

Ifremer  
Département Ressources Biologiques et Environnement  
Délégation océan Indien  
Station de La Réunion

Rapport Ifremer RST-DOI/2012-04  
Convention Etat/DEAL – Ifremer  
Années 2011-2012  
Convention Ifremer n°11/1219452/BF

# Projet "Bon Etat II"

## Rapport final

### Actualisation de l'état des lieux du SDAGE, volet eaux côtières réunionnaises



Auteurs : Michel ROPERT, Magali DUVAL, Laurence MAUREL, Coralie VERMENOT, Pascal MOUQUET, Jean Benoit NICET, Pascal TALEC, Ronan LE GOFF

Partenaires financiers : DEAL de La Réunion et Ifremer

DECEMBRE 2012

Contribution des Départements RBE, ODE et IDM de l'Ifremer  
(cellules Q<sup>2</sup>, Référénts nationaux Ifremer REBENT, Hydrologie, Phytoplancton, Contaminants chimiques, Cellule Sextant et coordination nationale de la DCE pour le Milieu Marin)

Sous-traitance auprès de Pareto Ecoconsult, La Réunion

Expertises de l'Université de La Réunion (laboratoire Ecomar),  
de l'IRD, de l'Arvam, de la Réserve Nationale Marine de La Réunion et de la DEAL Réunion



# **Projet "Bon état II"**

## **Rapport Final, volume 1**

**Actualisation de l'état des lieux du SDAGE ;  
Volet "eaux côtières réunionnaises"**

**Décembre 2012**



<b>Numéro d'identification du rapport :</b> <b>RST-DOI/2012-04</b> <b>Diffusion :</b> libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> interdite <input type="checkbox"/> <b>Validé par :</b> Ronan LE GOFF et Franck BRUCHON Adresses électroniques : <a href="mailto:Ronan.Le.Goff@ifremer.fr">Ronan.Le.Goff@ifremer.fr</a> ; <a href="mailto:franck.bruchon@ifremer.fr">franck.bruchon@ifremer.fr</a>		<b>Date de publication :</b> ..... Décembre 2012 (mis à jour Déc 2013) <b>Nombre de pages :</b> ..... 228 <b>Bibliographie :</b> ..... oui <b>Illustrations :</b> ..... tableaux, figures et cartes <b>Langue du rapport :</b> ..... français																
<b>Vérfié et approuvé par :</b> Laurence MIOSSEC, Référente nationale pour la DCE Milieu Marin, Nantes (laurence.miossec@ifremer.fr)																		
<b>TITRE :</b> <b>PROJET BON ETAT II : Actualisation de l'état des lieux du SDAGE ;</b> <b>Volet "eaux côtières réunionnaises"</b>																		
<b>Contrat n°11/1219452/BF</b>		<b>Rapport intermédiaire</b> <b>Rapport définitif</b>																
<b>Auteur(s) principal(aux) :</b> Michel Ropert..... Magali Duval ..... Laurence Maurel ..... Coralie Vermentot..... Pascal Mouquet ..... Jean Benoit Nicet ..... Pascal Talec ..... Ronan Le Goff.....		<b>Organisme / Direction / Service, laboratoire</b> Ifremer/RBE-DOI Ifremer/RBE-DOI Ifremer/RBE/DOI Ifremer/RBE/DOI AAMP/IFREMER/ AE Réunion PARETO EcoConsult DEAL de La Réunion Ifremer/RBE-DOI																
<b>Contributions :</b> <table border="0"> <tr> <td>Bruno Andral, (Ifremer, LERPAC)</td> <td>Pascale Chabanet, (IRD)</td> <td>Jean-Louis Gonzalez (Ifremer, LBCM)</td> </tr> <tr> <td>Lionel Bigot (Univ. Réunion, ECOMAR)</td> <td>Pascale Cuet, (Univ. Réunion, ECOMAR)</td> <td>Karine Pothin, (GIP RNMR)</td> </tr> <tr> <td>Franck Bruchon (Ifremer/RBE- DOI)</td> <td>Patrick Frouin, (Univ. Réunion, ECOMAR)</td> <td>Jean-Pascal Quod, (ARVAM/PARETO)</td> </tr> <tr> <td>Harold Cambert, (ARVAM)</td> <td>Emilie Gauthier (Ifremer-Dyneco Vigie)</td> <td>Jean Turquet, (ARVAM)</td> </tr> <tr> <td>Bruce Cauvin, (GIP RNMR)</td> <td>Jean-Claude Masson (Ifremer-Dyneco Vigie)</td> <td>Mayalen Zubia, (ARVAM)</td> </tr> </table>				Bruno Andral, (Ifremer, LERPAC)	Pascale Chabanet, (IRD)	Jean-Louis Gonzalez (Ifremer, LBCM)	Lionel Bigot (Univ. Réunion, ECOMAR)	Pascale Cuet, (Univ. Réunion, ECOMAR)	Karine Pothin, (GIP RNMR)	Franck Bruchon (Ifremer/RBE- DOI)	Patrick Frouin, (Univ. Réunion, ECOMAR)	Jean-Pascal Quod, (ARVAM/PARETO)	Harold Cambert, (ARVAM)	Emilie Gauthier (Ifremer-Dyneco Vigie)	Jean Turquet, (ARVAM)	Bruce Cauvin, (GIP RNMR)	Jean-Claude Masson (Ifremer-Dyneco Vigie)	Mayalen Zubia, (ARVAM)
Bruno Andral, (Ifremer, LERPAC)	Pascale Chabanet, (IRD)	Jean-Louis Gonzalez (Ifremer, LBCM)																
Lionel Bigot (Univ. Réunion, ECOMAR)	Pascale Cuet, (Univ. Réunion, ECOMAR)	Karine Pothin, (GIP RNMR)																
Franck Bruchon (Ifremer/RBE- DOI)	Patrick Frouin, (Univ. Réunion, ECOMAR)	Jean-Pascal Quod, (ARVAM/PARETO)																
Harold Cambert, (ARVAM)	Emilie Gauthier (Ifremer-Dyneco Vigie)	Jean Turquet, (ARVAM)																
Bruce Cauvin, (GIP RNMR)	Jean-Claude Masson (Ifremer-Dyneco Vigie)	Mayalen Zubia, (ARVAM)																
<b>Cadre de la recherche :</b> mise en place de la DCE à La Réunion ; contractualisation Etat/DEAL de La Réunion-Ifremer 2011-2012 ; Convention Ifremer n°11/1219452/BF																		
<b>Destinataire :</b> DEAL de La Réunion		<b>Rapport final, à diffusion libre</b>																
<b>Résumé :</b> Le projet "Bon Etat II : actualisation de l'état des lieux du SDAGE, volet eaux côtières réunionnaises" a pour objectif : <ul style="list-style-type: none"> <li>- de réexaminer le découpage des masses d'eau littorales pour la DCE à La Réunion,</li> <li>- de parachever la définition de l'ensemble des suivis des réseaux du contrôle de surveillance de la DCE à La Réunion, ce qui comprend l'identification et la bancarisation des données déjà acquises localement, et utiles à la DCE (et notamment des données acquises en zones coralliennes aujourd'hui stockées dans le logiciel CoReMo3), la définition (ou l'adaptation) d'indicateurs pertinents, le positionnement des points de suivi au sein des masses d'eau, et la fixation des fréquences de suivi,</li> <li>- de réactualiser l'état des lieux du SDAGE réalisé, également à dire d'experts en 2005, par utilisation des données et indicateurs précités.</li> </ul> <p>Ce travail s'est appuyé sur l'expertise de quatre groupes de travail thématiques associant l'ensemble des spécialistes locaux et nationaux en charge de la coordination de la mise en place de la DCE dans les domaines de la chimie marine, de la physico-chimie et du phytoplancton, du benthos de substrat meuble et enfin du benthos de substrat dur.</p> <p>Le présent document représente le Volume 1 du rapport final du projet "Bon Etat II", 4 fascicules techniques décrivant dans le détail chacun des suivis des réseaux du contrôle de surveillance (protocoles de prélèvement et d'analyses, points et fréquences des suivis, méthode de bancarisation puis de traitement des données) venant compléter cette synthèse.</p>																		
Ce rapport doit être cité comme suit : Ropert M., Duval M., Maurel L. Vermentot C., Mouquet P., Nicet J.B., Talec P. et Le Goff R., 2012. Projet "Bon Etat II : actualisation de l'état des lieux du SDAGE, volet eaux côtières réunionnaises. Rapport Final Volume 1.RST-DOI/2012-4. téléchargement : <a href="http://wwz.ifremer.fr/lareunion">http://wwz.ifremer.fr/lareunion</a>																		



# Sommaire

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>REEXAMEN DU DECOUPAGE DES MASSES D'EAU</b>	<b>3</b>
2.1	DECOUPAGE DES MASSES D'EAU LITTORALES EN 2004 .....	3
2.2	NOUVELLES DONNEES ISSUES DE PROJETS MENES DEPUIS 2004 .....	5
2.2.1	CARTOMAR, 2008 .....	5
2.2.2	HYDRORUN, 2012 .....	5
2.2.3	SPECTRHABENT, 2012 .....	5
2.3	DONNEES EXPLOITEES POUR LA DEFINITION DU DECOUPAGE DES MEC.....	6
2.3.1	Vent .....	6
2.3.2	Bathymétrie .....	7
2.3.3	Marée .....	8
2.3.4	Nature des fonds .....	9
2.3.5	Etat de mer : Houle - Exposition aux vagues .....	10
2.3.6	Courantologie - Temps de résidence .....	14
2.3.7	Température – Mélange des eaux .....	18
2.3.8	Synthèse des résultats .....	20
2.4	DONNEES UTILES POUR LA DEFINITION DU DECOUPAGE DES MER.....	22
2.5	REVISION DU DECOUPAGE INITIAL ET AJUSTEMENTS GLOBAUX .....	22
2.6	REVISION DE DECOUPAGE INITIAL ET AJUSTEMENTS PARTICULIERS.....	23
2.6.1	Ajustements associés au Type 1 .....	24
2.6.2	Ajustements associés au Type 2 .....	27
2.6.3	Ajustements associés au Type 3 .....	29
2.6.4	Ajustements associés au Type 4 .....	31
2.6.5	Ajustements des masses d'eau récifales.....	33
2.7	SYNTHESE – NOUVEAU DECOUPAGE, NOUVELLE TYPOLOGIE.....	39
<b>3</b>	<b>METHODE ET ORGANISATION POUR LA DEFINITION DES RESEAUX DU CONTROLE DE SURVEILLANCE (RCS)</b>	<b>43</b>
3.1	ORGANISATION .....	43
3.2	BANCARISATION ET VALORISATION DES DONNEES ACQUISES.....	44
3.2.1	Données utilisées .....	45
3.2.2	Bancarisation des données dans Quadrige <sup>2</sup> .....	45
3.2.3	Valorisation des données.....	53
3.3	ELEMENTS, INDICATEURS ET APPRECIATION DE LA QUALITE DES MASSES D'EAU .....	57
3.3.1	Éléments .....	57
3.3.2	Indicateurs et appréciation de la qualité des masses d'eau .....	57
3.4	DEFINITION DES RESEAUX DE CONTROLE DE SURVEILLANCE .....	62
3.4.1	Choix des paramètres et des matrices .....	62
3.4.2	Choix des protocoles de prélèvement et d'analyse .....	Erreur ! Signet non défini.
3.4.3	Nombre et positionnement des lieux de surveillance .....	65
3.4.4	Fréquence et périodicité.....	65
<b>4</b>	<b>RCS "PHYSICO-CHIMIE ET PHYTOPLANCTON"</b>	<b>69</b>
4.1	DONNEES UTILISEES.....	69

<b>4.2</b>	<b>PARAMETRES ET INDICATEURS DU RESEAU .....</b>	<b>69</b>
4.2.1	L'oxygène dissous .....	69
4.2.2	La transparence/turbidité .....	72
4.2.3	La salinité .....	74
4.2.4	La température .....	75
4.2.5	Les nutriments .....	77
4.2.6	Le phytoplancton .....	80
4.2.7	Le pH et le CO <sub>2</sub> .....	85
<b>4.3</b>	<b>ETAT DE LA BANCARISATION DANS QUADRIGE<sup>2</sup> .....</b>	<b>87</b>
<b>4.4</b>	<b>FREQUENCES ET PERIODE DES SUIVIS .....</b>	<b>87</b>
<b>4.5</b>	<b>POSITIONNEMENT DES LIEUX DE SURVEILLANCE .....</b>	<b>88</b>
<b>4.6</b>	<b>PREMIERS RESULTATS /GRILLE RETENUE .....</b>	<b>90</b>
<b>5</b>	<b>RCS "CONTAMINANTS CHIMIQUES" .....</b>	<b>91</b>
<b>5.1</b>	<b>DONNEES UTILISEES .....</b>	<b>91</b>
<b>5.2</b>	<b>PARAMETRES ET INDICATEURS DU RESEAU .....</b>	<b>92</b>
5.2.1	Paramètres.....	92
5.2.2	L'évaluation de l'état chimique .....	93
5.2.3	L'évaluation de l'état écologique .....	93
5.2.4	Choix des matrices .....	94
5.2.5	Choix des méthodes.....	94
	<b>ETAT DE LA BANCARISATION DANS QUADRIGE<sup>2</sup> .....</b>	<b>110</b>
<b>5.3</b>	<b>FREQUENCE ET PERIODE DES SUIVIS .....</b>	<b>110</b>
<b>5.4</b>	<b>POSITIONNEMENT DES LIEUX DE SURVEILLANCE .....</b>	<b>111</b>
<b>6</b>	<b>RCS "BENTHOS DE SUBSTRATS MEUBLES" .....</b>	<b>113</b>
<b>6.1</b>	<b>DONNEES UTILISEES .....</b>	<b>113</b>
<b>6.2</b>	<b>PARAMETRES ET INDICATEURS DU RESEAU .....</b>	<b>113</b>
6.2.1	M-AMBI (Modified – AZTI Marine Biotic Index) .....	114
6.2.2	Paramètres associés.....	117
<b>6.3</b>	<b>ETAT DE LA BANCARISATION DANS QUADRIGE<sup>2</sup> .....</b>	<b>118</b>
<b>6.4</b>	<b>FREQUENCE ET PERIODE DES SUIVIS .....</b>	<b>118</b>
<b>6.5</b>	<b>POSITIONNEMENT DES LIEUX DE SURVEILLANCE (= STATIONS) .....</b>	<b>118</b>
<b>7</b>	<b>RCS "BENTHOS DE SUBSTRATS DURS" .....</b>	<b>121</b>
<b>7.1</b>	<b>DONNEES UTILISEES .....</b>	<b>121</b>
<b>7.2</b>	<b>PARAMETRES ET INDICATEURS DU RESEAU .....</b>	<b>122</b>
7.2.1	Paramètres suivis .....	123
7.2.2	Etat de référence .....	124
7.2.3	Pentes externes <i>versus</i> Plateformes récifales .....	127
7.2.4	L'indicateur Benthos de Substrats Durs adapté aux pentes externes .....	130
7.2.5	L'indicateur Benthos de Substrats Durs adapté aux plateformes récifales .....	140
<b>7.3</b>	<b>ETAT DE LA BANCARISATION DANS QUADRIGE<sup>2</sup> .....</b>	<b>147</b>
<b>7.4</b>	<b>FREQUENCE ET PERIODE DES SUIVIS .....</b>	<b>147</b>
<b>7.5</b>	<b>POSITIONNEMENT DES LIEUX DE SURVEILLANCE .....</b>	<b>147</b>

<b>8</b>	<b>PROPOSITION DE REACTUALISATION DE L'ETAT DES LIEUX DES ME LITTORALES POUR LE SDAGE 2016 - 2021</b>	<b>151</b>
8.1	LES QUATRE SUIVIS DU RCS SUPPORT DE L'EVALUATION DE L'ETAT DES LIEUX .....	152
8.2	CARACTERISTIQUES PHYSIQUES .....	154
8.3	DONNEES PRISES EN COMPTE POUR L'EVALUATION DES ETATS .....	154
8.3.1	Etat Chimique .....	154
8.3.2	Etat Ecologique .....	155
8.4	SYNTHESE PAR MASSE D'EAU.....	156
8.4.1	LC01 "Saint-Denis" / Barachois - Sainte-Suzanne.....	157
8.4.2	LC02 "Saint-Benoît" / Sainte-Suzanne - Sainte-Rose.....	161
8.4.3	LC03 "Volcan" / Sainte-Rose - La Porte .....	165
8.4.4	LC04 "Saint-Joseph" / La Porte - Pointe du Parc .....	169
8.4.5	LC05 "Saint-Louis" : Pointe du Parc - Pointe au Sel .....	173
8.4.6	LC06 " Ouest" / Pointe au Sel - Cap La Houssaye .....	177
8.4.7	LC07 "Saint-Paul" / Cap La Houssaye - Pointe des Galets .....	181
8.4.8	LC08 "Le Port" / Pointe des Galets - Barachois .....	185
8.4.9	LC09 "Saint-Pierre" / Zone récifale - Saint-Pierre.....	189
8.4.10	LC10 "Etang-Salé" / Zone récifale - Etang-Salé.....	191
8.4.11	LC11 "Saint-Leu" / Zone récifale - Saint-Leu .....	193
8.4.12	LC12 "Saint-Gilles" / Zone récifale - Saint-Gilles .....	195
8.5	SYNTHESE GLOBALE REUNION .....	197
<b>9</b>	<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES</b>	<b>199</b>
<b>10</b>	<b>REFERENCES DOCUMENTAIRES</b>	<b>203</b>
10.1	BIBLIOGRAPHIE .....	203
10.2	TEXTES REGLEMENTAIRES .....	211
<b>11</b>	<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS</b>	<b>213</b>



# 1 Introduction

La DCE (Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE du 23 octobre 2000) impose à tous les Etats Membres la mise en œuvre d'une politique communautaire dans le domaine de l'eau visant à améliorer la gestion des milieux aquatiques. Cette directive fixe comme objectif général, à l'échéance de 2015, de pouvoir prétendre au bon état écologique et chimique de l'ensemble des masses d'eau souterraines et de surface, ces dernières incluant les masses d'eau marines côtières et celles dites de transitions (estuariers). La DCE impose en outre une obligation de résultat et exige de tous les états membres, après avoir établi un état des lieux, de préserver, d'améliorer et de prévenir toute dégradation supplémentaire de l'état des systèmes aquatiques par la mise en œuvre d'un programme de surveillance adapté. Le Grenelle de l'Environnement, reprenant les objectifs de la DCE, fixe, pour la France, un objectif de 2/3 des masses d'eau en "bon état" à l'horizon 2015.

L'état des lieux doit reposer sur des grilles d'évaluation de l'état des masses d'eau adaptées, c'est-à-dire prenant en compte des éléments de qualités biologiques, physico-chimiques et chimiques pertinents localement, ainsi que des valeurs seuils entre les classes de qualité réellement représentatives de l'état de dégradation des masses d'eau et écosystèmes aquatiques locaux. Cet état des lieux doit enfin être bâti à partir de jeux de données acquis selon des protocoles de prélèvement et d'analyse validés.

Les réseaux de suivi, ou "de contrôles", doivent également être adaptés aux contextes locaux. *A minima*, le **contrôle de surveillance** doit permettre un suivi de la qualité (aspects qualitatif et quantitatif) des masses d'eau jugées représentatives à l'échelle du district hydrographique, et ce sur le long terme. Un **contrôle opérationnel** est à appliquer aux masses d'eau risquant de ne pas atteindre le "bon état" à l'échéance du plan de gestion. Un **contrôle d'enquête** est à mettre en place en cas d'absence d'explication ou de connaissance sur les facteurs de dégradation, ou en cas de pollution accidentelle. Enfin, dans les zones protégées (définies au titre d'autres directives ou réglementations), telles que les eaux de baignade, les habitats naturels, ainsi que les zones hébergeant des espèces ou des habitats protégés, notamment au niveau communautaire, un **contrôle additionnel** est à développer.

Le présent projet "Bon Etat II" fait suite au projet "Bon Etat" mené entre 2008 et 2010 par le tandem DEAL de La Réunion (maître d'ouvrage) et Ifremer/Délégation océan Indien (maître d'œuvre). L'objectif global du projet "Bon état II" est d'achever le travail initié dans le cadre de "Bon Etat", et plus précisément :

- de ré examiner le découpage des masses d'eau, réalisé à dire d'expert en 2004, en s'appuyant sur les connaissances relatives à la nature biosédimentaire des fonds du pourtour de l'île et sur la plate-forme de modélisation hydrodynamique "HYDRORUN", connaissances et outil dont nous disposons aujourd'hui.
- de parachever la définition des réseaux de suivi à mener dans le cadre du contrôle de surveillance<sup>1</sup> à La Réunion : définition des grilles d'indicateurs encore manquantes, validation des protocoles de suivi, fixation des fréquences, optimisation du positionnement des points de suivi ... etc. Cette définition a été réalisée de manière

<sup>1</sup>. Hormis le contrôle d'enquête proposé dans le présent document pour réussir à définir un indicateur de dystrophie à macroalgues dans les masses d'eau récifales, les autres contrôles ("opérationnel, d'enquête ou additionnel"), ne pourront véritablement être définis que lorsqu'une étude complémentaire sur le Risque de Non Atteinte des Objectifs Environnementaux (RNAOE) aura été réalisée. Cette étude, lancée par la DEAL en juin 2012, fournira ses conclusions fin 2013.

collégiale, au sein des 4 Groupes de Travail Thématiques (GT DCE) créés à l'occasion du projet Bon Etat, et associant les spécialistes réunionnais et métropolitains des thématiques "benthos de substrats meubles", "benthos de substrats durs", "hydrologie et phytoplancton" et "contaminants chimiques".

- de rapatrier sous Quadrigé<sup>2</sup> toutes les données utiles à la DCE<sup>2</sup>, et notamment celles actuellement stockées dans le logiciel CoReMo<sup>3</sup>. Ce rapatriement sous Q<sup>2</sup> permettra de sécuriser ces données au sein des disques durs du SISMER<sup>4</sup>, et de bénéficier du Système d'Evaluation de l'Etat des Eaux<sup>5</sup>, couplé à Q<sup>2</sup>, et permettant le rapportage européen de la DCE<sup>6</sup>.
- et enfin d'utiliser les indicateurs (paramètres, métriques, référentiels) et les données "DCE utiles" précitées, pour réactualiser l'état des lieux du SDAGE (qui date de 2005, et qui avait été réalisé à l'époque "à dire d'experts").

Le présent rapport représente le premier volume de la synthèse finale du projet Bon Etat II, 4 fascicules techniques décrivant précisément chacun des réseaux de contrôle de surveillance (protocoles de prélèvement et d'analyse à respecter, indicateurs retenus, modes opératoires pour la bancarisation des données produites, points et fréquences des prélèvements) venant le compléter.

Il se décompose en 8 grands chapitres, le premier traitant du ré-examen du découpage des masses d'eau, les 6 suivants de la définition des réseaux du contrôle de surveillance (avec également la proposition de lancement d'un contrôle d'enquête dans les masses d'eau récifales pour y définir un indicateur de dystrophie à macroalgues) à La Réunion, et le huitième présentant la réactualisation de l'état des lieux.

---

<sup>2</sup> Quadrigé<sup>2</sup> (ou Q<sup>2</sup>) est la base de données nationale de référence (désignée par le ministère en charge de l'environnement dans le cadre du SIE) pour les données marines acquises dans le cadre des programmes environnementaux, et tout particulièrement dans celui de la DCE.

<sup>3</sup> CoReMo 3 a été développé dans le cadre de l'Ifremer par Pareto Ecoconsult, et sert depuis 10 ans maintenant au stockage des données « Corail » (benthos de substrats durs) acquises, entre autres, par la Réserve Nationale Naturelle Marine de La Réunion (RNMR).

<sup>4</sup> SISMER = Système d'Informations sur la Mer : centre national de stockage des données scientifiques marines françaises, géré par l'Ifremer sur son centre de Brest.

<sup>5</sup> Système d'Evaluation de l'Etat des Eaux, ou S3E : couplé à Q<sup>2</sup>, pour les données littorales/côtières, le S3E est l'outil de production des synthèses, à l'intention de l'Union Européenne, des données acquises dans le cadre des réseaux de la DCE et qui permet

<sup>6</sup> Le rapportage européen est une des obligations faites aux états membres par l'Union Européenne. Il se réalise exclusivement via le S3E ; ceci a pour conséquence que toutes les données littorales utilisées pour la DCE doivent être stockées dans Q<sup>2</sup>.

## 2 Réexamen du découpage des masses d'eau

### 2.1 Découpage des masses d'eau littorales en 2004

La DCE impose aux Etats Membres d'effectuer dans chacun de leur district hydrographique un découpage géographique en "masses d'eau" ayant vocation à constituer les unités de l'évaluation de l'état. Cette typologie des masses d'eau repose sur la combinaison de leurs caractéristiques naturelles, physiques et chimiques qui déterminent la structure et la composition des populations biologiques associées.

La DCE précise en outre que les **masses d'eau littorales** doivent s'étendre jusqu'à un mille au large des côtes (Directive Cadre sur l'Eau (DCE) n°2000/60/CE du 23 octobre 2000) et considère que la typologie doit prendre en compte, de manière hiérarchisée, différents facteurs listés dans le Tableau 1.

*Tableau 1: Paramètres à prendre en compte pour le découpage des masses d'eau côtières et le regroupement des masses d'eau en "types". Directive n°2000/60/CE du 23 octobre 2000*

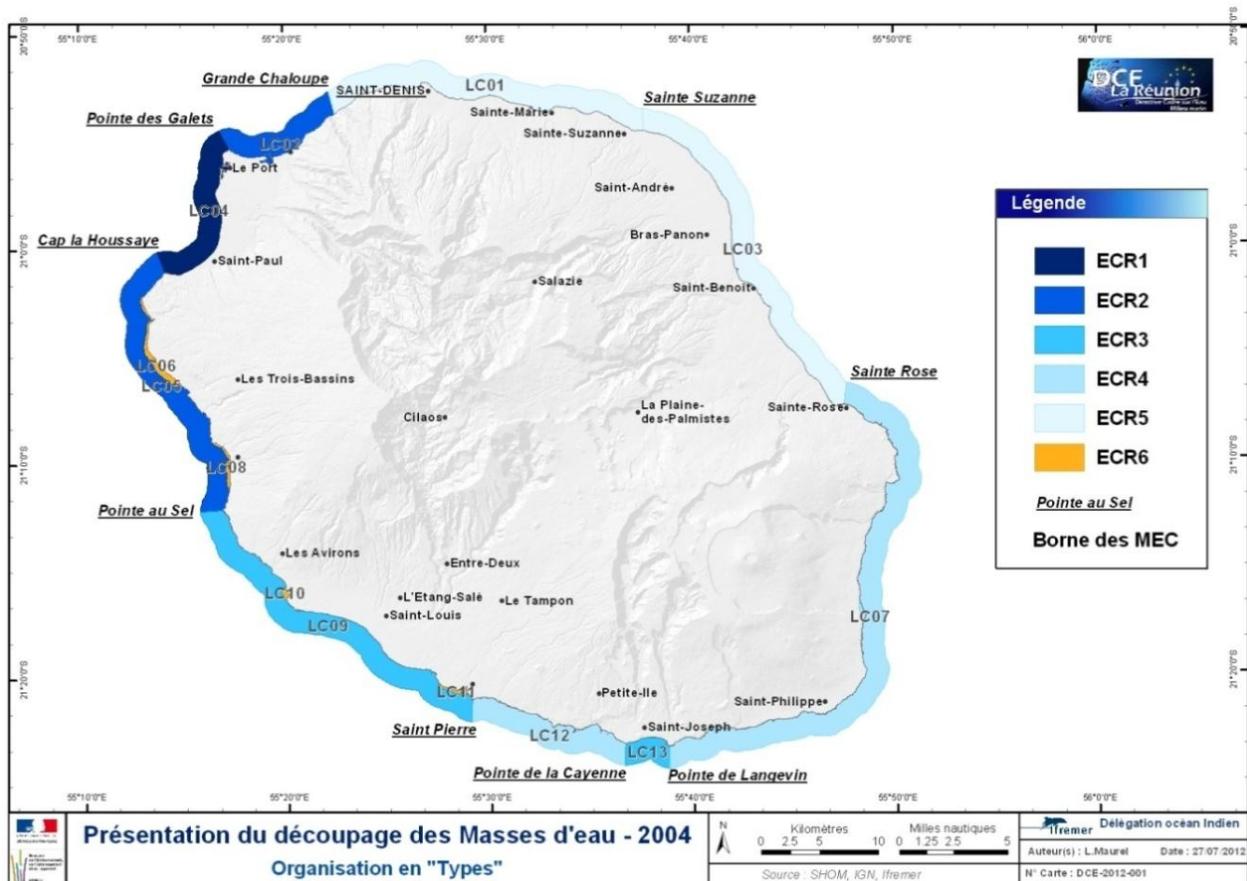
<b>Facteurs obligatoires</b>	Latitude
	Longitude
	Amplitude de la marée
	Degré de salinité
<b>Facteurs facultatifs</b>	Vitesse de courant
	Exposition aux vagues
	Température moyenne de l'eau
	Caractérisation de mixage
	Turbidité
	Temps de rétention (baies fermées)
	Composition moyenne de substrat
	Limite des températures de l'eau

A La Réunion, les facteurs dits "obligatoires" ne sont pas suffisants pour découper le littoral : la salinité est homogène, le marnage est réduit (amplitude qui ne dépasse pas 80 cm) et l'échelle géographique du territoire insulaire de l'île de La Réunion, ne permet pas de discriminer de grands types de masses d'eau côtières. En outre, La Réunion se distingue également par la présence sur son littoral de quatre grands récifs coralliens frangeants. Ces écosystèmes bio construits, et emblématiques de l'île, se localisent sur la côte ouest du territoire, zone abritée "sous le vent", haut lieu du tourisme balnéaire où les pressions d'origine anthropiques sont marquées par une urbanisation importante. Les caractéristiques spécifiques de ces zones récifales (sur le plan géomorphologique, hydrodynamiques ou biocénose) ont motivé leur distinction au sein des masses d'eau côtières réunionnaises.

Malgré le peu de données disponibles en 2004, un premier découpage du littoral réunionnais a été proposé (Lazure 2004). Délimitant 13 masses d'eau côtières (MEC) dont 4 masses d'eau côtières dites récifales (MER) ce découpage reposait exclusivement sur les connaissances acquises par les experts locaux (scientifiques, pêcheurs, usagers,...). C'est donc "à dire d'experts" qu'une première typologie des masses d'eau côtières réunionnaises a pu être proposée en 2004. La synthèse et le résultat sont présentés dans le Tableau 2 et la Carte 1.

Tableau 2 : Typologie des Masses d'eau du découpage initial de 2004

Typologie	Masse d'eau		Profondeur à 1 mille des côtes	Exposition aux vagues	Temps de résidence	Mélange des eaux	Composition dominante du substrat
ECR1	LC04	Pointe des Galets - Cap la Houssaye	Grands fonds > 200m	Faible	Faible	Faible	Sablo-vaseux
ECR2	LC05	Cap la Houssaye - Pointe au Sel	Fonds moyens < 200m	Moyen	Moyen	Moyen	Basaltiques
	LC02	Grande Chaloupe - Pointe des Galets					
ECR3	LC09	Pointe au Sel - Saint Pierre	Hétérogènes <> 200m	Forte	Faible	Fort	Basaltiques/ Sablo vaseux
	LC13	Pointe de la Cayenne					
ECR4	LC12	Saint Pierre - Pointe de la Cayenne	Hétérogènes <> 200m	Forte	Faible	Fort	Basaltiques
	LC07	Pointe de Langevin - Sainte Rose					
ECR5	LC03	Sainte Rose - Sainte Suzanne	Grands fonds > 200m	Forte	Faible	Fort	Sablo-vaseux
	LC01	Sainte Suzanne - Grande Chaloupe					
ECR6	LC06	Zone récifale - Saint Gilles	Petits fonds < 30m	Faible	Faible	Moyen	Récif corallien
	LC08	Zone récifale - Saint Leu					
	LC10	Zone récifale - Etang Salé					
	LC11	Zone récifale - Saint Pierre					



Carte 1 : Présentation de la localisation des Masses d'eau et de leurs typologies tels qu'elles ont été définies en 2004

Le "*travail de délimitation des masses d'eau* [NDLR : réalisé en 2004] *a fait apparaître d'importantes lacunes dans la connaissance de l'hydrodynamique des zones côtières.[...] En raison du peu d'éléments objectifs et la pauvreté de la littérature scientifique, cette zonation s'est effectuée principalement à dire d'expert*". Les conclusions de ce premier travail (Lazure, 2004) faisaient déjà ressortir la nécessité d'acquérir des connaissances complémentaires pour répondre aux exigences de la DCE.

## 2.2 Nouvelles données issues de projets menés depuis 2004

Depuis 2004, différents travaux ont été entrepris et permettent à présent d'améliorer les connaissances et de préciser les "dires d'expert".

### 2.2.1 CARTOMAR, 2008

Le projet **Cartomar** (Guennoc *et al.*, 2008) a permis de produire une cartographie du substrat des zones comprises entre des profondeurs de 20m et 100m autour de La Réunion. La nature des fonds (meubles/durs) et les grands types sédimentaires (depuis les sables grossiers jusqu'aux sédiments vaseux) ont pu être identifiés sur une bonne partie des zones côtières de l'île.

### 2.2.2 HYDRORUN, 2012

Le projet **HYDRORUN** (Projet Ifremer/CR974/OLE/DEAL/FEDER, 2012) vise à développer une plateforme de modélisation hydrodynamique couvrant l'ensemble du littoral Réunionnais. Ce projet a permis de constituer un référentiel bathymétrique des fonds côtiers de l'île de La Réunion à une résolution de 100 m. Des synthèses annuelles et saisonnières de houles, de courants et de températures des masses d'eau ont également été générées.

Les résultats du projet HYDRORUN ont ainsi permis d'obtenir une série de synthèses, supports de la définition typologique et de la réactualisation du découpage des masses d'eau.

La plate-forme Web de pilotage de ces modèles numériques permettra, entre autre, de simuler les champs de courants (vitesse, direction), d'appréhender le devenir de rejets en mer (panaches de dispersion, dilution et diffusion de ces rejets), d'évaluer des temps de résidence et de visualiser et extraire les données de modélisation produites.

### 2.2.3 SPECTRHABENT, 2012

Le projet **Spectrhabet** (Projet DEAL/Ifremer/Aamp, 2012) s'est appuyé sur les campagnes Litto3D (DEAL/SHOM/IGN) en complétant les mesures LIDAR initiales par des acquisitions d'images des fonds côtiers et des plateformes récifales. L'intérêt majeur de ces images hyperspectrales réside dans la capacité de pénétration du signal dans la colonne d'eau. Les résultats permettent de générer de nouvelles images issues de la réflectance des fonds jusqu'à des profondeurs de 25 à 40 m. Elles ont permis ici de disposer d'images géoréférencées de l'ensemble des structures bio-construites caractérisant les plateformes récifales à des résolution décimétriques.

## 2.3 Données exploitées pour la définition du découpage des MEC

### 2.3.1 Vent

Selon l'Atlas climatique de La Réunion (METEO FRANCE, 2011), le régime des vents à La Réunion est dominé par les alizés. Ces vents sont forts et soutenus et sont orientés, en moyenne, de secteur E-SE (Figure 1a.). Ils se renforcent de manière générale dans la matinée (vers 9h) puis s'affaiblissent en fin d'après-midi (à partir de 16h00). Ils sont générés par le gradient qui existe entre les hautes pressions subtropicales et les basses pressions équatoriales. Pour La Réunion, leur direction dominante est l'Est (ils varient du S-E en hiver, Figure 1b., au N-E en été, Figure 1c.) avec une période d'intensité maximale pendant la saison fraîche, de mai à octobre..

