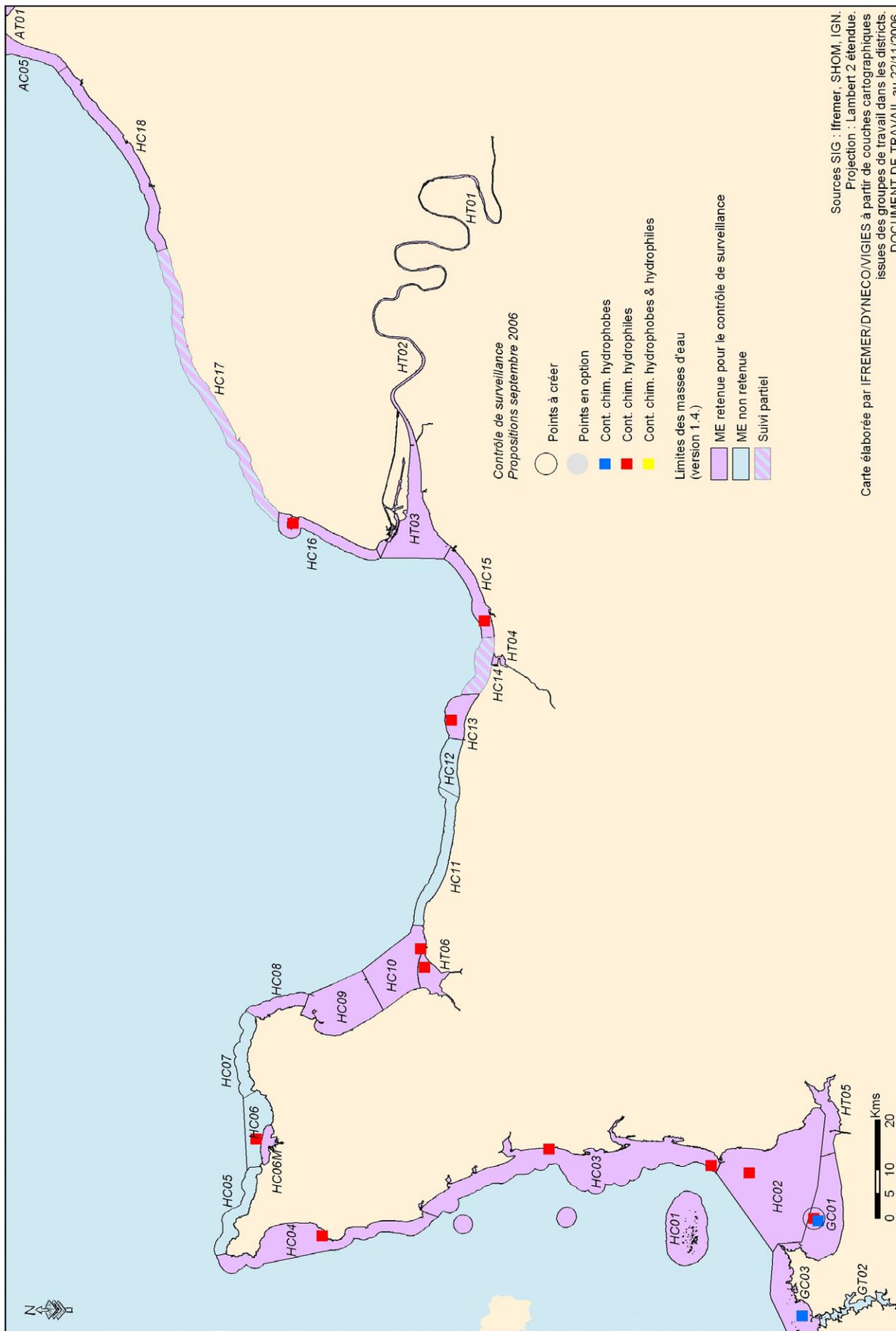


Figure 3 : Carte présentant le programme du contrôle de surveillance chimique pour le district Loire-Bretagne (document provisoire).

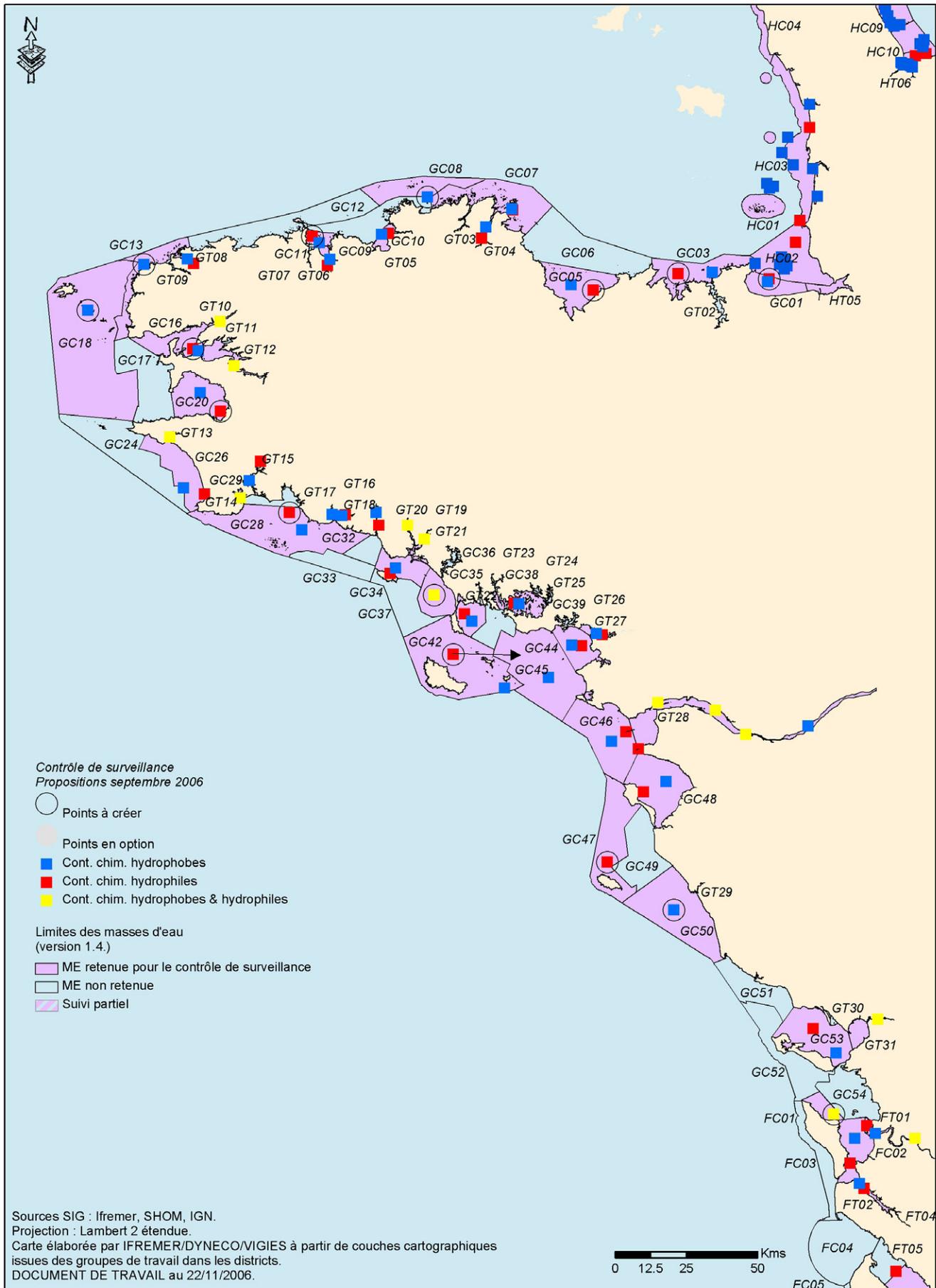


Figure 4 : Carte présentant le programme du contrôle de surveillance chimique pour le district Adour-Garonne (document provisoire).

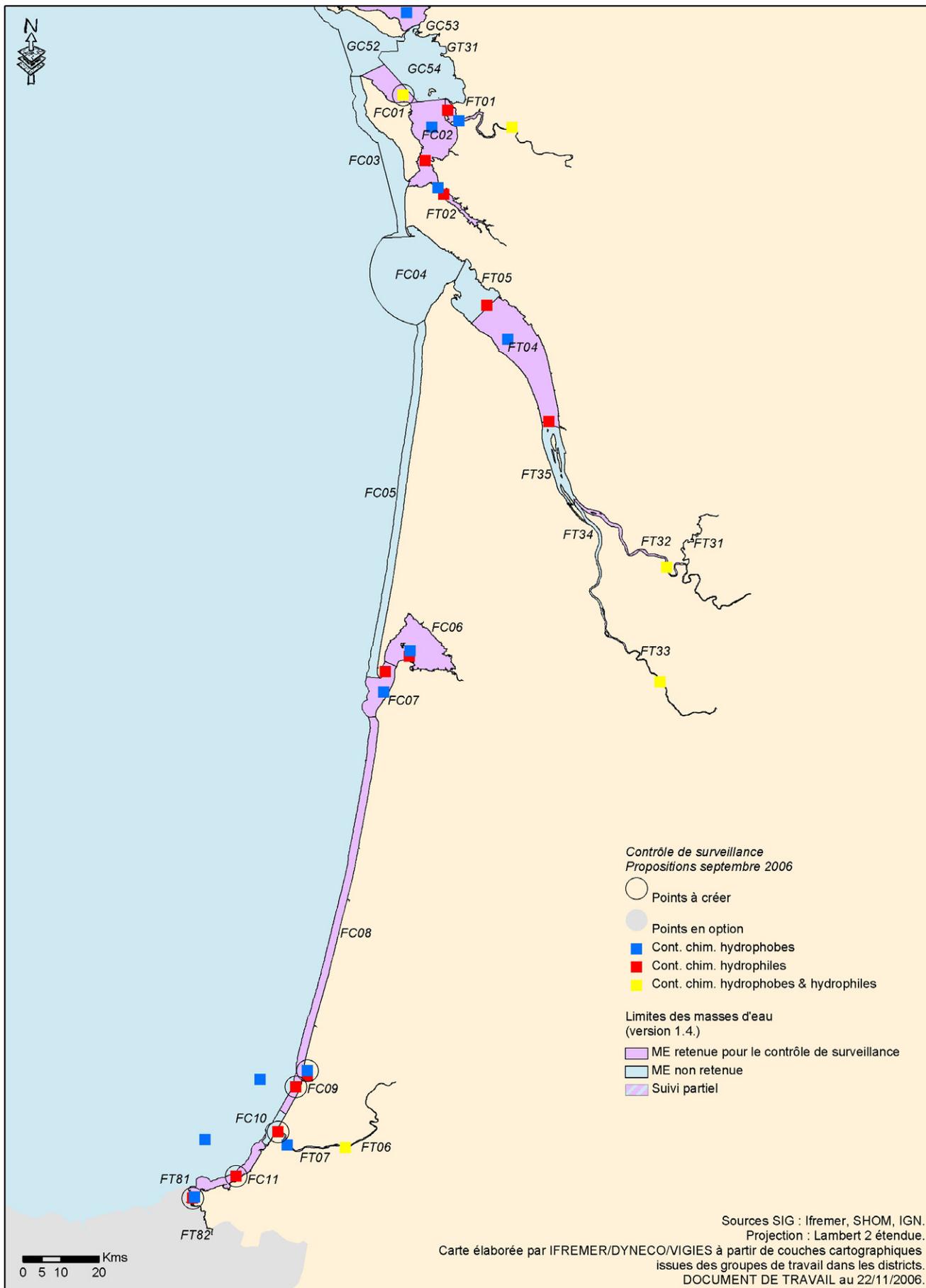


Figure 5 : Carte présentant le programme du contrôle de surveillance chimique pour le district Rhône-Méditerranée (document provisoire).

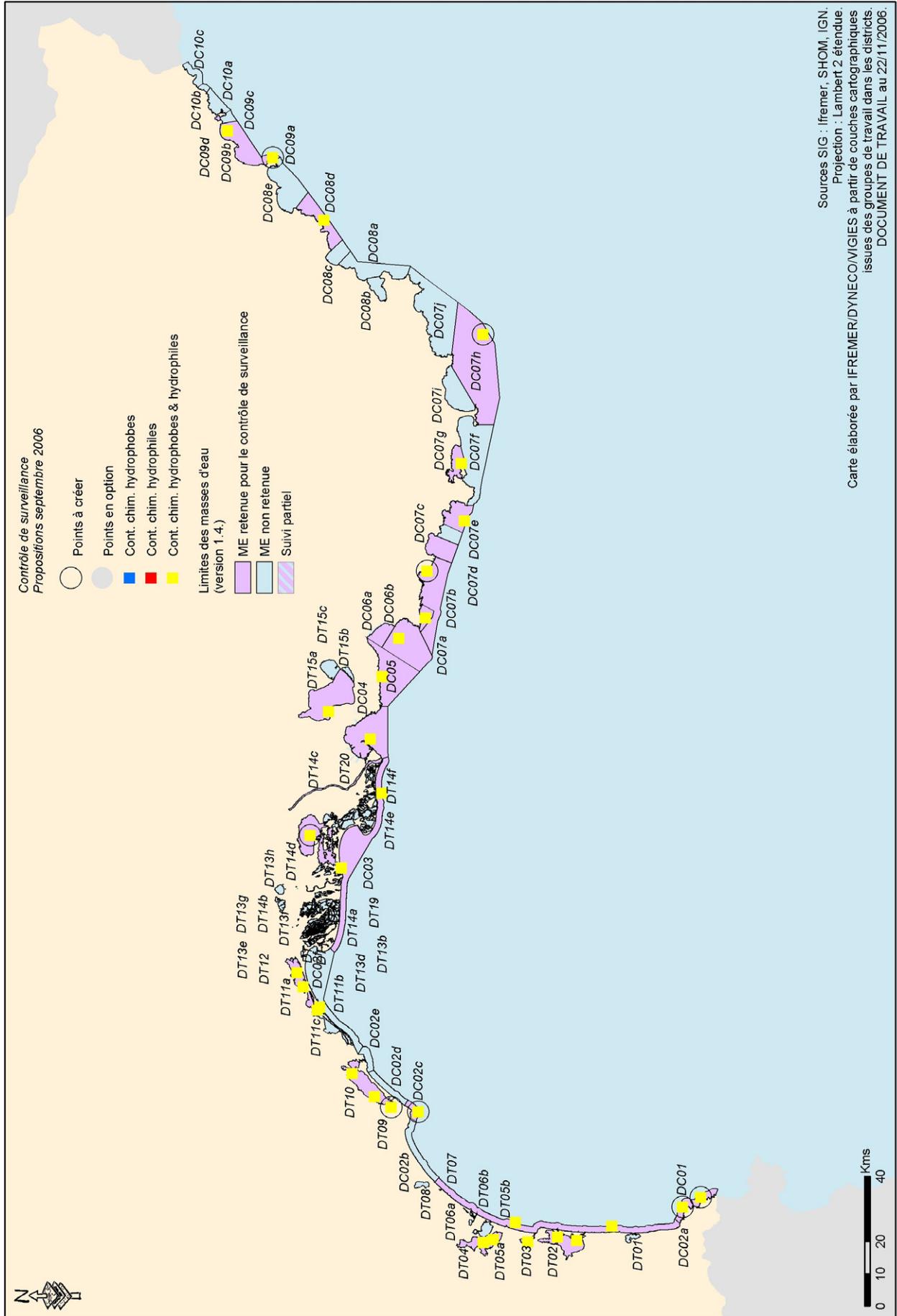
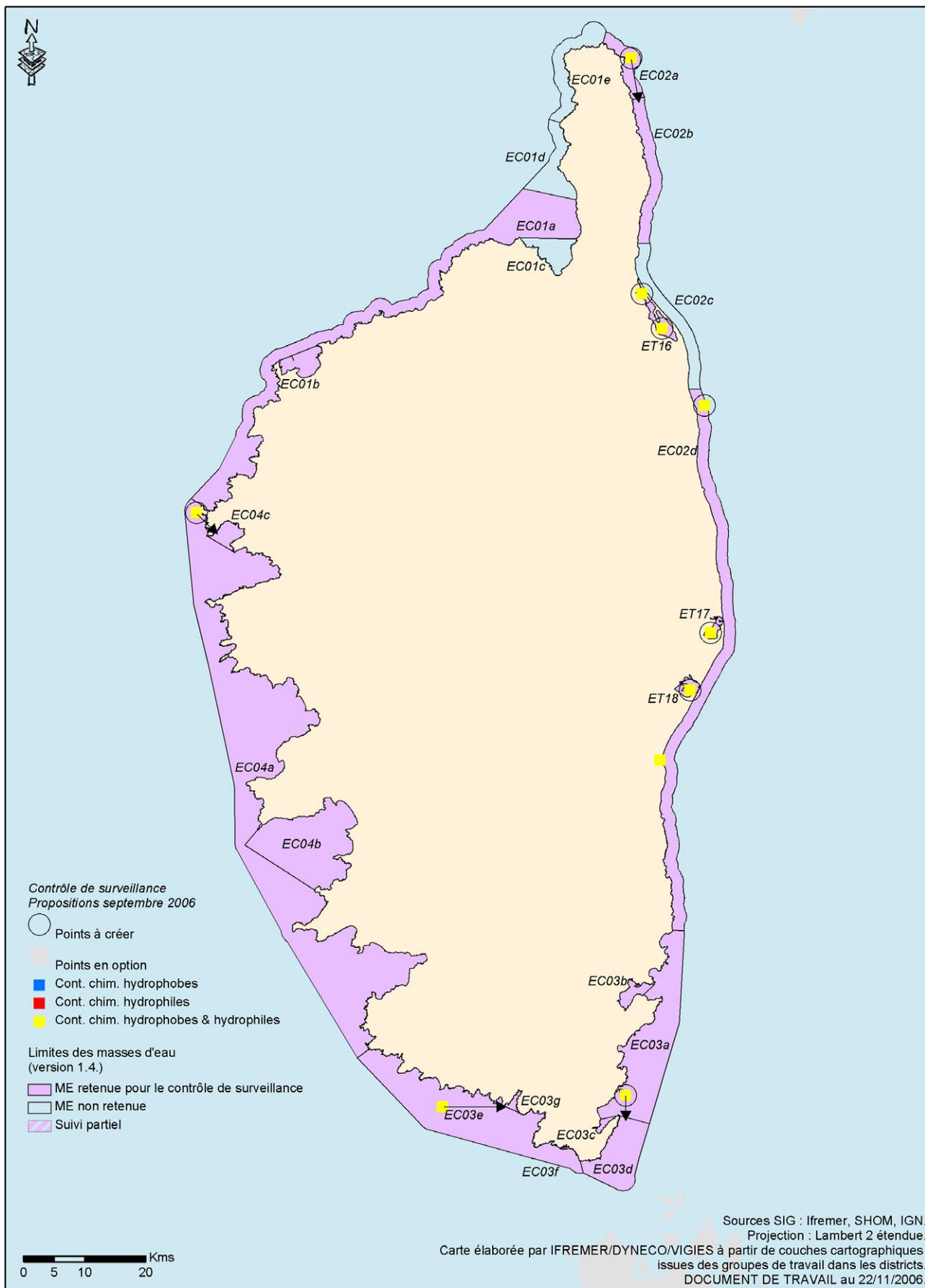


