

Guide méthodologique des diagnostics à mettre en œuvre au préalable des opérations de dragage de sédiments marins à La Réunion



Mars 2017

Guide méthodologique des diagnostics à mettre en œuvre au préalable des opérations de dragage de sédiments marins à La Réunion

Par Solenn LOCHU¹, Magali DUVAL¹, Cyril CASSAI², Pascal TALEC³

- 1 : IFREMER, Département Ressources Biologiques et Environnement (RBE), Délégation Océan Indien (DOI) – Rue Jean Bertho, Le Port, La Réunion.
- 2 : DEAL, Service Eau et Biodiversité (SEB), Unité Police de l'Eau et du Domaine Public (UPEDP), Parc de la Providence, St-Denis, La Réunion.
- 3 : DEAL, Service Eau et Biodiversité (SEB), Unité Politique de l'Eau et des Milieux Aquatiques (UPEMA), Parc de la Providence, St-Denis, La Réunion.

- Mars 2017 -

SOMMAIRE

SOMMAIRE	5
1. Introduction	7
2. Contexte réglementaire	9
2.1. Code de l'environnement	9
2.1.1. Procédure « loi sur l'eau »	9
2.1.2. Etude d'impact	9
2.2. Arrêté ministériel du 9 août 2006 modifié par l'arrêté du 17 juillet 2014 : Définition des niveaux de référence	10
2.3. Circulaire n°2000-62 du 14 juin 2000 : Condition d'utilisation du référentiel de qualité des sédiments	11
2.4. Arrêté de prescriptions générales du 23 février 2001	12
2.5. Circulaire du 4 juillet 2008 : gestion des sédiments dragués	12
2.6. Accréditation et performances des laboratoires d'analyses	12
3. Echantillonnage des sédiments.....	14
3.1. Plan d'échantillonnage	14
3.1.1. Maillage des prélèvements	14
3.1.2. Typologie de la zone à draguer et nombre d'échantillon	14
3.2. Méthodologie	15
3.2.1. Prélèvement	15
3.2.2. Conditionnement, transport et conservation des échantillons	17
4. Caractérisation des sédiments.....	18
4.1. Phase I : Propriétés physiques = obligatoire	18
4.2. Phase II : Propriétés chimiques	20
4.2.1. Substances polluantes et seuils réglementaires	20
4.2.2. Nutriments	22
4.2.3. Microbiologie	22
4.2.4. Exceptions	22
4.3. Phase III : Caractérisation biologique.....	23
4.3.1. Test d'écotoxicologie	23
4.3.2. Evaluation biologique	23
4.4. Renseignements complémentaires	23
5. Aide à la définition des documents de marché	24
5.1. Volet relatif aux prélèvements et analyses	24
5.2. Volet relatif à la bancarisation des données	24
5.3. Volet relatif aux livrables	25
6. Résultats, interprétation et suite à donner	26
6.1. Présentation des résultats	26
6.2. Interprétation et suite à donner	26
GLOSSAIRE.....	27
BIBLIOGRAPHIE	29
ANNEXES	31
1. Nomenclature dragage et/ou rejet y afférent en milieu marin	31
2. Quelques références de normes en vigueur pour l'analyse des sédiments	32
3. Guide de prélèvement d'échantillons marins pour l'analyse de contaminants chimiques	35
4. Granulométrie et caractérisation physique des sédiments	38
5. Tests d'écotoxicité	39
6. Fiche bilan.....	41
7. Exemples de tableaux d'aide à l'analyse des dossiers.....	43

1. Introduction

- **Sédiments marins**

Les zones portuaires généralement confinées et peu brassées, constituent un réceptacle de différentes sources de pollution provenant des *bassins versants*¹, des activités portuaires, ou du milieu marin. Le remaniement des *sédiments* lors des opérations de dragage, est susceptible de modifier physiquement, chimiquement et microbiologiquement le milieu marin du fait de la remobilisation des éléments et particules fines associées.

➤ **Impacts physiques**

Le transport de particules en suspension, plus ou moins important selon les conditions hydrodynamiques locales et la taille des dites particules, peut avoir un impact négatif direct sur les *biocénoses* notamment par colmatage des micro-habitats, à l'origine d'une déstabilisation de l'équilibre écologique.

En zone récifale, ce phénomène peut aboutir à l'asphyxie du corail (par interférence avec les processus d'alimentation et de respiration des coraux), pouvant entraîner, en cascade, une modification et/ou une diminution de la biodiversité. Par ailleurs, l'*hypersédimentation* engendre une diminution de l'activité photosynthétiques des zooxanthelles (microalgues à l'origine de l'apport énergétique du corail), ainsi qu'une réduction de la fertilité des coraux et une baisse du taux de survie des larves. Il a ainsi été démontré que dès 50 mg/l, les sédiments en suspension entraînent une diminution de la fertilité corallienne, accompagnée d'un potentiel de survie et de recrutement larvaire amoindri. Une quantité importante ou inhabituelle de matières en suspension peut également provoquer un colmatage des branchies de poissons à l'origine de mortalités (absence d'élément chiffré pour les espèces récifales).

➤ **Impacts chimiques**

Une partie des différents contaminants qui se déversent en zones littorales, se retrouve piégée dans le sédiment et s'y accumule. Les *contaminants* organiques et inorganiques *hydrophobes*, d'origine terrigène ou *anthropique*, sont transférés dans la *chaîne alimentaire* par *bioaccumulation* et *bioconcentration*. Certains contaminants peuvent ainsi être bioaccumulés au niveau de la faune *benthique* pour ensuite se retrouver au niveau des maillons trophiques supérieurs, jusqu'à l'homme, prédateur supérieur.

➤ **Impacts microbiologiques**

Les eaux usées d'origine urbaine et agricole contiennent un grand nombre de bactéries dont certaines, d'origine fécale, sont pathogènes pour l'homme et peuvent lui être transmises au cours de baignade ou lors de la consommation de coquillages. Durant leur séjour dans la colonne d'eau, certains microorganismes se fixent aux particules pour se déposer ensuite dans les zones vaseuses.

¹ Les mots en *italique* sont décrits dans le glossaire (p.29)

- **Opérations de dragage et procédure**

Les opérations de dragage peuvent être de diverses natures : entretien, approfondissement ou aménagement de nouvelles aires portuaires. En fonction du type de dragage, de son envergure et de la technique utilisée, la fréquence et les procédures à suivre seront variables.

Les opérations de dragage en milieu marin ainsi que le devenir des sédiments associés sont soumis à instruction au titre de la **loi sur l'eau**. Selon l'importance et/ou l'incidence potentielle de l'opération, celle-ci est soumise à **déclaration** ou à **autorisation** (en application des articles L.214-1 à L.214-3 du code l'environnement) auprès des services de l'Etat.

- **Devenir des sédiments dragués**

Les sédiments peuvent techniquement être mis en dépôt à terre, ou en mer (incluant l'immersion et le rechargement de plage). Toutefois, les dispositions liées à la protection de l'environnement marin contre les risques écologiques potentiels des immersions tendent à privilégier les rechargements de plage afin de lutter contre l'érosion. Pour les raisons écologiques mentionnées ci-dessus, seuls les sédiments ne présentant aucun risque pour l'environnement (biocénose, activités humaines, ...) et répondant donc à des normes de qualité précises pourront être déposés en mer. Compte tenu de la géologie réunionnaise et de la nature volcanique de l'île, le fond géochimique doit être, pour certains éléments, pris en compte lors de l'instruction loi sur l'eau.

- **Réglementation**

Afin de prévenir la contamination du milieu marin lors des opérations de dragage, un ensemble de textes réglementaires issus de la législation française et européenne et découlant de la loi sur l'eau ont été publiés.

Ce guide présente de façon synthétique les éléments du code de l'environnement relatifs à la méthodologie des procédures préalables à la demande d'autorisation ou de déclaration d'une opération de dragage en milieu marin. Ceci concerne les **opérations de dragage** elles-mêmes ainsi que le dépôt en mer des rejets y afférents : **immersion et rechargement de plage**. Les autres types de dépôt à terre font l'objet d'une réglementation qui leur est propre et qui n'est pas abordée dans ce guide dédié au "milieu marin et littoral".

Ce "guide" a pour vocation de servir de support méthodologique :

- **aux maîtres d'ouvrage pour caractériser l'état initial de la zone à draguer,**
- **aux services de l'état en charge de la Police de l'eau afin de faciliter l'instruction des dossiers de déclaration et d'autorisation.**

2. Contexte réglementaire

Le cadre réglementaire référencé ci-dessous constitue une synthèse et ne dispense en aucun cas de se reporter aux textes et articles cités qui font seuls foi.

2.1. Code de l'environnement

2.1.1. Procédure « loi sur l'eau »

Conformément à l'**article R.214-1** (rubrique 4.1.3.0) **du code de l'environnement**, les activités de dragage et/ou rejet y afférent en milieu marin sont soumises au régime d'autorisation ou de déclaration en application des articles **L. 214-1 à L. 214-6 du Code de l'Environnement**. La nomenclature des **opérations soumises à déclaration ou à autorisation** est basée sur les dangers qu'ils présentent et la gravité de leurs effets sur la ressource en eau et les écosystèmes aquatiques.

La procédure à adopter est notamment fonction :

- du **volume** de sédiments dragués ou rejetés (somme des volumes des différentes opérations conduites par le même opérateur),
- de la **teneur** des sédiments vis-à-vis des niveaux de référence N1 et N2 définis dans l'arrêté du 9 août 2006 (**§ 2.2**),
- de la **distance** par rapport aux zones conchylicoles ou de cultures marines.

Les combinaisons de critères selon lesquels les projets seront soumis à déclaration ou à autorisation sont détaillées en **annexe 1**.

La composition du dossier est fixée par l'article R.214-6 du code l'environnement.

Toute opération de dragage et d'immersion en milieu marin, qu'elle soit soumise à déclaration ou à autorisation, devra comporter un **document d'incidence** indiquant les effets directs et indirects, temporaires et permanents du projet sur la ressource en eau et le milieu aquatique et démontrant la compatibilité du projet avec les dispositions du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (**SDAGE, Comité de Bassin de La Réunion²**) et du Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SAGE) le cas échéant. Le dossier devra également présenter les moyens mis en œuvre pour maîtriser et suivre les impacts (par exemple : mise en place de rideaux anti-turbidité, suivi de la turbidité et seuils associés à ne pas dépasser, suivi écologique du milieu...).

La fixation de prescriptions dans l'arrêté préfectoral d'autorisation se fait au cas par cas en fonction de l'impact du projet sur le milieu marin.

L'autorisation peut être délivrée pour une durée maximale de **10 ans**.

2.1.2. Etude d'impact

Les projets soumis à étude d'impact sont spécifiés dans le tableau annexé à l'article R. 122-2 du code de l'environnement. La rubrique 25° *Extraction de minéraux par dragage marin ou fluvial* mentionne que les dragages et/ ou rejets y afférent en milieu marin sont soumis à un examen

² Site du comité de Bassin La Réunion

<http://www.comitedebassin-reunion.fr/sdage-et-programme-de-mesures-arretes-a125.html>

au cas par cas lorsque les seuils techniques entraînant une procédure d'autorisation au titre de la « loi sur l'eau » sont dépassés. La rubrique 13° précise que tous les rechargements de plage sont également soumis à un examen au cas par cas.

L'étude d'impact comporte notamment un volet sanitaire étudiant les effets du projet sur la santé. Le projet de dragage et de rejet en mer fera donc l'objet d'une analyse de ces effets sanitaires dans le volet dédié à cette problématique.

2.2. Arrêté ministériel du 9 août 2006 modifié par l'arrêté du 17 juillet 2014 : Définition des niveaux de référence

Ces arrêtés définissent les éléments et **niveaux de référence** à prendre en compte lors de l'analyse des sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire. Deux seuils, **N1 et N2** (Tableau 1), sont définis pour les substances dont la connaissance scientifique est suffisante pour définir les impacts potentiels sur le milieu naturel dans le cas de sédiments destinés à être immergés (§ 4.2.1). Ces niveaux reprennent les seuils définis à l'issue d'études menées dans le cadre du Groupe d'Etude et d'Observation sur le Dragage et l'Environnement (GEODE³).