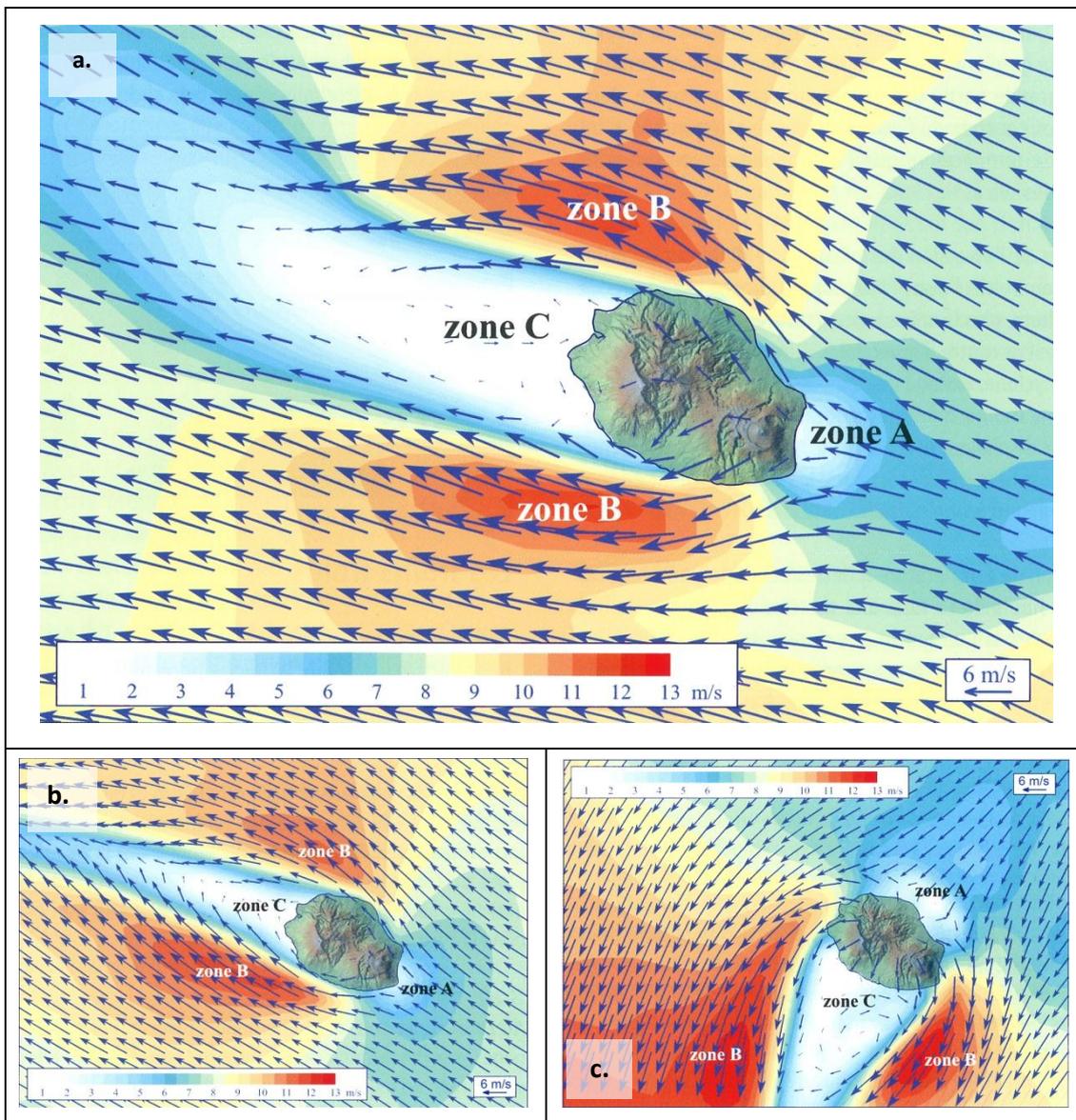


Figure 1 : Direction et force du vent par : a. flux E-SE ; b. flux S-E ; c. flux N-E (Source : Météo-France, atlas climatique, 2011)

Les alizés soufflent dans les basses couches de l'atmosphère. Les reliefs de l'île gênant leur progression, ils sont contraints de contourner l'île, créant trois zones bien distinctes :

- **Zone A** : les effets du relief sur le flux se ressentent plusieurs dizaines de kilomètres en amont de l'île. En arrivant face au relief, les particules d'air divergent et contournent le relief, laissant la côte "au vent" nettement déventée,
- **Zone B** : on observe une accélération du vent au large des côtes parallèles à la direction du vent,
- **Zone C** : cette zone, située "sous le vent", est protégée des alizés par le relief. Le vent y est faible avec des directions variables.

Conclusion : la moyenne annuelle des vents permet de distinguer ces trois zones :

- **Côte peu affectée par le vent** (le plus souvent en zone A) : côte Est à Nord-Est
- **Côtes soumises aux alizés** (le plus souvent en zone B) : côte Nord et Sud
- **Côte plutôt protégée des alizés** où l'intensité et la direction des vents sont variables (le plus souvent en zone C) : côte Ouest.

### 2.3.2 Bathymétrie

La plateforme de modélisation HYDRORUN repose sur 6 modèles locaux 3D d'environ 1000 km<sup>2</sup> à mailles de 100 m de côté. Un des éléments essentiels à la bonne représentativité de ces modèles repose **sur le modèle numérique de terrain (MNT)** qui va caractériser le relief des fonds marins à l'intérieur de chaque emprise (Carte 2). Les référentiels bathymétriques de chacun des 6 modèles locaux HYDRORUN ont été constitués en combinant les données les plus récentes issues :

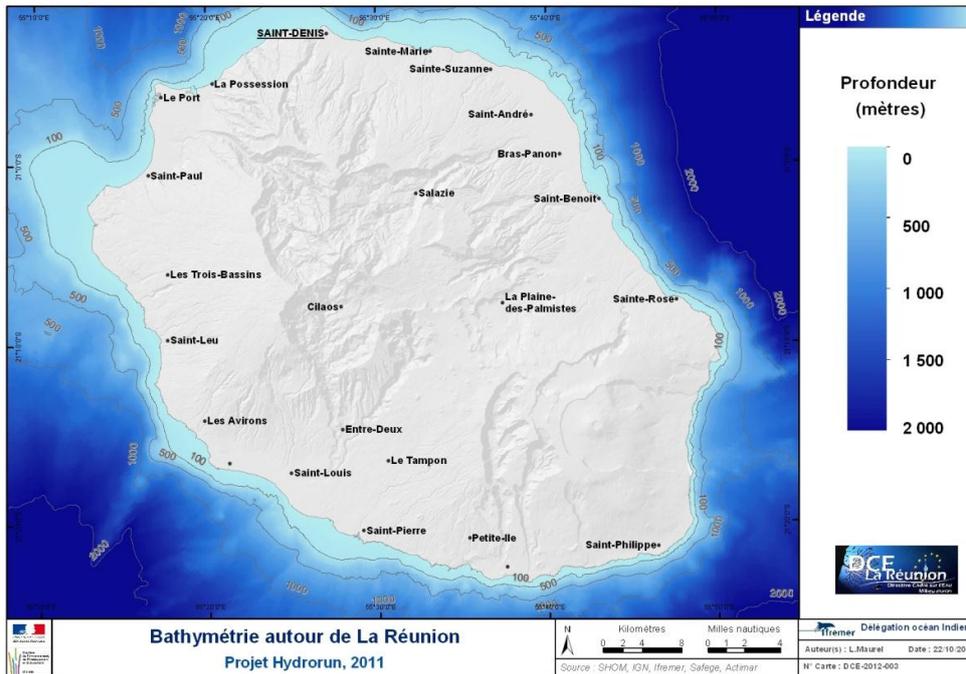
- de la synthèse publiée par Jean-François OEHLER (2005)<sup>7</sup>,
- des acquisitions réalisées durant les campagnes océanographiques ERODER et FOREVER (2006),
- du semis de points issu des acquisitions Lidar Bathy réalisé dans le cadre des campagnes aéroportées Litto3D (DEAL, 2009/2010),
- des sondes reprises des dalles SHOM (Carreau-40205\_SHOM et Carreau-40215\_SHOM) pour combler les secteurs non couverts par les données précédentes.

Réglementairement, la prise en compte de la bathymétrie dans la typologie des masses d'eau est appréhendée par la profondeur à la limite aval de la MEC (1 mile marin des côtes). Le caractère très hétérogène et les pentes parfois brutales qui caractérisent le littoral réunionnais, nous ont amené à ne pas privilégier cette seule limite aval pour caractériser les masses d'eau côtières, mais plutôt **d'intégrer l'ensemble des données bathymétriques** issues d'HYDRORUN pour mieux en préciser les caractéristiques bathymétriques (profondeur moyenne, médiane et maximum)

Ce travail a permis de constituer le premier référentiel bathymétrique homogène (maille de 100m) et continu pour les fonds compris entre 0 et près de 3 000 m autour de l'île de La Réunion. Il permet de distinguer très nettement 2 morphologies des fonds bien distinctes :

<sup>7</sup> MNT (« Modèle Numérique de Terrain ») bathymétrique réalisé à partir d'une compilation de données multifaisceaux autour de La Réunion. Travail réalisé par Jean-François Oehler dans le cadre de sa thèse "Les déstabilisations des flancs des volcans de l'île de La Réunion (Océan Indien): mise en évidence, implications et origines" (septembre 2005).

- **Pentes faibles à modérées** dans le secteur Nord-Ouest,
- **Pentes fortes** dans le Sud-Est de l'île.



Carte 2 : Modèle Numérique de Terrain bathymétrique (compilation des 6 modèles côtiers à 100 m, HYDRORUN)

Il va également permettre de distinguer 3 catégories de fonds selon leurs profondeurs moyenne ( $\pm 20\%$ ) : petits fonds ( $\sim 50$  m maximum), fonds moyens ( $\sim 100$  m) et grands fonds ( $> 250$  m)

### 2.3.3 Marée

La marée enregistrée à La Réunion est de type semi-diurne à inégalité diurne (deux pleines et basses mers par jour, dont les hauteurs peuvent être différentes). L'onde de marée arrive à La Réunion en provenance du sud. Selon les données actuellement disponibles du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM), les hauteurs d'eau minimales et maximales enregistrées sont respectivement de 0,02 m et 1,01 m pour les marées de mortes eaux et de vives eaux. En dehors de ces valeurs extrêmes, les marnages moyens à La Réunion sont compris entre 65 et 80 cm pour les vives eaux et entre 20 et 35 cm pour les mortes eaux. En cas de sous-cote exceptionnelle (abaissement du niveau moyen), les conséquences peuvent être destructrices pour les organismes récifaux qui ne peuvent survivre s'ils sont exondés trop longtemps.

Tableau 3 : Références altimétriques maritimes disponibles pour La Réunion (Source : SHOM, 2011)

Nom	Constante	PHMA	PM sup	NM	BM inf	PBMA
Pointe des Galets (Le Port)	2010	01.01	00.80	00.60	00.35	00.08
Saint-Leu		00.85	00.65	00.51	00.30	00.17
Saint-Pierre		00.92	00.70	00.50	00.20	00.02

PHMA : le niveau de plus haute mer astronomique,  
PM sup : le niveau de la moyenne des plus hautes  
pleines mers journalières,

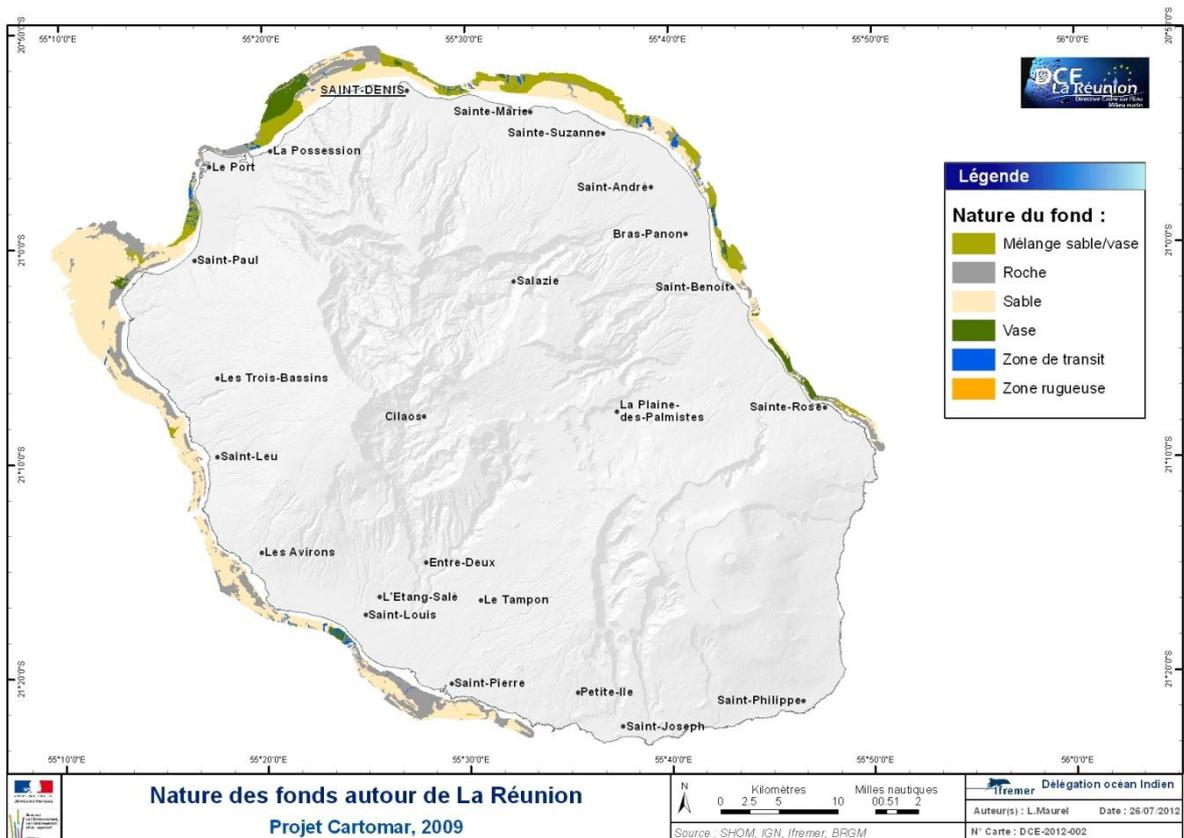
NM : le niveau moyen,  
BM inf : le niveau de la moyenne des plus basses  
mers journalières,  
PBMA : le niveau de plus basse mer astronomique.

Le marnage à La Réunion **est faible**. Compte tenu des pentes, la zone intertidale est très restreinte et seules les zones récifales peuvent faire l'objet d'une exondation prolongée, ce qui peut alors causer un impact important sur les peuplements coralliens.

### 2.3.4 Nature des fonds

Le projet Cartomar (Guennoc *et al.*, 2008) a permis de réaliser une première reconnaissance d'ensemble des fonds côtiers de La Réunion dans la zone comprise entre 20 et 100 mètres de profondeur. Les différentes natures de fond, les types sédimentaires et leur distribution autour de l'île ont pu être identifiés précisément. Dans les zones côtières les moins profondes, les sables volcaniques fins constituent les habitats littoraux dominants. Toutefois, des sables mixtes (*i.e.* sables volcaniques recouverts d'une couche parfois très réduite et très discontinue de sables biodétritiques, issus des zones proches de récifs coralliens) sont fréquemment rencontrés sur la façade ouest de l'île. Progressivement ces sables sont remplacés, par des substrats sablo-vaseux, puis vaseux qui s'organisent le long de la pente des fonds, pente parfois relativement forte en raison de l'étroitesse (de l'absence même) du plateau continental.

Le nombre de types de substrats identifiés (16 catégories de nature des fonds) pris en compte dans Cartomar a été réduit afin de simplifier la lecture, l'analyse et les géotraitements. Deux grandes catégories ont été retenues pour distinguer les fonds de nature "meuble" (4 classes : sable, vase, mélange et zone de transit) des substrats dits "durs" (roches et "zones rugueuses" constituées de blocs hétérogènes) (Carte 3).



Carte 3 : Carte présentant la nature des fonds simplifiée à partir des données acquises en 2008 dans le projet Cartomar

La distribution du substrat s'organise en 4 grandes zones autour de l'île :

- **Substrat Meuble**, partie Nord-Nord-Ouest, excepté au niveau de la Pointe des Galets (Le Port)
- **Substrat Meuble Hétérogène**, partie Est Nord-Est,
- **Substrat Dur**, partie Sud-Sud-Est, zone qui n'est pas, ou pratiquement pas couverte pas l'étude Cartomar, mais qui, d'après les dires d'expert, est de nature basaltique
- **Substrat Dur à faible profondeur, puis Meuble**, partie Ouest-Sud-Ouest : globalement, on constate la présence de substrat dur autour des isobathes 20-45 mètres, puis du substrat meuble (sableux) au-delà.

### 2.3.5 Etat de mer : Houle - Exposition aux vagues

#### 2.3.5.1 Données bibliographiques

L'île de La Réunion est soumise à trois grands types de houles (Gabrié, 1984 et Cordier, 2007):

- **Les houles dites d'alizés**, produites par des vents locaux et par le champ général des alizés de S-E. 90% des houles d'alizés ont des hauteurs comprises entre 0,2 et 0,8 m. Les périodes significatives sont le plus souvent comprises entre 3 et 6 secondes. De novembre à avril, la houle est très faible avec des hauteurs maximales de l'ordre de 0,50 m. Toutefois, un renforcement des vents d'Est peut générer une houle comprise entre 2 et 3 m exposant le littoral oriental. De mai à octobre, les alizés de secteur E à E-S-E se renforcent, rendant la mer agitée, exposant le littoral oriental à une houle atteignant parfois 3,5 m.

- **Les houles australes** sont issues de dépressions creuses formées à plusieurs milliers de kilomètres dans le S-O de l'océan Indien. Ces houles peuvent se manifester toute l'année, avec une aggravation pendant les mois de mai et juin. Elles ont des périodes de 12 à 20 s et une hauteur variant de 3 à 5 m, et pouvant atteindre exceptionnellement 8 m.

- **Les houles cycloniques** sont les moins fréquentes mais leur influence sur la morphologie du littoral est importante. Leur direction est aléatoire et évolue en fonction de la propagation du système cyclonique. Elles proviennent de directions comprises entre le N-E et le N-O. Leur période peut atteindre 13 secondes et plus. Les hauteurs sont données dans le Tableau 4.

• *Tableau 4 : Hauteur des houles cycloniques (Cordier, 2007)*

Houle	annuelle	décennale	trentennale	centennale
Hauteur (m)	4	7,7	9	10,7

#### 2.3.5.2 Données issues du modèle HYDRORUN

La calibration du modèle de houle a été réalisée en confrontant les résultats de simulations avec les données "Candhis" issues du réseau de mesures de houle géré par le CETMEF<sup>8</sup> (sept bouées, couvrant l'ensemble du littoral de l'île enregistrent en continu les mouvements de la houle), sur une période de 2 mois (juillet-août 2001) caractérisée par la présence des houles australes. Le modèle "Wavewatch III" basé sur une grille irrégulière recentrée sur l'île de La

<sup>8</sup> <http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/>

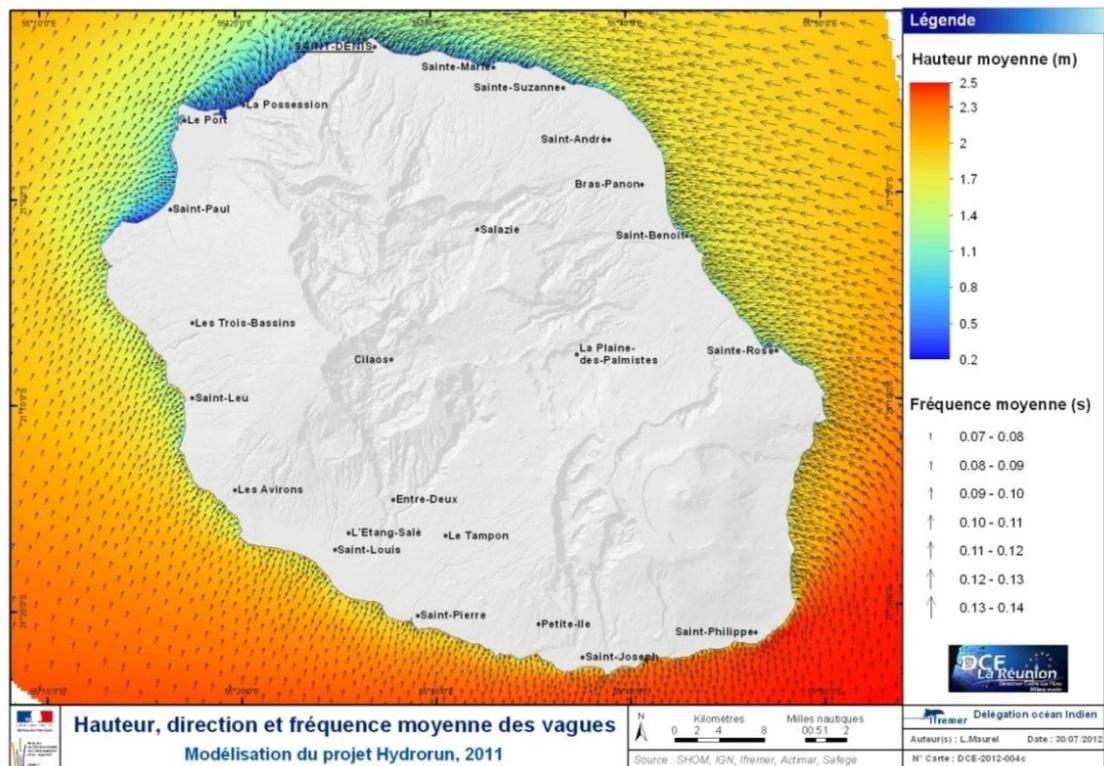
Réunion, a été retenu pour générer les houles à l'échelle des modèles côtiers de la plateforme.

Dans les secteurs Est et Sud, les résultats des modélisations sont particulièrement fidèles aux mesures du CETMEF. Dans le Nord-Ouest de l'île, un petit biais se révèle (de l'ordre de 0,30 m à 0,40 m). Une base de données de 10 ans de l'Etat de la mer a ainsi été générée à l'échelle du modèle régional d'approche (200km × 200km) pour servir de base aux simulations qui seront mises en œuvre par HYDRORUN. Cette base de données historique a été exploitée pour produire des indicateurs de synthèses destinés à permettre de mieux appréhender les conditions hydrodynamiques et les particularités côtières dans la perspective de la réflexion entreprise autour du redécoupage des Masses d'eau pour la DCE.

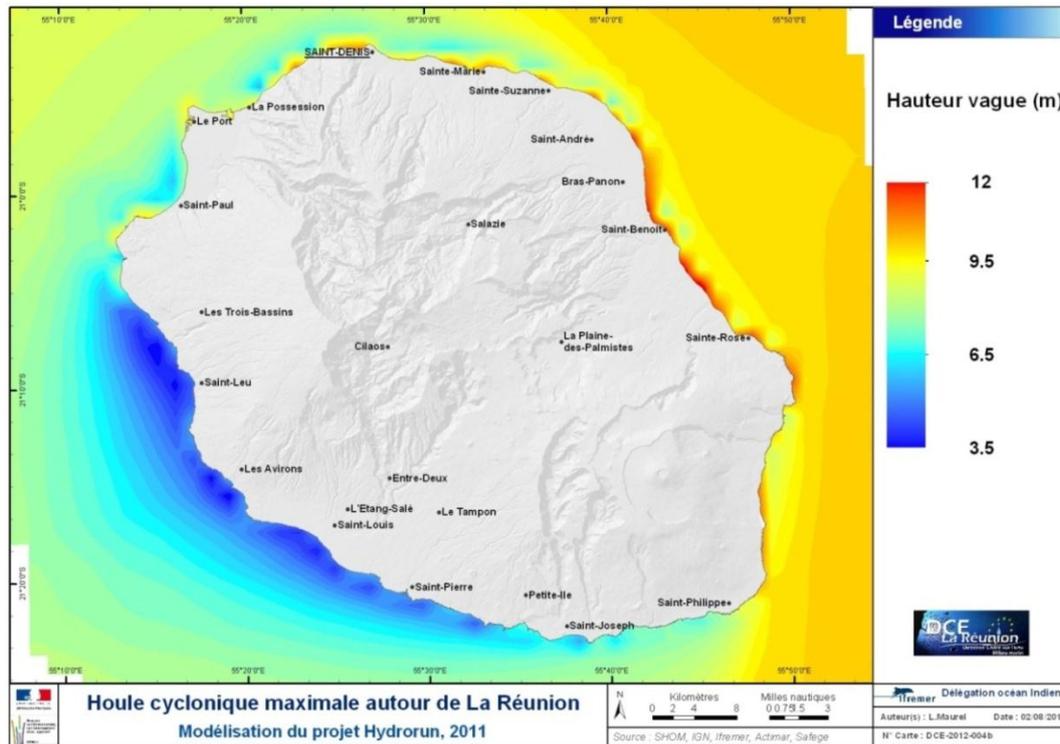
Les indicateurs retenus pour les états de mer sont les suivants :

- Les **hauteurs significatives (Hs)** moyennes et maximales, calculées sur l'ensemble de la base de données (10 ans) et détaillées par trimestre
- **Les périodes et directions moyennes** sur les mêmes périodes
- **Les roses de houles** (pourcentage d'occurrence de hauteur en fonction de la direction de propagation). Elles permettront de mettre en évidence leur différence vis-à-vis des caractéristiques moyennes de la houle.

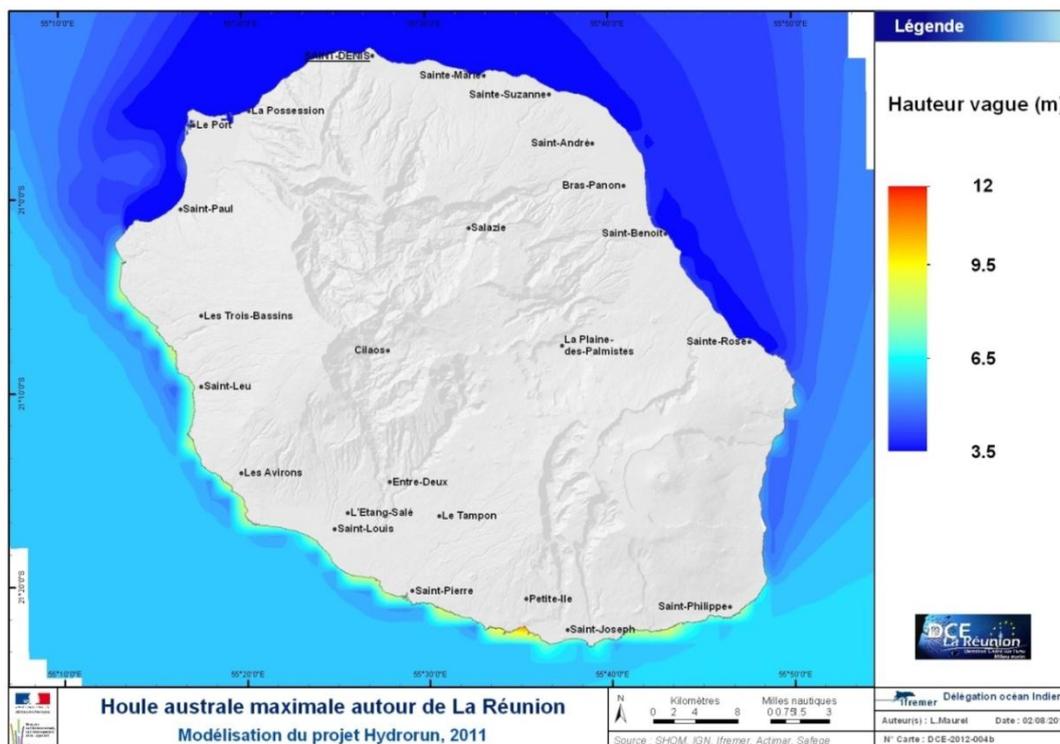
L'ensemble de ces synthèses constituent une somme d'information considérable que nous avons délibérément choisi de réduire ici (elles sont néanmoins disponibles sur demande). Le choix s'est porté sur l'analyse de la **synthèse annuelle** (hauteur, fréquence, direction : Carte 4) et sur l'analyse des **synthèses saisonnières** : trimestre 1 (janvier-mars : Carte 5), sous influence des **houles cycloniques** et sur le trimestre 3 (juillet-septembre : Carte 6), sous influence des **houles australes**.



Carte 4 : Présentation des hauteurs de vagues moyennes (aplats couleur), de leurs directions et fréquences moyennes (taille et orientation des flèches), HYDRORUN



Carte 5 : Hauteurs maximales des houles modélisées et moyennées sur le trimestre 1 (correspondant aux houles de type cyclonique), HYDRORUN



Carte 6 : Hauteurs maximales des houles modélisées et moyennées sur le trimestre 3, HYDRORUN

### 2.3.5.3 Synthèse

Concernant les houles moyennes, deux profils se dégagent clairement :

- **Hauteurs maximales** dans la partie Sud de l'île, impactée par les houles moyennes d'alizés (que l'on peut ainsi relier aux données de Météo-France, Figure 1),
- **Hauteurs minimales** dans la partie Nord de l'île, zone protégée des alizés.
- D'une manière générale (hauteur moyenne annuelle), la houle atteint des hauteurs maximales dans le Sud de l'île alors que les fréquences les plus importantes sont observées sur la côte Nord-Est.

concernant les houles maximales, deux zones d'impact se dégagent :

- **Houles australes**, qui touchent la côte Ouest-Sud-Ouest (de Trois-Bassins à Saint-Joseph)
- **Houles cycloniques** qui impactent la côte Nord-Nord-Est avec une mention particulière pour la côte comprise entre Sainte-Suzanne et Sainte-Rose.

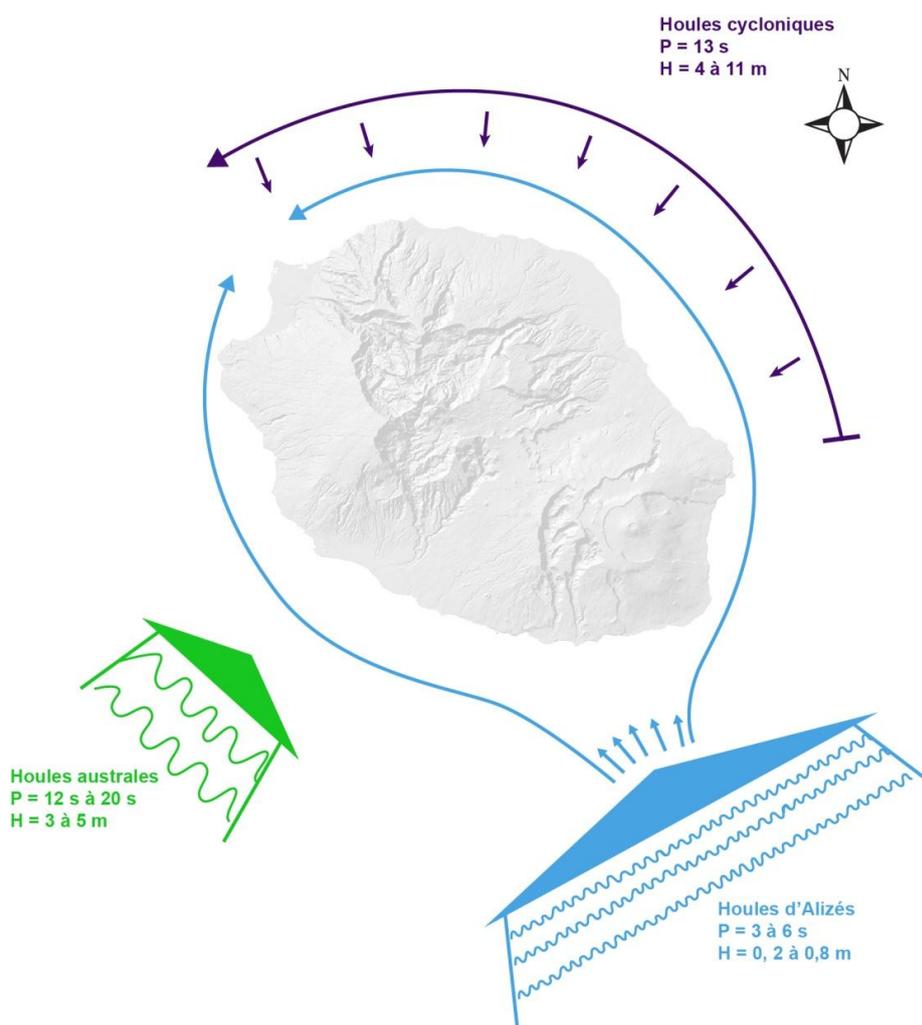


Figure 2 : Synthèse du régime des houles à La Réunion (d'après Gabrié, 1984, précisé par les résultats d'HYDRORUN)  
(P = période ; H = hauteur)

### 2.3.6 Courantologie - Temps de résidence

La calibration et la validation des modèles locaux HYDRORUN s'appuient sur une confrontation entre des mesures réalisées *in situ*, au moyen de courantomètres et les résultats de simulations paramétrées sur les mêmes périodes. Les modèles locaux HYDRORUN reproduisent correctement les axes directionnels du courant. Toutefois, ils peuvent avoir tendance, localement, à sous-estimer la variabilité des vitesses. L'origine de ces différences n'est pas identifiée avec certitude. Les hypothèses actuellement formulées s'orientent vers des interférences locales issues de processus liés à des "ondes internes" (mouvements oscillatoires profonds se propageant au niveau de la thermocline et qui, à la convergence d'une remontée des fonds peuvent interférer avec les processus hydrodynamiques habituels).

Il faut noter que ces ondes internes ne sont donc actuellement pas prises en compte dans la plupart des modèles hydrodynamiques existants. Ces oscillations profondes à grande échelle sont habituellement désagrégées par les plateaux continentaux et leurs effets sont rendus négligeables à proximité des côtes. A La Réunion, la configuration des fonds marins et surtout l'absence de plateau continental permet à ces ondes de parvenir jusqu'à la côte. Leur modélisation (ou intégration dans des modèles) relève encore aujourd'hui du domaine de la recherche. Malgré cette contrainte et en s'appuyant sur les simulations issues du modèle de rang supérieur (maille 450 m englobant l'ensemble de l'île), l'effet de ces ondes internes a pu être intégré de manière satisfaisante.

Contrairement au phénomène de houle qui ne concerne que la surface, la modélisation des courants consiste à recalculer, pour chaque pas de temps, les composantes vitesses et directions du courant en chacune des mailles du modèle, cela pour chaque niveau de profondeur (30) sur la totalité de l'emprise (~7 millions de cellules recalculées à chaque pas de temps). Le volume de données généré par ces simulations devient très vite considérable en fonction de la durée de simulation paramétrée. Dans le cadre de ce travail, une année complète de simulation (2006) a été générée. Les indicateurs de synthèse retenus portent sur :

- **Les vitesses maximales barotropes** (intégrées sur l'ensemble de la colonne d'eau) **et de surface** à une échelle annuelle et trimestrielle (pour appréhender une éventuelle dimension saisonnière),
- **Vitesse/direction moyenne des courants barotropes et de surface** également à une échelle annuelle et trimestrielle
- **Le percentile 90 des vitesses journalières** sur 1 année,
- **Les ellipses de variabilité** (indicateur de l'intensité et de la direction des fluctuations de courants) à une échelle annuelle et trimestrielle.

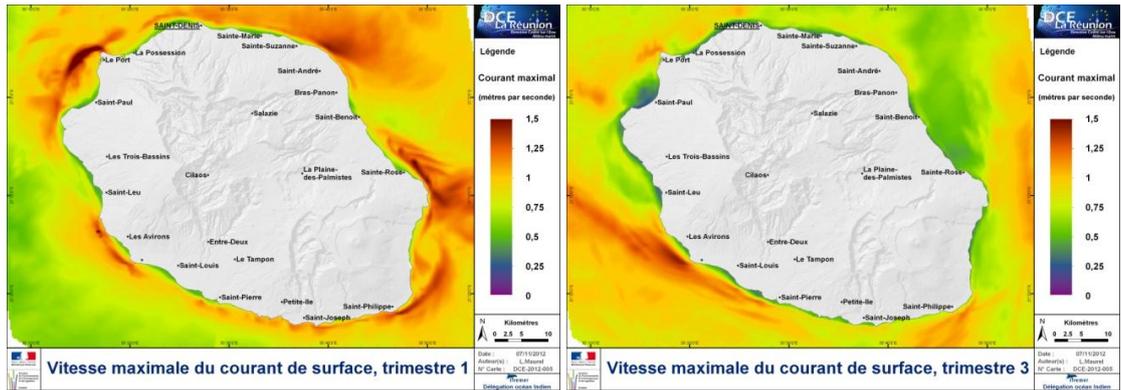
Seuls les 2 premiers indicateurs ont été exploités dans le cadre de la problématique de délimitation des masses d'eau DCE, les autres ne révélant pas de discrimination significative à l'échelle côtière.