Figure 6 : Carte présentant le programme du contrôle de surveillance chimique pour la Corse (document provisoire).



2 Les Normes de Qualité Environnementale (NQE), outils d'évaluation du bon état chimique

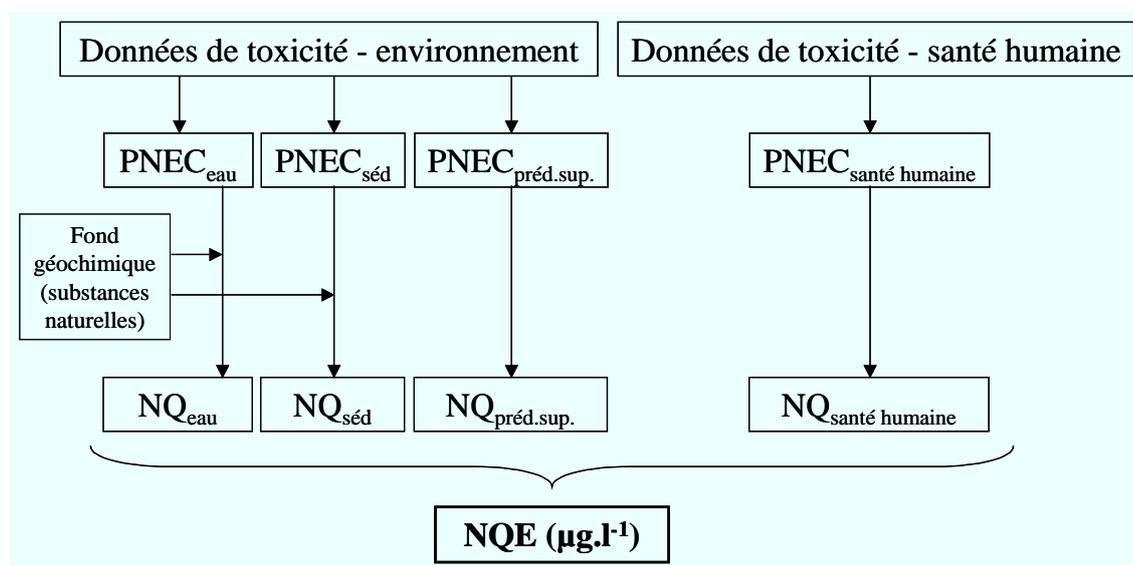
Alice JAMES⁽¹⁾, Didier CLAISSE et Michel MARCHAND

(1) INERIS. Cellule mixte Ifremer / INERIS d'Analyse des Risques Chimiques en milieu marin (ARC)

Comme indiqué précédemment, l'état chimique sera évalué par rapport à une valeur-seuil fixée pour chaque substance de la DCE et dénommée "norme de qualité environnementale" ou NQE. Les NQE sont construites à partir de l'évaluation du risque que la substance concernée fait courir à l'environnement ou à la santé humaine (art. 2, § 35).

Principe de la méthodologie en cascade de détermination de la norme de qualité environnementale

La méthode de détermination des NQE est décrite en détail dans les paragraphes suivants. Les trois étapes en cascade de son principe peuvent être résumées par le diagramme ci-dessous. Les sigles habituellement utilisés sont les suivants : PNEC pour "Predicted No Effect Concentration" (concentration prédite sans effet), NQ pour "Norme de Qualité", et NQE pour "Norme de Qualité Environnementale".



Les concentrations prédites sans effet (PNEC)

La méthodologie de détermination des concentrations prédites sans effet ou PNEC est fondée sur la méthodologie de l'évaluation des effets, étape indispensable dans l'évaluation des risques chimiques pour l'environnement. Cette méthodologie est décrite dans le document guide technique européen de l'évaluation des risques "Technical Guidance Document" ou TGD (voir encadré "pour en savoir plus").

Selon le principe de l'évaluation des risques chimiques pour l'environnement, on considère que protéger les organismes les plus sensibles revient à protéger l'intégralité de l'écosystème. Les PNEC sont donc calculées pour chacun des compartiments environnementaux afin d'identifier quels sont effectivement les plus sensibles, entre les organismes pélagiques qui vivent dans la colonne d'eau, les organismes benthiques vivant au contact du sédiment, ou bien encore les prédateurs supérieurs victimes de l'empoisonnement secondaire le long de la chaîne trophique. En outre, il est également tenu compte de la santé humaine car l'homme est situé en fin de chaîne trophique et les contaminants qu'il absorbe *via* la consommation des produits de la mer sont susceptibles de l'empoisonner. En milieu marin, l'exposition *via* la consommation d'eau potable n'a pas à être prise en compte.

La PNEC est calculée sur la base de données écotoxicologiques. Des résultats de bioessais réalisés en laboratoire permettent de définir, pour chaque substance, la concentration à partir de laquelle un certain pourcentage de la population d'organismes est affecté. A partir de ces résultats, l'application d'un facteur d'extrapolation permet de tenir compte d'un certain nombre d'incertitudes méthodologiques (extrapolation des données de laboratoire à l'échelle de l'écosystème, extrapolation de données aiguës à une situation chronique...).

C'est en divisant les concentrations d'effets par ce facteur d'extrapolation, que sont obtenues la PNEC_{eau}, la PNEC_{sédiment} et la PNEC_{prédateurs} supérieurs ainsi que la PNEC_{homme} via l'environnement.

De la concentration prédite sans effet à la norme de qualité

Parmi les 41 substances de la DCE, certaines existent à l'état naturel dans le milieu aquatique. Ce sont les métaux et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Pour ces substances, il existe donc une concentration naturelle appelée "bruit de fond" ou "fond géochimique" dont il y a lieu de tenir compte dans le calcul de la norme de qualité (NQ). En effet, du fait de leur présence naturelle et permanente dans le milieu, la méthodologie du TGD suppose une adaptation des espèces aquatiques à ces substances. Par conséquent, il est suggéré par le TGD d'utiliser pour le calcul de la norme de qualité la méthode dite "du risque ajouté" qui consiste à additionner le bruit de fond à la PNEC. Pour les substances d'origine exclusivement anthropique, la norme de qualité est égale à la PNEC.

Des normes de qualité à la norme de qualité environnementale

Une fois obtenues les normes de qualité pour chaque compartiment, on applique le principe selon lequel protéger les organismes les plus sensibles revient à protéger l'intégralité de l'écosystème, c'est-à-dire que l'on désigne la plus faible des normes de qualité comme étant la norme de qualité environnementale (NQE).

Conversions d'une matrice à l'autre

Le classement des masses d'eau se fera donc en comparant les résultats de la surveillance avec les NQE pour chaque substance ou groupe de substances. Cependant, sauf pour les substances strictement hydrophiles, les matrices intégratrices, telles que le sédiment et le biote, peuvent être avantageusement utilisées et sont recommandées par l'Ifremer (voir encadré "pour en savoir plus"). Les NQE étant, sauf exception, exprimées en concentrations dans l'eau, il convient de convertir les résultats obtenus dans le sédiment ou dans le biote en concentrations équivalentes dans l'eau.

Conversion du sédiment à l'eau

Le TGD propose une méthode basée sur l'équilibre de partage, *via* l'utilisation de paramètres propres au sédiment. Cette méthode de calcul repose notamment sur l'hypothèse d'une phase liquide en équilibre avec la phase solide dans le milieu naturel**, et des coefficients de partition connus entre les deux phases. Il n'existe pas pour le moment d'autre méthode reconnue pour la conversion des concentrations entre le sédiment et l'eau.

Cette méthode ne s'applique qu'aux contaminants organiques non polaires. Pour les contaminants organiques polaires, il faut tenir compte du taux de dissociation de la molécule. Le cas particulier des métaux est, quant à lui, présenté au paragraphe suivant.

La surveillance est réalisée dans le sédiment superficiel. L'équation utilisée avec la méthode de l'Equilibre de Partage (EqP) pour la conversion entre concentration dans l'eau (C_{eau}) et celle dans le sédiment superficiel ($C_{séd}$) est la suivante :

** Il est admis que le sédiment superficiel est le reflet des matières en suspension (MES) qui se déposent, ce qui sous-tend une relation de partage à l'équilibre des substances chimiques entre l'eau et les MES.

Paramètre de la substance, calculable à partir du Kow (coefficient de partage octanol-eau)

$$C_{\text{séd}} = \left\{ \left[F_{\text{eau-séd}} + \left(\left(F_{\text{solide-séd}} * F_{\text{OCséd}} * K_{\text{oc}} * \rho_{\text{solide}} \right) / 1000 \right) \right] / \rho_{\text{séd}} \right\} * C_{\text{eau}} * 1000$$

Paramètres du sédiment : % en eau, carbone organique, masse volumique

Avec :	$C_{\text{séd}}$	= concentration dans le sédiment superficiel	$[\mu\text{g.kg}^{-1}, \text{p.h.}]$
	$F_{\text{eau-séd}}$	= fraction d'eau dans le sédiment	[sans unité (ex : 40% d'eau = 0.4)]
	$F_{\text{solide-séd}}$	= fraction de solide dans le sédiment	[sans unité (ex : 40% d'eau = 0.6)]
	$F_{\text{OCséd}}$	= fraction de carbone organique dans le sédiment	$[\text{kg.kg}^{-1}]$
	K_{oc}	= coefficient de partage entre carbone organique et eau	$[\text{l.kg}^{-1}]$
	ρ_{solide}	= masse volumique de la phase solide du sédiment	$[\text{kg.m}^{-3}]$
	$\rho_{\text{séd}}$	= masse volumique du sédiment brut (non séché)	$[\text{kg.m}^{-3}]$
	C_{eau}	= concentration dans la colonne d'eau	$[\mu\text{g.l}^{-1}]$

D'où :

$$C_{\text{eau}} = \frac{C_{\text{séd}}}{\left\{ \left[F_{\text{eau-séd}} + \left(\left(F_{\text{solide-séd}} * F_{\text{OCséd}} * K_{\text{oc}} * \rho_{\text{solide}} \right) / 1000 \right) \right] / \rho_{\text{séd}} \right\} * 1000}$$

Le TGD propose des valeurs par défaut destinées à remplacer les termes de l'équation qui n'auraient pas été mesurés sur les échantillons réels. Il est cependant fortement recommandé de n'utiliser que les valeurs effectivement mesurées dans l'échantillon afin de rendre compte au mieux de l'hétérogénéité des sédiments.

Cas des métaux

Pour les métaux, l'approche est plus complexe car leur comportement chimique dans les sédiments dépend étroitement de la nature de ceux-ci et nécessite d'être traité au cas par cas. En effet la biodisponibilité de certains métaux dépend plus de la salinité des eaux interstitielles, alors que d'autres sont plus sensibles à la teneur en sulfures, à l'état d'oxydoréduction des sédiments, etc.. Pour pouvoir traiter le cas des métaux, il faudrait tenir compte de leur coefficient de partage eau-sédiment (K_p). Mais, pour un même site, celui-ci peut varier de plusieurs ordres de grandeur en fonction des caractéristiques sédimentaires. La normalisation des K_p (comme on sait le faire pour les teneurs en métaux elles-mêmes) nécessiterait de mesurer sur chaque échantillon de trop nombreux paramètres difficiles à acquérir, et n'est donc pas utilisable en routine de surveillance.

Actuellement, la commission européenne ne donne pas d'approche méthodologique pour traiter ce problème. Plusieurs groupes de travail européens sont saisis de la question.

Dans l'immédiat, l'expérience du RNO et de la convention OSPAR peut aider à évaluer le niveau de contamination par les métaux des masses d'eau suivies dans le sédiment. En effet, lors de ses évaluations périodiques, OSPAR n'utilise pas de NQE au sens propre mais des concentrations de référence dites "*Background Assessment Concentration*" (BAC). Celles-ci sont calculées à partir de l'ensemble des observations faites dans le cadre du programme de surveillance international. Elles sont normalisées à 5% d'aluminium et peuvent donc être comparées directement aux résultats du suivi chimique, eux aussi normalisés à 5% d'aluminium*. Une approche similaire est proposée par ailleurs pour les eaux douces. On trouvera dans le tableau 2, page suivante, les BAC utilisées lors de l'évaluation 2005 des eaux de la convention OSPAR.

* La méthode de normalisation des concentrations en métaux dans le sédiment est présentée dans le chapitre 3 de l'édition 2005 de ce bulletin.

Tableau 2 : BAC utilisées par OSPAR. mg.kg⁻¹, poids sec, normalisées à 5% d'aluminium.

métal	cadmium	mercure	nickel	plomb
BAC	0.31	0.07	61	38

A l'aide de cette méthode, et bien que ne répondant pas strictement à l'esprit des NQE dans la DCE, il est possible de qualifier le niveau de contamination d'une masse d'eau "à dire d'expert". Si les résultats normalisés sont voisins de la BAC (pouvant être assimilée au bruit de fond géochimique), les apports anthropiques sont considérés comme négligeables. S'ils sont significativement supérieurs à la BAC, le niveau de contamination peut être estimé par le rapport entre les résultats et la BAC.

Conversion du biote à l'eau

Le TGD suggère également une équation qui permet, *via* l'utilisation des facteurs de bioconcentration et de biomagnification, de convertir les concentrations dans le biote en concentrations équivalentes dans l'eau, en µg.l⁻¹.

$$C_{\text{prédateurs supérieurs}} = C_{\text{eau}} * \text{BCF} * \text{BMF}$$

Avec : C_{préd.sup} = concentration dans le prédateur supérieur [µg.kg⁻¹, p.h.]
 C_{eau} = concentration dans la colonne d'eau [µg.l⁻¹]
 BCF = facteur de bioconcentration [sans unité]
 BMF = facteur de biomagnification [sans unité]

Le processus de biomagnification n'intervient que chez les organismes de niveau trophique élevé. Ainsi, dans le cadre de la DCE où les organismes indicateurs de la contamination du milieu sont des mollusques, l'équation est-elle simplifiée en :

$$C_{\text{mollusques}} = C_{\text{eau}} * \text{BCF}_{\text{mollusques}}$$

D'où :

$$C_{\text{eau}} = \frac{C_{\text{mollusques}}}{\text{BCF}_{\text{mollusques}}}$$

Comme pour l'équilibre de partage, cette méthode de conversion entre le compartiment des organismes vivants et l'eau présente des limites, du fait notamment des incertitudes sur l'évaluation du facteur de bioconcentration et de la non prise en compte des processus biologiques (physiologie, nutrition, métabolisation des contaminants).