- Au-dessous du niveau N1, l'impact potentiel est en principe jugé d'emblée neutre ou négligeable, les teneurs étant « normales » ou comparables au bruit de fond environnemental. Toutefois, dans certains cas exceptionnels, un approfondissement de certaines données peut s'avérer utile.
- Entre le niveau N1 et le niveau N2, une investigation complémentaire peut être nécessaire en fonction du projet considéré et du degré de dépassement du niveau N1. Ainsi une mesure, dépassant légèrement le niveau N1 sur seulement un ou quelques échantillons analysés, ne nécessite pas de complément sauf raison particulière (par exemple toxicité de l'élément considéré : cadmium, mercure...). De façon générale, l'investigation complémentaire doit être proportionnée à l'importance de l'opération envisagée. Elle peut porter, pour les substances concernées, sur des mesures complémentaires et/ou des estimations de sensibilité du milieu.
- Au-delà du niveau N2, une investigation complémentaire est généralement nécessaire car des indices notables laissent présager un impact potentiel négatif de l'opération. Il faut alors mener une étude spécifique portant sur la sensibilité du milieu aux substances concernées, avec au moins un test d'écotoxicité globale du sédiment, une évaluation de l'impact prévisible sur le milieu et, le cas échéant, affiner le maillage des prélèvements sur la zone incriminée (afin, par exemple, de délimiter le secteur plus particulièrement concerné). En fonction des résultats, le maître d'ouvrage pourra étudier des solutions alternatives pour réaliser le dragage (par exemple : réduire le dragage en période de reproduction ou d'alevinage de certaines espèces rares très sensibles).

Les seuils N1 et N2 sont régulièrement réévalués par arrêté ministériel.

³ Site du Groupe d'Etude et d'Observation sur le Dragage et l'Environnement
<http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr/club-geode-r65.html>

Tableau 1 : Niveaux de référence à prendre en compte dans les analyses de sédiments marins ou estuariens, exprimés par kg de sédiment sec analysé sur la fraction inférieure à 2 mm.

a) métaux (en mg/kg)			b) HAP (en µg/kg)		
ÉLÉMENTS TRACES	N1	N2	HAP	N1	N2
Arsenic	25	50	Naphtalène	160	1 130
Cadmium	1,2	2,4	Acénaphène	15	260
Chrome	90	180	Acénaphylène	40	340
Cuivre	45	90	Fluorène	20	280
Mercure	0,4	0,8	Anthracène	85	590
Nickel	37	74	Phénanthrène	240	870
Plomb	100	200	Fluoranthène	600	2 850
Zinc	276	552	Pyrène	500	1 500
c) PCB (en µg/kg)			Benzo [a] anthracène	260	930
PCB	N1	N2	Chrysène	380	1 590
PCB congénère 28	5	10	Benzo [b] fluoranthène	400	900
PCB congénère 52	5	10	Benzo [k] fluoranthène	200	400
PCB congénère 101	10	20	Benzo [a] pyrène	430	1 015
PCB congénère 118	10	20	Dibenzo [a,h] anthracène	60	160
PCB congénère 138	20	40	Benzo [g,h,i] pérylène	1 700	5 650
PCB congénère 153	20	40	Indéno [1,2,3-cd] pyrène	1 700	5 650
PCB congénère 180	10	20	d) Organostanniques (en µg/kg)		
			TBT	100	400

NB : à La Réunion, le bruit de fond géochimique peut entraîner des dépassements naturels des niveaux N1 et N2 pour certains paramètres (Nickel, Chrome et Cuivre notamment) sur certaines zones sans que ce dépassement ne soit associé à une pollution. Le caractère naturel des teneurs mesurées et l'absence de risque lié à la remobilisation des sédiments devra être argumenté. En cas de doute, des investigations seront à mener conformément aux méthodes détaillées dans le présent guide.

2.3. Circulaire n°2000-62 du 14 juin 2000 : Condition d'utilisation du référentiel de qualité des sédiments

Cette circulaire précise les conditions d'utilisation du référentiel de qualité des sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire et la méthodologie à mettre en œuvre pour procéder au **diagnostic de qualité** des matériaux à draguer. Elle précise également les moyens et principes selon lesquels le diagnostic, préalable à toute opération d'élimination de déblais de dragage, doit être ou non approfondi, en fonction des résultats obtenus.

Les instructions techniques annexées à la circulaire, spécifient les modalités de prélèvement et d'analyse des déblais de dragage :

- stratégie d'échantillonnage,
- paramètres à analyser et méthodes normalisées ou recommandées,
- modes de restitution et d'interprétation des résultats.

Les éléments techniques relatifs au plan d'échantillonnage et à la caractérisation des sédiments sont respectivement synthétisés dans les **paragraphes 3 et 4** de ce guide.

2.4. Arrêté de prescriptions générales du 23 février 2001

Cet arrêté fixe les prescriptions générales applicables aux travaux de dragage et rejets y afférent soumis à déclaration, en application des articles L. 214-1 à L. 214-3 du code de l'environnement et R.214-1 (rubrique 4.1.3.0) du code de l'environnement.

Cet arrêté s'applique aux **opérations simples soumises à déclaration** et stipule notamment que la zone de rejet doit être suffisamment éloignée des différents usages du milieu aquatique, notamment de la baignade, de la pêche et de la navigation ainsi que des espèces protégées et de leurs habitats.

2.5. Circulaire du 4 juillet 2008 : gestion des sédiments dragués

Cette circulaire précise certaines procédures à mettre en œuvre dans le cadre de la gestion des sédiments dragués.

En fonction de l'usage envisagé pour les matériaux extraits, des procédures réglementaires complémentaires sont susceptibles de s'appliquer (zones de stockage potentiellement soumises à procédure ICPE, rechargement de plage potentiellement soumis à étude d'impact, vente de matériaux soumis à la taxe générale sur les activités polluantes...).

Elle précise également que les matériaux extraits doivent être utilisés prioritairement pour conserver le domaine public maritime (rechargement d'une plage qui se dégraisse, restauration de transit littoral, by-pass, création ou restauration de cordon dunaire).

2.6. Accréditation et performances des laboratoires d'analyses

A l'heure actuelle, il n'existe pas d'agrément délivré par le ministère en charge de l'écologie pour les mesures (prélèvements et analyses) sur sédiments.

En revanche, il existe bien une accréditation délivrée par le Comité Français d'accréditation (COFRAC) sur les analyses de sédiments. Il est demandé, en vertu de l'arrêté du 27 octobre 2011 portant modalités d'agrément des laboratoires effectuant des analyses dans le domaine de l'eau et des milieux aquatiques au titre du code de l'environnement, que les résultats d'analyses soient rendus par des laboratoires :

- qui ont la pratique de la matrice sédiment, et plus précisément sédiment "salé" ;
- qui sont accrédités sur le maximum de paramètres étudiés pour la matrice sédiment, et *a minima* sur un paramètre (accréditation COFRAC sur au moins un couple paramètre/sédiment). Les laboratoires qui n'ont aucune accréditation sédiment seront écartés ;
- qui participent à des essais inter-laboratoires (EIL).

Les **méthodes d'analyse** utilisées devront être normalisées dans la mesure du possible, et adaptées aux exigences nationales. Si la méthode n'est pas normalisée (méthode interne par exemple), elle doit faire partie d'un référentiel qualité⁴ et avoir fait l'objet d'une validation interne par le laboratoire en suivant notamment les exigences de la norme NF T90-210 (adaptée aux sédiments). Il est important de prendre en considération que les méthodes reconnues évoluent régulièrement, ainsi la nécessité de réviser une norme est évaluée tous les 5 ans en moyenne.

A titre indicatif, un certain nombre de méthodes applicables pour l'analyse des boues et sédiments à la date de rédaction de ce guide sont référencées en **annexe 2**. Si d'autres méthodes sont utilisées par le laboratoire d'analyse, elles doivent répondre au minimum aux mêmes niveaux de performance.

Le laboratoire d'analyses garantira la validité des méthodes utilisées, l'incertitude de la mesure et la limite de quantification pour chaque paramètre. Dans son offre, le laboratoire d'analyses présentera un rapport précisant les méthodes utilisées pour chaque paramètre, leur accréditation éventuelle, leurs limites de quantification et incertitude.

Concernant les **performances analytiques**, et afin que les résultats d'analyse puissent être interprétés, il est indispensable que les limites de quantification (LQ) proposées par les laboratoires soient inférieures à 1/3 des seuils N1 pour chacune des substances analysées, en cohérence avec les performances analytiques exigées dans le cadre de la DCE et de la Directive 2009/90/CE dite QA/QC.

Dans les faits, les laboratoires sont audités par une instance d'accréditation qui va s'assurer que les prescriptions générales concernant la compétence des laboratoires d'analyses, d'essais et d'étalonnage ainsi que les exigences dites techniques définies dans les référentiels applicables (normes ou documents consensuellement reconnus) soient respectées⁵.

Pour les analyses demandées, hormis l'analyse granulométrique, les analyses devront être réalisées sur la fraction dite totale mais limitée à la fraction inférieure à 2 mm, obtenue par tamisage sur tamis ne présentant aucun risque de contamination pour l'échantillon.

Les analyses de métaux devront être réalisées après une mise en solution selon les normes indiquées dans l'**annexe 2**.

Le présent guide ne concerne que les méthodes à mettre en œuvre pour la réalisation des prélèvements et des analyses de sédiments. Il s'appuie principalement sur l'arrêté ministériel du 9 août 2006 modifié par l'arrêté du 17 juillet 2014 et sur la circulaire n°2000-62 du 14 juin 2000.

⁴ Par exemple, des méthodes définies par des organismes de recherche telles qu'Ifremer sont considérées par les instances d'accréditation comme des méthodes consensuellement reconnues (ex : "Guide de prélèvement d'échantillons marins pour l'analyse des contaminants chimiques", D. Claisse, 2007)

⁵ Exigences de la norme NF EN ISO/CEI 17025, qui remplace depuis 2000 la norme d'accréditation NF EN 45001

3. Echantillonnage des sédiments

(Instructions Techniques portant sur le prélèvement et l'analyse des déblais de dragage, annexées à la circulaire n°2000-62 du 14 juin 2000.)

Les méthodologies de prélèvement et d'analyse à mettre en œuvre sont définies en fonction :

- du volume à draguer,
- du type de bassin d'origine (fermé, ouvert),
- de la profondeur de dragage,
- de l'hétérogénéité des sédiments à draguer.

Les analyses doivent être effectuées sur **un échantillon qui soit le plus représentatif du sédiment qui sera prélevé** lors de la phase de dragage.

3.1. Plan d'échantillonnage

Le plan d'échantillonnage est déterminé en concertation entre le maître d'ouvrage et l'Unité Police de l'Eau et du Domaine Public de la DEAL Réunion.

3.1.1. Maillage des prélèvements

Le maillage et la fréquence des prélèvements doivent répondre à un compromis entre acquisition de connaissances satisfaisantes des matériaux et contraintes financière et logistique raisonnables. **La distribution et la profondeur de l'échantillonnage doivent refléter l'importance de la zone à draguer, le volume à draguer et la variabilité dans la distribution horizontale et verticale.**

3.1.2. Typologie de la zone à draguer et nombre d'échantillon

Le degré de confinement de la zone ainsi que son taux de fréquentation influent sur le plan d'échantillonnage à réaliser.

- **Zones à échanges libres**

Caractérisées par des échanges importants de masses d'eau dus à de forts courants et/ou à une agitation importante du plan d'eau (houle,...). Le nombre d'échantillons à prélever et à analyser est fonction du volume à draguer (Tableau 2).

Tableau 2 : Nombre de station à prélever et d'échantillons à analyser en fonction du volume à draguer en zone à échanges libres

Volumes dragués en place (m ³)	Nombre de stations à prélever	Nombre d'échantillons à analyser	
		matériaux hétérogènes	matériaux homogènes*
< 25 000 m ³	3	3	1
25 000 - 100 000 m ³	4 - 6	4 - 6	2 - 3
100 000 – 500 000 m ³	7 - 15	7 - 15	3 - 5
500 000 – 2 000 000 m ³	16 - 30	16 - 30	6 - 10
≥ 2 000 000 m ³	+ 10 / million de m ³ supplémentaire	+ 10 / million de m ³ supplémentaire	+ 4 / million de m ³ supplémentaire

* Pour les matériaux homogènes, ce sont des échantillons moyens qui sont analysés, les *aliquotes* sont quant à eux conservés en cas d'analyses complémentaires.