#### 2.3.6.1 Courant maximum

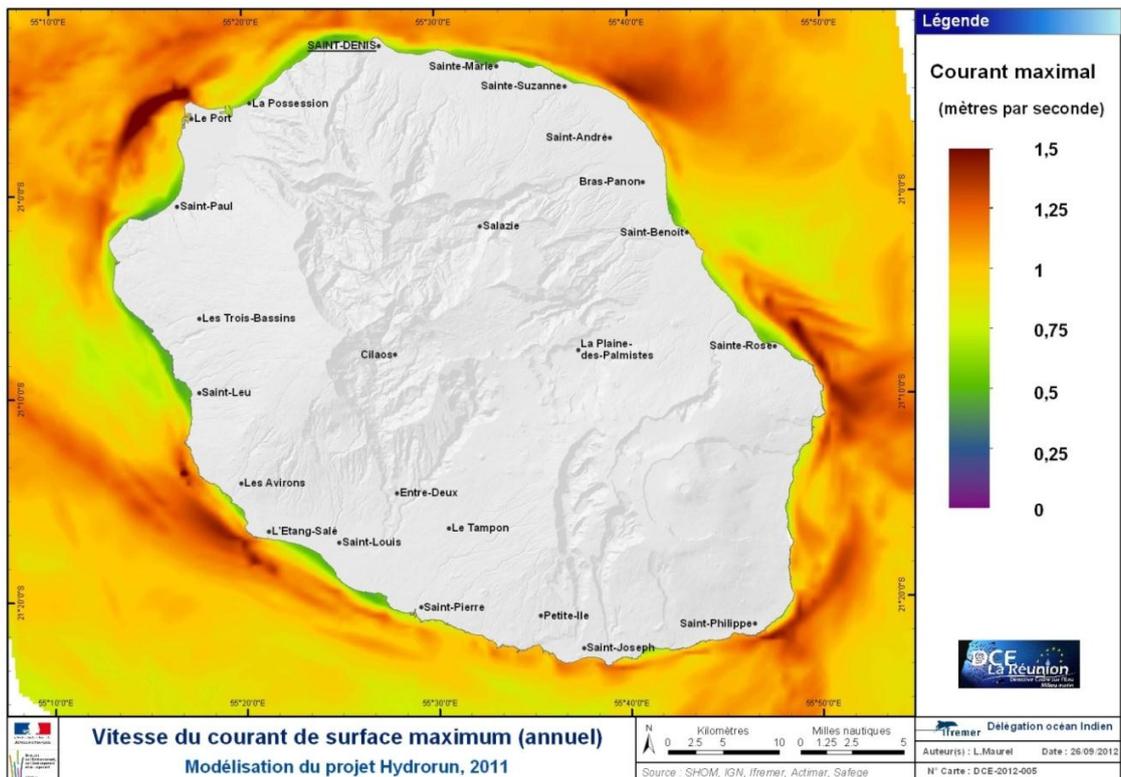
Les courants maximums sont présentés de la Carte 7 à la Carte 10. Les courants de surface sont en partie liés au vent. Ils présentent une saisonnalité marquée entre les périodes estivales et hivernales. Pour illustrer ces particularités, les trimestres 1 (correspondant aux conditions estivales) et 3 (correspondant aux conditions hivernales) ont été retenus. Du Sud au Nord (en passant par la côte Est) les courants les plus forts vont s'observer entre les mois d'octobre et de mars (été austral sous influence cyclonique) alors que sur la côte Ouest, ils vont apparaître de manière privilégiée entre juillet et septembre (période des Alizés, cf. Carte 7).

La Carte 10 illustre les vitesses maximales de courant barotrope (intégrant l'ensemble de la colonne d'eau depuis le fond jusqu'à la surface). Cet indicateur est plus difficile à interpréter car fortement contraint par la bathymétrie côtière. Il ne se révèle pas discriminant à l'échelle spatiale des masses d'eau DCE (1 mille marin des côtes) et semble peu varier dans le temps, comme on peut le constater sur la Carte 9 (absence de différences entre les trimestres 1 et 3).

- Vitesse maximale des courants de surface

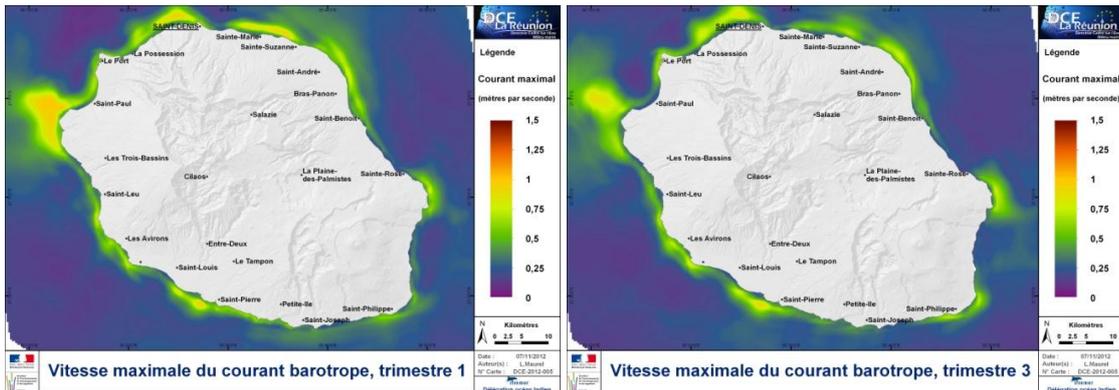


Carte 7 : Maximum des courants de surface modélisé pour le trimestre 1 (gauche) et pour le trimestre 3 (droite), HYDRORUN

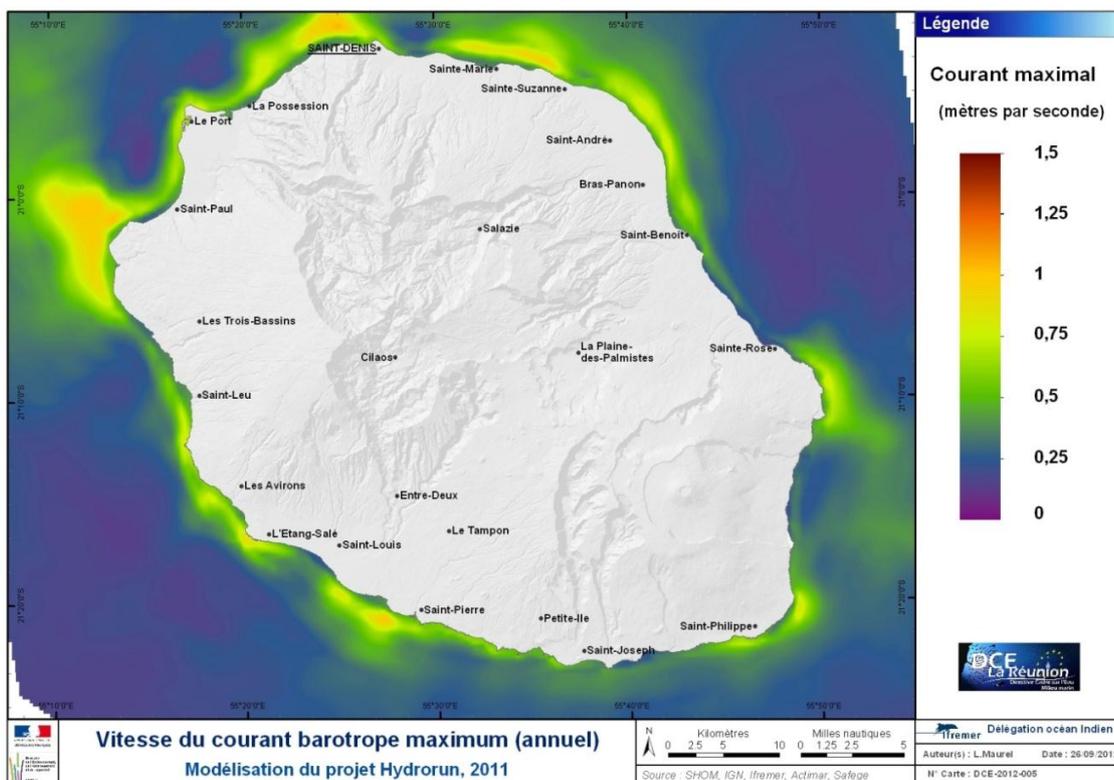


Carte 8 : Maximum des courants de surface annuels, HYDRORUN

- Vitesse maximale des courants barotropes



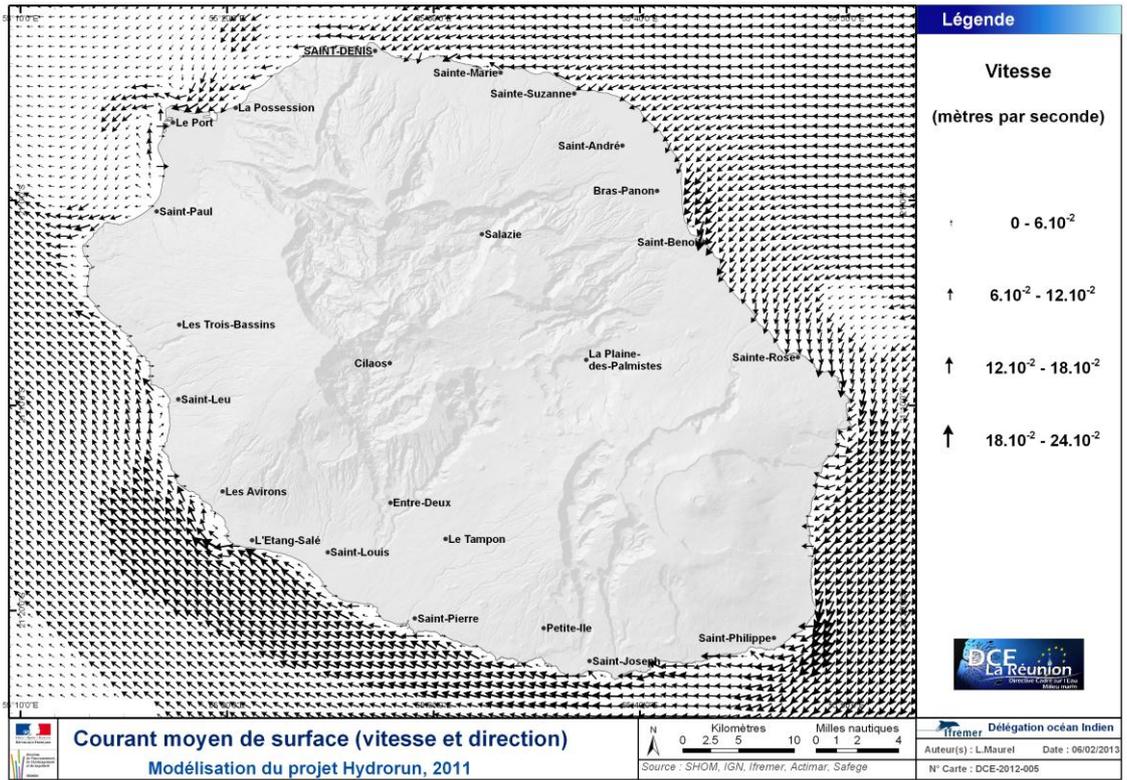
**Carte 9 : Maximum des courants barotrope modélisé pour le trimestre 1 (à gauche) et pour le trimestre 3 (à droite), HYDRORUN**



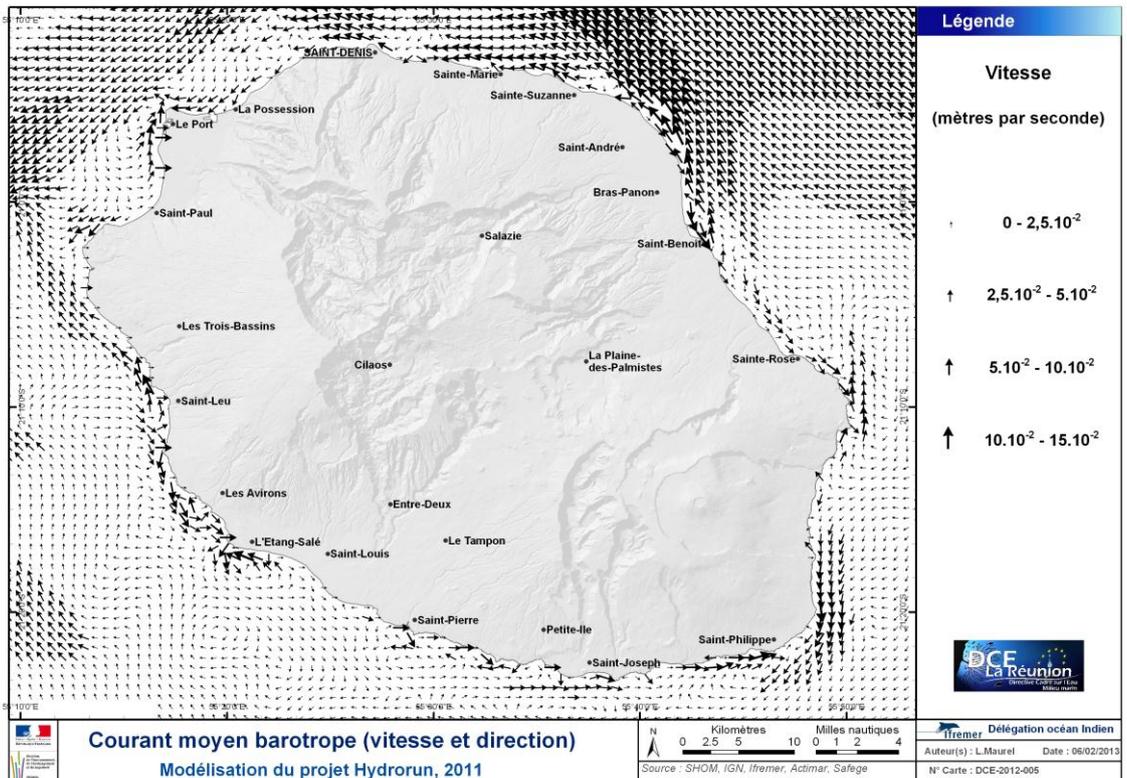
**Carte 10 : Maximum des courants barotropes annuels, HYDRORUN**

### 2.3.6.2 Courant moyen

Les courants moyens sont symbolisés par une flèche (direction) dont la taille est proportionnelle à l'intensité (vitesse ; Carte 11 et Carte 12).



Carte 11 : Vitesse et direction moyenne des courants de surface de La Réunion, HYDRORUN



Carte 12 : Vitesse et direction moyenne des courants barotrope de La Réunion, HYDRORUN

**Conclusion :** la courantologie moyenne est un paramètre difficile à analyser et semble peu discriminant pour évaluer le temps de résidence des masses d'eau au niveau des côtes de La Réunion. Globalement les trajectoires montrent des directions parallèles au littoral, avec pour résultat, des temps de résidence faibles.

Seule la baie de Saint-Paul présente une configuration tourbillonnaire pouvant être susceptible d'augmenter le temps de résidence. Les trajectoires de bouées ARGOS utilisées dans la phase d'acquisition de données du projet HYDRORUN ont confirmé cette tendance, sans qu'elle puisse encore être évaluée avec précision par modélisation.

### 2.3.7 Température – Mélange des eaux

Les températures de surface et de fond ont également été reproduites par les modèles HYDRORUN. Les calculs reposent également sur une année type de simulations réalistes issues du modèle d'approche de rang 2. L'année retenue comme représentative de situation moyenne dans les limites de l'archive de 15 ans disponibles est l'année 2006, exempte d'évènement extrême. Les résultats sont répartis dans 12 fichiers mensuels et 1 fichier annuel.

Le modèle de rang 2 est le modèle d'approche dont les caractéristiques sont :

- Emprise: 210 × 220 km
- Nombre de mailles: 463 × 496 km
- Taille de la maille: ~ 450 m
- Profondeur maximale: 4 500 m

Les indicateurs de températures exploités sont :

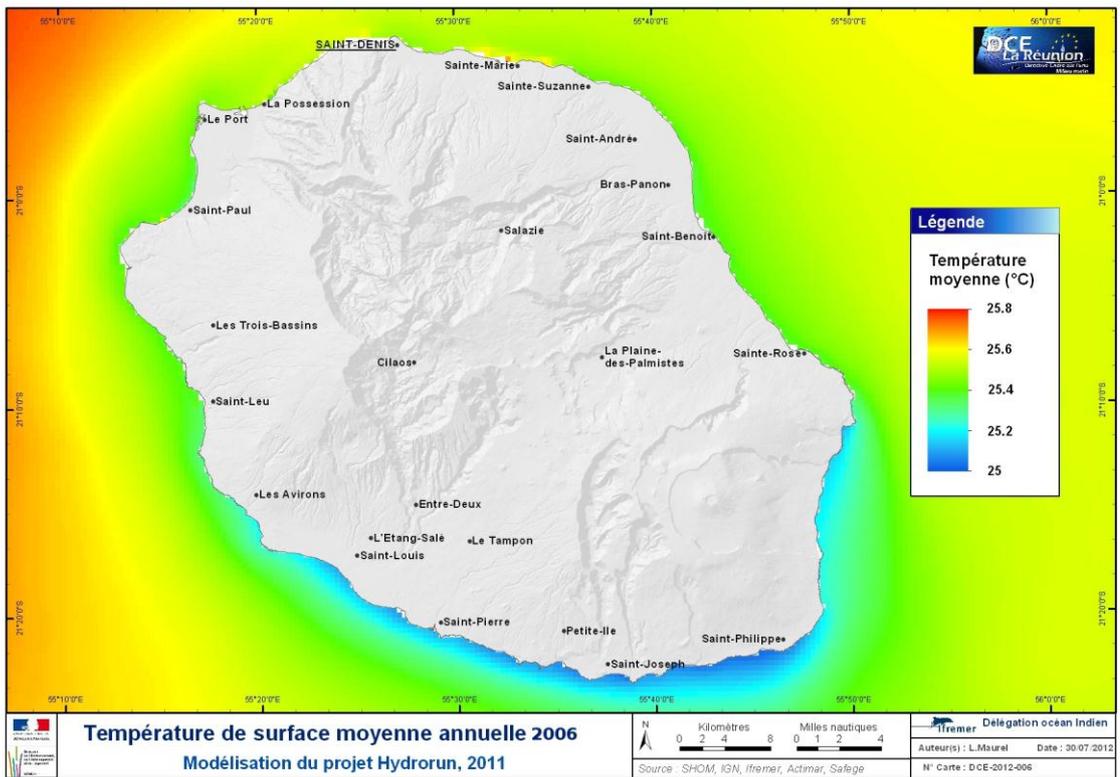
- Moyenne annuelle (surface, fond, différence surface – fond)
- Moyenne mensuelle (surface, fond, différence surface – fond)

L'intérêt de l'indicateur "différence surface-fond" réside dans l'information qu'il est susceptible de révéler concernant les phénomènes de stratification des masses d'eau comme indicateur de mélange. Toutefois les très fortes pentes à proximité du littoral prennent le dessus sur la structuration du gradient vertical de température par rapport à l'effet d'une stratification. L'intérêt de cet indicateur est donc ici limité.

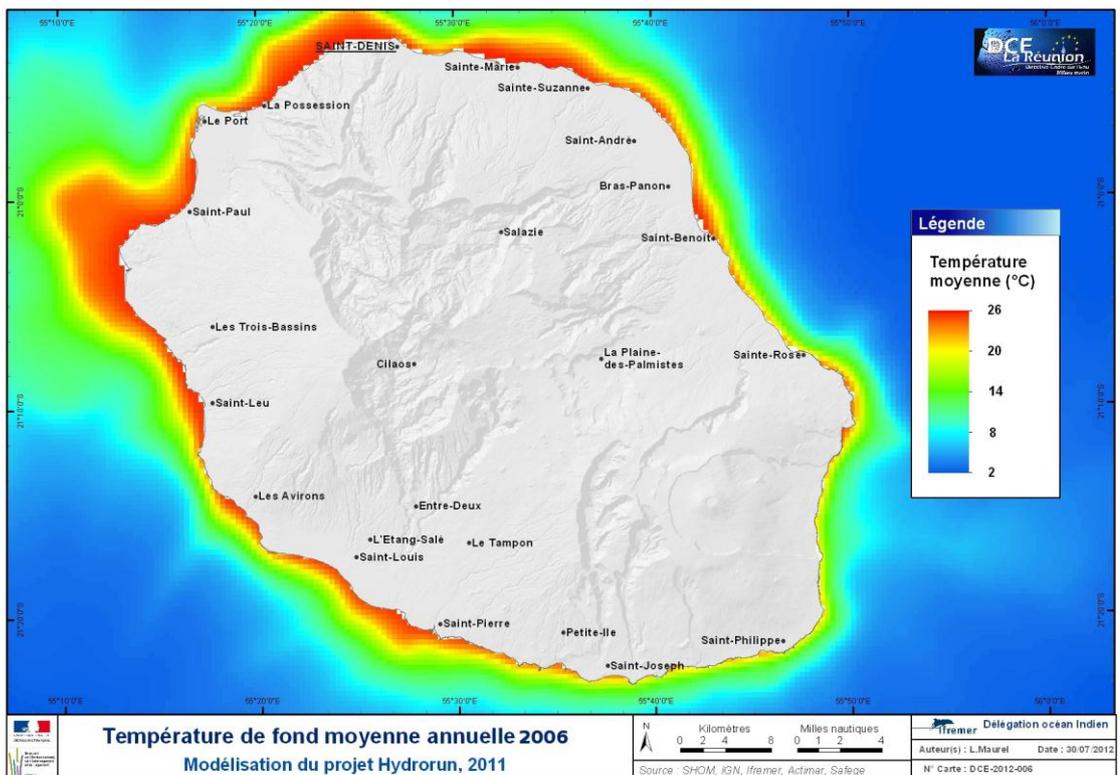
A l'échelle mensuelle les variations de température permettent de caractériser la dimension saisonnière de ce paramètre.

La Carte 14 (température moyenne annuelle au fond) illustre le forçage important imposé par la bathymétrie (à comparer avec la Carte 2) avec une variation thermique moyenne de 24 °C. En surface (Carte 13) le milieu est beaucoup plus tamponné, et les écarts apparents de température doivent être pondérés par l'échelle d'amplitude (0,8°C). En intégrant la différence surface-fond, il est impossible, à l'échelle des masses d'eau DCE, de discriminer l'effet direct de la bathymétrie sur une éventuelle stratification des eaux.

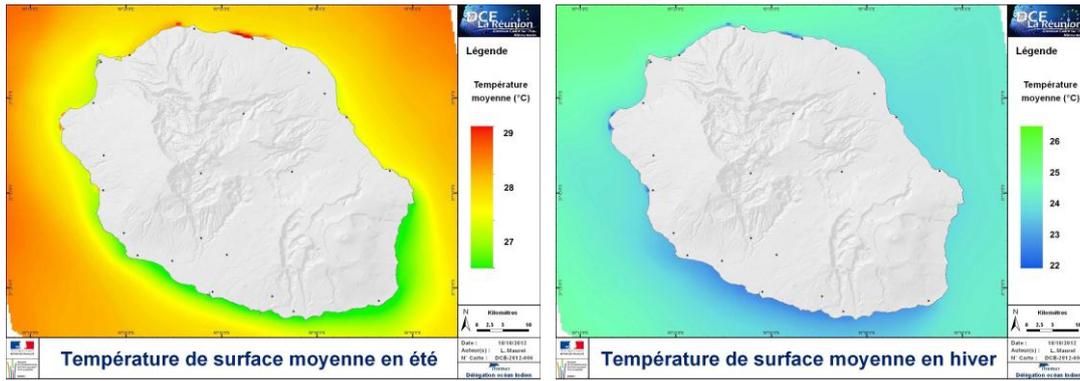
De même, à l'échelle mensuelle, si des différences entre périodes estivale et hivernale (Carte 15) sont perceptibles, les plages de variabilité spatiale de la température sont trop faibles pour permettre une discrimination objective à l'échelle des masses d'eau DCE (< 1 mille marin des côtes).



Carte 13 : Moyenne des températures de surface, HYDRORUN



Carte 14 : Moyenne des températures de fond, HYDRORUN



Carte 15 : Moyenne des températures de surface 1<sup>er</sup> trimestre à gauche, du 3<sup>ème</sup> à droite, HYDRORUN.

**Conclusion** : si les données de température issues de la plateforme HYDRORUN permettent d'apporter quelques éléments relatifs à la variabilité saisonnière, ce n'est pas un paramètre discriminant et significatif pour caractériser les processus de mélange des eaux à l'échelle qui nous concerne. A titre informatif, des données complémentaires de mesures de profil verticaux de températures *in situ* réalisés dans le cadre d'un projet d'étude des pêcheries côtières ont également été explorées. Elles n'apportent cependant pas d'éléments plus pertinents dans la démarche qui nous intéresse.

### 2.3.8 Synthèse des résultats

Au regard de l'ensemble des données disponibles actuellement et présentées ci-dessus, la typologie proposée en 2004 et le découpage des masses d'eau ont pu être affinés et modifiés en certains points. Les nouveaux éléments de connaissance ont permis, en outre, de renseigner plus objectivement des informations qui ne reposaient en 2004 que sur du "dire d'expert". Les éléments de connaissances pris en compte pour mettre à jour la nouvelle typologie reposent en priorité sur l'exposition aux houles, la bathymétrie et la nature des fonds.

Quatre grands types peuvent ainsi être distingués à l'échelle des masses d'eau côtières DCE (< 1 mille marin des côtes), les masses d'eau récifales constituant des entités propres qui sont appréhendées à part. Pour les MEC, les 4 types proposés sont les suivants (Figure 3) :

- ✓ **Type 1** : caractérisé par de petits fonds (< 50 m) à moyens (~ 100 m), ce type est exposé aux houles cycloniques (pouvant être > 10 m) et abritée des houles australes (qui ne dépassent pas 3 à 5 m au maximum). La nature des fonds est très majoritairement meuble de nature sablo-vaseuse. Ce type se caractérise sur les **côtes Nord et Nord-Ouest**.
- ✓ **Type 2** : présentant des fonds moyens (~ 100 m) à grands (> 250 m) doté d'un substrat plutôt hétérogène (meuble avec des patches rocheux jusque majoritairement rocheux), ce type est très exposé aux houles cycloniques (>10 m) et plus abrité des houles australes (8 à 5 m au maximum). Ce type 2 couvre toute la côte Est de l'île.
- ✓ **Type 3** : se caractérisant par de fortes pentes (fonds > 200m en moyenne) et de nature principalement rocheuse, les houles y présentent les hauteurs moyennes les plus importantes, témoignant de la particularité de l'exposition aux alizés dont l'intensité est la plus forte dans ce secteur. Ce type 3 est représenté par la côte Sud.

- ✓ **Type 4** : exclusivement composé de fonds moyens (75 à 90 m) ce type est exposé aux houles australes (près de 10 m au maximum) et pas ou peu aux houles cycloniques (7 m au maximum). Il réunit l'ensemble des conditions hydrodynamiques les plus favorables au développement des récifs coralliens. A faible profondeur (30-40m), les fonds sont de types durs (directement issus de la fin des pentes externes) puis deviennent sableux au-delà de 30 à 40 m. Ce type 4 est représenté tout le long de la côte Ouest.

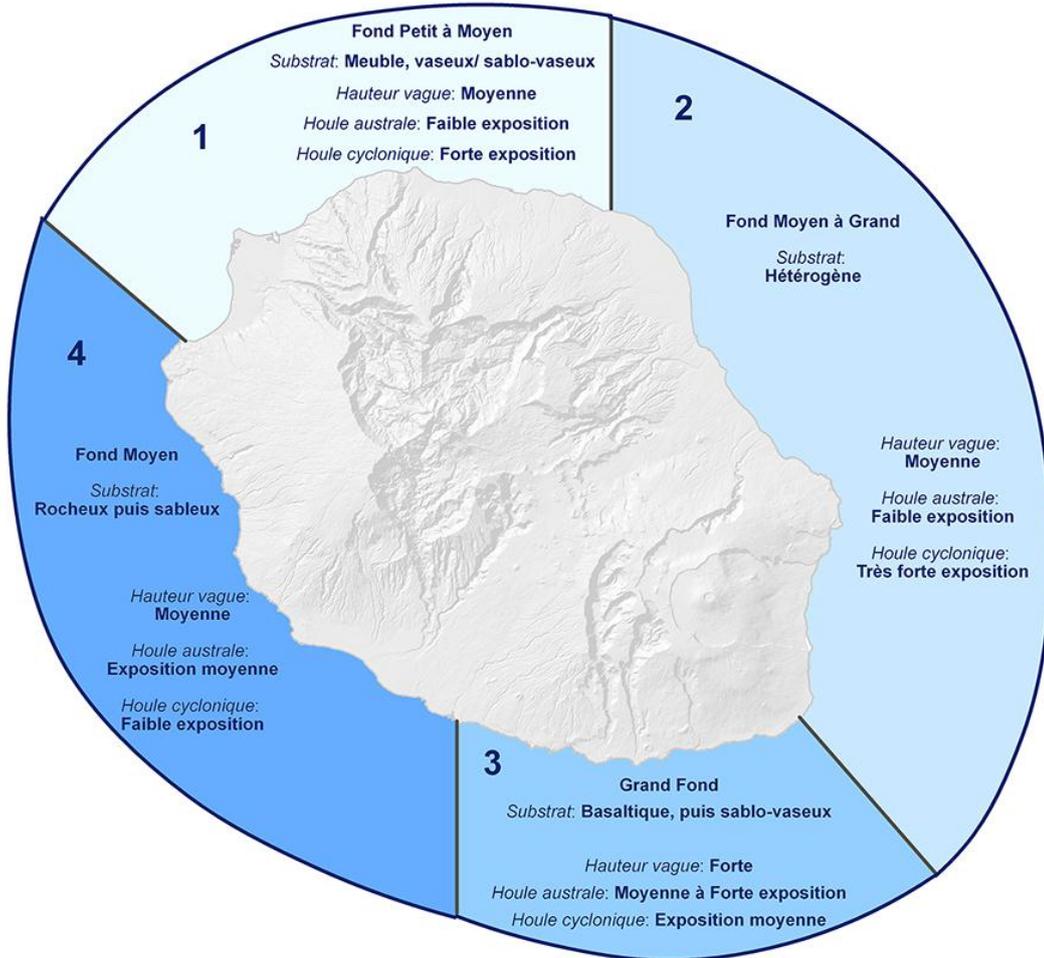


Figure 3 : Schéma des 4 profils rencontrés autour de La Réunion, profils basés sur la nature du fond, la profondeur et l'exposition aux vagues.

## 2.4 Données utiles pour la définition du découpage des MER

Le projet SPECTRHABENT OI (Le Goff et al, 2012 ; Mouquet et al, (en cours)), visant à développer de nouvelles méthodes de cartographie des fonds récifaux au moyens d'acquisition aéroportée d'imagerie hyperspectrales, a permis de contribuer à la réflexion portant sur le découpage des masses d'eau récifales. En effet, au cours des prétraitements de ses données brutes, les corrections de l'état de surface et de l'atténuation du signal lumineux par la colonne d'eau permettent de générer des images en réflectance au niveau du fond. Ce travail va permettre de générer des images en fausses couleurs des fonds jusqu'à des profondeurs pouvant atteindre ici les 25 m (Figure 4).



*Figure 4 : Baie de Saint-Leu (fausses couleurs). A gauche, image en réflectance au sol avant correction des effets de la colonne d'eau. A droite, image en réflectance au fond après correction.  
(Les bancs de sable blancs en bas à gauche de l'image se situent entre 20 et 25m de fond).*

Ces images ont permis de mettre en évidence des anomalies dans le découpage 2004 (CF. chapitre 2.6.5). D'autre part, en 2004, les limites des MER avaient été définies en regard des seules plateformes récifales. En intégrant les images hyperspectrales, il est devenu possible d'appréhender l'ensemble de la structure récifale comprenant la plateforme elle-même et son socle bioconstruit (pente externe).

## 2.5 Révision du découpage initial et ajustements globaux

Sur la base de ces nouvelles connaissances, une réflexion a pu être initiée dans une perspective de réajustement des limites des masses d'eau existantes.

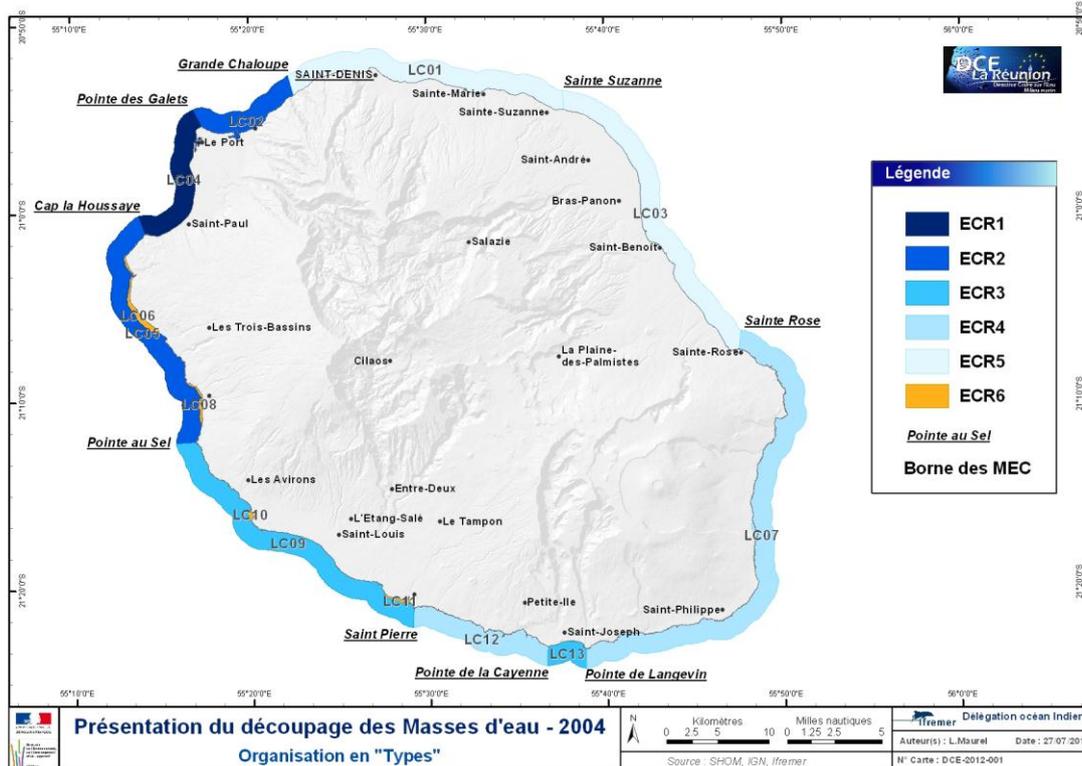
- 1) Le trait de côte de référence utilisé en 2004 a subi des réajustements depuis. Il est proposé, dans le cadre du présent travail, de s'appuyer sur un trait de côte réaliste intégrant les mises à jours réalisés depuis 2004. Cette limite à terre, des masses d'eau côtières, intègre donc le trait de côte issu de la BD TOPO de l'IGN, corrigé localement (Port Est, Coulées de laves, limites de ravines) à partir des orthophotographies datant de 2011 (IGN). La limite terrestre ayant été précisée, la limite océanique des MEC a été générée sous ArcGis10<sup>®</sup> en créant une zone tampon de 1 mille marin (1852 m).
- 2) La numérotation initiale des masses d'eau, du Nord vers le Sud par ordre d'apparition, se révèle difficile à appréhender. Il est proposé d'adopter le même principe de numérotation que celui retenu pour les masses d'eau terrestres (surface et souterraine) qui consiste à incrémenter la numérotation (LC01, LC02, etc.) à chaque nouvelle masse d'eau rencontrée en partant du Nord et en tournant dans le sens horaire.
- 3) Les limites entre deux masses d'eau ont également été rationalisées en reposant systématiquement sur un point remarquable à terre (borne IGN, extrémité de pointe rocheuse, Cap,...) associé à un angle rond (0°, 45°, 90°, 135°, ...) par rapport au Nord.

## 2.6 Révision de découpage initial et ajustements particuliers

La Figure 3, schématisant les types observés autour de l'île, met en évidence quatre zones de transition qui, dans le découpage initial de 2004, figuraient déjà, pour 3 d'entre elles, des limites de masses d'eau côtières. Il a été proposé, en 2012, de ne pas modifier ces dernières :

- Secteur de **Sainte-Suzanne** caractérise en 2012 la limite entre les ME de type 1 et de type 2 (limite déjà préexistante en 2004) ;
- Secteur **Saint-Philippe "La Porte "**, d'un point de vue hydrodynamique et bathymétrique, cette zone située sur la commune de Saint Philippe figure la transition entre les types 2 et 3 ;
- Secteur **Saint-Pierre** en 2012 La zone correspond à la transition entre les types 3 et 4 qui se distinguent par leur exposition aux houles et la bathymétrie globale qui les caractérise (il figurait déjà en 2004 la limite entre les anciennes LC09 et LC12) ;
- Secteur du **Cap La Houssaye** correspond, en 2012, à la transition entre les types 1 et 4 de la Figure 3 du fait des conditions hydrodynamiques (courantologie et exposition aux houles). Cette limite était également préexistante en 2004.

Au sein de ces 4 grands types (Figure 3), caractérisés par des profils basés sur la nature du fond, la profondeur et l'exposition aux houles, les masses d'eau côtières présentent encore une certaine hétérogénéité en termes de niveau d'anthropisation comme du point de vue hydro climatique et/ou hydrodynamique local. Il est proposé d'intégrer ces éléments pour distinguer, à plus petite échelle, les secteurs homogènes pouvant être retenus comme unité de classification (Masses d'eau Côtières) pour la DCE



Carte 16 : Typologie et limites des masses d'eau proposées en 2004 (Lazure, 2004) et ayant servi de support au travail de réajustement réalisé en 2012 (présent travail). Cf Tableau 2 (p.4) pour le détail et le descriptif de la typologie proposée en 2004.