Pour la conversion des concentrations entre le biote et le compartiment aquatique, il serait donc intéressant d'utiliser un outil tenant compte de la physiologie des organismes. Un modèle de bioaccumulation des métaux traces dans la moule a été développé dans un travail de thèse en 2005 (voir encadré "pour en savoir plus"). Ce modèle de bioaccumulation à base énergétique a été élaboré en couplant un modèle de croissance ("*Dynamic Energetic Budget*" model ou modèle DEB) à un modèle simple d'accumulation. En plus de traiter de l'accumulation des métaux traces à partir de la voie dissoute et particulaire, le modèle tient compte de la biologie de l'individu et des conditions nutritives du milieu. Reliant par une méthode explicative les concentrations dans l'organisme à celle du milieu, ce modèle permet d'évaluer la contamination effective des sites en s'affranchissant des différences physiologiques dues au trophisme. L'utilisation d'un tel outil représente donc une possibilité de rapprocher avec plus de précision les concentrations dans les moules et les concentrations dans l'eau.

Dans la pratique

La surveillance n'est pas toujours réalisée par la recherche des substances dans la colonne d'eau. En effet, en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques (constante de Henry, coefficient de partage octanol-eau), les substances présentent plus ou moins d'affinité pour les diverses matrices du compartiment aquatique. C'est en fonction de ces caractéristiques que sera déterminé le choix de la matrice la plus appropriée à la détermination des niveaux de présence des substances dans le milieu marin (tableau 1).

Substances	Propriétés	Matrices préférentielles
Métaux		Sédiment, biote
Substances organiques volatiles	$H > 2.10^{-3} \text{ atm.m}^3.\text{mole}^{-1}$	Eau
Substances organiques hydrophiles	$\text{Log Kow} < 3$	Eau
Substances organiques intermédiaires	$3 < \text{Log Kow} < 5$	Eau, sédiment, biote
Substances organiques hydrophobes	$\text{Log Kow} > 5$	Sédiment, biote

Tableau 1 : Choix des matrices environnementales les plus pertinentes pour la surveillance chimique en fonction des propriétés des substances (proposition Ifremer).

H = constante de Henry
Log Kow = Log (coefficient de partage octanol-eau)

Les valeurs de ces différentes constantes pour les substances prioritaires et celles de la liste I de la directive 76/464 sont données en annexe pages 25 et 26. Ainsi, parmi ces 41 substances, 12 doivent être suivies dans l'eau du fait de leur caractère hydrophile et/ou de leur volatilité, et 15 doivent être suivies dans le sédiment et/ou le biote du fait de leur hydrophobicité. Les 4 métaux ont un comportement complexe mais leur capacité à s'adsorber sur les particules sédimentaires et leur caractère bioaccumulable amène à les suivre dans le sédiment et dans le biote. Les 10 substances restantes sont considérées comme intermédiaires et pourraient être suivies dans l'une ou l'autre des trois matrices environnementales. L'Ifremer recommande toutefois d'utiliser les matrices intégratrices pour éviter les problèmes de représentativité de prélèvements ponctuels dans l'eau.



Pour en savoir plus

Sur le TGD et les recommandations de l'Ifremer

C.E. (2003). Technical guidance document in support of Commission Directive 93/67/EEC on risk assessment for new notified substances and Commission Regulation (EC) No 1488/94 on risk assessment for existing substances and Commission Directive (EC) 98/8 on biocides. European Commission.

MARCHAND M. et TIXIER C. (2005). Analyse du risque chimique en milieu marin. L'approche méthodologique européenne. Editions de l'Ifremer : 126 pp.

CLAISSE D. et MARCHAND M. (2005). Recommandations pour la surveillance chimique. In Recommandations techniques pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE, Volume 1. Rapport Ifremer R.INT.DYNECO/VIGIES 05-12 (coordination GROUHEL G.), p. 11-14.

Sur le modèle de bioaccumulation des métaux dans la moule

CASAS S. (2005). Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *Mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen, Thèse de doctorat. Université du Sud-Toulon-Var (France): 314 pp.
<http://www.ifremer.fr/docelec/notice/2005/notice356.htm>

CASAS S. et BACHER C. (2006). Modelling trace metal (Hg and Pb) bioaccumulation in the Mediterranean mussel, *Mytilus galloprovincialis*, applied to environmental monitoring. Journal of Sea Research 56: 168-181.

Sur les BAC de la convention OSPAR dans le sédiment

OSPAR (2005). 2005 assessment of CEMP data. Appendix 6 : Background Assessment Concentrations. Alternative estimates based on the variability in the CEMP data.

Annexe

Tableau présentant les différentes caractéristiques des substances concernées par la surveillance chimique. Ce tableau a deux fonctions : d'une part permettre le choix de la matrice la plus appropriée pour la surveillance de chaque substance ou groupe de substances afin de déterminer leur niveau de présence dans le milieu, d'autre part utiliser les formules de conversion présentées dans le texte.

Coefficient de partage octanol-eau (K_{ow}), Facteurs de bioconcentration (BCF) pour les mollusques et coefficient de partition entre le carbone organique et l'eau (K_{oc}).

NA: Non Applicable ; * : Substances volatiles ; meHg = méthylmercure

	Substance	Numéro CAS	Log K _{ow}	BCF mollusques	K _{oc}	Matrices pertinentes pour la surveillance
1	Alachlore	15972-60-8	2.8	Non pertinent	100	eau
2	Anthracène	120-12-7	4.45	260 (<i>Macoma</i>)	15 850	sédiment-biote
3	Atrazine	1912-24-9	2.61	Non pertinent	79	eau
4	Benzène	71-43-2	2.13	Non pertinent	126	eau*
5	Pentabromodiphényl éther (PBDE)	32534-81-9	6.57	Pas de donnée mollusques	501 200	sédiment-biote
6	Cadmium et ses composés	7440-43-9	NA	994 (invertébrés)	NA	sédiment-biote
7	C ₁₀₋₁₃ chloroalcane	85535-84-8	4.39 – 8.69	40 900 (Moules)	199 530	sédiment-biote
8	Chlorfenvinphos	470-90-6	4.15	255 (<i>Mytilus galloprovincialis</i>)	500	eau-sédiment-biote
9	Chlorpyrifos	2921-88-2	4.7	Pas de donnée mollusques	7 940	eau-sédiment-biote
10	1,2-dichloroéthane	107-06-2	1.45	Non pertinent	10-200	eau*
11	Dichlorométhane	75-09-2	1.25	Non pertinent	8	eau*
12	Diéthylhexylphthalate (DEHP)	117-81-7	7.5	2 500 (Moules)	158 490	sédiment-biote
13	Diuron	330-54-1	2.68 – 2.85	Non pertinent	316	eau
14	Endosulfan	115-29-7	4.74	600 (<i>Mytilus</i>)	6 310	eau-sédiment-biote
15	Fluoranthène	206-44-0	5.33	10 000 (<i>Crassostrea</i>)	39 810	sédiment-biote
16	Hexachlorobenzène	118-74-1	5.5	7 000 (Bivalves)	125 890	sédiment-biote
17	Hexachlorobutadiène	87-68-3	4.78	2000 (<i>Mytilus</i>)	31 620	sédiment-biote
18	Hexachlorocyclohexanes (lindane)	608-73-1 (58-89-9)	3.69	161 (Moules) (240 (<i>Mytilus</i>))	3 980 (5 010)	eau-sédiment-biote
19	Isoproturon	34123-59-6	2.5	Non pertinent	126	eau
20	Plombs et ses composés	7439-92-1	NA	2 279 (Mollusques)	NA	sédiment-biote
21	Mercure et ses composés	7439-97-6	0.39 (meHg)	10 ⁶ – 10 ⁷ (incluant BMF)	NA	sédiment-biote
22	Naphtalène	91-20-3	3.7	27-38 (Moules)	794	eau-sédiment-biote

Suite du tableau

Coefficient de partage octanol-eau (Kow), Facteurs de bioconcentration (BCF) pour les mollusques et coefficient de partition entre le carbone organique et l'eau (Koc).

NA: Non Applicable ; * : Substances volatiles ; meHg = méthylmercure

#	Substance	Numéro CAS	Log K _{ow}	BCF mollusques	K _{oc}	Matrices pertinentes pour la surveillance
23	Nickel et ses composés	7440-02-0	NA	270 (bivalves)	NA	sédiment-biote
24	Nonylphénols (4-nonylphénols)	25154-52-3 (104-40-5)	4.48	3 000 (Moules)	5 010	eau-sédiment-biote
25	Octylphénols (para-tert-octylphénol)	1806-26-4 (140-66-9)	3-5	634 (Calculé)	19 950	eau-sédiment-biote
26	Pentachlorobenzène	608-93-5	5.18	2 000 (Bivalves)	39 810	sédiment-biote
27	Pentachlorophénol	87-86-5	3.3-5.12	390 (<i>Mytilus</i>)	3 980	eau-sédiment-biote
28	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)					
	Benzo(a)pyrène	50-32-8	5.97	12 000 (<i>Mytilus</i>)	6 309 570	sédiment-biote
	Benzo(b)fluoranthène	205-99-2	6.12	Pas de donnée mollusques	158 490	sédiment-biote
	Benzo(k)fluoranthène	207-08-9	6.84	Pas de donnée mollusques	398 110	sédiment-biote
	Benzo(g,h,i)pérylène	191-24-2	7.1	Pas de donnée mollusques	19 950	sédiment-biote
	Indéno(1,2,3-cd)pyrène	193-39-5	6.58	Pas de donnée mollusques	1 584 890	sédiment-biote
29	Simazine	122-34-9	2.18	Non pertinent	158	eau
30	Composés du Tributylétain (TBT) (Tributylétain-cation)	688-73-3 36643-28-4	3.54 (en mer)	11 400 (<i>Crassostrea</i>)	3 980	eau-sédiment-biote
31	Trichlorobenzène (1,2,4-Trichlorobenzène)	12002-48-1 120-82-1	4.05	Pas de donnée mollusques	1 260 (1 590)	eau-sédiment-biote
32	Trichlorométhane (Chloroforme)	67-66-3	1.97	Non pertinent	200	eau*
33	Trifluraline	1582-09-8	5.34	2 360 (<i>Helisoma</i>)	7 940	sédiment-biote
	Aldrine	309-00-2	6.5	43 650 (calculé)	50 120	sédiment-biote
	Dieldrine	60-57-1	5.4	7 760 (calculé)	12 590	sédiment-biote
	Endrine	72-20-8	5.2	5 250 (calculé)	12 590	sédiment-biote
	Isodrine	465-73-6	6.5	43 650 (calculé)	100 000	sédiment-biote
	Tétrachlorure de carbone	56-23-5	2.67	Non pertinent	251	eau*
	Total DDT		6.91	45 600 (Mollusques)	158 490	sédiment-biote
	Para-para-DDT	50-29-3	6.36	45 600 (Mollusques)	158 490	sédiment-biote
	Perchloréthylène (Tétrachloréthylène)	127-18-4	2.67	Non pertinent	251	eau*
	Trichloréthylène	79-01-6	4.05	Non pertinent	100	eau*

3

Ligne de base : Les contaminants chimiques dans les huîtres et les moules du littoral français

Didier CLAISSE, Morgan LE MOIGNE, Gaétane DURAND et Benoît BELIAEFF

Introduction

Le principal outil de connaissance des niveaux de contamination chimique de notre littoral est constitué par le suivi RNO mené depuis 1979 dans les moules et les huîtres, utilisées comme indicateurs quantitatifs. Ces mollusques possèdent en effet, comme de nombreux organismes vivants, la propriété de concentrer les contaminants présents dans le milieu où ils vivent. Ce phénomène de bioaccumulation est lent et nécessite plusieurs mois de présence d'un coquillage sur un site pour que sa concentration en contaminant en devienne représentative. On voit donc l'avantage d'utiliser ces indicateurs : concentrations plus élevées que dans l'eau, facilitant les analyses et les manipulations d'échantillons ; représentativité de l'état chronique du milieu permettant de s'affranchir des fluctuations rapides de celui-ci. C'est pourquoi de nombreux pays ont développé des réseaux de surveillance basés sur cette technique sous le terme générique de "*Mussel Watch*". Depuis 1979, le RNO a eu pour soucis d'optimiser en permanence les stratégies employées.

Cette approche, souvent qualifiée de "monitoring passif", a cependant ses limites. Tout d'abord, elle ne permet d'appréhender que les substances bioaccumulables, ce qui réduit l'éventail des contaminants suivis. Ensuite elle est tributaire de la présence d'animaux sauvages, ou tout au moins élevés dans des conditions normales, c'est à dire en zones trophiquement et hydrodynamiquement favorables. Pour cette dernière raison, entre autres, la surveillance RNO est complétée par un suivi dans le sédiment.

Les résultats du suivi RNO dans les mollusques ont été présentés périodiquement dans ce bulletin, en 1988, 1990, et 1995. Entre 1995 et 2005 des lignes de base concernant des contaminants nouvellement suivis ont été publiées. Ces éditions ont longtemps servi de référence pour de nombreux utilisateurs de tous horizons. Cependant, l'évolution temporelle des niveaux de contamination (tendances) a souvent profondément modifié l'image fournie par la surveillance. C'est pourquoi il a été jugé utile de présenter ici une nouvelle synthèse des résultats, portant sur l'ensemble des paramètres suivis par le RNO et sur une période récente.

Evolution des stratégies

En 28 ans de suivi dans les mollusques bivalves, les stratégies mises en œuvre par le RNO ont constamment évolué. La liste des contaminants mesurés s'est enrichie, passant de 12 à 61 substances. De même, le nombre et la disposition des points de prélèvement ont été optimisés plusieurs fois. L'échantillonnage est quant à lui passé de trimestriel (1979 - 2002) à annuel pour les contaminants organiques et bisannuel pour les métaux. Par ailleurs ce type de surveillance a été étendu à partir de 2002

aux Antilles (Martinique et Guadeloupe) sur la base de quatre échantillonnages par an dans un premier temps, afin d'étudier les éventuelles variations saisonnières.

En métropole, les mollusques utilisés sont les moules (*Mytilus edulis*, *Mytilus galloprovincialis*) et les huîtres (*Crassostrea gigas*). Les deux espèces de moules sont confondues dans les traitements car elles ne présentent pas de différences significatives des facteurs de bioaccumulation. Aux Antilles, deux bivalves ont été utilisés dans un premier temps (*Isognomon alatus* et *Crassostrea rhizophorae*), en double échantillonnage sur certains points. L'examen des résultats et des difficultés de collecte a permis de sélectionner *Isognomon alatus* à partir de 2005. Les deux genres seront traités ici séparément.

Données utilisées

Afin d'offrir une vision actualisée des niveaux de contamination, seules les cinq dernières années complètes disponibles ont été prises en compte, soit 2000 - 2004. Cependant, du fait des changements de fréquence d'échantillonnage en cours de période et des contaminants nouvellement suivis, les jeux de données utilisés peuvent être différents selon les cas :

- Cas général des métaux : 2000-2004, premier et dernier trimestre de chaque année.
- Chrome : 2001-2004. Argent, nickel et vanadium : 2003-2004.
- Cas général des contaminants organiques : 2000-2004, dernier trimestre de chaque année.
- Antilles : 2002-2004, quatre échantillons par an. Argent, nickel et vanadium : 2003-2004.

Mode de présentation des résultats

Dans les éditions précédentes nous avons utilisé la moyenne des observations. Cependant celle-ci peut être fortement influencée par les valeurs extrêmes présentes dans la population. La médiane*, utilisée ici, est considérée comme plus robuste et plus représentative.

La place manquerait pour présenter les résultats sur l'ensemble des 61 substances mesurées ces dernières années. De plus l'intérêt d'une telle exhaustivité serait très relatif. Par exemple, la mesure de nombreux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) présente surtout l'intérêt de pouvoir identifier la signature d'une contamination (le spectre des molécules composantes) afin d'en mieux discerner l'origine. Ce qui nous intéresse ici, ce sont les niveaux relatifs de contamination globale par les HAP. Il est dans ce cas préférable de ne présenter qu'une seule substance, considérée comme représentative de cette contamination. Pour les HAP nous utiliserons le fluoranthène. Il en va de même dans le cas des polychlorobiphényles (PCB), pour lesquels nous utiliserons le congénère CB 153. Les contaminants présentés dans ce qui suit figurent dans le tableau 1 ci-contre.