- **Zones confinées (i.e.: bassin portuaire)**

Caractérisées par un faible renouvellement des masses d'eau, le nombre d'échantillons est fonction du volume à draguer (Tableau 3).

Tableau 3 : Nombre d'échantillons à analyser en fonction du volume à draguer en zone confinée

Volume à draguer	Nombre d'échantillons à analyser
< 5 000 m ³	1
5 000 - 25 000 m ³	1 par 5 000 m ³
25 000 - 100 000 m ³	5 plus 1 par 25 000 m ³
> 100 000 m ³	8 plus 1 par 50 000 m ³

- **Ports de plaisance**

Le nombre d'échantillons à analyser doit tenir compte **soit** du volume à draguer (Tableau 3), **soit** de la capacité d'accueil du port (Tableau 4), en retenant le critère le plus contraignant des deux.

Tableau 4 : Nombre d'échantillons à analyser en fonction de la capacité d'accueil du port

Capacité d'accueil	Nombre d'échantillons à analyser
< 100 bateaux	1
100 - 500 bateaux	2
500 - 1 000 bateaux	3
500 - 1 000 bateaux	4
> 1 000 bateaux	5

Exemple: Port de plaisance de 400 bateaux avec un volume à draguer de 20 000 m³, le nombre d'échantillons à analyser sera de 4.

3.2. Méthodologie

Les éléments relatifs au prélèvement de sédiment et leur conditionnement en vues d'analyses sont décrits dans le guide d'échantillonnage édité par AQUAREF⁶, dont l'extrait est annexé à ce document (**annexe 3**).

3.2.1. Prélèvement

Le choix du matériel utilisé pour le prélèvement est fonction du **contexte** de l'opération de dragage, du **volume à draguer** et de la **variabilité probable** dans la distribution horizontale et verticale des contaminants (Tableau 5). Les prélèvements de sédiments de faible épaisseur se font à l'aide d'une **benne** (Figure 1). **Si la profondeur de dragage est supérieure à 40 cm** et/ou si la **distribution verticale des contaminants** le justifie, un prélèvement par **carottier** (Figure 2) doit être réalisé. Ceci suppose cependant que le sédiment soit suffisamment compact.

⁶ AQUAREF - Opérations d'échantillonnage en milieu marin dans le cadre des programmes de surveillance DCE (matrices : eau, sédiment et biote) - Recommandations techniques – Edition 2015

La méthode de prélèvement par plongeur (comme par exemple le carottier à main, figure 2a) doit être réalisée uniquement en cas extrême et doit être justifiée. Un échantillonnage à partir des puits de drague est absolument déconseillé car il entraîne un mélange et une remise en suspension des sédiments.

Chaque échantillon prélevé doit faire l'objet d'une analyse. Pour les **sédiments homogènes**, un **échantillon moyen** est réalisé à partir de **trois hauteurs différentes** mais il est impératif de **conserver les fractions aliquotes** de chaque hauteur dans l'éventualité d'analyses complémentaires nécessaires.

Tableau 5 : Choix du matériel de dragage en fonction du contexte, de la profondeur et de la distribution potentielle de la contamination

Contexte	Profondeur de dragage et distribution des contaminants	Méthodologie	Choix du matériel
Travaux neufs		Analyses effectuées sur chaque grand faciès	Carotte
Dragages d'entretien	Dragage en profondeur et/ou distribution verticale probable des contaminants	Prélèvement effectué avant le début des travaux de façon à évaluer les risques potentiellement induits par les sédiments	Carotte
	Dragage superficiel		Benne

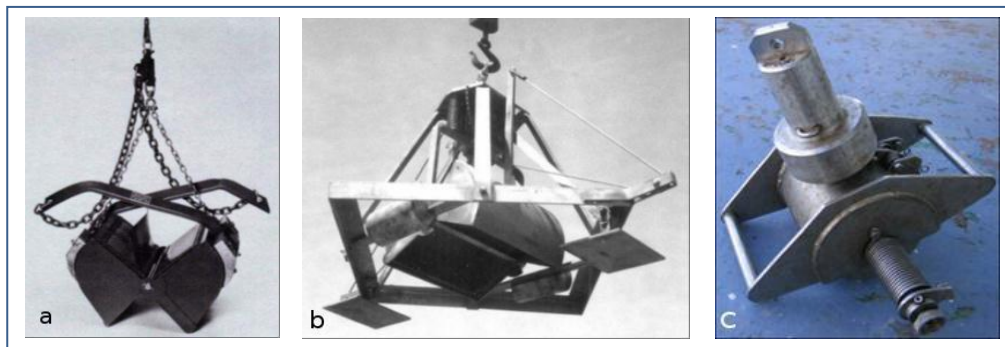


Figure 1 : Photographies de bennes utilisées pour prélever des échantillons de sédiments.
 a : Van Veen
 b : Smith-McIntyre – surface : 0.1 m², profondeur maximale de pénétration dans le substrat environ 15 cm
 c : Benne Shipeck – surface : 4 dm²

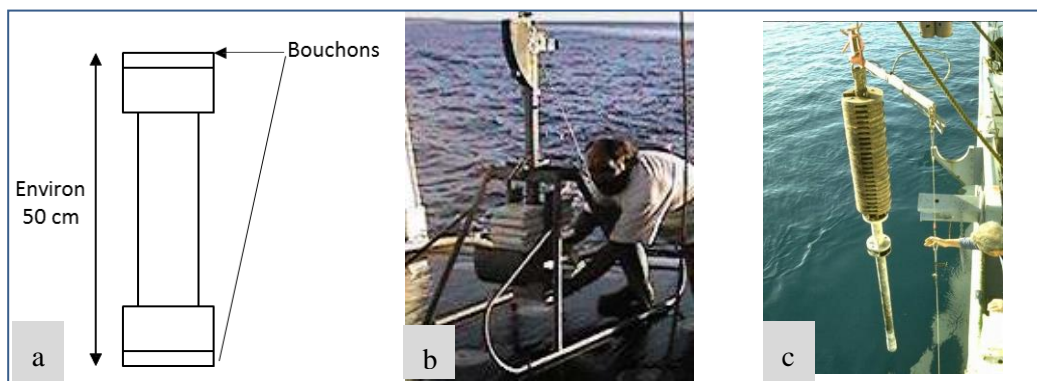


Figure 2: Exemples de carottes utilisées pour le prélèvement de sédiments
 a : Carottier à main pour les faibles profondeurs, faibles turbidités et faible courant
 b : Carottier-boîte "petit Reineck", 60 à 80 cm de hauteur
 c : Carottier-tube Kullenberg

3.2.2. Conditionnement, transport et conservation des échantillons

Toute précaution doit être prise pour éviter les contaminations des échantillons prélevés et l'absence de contamination doit être vérifiée aux différents stades de traitement des échantillons.

Les règles de conditionnement et de conservation sont définies dans différents documents de référence, telles que les normes existantes (NF EN ISO série 5667). Il conviendra de s'assurer d'utiliser les documents en vigueur au moment de l'étude.

Quelques éléments à prendre en considération

- Dans le cas où des **composés organiques** sont analysés, du **verre** ou de l'**inox** devra être utilisé à chaque étape.
- Pour le sédiment destiné à l'analyse des **métaux**, le polyéthylène, le **polypropylène** ou le **polystyrène cristal** devront être utilisés à chaque étape.
- Dans le cas de prélèvement par benne ou carottier, il est nécessaire de procéder à un sous-échantillonnage afin de ne pas échantillonner le sédiment en contact de l'outil préleveur et ainsi limiter les risques de contamination.
- Lorsque des analyses de métaux traces et de contaminants organiques sont à effectuer sur le même sédiment, les 2 échantillonnages sont faits en parallèle en utilisant pour chaque étape l'outil dans le matériau adéquat. Les outils utilisés ne doivent pas avoir un revêtement altéré.
- Le matériel doit être « propre », rincé et conditionné entre chaque utilisation selon les conditions appropriées pour chaque type de flaconnage et comme indiqué dans le tableau de l'**annexe 3**.
- Des précautions doivent être prises lors de la manipulation de l'échantillon, notamment prélever avec des mains propres (porter des gants si besoin, en nitrile ou vinyle) et faire attention à ne pas contaminer l'échantillon avec des fumées de moteur ou de cigarette.

4. Caractérisation des sédiments

(Circulaire n°2000-62. Art. 5 : Instructions générales d'échantillonnage et d'analyse des sédiments)

Toute opération de dragage doit être précédée d'une caractérisation des sédiments afin d'en évaluer les effets potentiels sur le milieu. Les analyses visent à fournir une image représentative du site, à partir du recueil successif de données de **caractérisation physique, chimique et biologique des sédiments** et seront fonction de la typologie du sédiment prélevé et des analyses historiques sur la zone. Les différentes étapes de caractérisation sont décrites dans les paragraphes suivants et résumées dans le schéma synthétique de la

Figure 3.

Les analyses de contaminants et de matières organiques sont à effectuer sur la **fraction inférieure à 2 mm** (tamisage sur tamis non contaminé). Les analyses doivent être effectuées par un organisme agréé voire accrédité uniquement s'il n'existe pas d'organisme agréé (§ 2.6).

4.1. Phase I : Propriétés physiques = obligatoire

La première étape de caractérisation des sédiments consiste à en déterminer les propriétés physiques suivantes :

- Quantité de matériaux à éliminer
- Granulométrie : % sable (63 μm – 2 mm) au minimum (**annexe 4**),
% vase (2 μm – 63 μm),
% argile (< 2 μm) si possible
- % Matière Sèche
- Densité
- Teneur en Aluminium (Al) : sur fraction < 2 mm
- Matière Organique : Carbone Organique Total sur fraction < 2 mm

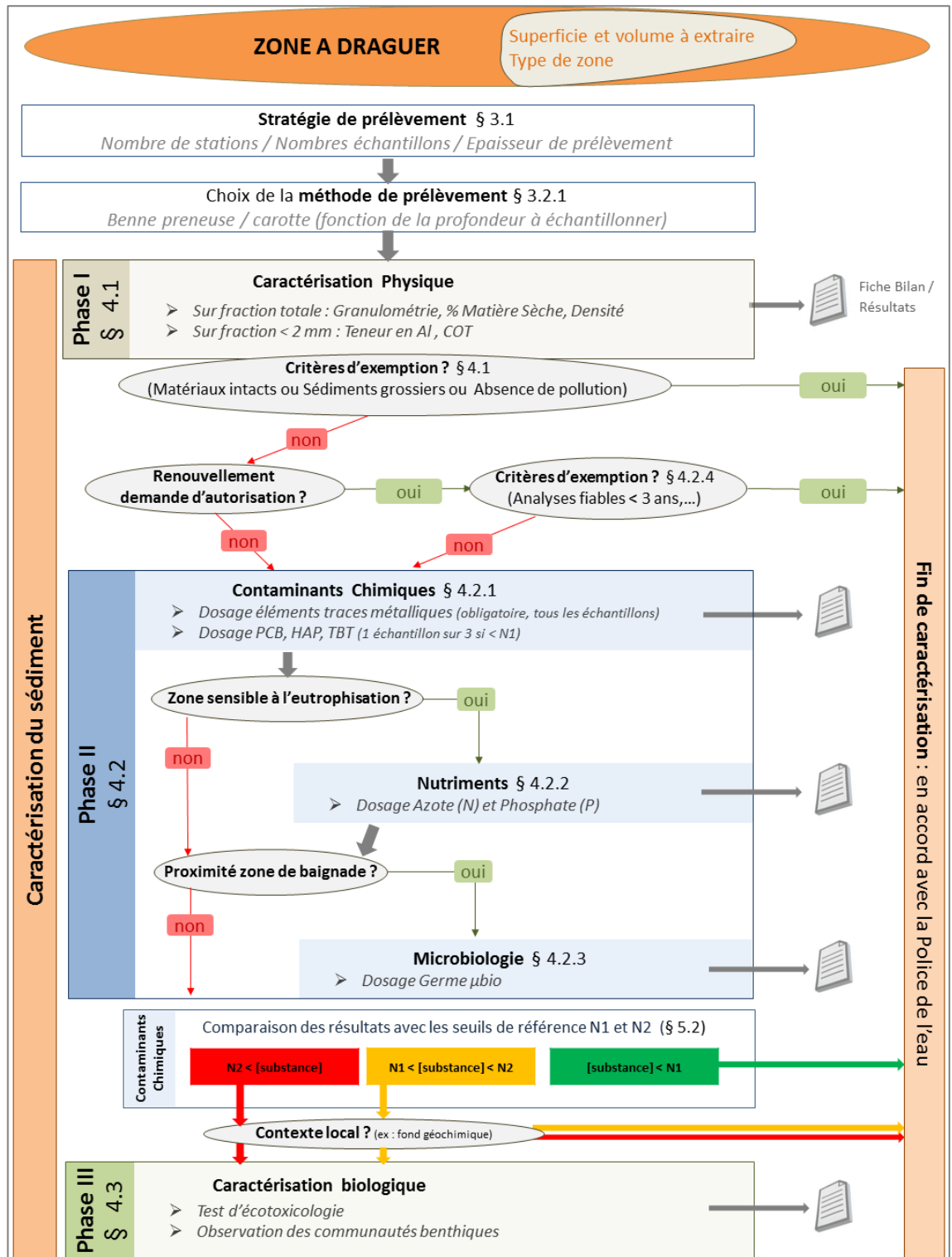
Aux vues des résultats, les matériaux de dragage sont susceptibles d'être exemptés des autres phases d'analyses s'ils satisfont à l'un des **critères** stipulés ci-dessous :

- i) Ils sont composés de matériaux géologiques jusqu'alors intacts ; ou
- ii) Ils sont presque exclusivement composés de sable, gravier ou roche ; ou
- iii) Le milieu dans lequel ils se trouvent se caractérise par l'absence de sources appréciables de pollution.