## 2.6.1 Ajustements associés au Type 1

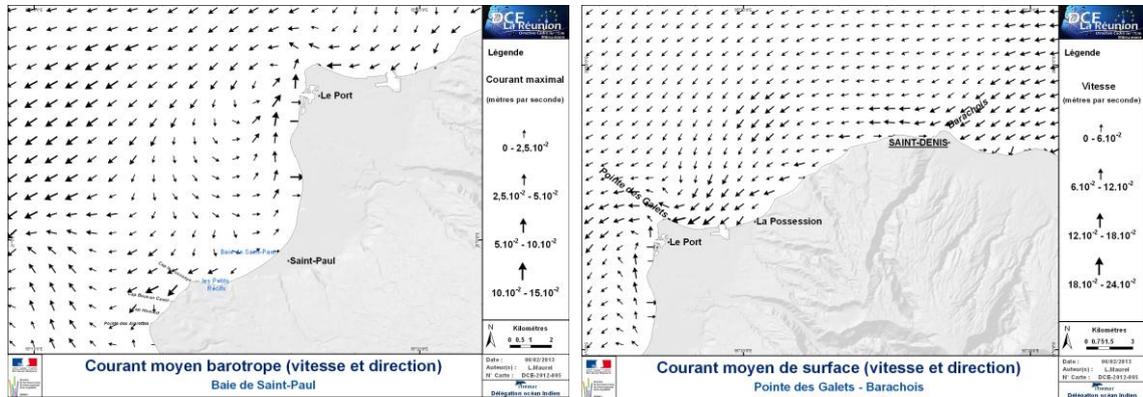
### 2.6.1.1 Analyse des caractéristiques littorales du type 1

Le découpage de 2004 proposait trois masses d'eau pour cette partie de l'île (ex-LC01, ex-LC02 et ex-LC04).

La première (ex-LC04) correspond à la baie de Saint Paul. Elle est délimitée au Sud par le Cap La Houssaye et, au Nord, par la pointe des Galets. Ces deux caps naturels marquent de véritables transitions et font de la baie de Saint-Paul une zone plus abritée. La baie, prise en compte dans son intégralité (au-delà du mille nautique recommandé en tant que limite extérieure des masses d'eau), présente un courant barotrope (prenant en compte l'ensemble de la colonne d'eau) à tendance tourbillonnaire comme on peut l'observer sur la (carte de gauche). Cette particularité peut potentiellement avoir une incidence significative sur le temps de résidence, mais ce dernier n'a pas pu être quantifié. Les limites proposées en 2004 paraissent donc cohérentes et il est proposé de les maintenir.

L'ancienne limite des masses d'eau ex-LC01/ex-LC02, située au niveau de la Grande Chaloupe, se révèle quant à elle moins pertinente. Aucune transition significative ne vient perturber l'homogénéité relative qui caractérise le littoral de ce secteur. Les données acquises, entre Le Port et Saint-Denis, depuis 2004 le confirment : nature des fonds, bathymétrie et exposition aux houles homogènes. Les courants montrent également (cf. Carte 17) une continuité régulière tout le long de la route du Littoral. Cette homogénéité se retrouve du point de vue de la morphologie côtière sur la quasi-totalité du linéaire compris entre La Possession et Saint-Denis. De hautes falaises surplombent la mer, aux pieds desquelles l'infrastructure routière de l'actuelle route du littoral est bordée d'enrochements sur la presque totalité de la masse d'eau. Cette masse d'eau est donc intégralement bordée par un littoral artificialisé.

En regard de l'ensemble de ces éléments, il est proposé de modifier cette limite proposée en 2004 en intégrant l'ensemble de l'unité morphologique de ce littoral particulier compris entre Le Port et Saint-Denis au sein d'une seule et même masse d'eau.



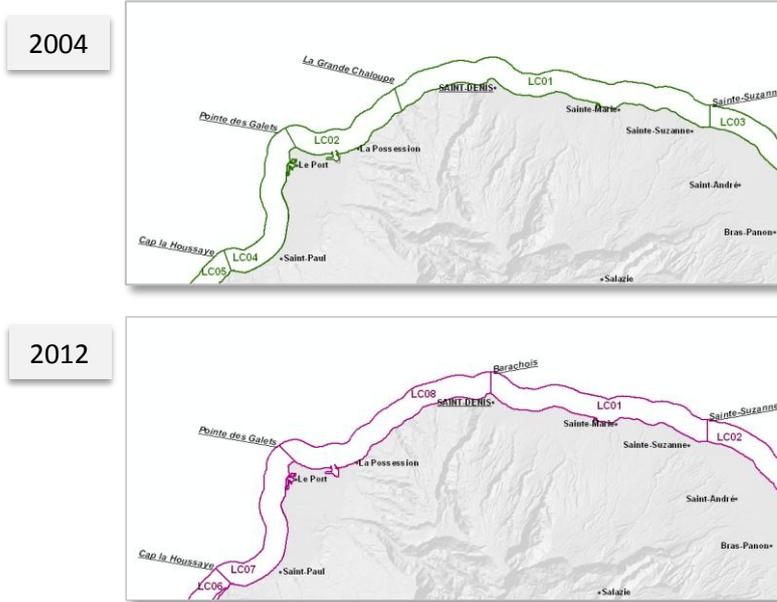
**Carte 17 : Courants "tourbillonnaires" de Saint-Paul (gauche) et homogénéité des courants entre Le Port et Saint-Denis (droite)**

Le secteur du "Barachois", pointe la plus au Nord de l'île, à l'entrée de la zone urbaine de Saint-Denis, montre des caractéristiques intéressantes pour y positionner une limite. D'un point de vue hydrodynamique (intensité comme orientation) : les courants de surface suivent le littoral vers l'Ouest depuis le Barachois vers la pointe des Galets. A l'Est, les courants moyens de surface se distinguent tant sur le plan de leur orientation (vers le littoral) que de leur intensité plus marquée (cf. Carte 17, droite). Le barachois peut donc être perçu comme une zone de transition du point de vue hydrodynamique pour proposer d'y déplacer la limite initialement située à la Grande Chaloupe.

Ainsi pour le type 1 (secteur Nord-Ouest de l'île de La Réunion), le redécoupage des masses d'eau proposé permet d'en distinguer trois (respectivement de l'Ouest vers l'Est) :

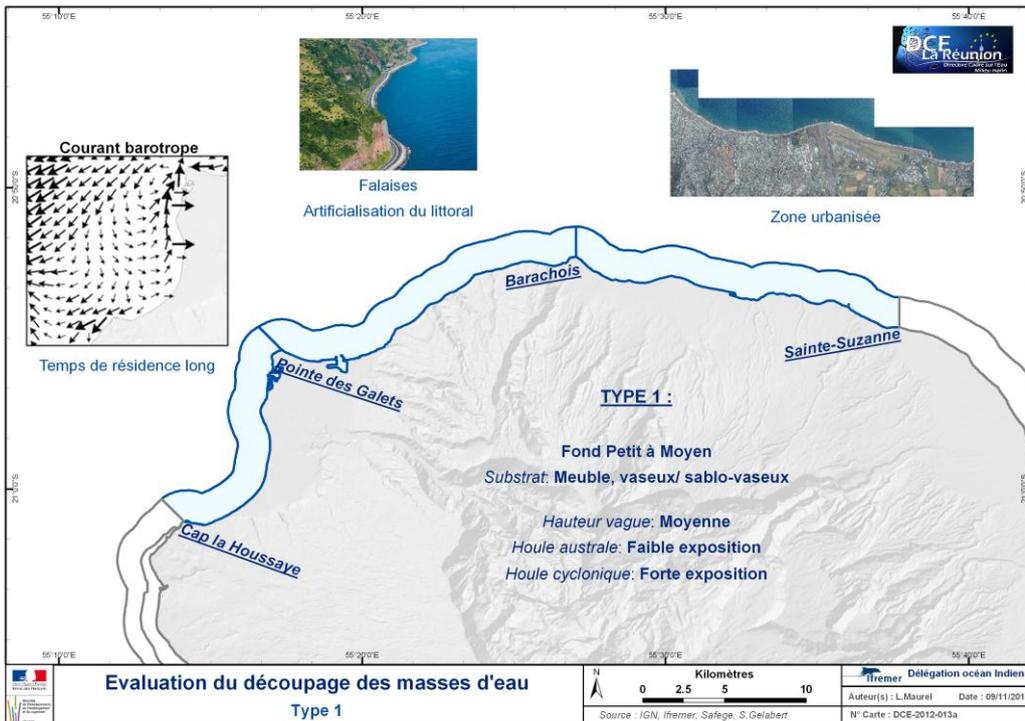
- Du Cap La Houssaye à la Pointe des Galets (ex-LC04 et désormais LC07) : couvrant l'ensemble de la baie de St Paul sous influence d'un hydrodynamisme à tendance tourbillonnaire susceptible de générer un temps de résidence plus important que partout ailleurs.
- De la Pointe des Galets au Barachois (ex-LC02 + 1 partie de l'ex-LC01, désormais LC08) : couvrant la baie de La Possession et l'intégralité des falaises littorales jusque Saint-Denis, cette masse d'eau se caractérise par une grande homogénéité hydrodynamique (courant houle). De plus, la nature des fonds distingue cette masse d'eau de toutes les autres comme étant la seule intégralement constituée de fonds meubles (vaseux à sablo-vaseux).
- Du Barachois à Sainte-Suzanne (partie de l'ex-LC01 désormais intégralement LC01), cette troisième masse d'eau se distingue des 2 autres par le caractère presque intégralement urbanisé de son littoral.

2.6.1.2 Comparaison : 2004 versus 2012



Carte 18 : Modifications du découpage des masses d'eau dans le Nord de l'île.

2.6.1.3 Carte de synthèse



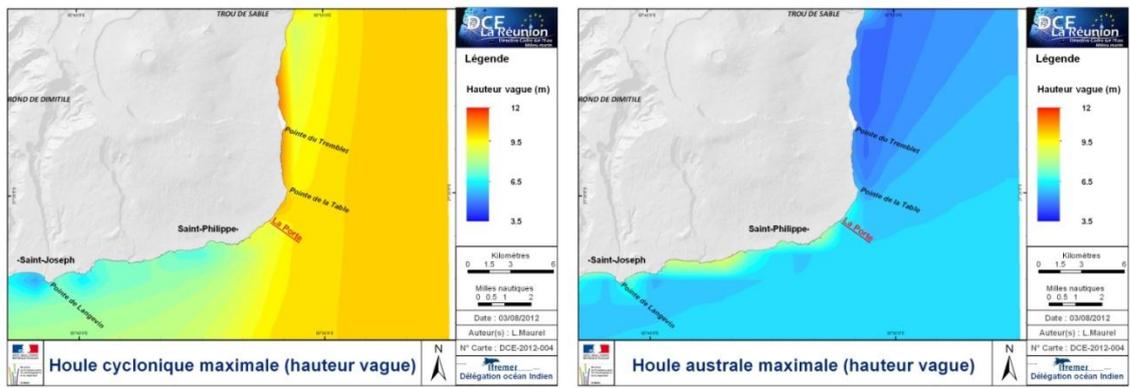
Carte 19 : Masses d'eau associées au type 1 et caractéristiques propres à chacune au sein de ce type.

## 2.6.2 Ajustements associés au Type 2

### 2.6.2.1 Analyse des caractéristiques littorales du type 2

La limite Sud de ce "type 2" (extrémité Sud-Est de l'île) ne correspond pas, en 2004, à une limite de masse d'eau. Cependant plusieurs éléments montrent que le secteur compris entre les lieux dits "Pointe de la Table" et "La Porte" (sur la commune de Saint-Philippe) révèle une zone de transition séparant de manière prononcée des environnements contrastés tant sur le plan de l'exposition aux houles saisonnières que du point de vue courantologique.

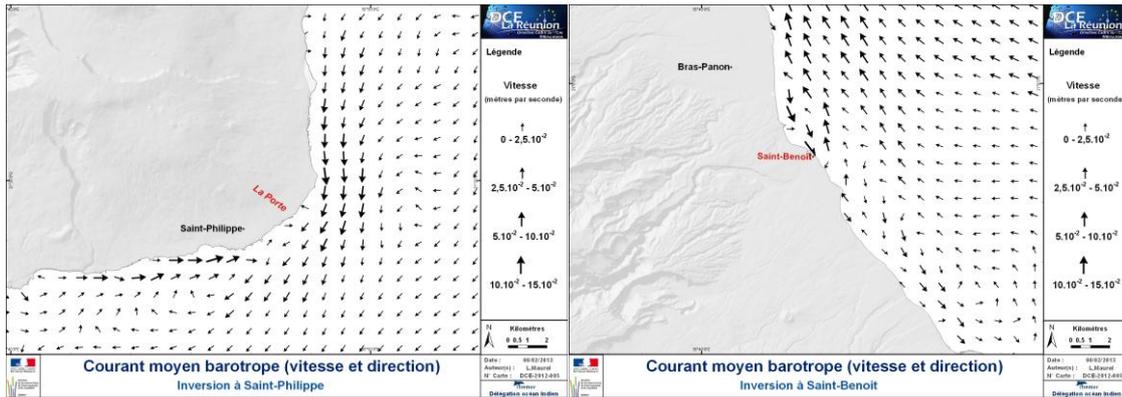
Les hauteurs de houles moyennes et les maximums saisonniers (les maximums de hauteurs de vagues simulés) permettent de discriminer clairement la côte Est de l'île, fortement exposée aux houles cycloniques (trimestre 1), de la côte Sud, plus exposée aux houles australes en période estivale (trimestre 3). Ces différences d'exposition aux houles permettent d'identifier une zone de transition entre les lieux dits "La Porte" (en période de houles australes) et "La Pointe de la Table" (plutôt en période cyclonique) (Carte 20).



Carte 20 : Zone de transition d'exposition aux houles extrêmes à l'Est de Saint-Philippe (La Porte).

Du point de vue de la courantologie, le secteur de Saint-Philippe (pointe sud-est de l'île) constitue une zone de convergence marquée où se mélangent des masses d'eau côtières provenant de l'Ouest, en longeant la côte Sud, et provenant du Nord, en longeant la côte Est (Carte 21, gauche). Cette particularité confirme donc la pertinence d'y positionner une frontière délimitant 2 ensembles cohérents aux caractéristiques d'exposition et d'hydrodynamisme bien distinctes. La zone de mélange se situant vers le lieu dit "La Porte", il est proposé d'y positionner la frontière entre les deux masses d'eau côtières concernées.

Malgré une hétérogénéité des courants barotropes, suggérée au niveau de Saint-Benoît par les simulations (Carte 21, droite), la mise en place d'une limite (ou le décalage d'une limite) vers ce secteur ne paraît pas justifiée. En effet les courants sont dirigés du large vers la côte en face de Saint-Benoît, puis les masses d'eau déplacées se séparent pour partir simultanément vers le Nord et vers le Sud. Les paramètres hydrologiques mesurés de part et d'autre de cette divergence resteront représentatifs de la même masse d'eau (provenant du large). D'autre part, la masse d'eau couvrant la côte Est (LC03) présente une réelle homogénéité en termes d'exposition, de nature de fond et de bathymétrie qui ne justifierait pas qu'elle soit modifiée.



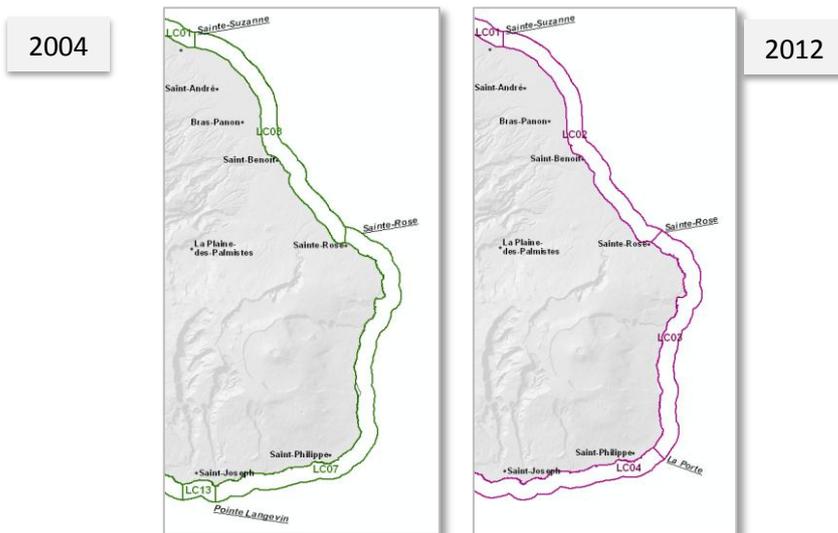
**Carte 21 : Types d'inversions de courants; à Saint-Philippe se rencontrent pour partir au large, à Saint-Benoît arrivent du large pour se séparer de part et d'autre de la côte.**

En regard du découpage proposé en 2004, le "type 2" regroupe donc les masses d'eau ex-LC03 et une partie de ex-LC07, s'interrompant au Sud au lieu-dit "La Porte". La limite fixée en 2004 entre ex-LC03 et ex-LC07, située au niveau de Sainte-Rose, se révèle quant à elle toujours pertinente. Elle sépare une masse d'eau se caractérisant par un fond basaltique à fortes pentes (ex-LC07) d'une masse d'eau moins profonde dont la nature de fond est partagée entre du substrat dur et sablo-vaseux (ex-LC03). Cette limite est donc conservée.

Ainsi pour le Type 2 (secteur Est de l'île), le redécoupage des masses d'eau proposé permet d'en distinguer deux (respectivement du Nord au Sud) :

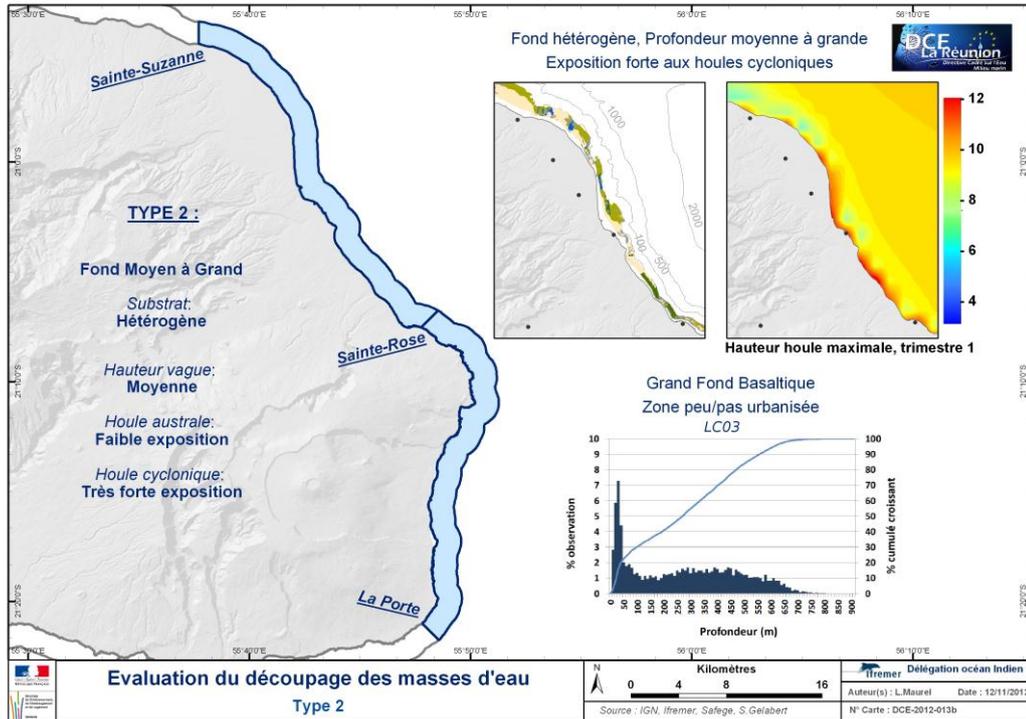
- De Sainte-Suzanne à Sainte-Rose (ex-LC03, désormais LC02) : la nature de fond est hétérogène et la masse d'eau est très exposée aux houles cycloniques,
- De Sainte-Rose à La Porte (partie de l'ex-LC07 désormais LC03) caractérisée par une forte pente (la masse d'eau la plus profonde) et des fonds de nature basaltique.

### 2.6.2.2 Comparaison : 2004 versus 2012



**Carte 22 : Modifications du découpage des masses d'eau dans l'Est de l'île.**

**2.6.2.3 Carte de synthèse**



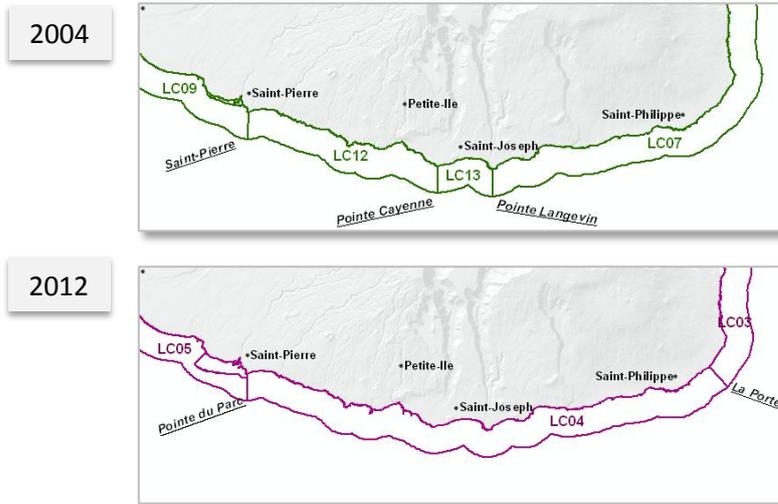
Carte 23 : Masses d'eau associées au type 2 et caractéristiques de chacune au sein de ce type.

**2.6.3 Ajustements associés au Type 3**

**2.6.3.1 Analyse des caractéristiques littorales du type 3**

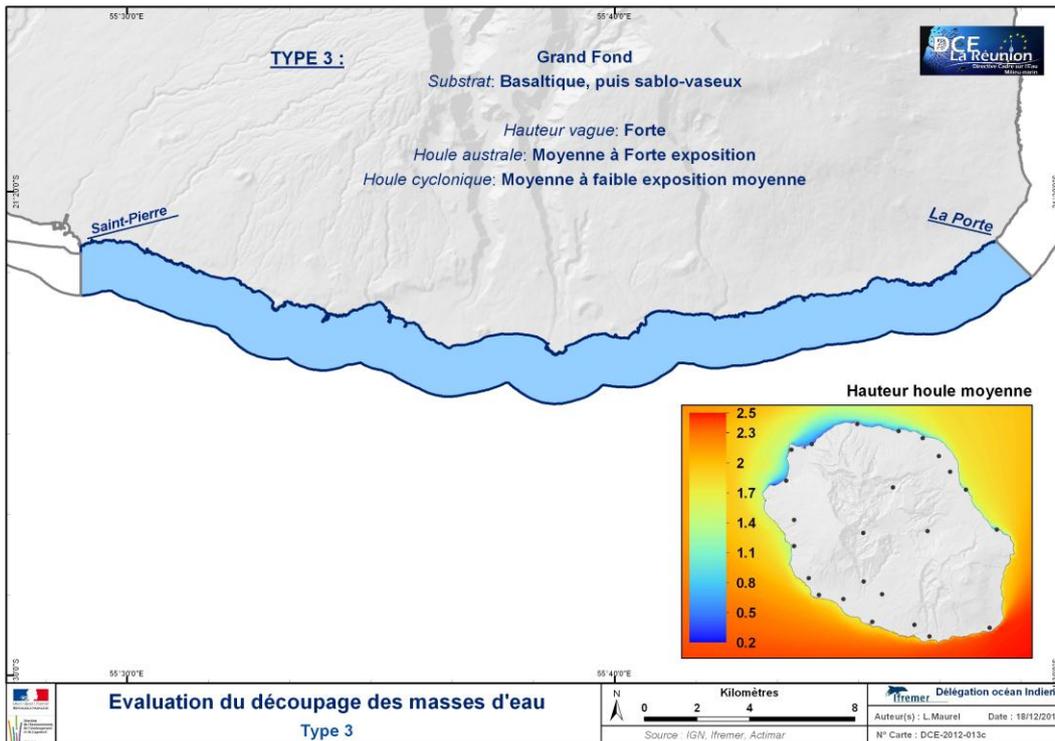
Dans cette partie de l'île, la masse d'eau ex-LC13, en face de la commune de Saint-Joseph, présente une superficie très limitée (7,7 km<sup>2</sup>) en regard des autres MEC (93 km<sup>2</sup> pour la masse d'eau voisine). Sa pertinence est clairement remise en cause au vue des données nouvellement acquises. Son identification en 2004 reposait sur la seule présence du débouché du bassin versant de la Rivière Langevin y aboutissant. L'intégration des données hydrodynamiques ne confirme pas de spécificité particulière de part et d'autre de cette masse d'eau (Cf chapitre 2.3.5 & 2.3.6). La première solution envisagée consistait à la fusionner avec l'une ou l'autre des masses d'eau adjacentes (ex-LC12 à l'Ouest ou ex-LC07 à l'Est). Il faut noter que d'un point de vue bathymétrique, les zones adjacentes à ex-LC13 sont semblables (Carte 2), de même concernant l'exposition aux houles. L'ajustement réalisé précédemment pour le type 2 (Carte 22 et Carte 23) ayant conduit à rapporter la limite de ex-LC07 au niveau de la commune de St Philippe (La Porte) nous a conduit à privilégier une seule masse d'eau dans la partie Sud de l'île, présentant une unité en termes d'exposition, de types de fonds et de pentes.

### 2.6.3.2 Comparaison : 2004 versus 2012



Carte 24 : Modifications du découpage des masses d'eau dans le Sud de l'île.

### 2.6.3.3 Carte de synthèse



Carte 25 : Masse d'eau associée à la typologie 3 et principales caractéristiques.

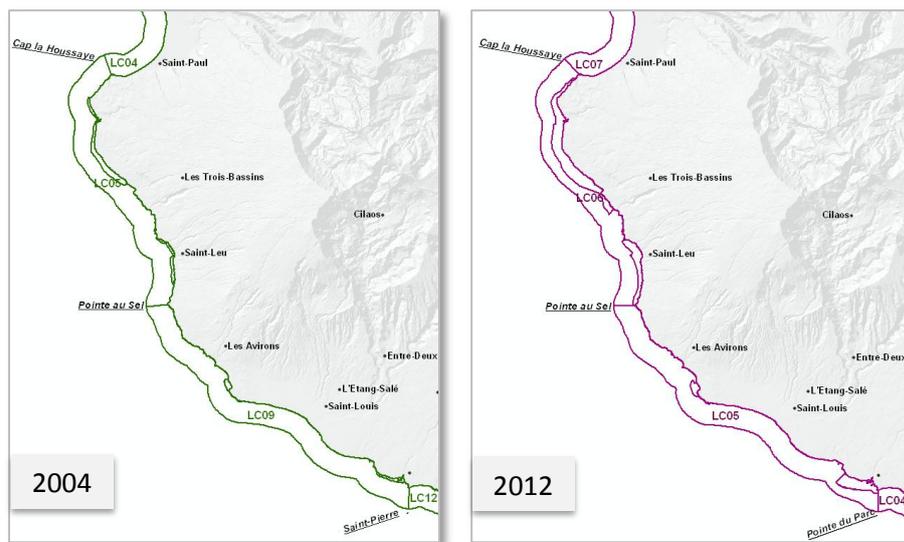
## 2.6.4 Ajustements associés au Type 4

### 2.6.4.1 Analyse des caractéristiques littorales du type 4

L'Ouest de l'île est le siège privilégié du développement des récifs coralliens. Les masses d'eau y partagent des caractéristiques de nature de fond et d'exposition. Les courants barotropes se distinguent sur cette côte du fait des caractéristiques morphologiques du littoral (Carte 12). En 2004, deux entités, ex-LC09 et ex-LC05 étaient proposées avec une limite au niveau de "La Pointe au Sel". Les courants maximums annuels de surface au Sud de la Pointe au Sel sont forts et liés aux alizés soufflants vers le Nord-Ouest. Les caractéristiques du relief, au Nord de la Pointe au Sel, confèrent à la côte un caractère plus abrité avec pour incidence une diminution de l'intensité des courants de surface. (Carte 8). Cette transition marquée au niveau de la Pointe au Sel justifie la présence d'une limite entre deux systèmes présentant une exposition différente aux vents. Cette limite est donc conservée et le type 4 est constitué de deux masses d'eau :

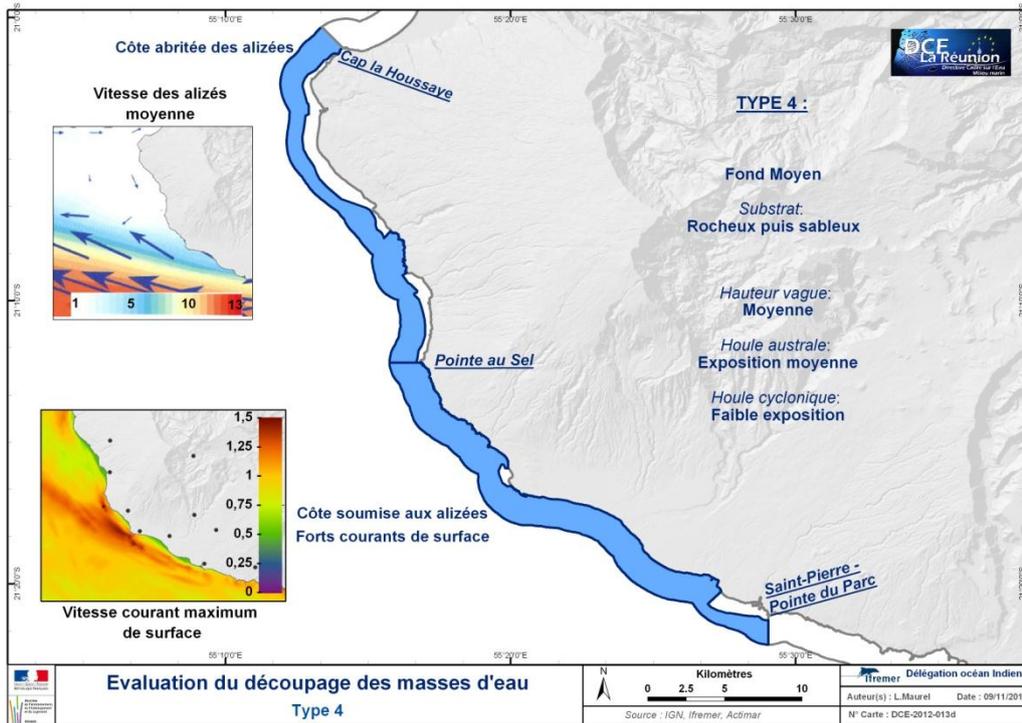
- De Saint-Pierre (La Pointe du Parc) à la Pointe au Sel (ex-LC09), masse d'eau exposée aux alizés, surtout en hiver, présentant des courants de surface importants (vitesse),
- De La Pointe au Sel au Cap La Houssaye (ex-LC05) protégée des alizés.

### 2.6.4.2 Comparaison : 2004 versus 2012



Carte 26 : Modifications du découpage des masses d'eau dans l'Ouest de l'île.

### 2.6.4.3 Carte de synthèse



Carte 27 : Masses d'eau associées au type 4 et caractéristiques de chacune au sein de ce type.

## 2.6.5 Ajustements des masses d'eau récifales

### 2.6.5.1 Analyse des caractéristiques des zones récifales

En 2004, la frontière marine des masses d'eau récifales (MER) avait été définie au niveau de la zone de déferlement du front récifal (en limite externe du platier). Une simple comparaison avec les orthophotographies littorales (IGN) révèle cependant de nombreuses anomalies qui nécessairement doivent conduire à revoir ces limites de manière plus précise. Disposant des images aériennes hyperspectrales qui offrent des perspectives nouvelles en termes de visualisation des fonds au-delà de la plateforme récifale, deux voies de réflexion ont été explorées pour proposer 2 scénarios distincts :

- En restant dans l'esprit du découpage de 2004, les limites océaniques des masses d'eau récifales sont ajustées à l'ensemble des zones de déferlement identifiables sur les prises de vue aériennes les plus récentes (Orthophotos IGN), ce qui revient à ne considérer que la plateforme récifale au titre de la DCE.
- En s'appuyant sur les images hyperspectrales acquises dans le cadre du projet Spectrhabet/Litto3D, les frontières des MER sont ajustées à l'écosystème récifal (i.e. l'ensemble des espaces bio construits) en tant qu'unité écologique, en intégrant les pentes externes du récif frangeant.

Ces deux stratégies ont été analysées de manière approfondie en distinguant pour chacune les incidences en termes de délimitation, d'agrégation et de taille d'entités.

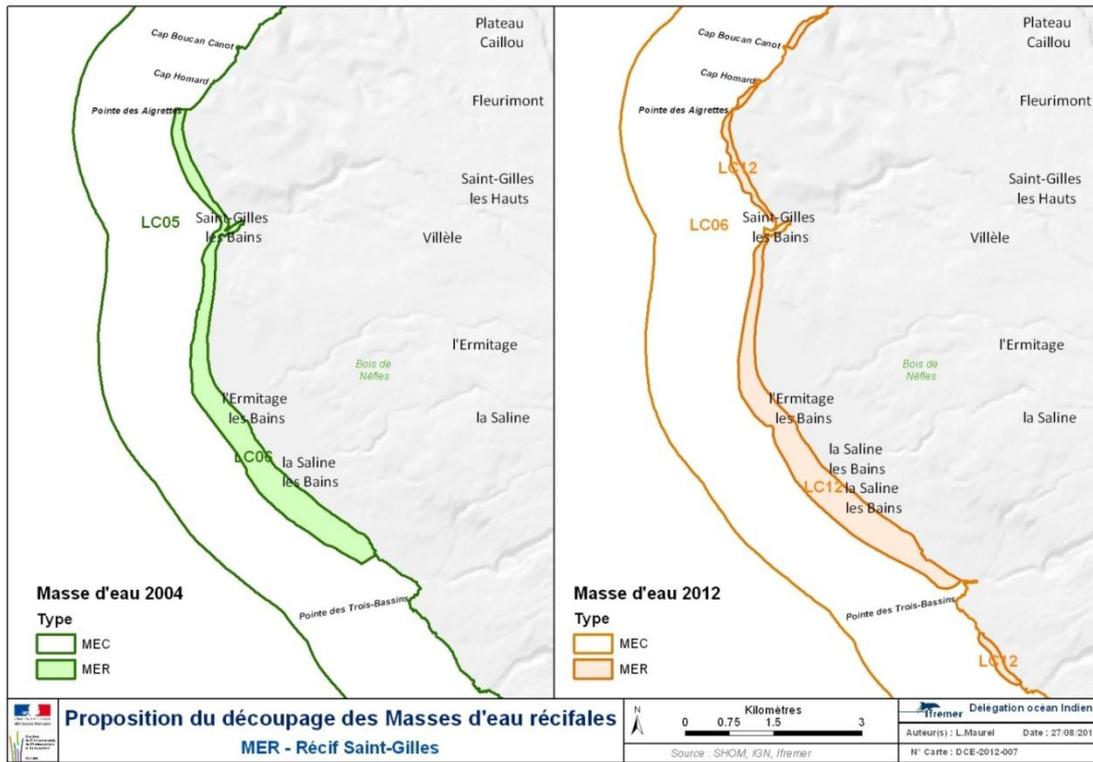
#### ***1. Cas 1 : Masse d'eau récifale limitée à la plateforme récifale***

L'analyse du découpage de 2004 révèle des incohérences. Ainsi, pour exemple, la masse d'eau récifale de Saint-Gilles s'interrompt, dans sa partie Sud, avant la limite de la plateforme (Figure 5, gauche). D'autre part, cette même plateforme ne se révèle pas continue le long du littoral compris entre Cap la Houssaye et Trois Bassins. Ces fragmentations (Figure 5, droite) du récif frangeant ne sont pas prises en compte. Ainsi, sur le secteur couvrant la zone récifale de Saint-Gilles-les-Bains, une analyse des zones de déferlement, identifiables sur les orthophotos de l'IGN, révèle pas moins de 4 platiers distincts de tailles très variables. Cette masse d'eau devrait donc être constituée non pas d'un seul polygone comme présenté dans le découpage 2004, mais de 5 entités distinctes.