Présentation synthétique par grandes façades

Avant la présentation graphique par point de prélèvement, il a semblé utile de fournir une vision plus globale des niveaux médians de contamination par grandes façades du littoral. Le tableau 2, page suivante, regroupe cette information synthétique. Pour chaque ensemble "façade-espèce", sont présentés la médiane des observations, le minimum et le maximum rencontrés, ainsi que le nombre de données concernées. Tous les résultats sont exprimés par rapport au poids sec (chair lyophilisée). Les données obtenues aux Antilles sur *Crassostrea rhizophorae* sont présentées ici afin d'apprécier les différences de bioaccumulation avec *Isognomon alatus*, mais ne seront pas reprises par la suite dans les graphiques en raison du trop faible nombre d'observations.

* Médiane : valeur de part et d'autre de laquelle se répartissent également les valeurs d'une population.

Tableau 1 : Contaminants traités dans cette étude.

Argent (Ag)
Cadmium (Cd)
Chrome (Cr)
Cuivre (Cu)
Mercure (Hg)
Nickel (Ni)
Plomb (Pb)
Vanadium (V)
Zinc (Zn)
ΣDDT (DDT+DDD+DDE)
γ-HCH (lindane)
CB 153
fluoranthène

Tableau 2 : Données statistiques sur les contaminants dans les moules et les huîtres du littoral français de 2000 à 2004, sauf pour Cr (2001-2004), Ag, Ni et V (2003-2004). Résultats exprimés par rapport au poids sec.

Médiane
Mini - maxi
(Nb de données)

	Manche - Atlantique		Méditerranée	Antilles	
	<i>Crassostrea gigas</i>	<i>Mytilus spp.</i>	<i>Mytilus spp.</i>	<i>Isognomon alatus</i>	<i>Crassostrea rhizophorae</i>
Ag (mg.kg ⁻¹)	8.71 0.76 - 99 (118)	0.12 0.03 - 7.75 (119)	0.03 0.01 - 0.36 (69)	0.03 0.01 - 27.2 (40)	0.48 0.16 - 0.97 (10)
Cd (mg.kg ⁻¹)	1.75 0.43 - 56.3 (298)	0.60 0.17 - 3.03 (303)	0.72 0.20 - 10.0 (179)	0.35 0.13 - 1.15 (61)	0.39 0.12 - 0.66 (16)
Cr (mg.kg ⁻¹)	0.87 0.15 - 14.1 (238)	1.17 0.32 - 9.21 (244)	0.83 0.12 - 3.77 (142)	0.62 0.23 - 19.3 (61)	0.71 0.36 - 7.20 (16)
Cu (mg.kg ⁻¹)	190 6.72 - 2208 (298)	6.7 4.0 - 23 (303)	6.8 3.8 - 67 (179)	9.2 5.4 - 83 (61)	83.9 9.0 - 248 (16)
Hg (mg.kg ⁻¹)	0.20 0.04 - 0.51 (298)	0.12 0.03 - 0.53 (303)	0.12 0.04 - 0.68 (179)	0.10 0.04 - 0.22 (61)	0.09 0.04 - 0.15 (16)
Ni (mg.kg ⁻¹)	1.02 0.34 - 4.83 (118)	1.55 0.45 - 6.00 (119)	1.48 0.47 - 8.41 (69)	0.66 0.31 - 7.24 (40)	0.94 0.47 - 1.35 (10)
Pb (mg.kg ⁻¹)	1.4 0.4 - 6.1 (298)	1.4 0.4 - 9.6 (303)	1.8 0.1 - 27.7 (179)	0.2 0.1 - 18.3 (61)	0.2 0.1 - 3.4 (16)
V (mg.kg ⁻¹)	1.17 0.50 - 6.02 (118)	1.62 0.49 - 5.29 (119)	1.4 0.43 - 15.4 (69)	1.35 0.66 - 6.64 (40)	1.14 0.98 - 2.78 (10)
Zn (mg.kg ⁻¹)	2310 425 - 7030 (298)	85 36 - 409 (303)	152 43 - 357 (179)	4607 973 - 13450 (61)	1652 883 - 3126 (16)
ΣDDT (µg/kg)	7.09 2.75 - 30.2 (119)	5.3 0.63 - 36.6 (120)	15.1 1.87 - 83.2 (69)	0.76 0.27 - 7.9 (53)	0.71 0.33 - 1.11 (9)
γ-HCH (lindane) (µg.kg ⁻¹)	0.82 0.29 - 7.12 (117)	0.70 0.13 - 4.96 (112)	0.36 0.10 - 1.75 (64)	0.23 0.11 - 3.92 (48)	0.23 0.13 - 0.78 (7)
CB153 (µg.kg ⁻¹)	20.7 4.19 - 189 (148)	19.4 0.16 - 495 (148)	18.7 1.57 - 593 (86)	1.39 0.22 - 15.1 (53)	0.83 0.54 - 14.3 (9)
Fluoranthène (µg.kg ⁻¹)	34.7 8.0 - 95.1 (149)	21.4 4.0 - 245 (151)	13.2 2.19 - 243 (87)	4.72 0.47 - 32.3 (61)	3.80 0.86 - 12.5 (16)

Présentation détaillée

Les figures des pages 35 à 47 présentent pour chaque contaminant étudié les résultats par point de prélèvement. L'ordre des points est géographique et correspond au développement linéaire du littoral métropolitain, depuis Dunkerque jusqu'à la Corse. Les données de la Guadeloupe et de la Martinique sont présentées séparément à la suite. En effet, le peu de recul actuel rend difficile une évaluation fiable des différences de capacité de bioaccumulation de l'espèce utilisée, et donc illusoire la comparaison directe avec le reste du littoral.

Pour chaque point de mesure le graphique présente la médiane des observations sur la période précisée plus haut. Ici également, tous les résultats sont exprimés par rapport au poids sec.

Différences de bioaccumulation entre espèces

A niveau de contamination égal du milieu, les moules et les huîtres ne concentrent pas tous les contaminants dans la même proportion. Les différences sont minimales et non significatives pour les contaminants organiques. Par contre, pour certains métaux, ces différences sont telles qu'elles interdisent la comparaison directe entre les deux bivalves. Dans ces cas particuliers les figures comportent deux échelles de façon à pouvoir comparer visuellement les niveaux de contamination de l'ensemble du littoral. Les rapports de bioaccumulation utilisés pour la cohérence des échelles sont les suivants (huîtres par rapport aux moules) : argent : 50, cadmium : 2.5, cuivre : 10, zinc : 15.

Commentaire

Argent (Ag)

L'argent présent en milieu côtier provient du lessivage des sols, de la corrosion des équipements industriels et des rejets atmosphériques issus de la combustion des déchets urbains. C'est d'ailleurs un indicateur de pollution urbaine. Mais l'origine essentielle de la contamination en milieu naturel vient des effluents des industries photographiques qui l'utilisent sous forme de nitrate d'argent. Les traitements en station d'épuration ne sont pas toujours efficaces pour débarrasser les eaux usées de cet élément.

Des études expérimentales ont montré que l'argent est très toxique pour les larves des mollusques. En revanche, les individus ayant dépassé le stade larvaire supportent des expositions prolongées en même temps qu'ils accumulent des quantités importantes de ce métal.

Les résultats (page 35) montrent une répartition très hétérogène de l'argent sur le littoral. Des niveaux particulièrement élevés sont observés en estuaire et dans le panache de la Seine (jusqu'à 28 fois la médiane de la façade). La Loire, le littoral charentais et la Gironde présentent également des niveaux élevés. En Méditerranée les concentrations sont plus homogènes et dans l'ensemble assez faibles.

Cadmium (Cd)

Les principales utilisations du cadmium sont les traitements de surface (cadmiage), les industries électriques et électroniques et la production de pigments colorés surtout destinés aux matières plastiques. A noter que les pigments cadmiés sont désormais prohibés dans les plastiques alimentaires. Dans l'environnement, les autres sources de cadmium sont la combustion du pétrole ainsi que l'utilisation de certains engrais chimiques où il est présent à l'état d'impureté.

Le renforcement des réglementations de l'usage du cadmium et l'arrêt de certaines activités notoirement polluantes s'est traduit par une baisse générale des niveaux de présence observés (page 36).

Mise en évidence dès les années 1980 par le RNO, la contamination de la Gironde par le cadmium reste le constat majeur des résultats présentés ici (de 6 à 15 fois la médiane de la façade, et jusqu'à 60 fois les niveaux les plus faibles rencontrés en France dans les huîtres). La diminution constante des concentrations observées depuis la fin des années 1980 a réduit l'amplitude de ce phénomène, mais les niveaux de présence du cadmium en Gironde restent largement supérieurs aux normes du classement de zone conchylicole par exemple (1 mg.kg^{-1} , poids frais soit environ 5 mg.kg^{-1} , poids sec).

La contamination de la Seine, bien que moins spectaculaire qu'il y a dix ans, reste très perceptible. L'étang de Bages, près de Narbonne, se singularise encore par des niveaux forts, bien que diminuant également.

Toutes les contaminations par le cadmium précédemment évoquées ont fait l'objet d'études ayant permis d'identifier les sources et d'expliquer les tendances à la baisse. Cependant, en Corse, le point "Ajaccio - Pointe de Parata", créé en 1998, présente des concentrations élevées sans que ceci soit pour le moment expliqué.

Chrome (Cr)

Le chrome est un des métaux les plus utilisés dans le monde et peut donc être rejeté en quantités significatives dans l'atmosphère et les milieux aquatiques. Sa toxicité dépend de sa forme chimique. La forme oxydée Cr(IV) est toxique et cancérigène.

Trois sites montrent des concentrations en chrome significativement plus élevées que sur le reste du littoral : le Pays de Caux, la Gironde et, dans une moindre mesure, l'embouchure de l'Hérault (page 37). Ces données récentes ne sont pas expliquées pour le moment.

Cuivre (Cu)

Hormis tous les usages industriels du cuivre, ce métal est également utilisé dans les algicides et les peintures antisalissure des navires, surtout depuis le bannissement du tributylétain (TBT). Par contre il entre dans le métabolisme de nombreux mollusques, dont les moules. De fait, ces bivalves sont de très mauvais indicateurs pour le cuivre car ils en régulent leur contenu autour de 7 mg.kg^{-1} (page 38).

Les résultats dans les huîtres, quant à eux, présentent de très fortes concentrations en Gironde (7 fois la médiane de la façade), vraisemblablement liées aux activités minières responsables de la contamination par le cadmium.

Mercure (Hg)

Seul métal volatil, le mercure, naturel ou anthropique, peut être transporté en grandes quantités par l'atmosphère. Les sources naturelles en sont le dégazage de l'écorce terrestre, les feux de forêt, le volcanisme et le lessivage des sols. Sa très forte toxicité fait qu'il est soumis à de nombreuses réglementations d'utilisation et de rejet. Les sources anthropiques sont constituées par les processus de combustion (charbon, pétrole, ordures ménagères, etc.), de la fabrication de la soude et du chlore ainsi que de l'orpaillage.

Les concentrations en mercure observées dans les huîtres et les moules du littoral métropolitain (page 39) sont toutes très inférieures à la norme du classement de zone conchylicole ($\approx 2.5 \text{ mg.kg}^{-1}$, poids sec). Cependant, quelques sites présentent des niveaux plus élevés que le reste du littoral. Comme dans les synthèses précédentes, le Pays de Caux présente des teneurs jusqu'à trois fois supérieures à la médiane de la façade pour les moules et, surtout, bien supérieures à celles

observées dans l'estuaire de la Seine immédiatement adjacent. Cette singularité a fait l'objet d'une étude destinée à expliquer cet apparent paradoxe. Il a été établi que cette différence de concentrations dans les moules s'accompagne de différences semblables dans les eaux côtières qui baignent les bivalves. On interprète la différence entre les concentrations trouvée en estuaire de Seine et le long du Pays de Caux comme le résultat de la rétention d'une partie du mercure fluvial dans les sédiments de l'estuaire, alors que le mercure dissous dans les eaux douces souterraines du Pays de Caux (caractérisé par la présence de résurgences karstiques en mer) est transféré aux eaux marines sans processus d'enlèvement.

Le littoral vendéen, la baie de Marennes-Oléron, et la rive nord de la Gironde présentent également des niveaux de présence significativement plus élevés que leur façade de référence. Dans le Pays Basque, la forte contamination observée en 1984-85 dans la Nivelle (Ciboure) ne s'est jamais reproduite et les niveaux sont désormais voisins de la médiane de la façade pour les huîtres. En Méditerranée, le golfe de Fos, la baie de Marseille et la rade de Toulon se distinguent nettement de l'ensemble, la médiane des teneurs observées à Toulon atteignant quatre fois la médiane de la façade.

Nickel (Ni)

Le nickel entre dans la fabrication d'acier inoxydable, comme catalyseur dans l'industrie chimique et dans certains pigments. Cependant, les principales sources de nickel dans les milieux aquatiques sont les eaux usées domestiques et les boues de station d'épuration ainsi que, via l'atmosphère, la combustion du pétrole et du bois.

Les seuls sites présentant des niveaux significativement plus élevés que l'ensemble du littoral sont deux étangs littoraux du Roussillon, Leucate et Bages (page 40).

Plomb (Pb)

Depuis l'abandon de l'usage du plomb-tétraéthyle comme antidétonant dans les essences, les usages principaux de ce métal restent la fabrication d'accumulateurs et l'industrie chimique. Son cycle atmosphérique est très important et constitue une source majeure d'apport à l'environnement.

La répartition du plomb sur le littoral est assez homogène (page 41), ce qui met en évidence quelques sites plus contaminés : Les estuaires de la Seine et de l'Aulne, la baie de Chingoudy à Hendaye, l'embouchure de l'Hérault, la baie de Marseille et la rade de Toulon. Fait important, l'estuaire de la Loire ne figure plus dans ce groupe suite à la fermeture de l'usine de plomb-tétraéthyle de Paimboeuf.

Vanadium (V)

Le vanadium naturel provient principalement de l'activité volcanique et de l'érosion de la croûte terrestre. Les sources anthropiques sont fluviales et atmosphériques. Le vanadium est utilisé dans la métallurgie et l'industrie chimique. Les apports atmosphériques proviennent de la combustion des matières fossiles, certains pétroles bruts contenant du vanadium en quantité importante. De ce fait, il peut être considéré comme un traceur des déversements accidentels d'hydrocarbures en mer. Il est connu pour être un inhibiteur potentiel de certaines activités enzymatiques.

La répartition du vanadium sur le littoral français est relativement homogène (page 42). Seuls trois points se détachent nettement du reste du littoral pour des causes restant à identifier : la côte du Roussillon à Banyuls et à l'embouchure de l'Hérault, ainsi que la pointe de Parata en sortie de baie d'Ajaccio.

Zinc (Zn)

Le zinc a des usages voisins de ceux du cadmium auxquels il faut ajouter les peintures antirouille et l'industrie pharmaceutique. Il est peu toxique pour l'homme mais peut perturber la croissance des larves d'huîtres. Les sources de zinc dans les milieux aquatiques peuvent être industrielles et domestiques, mais également agricole car il est présent en quantités significatives comme impureté dans certains engrais phosphatés.

Seule la Gironde présente des niveaux de zinc significativement plus élevés que la médiane de la façade de référence (page 43). Ces apports en zinc sont liés aux mêmes activités minières que pour le cadmium.

DDT (dichloro-diphényl-trichloroéthane)

Les résultats présentés ici sous l'appellation ΣDDT sont en fait la somme [DDT + DDD + DDE], plus représentative de la contamination par cette substance et ses métabolites. La toxicité et la rémanence de cet insecticide ont conduit à l'interdiction de son utilisation en 1972. Pourtant, c'est seulement vers le milieu des années 1980 qu'une forte tendance à la baisse a commencé à se dessiner, puis à se confirmer sur tout le littoral, avec des décalages dans le temps selon les sites. Certains points du bassin d'Arcachon, qui étaient parmi les plus contaminés dans les années 1980, ont vu leurs concentrations en DDT dans les huîtres divisées par 50 en 15 ans.

A l'heure actuelle, sur la façade Manche-Atlantique, seule la Seine semble drainer encore des quantités significatives de DDT (page 44). Les singularités de la Gironde, d'Arcachon et du Pays Basque sont en voie de régression rapide.