Ceci doit être étayé par des analyses de micropolluants datant de moins de 3 ans (§ 4.2.1).

Les matériaux de dragage ne répondant pas à l'un de ces critères doivent faire l'objet d'une caractérisation plus poussée (**phase II**), afin de pouvoir apprécier leurs effets potentiels sur le milieu marin. Dans le cas d'un dépôt à terre (hors rechargement de plage), la caractérisation des phases II et III devra être adaptée pour répondre à la réglementation en vigueur pour ce type de dépôt.

Figure 3 : Schéma synthétique des étapes de caractérisation du sédiment



4.2. Phase II : Propriétés chimiques

4.2.1. Substances polluantes et seuils réglementaires

La détermination des éléments traces inorganiques (métaux) est obligatoire. Réglementairement, l'analyse des composés organiques (PCB et HAP) et organo-stanniques (ou organo-métalliques) peut être effectuée uniquement sur 1 échantillon sur 3 dans un premier temps, puis sur la totalité dans un second temps si les résultats sont supérieurs au niveau N1. Compte tenu du fond géochimique réunionnais, le taux de nickel dépasse le seuil N1 de façon générale, l'ensemble des échantillons sera donc à analyser dès le départ.

Quatre groupes de micropolluants ont été définis par l'arrêté ministériel du 9 août 2006, modifié par arrêté ministériel du 17 juillet 2014. Ce sont des substances naturelles ou de synthèse, introduites dans le milieu par l'homme alors qu'elles étaient absentes ou présentes spontanément en quantité moindre. Ces substances présentent une nocivité pour les êtres vivants et, à faible ou très faible concentration, peuvent avoir des conséquences irréversibles sur les milieux aquatiques et la santé humaine. Ces substances sont en général peu dégradables et ont la particularité d'être adsorbées et de s'accumuler dans les sédiments ou les matières en suspension, affectant potentiellement toute la chaîne alimentaire.

4.2.1.1. Eléments traces métalliques

Les métaux recherchés sont l'Arsenic (As), le Chrome (Cr), le Mercure (Hg), le Plomb (Pb), le Cadmium (Cd), le Cuivre (Cu), le Nickel (Ni) et le Zinc (Zn). Ces éléments sont non biodégradables, cumulatifs et présentent de fortes capacités d'*adsorption* dans les sédiments et matières organiques. Ils peuvent être à la fois toxiques lorsqu'ils sont en grande quantité ou indispensables à la vie en faible quantité (cas des oligo-éléments). La principale origine des concentrations élevées dans les sédiments réside dans la pollution *anthropique*. Par exemple, le remplacement du TriBuTylétain (TBT) par le cuivre dans les peintures antisalissure (§ 4.2.1.2.c) constitue une source de contamination potentielle de ce métal dans les ports.

L'activité volcanique représente également une source naturelle importante d'éléments minéraux tels que le fer, le nickel, le sélénium et l'arsenic ; ils peuvent constituer un bruit de *fond géochimique*.

Du fait de l'activité volcanique qui a une influence sur les concentrations en certains éléments traces dans les sédiments, il conviendra de prendre en considération les éléments suivants lors de l'interprétation des résultats :

- les différentes études sur le fond géochimique à La Réunion, notamment l'étude CARTOMAR de 2008,
- si des données historiques sont disponibles, l'évolution dans le temps de l'élément (exemple § 4.2.1.2.c)).

4.2.1.2. Les Composés organiques hydrophobes

Du fait de leur non solubilité dans l'eau, les composés hydrophobes s'adsorbent sur les matières en suspension dans l'eau et dans les sédiments où ils se retrouvent concentrés. Ils deviennent alors *biodisponibles* pour certains organismes marins

a) les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

L'introduction des HAP dans l'environnement résulte majoritairement des actions *anthropiques*, la combustion des produits pétroliers (transport, chauffage, industrie) en est une source importante.

Dans les zones portuaires, les *concentrations* sont fréquemment supérieures au mg/Kg. Nombre d'entre eux sont reconnus cancérigènes, et constituent potentiellement une source de *perturbation endocrinienne*.

b) les Polychlorobiphényles (PCB) : 7 congénères

Les PCB sont des produits de synthèse autrefois fabriqués industriellement et utilisés comme additifs dans les peintures, les encres, etc., avant d'être progressivement interdits. Ce groupe comprend au total 209 congénères (ils se distinguent notamment par leur nombre d'atomes de chlore) ; sept d'entre eux étant les plus fréquents dans l'environnement sont utilisés comme indicateurs de pollution. La présence des PCB dans le milieu marin trouve notamment son origine dans la **remise en suspension de sédiments pollués**. Ils se bioaccumulent fortement dans la chaîne alimentaire, par exemple dans la graisse des poissons et des populations humaines qui les consomment. Ils sont très toxiques pour les organismes aquatiques et perturbent les fonctions reproductrices en fin de chaîne trophique. Ils sont suspectés d'être cancérigènes, sont des *perturbateurs endocriniens* avérés et probablement toxiques pour le développement de l'enfant.

c) Organo-stanniques : le Tributylétain (TBT) et produit de sa dégradation

Le tributylétain (TBT) était utilisé dans les peintures "anti-salissure" destinées à protéger la carène des navires contre la fixation d'organismes vivants. Interdit à la production en France depuis 2003, des quantités importantes de TBT ($> 5 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{jour}^{-1}$) ont été largement diffusées dans le milieu marin. Une fois stocké dans les sédiments, sa *désorption* étant très faible, il peut persister plusieurs années. Le tributylétain et les produits de sa dégradation (dibutylétain - DBT - et monobutylétain - MBT) sont très toxiques pour les organismes marins à des concentrations extrêmement faibles, altérant leur croissance et leur reproduction.

4.2.1.3. Seuils réglementaire N1 et N2

Pour chaque substance impactante identifiée, deux seuils de référence, définis comme niveaux d'impact croissant N1 et N2, sont à prendre en compte dans les analyses de sédiment faisant l'objet de rejet en milieu marin ou terrestre. Les analyses sont effectuées sur la fraction inférieure à 2 mm. Les seuils réglementaires de chacune des substances sont présentés dans le Tableau 1, en référence aux tableaux II et III, III bis et III ter de l'arrêté du 9 août 2006 modifié le 17 juillet 2014.

4.2.1.4. Exception et complément

Les dosages de HAP, PCB et organo-stanniques ne sont pas nécessaires si des études de moins de 3 ans suffisent à prouver que :

- i) il n'y a pas de contamination ou qu'il n'y a pas de sources significatives (ponctuelles ou diffuses) de contamination ni d'apports historiques,
- ii) les sédiments sont grossiers (**annexe 4**),

iii) la teneur en carbone organique total est faible ($< 1 \text{ g/kg}$ matière sèche⁷).

En outre, selon les informations disponibles sur les sources de contamination (ponctuelles ou diffuses) ou sur les apports historiques, d'autres paramètres sont susceptibles de devoir être mesurés, comme par exemple : d'autres chlorobiphényles, des pesticides organochlorés ou organophosphorés, d'autres agents anti-salissures, radio activité ...

4.2.2. Nutriments

Le dosage d'azote et phosphore sera effectué si les matériaux sont déversés dans des zones sensibles à l'**eutrophisation**. Ces zones correspondent aux parties du territoire où la pollution des eaux par le rejet direct ou indirect de nitrates et d'autres composés azotés susceptibles de se transformer en nitrates, menace à court terme la qualité des milieux aquatiques. Il s'agit notamment d'eaux estuariennes, côtières ou marines **ayant subi ou montrant une tendance à l'eutrophisation**, susceptible d'être combattue de manière efficace par une réduction des apports en azote.

Les plate-formes récifales de la côte ouest de La Réunion montrent depuis plusieurs années des déséquilibres (dystrophie) illustrés notamment par une diminution du taux de recouvrement corallien au profit du développement d'algues.

4.2.3. Microbiologie

Le dragage provoque la remise en suspension de microorganismes pathogènes pour l'homme se trouvant majoritairement sur les particules fines ($< 5 \mu\text{m}$ pour les bactéries et $< 3 \mu\text{m}$ pour les virus). L'impact bactériologique dépend alors des conditions hydrodynamiques et de la qualité des matériaux dragués. Le dénombrement des germes témoins de contamination fécale devra être effectué si les matériaux extraits sont susceptibles de porter atteinte à la salubrité des zones conchylicoles, de cultures marines ou de baignade.

Il n'existe à ce jour aucune directive officielle permettant d'évaluer le risque sanitaire microbiologique des sédiments dragués. Le Groupe d'Etude et d'Observation sur le Dragage et l'Environnement (GEODRISK) recommande cependant des seuils que les sédiments de dragage ne doivent pas dépasser :

- E. coli : 10 000 E. Coli / 100 g de sédiment sec
- Entérocoques : 4 000 entérocoques/100 g de sédiment sec.

4.2.4. Exceptions

Il se peut, lors d'un renouvellement d'autorisation, que l'on dispose d'ores et déjà de renseignements suffisants pour pouvoir procéder à une caractérisation chimique. En pareil cas, il se peut qu'il ne soit pas nécessaire de mesurer de nouveau les effets potentiels de matériaux analogues, sous réserve que ces informations soient fiables (notamment qu'elles aient été acquises dans le respect des prescriptions mentionnées dans les paragraphes précédents), qu'elles aient été obtenues lors des 3 dernières années et que le contexte local, notamment en matière d'apports de contaminants, n'ait pas été substantiellement modifié.

⁷ Référence : critère d'interprétation proposé par l'Ifremer pour le calcul d'indices de pollution organique (Alzieu C., 2003).

Le service en charge de la Police de l'eau est compétent pour statuer et exiger des analyses complémentaires, en fonction des conditions actuelles du milieu et en fonction du paramètre.

4.3. Phase III : Caractérisation biologique

Dans certains cas de **dépassement du niveau N1 ou N2**, les impacts potentiels du matériau de dragage devant être immergé, ou utilisé pour le rechargement de plage, peuvent justifier des **caractérisations biologiques** en complément de la caractérisation chimique et physique.

Le choix des méthodes d'analyse biologique portera de préférence sur des méthodes existantes normalisées ou consensuellement reconnues et seront adaptées au degré de contamination des matériaux à draguer

4.3.1. Test d'écotoxicologie

Des **tests d'écotoxicologie** permettront de déterminer, en tant que de besoin, la *toxicité aiguë* et *chronique*, ainsi que le potentiel de *bioaccumulation* des substances contaminantes.

Le niveau de toxicité peut être évalué par des tests de mortalité de la phase liquide sur copépode marin (*Acartia tonsa*) ou directement du sédiment sur amphipode (*Corophium SP*) et par des tests sur le développement embryonnaire de larve de moule (*Mytilus edulis*) et d'huitre (*Crassostera gigas*). Le détail de ces tests est présenté en **annexe 5**.