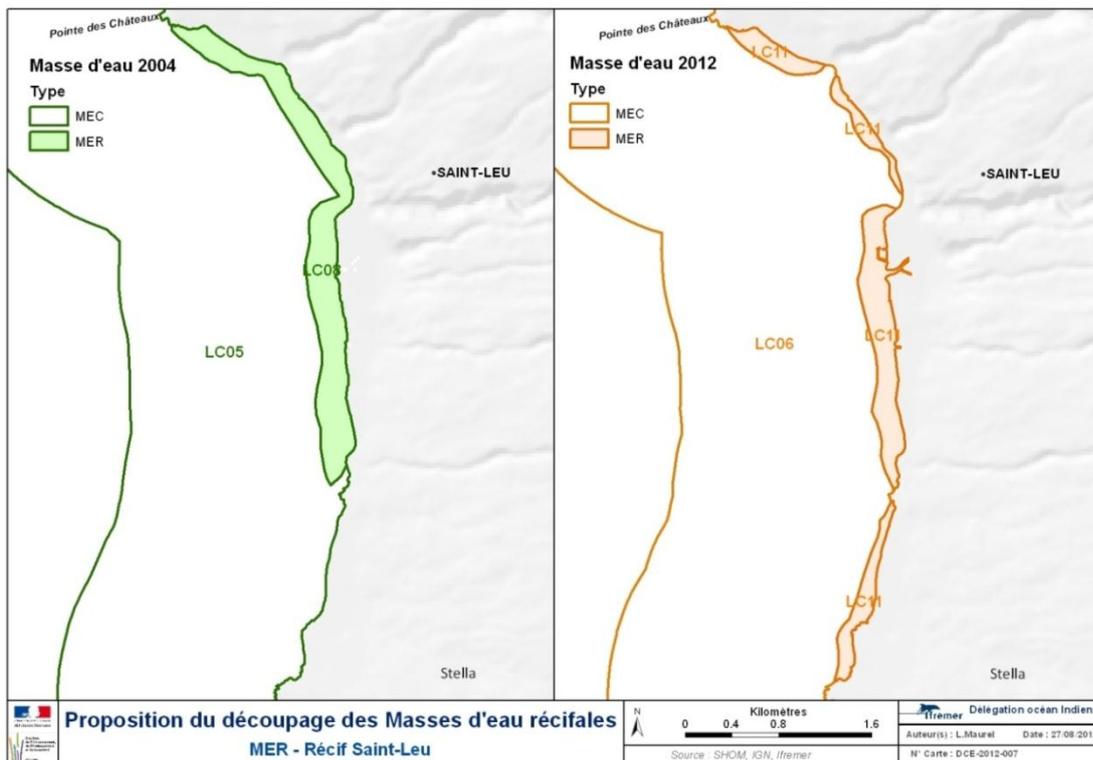


*Figure 5 : Superposition des limites adoptées en 2004 (vert) sur les images hyperspectrales (gauche) et celles proposées en 2012 (rouge) dans l'hypothèse où seule la plateforme récifale est prise en compte (droite). (Secteur La Saline – Trois Bassins)*

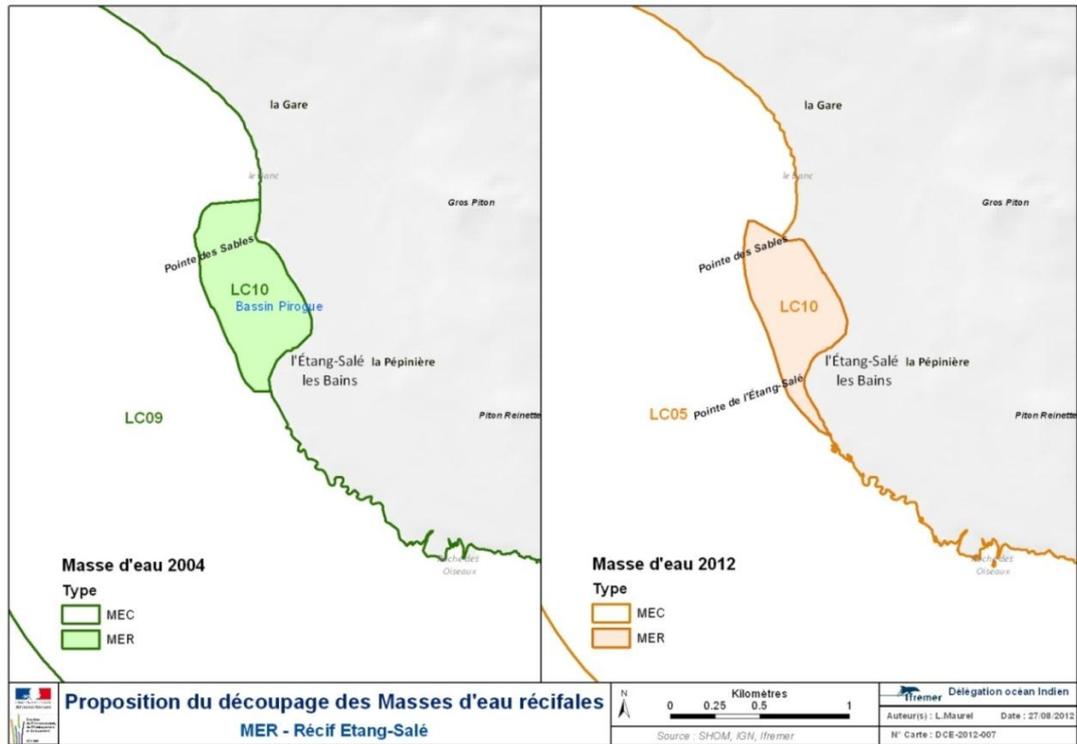
Le principe appliqué aux autres MER montre que cette logique conduirait à une fragmentation généralisée des MER (à l'exception de celle de Saint-Leu ; Carte 28 à Carte 31).



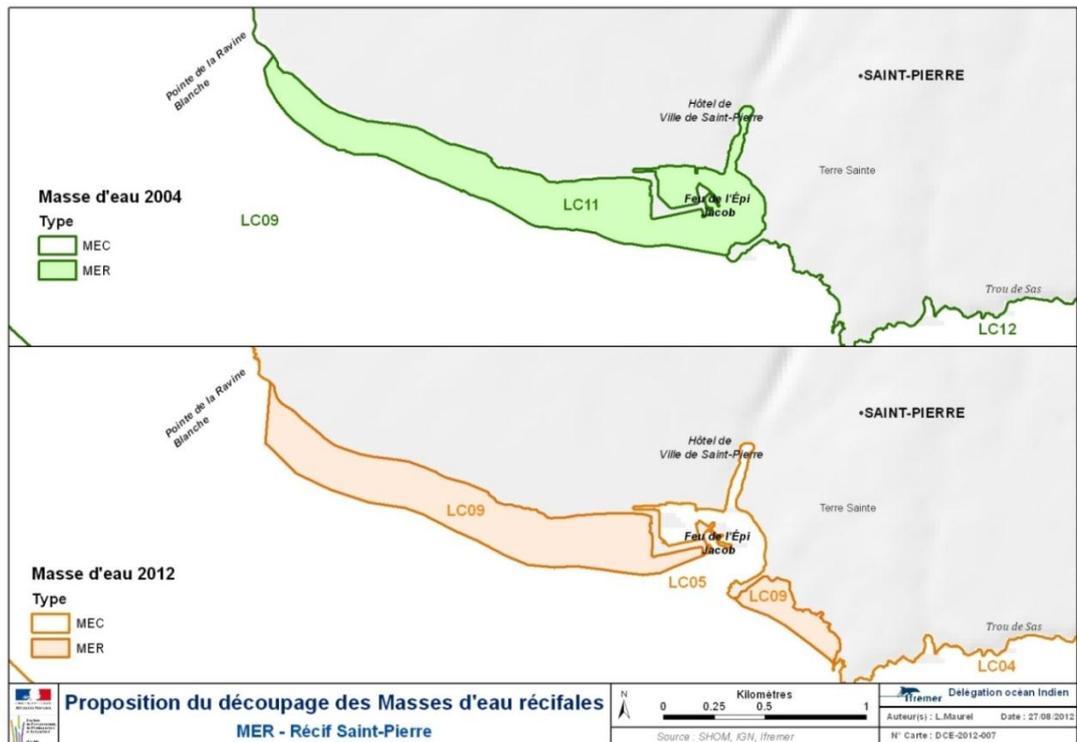
Carte 28 : Limites de la masse d'eau récifale Saint-Gilles retenues en 2004 (gauche) et celles proposées en 2012 dans l'hypothèse où seule la plateforme est prise en compte (droite : 5 entités).



Carte 29 : Limites de la masse d'eau récifale Saint-Leu retenues en 2004 (gauche) et celles proposées en 2012 dans l'hypothèse où seule la plateforme est prise en compte (droite).



Carte 30 : Limites de la masse d'eau récifale de L'Etang-Salé retenues en 2004 (gauche) et celles proposées en 2012 dans l'hypothèse où seule la plateforme est prise en compte (droite).



Carte 31 : Limites de la masse d'eau récifale Saint-Pierre retenues en 2004 (gauche) et celles proposées en 2012 dans l'hypothèse où seule la plateforme est prise en compte (droite).

Cette hypothèse de découpage, qui ne considère que les plateformes récifales, se traduirait par la création de 11 MER dont les surfaces seraient comprises entre 0,049 km<sup>2</sup> et 2,774 km<sup>2</sup>.

## II. Cas 2 : Masse d'eau récifale étendue à l'unité écologique "platier et pente externe"

Un des apports majeurs de l'imagerie hyperspectrale réside dans les capacités qu'elle offre de pouvoir visualiser les fonds marins jusqu'à des profondeurs pouvant dépasser 25 m. Sur les images hyperspectrales corrigées, acquises le long de la côte Ouest de l'île de La Réunion, il est aisé de repérer l'ensemble de la structure récifale composée du platier et de sa pente externe (Figure 6).

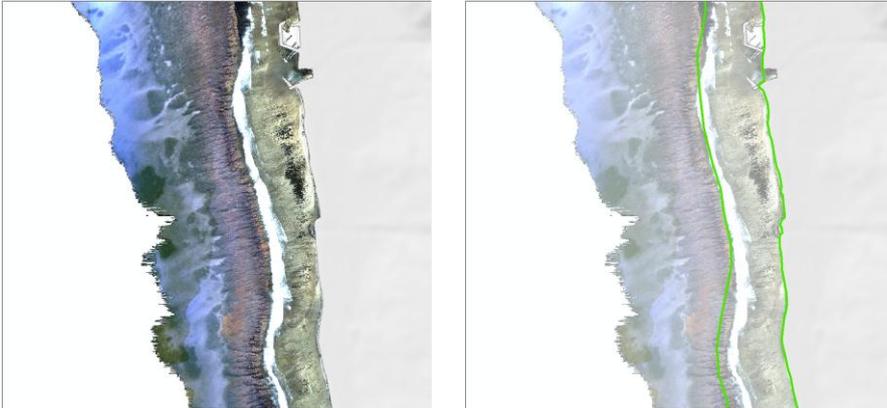


Figure 6: Image hyperspectrale après correction de l'effet de la colonne d'eau (à gauche).  
En jaune, limite de la masse d'eau récifale de Saint-Leu 2004 (à droite).

Les traitements issus de l'exploitation de ces images hyperspectrales permettent également d'accéder aux informations de nature bathymétrique à haute résolution (jusque 40 cm). Combinées à l'image corrigée et aux informations Lidar, il est alors possible d'apporter des précisions quant à la morphologie du récif frangeant dans son intégralité (Figure 7).

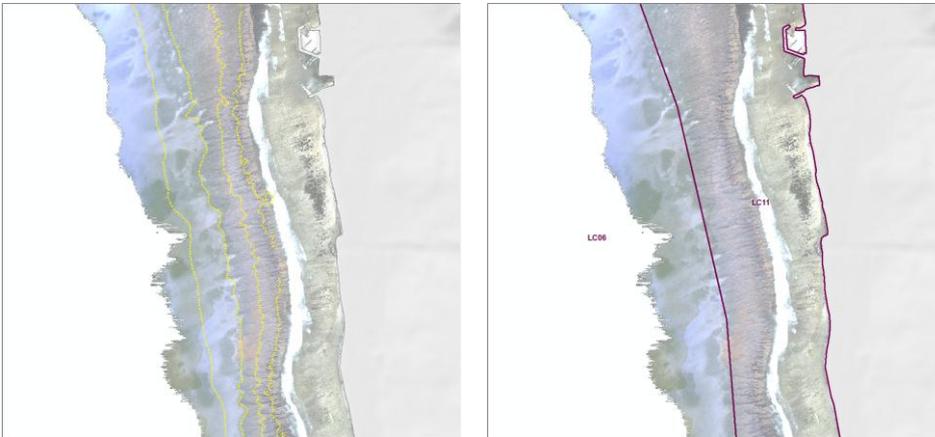
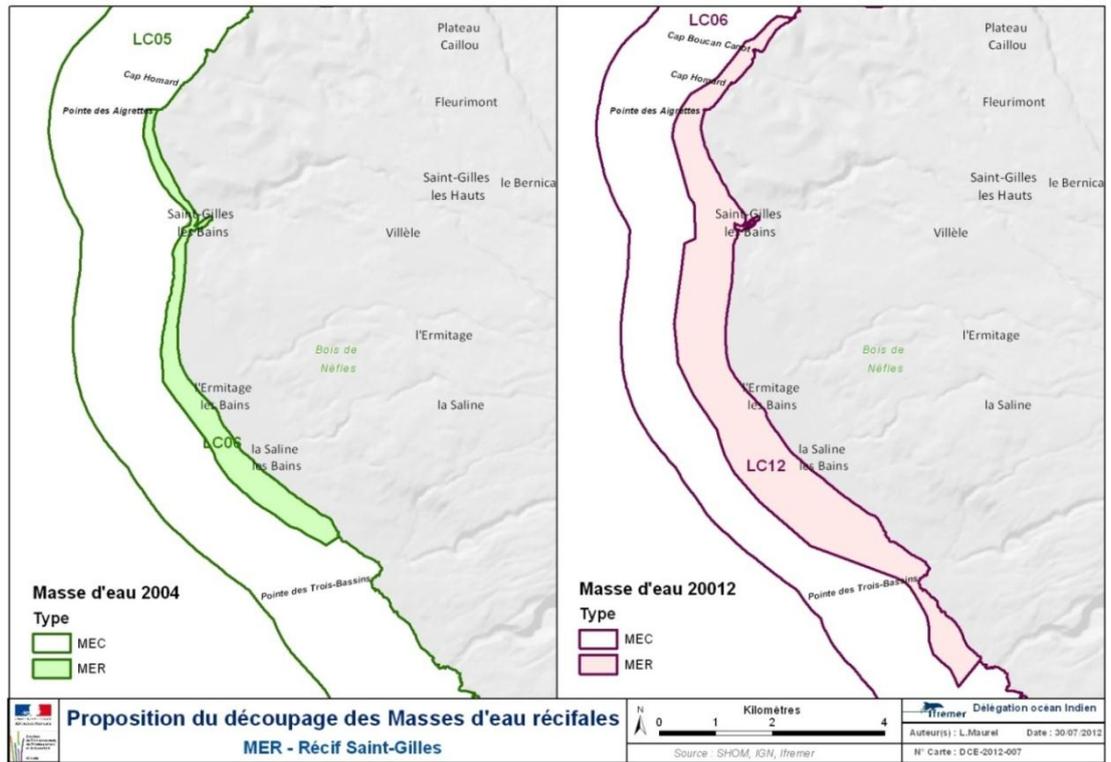


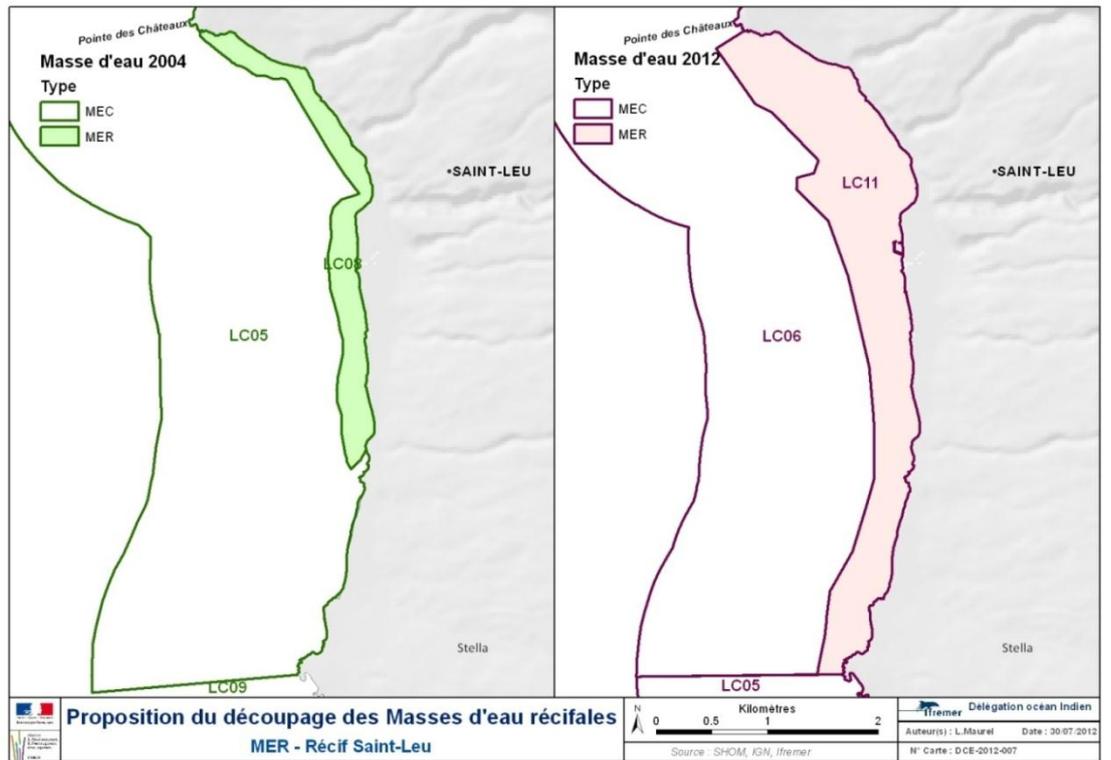
Figure 7 : Bathymétrie issue des données Lidar (à gauche), dessin de la nouvelle masse d'eau récifale Saint-Leu (à droite)

De manière générale, c'est entre 15-25 mètres de fond que se situe la limite inférieure de la pente externe.

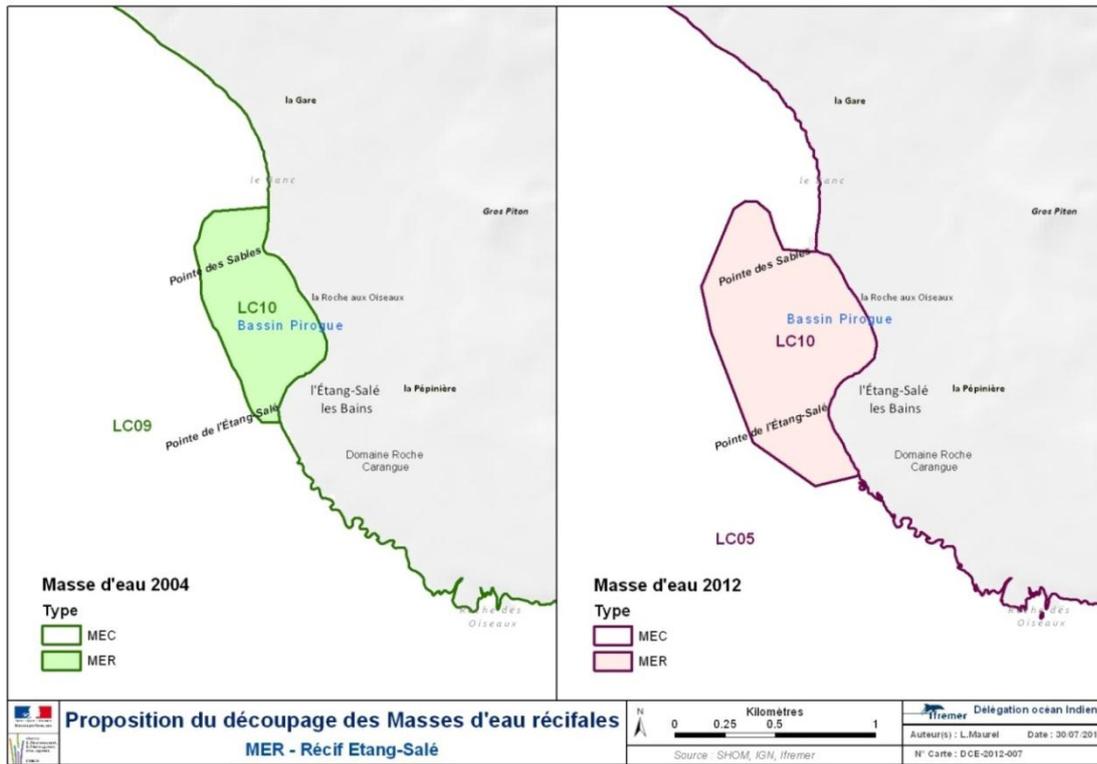
Sur la base de ces éléments nouveaux, il est proposé d'étendre la délimitation des masses d'eau récifales en intégrant la zone de platier et l'ensemble de sa pente externe en tant qu'unité écologique bio-construite (Carte 32 à Carte 35).



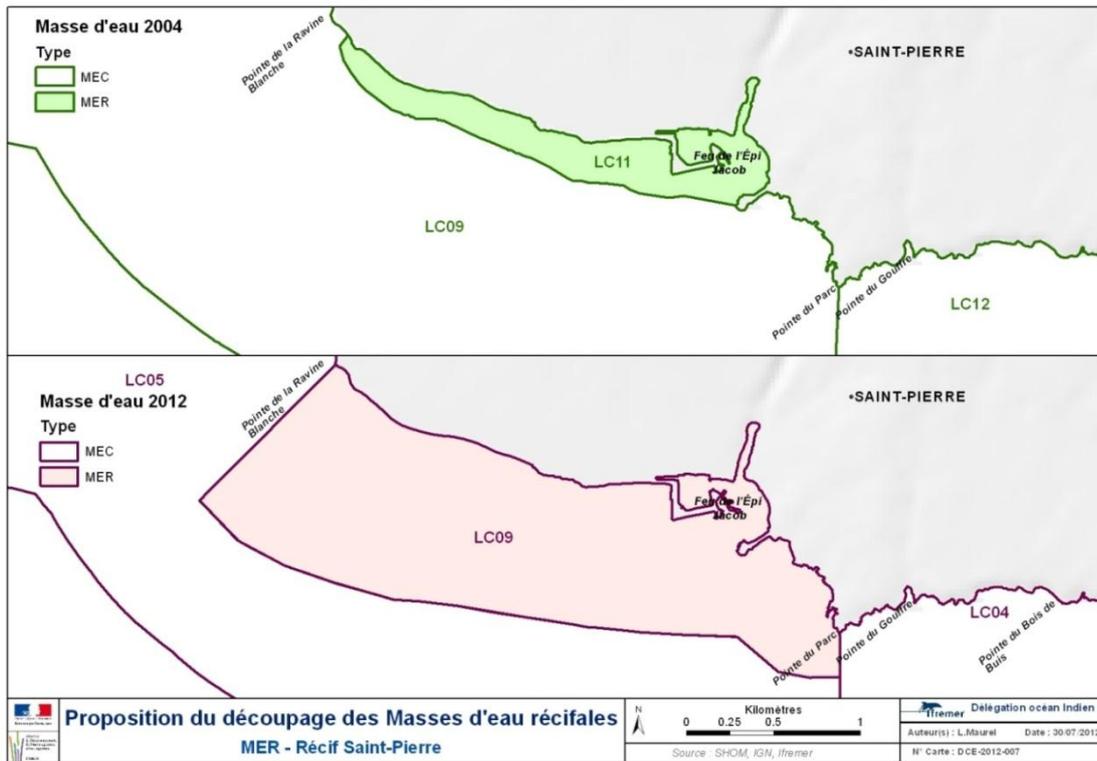
Carte 32 : Limites de la masse d'eau récifale Saint-Gilles retenues en 2004 (gauche) et celles proposées en 2012 dans l'hypothèse d'une prise en compte du platier et des pentes externes (droite).



Carte 33 : Limites de la masse d'eau récifale Saint-Leu retenues en 2004 (gauche) et celles proposées en 2012 dans l'hypothèse d'une prise en compte du platier et des pentes externes (droite).



Carte 34 : Limites de la masse d'eau récifale L'Etang-Salé retenues en 2004 (gauche) et celles proposées en 2012 dans l'hypothèse d'une prise en compte du platier et des pentes externes (droite).



Carte 35 : Découpage de la masse d'eau récifale Saint-Pierre dans le cas où plateforme et pente externe sont prises en compte.

**2.6.5.2 Conclusion sur les masses d'eau récifales**

Dans la première hypothèse (limite des MER ajustée sur la zone de déferlement), la logique conduirait à devoir considérer autant de masses d'eau que de fragments, avec pour conséquence la distinction potentielle de 11 masses d'eau récifales dont certaines seraient de très petite taille. Cette contrainte paraît d'autant moins pertinente que :

- il n'existe pas de différences significatives des conditions hydrodynamiques d'un fragment à l'autre dans un même secteur,
- par contre une réelle continuité écologique réside entre les plateformes récifales et leurs pentes externes associées.

En effet, les récifs coralliens de La Réunion sont des récifs frangeants. Pente externe et plateforme récifale (platier et dépression d'arrière-récif) forment une **unité géomorphologique et écologique** dont chaque partie est indissociable de l'autre (Figure 8).

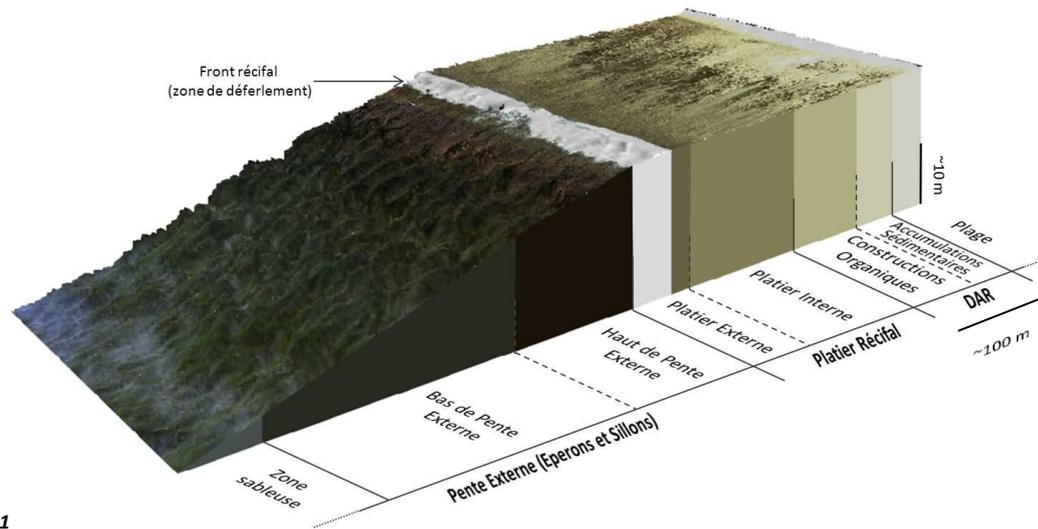


Figure 8 : Eléments de géomorphologie récifale du récif frangeant rencontré à La Réunion (adapté de Montaggioni et Faure (1980) et illustré par les images hyperspectrales), DAR : Dépression d'Arrière-Récif

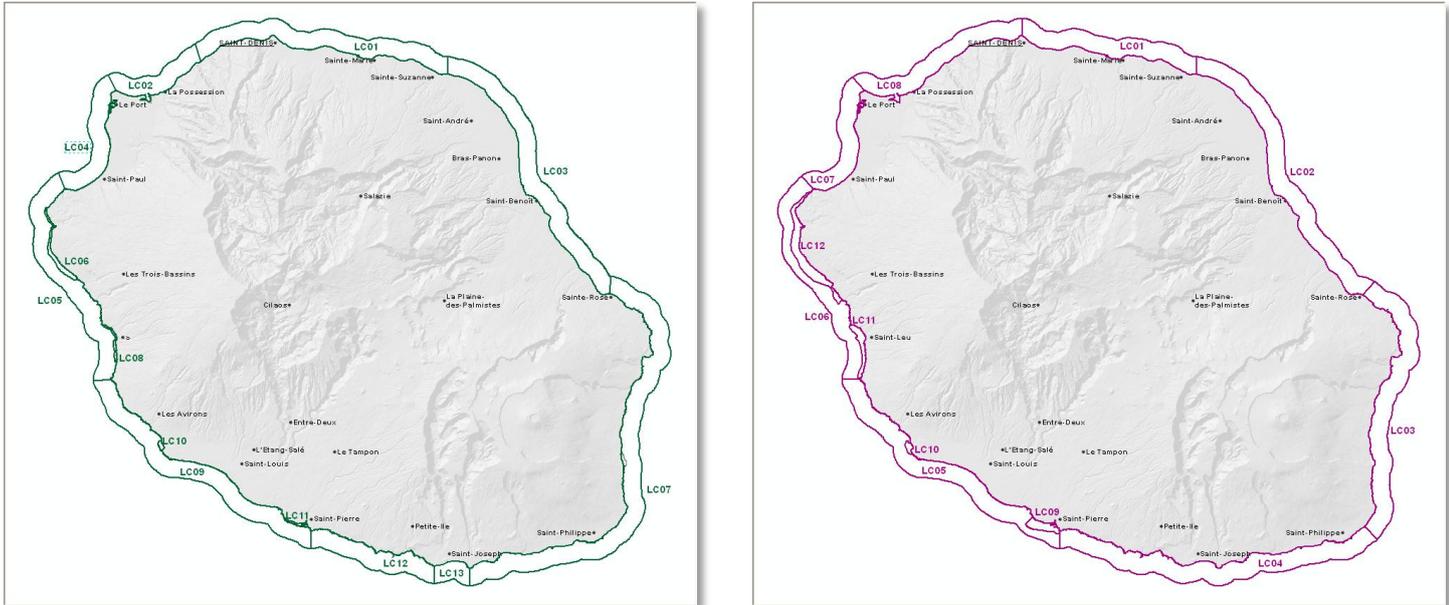
Dans ce contexte, la seconde hypothèse (délimitation des masses d'eau récifales intégrant les plateformes et les pentes externes) apparaît la plus cohérente. Non seulement elle permet d'intégrer l'ensemble de l'écosystème récifal en tant qu'unité écologique (logique également adoptée dans le domaine de la gestion par le GIP RNMR et les pouvoirs publics), mais il discrimine, morphologiquement, les 4 grandes entités récifales de la côte ouest de l'île. En outre, elle assure également une meilleure lisibilité des impacts potentiels sur l'ensemble du complexe récifal en cohérence avec les paramètres recommandés dans le cadre de la DCE tant sur la plate-forme récifale que sur les pentes externes (RCS benthos de substrats durs).

**2.7 Synthèse – Nouvelle typologie et découpage,**

Au terme de ce travail d'analyse en regard des nouvelles connaissances acquises et de leur prise en compte dans la typologie et la délimitation des masses d'eau, les modifications proposées portent sur :

- Passage de 13 à 12 masses d'eau (disparition de la ME Saint-Joseph ex-LC13),

- Réajustement de la limite entre les ME ex-LC12 et ex-LC07,
- Déplacement de la limite Grande Chaloupe vers le Barachois
- Rationalisation des limites entre masses d'eau (par standardisation sur des valeurs d'orientation fixes (0°, 45°, 90°, 135°, ...))
- Remodelage de l'ensemble des limites des 4 masses d'eau récifales en intégrant l'ensemble de la structure corallienne bio-construite (plateau récifal et pente externe).



Carte 36 : Modifications du découpage des masses d'eau (gauche : 2004 ; droite : proposition 2012)

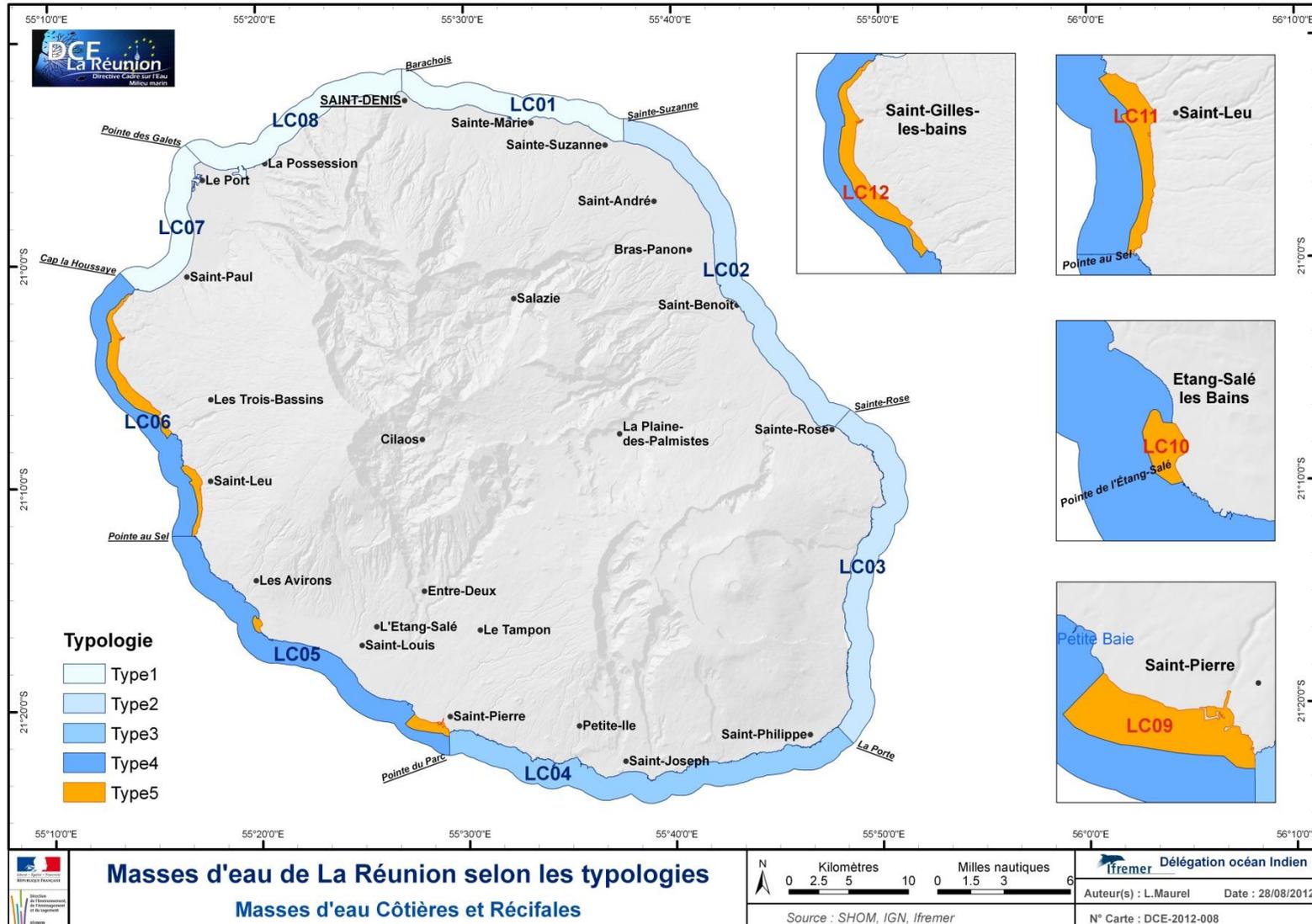
Le nouveau découpage des masses d'eau littorales proposé pour La Réunion compte deux types de masses d'eau côtières, les masses d'eau côtières (MEC) a proprement parlé et les masses d'eau côtières de type récifale (MER).

En s'appuyant sur l'ensemble des résultats obtenus, et illustrés dans les cartes de ce document, nous pouvons regrouper les masses d'eau réunionnaises en 5 types différents. L'un d'eux, regroupant les masses d'eau récifales, se distingue de tous les autres par la particularité de ne pas être en contact ouvert sur l'océan mais au contraire d'être intégralement séparées du large par les masses d'eau côtières.

A noter également qu'à La Réunion, aucune masses d'eau « de transition » (masses d'eau estuariennes) n'a été définie<sup>9</sup>.

(Page suivante) Carte 37 : Découpage des masses d'eau 2012 et typologie associée

<sup>9</sup> Des masses d'eau de transition auraient pu théoriquement être définies au débouché des grandes rivières réunionnaises. Cependant, cette possibilité n'a pas été retenue du fait de l'extension très limitée de ces débouchés et du caractère transitoire des apports de ces cours d'eau.