L'information principale mise en évidence par les résultats présentés ici reste la présence de niveaux élevés sur la moitié ouest du littoral Méditerranéen. La région de Banyuls, l'embouchure de l'Hérault, les étangs de Bages et du Prévost, Les Saintes-Maries-de-la-Mer et le golfe de Fos présentent une décroissance des niveaux de DDT moins nette que le reste du littoral, ce qui fait d'autant mieux ressortir les concentrations encore élevées qu'on y trouve.

Lindane (γ HCH ; gamma hexachlorocyclohexane)

Le lindane est un puissant insecticide organochloré largement utilisé jusqu'à son interdiction en France en 1998. On observe de fait une décroissance générale des niveaux de présence pour toutes les façades. Ce phénomène est à l'origine de la spectaculaire modification de la répartition du lindane sur le littoral français entre les années 1990 et aujourd'hui. En effet, les pertuis charentais et la baie de Marennes-Oléron, qui présentaient en 1995 les niveaux les plus élevés, se distinguent désormais à peine de la ligne de base nationale (page 45). Par contre, sur une grande partie des côtes bretonnes, de la baie du Mont-Saint-Michel à Lorient, la décroissance des niveaux de lindane a été moins rapide et ce littoral apparaît désormais comme celui où sont rencontrés les niveaux les plus élevés. Ceci est particulièrement vrai pour l'embouchure de l'Aulne et les points nouvellement suivis des baies de Douarnenez et d'Audierne, ainsi que la pointe de Moustierlin.

En Méditerranée, les niveaux sont généralement faibles à l'ouest et très faibles à l'est du Rhône, avec toutefois l'exception de l'étang d'Urbino, en Corse, qui présente une médiane quatre fois supérieure à celle de la façade.

PCB (Polychlorobiphényles)

Les PCB sont des composés organochlorés comprenant plus de 200 congénères différents. Leur rémanence, leur toxicité, et leur faculté de bioaccumulation ont conduit à interdire leur usage en France à partir de 1987. Depuis lors, ils ne subsistent plus que dans des équipements électriques anciens, transformateurs et

gros condensateurs. La convention de Stockholm prévoit la disparition totale de ces équipements pour 2025.

La stratégie de surveillance des PCB par le RNO a été modifiée en 1992. De 1979 à cette date ils étaient mesurés et exprimés en équivalent de mélange technique (Arochlor 1254). Depuis 1992, neuf congénères sélectionnés sont mesurés individuellement (CB 28, 52, 101, 105, 118, 138, 153, 156, 180). La présentation des résultats pour les neuf congénères mesurés n'aurait que peu d'intérêt. L'ensemble des Polychlorobiphényles sera donc représentés ici par le **CB 153**, considéré comme représentatif de la contamination globale par ce groupe de substances (page 46).

Preuve de leur grande rémanence, la répartition des PCB sur le littoral français présente aujourd'hui exactement le même profil relatif qu'en 1995, lors de la synthèse précédente. Le changement de méthode de mesure interdit de comparer directement les niveaux entre ces deux travaux. Cependant, les tendances observées dans les séries temporelles depuis 1992 laissent supposer qu'à distribution identique, l'ensemble des niveaux de présence sur le littoral a baissé significativement.

La très forte contamination de l'estuaire de la Seine par les PCB est le principal fait marquant confirmé par ce travail. La médiane des concentrations rencontrées ici atteint 17 fois la médiane de la façade pour les moules et le maximum mesuré, 25 fois. La contamination par les PCB observée en Seine se situe parmi les niveaux forts sur le plan international.

Sur le reste du littoral, plusieurs sites se distinguent par des niveaux médians significativement plus élevés que celui de leur façade de référence : L'embouchure de l'Elorn ("Rade de Brest - Le passage"), la Gironde, la baie de Chingoudy à Hendaye et la baie du Lazaret en rade de Toulon.

HAP (Hydrocarbures aromatiques polycycliques)

Les HAP entrent pour 15 à 30% dans la composition des pétroles bruts. Moins biodégradables que les autres hydrocarbures, ils restent plus longtemps dans le milieu. S'ils existent à l'état naturel dans l'océan, leur principale source est anthropique et provient de la combustion des produits pétroliers, sans oublier les déversements accidentels et les rejets illicites. Les principaux HAP sont cancérogènes à des degrés divers, le plus néfaste étant le benzo(a)pyrène.

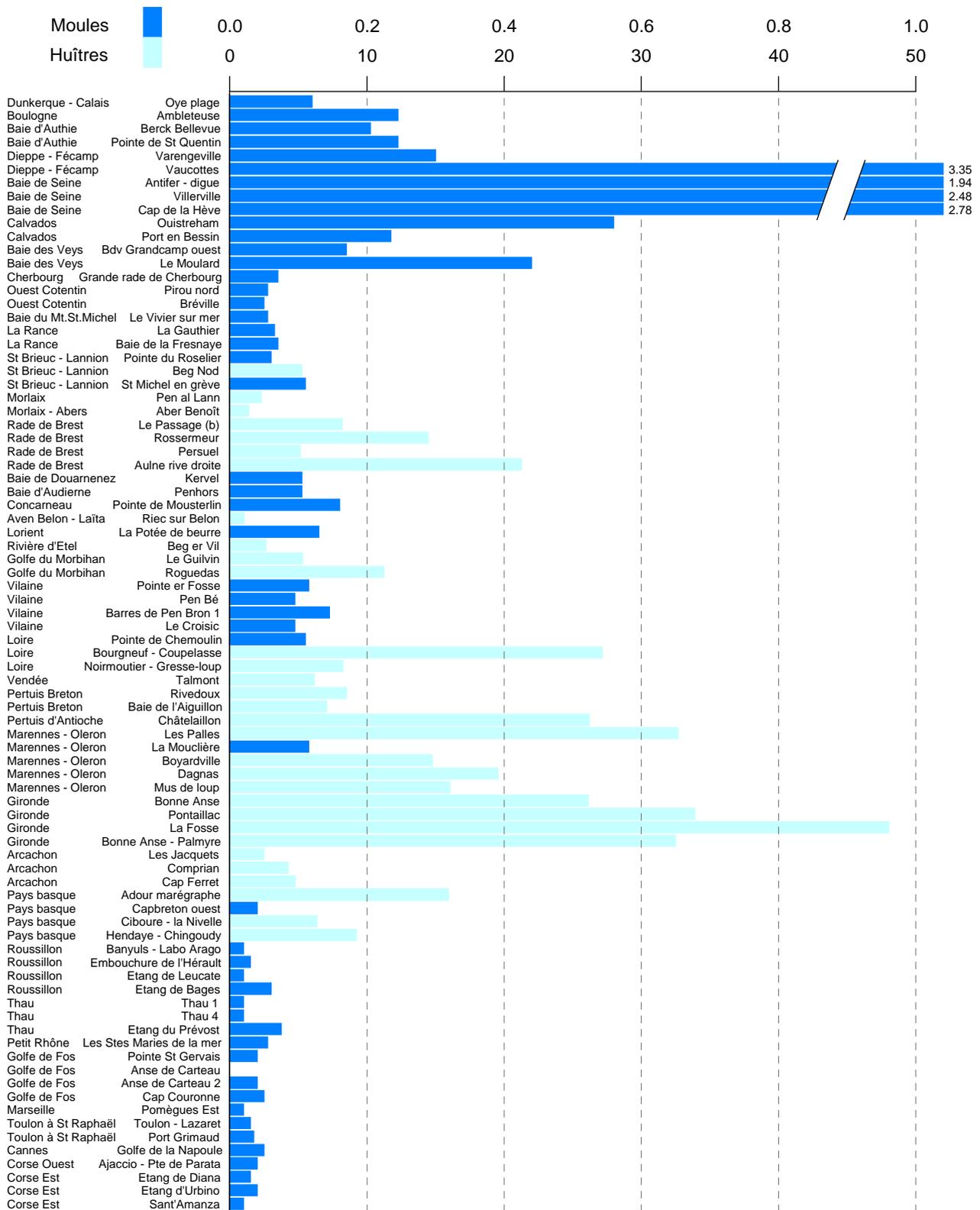
Comme pour les PCB, la stratégie de suivi des HAP par le RNO a évolué au cours du temps. De 1979 à 1993 ils étaient mesurés globalement. Depuis 1994, 16 molécules sont mesurées individuellement, répondant ainsi aux recommandations de nombreuses organisations internationales. Pour les mêmes raisons que précédemment, la famille des HAP sera représentée ici par le **fluoranthène**.

La répartition des HAP sur le littoral français est très hétérogène du fait des nombreuses sources ponctuelles possibles (page 47). Citer tous les sites présentant des niveaux médians significativement plus élevés que la médiane de leur façade de référence ne présenterait donc pas grand intérêt. Notons simplement que les plus forts niveaux ne se rencontrent pas seulement là où l'on pensait les trouver, et que bien des sites que l'on pouvait présumer indemnes se trouvent sous l'influence d'activités de plaisance ou de pêche importantes, ou d'une rivière drainant un bassin urbanisé.

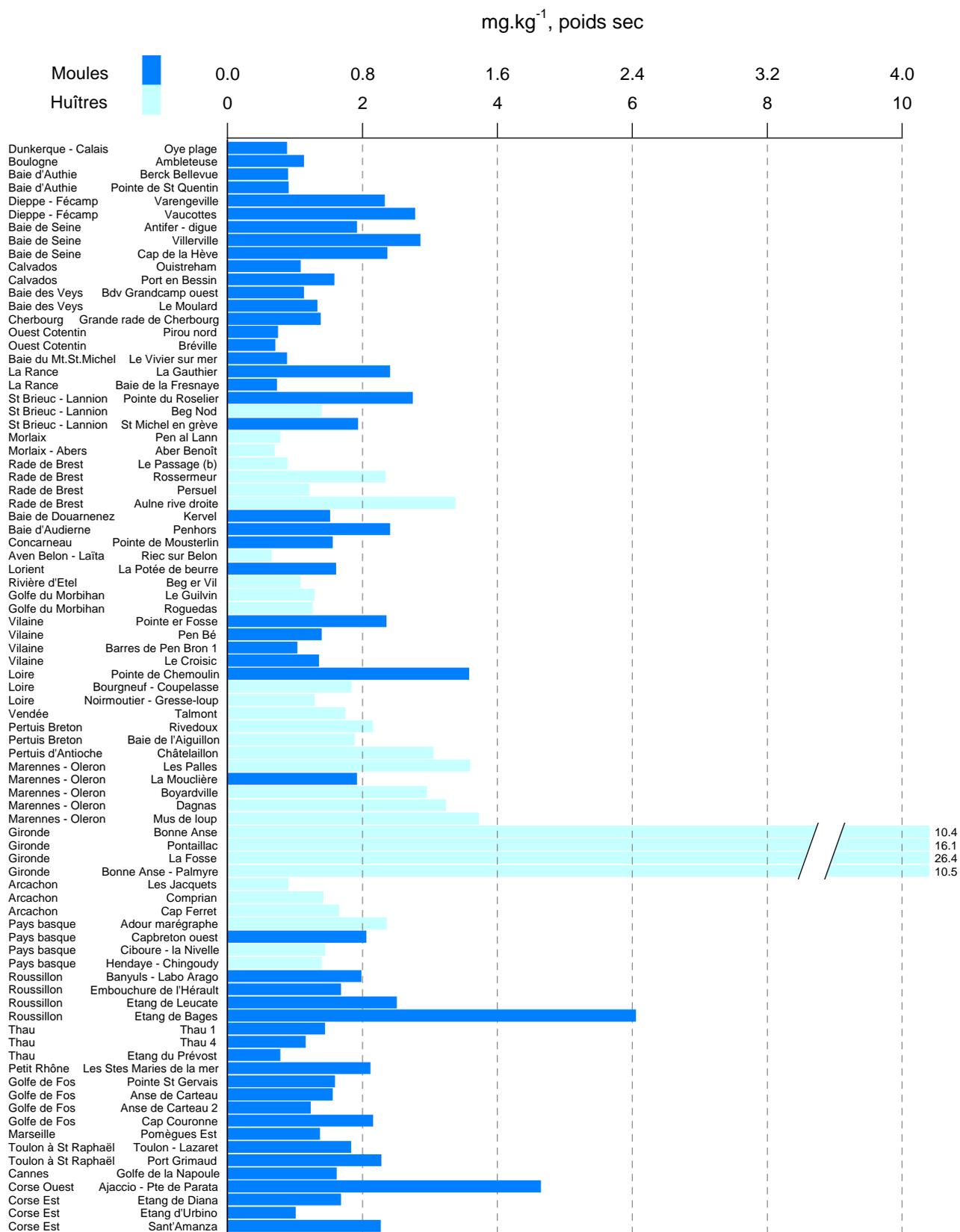
Soulignons cependant la présence d'un gradient Nord-Sud très marqué de Dunkerque à la Bretagne nord, gradient interrompu par les fortes concentrations mesurées en estuaire de Seine et les niveaux très élevés rencontrés au cap de la Hève.

Médianes des concentrations en argent (2003 – 2004)