4.3.2. Evaluation biologique

Si le contexte le permet, les tests d'écotoxicologie peuvent être complétés par des observations des communautés benthiques sur le terrain. Il s'agit de dénombrer et d'identifier les espèces vivant dans le sédiment (les macro-invertébrés benthiques). Leur abondance et leur appartenance à des groupes de polluo-sensibilité bien définis est un indicateur de l'état général et de la présence de certaines pressions anthropiques. La mise en œuvre de cette évaluation peut s'appuyer sur les prescriptions définies pour le Réseau de Contrôle de Surveillance (RCS) de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE)⁸.

L'évaluation biologique peut également consister en une surveillance des contaminants chimiques dans la matrice « biote - coquillage » : caging ou analyse des gisements locaux. Cependant, La Réunion ne disposant pas d'un gisement naturel suffisant, ce type de suivi ne peut pas être mis en œuvre dans le cadre des diagnostics préalables aux opérations de dragage de sédiments marins.

4.4. Renseignements complémentaires

Des renseignements complémentaires sont nécessaires en fonction du **contexte local** et peuvent constituer un élément essentiel de la décision de gestion. Il peut s'agir par exemple : du potentiel redox, de la demande en oxygène des sédiments, du fer, du manganèse, de la minéralogie ou de paramètres destinés à normaliser les données des contaminants.

Il convient aussi, le cas échéant, de considérer les **modifications chimiques ou biologiques** que les contaminants sont susceptibles de subir en mer.

⁸ Fascicule technique pour la mise en œuvre du suivi "Benthos de Substrats Meubles" du réseau de contrôle de surveillance DCE à La Réunion. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00168/27913/>

5. Aide à la définition des documents de marché

5.1. Volet relatif aux prélèvements et analyses

Pour faciliter l'analyse des offres, il est conseillé de demander à ce que les organismes consultés fournissent un certain nombre d'éléments.

Plusieurs tableaux "type" sont proposés en **annexe 7**. Ils permettent de disposer, sous un format commun, de tous les éléments nécessaires à l'analyse technique des offres sur les volets suivants :

- Mesures *in-situ*,
- Prélèvement,
- Pré-traitement,
- Acheminement vers le laboratoire d'analyses,
- Analyses,
- Démarche qualité.

5.2. Volet relatif à la bancarisation des données

La DEAL peut exiger que les données des différents suivis soient bancarisées dans le système d'information Quadrige, désigné par le Ministère en charge de l'environnement comme le système d'information de référence pour les eaux littorales.

Le candidat doit indiquer dans son offre s'il a suivi la formation à la saisie dans l'application Quadrige, condition indispensable pour la bancarisation dans la base de données de référence. Si tel n'est pas le cas, il conviendra qu'il se renseigne auprès de la DEAL des modalités et calendriers de formation.

A ce titre, il convient de préciser les modalités de bancarisation dans les demandes de prestation. Le texte proposé ci-dessous est une aide à la rédaction, le schéma de la Figure 4 en illustre les étapes.

Modalités de bancarisation : proposition de rédaction

Le titulaire organise la récupération et l'archivage des résultats d'analyses et des métadonnées associées en s'assurant de l'enregistrement de toutes les informations nécessaires à leur bancarisation dans Quadrige.

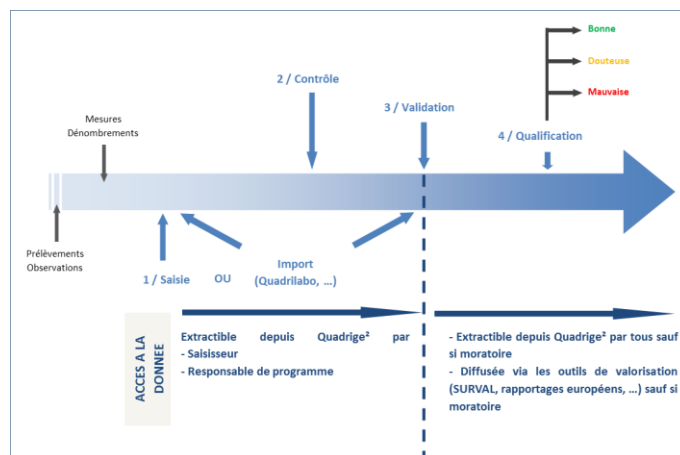


Figure 4 : Cycle de vie de la donnée vis à vis du système de bancarisation de référence Quadrige (source : Ifremer).

Saisie des données

L'acquisition de la donnée peut être en partie sous-traitée (ex : le bureau d'étude titulaire du marché peut réaliser les prélèvements et sous-traiter les analyses à un laboratoire accrédité). La saisie est réalisée sous la responsabilité du responsable de l'acquisition de la donnée (ex : titulaire d'un marché).

La saisie des données peuvent se faire directement dans Quadrigé (saisie manuelle) ou par import de données. Un masque de saisie Quadrilabo a été développé pour faciliter l'import de certaines données.⁹

Contrôle des données (au sens base de données)

Le contrôle est réalisé par le saisisseur (qui peut être un sous-traitant). Ce contrôle s'effectue après la saisie, en vérifiant la cohérence entre les données saisies dans la base et le cahier de laboratoire / les feuilles de terrain / les rapports des sous-traitants Les erreurs détectées doivent être immédiatement corrigées dans la base. Cette étape peut être tracée lors de la saisie/import de données (par exemple lors de sous-traitance).

Validation des données (au sens base de données)

La validation est l'action effectuée par le saisisseur qui certifie ainsi que toutes les opérations de contrôle ont été réalisées. Une fois validée, la donnée n'est plus modifiable, sauf intervention tracée, ce qui la protège d'éventuelles modifications / suppressions accidentelles. Si des données doivent être corrigées après validation, il conviendra de se rapprocher de la cellule d'administration Quadrigé de l'Ifremer. Les données validées sont accessibles à tous les utilisateurs de Quadrigé. Tant qu'une donnée n'est pas validée, elle n'est accessible qu'au seul saisisseur ainsi qu'à l'administrateur du programme auquel la donnée est rattachée.

Moratoire

Il s'agit d'un procédé permettant de masquer les données saisies sur une période déterminée. Ainsi, il permet de protéger les données le temps de les présenter en comité de suivi par exemple.

5.3. Volet relatif aux livrables

Dans un souci de traçabilité des données, il est important de prévoir les livrables suivant :

- les données brutes produites lors des mesures *in situ* (copie des feuilles de terrain),
- les différents rapports d'analyses,
- ainsi que tous éléments jugés pertinents en vue d'une interprétation des données.

⁹ Masque de saisie QUADRILABO. Notice d'utilisation de l'interface de saisie Excel© pour les données "hydrologie", "phytoplancton (sauf dénombrement)" et "chimie" pour La Réunion et Mayotte.

<http://doi.org/10.13155/36144>

6. Résultats, interprétation et suite à donner

6.1. Présentation des résultats

Une fiche bilan contenant la description de l'opération envisagée, des prélèvements et des analyses effectuées ainsi que leurs résultats est à transmettre au service chargé de la Police de l'eau pour instruction du dossier. Cette fiche (cf. **annexe 6**) est à joindre à l'étude d'incidence.

6.2. Interprétation et suite à donner

L'interprétation des résultats devra être basée sur une comparaison par rapport aux **seuils N1 et N2** définis dans le Tableau 1. La teneur à prendre en compte est la teneur maximale mesurée. Toutefois, il existe une **tolérance de dépassement** des échantillons analysés par rapport aux niveaux de référence. Un certain nombre de dépassements de ces seuils sont autorisés **en fonction du nombre total d'analyses** effectuées, avec un maximum de 1,5 fois le niveau de référence (Figure 5).

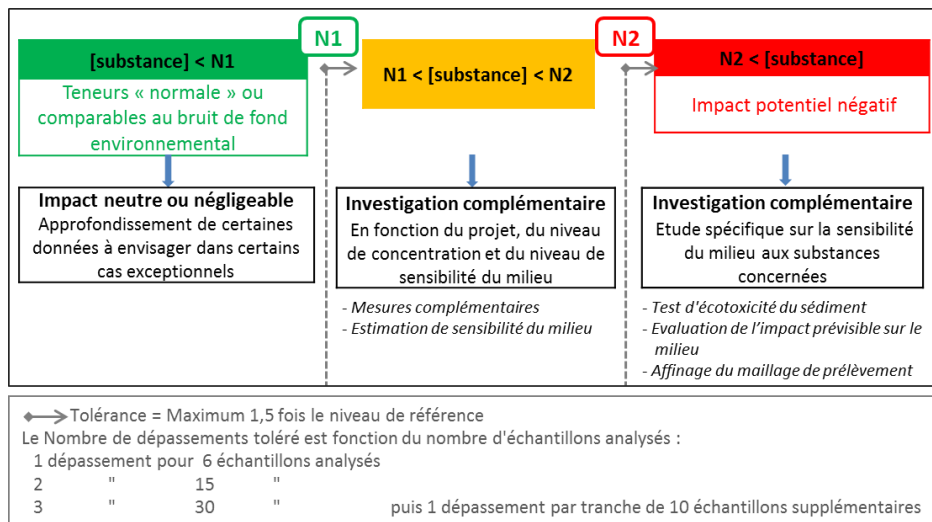


Figure 5 : Processus d'interprétation des résultats en comparaison avec les niveaux de référence

Une interprétation complémentaire pourra être envisagée :

- soit par comparaison avec des valeurs relatives aux sites eux-mêmes ;
- soit par normalisation des résultats, par rapport à la teneur en Aluminium pour les contaminants métalliques ou en Carbone Organique Total pour les contaminants organiques, afin de comparer des sites entre eux¹⁰.

Comme indiqué en introduction, ce guide concerne les opérations de dragage elles-mêmes ainsi que le dépôt en mer des rejets y afférents : immersion et rechargement de plage. S'il s'avère au terme de l'instruction du dossier que le dépôt en mer n'est pas autorisé, il conviendra d'envisager des dépôts à terre et de compléter le dossier des éléments exigés par la réglementation y afférente. Ainsi, pour des dépôts à terre, il conviendra de mettre en œuvre, par exemple, le protocole d'évaluation des propriétés H14 d'écotoxicité du sédiment.

¹⁰ OSPAR JAMP guidance normalisation of contaminant concentrations in sediment <http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Advice/2009/Special%20Requests/OSPAR%20JAMP%20guidance%20%20normalisation%20of%20contaminant%20concentrations%20in%20sediment.pdf>

GLOSSAIRE

Adsorption : fixation ou concentration d'éléments ou de substances à la surface d'un corps solide.

Aliquote : fraction connue d'une quantité totale d'une solution.

Anthropique : relatif à l'activité de l'homme.

Bassin versant : aire de collecte considérée à partir d'un exutoire, limitée par le contour à l'intérieur duquel se rassemblent les eaux précipitées qui s'écoulent en surface et en souterrain vers cette sortie. Aussi dans un bassin versant, il y a continuité - longitudinale, de l'amont vers l'aval (ruisseaux, rivières, fleuves).

Benthique : relatif aux organismes aquatiques fixées sur les fonds sous-marins ou se déplaçant très peu.

Bioaccumulation : processus biologique d'accumulation de substances dans les tissus des organismes vivants.

Biocénose : Ensemble des populations d'espèces animales ou végétales vivant dans un milieu naturel déterminé. La biocénose correspond à la composante vivante de l'écosystème.

Bioconcentration : phénomène qui, pour une substance donnée, va engendrer des concentrations dans les êtres vivants supérieures aux concentrations présentes dans le milieu.

Biodisponible : aptitude d'une substance chimique à atteindre sa cible organique. Ce concept très général intègre tous les phénomènes mis en jeu depuis la pénétration de l'agent dangereux dans un organisme vivant jusqu'à son métabolisme, son élimination ou son stockage.

Chaîne alimentaire : la chaîne alimentaire caractérise une suite de relations alimentaires existant entre les êtres vivants : chaque être vivant mange celui qui le précède.

Concentration : quantité d'un élément ou d'une substance par unité de volume ou de poids.

Contaminant : élément ou substance contenu dans l'air, l'eau et les sédiments (sols) en quantité anormale (non naturelle).

Désorption : phénomène inverse de l'adsorption : les liaisons ioniques entre ions, molécules et substrat se brisent et les ions ou molécules précédemment adsorbés se détachent du substrat.

Ecotoxicité : propriété d'une substance de provoquer des effets néfastes sur les organismes vivants et leur organisation fonctionnelle (écosystèmes).