**Projet Bon I**  
 Actualisation  
 Volet "eaux c

Typologie	Masses d'eau	Nom	Limites	Nature des fonds	Bathymétrie (Moyenne) < 75m : petits fonds 75 à 150 m : Fonds moyens > 150 m grands fonds	Hauteur moyenne des vagues (Moyenne)	Exposition particulière aux :	
							Houles australes (maximum modélisé Hs)	Houles cycloniques (maximum modélisé)
Type 1	LC01	Saint-Denis	Barachois - Sainte-Suzanne	Meuble, sablo- vaseux	Petits fonds à moyens	Faible	Faible	Forte à moyenne
	LC07	Saint-Paul	Cap La Houssaye - Pointe des Galets					
	LC08	Le Port	Pointe des Galets - Barachois					
Type 2	LC02	Saint-Benoit	Sainte-Suzanne - Sainte-Rose	Hétérogène	Moyens à grands fonds	Moyenne à Forte	Faible à moyenne	Forte
	LC03	Volcan	Sainte-Rose - La Porte					
Type 3	LC04	Saint-Joseph	La Porte - Pointe du Parc	Basaltique à la côte puis sablo- vaseux vers le large	Grands Fonds	Très forte	Forte	Moyenne
Type 4	LC05	Saint-Louis	Pointe du Parc - Pointe au Sel	Basaltique à la côte puis sableux vers le large	Moyens	Forte à Moyenne	Forte à moyenne	Faible
	LC06	Ouest	Pointe au Sel - Cap La Houssaye					
Type 5	LC09	Saint-Pierre	Zone récifale - Saint-Pierre	Récif corallien	Petit Fond	Moyenne/ Forte	Moyenne	Faible
	LC10	Etang-Salé	Zone récifale - Etang-Salé					
	LC11	Saint-Leu	Zone récifale - Saint-Leu					
	LC12	Saint-Gilles	Zone récifale - Saint-Gilles					

Tableau 5 : Caractéristiques et typologies des masses d'eau

### 3 Méthode et organisation pour la définition du Réseau de Contrôle de Surveillance (RCS)

#### 3.1 Organisation

Le réseau de contrôle de surveillance de la DCE a pour vocation, de manière générale, de permettre d'appréhender l'état globale d'une masse d'eau. Cette évaluation est menée en combinant une évaluation de son état écologique et de son état chimique. L'état écologique repose sur différents éléments de qualité (EQ) de nature chimique et physico-chimique mais également biologique (phytoplancton, macroalgues et faune invertébrée benthique). L'état chimique, quant à lui, s'évalue en référence à une liste définie de substances définies par la Directive. La Réunion présente quelques particularités (contexte tropical, enjeux liés aux écosystèmes coralliens, conditions environnementales particulières, RCS émergent) qui ont très vite révélé l'impossibilité de pourvoir y transposer simplement les méthodes existantes. Au contraire, il est rapidement apparu nécessaire soit d'adapter l'existant (physico-chimie, contaminants, ...) soit de proposer de nouvelles stratégie (adaptées par exemple au peuplement d'invertébrés benthiques de substrat durs des récifs coralliens)

Pour ce faire, quatre groupes de travail thématiques (GT), associant les experts scientifiques locaux et les référents nationaux basés en métropole (Tableau 2), ont été créés, chacun des GT ayant pour mission, dans son domaine de compétence :

- de **définir les paramètres et indicateurs** (valeurs seuils, grilles) pertinents pour évaluer la qualité des masses d'eau,
- de **bancariser** (ou faire bancariser) dans Quadrigé<sup>2</sup> (ou Q<sup>2</sup>), base nationale de référence pour l'ensemble des données environnementale marines, les données potentiellement pertinentes acquises localement dans le cadre de suivis ou d'études existantes<sup>10</sup>,
- d'**utiliser les grilles d'indicateurs** définies/retenues et les données pertinentes bancarisées afin de réactualiser l'état des lieux des masses d'eau réunionnaises,
- d'**élaborer le réseau pérenne** de suivi de la DCE dans le cadre du contrôle de surveillance.

Tableau 6 : Composition des 4 groupes de travail thématiques DCE Réunion

Groupes de Travail	Délégation Ifremer Réunion						Ifremer TOULON		ANAMP	Univ ECOMAR			ARVAM	PARETO	IRD	GIP RMRM			Référents DCE Nationaux						Appui local et extérieur												
																		IFREMER			ONEMA			CEDRE	LPTC												
	M. Rogert	L. Mairell	C. Vermeiret	M. Duval	R. Le Golf	B. Andrial	J.-L. Gonzalez	P. Mouquet	P. Court	L. Bigot	P. Froehin	J. Tunquet	H. Cambert	M. Zubia	J.P. Oued	J-B Neat	P. Chabanat	E. Tessier	K. Pothin	B. Chauvin	P. Taliec	A. David	P. Le Mao	N. Desroy	C. Bellin	L. Lampart	L. Miossec	E. Gauthier	M.C. Ximenes	O. Nairn	G. Fleury	N. Guyomarch	S. Van Gansbe	N. Tjebe	H. Budzinski		
CHIMIE	X		X	X	X	X						X	X							X	X	X										X	X	X	X		
PHYSICO-CHIMIE & PHYTOPLANCTON	X	X	X	X	X			X	X		X	X					X			X	X		X	X	X	X	X	X									
BENTHOS SUBSTRATS MEUBLES	X	X	X		X					X	X									X	X	X															
BENTHOS SUBSTRATS DURS	X	X	X		X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X								

<sup>10</sup> Ce rapatriement sous Q<sup>2</sup>, outre la sécurisation des données au sein du serveur SISMER, a également pour objectif de permettre d'exploiter l'ensemble des données disponibles au moyen des mêmes outils que ceux employés dans le couplage Q<sup>2</sup>-S3E (Système d'Evaluation de l'Etat des Eaux) permettant le rapportage européen de la DCE.

Les quatre GT ont également été associés aux réflexions ayant amené au redécoupage des masses d'eau présenté au chapitre précédent. Les propositions des quatre GT relatives aux données à bancariser, au choix ou à l'adaptation des indicateurs, au positionnement des points de suivi et aux fréquences d'échantillonnage, aux quatre réseaux du contrôle de surveillance, ainsi qu'aux compléments de connaissance à acquérir, ont été initiés dans le cadre du Projet BON ETAT (Le Goff *et al.*, 2010). Les travaux ont ensuite été approfondis puis consolidés dans le cadre du présent projet et sont présentées dans les chapitres suivants.

La description précise des 4 réseaux du RCS de la DCE, ainsi que les protocoles permettant leur mise en œuvre opérationnelle figurent dans 4 fascicules techniques qui ont fait l'objet d'une édition particulière et peuvent être considérés comme complémentaires du présent rapport dans le cadre du projet "BON ETAT II".

### 3.2 Bancarisation et valorisation des données acquises

De nombreuses applications de "service public" servent de support dans le cadre de la production et de la diffusion de données et d'informations plus ou moins élaborées, mais, notamment en ce qui concerne le milieu marin, de nouveaux portails méritent d'être développés. En effet, suite à la publication de plusieurs textes européens transposés en droit français (convention d'Aarhus traduite par la directive 2003/4/CE, Directive Inspire Directive Inspire 2007/2/CE), la **mise à la disposition des citoyens des données "environnementales"** est devenue une obligation. La **Convention d'Aarhus**<sup>11</sup>, concerne ainsi l'obligation de communiquer et diffuser certaines informations publiques relatives au domaine de l'environnement. La **Directive Inspire 2007/2/CE**, en cours de transposition dans le droit français, impose quant à elle, à ces mêmes autorités, de rendre leurs données géographiques accessibles via Internet et d'en assurer le partage et l'interopérabilité.

Afin de faire face à ces exigences, les services de l'Etat ont engagé une modernisation dans l'organisation, la structuration et la diffusion de l'information géographique. Plusieurs portails ont ainsi été mis en place et de nombreuses actions partenariales mises en œuvre. Dans le domaine de l'environnement marin, le SINP Mer et le volet marin du Système d'Information sur l'Eau (Quadrige<sup>2</sup>), les portails Sextant<sup>12</sup> et de l'INPN<sup>13</sup> illustrent ces **approches de bancarisation, de mutualisation et de mise à disposition de la donnée géographique**.

Ces démarches initiées au niveau national sont en cours de transcription en océan Indien et à La Réunion en particulier. Plusieurs missions, menées dans le cadre des "Systèmes d'Information de l'Etat" ont ainsi été conduites à partir de 2009 sur l'île. Des formations ont également été mises en œuvre au niveau des services de l'Etat afin de coordonner et rendre effectif l'accès aux données, qu'elles soient issues des suivis environnementaux ou de nature géographique.

La bancarisation des données est donc une étape tout à fait fondamentale dans le cadre de la conduite d'un réseau de suivi, aussi importante, par exemple, que les phases de prélèvement

<sup>11</sup> Une des déclinaisons françaises de la Convention d'Aarhus est la Circulaire du 18 octobre 2007 relative à la mise en œuvre des dispositions régissant le droit d'accès à l'information relative à l'environnement (Texte non paru au Journal officiel) NOR : DEVG0700268C

<sup>12</sup> <http://www.ifremer.fr/sextant/>

<sup>13</sup> Inventaire National du Patrimoine Naturel

ou d'analyse. Un effort tout particulier a donc été développé dans le cadre du présent projet pour l'implantation et l'adaptation des bases Q<sup>2</sup> et sextant à La Réunion.

### 3.2.1 Données utilisées

Parmi les données déjà disponibles à La Réunion, seules celles ayant été acquises dans le respect de protocoles standardisés reconnus, disposant de l'ensemble des métadonnées, et rendues libres de droit d'utilisation par leur producteur, ont été jugées utilisables dans le cadre de la DCE.

### 3.2.2 Bancarisation des données dans Quadrigé<sup>2</sup>

#### 3.2.2.1 Outil Quadrigé<sup>2</sup>

Pour gérer les données de la surveillance du littoral, l'Ifremer a développé le système d'information Quadrigé<sup>2</sup>, qui associe à une base de données une panoplie d'outils d'interprétation et d'élaboration de produits d'information<sup>14</sup>. Quadrigé **constitue un élément du Système d'Information sur l'Eau (SIEau)**, et à ce titre, contribue aux travaux du **Service d'Administration National des Données et Référentiels sur l'Eau (SANDRE)**.

Un effort important à l'échelle nationale, a été mené ces deux dernières années, entres autres, pour :

- l'intégration des données, notamment celles concernant le benthos qui sont ainsi passées de 124 données saisies en 2009 à 48 790 données saisies en 2010,
- l'uniformisation des référentiels taxinomiques avec mise en cohérence avec le World Register of Marine Species (WoRMS) et la compatibilité au SANDRE de la taxinomie.

A La Réunion, des actions plus spécifiques ont été menées dans le cadre de la DCE, dont :

- plusieurs missions de personnel de la cellule d'administration Quadrigé<sup>2</sup> :
  - du 1<sup>er</sup> au 21 Octobre 2010 pour la formation des utilisateurs locaux à l'utilisation et l'intégration des données DCE,
  - du 21 Novembre au 10 décembre 2011 pour l'intégration des données DCE et SINP réunionnaises.
- le développement d'interface de saisie pour intégration des données (§3.2.2.4).

La cellule Quadrigé<sup>2</sup> est également impliquée aux côtés de la Délégation Ifremer Océan Indien dans une perspective de "fiabilisation de l'acquisition des données environnementales" qui prévoit, au-delà du périmètre de la DCE, la bancarisation des données acquises au titre de la loi sur l'eau dans le cadre d'autres études et suivis en eaux littorales et marines (§3.2.3.2).

<sup>14</sup> Mis en service en 2008, la base de données Quadrigé<sup>2</sup> a nécessité, pour son développement : 8 temps plein Ifremer sur 3 ans, pour un budget de sous-traitance de 1 millions d'euros sur 3 ans soit environ 3000 jours de développement.

Pour l'année 2012, Quadrigé<sup>2</sup> prévoyait : 6 temps plein Ifremer dont 3 temps plein à la cellule d'administration, un budget de fonctionnement et d'investissement d'un peu plus de 500 000 €uros dont environ 120 000 €uros pour son maintien en condition opérationnel. Des conventions avec l'ONEMA, le SINP, la DEAL Réunion sont en cours d'élaboration.

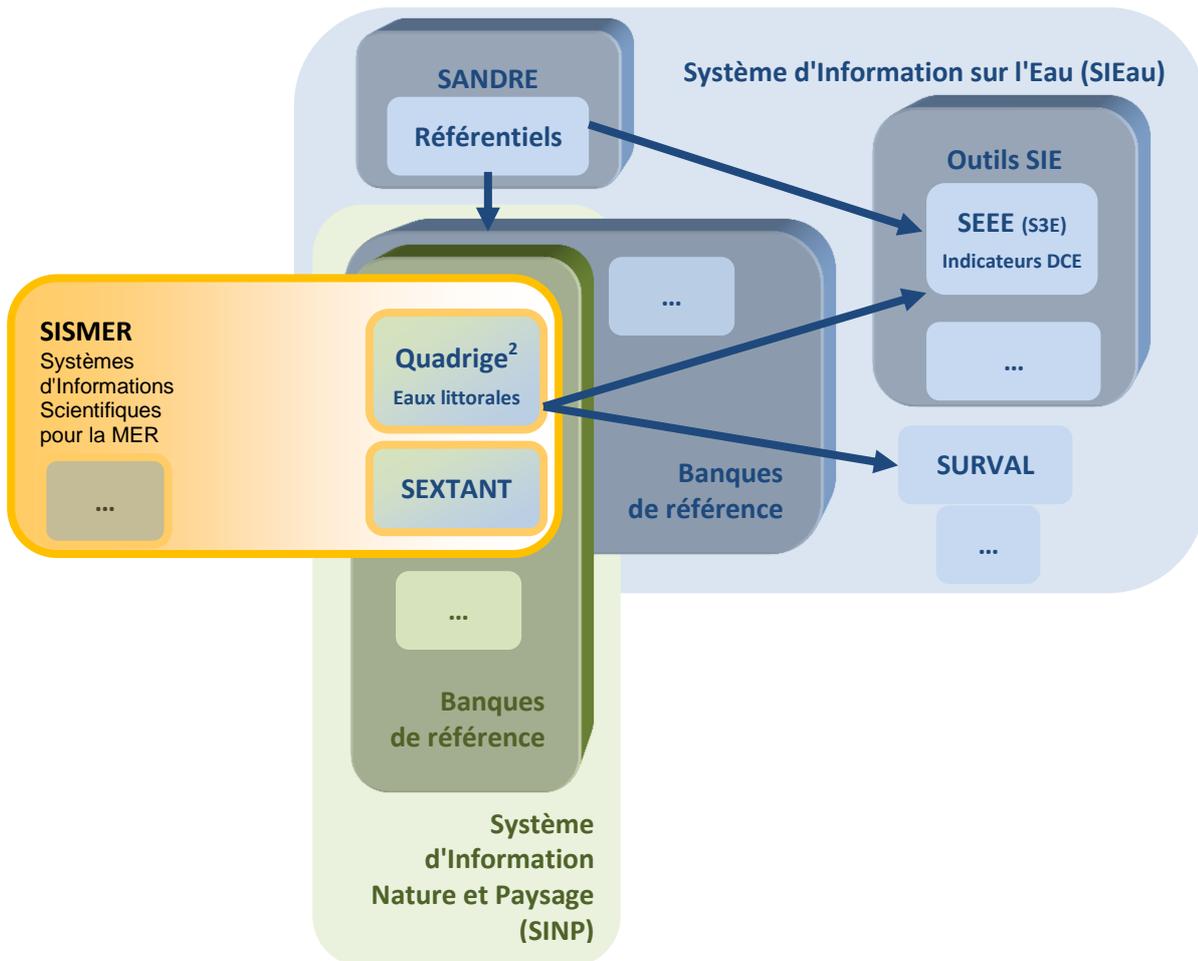


Figure 9 : Positionnement de Quadrigé<sup>2</sup> au sein des systèmes d'information SIEau / SINP / SISMER

Quadrigé<sup>2</sup> assure plusieurs fonctions qui le rendent indispensable :

- **la bancarisation des données élémentaires** de la surveillance, c'est à dire des résultats d'analyses de l'ensemble des réseaux de surveillance. Cette bancarisation est sécurisée, optimisée, encadrée et évolutive. Il s'agit, dans tous les sens du terme, d'une "banque", avec toute la rigueur de gestion que cela sous-entend,
- **la qualification, l'interprétation et la valorisation de la donnée.** Dès lors que la donnée est bancarisée et qu'un niveau de qualité lui a été associé, elle devient disponible pour un grand nombre d'applications.

Dans les produits de diffusion/valorisation, on trouve :

- un outil de production d'**indicateurs** pour la DCE (le **S3E**),
- un outil de mise à disposition pour le grand public via des interfaces cartographiques **SURVAL**, à partir des différents sites de l'Ifremer ou de ses partenaires,
- un outil de création de bulletins, qui étend et enrichit l'existant.

Au niveau national, Q<sup>2</sup> est aujourd'hui **désigné par le Ministère en charge de l'environnement comme le système d'information de référence pour les eaux littorales**. A ce titre, il se doit d'alimenter le SIE et ses outils, dont le Système d'Evaluation de l'Etat des Eaux de l'ONEMA (S3E), d'une façon régulière et normalisée. Afin de n'avoir qu'un référentiel

unique au niveau national, toutes les données DCE-utiles (milieu marin) sont à bancariser dans Q<sup>2</sup>.

La classification officielle de l'état des masses d'eau se fera par le S3E (alimenté par l'ensemble des bases de données liées à la DCE). Il est muni de deux applications informatiques : la **simulation** (mise au point de métriques, d'indices, règles) qui permet le lancement de calculs d'indicateurs et l'**évaluation** qui est une application destinée aux professionnels permettant d'obtenir les résultats de la simulation. C'est l'outil S3E qui sera utilisé dans le cadre du rapportage européen sur la DCE, d'où, à nouveau, l'importance de bancariser l'ensemble des données dans Q<sup>2</sup>.

### 3.2.2.2 Intégration des données dans Q<sup>2</sup>

L'intégration des données dans Q<sup>2</sup> nécessite 4 étapes.

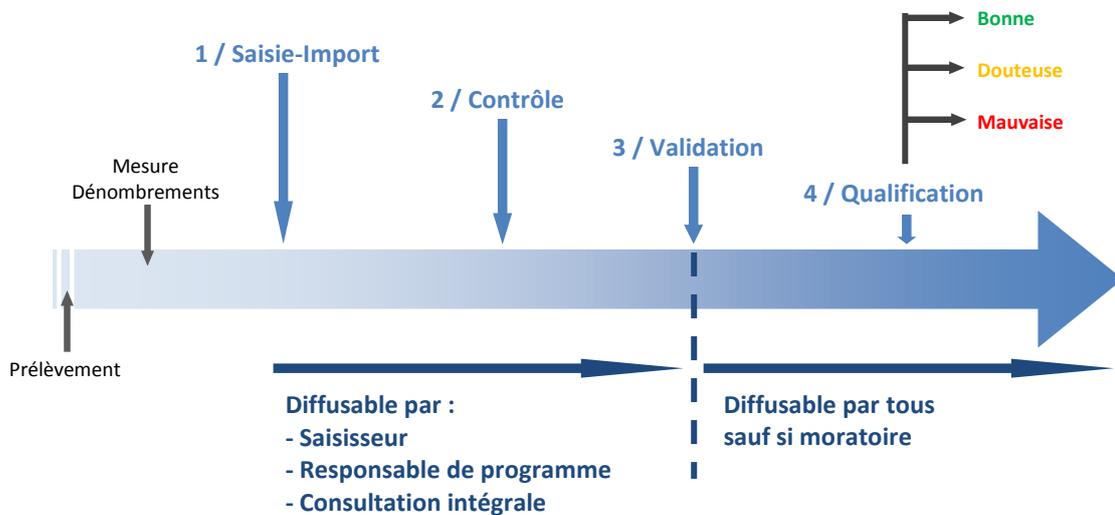


Figure 10 : Schéma de principe de l'intégration des données dans Quadrigé<sup>2</sup>

#### 1. Saisie des données (sens BDD)

La saisie est réalisée sous la responsabilité du responsable de l'acquisition de la donnée (ex : titulaire d'un marché).

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).

Il existe deux formats nationaux d'échanges possibles : format SANDRE ou format EDILABO. Les caractéristiques (et logiciels de vérification de format) de ces formats sont disponibles sur le site du SANDRE.

- Le format SANDRE (format XML) est utilisé plus particulièrement pour l'intégration d'un ensemble de données : passages, prélèvements, échantillons et résultats.
- Le format EDILABO est utilisé pour les échanges entre "demandeurs d'analyses" et "laboratoire d'analyse fournisseur de résultats" ceux-ci, a priori, ne connaissant pas les informations sur les dates, lieux de passage et caractéristiques du prélèvement, d'où l'impossibilité d'intégrer directement ces fichiers.

La saisie peut être facilitée par l'utilisation d'un masque de saisie intermédiaire (type Excel©) permettant un préformatage des données, standardisé et normalisé. Le format XML nécessite la création d'une plate-forme de saisie alors que la saisie dans Excel est simple et connue par tout le monde. La saisie directe dans Q<sup>2</sup> nécessite une formation préalable doublée d'une pratique régulière, conditions plus difficiles à réunir pour les partenaires.

**Il est donc fortement recommandé de consulter l'Ifremer avant d'envisager l'utilisation d'une interface de saisie.**

## **II. Contrôle des données (sens BDD)**

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).

## **III. Validation des données (sens BDD)**

La **validation** est l'action effectuée par le saisisseur qui certifie ainsi que toutes les opérations de contrôle ont été réalisées. Les données validées sont accessibles à tous les utilisateurs de Q<sup>2</sup>. 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.

## **IV. Qualification des données (sens BDD)**

La **qualification** est effectuée par un utilisateur de Q<sup>2</sup> ayant les droits de "qualificateur", s'appuyant sur les experts du domaine concerné. Elle attribue un niveau de qualité (bon, douteux, mauvais) à chacun des résultats bancarisés. La qualification des données se fait en plusieurs opérations selon des procédures spécifiques : pré-qualification automatique, tests statistiques, conformité au cahier de prescription, dire d'expert, etc. La qualification peut amener à la modification de données, les données initiales devant être conservées. Un historique des qualifications (nature, motif) est entretenu par le système.

### **3.2.2.3 Terminologie Q<sup>2</sup>**

La saisie des données passe par la compréhension du fonctionnement de Q<sup>2</sup> et l'utilisation de la terminologie adaptée.

*Tableau 7 : Terminologie Quadrigé<sup>2</sup>*

Terme	Définition	Exemple
<b>Programme</b>	Désigne les activités qui sont à l'origine de la collecte d'un ensemble cohérent de données, que ce soit pour les réseaux de surveillance ou pour des études limitées dans le temps.	REPHY
<b>Stratégie</b>	Définit a priori ce que devront être les données présentes dans la base en fonction du <b>programme</b> à l'origine de la collecte des données. Il s'agit de la <b>liste des paramètres</b> à mesurer sur chaque <b>lieu de surveillance</b> , ainsi que des <b>méthodes préconisées</b> pour chacun de ces paramètres.	Outre Mer La Réunion - RHLR - 2012

Terme	Définition	Exemple
<b>Lieu de surveillance</b>	Lieu géographique où il est prévu de faire des observations, des mesures et/ou des prélèvements. Il est localisé de façon unique par son emprise cartographique (polygone, ligne ou point). Un lieu de mesure peut être utilisé par plusieurs programmes.	126-P-008 Lagon Saint Leu
<b>Paramètre</b>	Un paramètre est une propriété du milieu ou d'un élément du milieu qui contribue à en apprécier les caractéristiques et/ou la qualité et/ou l'aptitude à des usages. Le paramètre se décline en deux types : quantitatif et qualitatif.	P : Ammonium NH <sub>4</sub> <b>P : PCB 126</b>
<b>Support</b>	Un des matériaux constitutifs du prélèvement, sur lequel l'analyse ou le dénombrement va être fait. Cette notion est habituelle surtout pour les analyses de type chimique, mais elle est élargie ici de façon formelle à la biologie.	S : Eau Filtrée <b>S : Bivalve</b>
<b>Fraction</b>	Une fraction analysée est un composant du support, sur laquelle porte l'analyse.	<b>F : Chair totale égouttée</b>
<b>Méthode</b>	Les seules méthodes reconnues par le SANDRE sont les méthodes normalisées par l'AFNOR ou les méthodes largement reconnues. Les méthodes Quadriges <sup>2</sup> , qu'elles soient reconnues par le SANDRE ou non, sont rassemblées dans une liste qui couvre tous les domaines pour lesquels il existe un paramètre.	M : Fluorimétrie flux (Aminot A. Kérouel R. 2007 – Ammonium) <b>M : Chromatographie Gaz – spectrométrie de masse haute résolution</b>
<b>Quadruplet PSFM</b>	Un quadruplet est constitué de l'association de 4 éléments : Paramètre – Support – Fraction – Méthode. C'est ce que l'on appelle un PSFM. Le quadruplet définit les résultats d'analyse	P + S + F + M
<b>Passage</b>	Ensemble d'opérations réalisées pour un ou plusieurs programmes sur un lieu de surveillance à un moment donné (date et heure de début et de fin). La durée du passage peut être variable.	RHLR Saint-Paul (Large) 13 Juillet 2012 à 14h50
<b>Prélèvement</b>	Partie représentative du milieu en un endroit donné, et isolée pour permettre son échantillonnage.	Surface (0-1m) - Bouteille Niskin <b>Surface (0-1m) - Sonde multiparamètre</b>
<b>Echantillon</b>	Partie représentative d'un et d'un seul des supports d'analyse disponibles dans un prélèvement, partie qui est recueillie pour analyse ou dénombrement	Eau Filtrée Eau Brute

La gestion des stratégies est réalisée par l'administrateur de programme/stratégie en associant, pour une période donnée, les lieux de surveillance et les PSFMs<sup>15</sup>, ces derniers étant définis par ailleurs dans leur référentiel respectif.

<sup>15</sup> PSFM : quadruplet Paramètre/Fraction/Support/Méthode

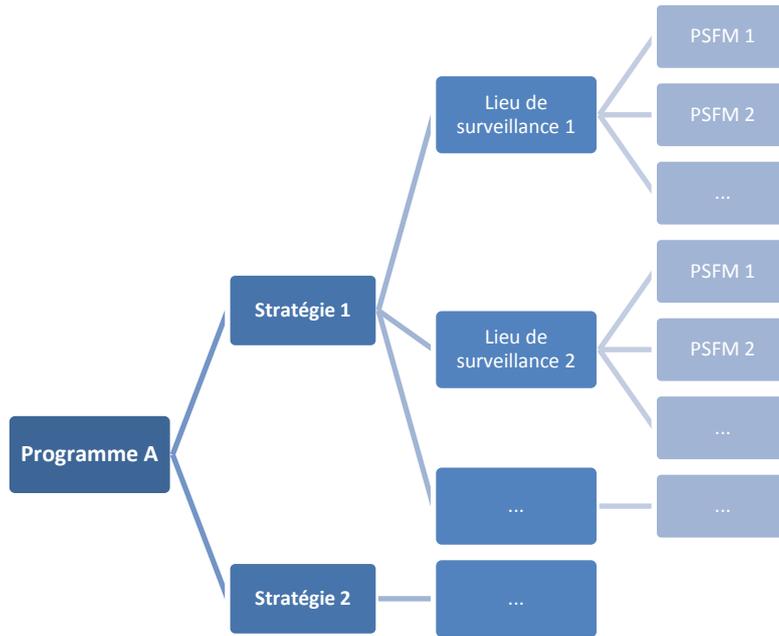


Figure 11 : Administration par le responsable de programme/stratégie dans Quadrigé<sup>2</sup>

La bancarisation du résultat/dénombrement se fait sur un passage découpé en prélèvement puis échantillon. Suivant la(les) stratégie(s) associée(s) au lieu et au(x) programme(s), la saisie se fait soit au niveau des prélèvements, soit au niveau des échantillons en respectant les PSFMs. La bancarisation peut être multi-programme pour tenir compte de l'optimisation des moyens.

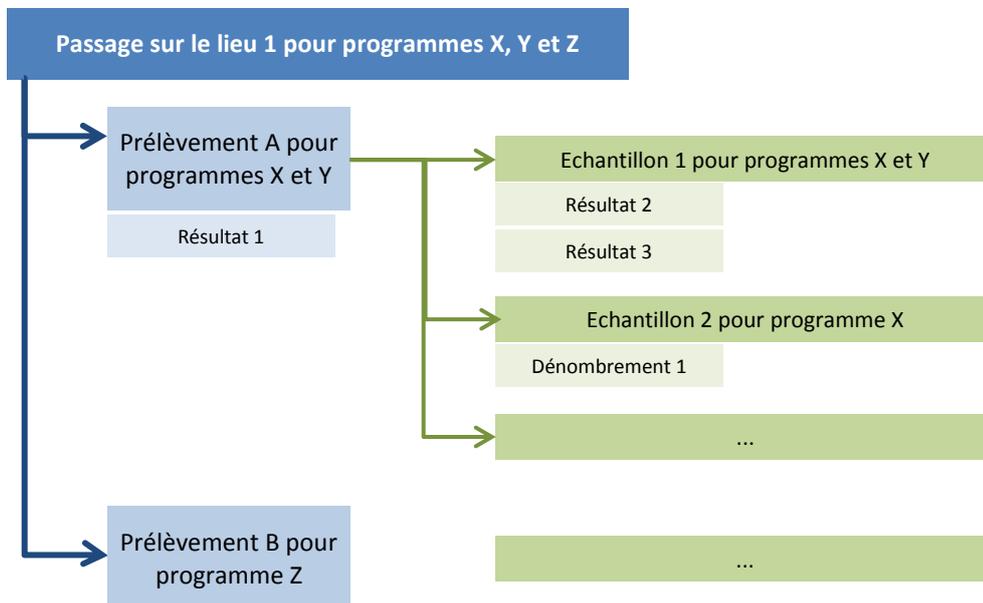


Figure 12 : Bancarisation des résultats/dénombrements dans Quadrigé<sup>2</sup>

Les fascicules techniques de mise en œuvre des RCS DCE décrivent en détail ces différents éléments pour chaque RCS.

#### 3.2.2.4 Cas particulier de La Réunion

Il existe, pour La Réunion, 2 manières d'intégrer les données de la surveillance dans la base de données Quadrigé<sup>2</sup>.

- La première, **priviliégée en métropole** consiste à **saisir directement les résultats via l'application Quadrige<sup>2</sup>** préalablement installée sur un poste de travail de type PC. Au lancement, l'application se connecte en direct sur la base de données et après avoir renseigné l'ensemble des métadonnées associées aux campagnes d'échantillonnage, l'opérateur saisisseur entre un à un les résultats obtenus pour chaque paramètre. Une fois les données intégrées à Quadrige<sup>2</sup>, une série de procédures de contrôle et de validation vont pouvoir être mises en œuvre par l'opérateur saisisseur, préalable incontournable pour que la donnée soit exploitable et valorisable pour le maître d'ouvrage du réseau.
- **A La Réunion**, la saisie directe dans Quadrige<sup>2</sup> peut présenter quelques contraintes (essentiellement liées à la stabilité de la connexion réseau et au temps de réponse entre le poste de saisie local et la base de données centrale située en métropole).

Pour s'affranchir de ces difficultés, il est proposé de s'appuyer sur des masques de saisie : QUADRILABO et/ou REBENT\_FAU.

L'outil **QUADRILABO** s'appuie sur un **masque de saisie intermédiaire** (type Excel©) permettant un formatage des données standardisé (type EDILABO) et normalisé (reposant sur les référentiels SANDRE). L'objectif est de permettre une reprise semi-automatisée des données par Quadrige<sup>2</sup>. Les phases de contrôle et de validation sont réalisées sous la responsabilité du responsable de l'acquisition des données en amont de l'intégration des données dans Quadrige<sup>2</sup> (= les données sont reprises dans l'état "validé", §3.2.2.2).

**La bancarisation via le masque de saisie QUADRILABO est à ce jour possible pour les données "hydrologie", "phytoplancton (sauf dénombrement de type flore totale) et "chimie".**

Un masque de saisie pourra être créé ultérieurement pour la reprise des résultats de dénombrements, l'outil de reprise développé étant adapté à ce type de données.

L'outil **REBENT\_FAU** est un fichier standard (type Excel©) qui a été développé pour intégrer les résultats faunistiques des invertébrés benthiques de substrat meuble (Pothier, 2013).

Les principes de ces deux outils sont présentés ci-après.

## L'outil QUADRILABO

Ce masque de saisie intermédiaire se présente sous la forme d'une matrice de type EXCEL<sup>®</sup> regroupant l'ensemble des résultats à intégrer. Ce fichier doit impérativement contenir l'ensemble des métadonnées. Chaque ligne est décrite en colonne par des champs de 3 types :

- Certains champs sont du type "EDILABO" et sont obligatoires : ils contiennent des codes SANDRE indispensables pour faire le lien avec le référentiel Quadrigé<sup>2</sup>.
- D'autres champs ont été rajoutés au format initial EDILABO afin d'être Quadrigé<sup>2</sup>-compatibles (métadonnées indispensables à la cohérence thématique des données).
- Un champ "NIVEAU SAISIE" vient compléter l'information relative à chaque résultat qui doit être rattaché à un Passage, à un Prélèvement ou à un Echantillon. Cette information, propre à Q<sup>2</sup>, est indispensable au programme de reprise automatique et doit figurer clairement dans la matrice de saisie.

Au final, une routine automatique (Visual Basic) associée au masque de saisie va permettre de générer la matrice QUADRILABO (format CSV) qui sera reprise par Quadrigé<sup>2</sup>.

La procédure de reprise est en cours de validation par les administrateurs Quadrigé<sup>2</sup> et sera décrite en détail dans les fascicules techniques de mise en œuvre des RCS DCE.

Elle sera de la responsabilité de l'opérateur en lien avec l'administrateur local Quadrigé<sup>2</sup>. Elle consistera, pour l'opérateur, à charger la matrice de reprise au format "\*.csv" via un portail dédié (site de l'assistance Quadrigé<sup>2</sup> : [http://wwz.ifremer.fr/quadrigé2\\_support](http://wwz.ifremer.fr/quadrigé2_support)). Le système procédera alors à des contrôles destinés à identifier d'éventuels défauts (format, erreurs, incohérence, ...). L'opérateur sera immédiatement informé des erreurs éventuelles ayant empêché l'intégration des données d'aboutir. Il devra alors, avec le soutien des administrateurs locaux de Quadrigé<sup>2</sup>, contrôler son fichier \*.csv, identifier l'origine des erreurs, corriger ses données dans la matrice de type EXCEL<sup>®</sup> et procéder à une nouvelle génération de la matrice QUADRILABO. Si les contrôles effectués par le système ne détectent aucune erreur, les données seront intégrées dans Quadrigé<sup>2</sup>, l'opérateur saisisseur étant directement informé par E-Mail du succès de la reprise.

Il faut noter que les **opérations de contrôle et de validation** telles que définies au §3.2.2.2 **sont particulièrement importantes pour éliminer la plupart des erreurs**. Une attention particulière doit donc y être apportée. Du fait de ces deux étapes, les données validées sont rendues accessibles par tous les utilisateurs de Quadrigé<sup>2</sup>.

La **qualification** intervient ultérieurement, surtout pour **détecter des anomalies dans les séries temporelles**, ce qui nécessite un recul incompatible avec du temps réel. Dès lors que les données sont validées, l'administrateur responsable du programme de rattachement en métropole peut procéder à la qualification des données dans les meilleurs délais telle que définie au §3.2.2.2. Ce n'est qu'une fois cette qualification effectuée que les données peuvent être considérées comme pérennisées et disponibles pour leur valorisation.

### L'outil de reprise des données REBENT\_FAU

Une fois les métadonnées saisies manuellement dans Quadrigé<sup>2</sup>, ce fichier type permet une reprise semi-automatique des données liées aux invertébrés benthiques telles que les abondances et les biomasses.

Les consignes de remplissage de ce fichier font l'objet d'un "document de consignes" (Pothier, 2013) et sont décrites dans le fascicule technique "benthos de substrats meubles".

Cette reprise des données se passe en 5 étapes :

- les métadonnées (passages, prélèvements et échantillons) sont saisies manuellement dans Quadrigé<sup>2</sup> ou sont créés grâce à l'outil QUADRILABO. Le(s) autre(s) résultat(s) (exemple : granulométrie) peuvent être saisis en même temps que les métadonnées.
- les identifiants de l'ensemble des taxons présents dans les résultats et les identifiants des lieux de surveillance sont recherchés,
- le tableau de reprise des données est complété,
- le fichier est envoyé à la cellule Quadrigé<sup>2</sup> puis testé,

Différents critères du fichier sont alors testés afin de vérifier que toutes les données sont bien éligibles dans Quadrigé<sup>2</sup>. Si des erreurs subsistent dans le jeu de reprise des données, un fichier de rejets listant et détaillant les problèmes rencontrés est généré puis envoyé au producteur de données. Toutes les erreurs doivent être corrigées puis le fichier de reprise des données réactualisé est retourné à la cellule Quadrigé<sup>2</sup> pour être de nouveau testé. Ce cycle est ainsi répété jusqu'à ce que qu'il n'y ait plus d'erreurs.

- les données sont alors définitivement intégrées dans Quadrigé<sup>2</sup>.

### 3.2.3 Valorisation des données

La base de données Quadrigé<sup>2</sup> intègre d'ores et déjà les données liées aux réseaux de surveillance DCE et intégrera prochainement les données issues des études d'impact.