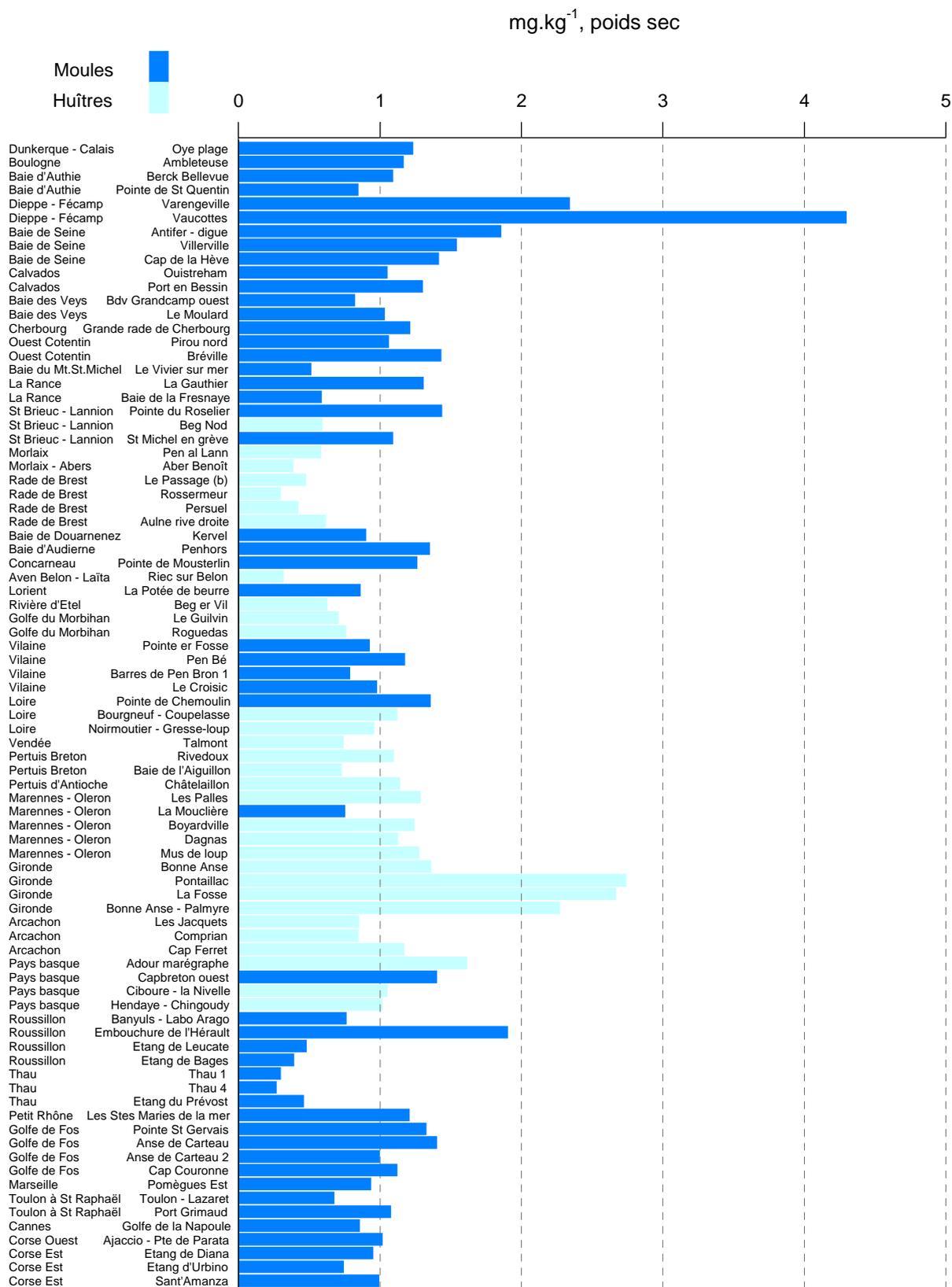
mg.kg⁻¹, poids sec



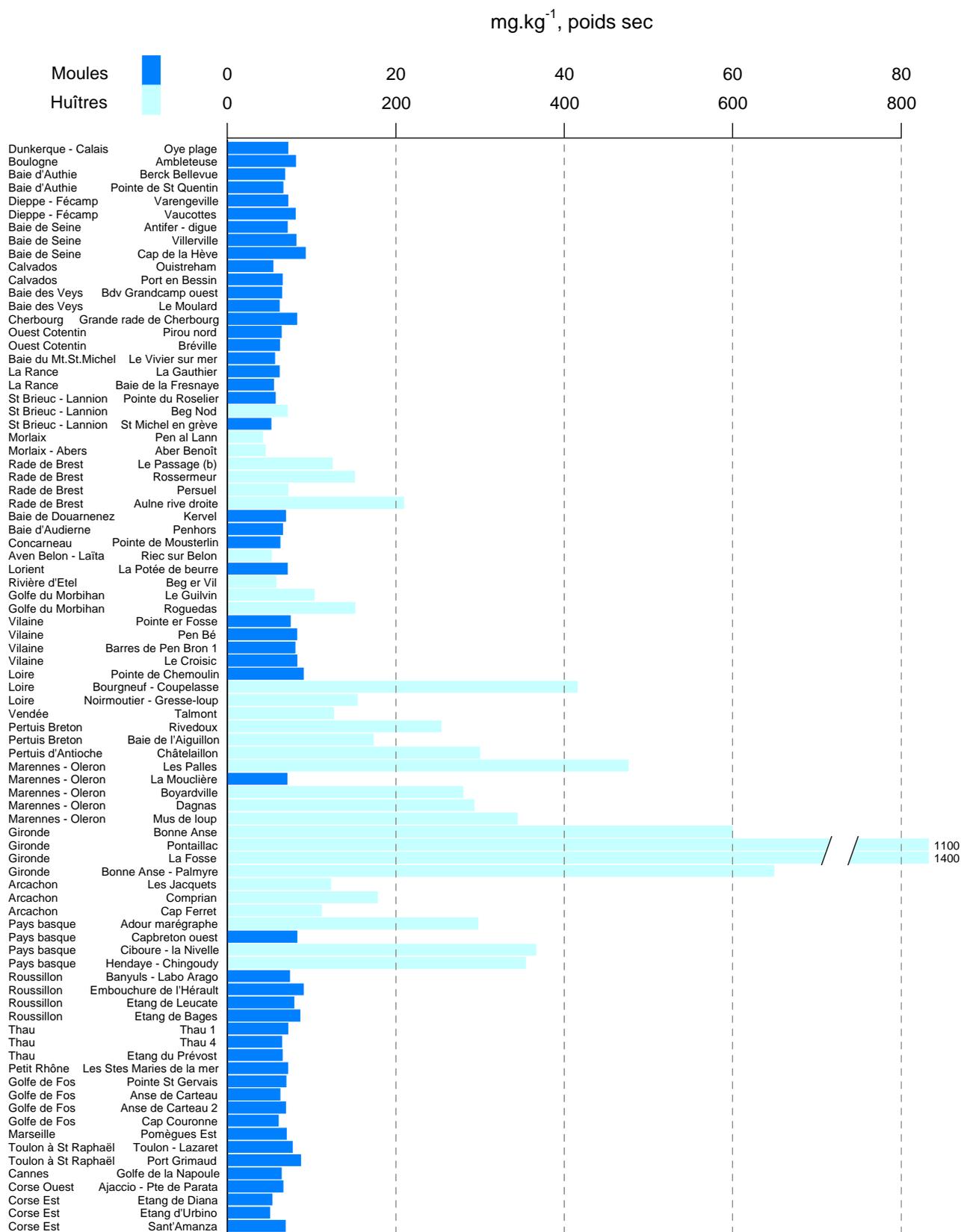
Médianes des concentrations en cadmium (2000 – 2004)



Médianes des concentrations en chrome (2001 – 2004)

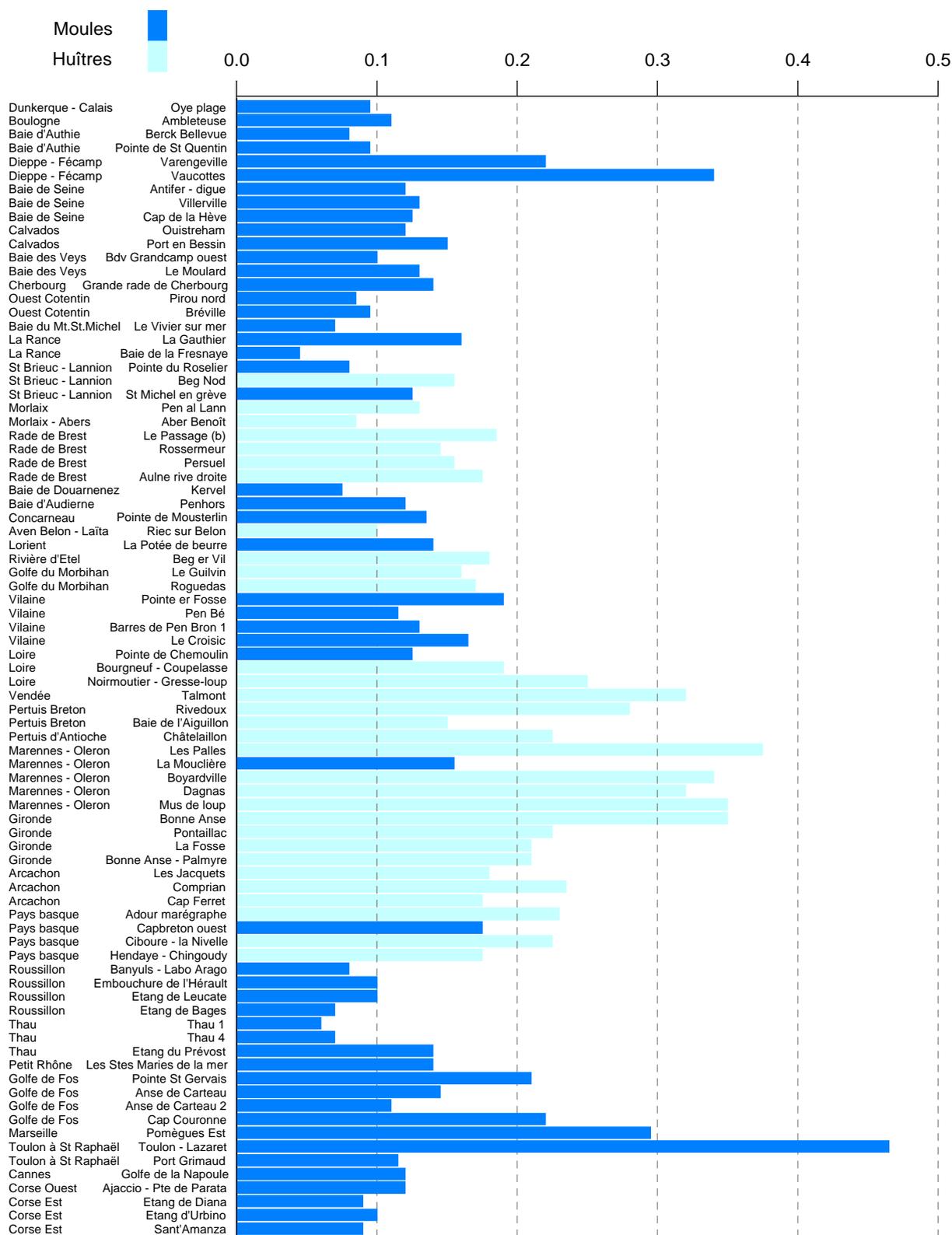


Médianes des concentrations en cuivre (2000 – 2004)



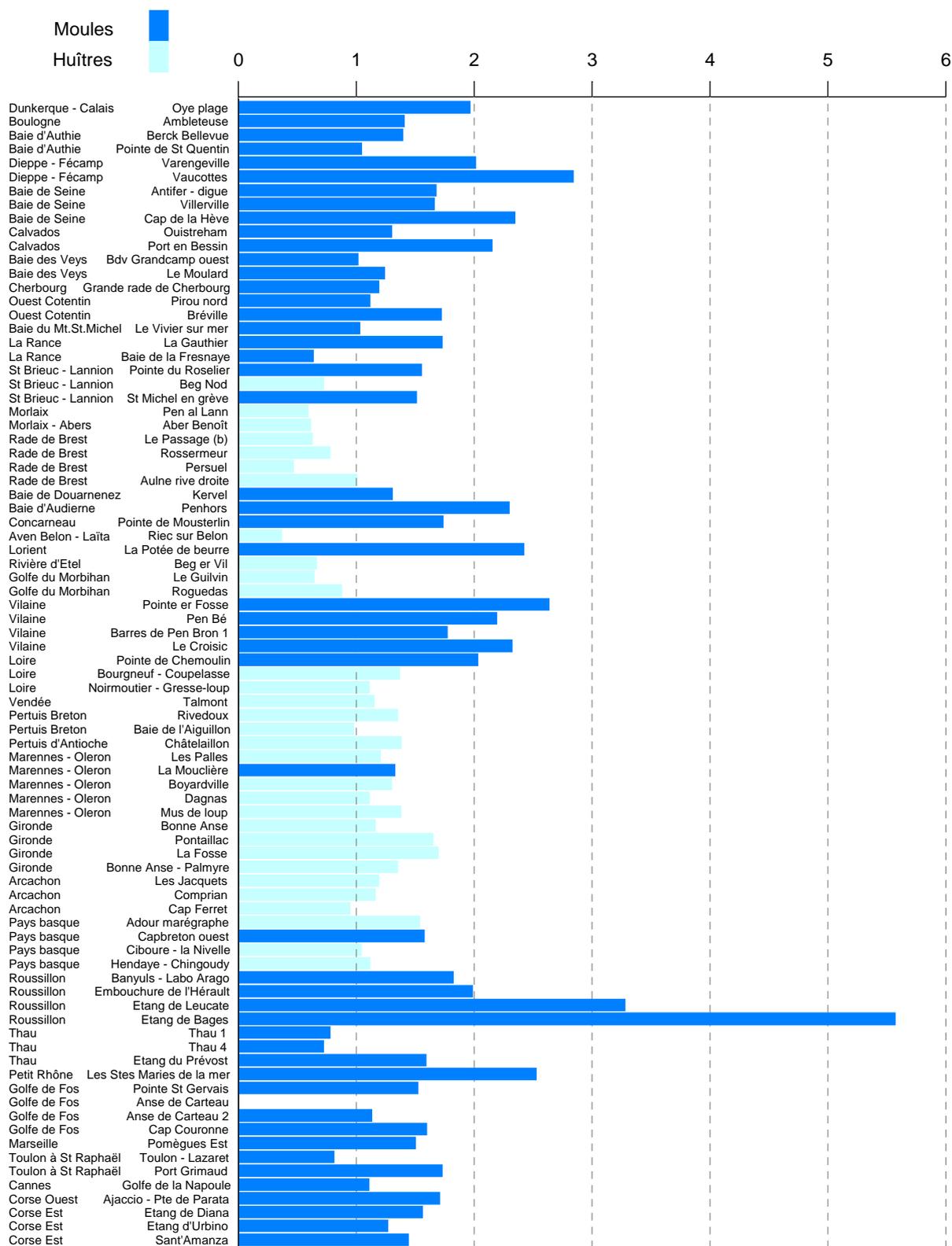
Médianes des concentrations en mercure (2000 – 2004)

mg.kg⁻¹, poids sec



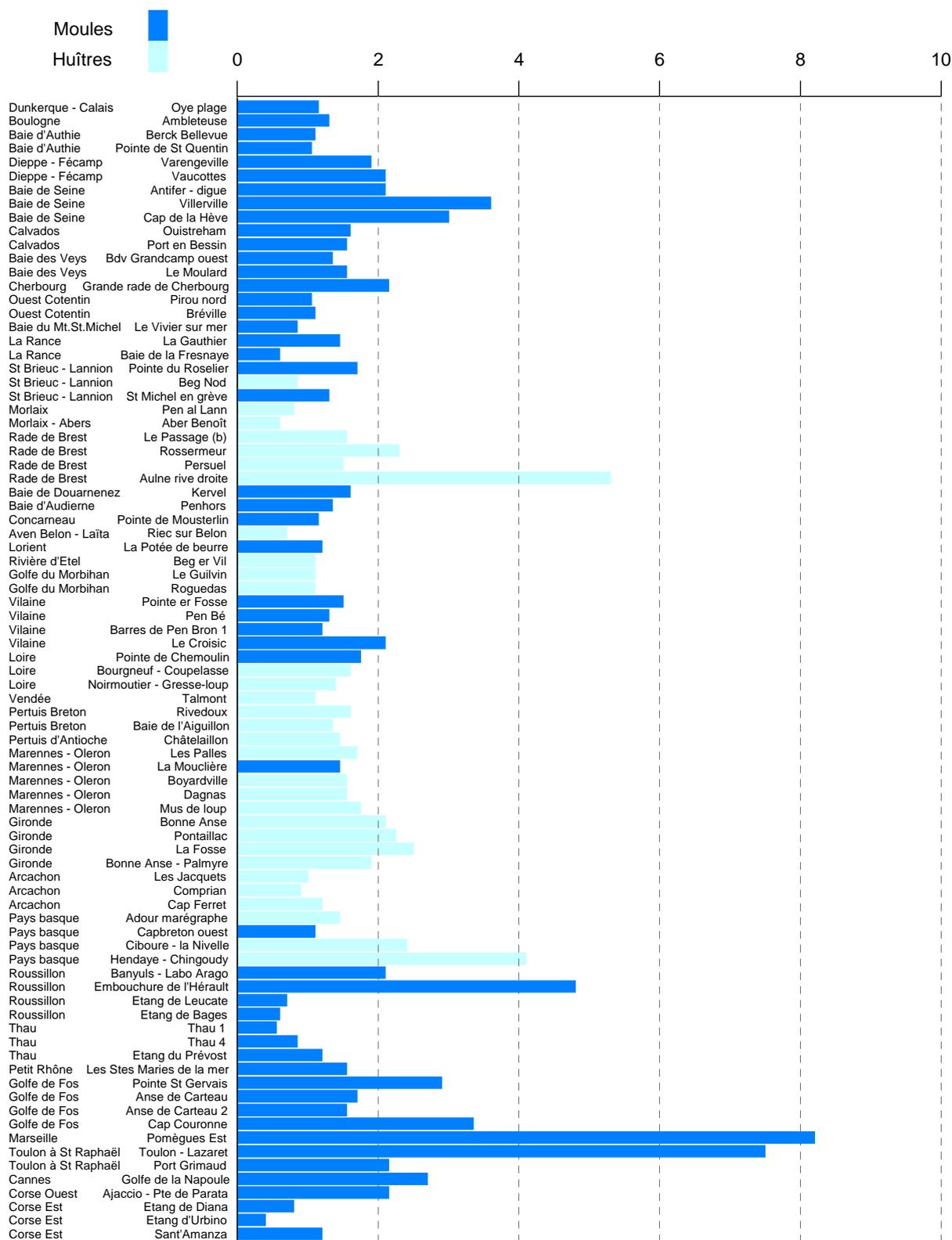
Médianes des concentrations en nickel (2003 – 2004)