Effets aigus : troubles liés à une exposition courte mais à forte dose. Généralement, ils sont immédiats ou surviennent à court terme (quelques heures à quelques jours).

Effets chroniques : troubles en rapport avec une exposition faible et prolongée. Ils surviennent en général avec un temps de latence qui peut atteindre plusieurs mois, voire des décennies.

Eutrophisation : Enrichissement des cours d'eau et des plans d'eau en éléments nutritifs, essentiellement le phosphore et l'azote qui constituent un véritable engrais pour les plantes aquatiques. L'eutrophisation se manifeste par la prolifération excessive des végétaux dont la décomposition provoque une diminution notable de la teneur en oxygène. Il s'en suit, entre autres, une diversité animale et végétale amoindrie et des usages perturbés.

Fond géochimique : Composition chimique naturelle du sol ou d'une eau due à la nature des formations pédologiques et géologiques de son bassin versant et de sa roche magasin dans le cas d'une nappe souterraine.

Hydrophobe : qui n'a aucune affinité avec l'eau mais avec le sédiment et la matière vivante.
(Contraire : substance hydrophile)

Hypersédimentation : sédimentation excessive provoquée par un taux trop important de MES dans l'eau.

Perturbateur endocrinien : substances naturelles ou anthropiques qui altèrent les fonctions du système endocrinien en induisant des effets nocifs sur la santé des organismes et de ses descendants.

Sédiment : dépôts solides ayant été transportés par l'eau; ils peuvent être qualifiés de cohésifs ou non selon qu'ils sont consolidés ou non (sables).

Toxicité : capacité d'une substance de provoquer des perturbations des fonctions biologiques des organismes.

BIBLIOGRAPHIE

- Actes du séminaire international sur les aspects environnementaux liés aux activités de dragages. 1989. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00105/21607/>
- Agence de l'eau Seine-Normandie, 2008. "Guide pratique des Substances Toxiques dans les Eaux Douces et Littorales Eau Seine Normandie" - Guides pratiques "eau et santé". <http://www.eau-seine-normandie.fr/index.php?id=5327>
- Alzieu C., 1999. "Dragages et environnement marin. Etat des connaissances." IFREMER. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/1040/>.
- Andral B., 2007. "Les guides méthodologiques du RLM. Evaluation de la contamination chimique et radiologique du sédiment". IFREMER.
- Amouroux Isabelle, Claisse Didier (2016). "Opérations d'échantillonnage en milieu marin dans le cadre des programmes de surveillance DCE (matrices : eau, sédiment et biote)." - Recommandations techniques – AQUAREF – Edition 2015. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00333/44380/>
- BRGM, 2008. "Identification des zones à risque de fond géochimique élevé dans les cours d'eau et les eaux souterraines de La Réunion". Rapport final.
- BRGM, 2008. "CARTOMAR – Cartographie morphosédimentologique des fonds marins côtiers de La Réunion". Rapport final.
- BRUGNEAUX S., PIERRET L., MAZATAUD V., 2004.- "Les agressions d'origine anthropique sur le milieu marin côtier et leurs effets sur les écosystèmes coralliens et associés de la Martinique."- Les Cahiers de l'Observatoire, No.1, Edition 2004.- Fort de France : Observatoire du Milieu Marin Martiniquais, 96 p.
- CETMEF, 2008. "Dragage en milieu marin, immersion et code de l'environnement : le guide des procédures préalables". Version 2.
- Chiffolleau J.-F., 2010. "Evaluation des valeurs de bruits de fond dans l'eau de mer des 4 métaux de l'état chimique DCE – Cas des Départements d'Outre-Mer" - Convention Onema-Ifremer 2010, Rapport final.
- Collin B., Doelsch E., Saint Macary H., 2012. "Éléments trace métalliques et épandage de produits organiques à la Réunion", CIRAD. Agronomie, Environnement et société, 2 (1), juin 2012, p. 59-67. http://publications.cirad.fr/une_notice.php?dk=565474
- Faure G., 1989. "Degradation of Coral Reefs at Moorea Island (French Polynesia) by *Acanthaster planci*." Journal of coastal research, Vol.5, No. 2 (spring, 1989), pp. 295-305
- Faure *et. al*, 1984. "Massive bleaching and death of corals in the Mayotte reef ecosystem (SW Indian Ocean)." C.R. Acad. Sc. Paris, T.299, série III, n°15.
- GEODE, 2014. "Evaluation des risques sanitaires des opérations de dragage et d'immersion en milieu estuarien et marin", annexes techniques. Consultable en ligne
- GEODE, 2012. "Suivis environnementaux des opérations de dragage et d'immersion". Guide méthodologique.
- GEODE, 2014. "Rédaction des études d'impact d'opérations de dragage et d'immersion en milieu estuarien et marin". Guide méthodologique.
- Gilmour J., 1999. "Experimental investigation into the effects of suspended sediment on fertilisation, larval survival and settlement in a scleractinian coral."
- GT DCE Réunion "Benthos Substrats Meubles", 2015. Fascicule technique pour la mise en œuvre du réseau de contrôle de surveillance DCE "Benthos de Substrats Meubles" à La Réunion. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00168/27913/>

- IFRECOR, 2004. "Plan de restauration de zones récifales dégradées suite aux activités de dragage, Ile de Moorea, Polynésie Française".
- IFREMER, 2011. "Evaluation des valeurs de bruits de fond dans l'eau de mer des 4 métaux de l'état chimique DCE. Cas des Départements d'Outre-Mer". Rapport final.
- In Vivo, FFPP, 2005. "Guide pour la gestion des opérations de dragage". Version 1.
- SDAGE 2016-2021, 2015. Comité de Bassin La Réunion. http://www.comitedebassin-reunion.fr/IMG/pdf/SDAGE_VF_site_CB_avant_maq.pdf
- Schiavone S., Coquery M. (2011). Guide d'échantillonnage et de pré-traitement des sédiments en milieu continental pour les analyses physico-chimiques de la DCE. Cemagref, 24 p.

Textes réglementaires

- Décret n° 2006-881 du 17 juillet 2006 modifiant le décret n° 93-743 du 29 mars 1993 relatif à la Nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration
<https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2006/7/17/DEVO0640035D/jo/texte>
- Arrêté du 23 février 2001 fixant les prescriptions générales applicables aux travaux de dragage et rejet y afférent soumis à déclaration en application des articles L.214-1 à L.214-3 du code de l'environnement et relevant de la rubrique 4.1.3.0 (2°, a, II ; 2°, b, II et 3°, b) de la nomenclature annexée au décret n° 93-743 du 29 mars 1993 modifié.
<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000754300&dateTexte=20160707>
- Arrêté du 9 août 2006, modifié par arrêté du 17 juillet 2014, relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux.
<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000423497&dateTexte=20160707>
- Circulaire n° 2000-62 du 14 juin 2000 relative aux conditions d'utilisation du référentiel de qualité des sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire défini par arrêté interministériel. Instructions techniques portant sur le prélèvement et l'analyse des déblais de dragage.
<http://www.bulletin-officiel.developpement-durable.gouv.fr/fiches/BO200016/A0160055.htm>

Pages web consultées

Ifremer environnement :

<http://envlit.ifremer.fr/var/envlit/storage/documents/dossiers/dragages/drag-c33.htm>

<http://envlit.ifremer.fr/var/envlit/storage/documents/dossiers/dragages/drag-c41.htm>

Site Geode :

<http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr/club-geode-r65.html>

<http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr/etudes-et-documents-a191.html>

Comité de bassin La Réunion :

<http://www.comitedebassin-reunion.fr/>

DEAL Réunion :

http://www.reunion.developpement-durable.gouv.fr/la-protection-des-especes-a225.html#ep_marines

ANNEXES

1. Nomenclature dragage et/ou rejet y afférent en milieu marin

Article R. 214-1 du code de l'environnement

Détail de la rubrique 4.1.3.0 de la nomenclature : "Dragage et/ou rejet y afférent en milieu marin (A= régime d'autorisation ; D = régime de déclaration)".

1° La teneur des sédiments extraits est supérieure ou égale au niveau de référence N2 pour l'un au moins des éléments		A	
2° La teneur des sédiments extraits est comprise entre les niveaux de référence N1 et N2 pour l'un des éléments	a) sur la façade métropolitaine Atlantique-Manche-mer du Nord et lorsque le rejet est situé à 1 km ou plus d'une zone conchylicole ou de cultures marines	I. le volume maximal <i>in situ</i> dragué au cours de douze mois consécutifs est supérieur ou égal à 50 000 m ³	A
		II. le volume maximal <i>in situ</i> dragué au cours de douze mois consécutifs est inférieur à 50 000 m ³	D
	b) sur les autres façades ou lorsque le rejet est situé à moins de 1 km d'une zone conchylicole ou de cultures marines	I. le volume maximal <i>in situ</i> dragué au cours de douze mois consécutifs est supérieur ou égal à 5 000 m ³	A
		II. le volume maximal <i>in situ</i> dragué au cours de douze mois consécutifs est inférieur à 5 000 m ³	D
3° La teneur des sédiments extraits est inférieure ou égale au niveau de référence N1 pour l'ensemble des éléments	a) le volume <i>in situ</i> dragué au cours de douze mois consécutifs est supérieur ou égal à 500 000 m ³	A	
	b) le volume <i>in situ</i> dragué au cours de douze mois consécutifs est supérieur ou égal à 5 000 m ³ sur la façade Atlantique-Manche-mer du Nord et à 500 m ³ ailleurs ou lorsque le rejet est situé à moins de 1 km d'une zone conchylicole ou de cultures marines, mais inférieur à 500 000 m ³ .	D	

Le volume à prendre en compte au sens de la rubrique 4.1.3.0 est défini comme la somme des volumes des différentes opérations conduites par le même opérateur sur un même milieu aquatique et sur une période consécutive de 12 mois.

2. Quelques références de normes en vigueur pour l'analyse des sédiments

Sources : programme COFRAC n°156 & site de l'Afnor, date d'actualisation : juin 2016. Liste non exhaustive.

(<http://www.boutique.afnor.org/normes>)

Catégorie	Normes, dates et liens	Descriptifs	Indices
-----------	------------------------	-------------	---------

Conditionnement, transport et conservation des échantillons

NF EN ISO 5667-15 Octobre 2009	Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 15 : lignes directrices pour la conservation et le traitement des échantillons de boues et de sédiments	X33-041
NF EN ISO 5667-19 Mars 2005	Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 19 : lignes directrices pour l'échantillonnage des sédiments en milieu marin	T90-514

Caractérisation physique

Granulométrie	ISO 13320:2009 Octobre 2009	Analyse granulométrique - Méthodes par diffraction laser - Principes généraux	X11-666-1
COT	NF ISO 14235 Septembre 1998	Qualité du sol - Dosage du carbone organique par oxydation sulfochromique	X31-419
	NF ISO 10694 Juin 1995	Qualité du sol - Dosage du carbone organique et du carbone total après combustion sèche (analyse élémentaire)	X31-409
Matière sèche	NF ISO 11465 Août 1994	Qualité du sol - Détermination de la teneur pondérale en matière sèche et en eau - Méthode gravimétrique.	X31-102
	NF EN 12880 Novembre 2000	Caractérisation des boues - Détermination de la teneur en matière sèche et de la teneur en eau	X33-005
Aluminium			
Mise en solution	NF X31-147 Juillet 1996	Qualité des sols - Sols, sédiments - Mise en solution totale par attaque acide	X31-147
Dosage :	NF EN ISO 11885 Novembre 2009	Qualité de l'eau - Dosage d'éléments choisis par spectroscopie d'émission optique avec plasma induit par haute fréquence (ICP-OES)	T90-136
Densité	méthode non précisée dans la réglementation		

Éléments traces inorganiques

Cadmium			
Mise en solution	NF X31-147 Juillet 1996	Qualité des sols - Sols, sédiments - Mise en solution totale par attaque acide	X31-147
	NF EN 13346 Décembre 2000	Caractérisation des boues - Détermination des éléments traces et du phosphore - Méthodes d'extraction à l'eau régale	X33-010
Dosage	NF EN ISO 5961 Août 1995	Qualité de l'eau - Dosage du cadmium par spectrométrie d'absorption atomique	T90-134
	NF EN ISO 11885 Novembre 2009	Qualité de l'eau - Dosage d'éléments choisis par spectroscopie d'émission optique avec plasma induit par haute fréquence (ICP-OES)	T90-136