Plusieurs autres outils complémentaires sont (seront) développés pour permettre de valoriser les données bancarisées dans Quadrigé<sup>2</sup>, notamment via des outils cartographiques.

#### 3.2.3.1 Réseau de contrôle de surveillance / Atlas DCE

Les données acquises dans le cadre du réseau de contrôle de surveillance, et donc bancarisées dans Quadrigé<sup>2</sup>, vont servir à alimenter l'outil "**Atlas DCE**" accessible via divers portails dont le site institutionnel ENVLIT<sup>16</sup> et le site de la Délégation Océan Indien de l'Ifremer<sup>17</sup>.

Cet atlas décrit la **dimension opérationnelle** (découpage des masses d'eau, programme et lieux de surveillance, ...) et les **résultats du RCS** réalisés dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) sur le littoral réunionnais.

<sup>16</sup> Site institutionnel Ifremer sur l'environnement littoral : <http://envlit.ifremer.fr/>

<sup>17</sup> <http://wwz.ifremer.fr/lareunion>

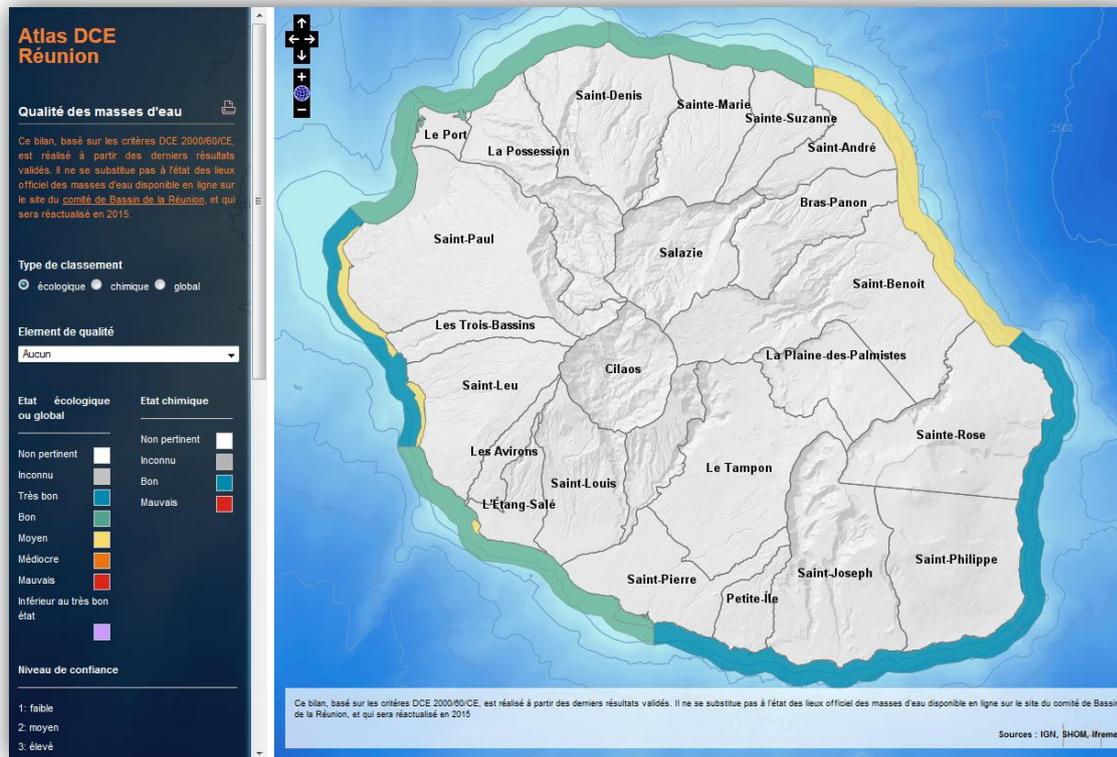


Figure 13 : Ecran d'accueil de l'Atlas DCE de La Réunion.

L'état des masses d'eau (par élément et par masse d'eau) défini à partir des résultats acquis par les réseaux de surveillance y est accessible via une application cartographique interactive, à l'image de celles réalisées dès 2009 à l'initiative des deux Agences de l'eau Loire-Bretagne et Adour-Garonne ainsi que de l'Ifremer, puis étendue aux autres bassins métropolitains. Cet atlas a été réalisé, pour La Réunion, sur financement de la DEAL Réunion et de l'Ifremer.

Cette évaluation, qui dresse un bilan d'étape de l'état des masses d'eau sur la base des derniers résultats validés, ne se substitue en aucun cas à l'état des lieux officiel publié dans le SDAGE, mais permet de faire le point sur l'évolution de l'état des eaux littorales au fur et à mesure des acquisitions de données nouvelles durant le plan de gestion.

Les informations disponibles dans cet atlas sont relatives :

- aux **différentes masses d'eau**,

Pour chaque masse d'eau, différentes informations sont disponibles : classements en Risque de Non Atteinte des Objectifs Environnementaux (RNAOE), masses d'eau retenues au titre du contrôle de surveillance DCE et typologie.

En complément d'un accès à l'information par les cartes interactives, il est possible de visualiser et d'imprimer la liste des masses d'eau, les résultats de l'évaluation à partir de la liste détaillée des classements par masse d'eau ainsi que la synthèse des classements par masse d'eau.

- **au réseau de contrôle de surveillance (RCS),**

Le choix d'un des volets (type de suivis) du RCS permet d'accéder à l'ensemble des points suivis dans le cadre du "contrôle de surveillance DCE", puis en cliquant sur un point, aux informations sur les paramètres, fréquences et opérateurs qui lui sont propres.

- **à l'état masses d'eau côtières et côtières de type récifale,**

Il est présenté de **façon globale**, en prenant en compte les résultats existants pour chaque élément de qualité et **par élément de qualité** biologique, chimique et physico-chimique (phytoplancton, contaminants chimiques, température...).

En cliquant sur une masse d'eau, on accède aux informations relatives à chacun de ses éléments de qualité : protocole d'échantillonnage, calcul de l'indicateur, ...

L'atlas a pour vocation de donner une image de l'état en cours des masses d'eau en regard des dernières données acquises dans le cadre du RCS. Lors des mises à jour, annuelles, les couches cartographiques remplacées sont archivées dans SEXTANT (cf. § 3.2.3.3).

### **3.2.3.2 Données issues des autres suivis environnementaux**

En marge du contexte de la DCE, d'autres études s'inscrivent dans le cadre de la loi sur l'eau. Elles produisent ou utilisent des données environnementales relatives aux milieux littoraux et marins réunionnais. Ces données, informations, connaissances... acquises dans le cadre de ces études ou suivis réglementaires sont aujourd'hui, en dehors des procédures administratives *stricto sensu*, peu ou pas valorisées. Or, ces données, pour peu qu'elles soient acquises dans le respect des protocoles et procédures de prélèvement et d'analyse en vigueur, pourraient venir alimenter fort utilement les bases de données existantes sur les domaines marins et **enrichir les chroniques existantes**.

En effet, les contraintes, et donc les coûts, d'acquisition de données en milieu marin obligent à mutualiser les moyens, et ces suivis ou études réglementaires mériteraient de pouvoir être intégrés aux suivis et réseaux scientifiques en place, et notamment ceux de la DCE. Ceci est d'autant plus important que la description des écosystèmes marin est souvent complexe, et que pour pouvoir statuer sur leur état de santé, il est essentiel de disposer de données statistiquement représentatives, dans le temps et dans l'espace : les "échantillons" prélevés doivent ainsi, afin de fiabiliser les résultats statistiques et garantir leur représentativité, permettre de caractériser l'ensemble de la population dont ils sont extraits. Plus la couverture spatiale des échantillonnages est importante, et plus les fréquences d'acquisition de données sont importantes, et meilleur sera le diagnostic sur l'état des écosystèmes marins. Ceci nécessite de pouvoir mettre en commun le plus grand nombre possible de données, dont celles acquises dans le cadre de suivis ou d'études réglementaires.

C'est donc la base de données Quadrige<sup>2</sup>, développée entre autres dans le cadre de la mise en œuvre du volet "eaux côtières" de la DCE, et qui intègre depuis peu les spécificités des écosystèmes tropicaux de La Réunion, qui sera utilisée à cet effet. Un **espace de Q<sup>2</sup>** sera "dédié" **aux études d'impact et suivis réglementaires menés en domaine marin** à La Réunion.

Enfin, un **produit ad hoc de l'outil Surval**<sup>18</sup> sera développé spécialement pour ces données réglementaires qui deviendront accessibles aux services de l'Etat, aux collectivités territoriales et locales, à leurs bureaux d'études, ainsi qu'à la communauté scientifique régionale et bien sûr au grand public.

### 3.2.3.3 Soutien de l'infrastructure de données géographique Sextant

Au-delà des résultats issus des réseaux de surveillance et/ou de suivis environnementaux ayant vocation à être bancarisés dans Q<sup>2</sup>, une grande partie des informations produites viennent alimenter et enrichir des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG). Il convient, afin d'assurer la pérennité et la durabilité de ces informations de nature cartographique, d'être en mesure de les sécuriser tout en facilitant leur diffusion et/ou leur archivage. C'est une des vocations principales de l'infrastructure de données géographiques Sextant déployée depuis 2010 à l'échelle de l'océan Indien.

Sextant a pour vocation de **collecter et mettre à disposition un catalogue de données géoréférencées** sur le domaine marin. Il vient en soutien de problématiques telles que la biodiversité, les énergies renouvelables en mer, la gestion intégrée des zones côtières, la pêche, l'environnement littoral et profond, l'exploration et l'exploitation des fonds marins...

Accessible via internet (en accès grand-public ou, pour certaines données, en accès restreint), il regroupe des données "vecteur" et maillées produites par l'Ifremer et ses partenaires.

Le portail SEXTANT public est accessible à l'adresse suivante :

<http://www.ifremer.fr/sextant/>

Toutes les données collectées et leurs métadonnées sont pérennisées au moyen d'un système sécurisé de gestion de base de données. Elles sont également valorisées par le biais d'outils permettant de les rechercher, d'en consulter les métadonnées, de les visualiser et de les extraire.

Les données peuvent être mises à disposition via des catalogues **thématiques** (ils regroupent les données intéressant un organisme, un projet, une zone géographique ...) et **personnalisables** (garantissant, par exemple, une gestion des droits associés aux données et donc une diffusion ciblée et sécurisée de l'information).

Plusieurs catalogues thématiques dédiés à l'océan Indien sont d'ores et déjà opérationnels et susceptibles d'accueillir les référentiels géographiques de la DCE à La Réunion.

- **Sextant REMATA**, dédié aux services de l'Etat des préfectures de La Réunion et de Mayotte ainsi que des TAAF.

Ce serveur sécurisé a vocation à permettre la mutualisation de l'ensemble des données géographiques de référence nécessaires à la mise en œuvre des politiques publiques maritimes à l'échelle de l'océan Indien. Une convention "Préfecture de La Réunion / Préfecture de Mayotte / TAAF / Ifremer" formalise la mise en œuvre de Sextant REMATA

- **Sextant POLMAR REUNION**. L'atlas de sensibilité du littoral aux pollution marines (Le Berre *et al.*, 2012) est un document opérationnel ayant pour objectif de fournir

<sup>18</sup> Surval permet la visualisation et l'extraction des données bancarisées sous Q<sup>2</sup>

"l'inventaire précis et hiérarchisé des zones à protéger en priorité" en cas de pollution d'origine marine. Il constitue, à l'échelle départementale, une des annexes techniques du volet POLMAR/Terre du plan ORSEC.

Sa déclinaison numérique, sous Sextant, permet d'accéder directement aux cartes au format pdf, mais également de visualiser, en temps réel les référentiels et les données disponibles mis à jours.

- **Sextant OCEAN INDIEN.** Ce portail dédié aux données marines des territoires français de l'océan indien, préfigure une des contributions de l'Ifremer et de la Délégation Océan Indien (DOI) aux objectifs inscrits dans le livre Bleu Océan Indien. Plate-forme sécurisée de bancarisation, de visualisation et de diffusion de données géographiques, Sextant OCEAN INDIEN a vocation à devenir le portail de référence intégrant l'ensemble des données accueillies dans les différents catalogues thématiques régionaux.

### 3.3 Eléments, indicateurs et évaluation de l'état des masses d'eau

#### 3.3.1 Eléments de qualité

Les éléments dont le suivi est obligatoire, sont listés dans l'annexe 5 de la Directive 2000/60/CE du parlement européen et du conseil du 23 octobre 2000 (L. 327/1). Les règles d'évaluation figurent dans l'arrêté du 25 Janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique et chimique et du potentiel des eaux de surface.

Ces éléments sont regroupés en deux grandes catégories, les éléments de l'état écologique et les éléments de l'état chimique.

La DCE identifie également un certain nombre d'éléments "soutenant les éléments biologiques" (*i.e.* qui permettent de comprendre, d'expliquer, les résultats obtenus sur les éléments biologiques) :

- physico-chimiques dont les polluants spécifiques,
- hydromorphologiques.

Tableau 8 : Eléments des états biologiques et chimiques

Etats	Eléments
<b>Ecologique</b>	Eléments biologiques * Eléments Physico-chimiques dont les polluants spécifiques * Eléments Hydromorphologiques
<b>Chimique</b>	Eléments chimiques

\* Ces éléments permettent de définir, respectivement, des états biologiques et physico-chimiques.

#### 3.3.2 Indicateurs et évaluation de l'état de la qualité des masses d'eau

L'état chimique s'apprécie selon deux classes de qualité uniquement (bon et mauvais). Selon que les concentrations des contaminants à suivre dépassent ou non la Norme de Qualité Environnementale (NQE) qui leur est attribuée. La NQE de chaque contaminant est définie au niveau européen comme "la concentration [...] dans l'eau, les sédiments ou le biote qui ne

doit pas être dépassée, afin de protéger la santé humaine et l'environnement"<sup>19</sup>. L'état chimique de la masse d'eau est considéré comme mauvais ou bon.

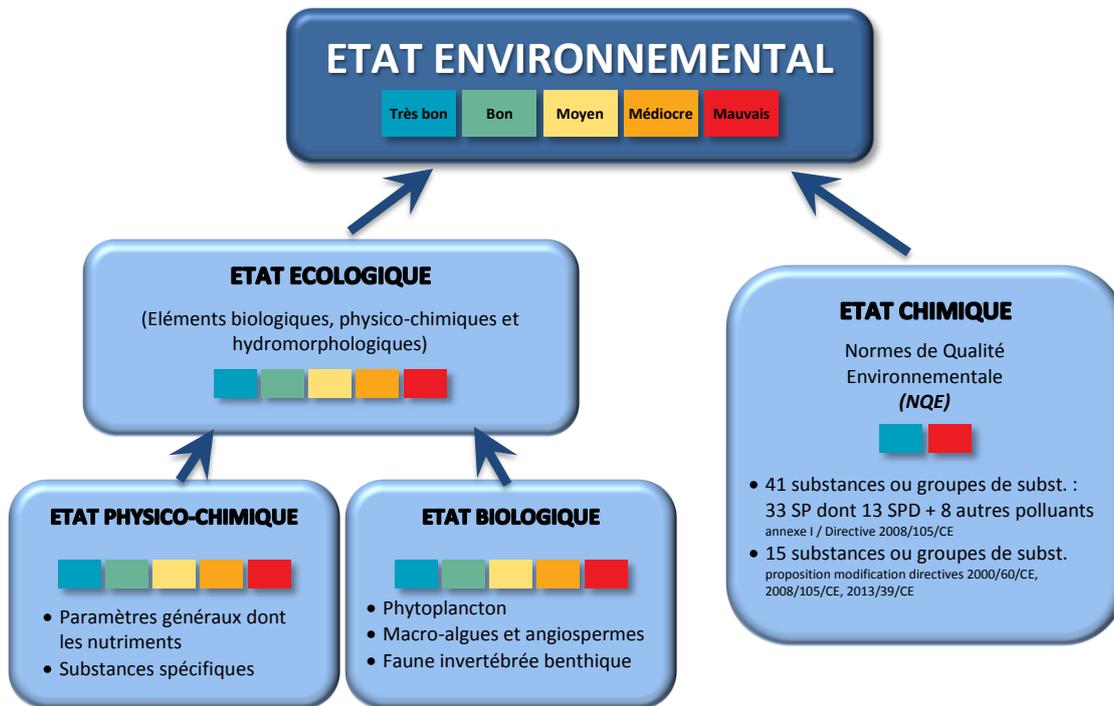


Figure 14 : Schéma d'évaluation de la qualité d'une masse d'eau imposée par la DCE  
SP = Substance Prioritaire, SPD = Substance Prioritaire Dangereuse

L'état écologique s'apprécie selon 5 classes de qualité (très bon, bon, moyen, médiocre et mauvais).

Ceci oblige, pour chacun des paramètres listés par la DCE, et localement pertinents, à définir des indices ou des indicateurs reposant sur des grilles de qualité à 5 classes.

Le choix d'indices ou d'indicateurs déjà développés pour les eaux littorales métropolitaines, leur adaptation aux conditions locales, voire le développement d'indicateurs adaptés, a représenté l'une des tâches essentielles menées par les quatre GT DCE Réunion.

Les indicateurs retenus et/ou proposés pour l'évaluation de la qualité des masses d'eau réunionnaises sont présentés dans les pages qui suivent.

Les différentes classes d'état d'une masse d'eau sont au nombre de cinq et sont définies dans le Tableau 9.

Tableau 9 : Différentes classes d'état d'une masse d'eau

<b>Très bon</b>	Conditions naturelles hors impact
<b>Bon</b>	Proche des conditions naturelles, impact très léger
<b>Moyen</b>	Impact modéré
<b>Médiocre</b>	Milieu impacté
<b>Mauvais</b>	Milieu très fortement impacté, ou situation quasi-irréversible à moyen terme

<sup>19</sup> Renseignés en droit Français par l'arrêté du 25 janvier 2010 (DEVO1001032A)

Un rappel des définitions des termes employés pour la construction des indicateurs mérite d'être réalisé afin de mieux suivre les démarches et réflexions menées par les GT de La Réunion (Tableau 10).

**Tableau 10 : Termes employés pour la construction des indicateurs**

Terme	Définition	Exemple/Commentaire
<b>Paramètre</b>	Objet de la mesure ou du dénombrement.	La quantité d'Acropores branchus, le nombre de bénitiers, la concentration en oxygène dissous, ou encore la teneur en chlorophylle $\alpha$ .
<b>Métrique</b>	Méthode de calcul mais aussi le résultat de son application à l'ensemble des données d'un paramètre. Une unité est systématiquement associée à la métrique.	La métrique de la concentration en oxygène dissous est le percentile 10 calculé à l'aide des mesures effectuées sur la durée d'un plan de gestion. Dans le cas des Acropores, la métrique peut par exemple être la part de la surface couverte par les Acropores par rapport à l'ensemble de la couverture corallienne d'un récif. Dans cet exemple, la métrique est donc un rapport entre deux données surfaciques, et s'exprime en pourcentage.
<b>Indice*</b>	Composition d'une ou plusieurs métriques pour caractériser un niveau intermédiaire de l'évaluation pour un élément de qualité.	L'indicateur "Benthos substrats Durs" s'appuie sur plusieurs métriques différentes. Chacune de ces métriques est transformée en indice "normalisé". C'est la combinaison de ces indices qui sert de support au calcul de l'indicateur. En ce qui concerne l'oxygène, la concentration en oxygène dissous étant le seul paramètre utilisé, il s'agit également de l'indice et de l'indicateur de l'élément de qualité.
<b>Indicateur*</b>	Combinaison d'une ou plusieurs métriques (et/ou indices) pour évaluer un élément de qualité suivant des règles définies (pondération, ...).	L'indicateur Phytoplancton résulte de la combinaison de 3 indices "biomasse", "abondance" et "composition", la règle de combinaison n'étant à ce jour pas définie. La concentration en oxygène dissous étant le seul paramètre utilisé, il s'agit également de l'indice et de l'indicateur de l'élément de qualité.
<b>Grille Ou référentiel</b>	Série de valeurs qui séparent l'ensemble de la plage de l'indicateur en différentes classes.	Une grille est en général composée de quatre valeurs définissant les seuils entre les 5 classes définissant les états "très bon", "bon", "moyen", "médiocre" et "mauvais" (Tableau 9).
<b>Valeur de référence</b>	Valeur de très bon état (mesurées sur des sites préservés, par modélisation ou à dire d'experts) d'une métrique, d'un indice ou d'un indicateur, hors influence anthropique	
<b>RQE<sup>20</sup> ou EQR</b>	Rapport entre la valeur de la métrique calculée et la valeur de référence : il en résulte une quantité variant entre 0 et 1, 0 étant le plus mauvais score et 1 le meilleur.	La transformation peut être appliquée de manière identique à la grille. Dans ce cas, le rapport est calculé avec chaque valeur de la grille.

\* La combinaison des indices et indicateurs est illustrée ci-après.

<sup>20</sup> RQE = Ratio de Qualité Environmental ou EQR = Ecological Quality Ratio.

La combinaison des indices est illustrée sur la Figure 15 et est développée, le cas échéant, dans les paragraphes relatifs à chacun des suivis du réseau de contrôle de la surveillance (RCS).

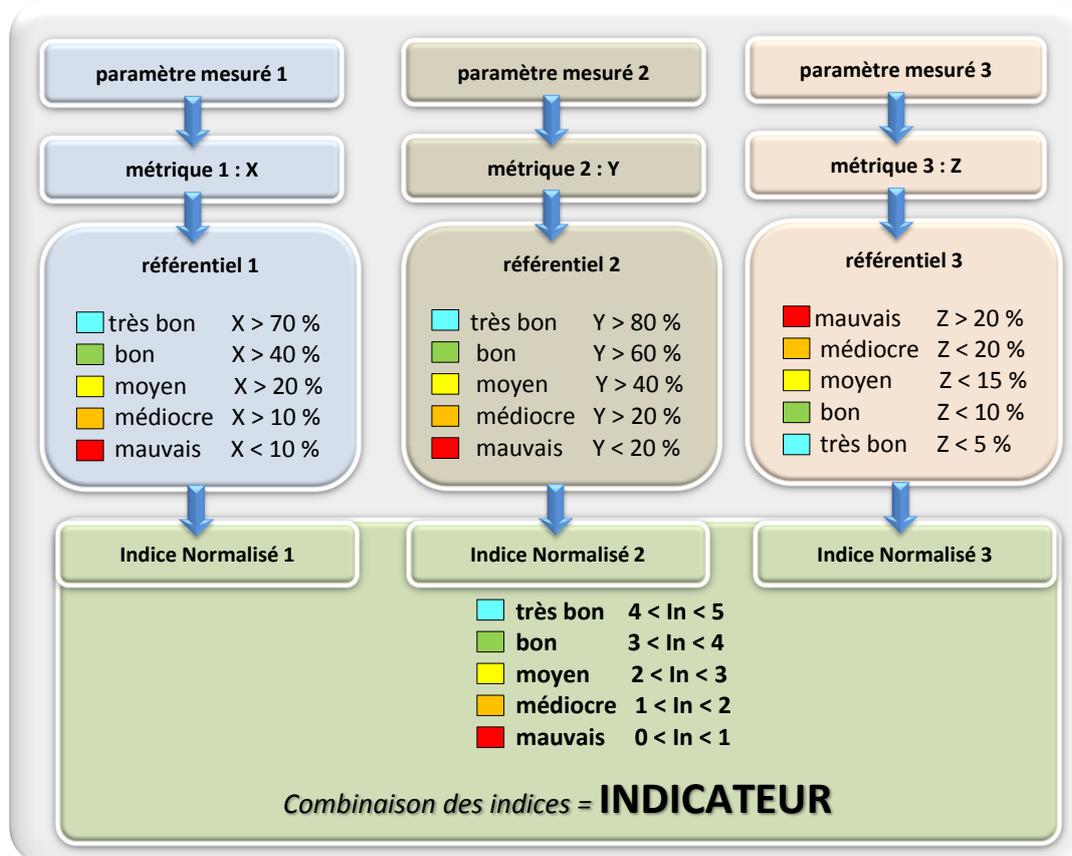


Figure 15 : Schéma explicatif de la démarche de création d'un indicateur à partir de paramètres différents, disposant chacun d'une métrique et d'un référentiel propres, ce qui oblige à passer par une normalisation des indices correspondants afin de rendre toutes les métriques lisibles sur une seule et même grille et donc de pouvoir combiner les indices entre eux

A noter enfin qu'un indicateur doit, autant que faire se peut, permettre d'identifier les dysfonctionnements environnementaux (*i.e.* les pressions responsables de la dégradation de L'état d'une masse d'eau), et ainsi être à l'origine du déclenchement d'un "programme de mesures" (actions correctives). Si ce n'est pas le cas (pas de lien établi avec les pressions), l'indicateur doit renseigner sur un état global de la masse d'eau, et en cas d'état moyen à mauvais, un contrôle d'enquête permettant d'identifier les sources de dysfonctionnement doit être initié.

Les éléments de qualité de l'état écologique s'agrègent suivant les règles définies dans l'arrêté du 25 Janvier 2010, modifié par l'arrêté du 28 Juillet 2011, relatif aux méthodes et critères d'évaluation et illustrées dans la Figure 16.

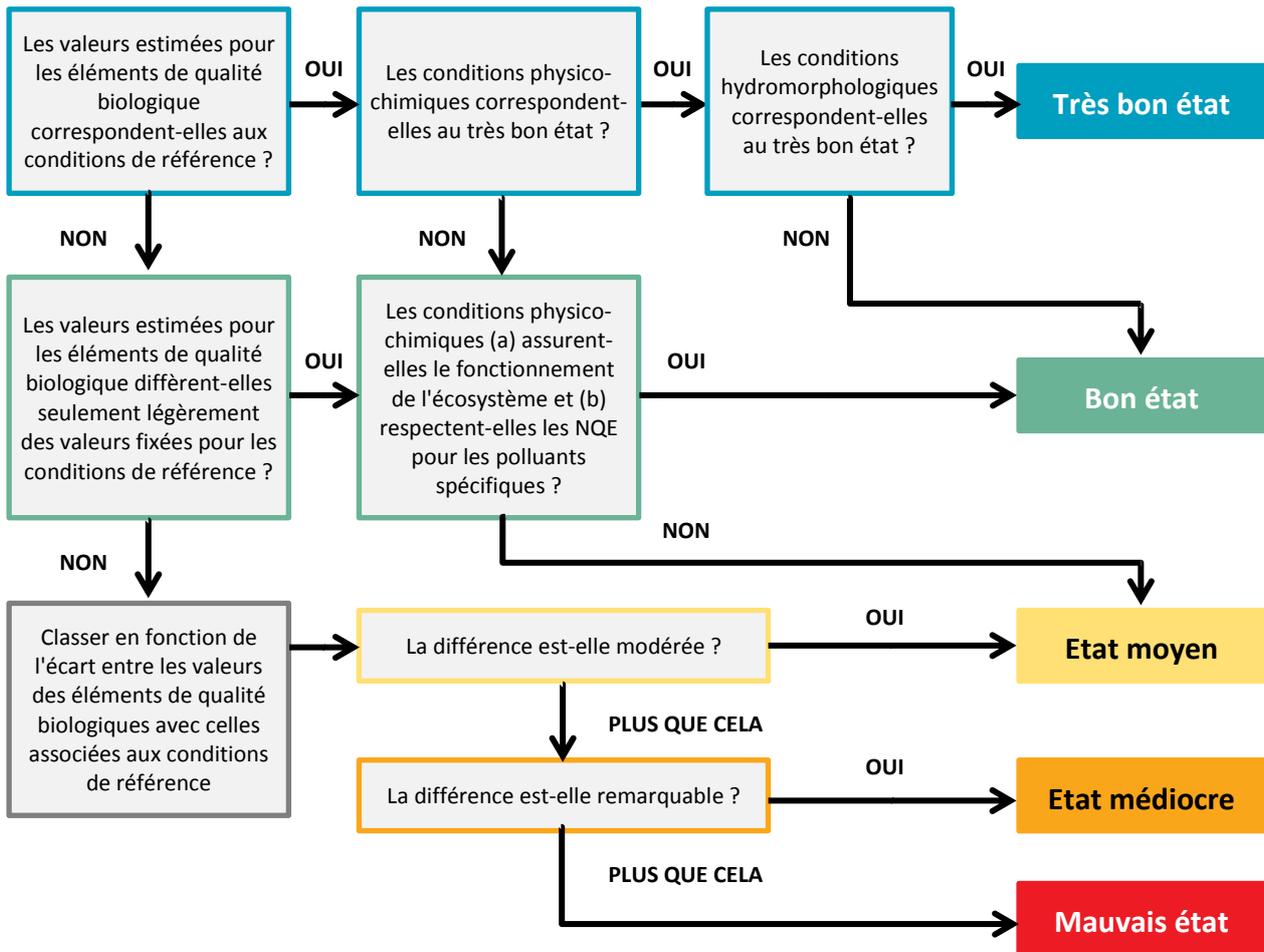


Figure 16 : logigramme de prise en compte des différents éléments de qualité dans l'évaluation de l'état des Masses d'eau

Les quatre réseaux du contrôle de surveillance proposés par les GT DCE de La Réunion sont présentés dans les pages qui suivent.

### 3.4 Définition des suivis du réseau de contrôle de surveillance

Dans le domaine du contrôle de surveillance relatif à la mise en œuvre de la DCE pour le milieu marin, La Réunion se distingue de la métropole par un déficit de données et de connaissances historiques (ce constat peut très certainement être étendu à l'ensemble des DOM). Si un RCS a d'ores et déjà pu être initié, même partiellement, ces dernières années (le RHLR), les 3 autres n'ont encore jamais été réellement mis en œuvre. Il convient donc d'être particulièrement attentif à ces premières campagnes qui, au-delà de la contribution à l'évaluation de l'état des lieux pour lequel ils sont mis en œuvre, doivent également permettre d'apporter rapidement des éléments de connaissance pertinents dans un but d'amélioration, de précision et d'optimisation des modalités de mise en œuvre des suivis adaptés au contexte réunionnais. Cette volonté, partagée par l'ensemble des 4 GT DCE Réunion mis en place, a largement été prise en compte dans la définition des premières stratégies à déployer dans le cadre des RCS de la DCE à La Réunion. L'objectif est de permettre, au terme du prochain plan de gestion complet (2016-2021) pour lequel ces réseaux sont proposés, d'avoir acquis les connaissances nécessaires pour envisager une optimisation et une rationalisation des efforts à développer. En d'autres termes, les stratégies retenues aujourd'hui doivent être considérées comme les plus complètes pouvant être mises en œuvre dans le contexte actuel. A l'échéance du prochain plan de gestion, une analyse approfondie des données acquises permettra, selon le niveau de pertinence souhaité, d'envisager une possible réduction de la couverture (nombre de stations) et/ou des fréquences de suivis.

#### 3.4.1 Choix des paramètres et des matrices

Pour ce qui concerne les paramètres et les matrices des suivis, les GT se sont conformés aux préconisations figurant dans l'arrêté 25 Janvier 2010<sup>21</sup>, modifié par l'arrêté du 29 Juillet 2011<sup>22</sup> relatif au programme de surveillance en y ajoutant des paramètres jugés pertinents du fait des spécificités locales.

<sup>21</sup> Arrêté du 25 Janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement (NOR : DEVO1001031A)

<sup>22</sup> Arrêté du 29 Juillet 2011 modifiant l'arrêté du 25 Janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement (NOR : DEVL1114000A)

**Tableau 11 : Paramètres du contrôle de surveillance**  
(en gras : paramètre ajouté par le GT car jugé pertinent compte-tenu des spécificités locales)

Etat	Element de Qualité	<u>Indices / Paramètre (méthode)</u>
<b>Biologique</b>	Physico-chimie et phytoplancton	<u>Biomasse du phytoplancton</u> : Chlorophylle a
		<u>Composition et abondance du phytoplancton</u> : Flore totale pour le microphytoplancton (Cytométrie en flux pour le nanophytoplancton et picophytoplancton, Analyse pigmentaire par HPLC)
<b>Physico-chimique</b>	Contaminants chimiques	<u>Eléments généraux</u> : <u>Transparence</u> <u>Température de l'eau</u> <u>Bilan d'oxygène</u> <u>Salinité</u> <u>Concentration en nutriments</u> : nitrate, nitrite, silicate, phosphate et ammonium
<b>Chimique</b>		<u>Contaminants</u> 41 substances ou groupes de substances de l'annexe I de la directive 2008/105/CE + 15 substances ou groupes de substances de la proposition de modification des directives 2000/60/CE et 2008/105/CE
<b>Physico-chimique</b>	Substrat meuble Substrat dur	<u>Polluants spécifiques</u> * : Polluants synthétiques spécifiques, autres que les substances prioritaires, recensés comme étant déversés en quantités significatives dans le milieu : / Polluants non synthétiques spécifiques, autres que les substances prioritaires, recensés comme étant déversés en quantités significatives dans le milieu : / <b>Substances locales : 9 substances ou groupes de substances spécifiques à La Réunion</b>
<b>Biologique</b>		<u>Composition et abondance de la flore aquatique</u> (autre que le phytoplancton) <u>Composition et abondance de la faune benthique invertébrée</u>
<b>Hydromorphologique</b>	/	<u>Conditions morphologiques</u> : Variation de la profondeur Structure et substrat de la côte Structure de la zone intertidale <u>Régime des marées</u> : Direction des courants dominants Exposition aux vagues

\* Les polluants spécifiques de l'état écologique sont les substances dangereuses pour les milieux aquatiques déversées en quantité significative dans les masses d'eau de chaque bassin ou sous bassin hydrographique. Elles sont arrêtées par les préfets coordonnateurs de bassin dans les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE).

L'arrêté du 25 janvier 2010 (DEV1001032A) ne fixe une liste que dans les eaux continentales pour le cycle de gestion 2009-2015 (Annexe 3).

### 3.4.2 Conditions d'éligibilité des structures en charge des suivis

Les analyses réalisées dans le cadre de la surveillance des milieux aquatiques contribuant au système d'information sur l'eau (SIEau) doivent être réalisées par des structures agréées (donc accréditées) selon les conditions définies dans l'arrêté Ministériel du Ministère de l'Ecologie du 27 Octobre 2011 (DEVL1128052A).

Cet arrêté prévoit, entre autres :

- **Pour le volet chimie, physico-chimie et écotoxicologie**

La(les) structure(s) impliquée(s) dans l'acquisition de la donnée doit(vent) être accréditée(s) pour le prélèvement et l'analyse.

La structure doit participer au moins deux fois par an pour la méthode d'analyse appliquée à des essais interlaboratoires incluant l'analyse du paramètre dans la matrice considérée dont une fois au moins à un essai dont la concentration du paramètre n'excèdera pas quinze fois la limite de quantification.

Des limites de quantification (LQ) sont définies par couple paramètre-matrice. Lorsque des normes de qualité environnementale (NQE) existent, la LQ ne doit pas excéder 30% de la NQE. En l'absence de NQE pour un paramètre donné ou en l'absence de méthode d'analyse répondant aux critères de performance minimaux visés, la LQ doit correspondre aux meilleures techniques disponibles n'entraînant pas des surcoûts excessifs.

Les limites de quantification des couples "paramètre-matrice" font l'objet d'un avis en date du 21 janvier 2012 (DEVL1131786V) et sont reprises dans les fascicules techniques.

L'arrêté impose d'*appliquer pour l'analyse [d'un] paramètre dans [une] matrice considérée une méthode permettant de garantir une incertitude élargie de mesure qui soit inférieure ou égale à 50 % au niveau de trois fois la limite de quantification (LQ)*"

- **Pour le volet hydrobiologie**

La structure doit participer au moins une fois par période d'agrément à des comparaisons interlaboratoires ou d'essais d'aptitude portant sur cette analyse d'un élément de qualité biologique s'ils existent.

Pour l'élément phytoplancton, la(les) structure(s) impliquée(s) dans l'acquisition de la donnée doit (vent) être accréditée(s) pour le prélèvement et l'analyse.

Les agréments sont délivrés aux laboratoires d'analyses par le Ministère en charge de l'Environnement. Le site officiel pour les agréments est le suivant : <http://www.labeau.ecologie.gouv.fr/>

### 3.4.3 Nombre et positionnement des lieux de surveillance du RCS Réunion

En ce qui concerne le nombre de lieux de surveillance par réseau, la position des GT DCE de La Réunion a été qu'il est nécessaire, au moins lors des premières années de réalisation des 4 suivis du RCS, d'acquies des données dans toutes les masses d'eau, et donc de développer une approche exhaustive, quitte à revoir ensuite à la baisse la stratégie spatiale d'échantillonnage, en fonction des premiers résultats obtenus.

Pour positionner les lieux de surveillance, les GT DCE de La Réunion se sont appuyés sur les données historiques et les études déjà réalisées, ainsi que sur les cartographies des champs de courants produites par la plate-forme HYDRORUN. L'objectif a été, autant que faire se peut, de maintenir les positionnements retenus dans le cadre d'études achevées ou de suivis en cours afin de bénéficier de séries historiques les plus longues possibles, à la condition que, du fait de la courantologie, ces points soient réellement représentatifs de l'état moyen de la masse d'eau dans laquelle ils se situent comme l'illustre la Figure 9.