mg.kg⁻¹, poids sec



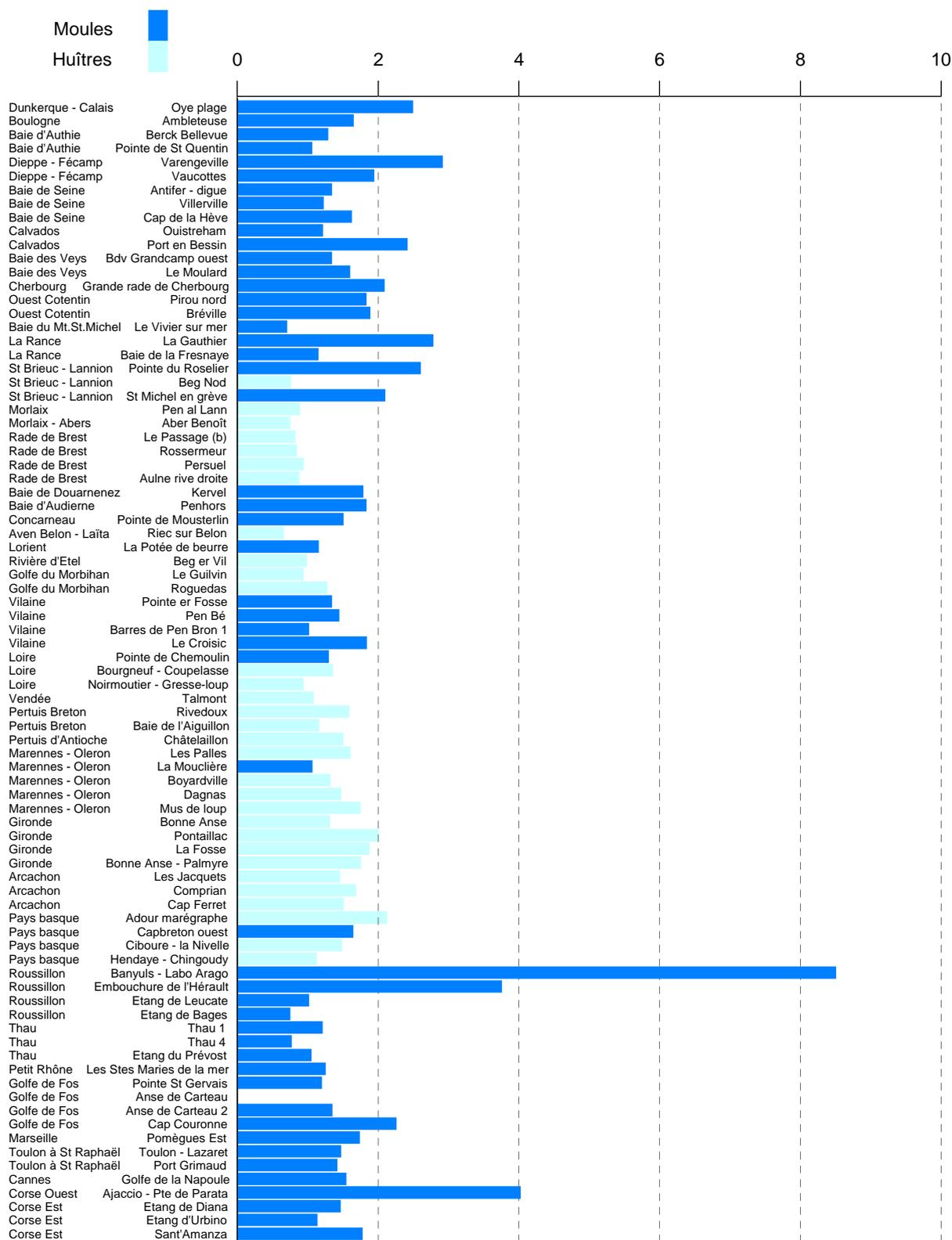
Médianes des concentrations en plomb (2000 – 2004)

mg.kg⁻¹, poids sec



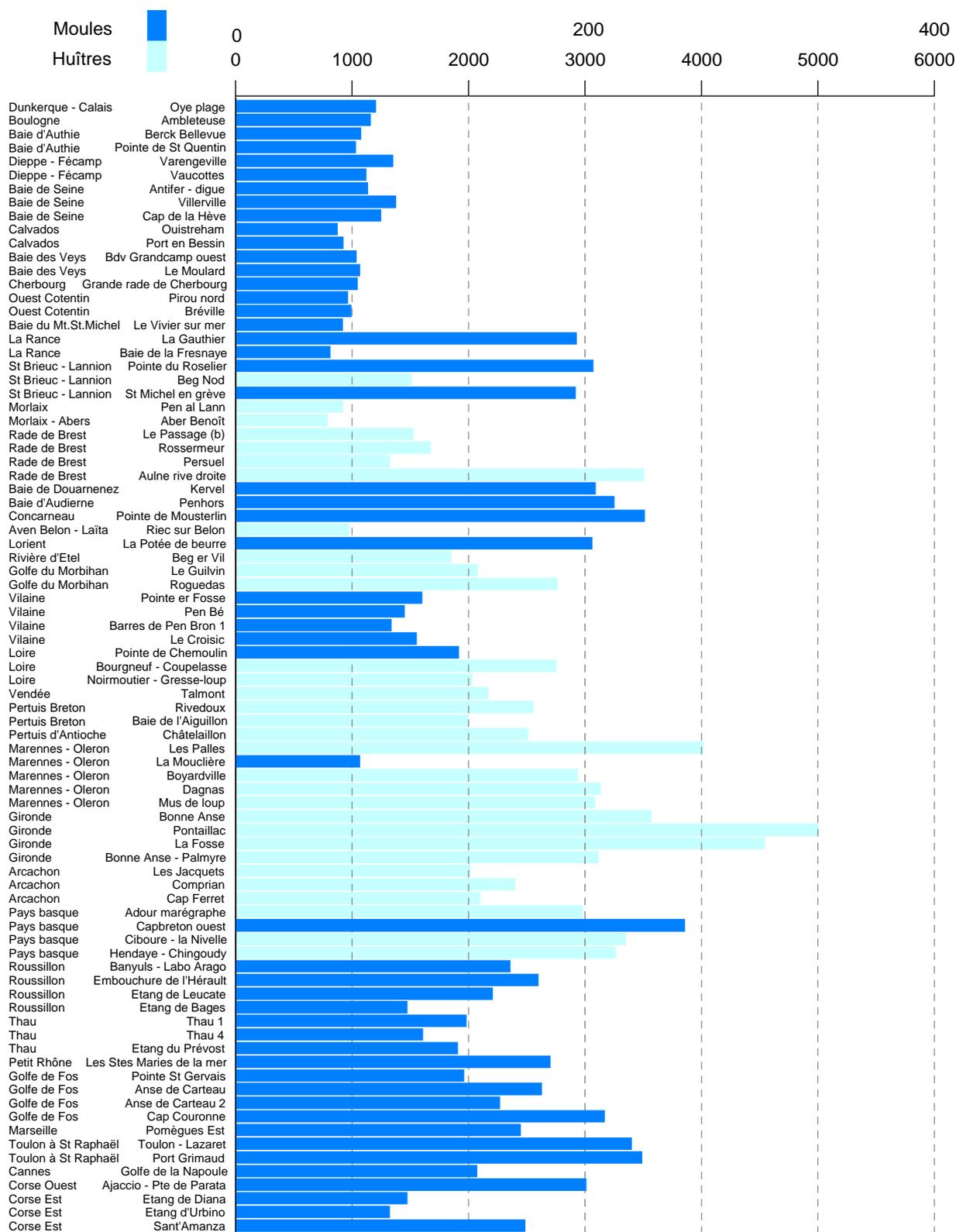
Médianes des concentrations en vanadium (2003 – 2004)

mg.kg⁻¹, poids sec



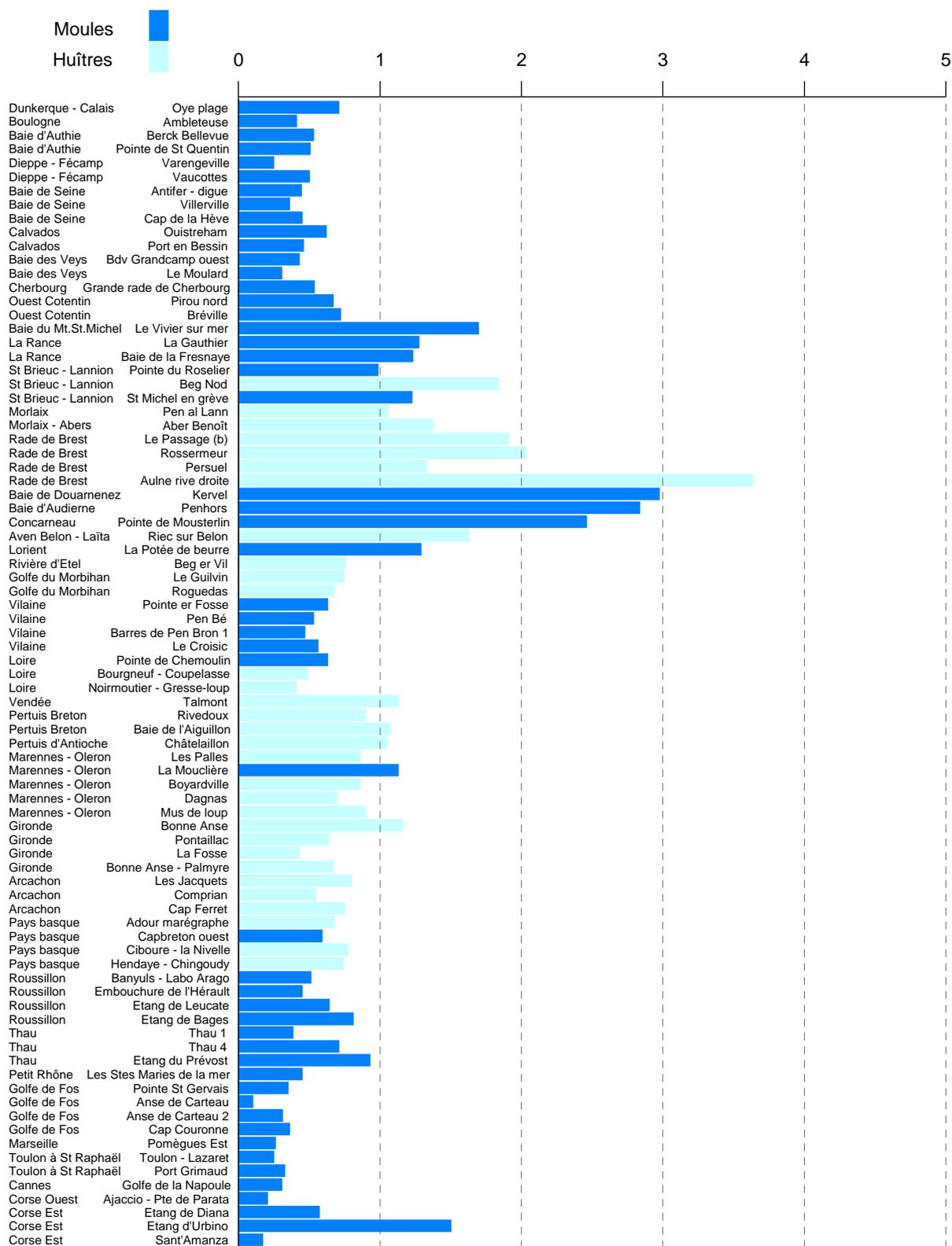
Médianes des concentrations en zinc (2000 – 2004)

mg.kg⁻¹, poids sec



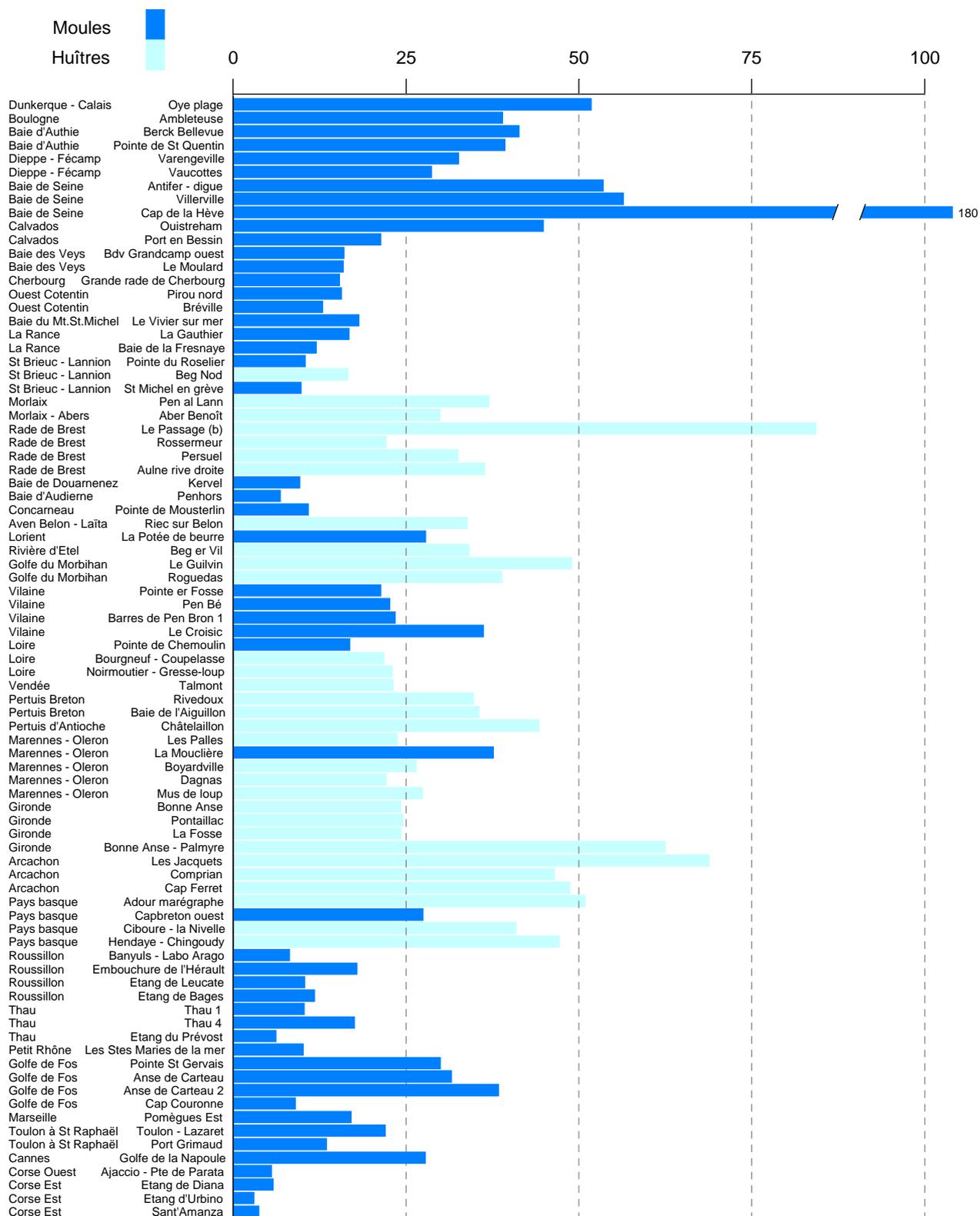
Médianes des concentrations en lindane (2001 – 2004)

µg.kg⁻¹, poids sec



Médianes des concentrations en fluoranthène (2001 – 2004)

µg.kg⁻¹, poids sec



Premiers résultats acquis en Guadeloupe et en Martinique

Seuls les résultats acquis sur *Isognomon alatus* sont présentés ici. Ce choix est justifié d'une part par le petit nombre d'échantillons concernant *Crassostrea rhizophorae*, d'autre part par le fait que le suivi n'est plus mené que sur *Isognomon alatus* depuis 2005.

Il est important de souligner que les niveaux de présence des contaminants observés aux Antilles ne peuvent pas être comparés directement à ceux de la métropole du fait de l'utilisation d'un bivalve différent. *Isognomon alatus* présente de grandes différences de bioaccumulation avec les mollusques utilisés en métropole. La présentation des résultats antillais avec le reste du littoral était impossible, plusieurs années de recul étant nécessaires pour apprécier les différences de bioaccumulation comme nous les connaissons entre les moules et les huîtres métropolitaines.

Le suivi RNO aux Antilles a débuté en 2002. Les figures des pages 49 à 51 présentent donc, pour chaque paramètre et chaque point de prélèvement, les médianes des observations de 2002 à 2004, sauf pour quelques métaux suivis plus récemment.

Du fait des problèmes d'échantillonnage rencontrés, seuls sept points de prélèvement présentent un jeu de données suffisant pour être traité. Après trois années de surveillance, plusieurs faits marquants peuvent déjà être soulignés et sont commentés ci-après.

Argent

L'argent est considéré comme un excellent traceur de la contamination urbaine. Les points "Rivière Lézarde", "Baie de Génipa", "Pointe Larose" en Martinique, et "Pointe de la Grande Rivière" en Guadeloupe semblent exempts d'apports significatifs en argent et présentent des concentrations proches des limites de détection analytiques et pouvant être considérées comme naturelles. Ces points sont représentatifs du fond géochimique régional pour ce métal. Par contre, La **Pointe J'ai fouillé** en Guadeloupe et surtout la **baie du Marin** en Martinique présentent des niveaux très élevés (jusqu'à 520 fois le bruit de fond local pour le second). L'origine de cette contamination par l'argent est pour le moment inconnue, ce qui justifierait une enquête locale.