Catégorie	Normes, dates et liens	Descriptifs	Indices
Éléments traces inorganiques (suite)			
Chrome			
Mise en solution	NF X31-147 Juillet 1996 NF EN 13346 Décembre 2000	Qualité des sols - Sols, sédiments - Mise en solution totale par attaque acide Caractérisation des boues - Détermination des éléments traces et du phosphore - Méthodes d'extraction à l'eau régale	X31-147 X33-010
Dosage	NF EN 1233 Septembre 1996 NF EN ISO 11885 Novembre 2009	Qualité de l'eau - Dosage du chrome - Méthodes par spectrométrie d'absorption atomique Qualité de l'eau - Dosage d'éléments choisis par spectroscopie d'émission optique avec plasma induit par haute fréquence (ICP-OES)	T90-133 T90-136
Cuivre - Nickel - Plomb			
Mise en solution	NF X31-147 Juillet 1996 NF EN 13346 Décembre 2000	Qualité des sols - Sols, sédiments - Mise en solution totale par attaque acide Caractérisation des boues - Détermination des éléments traces et du phosphore - Méthodes d'extraction à l'eau régale	X31-147 X33-010
Dosage	FD T90-112 Juillet 1998 NF EN ISO 15586 Mai 2004 NF EN ISO 11885 Novembre 2009	Qualité de l'eau - Dosage de huit éléments métalliques (Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ag, Pb) par spectrométrie d'absorption atomique dans la flamme Qualité de l'eau - Dosage des éléments traces par spectrométrie d'absorption atomique en four graphite Qualité de l'eau - Dosage d'éléments choisis par spectroscopie d'émission optique avec plasma induit par haute fréquence (ICP-OES)	T90-112 T90-119 T90-136
Zinc			
Mise en solution	NF X31-147 Juillet 1996 NF EN 13346 Décembre 2000	Qualité des sols - Sols, sédiments - Mise en solution totale par attaque acide Caractérisation des boues - Détermination des éléments traces et du phosphore - Méthodes d'extraction à l'eau régale	X31-147 X33-010
Dosage	NF EN ISO 11885 Novembre 2009 FD T90-112 Juillet 1998	Qualité de l'eau - Dosage d'éléments choisis par spectroscopie d'émission optique avec plasma induit par haute fréquence (ICP-OES) Qualité de l'eau - Dosage de huit éléments métalliques (Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ag, Pb) par spectrométrie d'absorption atomique dans la flamme	T90-136 T90-112
Mercure			
Mise en solution	NF EN 13346 Décembre 2000	Caractérisation des boues - Détermination des éléments traces et du phosphore - Méthodes d'extraction à l'eau régale	X33-010
Doage	NF ISO 16772 Septembre 2004	Qualité du sol - Dosage du mercure dans les extraits de sol à l'eau régale par spectrométrie d'absorption atomique de vapeur froide ou par spectrométrie de fluorescence atomique de vapeur froide	X31-432
Arsenic			
Mise en solution	NF EN 13346 Décembre 2000	Caractérisation des boues - Détermination des éléments traces et du phosphore - Méthodes d'extraction à l'eau régale	X33-010
Doage	NF EN ISO 17294-2 Avril 2005	Qualité de l'eau - Application de la spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP-MS) - Partie 2 : dosage de 62 éléments	T90-164

Catégorie	Normes, dates et liens	Descriptifs	Indices
-----------	------------------------	-------------	---------

Composés traces organiques

PCB (LQ = 1 à 2 µg/kg MS selon molécule) : 7 congénères 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180			
	XP X33-012 Mars 2000	Caractérisation des boues - Dosage des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des polychlorobiphényles (PCB)	X33-012
HAP (LQ = 1 à 3 µg/kg MS selon molécule) naphtalène, acénaphthylène, acénaphthène, fluorène, phenanthrène, anthracène, fluoranthène, pyrène, benzo(a)anthracène, chrysène, benzo(b) fluoranthène, benzo(k) fluoranthène, benzo(a)pyrène, dibenzo(ah)anthracène, benzo(ghi)pérylène et indéno (123-cd)pyrène			
	XP X33-012 Mars 2000	Caractérisation des boues - Dosage des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des polychlorobiphényles (PCB)	X33-012
TBT et les produits de dégradation, le DBT et le MBT			
	XP T90-250 Juillet 2006	Qualité de l'eau - Dosage de certains composés organo-étain dans les sédiments - Méthode par chromatographie en phase gazeuse	T90-250

Nutriments

Azote Kjeldahl	NF ISO 11261 Juin 1995	Qualité du sol - Dosage de l'azote total - Méthode de Kjeldahl modifiée.	X31-111
Phosphore			
Mise en solution	NF EN 13346 Décembre 2000	Caractérisation des boues - Détermination des éléments traces et du phosphore - Méthodes d'extraction à l'eau régale	X33-010
Doage	NF EN ISO 11885 Novembre 2009	Qualité de l'eau - Dosage d'éléments choisis par spectroscopie d'émission optique avec plasma induit par haute fréquence (ICP-OES)	T90-136

Analyses microbiologiques

Entérocoques intestinaux Escherichia Coli	Accréditation COFRAC programme 100-2		
--	--------------------------------------	--	--

Ecotoxicité

Copépodes	FD ISO 14669 Août 2003	Qualité de l'eau - Détermination de la toxicité létale aiguë vis-à-vis de copépodes marins (Copepoda, Crustacea)	T90-332
Larves d'huitres et de moules	NF ISO 17244 Décembre 2015	Qualité de l'eau - Détermination de la toxicité d'échantillons aqueux sur le développement embryon-larvaire de l'huître creuse (<i>Crassostrea gigas</i>) et de la moule (<i>Mytilus edulis</i> ou <i>Mytilus galloprovincialis</i>)	T90-382
Bactéries marines	NF EN ISO 11348-3 Février 2009	Qualité de l'eau - Détermination de l'effet inhibiteur d'échantillons d'eau sur la luminescence de <i>Vibrio fischeri</i> (Essai de bactéries luminescentes) - Partie 3 : méthode utilisant des bactéries lyophilisées	T90-320-3

3. Guide de prélèvement d'échantillons marins pour l'analyse de contaminants chimiques

Extrait de la partie "prélèvement de sédiments" (p. 12-14) – Recommandations techniques – Opérations d'échantillonnage en milieu marin dans le cadre des programmes de surveillance DCE. AQUAREF, Edition 2015 (Didier Claisse, Isabelle Amouroux).

3 Prélèvement de sédiment

La capacité des sédiments à adsorber les contaminants présents dans le milieu dépend de certaines caractéristiques dont les principales sont la finesse des particules (exprimée par la granulométrie), la teneur en carbone organique, en carbonates, en aluminium, etc. Aussi, les échantillons à collecter sont composés en priorité des sédiments fins (vase ou vase sableuse). Suivant la stratégie définie, il pourra être demandé de prélever sur chaque façade maritime quelques échantillons à granulométrie grossière (sable) à des fins de comparaison des résultats.

3.1 Traitement du matériel et du flaconnage

Le matériel est traité et conditionné de façon appropriée par le laboratoire. Le préleveur veille à la bonne utilisation de celui-ci qui est spécifique aux objectifs analytiques (tableau ci-dessous).

Extrait du document de l'Ifremer : « Surveillance chimique : Guide de prélèvement d'échantillons marins pour l'analyse des contaminants organiques » (Claisse, 2007).

Type	Objectifs analyses	Traitement et conditionnement
Piluliers en polystyrène cristal Spatules en polyéthylène ou Téflon	Métaux	Lavage au Teepol, rinçage. Immersion 3 jours dans HNO ₃ pour analyse à 10% (à 40°C ou 5 jours à froid) Rinçage à l'eau Milli-Q. Mise en sacs polyéthylène, par petites quantités. Ranger les spatules individuellement en sac polyéthylène.
Autres piluliers en polystyrène cristal	Granulométrie	Aucun traitement spécial. Les piluliers sont neufs et ne servent qu'une fois. Pour éviter les confusions sur le terrain, les bouchons de ces piluliers sont d'une couleur différente de ceux des métaux.
Piluliers en polystyrène cristal 40 ml	Densité	Tarage au 1/10 ^{ème} de milligramme. Ils doivent être tarés SANS les bouchons, étiquette collée. La tare doit être inscrite sur l'étiquette.
Bocaux en verre Spatules inox Feuilles d'aluminium	Contaminants organiques Carbonates Carbone organique	Calcination au four à 450°C pendant 8 heures. Fermeture des bocaux avec une feuille d'aluminium calcinée. Travailler avec les gants en coton et sur une feuille d'aluminium calcinée. Stockage des bocaux enveloppés dans une grande feuille d'aluminium calcinée par petites quantités. Lavage en machine des couvercles des bocaux, rinçage, séchage. Emballage par petites quantités dans une grande feuille d'aluminium non calcinée. Emballer les spatules calcinées dans une feuille d'aluminium calcinée, individuellement.

3.2 Prélèvement

Sur **zone découverte**, les prélèvements pourront être faits à marée basse, à pied sur l'estran et directement avec les spatules.

Par des **fonds inférieurs à 3 mètres**, une **benne de type Ekman** (qui est en fait un carottier boîte) peut être utilisée avec son manche et une embarcation légère (fig. 4). Dans ce cas, le moteur devra être arrêté lors des opérations de prélèvement et de conditionnement. De plus, la proximité des nourrices de carburant ou autre source de contamination oblige à prendre certaines précautions : entre chaque utilisation la benne devra être enfilée dans un grand sac en polyéthylène ; les flaconnages également maintenus dans les sacs en polyéthylène, sont conservés dans un bac muni d'un couvercle fermé.

Par **fonds de plus de 3 mètres**, il est nécessaire d'utiliser un navire hauturier capable de mettre à l'eau un **carottier-boîte** (par exemple de type Reineck, fig. 5). Les machines ne pouvant être stoppées sur station, prendre soin à ce que les échappements ne soient pas rabattus sur les lieux de travail.

Le port des gants en nitrile (non poudré) est obligatoire lors des opérations de manipulation des échantillons. Ne pas manipuler la benne ou le carottier avec les gants qui serviront à manipuler le flaconnage. Les gants doivent être changés pour chaque prélèvement.



Figure 4 : Prélèvement du premier centimètre superficiel d'une carotte obtenue à l'aide d'une benne de type Ekman sur embarcation légère.



Figure 5 : Mise à l'eau d'un carottier-boîte de type Micro-Reineck sur navire hauturier.

Dans tous les cas le prélèvement est effectué dans la couche superficielle du sédiment, **approximativement le premier centimètre**. On choisira de préférence du sédiment fin (plus de 20% de particules < 63 μm) contenant une fraction organique ou argileuse significative. Le sédiment destiné à la mesure de la granulométrie et de la teneur en eau doit être prélevé dans la partie la plus périphérique de la carotte, qui a été en contact avec les parois de la boîte. Le matériel destiné à l'analyse des métaux doit être prélevé dans la partie centrale. Enfin, la partie intermédiaire doit être prélevée pour l'analyse des contaminants organiques (figure 6).

Carotte vue du dessus

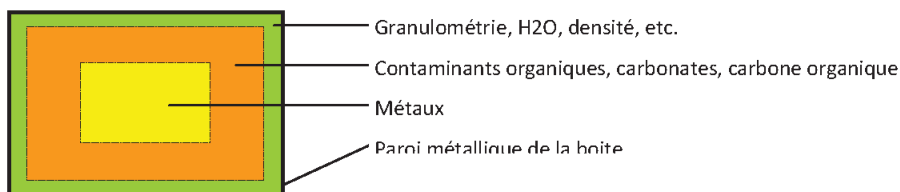


Figure 6 : localisation des sous échantillonnages dans la carotte pour les différents paramètres

Pour les **contaminants organiques**, la couche superficielle est prélevée à l'aide d'une **spatule en acier inoxydable calcinée**. L'échantillon est conditionné en **bocaux de verre calcinés** (§ 3.1.). Après chaque prélèvement, la spatule est rincée avec du méthanol et enveloppée dans une feuille d'aluminium calcinée.

Pour les **métaux**, la couche superficielle est prélevée à l'aide d'une **spatule en polyéthylène, polypropylène, ou Téflon** (fig. 6), et conditionnée dans un **pilulier en polystyrène cristal traité** (§ 3.1.). Le pilulier est emballé individuellement dans un sac polyéthylène fermé par un lien ou un nœud. Après chaque prélèvement, la spatule est rincée avec de l'eau milli-Q et rangée individuellement dans un sachet en polyéthylène neuf. Les spatules ne doivent jamais être manipulées sans gant.

3.3 Conservation des échantillons et transport

Le transport initial des échantillons de sédiments du point de prélèvement au local du préleveur ou de l'analyste, s'effectue dans une enceinte ayant la capacité de maintenir une température de $5\pm 3^{\circ}\text{C}$.

Les piluliers et bocaux destinés à l'analyse des métaux et contaminants organiques sont congelés à -20°C dans les meilleurs délais en attendant l'analyse.

Les autres piluliers destinés aux mesures de granulométrie, H_2O , éventuellement densité sont conservés au réfrigérateur jusqu'à l'analyse. Le transport s'effectue en caisse isotherme avec des blocs de froid qui ne doivent jamais être en contact direct avec les piluliers. Ils ne doivent jamais être congelés car cela pourrait induire des modifications de granulométrie.

4. Granulométrie et caractérisation physique des sédiments

Par définition, la fraction fine correspond à la partie du sédiment inférieure à 63 µm de diamètre, regroupant les argiles et les silts. Cette fraction a de fortes capacités d'adsorption des contaminants. Riches en matières organiques, les sédiments fins contiennent une quantité appréciable de sulfures et, présents en quantités, ils favorisent l'apparition de conditions anoxiques qui renforcent l'immobilisation de nombreux contaminants. Plus le pourcentage de fraction fine est important, plus la capacité du sédiment à adsorber les contaminants est forte.

Il existe plusieurs types classifications granulométriques, en voici un exemple. Si un autre type de classification est utilisé, il faudra en citer la source.

- *Classification des sédiments, Ibouily, 1981*

Fraction fine < 10%	Sables purs
10% ≤ fraction fine < 20%	Sables peu envasés
20% ≤ fraction fine < 40%	Sables moyennement envasés
40% ≤ fraction fine < 60%	Sédiment très envasé à dominante de sables
60% ≤ fraction fine < 80%	Sédiment très envasé à dominante de vases
Fraction fine ≥ 80%	Vases pures

- *Propriété des principaux paramètres descriptifs*

Paramètres descriptifs	Propriétés
Sables (63 à 2000 µ m)	Très faible capacités d'adsorption des contaminants
Vases (< 63 µ m)	Fortes capacités d'adsorption des contaminants pouvant entraîner des concentrations élevées dans les milieux impactés.
Argiles (< 2 µ m)	Matériaux à granulométrie fine, en général accumulateurs de métaux traces.
Aluminium	Constituant des argiles, généralement représentatif des particules fines. Un sédiment riche en aluminium adsorbera plus les contaminants qu'un sédiment pauvre en cet élément.
Carbone organique	Adsorbe les contaminants organiques. Accumulateur de métaux traces et de radioéléments comme le mercure, le cadmium, le plutonium et le cobalt.

5. Tests d'écotoxicité

Quelques exemples de tests d'écotoxicité pour le milieu marin et compartiment sédiment

- **Détermination de la toxicité potentielle d'échantillons aqueux sur le développement embryon-larvaire d'oursin**

Protocole de l'ASTM (American Society for Testing and Materials), E 1563-98 (2012), test non normalisé.

Transposable en zone tropicale avec l'utilisation de *Paracentrotus lividus*. Evaluation du Pourcentage Net d'Anomalie larvaire après 48h à 96h d'exposition.

Test réalisé sur les phases liquides (extraits aqueux de sédiments et eau interstitielle).

- **Test de toxicité aiguë sur le copépode marin *Acartia tonsa* (FD ISO 14669 Août 2003)**

La toxicité est déterminé par le taux de mortalité des copépodes adultes enregistré au bout de 24 et 48h après exposition aux milieux à tester constitués d'eau de mer ou de substances à différentes concentrations. La concentration provoquant en 48h la mort de 50% des copépodes exposés dans les conditions de l'essai est déterminée (CL50 – 48h).

Test réalisé sur les phases liquides (extraits aqueux de sédiments et eau interstitielle).

- **Test de toxicité sur l'amphipode *Corophium SP* (norme ASTM, 1993).**

La toxicité est déterminée par le taux de mortalité des amphipodes adultes (*C. volutator* ou *C. arenarium*) en contact des sédiments pendant 10 jours à différentes concentrations. La concentration qui entraîne la mort de 50% des amphipodes (CL50) est déterminée avec un sédiment contenant des concentrations croissantes.

Test réalisé directement sur les sédiments.

- **Test de toxicité aiguë sur le développement embryonnaire des bivalves *Mytilus edulis* (moule) et *Crassostrea gigas* (huître) (NF ISO 17244 Décembre 2015)**

Ce test, normalisé pour la fraction aqueuse uniquement, est reconnu par l'Ifremer, le groupe d'étude et d'observation sur le dragage et l'environnement (GEODE) et le Conseil International pour l'Exploitation de la Mer (CIEM). Il porte sur le développement embryonnaire d'œufs fécondés de bivalves, au stade de larve "D" qui correspond au début de l'évolution larvaire.

La toxicité des sédiments est alors évaluée par le pourcentage d'anomalies du développement embryonnaire, voire un blocage dans leur développement, pour des expositions à des concentrations en sédiment comprises entre 0 et 10 g/l. L'effet sur les larves de mollusques est évalué en recherchant la concentration en produit potentiellement toxique à laquelle on observe 50% d'anomalies (CE50). Les LOEC (concentration la plus faible ayant montrée un effet) et NOEC (concentration n'entraînant pas d'effet) peuvent également être calculées.

Ce test peut être réalisé sur sédiments, extraits aqueux ou eau interstitielle.

Il est préconisé pour la grande sensibilité des invertébrés marins aux toxiques en phase de développement embryonnaire et pour sa capacité à discriminer différents niveaux de contamination des sédiments.

En fonction du pourcentage d'anomalies pour une concentration de 5 g/l de sédiment sec, une grille de notation du risque, indiquant le niveau de toxicité, a été établi par GEODE.

Tableau 1 : Classes de toxicité établies par GEODE

Note	Toxicité	% larves « D » anormales
0	Négligeable	< 10%
1	Faible	10 à 30 %
2	Moyenne	30 à 50 %
3	Forte	> 50%
	Très forte	Blocage du développement au stade embryon

- **Test d'inhibition de la luminescence de bactéries marines (*Vibrio fischeri* ou Microtox, NF EN ISO 11348-3, 2009)**

Ce test repose sur la détermination de l'inhibition de la luminescence émise par une bactérie marine *Vibrio fischeri*, provoquée par la mise en contact avec la phase liquide de l'échantillon (eau interstitielle, lixiviats).

Cet essai permet de déterminer la concentration d'échantillon (en %) qui, après 5, 15 à 30 minutes inhibe 50 % de la luminescence des bactéries. Cette concentration est désignée par CE 50-t, « t » représentant le temps de contact des bactéries avec l'échantillon.

6. Fiche bilan

Fiche à transmettre au service chargé de la police de l'eau pour chaque opération (source : *Instructions Techniques annexée à la circulaire n°2000-62 du 14 juin 2000*).

I/ CARACTERISATION DE LA ZONE DRAGUEE

- localisation géographique (joindre plan)

- nom:

- nature de la zone : ouverte confinée port de plaisance

II/ CARACTERISATION DU DRAGAGE

- nature: (entretien, approfondissement, travaux neufs, ..)

- méthode:

- date du dragage: début :..... fin :.....

- volume dragué in situ :

III/ CARACTERISATION DE LA ZONE DE REJET OU D'IMMERSION

- Situation de la zone de rejet ou d'immersion :

amont de limite de la mer

amont ligne de base (eaux maritimes intérieures)

aval ligne de base (eaux territoriales)

- Coordonnées de la zone (joindre plan): X : Y :

- Profondeur :.....

- Méthode: d'immersion

de rejet

- Tonnage clapé ou rejeté (t. de matière sèche) :.....

IV/ PRELEVEMENT

- organisme préleveur :

- numéro d'ordre et localisation des échantillons selon le plan ci-joint :

- technique de prélèvement :

benne preneuse

carottier

plongeur

autre (à préciser)

- nature (description visuelle) des prélèvements :

IV/ CONDITIONNEMENT ET DELAI DE STOCKAGE

- Description (joindre un fichier si besoin) :

V/ ANALYSE

- laboratoire ayant effectué les analyses :

- Agrément / Accréditation (fournir les copies des rapports d'essais du laboratoire) :

VI/ RESULTATS A COMMUNIQUER

Paramètres	Méthodes	Echantillons					
		1	2	3	4	5	6
<p>- Caractérisation du sédiment</p> <p>% < 2 mm % < 63 µm dans la fraction < 2 mm % < 2 µm dans la fraction < 2 mm Al (mg/kg sec) Carbone organique total (%) Densité</p> <p>- Eléments traces inorganiques totaux sur fraction < 2 mm</p> <p>As (mg/kg sec) Cd (mg/kg sec) Cu (mg/kg sec) Cr (mg/kg sec) Hg (mg/kg sec) Ni (mg/kg sec) Pb (mg/kg sec) Zn (mg/kg sec)</p> <p>- Eléments traces organiques sur fraction < 2 mm</p> <p>PCB (µg/kg sec): Congénère N° 28 52 101 118 138 153 180</p> <p>HAP (µg/kg) : naphtalène, acénaphtylène, acénaphène fluorène, phenanthrène, anthracène, fluoranthène, pyrène, benzo(a)anthracène, chrysène, benzo(b) fluoranthène, benzo(k)fluoranthène benzo(a)pyrène, dibenzo(ah)anthracène, benzo(ghi)pérylène, indéno (123-cd)pyrène</p> <p>TBT (µg/kg) DBT (µg/kg) MBT (µg/kg)</p> <p>- Nutriments (µg/kg)</p> <p>N Kjeld. P. tot.,</p> <p>- Microbiologie (Nb/100 g)</p>							

7. Exemples de tableaux d'aide à l'analyse des dossiers

Prélèvement								
<i>Commentaire (s) : * Avant analyse ou avant pré-traitement s'il y en a un</i>								
Colonne réservée Ne pas compléter	Paramètre ou groupe de paramètre	Opérateur "prélèvement"	Méthode "prélèvement"	Méthode de conditionnement du flaconnage	Support	Equipement "prélèvement"	Volume prélevé	Conditions de stockage* (température/délai max/flaconnage)

Acheminement		
Commentaire(s) : /		
Colonne réservée Ne pas compléter	Paramètre ou groupe de paramètre	Acheminement en métropole Oui/Non Si OUI, préciser les conditions (température, délai, ...)

Essai : Analyse, dénombrement, ...

Commentaire (s) : * Pour les contaminants chimiques, cette colonne doit contenir le nom de la liste du laboratoire d'analyses à laquelle appartient le paramètre (ex : liste "pesticide 1", liste "HAP", ...).

Colonne réservée Ne pas compléter	Paramètre ou groupe de paramètre	Liste *	Opérateur d'essai	Méthode d'essai	Performance					Equipement	Accréditation Oui/Non Si oui n°	EIL Oui/Non Si oui circuit
					LD	LQ	Unité LD/LQ	Précision	Unité Précision			

Qualité

Commentaire (s) : * Procédure au sens large, il peut s'agir de mode opératoire, notice d'utilisation, cahier de terrain, ...

Intervenant - Récapitulatif

Colonne réservée Ne pas compléter	Organisme	Périmètre d'intervention Mesure in-situ, prélèvement, essais	Agrément Oui/Non	Accréditation Oui/Non, si oui n°	Membre de l'équipe	Preuve de leur qualification (CV, travaux, ...)

Démarche qualité - si organisme non accrédité

Colonne réservée Ne pas compléter	Procédure*	Existence Oui/Non	Si OUI, préciser les références
	Organisation d'une campagne de prélèvement		
	Préparation et conditionnement du matériel (engin de prélèvement, flaconnage, ...)		
	Méthode de prélèvement		
	Stockage et conservation des échantillons		
	Conditionnement et acheminement des échantillons jusqu'au laboratoire d'analyses		
	Contrôle des échantillons à réception au laboratoire		
	Méthodes d'analyses		