Autres métaux

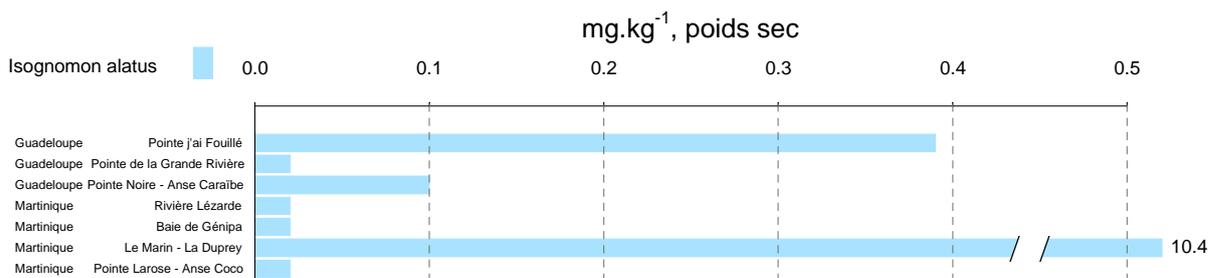
Sans être aussi spectaculaires que pour l'argent, quelques faits marquant méritent d'être soulignés. La **Pointe Noire** en Guadeloupe semble soumise à des apports significatifs en chrome, en nickel et en vanadium. La **baie du Marin** et la **Pointe Larose** en Martinique sont, elles, soumises à des apports de zinc. L'homogénéité des concentrations en cuivre fait penser à une régulation de ce métal par *Isognomon alatus*, comme cela est le cas pour le genre *Mytilus*.

Contaminants organiques

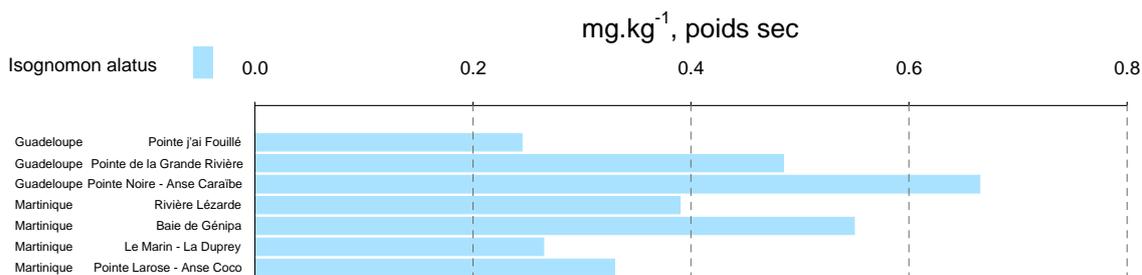
En Martinique, la **Baie du Marin** présente des niveaux de présence en DDT et en HAP significativement plus élevés que l'ensemble du littoral antillais. Les fortes teneurs en HAP (représenté ici par le fluoranthène) pourraient s'expliquer par la présence d'un très important port de plaisance au fond de la baie.

Les concentrations en PCB (représentés ici par le congénère CB 153) sont toutes inférieures à $10 \mu\text{g.kg}^{-1}$. Cependant, la Rivière Lézarde présente des concentrations qui sont environ quatre fois supérieures à celles observées sur le reste du littoral antillais. Le fait que cette rivière draine près du 1/5 de la surface de l'île et traverse la zone industrielle du Lamentin et de l'aéroport peut expliquer cette singularité.

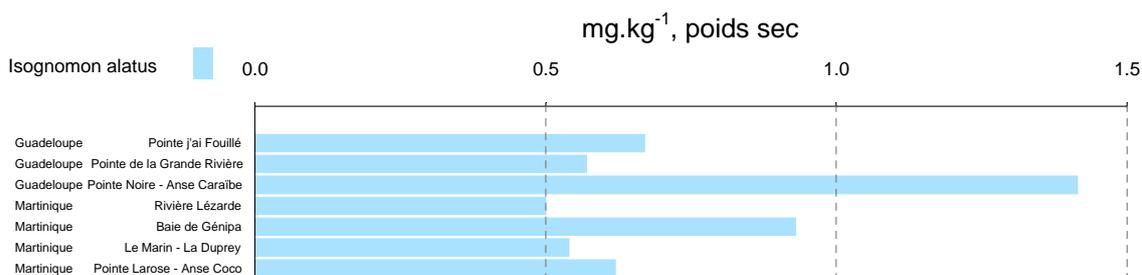
Médianes des concentrations en argent (2003 – 2004)



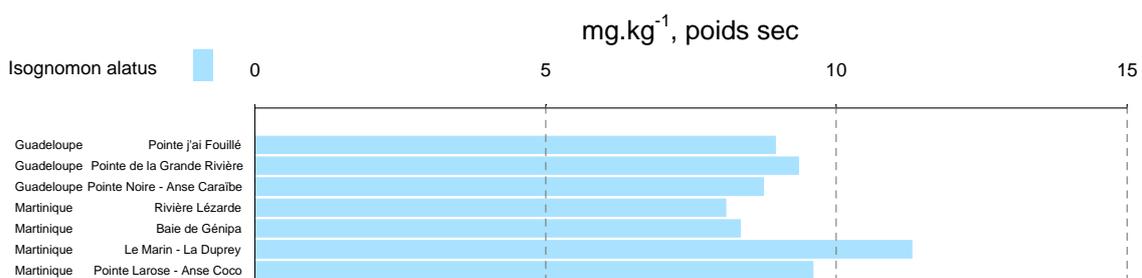
Médianes des concentrations en cadmium (2002 – 2004)



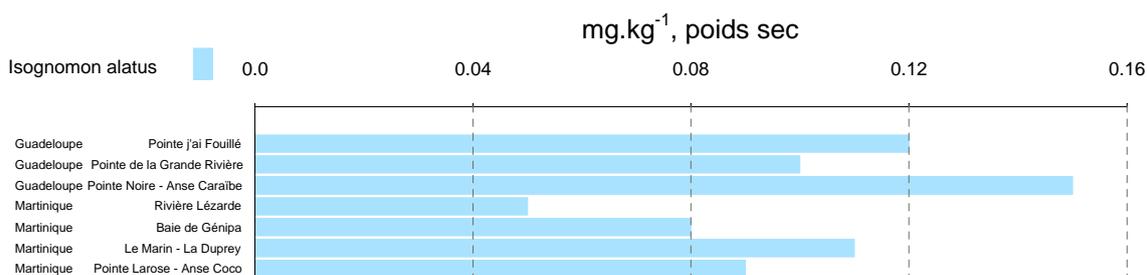
Médianes des concentrations en chrome (2002 – 2004)



Médianes des concentrations en cuivre (2002 – 2004)

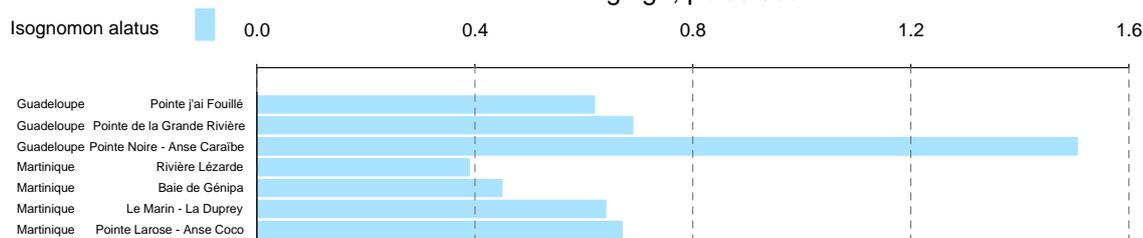


Médianes des concentrations en mercure (2002 – 2004)



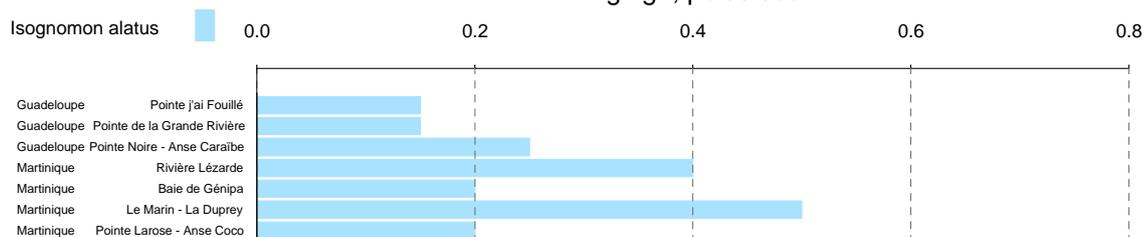
Médianes des concentrations en nickel (2003 – 2004)

mg.kg⁻¹, poids sec



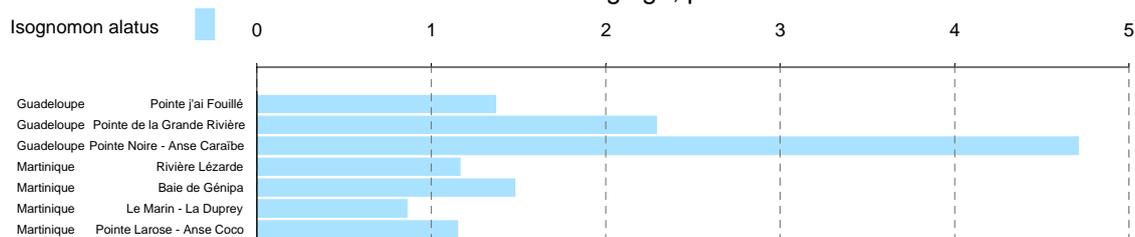
Médianes des concentrations en plomb (2002 – 2004)

mg.kg⁻¹, poids sec



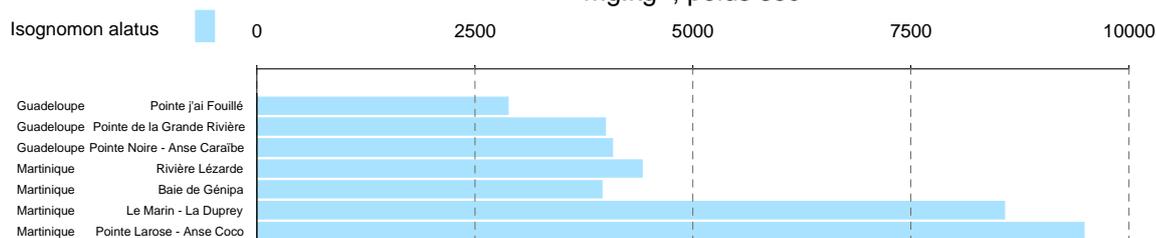
Médianes des concentrations en vanadium (2003 – 2004)

mg.kg⁻¹, poids sec



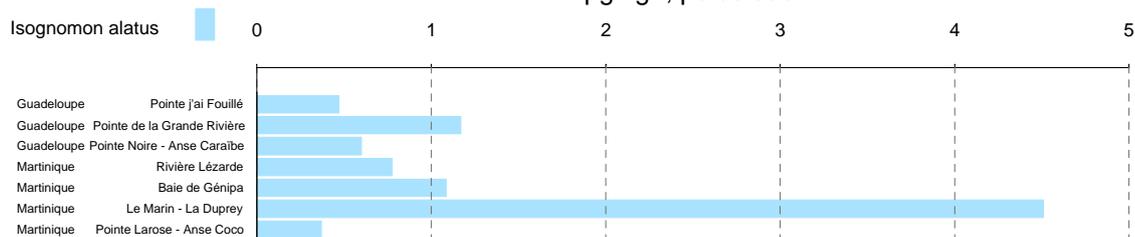
Médianes des concentrations en zinc (2002 – 2004)

mg.kg⁻¹, poids sec

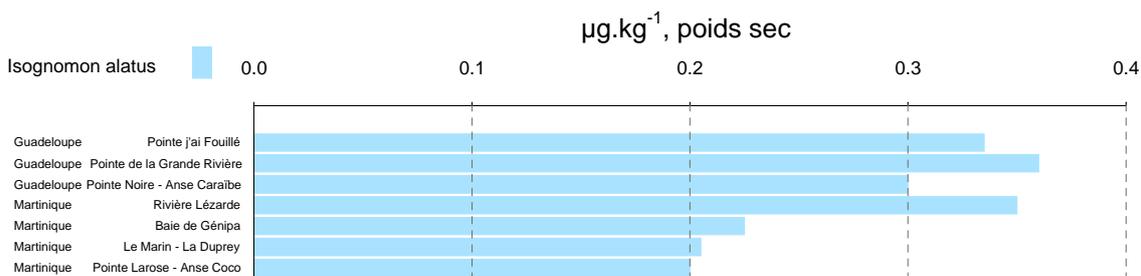


Médianes des concentrations en Σ DDT (2002 – 2004)

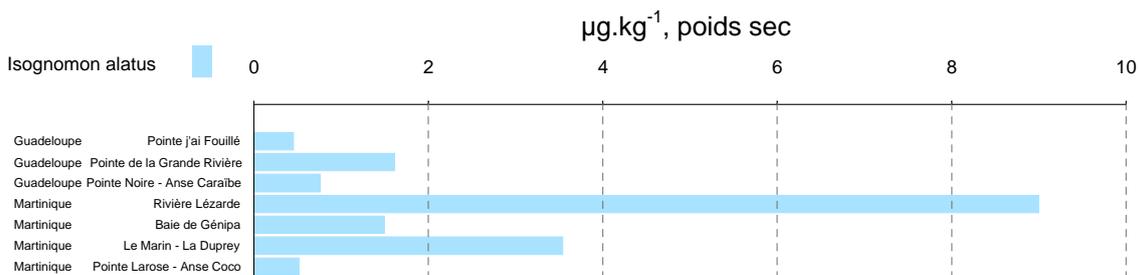
µg.kg⁻¹, poids sec



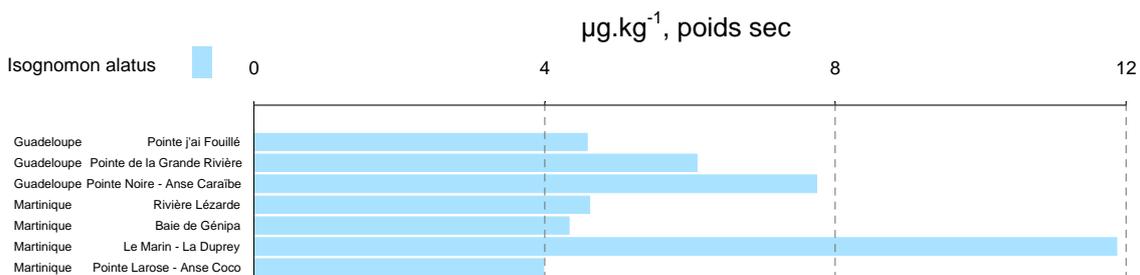
Médianes des concentrations en lindane (2002 – 2004)



Médianes des concentrations en CB 153 (2002 – 2004)



Médianes des concentrations en fluoranthène (2002 – 2004)



Pour en savoir plus

Sur les méthodes d'analyse

CHIFFOLEAU J.F. *et al.*, 2003. Dosage de certains métaux traces dans les organismes marins par absorption atomique. *Méthodes d'analyse en milieu marin*. IFREMER. ISBN 2-84433-114-9.

COSSA D. *et al.*, 2002. Dosage du mercure total et du monométhylmercure dans les organismes et les sédiments marins. *Méthodes d'analyse en milieu marin*. IFREMER. ISBN 2-84433-105-X.

MUNSCHY C. *et al.*, 2005. Analyse de contaminants organiques (PCB, OCP, HAP) dans les organismes marins. *Méthodes d'analyse en milieu marin*. IFREMER. ISBN 2-84433-144-0.

Sur les sources

LAURIER F. *et al.*, 2007. The impact of groundwater discharges on mercury partitioning, speciation and bioavailability to mussels in a coastal zone. *Marine Chemistry*, sous presse.

Coordination et réalisation : Didier CLAISSE
Sauf indication contraire, l'affiliation des auteurs est Ifremer
Carte de la page 2 : Bernard RAFFIN
Cartes des pages 14 à 19 : Gaëtane DURAND

Impression et couverture :
Goubault S.A. - B.P. 38. - 44240 La Chapelle / Erdre - Tél. 02 51 12 75 75

Dépôt légal 1^{er} trimestre 2007
ISSN 1620 - 1124

*Ce document est imprimé à l'encre végétale
et sur papier recyclé pour l'intérieur*



Direction de l'Eau
20, avenue de Ségur, 75302 PARIS 07 SP

Ifremer

Centre de Nantes
Département Biogéochimie et Ecotoxicologie
BP 21105, 44311 NANTES CEDEX 3

ISSN 1620 - 1124