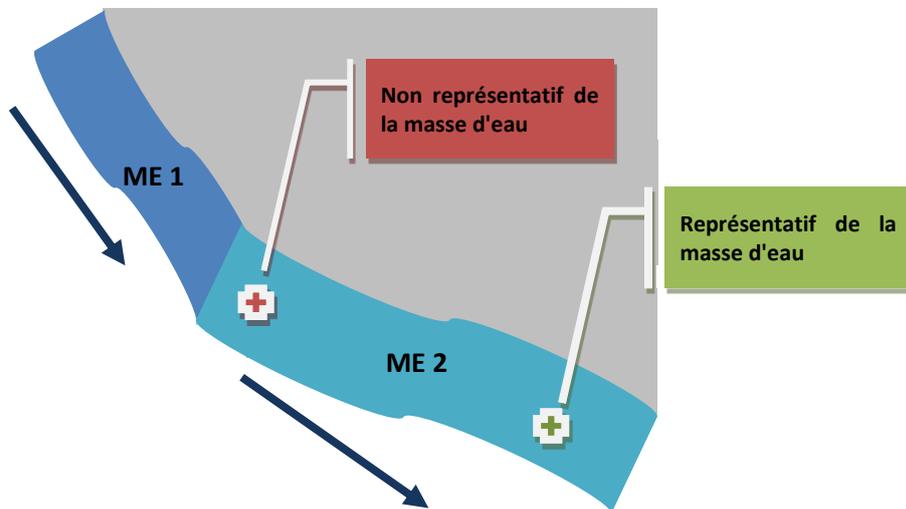


Figure 17 : Pertinence du positionnement du point de suivi dans la masse d'eau en fonction de la résiduelle de courant (symbolisée par les flèches bleues)

### 3.4.4 Fréquence et périodicité

Pour ce qui concerne les fréquences des suivis, les GT DCE de La Réunion se sont conformés aux préconisations figurant dans l'arrêté 25 Janvier 2010, modifié par l'arrêté du 29 Juillet 2011, relatif au programme de surveillance. Elles ont toutefois été adaptées pour le suivi des contaminants chimiques dans l'eau compte-tenu des spécificités des DOMs (cf. § 5).

Tableau 12 : Fréquence et périodicité minimum du contrôle de surveillance (en italique : fréquence et périodicité adaptées)

Réseaux	Fréquence des suivis par année	Nombre d'années de suivi par plan de gestion
Physico-chimie	6 / an	6 / 6 ans
Phytoplancton (biomasse)	6 / an	6 / 6 ans
Phytoplancton (abondance, composition)	3 / an	6 / 6 ans
Contaminants chimiques (eau)	3 ou 6 / an <i>au lieu de 12 / 1 an</i>	2 / 6 ans <i>au lieu de 1 / 6 ans</i>
Contaminants chimiques (biote)	1 / an	2 / 6 ans
Benthos de substrats meubles	1 / an	2 / 6 ans
Benthos de substrats durs	1 / an	2 / 6 ans

En ce qui concerne les périodes de suivi, il est important de rappeler que le climat de La Réunion est caractérisé par (METEO-FRANCE, 2011) :

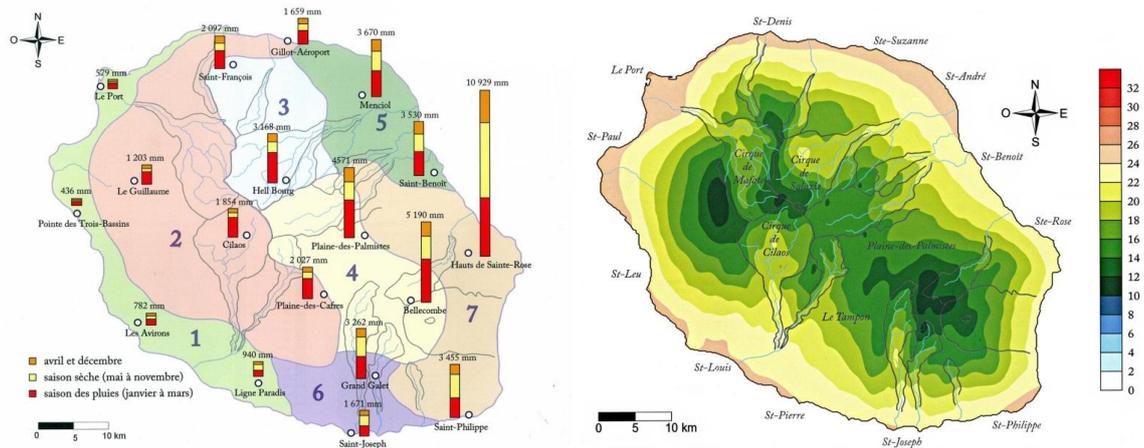
- **La pluviométrie**

Le climat de La Réunion est tropical humide. Mais il se singularise surtout par de grandes variabilités liées à la géographie de l'île. L'influence du relief est tout aussi fondamentale que les effets de l'insularité.

L'île possède tous les records mondiaux de pluies pour les périodes comprises entre 12 heures et 15 jours.

Il existe deux saisons marquées à La Réunion :

- la **saison "des pluies", ou saison "humide"** entre janvier et mars,
- la **saison "sèche"**, plus longue, qui débute au mois de mai pour s'achever au mois de novembre. Même en saison sèche, les précipitations restent importantes sur la partie Est de l'île et notamment sur les flancs du Volcan.
- avril et décembre sont des **mois de transition**, parfois très pluvieux mais pouvant également être parfois très secs.



**Carte 38 : Répartition saisonnière des précipitations annuelles (à gauche) et Température moyenne annuelle (à droite), (Source : Météo France / Atlas Climatique de La Réunion 2011)**

### • La température

Le climat de La Réunion est caractérisé par la douceur de ses températures. La position géographique de l'île, comprise entre 20°50' et 21°30' de latitude Sud, et surtout le rôle régulateur de l'océan et des alizés, sont les principales sources de cette douceur.

Il existe 2 grandes saisons :

- la saison fraîche de mai à octobre,
- la saison chaude de novembre à avril.

**Tableau 13 : Températures caractéristiques à La Réunion en fonction de la saison et de l'altitude (Source : Météo France / Atlas Climatique de La Réunion 2011)**

Lieux	Température Maximale		Température Minimale	
	Hiver	Été	Hiver	Été
<b>Côte</b>	25-27°C	30-32°C	/	/
<b>1500m d'altitude</b>	19-22°C	15-18°C	/	/
<b>Plaine des Palmistes</b>	/	/	8-10°C	14-16°C
<b>Sommet</b>	/	/	2-4°C	8-10°C

Pour ces raisons, il a été décidé de suivre certains paramètres sur des périodes caractéristiques :

- période fraîche et sèche de l'hiver austral,
- début de période chaude correspondant aux premières pluies, et donc aux premiers lessivages des zones urbaines, agricoles et naturelles de l'île,
- milieu de période chaude et saison cyclonique correspondant aux pics de pluviométrie.



## 4 RCS "Physico-chimie et phytoplancton"

### 4.1 Données utilisées

Le GT "physico-chimie et phytoplancton" de La Réunion a retenu, comme socle de travail, les données pertinentes acquises (§3.1 : définition de la stratégie, ...) :

1. dans le cadre du RNO-hydro de La Réunion entre 2002 et 2006,
2. depuis 2008 dans le cadre du réseau de préfiguration du RHLR,
3. dans le cadre du programme Phytorun (Turquet *et al.*, 2008(a)),
4. par Conand *et al.*, (2007), concernant la température en sub surface, dans le cadre notamment du suivi des phénomènes de blanchissement corallien.

### 4.2 Paramètres et indicateurs du réseau

La DCE impose aux Etats membres de prendre en compte dans les suivis du programme de surveillance *a minima* les paramètres oxygène dissous, turbidité, salinité, température, nutriments et phytoplancton.

Lorsqu'un seul paramètre est utilisé pour un élément de qualité, sa métrique constitue alors également l'indice et l'indicateur.

#### 4.2.1 L'oxygène dissous

L'oxygène dissous est un paramètre vital qui gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques. En dessous de certaines concentrations, de nombreuses espèces vivantes meurent. Les concentrations en oxygène dissous dans l'eau de mer dépendent de facteurs physiques (température, salinité, mélange de la masse d'eau), chimiques (oxydation) et biologiques (photosynthèse, respiration).

Cet élément contribue à l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau côtières et de transition dans le cadre du programme de surveillance de la DCE. Il a fait l'objet d'un rapport pour les masses d'eau métropolitaine en 2009 (Daniel et Soudant, 2009).

##### 4.2.1.1 L'échantillonnage

L'élément de qualité "oxygène dissous" est caractérisé par le paramètre **concentration en oxygène dissous**. Cette concentration est mesurée à **1 m au-dessus du fond** et est exprimée en **mg/L**.

**En métropole**, les phénomènes anoxiques en zone côtière sont généralement observés en période estivale (température de l'eau élevée) après une efflorescence phytoplanctonique ou de macroalgues (décomposition de la biomasse), à marée basse et en période de marteau (stratification verticale de la colonne d'eau). L'épuisement en oxygène dissous est aggravé au fond de la colonne d'eau (zone d'accumulation de débris organiques en décomposition) et dans les zones à faible renouvellement des eaux (lagunes, baies à faible courant résiduel).

Les prescriptions pour le contrôle de surveillance, décrites dans la circulaire DCE 2007/20 du Ministère de l'Ecologie, permettent de regrouper les prélèvements d'eau nécessaires aux différents paramètres suivis par la DCE. Ainsi, les prélèvements pour la mesure de l'oxygène dissous sont réalisés avec une fréquence mensuelle en période estivale (de juin à août pour

les masses d'eau de transition de Méditerranée et de juin à septembre pour toutes les autres masses d'eaux) au fond et en sub-surface de la colonne d'eau : il y a donc peu de chances de mesurer un événement anoxique au cours de ces 3 ou 4 prélèvements annuels sachant que les mesures d'oxygène dissous sont effectuées lors des sorties programmées pour le phytoplancton (biomasse et abondance) à la pleine mer plus ou moins deux heures.

**A La Réunion**, les mesures de la teneur en oxygène dissous se justifient **toute l'année** dans les **MEC (< 30 m) et les MER**, et une mesure en continu serait idéale, notamment dans les MER.

- **MEC**

Dans les masses d'eau situées au large et bien brassées, les risques de désoxygénation sont faibles. Aucun phénomène d'anoxie ou d'hypoxie n'a été relevé dans les données recueillies par les réseaux "RNO Hydrologie" et "RHLR" sur la période 2002 - 2009 (Figure 18). De plus, la profondeur supérieure à 30 m et les conditions hydrodynamiques élevées sont à l'origine des contraintes qui rendent difficile le déploiement de sondes à oxygène classiques.

Il a donc été décidé de ne réaliser les mesures que pour les lieux "St Marie" (126-P-006 / LC01) et "Ermitage" (126-P-016 / LC06) où la **profondeur n'excède pas 30 m**.

- **MER**

Lors de la phase d'extension du réseau "RNO Hydrologie" à La Réunion, bien que mesuré dans les MEC et les MER, ce paramètre avait surtout été programmé pour suivre une éventuelle dégradation des eaux récifales.

Quelques anomalies avaient été observées dans les eaux récifales (Chiffolleau *et al.*, 2005). Cependant, les nombreuses études effectuées précédemment dans ces zones montraient une **grande variabilité de ce paramètre au cours de la journée**. En outre, l'évolution journalière de la teneur en oxygène dissous en saison chaude, sur les cinq stations du récif frangeant de Saint-Gilles en dégradation, montrent que ce sont **essentiellement les périodes nocturnes** qui sont propices à voir apparaître des valeurs **au-dessous du seuil néfaste à la vie aquatique (Cuet *et al.*, 2006)**. Dans un contexte aussi marqué par une variabilité entre le jour et la nuit, la mise en œuvre de suivi haute fréquence en continue permettrait de mieux appréhender la dynamique globale de ce paramètre Oxygène.



LC	ME	Mnémonique Q <sup>2</sup>	Lieu de Surveillance	Profondeur (m) Ordre de grandeur
LC01	LC01	126-P-006	Sainte-Marie	20
LC02	LC08	126-P-018	La Possession (Large)	75
LC03	LC02	126-P-005	Saint-Benoit	75
LC04	LC07	126-P-020	Saint-Paul (Large)	50
LC05	LC06	126-P-073	Ermitage	30
LC05	LC06	126-P-016	Large Ermitage	75
LC07	LC03	126-P-003	Pointe de la Table	75
LC09	LC05	126-P-021	Saint-Louis	60
LC12	LC04	126-P-014	Grande Anse	75
LC13	LC04	126-P-072	Saint-Joseph	75

Certaines données issues du réseau "RNO Hydrologie" ont été qualifiées de douteuses (cercle rouge) par les auteurs du rapport (données supérieures à 170% / données l'ordre de 60-70% : présentes sur les graphiques).

Figure 18 : Teneur en Oxygène dissous sur la période 2002-2009 dans les MECs de La Réunion (ligne grisée = absence de données)

#### 4.2.1.2 L'indicateur

L'indicateur est défini par le **percentile 10**<sup>23</sup>.

Il est calculé avec l'ensemble des mesures effectuées sur la durée du programme de surveillance (6 ans).

#### 4.2.1.3 L'évaluation

Le résultat obtenu est comparé à la **grille de qualité** pour obtenir l'évaluation de la qualité de la masse d'eau pour cet élément. La grille, basée sur les impacts connus d'hypoxies ou d'anoxies sur les poissons, est la même partout, dans les eaux métropolitaines ou tropicales (Tableau 8).

Tableau 14 : Grille de qualité pour le paramètre Oxygène dissous

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Indice (mg/L)	> 5	3 - 5	2 - 3	1 - 2	< 1

#### 4.2.1.4 Proposition/recommandation du groupe de travail

Le GT DCE de La Réunion rappelle que ce paramètre connaît d'importantes fluctuations (notamment nyctémérales)<sup>24</sup> au sein des zones récifales. Il recommande en **conséquence le déploiement de sondes mesurant l'oxygène en continu** afin de mieux appréhender ces variations. En fonction des premiers résultats obtenus, le protocole de suivi DCE de ce paramètre (et, *a minima*, de la température) dans les 4 masses d'eau récifales pourrait être revu et reposer sur **l'utilisation pérenne de sondes haute fréquence**. La phase pilote de ce déploiement pourrait s'inscrire dans le cadre (prévu par la DCE) d'un contrôle d'enquête.

### 4.2.2 La transparence/turbidité

Parce qu'elle conditionne la transmission de l'énergie lumineuse aux producteurs primaires aquatiques, la transparence de l'eau régit la présence et la production des organismes photosynthétiques (phytoplancton, macroalgues et phanérogames) qui se développent dans la masse d'eau et sur le fond. La charge de particules en suspension dans l'eau influence également la faune aquatique qui se nourrit en filtrant l'eau (mollusques bivalves notamment) ou qui peut être asphyxiée (corail).

Cet élément contribue à l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau côtières et de transition dans le cadre du programme de surveillance de la DCE.

Il a fait l'objet d'un rapport pour les masses d'eau métropolitaines et de La Réunion en 2011 (Daniel & Soudant, 2011(b)).

#### 4.2.2.1 L'échantillonnage

La transparence de l'eau est évaluée sur la base de son **niveau de turbidité**.

Les mesures de turbidité sont effectuées en parallèle à tout prélèvement pour analyse de flore phytoplanctonique, de chlorophylle *a* ou de nutriments (Circulaire DCE 2007/20 du 5 mars 2007) : elles sont donc réalisées en **sub surface dans les MEC et les MER**.

Ce paramètre permet d'apprécier l'absorption de la lumière incidente par la colonne d'eau. La turbidité est donc fonction de la quantité, de la taille et de la forme des particules en suspension (minérales et organiques), ainsi que de la teneur en substances dissoutes colorées (acides humiques provenant des bassins versants). Elle résulte des apports terrigènes, de la remise en suspension des sédiments littoraux et localement d'actions

<sup>23</sup> Valeur statistique telle qu'elle permet le classement d'une valeur, ou d'un site, par rapport à une série de valeurs définie à l'avance. On parle ainsi de percentile 10 : valeur telle que 10% des valeurs observées lui sont inférieures.

<sup>24</sup> Variations nyctémérales = variations entre le jour et la nuit.

anthropiques. Elle est exprimée en **NTU** (Nephelometric Turbidity Unit). La néphélométrie est une méthode pour mesurer la turbidité, elle consiste à mesurer la lumière diffusée à 90° par rapport à la lumière incidente.

**En métropole**, l'évaluation se réalise en ne prenant en compte que la période de plus forte production primaire (période critique pour la biologie), permettant ainsi de négliger les épisodes turbides provoqués par les conditions météorologiques hivernales (période peu productive : mars à octobre pour les masses d'eau côtières / juin à août pour les lagunes méditerranéennes).

**A La Réunion**, l'évaluation s'appuie sur les valeurs obtenues **tout au long de l'année** (notamment car des eaux claires sont indispensables au corail).

#### 4.2.2.2 L'indicateur

Les valeurs élevées de turbidité sont préjudiciables à la survie et au développement des organismes vivants. Pour cette raison, le choix de l'indicateur s'est porté sur le **percentile 90<sup>25</sup>**. Le résultat obtenu par ce calcul permet de prendre en compte à la fois les valeurs absolues des turbidités sans donner trop d'importance aux épisodes les plus turbides.

Il est calculé à l'aide des mesures effectuées sur la durée d'un programme de surveillance (6 ans).

#### 4.2.2.3 L'évaluation

Le résultat obtenu est comparé à la **grille de qualité** pour obtenir l'évaluation de la qualité de la masse d'eau pour cet élément.

Des facteurs géographiques (situation par rapport au débouché des fleuves), édaphiques (nature du fond), météorologiques (vents, précipitations, débit des fleuves), hydrodynamiques (courants, clapot, houle) et biologiques (concentration en phyto- et en zooplancton) modifient la transparence de l'eau.

La variabilité des conditions auxquelles sont soumises les masses d'eau rend donc nécessaire de distinguer **plusieurs écotypes** (Tableau 9) dans lesquels sont définis des niveaux différents de turbidité acceptable.

- Ecotype 1 : les zones rocheuses, les côtes méditerranéennes (sauf celles du Languedoc) et les côtes de l'île de La Réunion,
- Ecotype 2 : les zones vaseuses/sableuses et les masses d'eau situées à l'embouchure des principaux fleuves,
- Ecotype 3 : les lagunes méditerranéennes, où la turbidité peut être directement influencée par les usages.

Au niveau national, deux **grilles de qualité** ont été produites (Tableau 9). Elles ne comprennent que 3 classes "très bon", "bon" et "moyen".

Dans l'arrêté du 25 Janvier 2010, La Réunion est rattachée à la grille la plus sensible (qui correspond aux écotypes 1 et 2).

<sup>25</sup> Valeur statistique telle qu'elle permet le classement d'une valeur, ou d'un site, par rapport à une grille définie à l'avance. On parle ainsi de percentile 90 : valeur telle que 90% des valeurs observées lui sont inférieures

Tableau 15 : Grille de qualité pour le paramètre Transparence/Turbidité par écotype

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
	Ecotypes 1 et 2				
Indice (NTU)	< 5	5 - 10	> 10		
	Ecotype 3				
Indice (NTU)	< 30	30 - 45	> 45		
	Proposition du GT Réunion (Valeur de référence = <b>0.4 NTU</b> )				
Indice (NTU)	< 0.6	0.6 - 3.0	> 3.0		

#### 4.2.2.4 Proposition/recommandation du groupe de travail

Le GT "physico-chimie et phytoplancton" de La Réunion s'interroge sur la pertinence d'associer La Réunion à l'écotype 1 en regard des bornes NTU de la grille. En effet les niveaux les plus bas sont déjà très supérieurs aux valeurs habituellement rencontrées dans les eaux réunionnaises.

En regard de l'historique des séries de données déjà acquises dans le cadre du RHL, **une grille avec 0.4 NTU comme valeur de référence a été proposée aux référents DCE nationaux pour validation.**

#### 4.2.3 La salinité

Par son influence sur la densité de l'eau de mer, la salinité permet de connaître la circulation océanique, d'identifier les masses d'eau d'origine différentes et de suivre leurs mélanges au large comme à la côte ou dans les estuaires. De brutales variations de salinité, répétées et intenses, peuvent constituer une source de stress pour les organismes marins.

Toutefois, les prélèvements instantanés tels que prescrits par la DCE ne permettent pas de suivre la durée et la fréquence d'éventuelles dessalures. De plus, l'utilisation d'un seuil tenant compte uniquement de l'intensité de la dessalure n'a pas été retenue étant donné que celle-ci, pour les masses d'eau sous l'influence d'apports d'eau douce, dépend directement de la localisation du point de prélèvement dans le panache fluvial.

L'indicateur de qualité salinité a donc été déclaré **non pertinent** par les experts nationaux dans les masses d'eau côtières et de transition dans le cadre du programme de surveillance DCE.

Il est cependant indispensable de continuer à mesurer ce paramètre afin **d'appuyer l'interprétation des autres paramètres hydrologiques** (nutriments et oxygène dissous) et **biologiques**. Ceci est d'autant plus vrai localement, et notamment en zone lagonnaire, car les dessalures ont un impact sur le corail.

Les mesures de salinité sont donc effectuées en parallèle à toute mesure d'oxygène dissous et tout prélèvement pour analyse de flore phytoplanctonique, de chlorophylle *a* ou de nutriments (Circulaire DCE 2007/20 du 5 mars 2007) : elles sont donc réalisées en **sub surface dans les MEC et les MER et au fond pour les MEC avec l'oxygène dissous.**

La "grandeur" salinité représente la masse de sels dissous contenue dans un kilogramme d'eau de mer. La salinité étant un rapport entre deux valeurs de même unité, elle s'exprime donc **sans unité**.

Cet élément contribue à l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau côtières et de transition dans le cadre du programme de surveillance de la DCE en tant que paramètre associé (aucun indicateur).

Il a fait l'objet d'un rapport pour les masses d'eau métropolitaine et La Réunion en 2011 (Daniel & Soudant, 2011(a)).

#### 4.2.4 La température

Cet élément contribue à l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau côtières et de transition dans le cadre du programme de surveillance de la DCE.

Il a fait l'objet d'un rapport pour les masses d'eau métropolitaines en 2009 (Ifremer, 2009).

##### 4.2.4.1 L'échantillonnage

Les mesures de température sont effectuées en parallèle à toute mesure d'oxygène dissous et tout prélèvement pour analyse de flore phytoplanctonique, de chlorophylle ou de nutriments (Circulaire DCE 2007/20 du 5 mars 2007) : elles sont donc réalisées en **sub surface dans les MEC et les MER** et au **fond pour les MEC avec oxygène dissous, tout au long de l'année**. Elles sont exprimées en °C.

##### 4.2.4.2 L'indicateur

L'indicateur développé repose sur la définition d'une "enveloppe" sinusoïdale de température, "l'enveloppe de référence", correspondant à 3 fois l'intervalle interquartile<sup>26</sup>.

L'indicateur est défini comme le **pourcentage de valeurs de température de l'eau considérées comme exceptionnelles**, c'est-à-dire qui sortent de **l'enveloppe de référence** considérée comme assurant le bon fonctionnement écologique d'un écosystème.

Il est calculé à l'aide des mesures effectuées sur la durée d'un programme de surveillance (6 ans).

##### 4.2.4.3 L'évaluation

Etant donné l'étendue des gammes de variation naturelles, liées aux situations climatiques et latitudinales, des masses d'eau côtières sur l'ensemble du **littoral français métropolitain, 5 enveloppes de référence** ont été définies à partir des données enregistrées sur la période 1988-2007.

La plage annuelle de variation des températures dans nos **eaux réunionnaises** a contraint à définir une **6<sup>ème</sup> enveloppe** de référence qui est représentée par les deux sinusoïdes en pointillés rouges de la Figure 19.

La courbe enveloppe adaptée aux MEC Réunionnaises a été générée à partir des données (1994 – 2004) ayant déjà fait l'objet d'une publication (Conand *et al.*, 2007).

La série de données complémentaire, comprise entre 2004 et aujourd'hui (données non encore publiées), permettrait d'améliorer le référentiel. La demande d'autorisation d'accès à ces données n'a malheureusement pas reçu de réponse favorable à ce jour.

<sup>26</sup> Etendue obtenue après élimination de 25% des valeurs les plus faibles (quartile 1 – Q1) et de 25% des valeurs les plus fortes (quartile 3 – Q3).

Le très bon état est atteint lorsqu'au moins 95 % des valeurs mesurées sont comprises dans l'enveloppe de référence. Si moins de 95 % des valeurs sont comprises dans l'enveloppe, la masse d'eau est considérée en mauvais état pour cet élément (Tableau 16). Ces "dépassements" de l'enveloppe de référence peuvent avoir pour cause des rejets locaux d'origine anthropique, ou des modifications de la courantologie, également d'origine anthropique. Le réchauffement climatique, dont il est convenu de reconnaître aujourd'hui qu'il est également en grande partie d'origine anthropique, n'est pas considéré par la DCE comme une source de pression directe sur les ME pouvant générer un déclassement. Cependant, ces changements globaux sont pris en compte à travers la réactualisation régulière des conditions de référence. A ce titre, disposer des données de températures acquises entre 2004 et aujourd'hui permettrait de réactualiser notre référentiel.

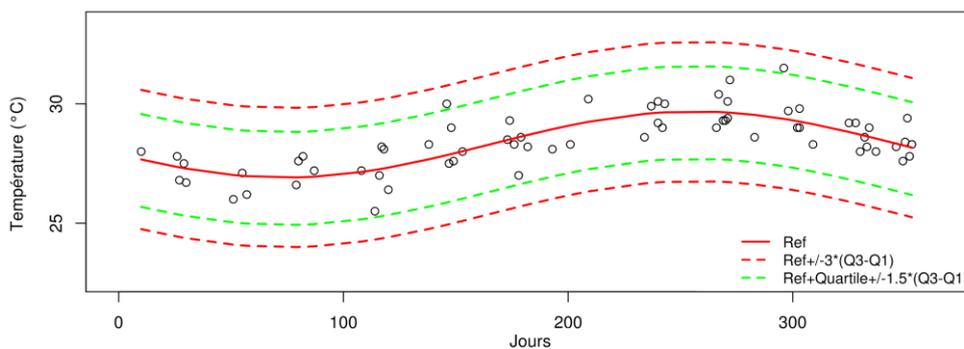


Figure 19 : Enveloppe sinusoïdale de référence définie pour l'indicateur température à La Réunion dans les MEC. Données du RHLR ; températures en ordonnée ; Trait plein rouge = sinusoïde de référence ; pointillés rouges = enveloppe de référence

Tableau 16 : Grille de qualité pour le paramètre Température dans les MEC

	Très bon	Mauvais
Indice (%)	< 5% en dehors de l'enveloppe rouge	> 5% en dehors de l'enveloppe rouge

#### 4.2.4.4 Proposition/recommandation du groupe de travail

Le GT DCE "Physico-chimie et Phytoplancton" de La Réunion indique qu'il existe une différence marquée entre la température dans les MER et la température dans les MEC. Actuellement, la définition d'une enveloppe de référence dans les MER est impossible compte-tenu des données disponibles et devra être élaboré dans le futur.

Il rappelle également l'impact reconnu de ce paramètre sur le corail : au-dessus de certains seuils de température cumulée ( $\sim 29^{\circ}\text{C}$ ) le phénomène de blanchissement corallien peut s'opérer, et aller jusqu'à la mort du corail. Le GT estime par conséquent que cette température limite méritera très vraisemblablement, après quelques années de suivi (quand un nombre suffisant de données aura été acquis), d'être prise en compte dans l'indicateur température DCE à La Réunion, et qu'un indicateur parfaitement adapté localement pourrait résulter d'une combinaison de l'indicateur DCE actuel et du "Degree Heating Weeks"

("anomalie hebdomadaire de température"<sup>27</sup>) qui est l'indicateur reposant sur des données de température, développé pour le suivi et surtout la prévision du blanchissement corallien.

**Il recommande donc de réaliser les suivis de ce paramètre en utilisant des sondes permettant des enregistrements en continu, *a minima* dans les masses d'eau récifales (même proposition que pour le suivi de l'oxygène dissous).**

#### 4.2.5 Les nutriments

Le terme "nutriments" (ou "sels nutritifs") désigne l'ensemble des composés inorganiques et des ions nécessaires à la nutrition des producteurs primaires (phytoplancton, macroalgues, ...). Les principaux nutriments sont le nitrate, le nitrite, l'ammonium, le phosphate et le silicate.

Les nutriments sont naturellement présents dans le milieu (lessivage des sols, dégradation de la matière organique). Des concentrations excessives peuvent avoir pour origine les rejets domestiques (stations d'épurations, assainissement autonome), industriels (industrie agroalimentaire, laveries,...) ou agricoles (engrais).

Si les nutriments ne sont pas directement toxiques pour le milieu marin, l'augmentation des flux déversés en zone côtière peut être considérée comme une pression à l'origine de nuisances indirectes.

En effet, une augmentation de la teneur en nutriments peut engendrer :

- des développements massifs de certaines espèces phytoplanctoniques, phénomène qui se traduit par une augmentation des teneurs en chlorophylle *a* dans l'eau et/ou des modifications dans la structure des peuplements phytoplanctoniques,
- des développements massifs de macroalgues opportunistes (ulves, monostromes, entéromorphes, ...).

Ces conséquences directes ont des répercussions sur le bon fonctionnement du milieu en provoquant notamment :

- une diminution de l'intensité lumineuse nécessaire à la photosynthèse néfaste pour le couvert végétal (macroalgues fixées, herbiers...),
- une augmentation des teneurs en matière organique dont la dégradation consomme de l'oxygène dissous ; ce phénomène peut générer des anoxies et provoquer la mort des espèces démersales et benthiques,
- la prolifération de certaines espèces phytoplanctoniques peut engendrer des mortalités de poissons ou de coquillages, soit en raison de leur toxicité intrinsèque pour ces animaux, soit parce que leur forte concentration dans l'eau induit un colmatage des branchies.

<sup>27</sup> L'anomalie de température est la différence entre la température critique (température mensuelle la plus élevée de l'année type) et la moyenne hebdomadaire des températures mesurées quotidiennement. Cette méthode nécessite une fréquence de mesure de température horaire, permettant de calculer des valeurs moyennes quotidiennes puis hebdomadaires.

Cet élément contribue à l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau côtières et de transition dans le cadre du programme de surveillance de la DCE.

Il a fait l'objet d'un rapport pour les masses d'eau métropolitaines en 2010 (Daniel & Soudant, 2010).

#### 4.2.5.1 L'échantillonnage

**En métropole**, l'élément de qualité "nutriments" est évalué à l'aide des résultats d'analyse sur les prélèvements effectués en sub surface à pleine mer +/- 2 heures :

- de novembre à février pour les masses d'eau côtières et de transition du secteur Atlantique, Manche et mer du Nord,
- tous les mois dans les masses d'eau côtières et de transition de méditerranée, sauf dans les lagunes (juin à août).

**A La Réunion**, l'élément de qualité "nutriments" est évalué à l'aide des résultats d'analyse sur les prélèvements effectués en **sub surface dans les MEC et les MER** :

- à basse mer (BM) +/-2h et si possible durant les marées de vives eaux dans les MER afin d'avoir des mesures cohérentes sur toutes les masses d'eau.
- sans exigence vis-à-vis de la marée dans les MEC.

#### 4.2.5.2 L'indicateur en métropole

L'indicateur est défini comme étant la **combinaison des indices ammonium, nitrate, nitrite, phosphate et silicate**. A ce jour, la pertinence des indices phosphate et silicate est toujours à l'étude. Ainsi, **pour l'instant, l'indicateur nutriments intègre uniquement les concentrations d'azote inorganique dissous (NID), c'est à dire la somme ammonium + nitrate + nitrite**.

La concentration en nutriments étant considérée comme une pression sur l'écosystème, et non comme un paramètre ayant un effet direct sur le milieu, la concentration en NID a été relativisée par rapport au fonctionnement propre des différents milieux. Pour ce faire, un symptôme primaire d'eutrophisation, la chlorophylle *a*, a été utilisé.

Il est calculé à l'aide des mesures effectuées sur la durée d'un programme de surveillance (6 ans).

#### 4.2.5.3 L'évaluation en métropole

La concentration en NID étant directement reliée à la salinité (notamment en période hivernale), il a été nécessaire de regrouper les masses d'eau côtières et de transition au sein d'**écotypes** représentatifs des bassins hydrographiques. Il est ainsi possible de définir une droite de dilution pour l'ensemble des données acquises sur le programme de surveillance de 6 ans.

La métrique de l'**indice NID** est la concentration normalisée à 33 de salinité de l'ensemble des mesures effectuées dans un écotype sur l'ensemble d'un programme de surveillance de 6 ans. Si moins de 18 mesures sont disponibles, aucune évaluation n'est effectuée. Il en va de même si moins de 6 mesures sont associées à une salinité supérieure à 20.

Ainsi, en s'appuyant sur la correspondance entre la concentration en NID normalisée à une salinité de 33 et les valeurs de RQE de l'indice chlorophylle *a* dans les masses d'eau disposant de longues séries de données (Seine, Loire, Bassin d'Arcachon ; Figure 12), les valeurs seuils pour l'élément de qualité NID ont été définies.

La **teneur en NID** correspondant à la valeur seuil du **Ratio de Qualité Ecologique (RQE) chlorophylle *a*** entre très bon état et bon état (= 0,67) a été fixée comme valeur seuil de la concentration NID entre très bon état et bon état. Elle s'élève à 16 µM. La teneur en NID correspondant à la valeur seuil du RQE chlorophylle *a* entre bon état et état moyen (=0,33) a

été fixée comme valeur seuil de la concentration NID entre bon état et état moyen. Elle s'élève à 29  $\mu\text{M}$ .

Au contraire de ce qui est pratiqué pour d'autres paramètres, cet indicateur n'est pas calculé masse d'eau par masse d'eau, mais sur des écotypes regroupant des masses d'eau adjacentes, de façon à disposer d'un nombre suffisant de données de concentrations de NID à différentes salinités pour bâtir les droites de dilution. Ainsi, on ne dispose que d'une valeur de NID (teneur normalisée pour une salinité de 33) par écotipe.

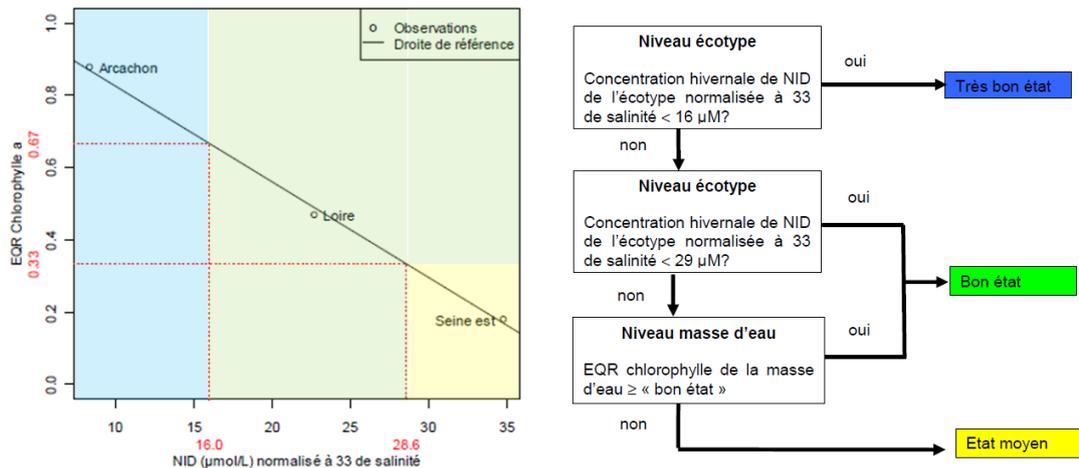


Figure 20 : Intégration des indices NID et ERQ Chla (à gauche) pour constituer la grille d'évaluation de l'indicateur NID en métropole (à droite)

Lors de l'application de cet indicateur sur les différentes masses d'eau, au-delà de 29  $\mu\text{M}$  (valeur à partir de laquelle l'indicateur permet de classer une masse d'eau en "état moyen"), il est proposé de distinguer deux cas :

- soit cette teneur présente un impact négatif sur les biomasses phytoplanctoniques (RQE chlorophylle  $a < 0,33$ ), auquel cas la masse d'eau présente un état moyen vis-à-vis de ce paramètre ;
- soit cette teneur n'a pas d'impact sur les biomasses phytoplanctoniques (RQE chlorophylle  $a > 0,33$ ), auquel cas on considère que la masse d'eau présente un bon état vis-à-vis de ce paramètre.

Tableau 17 : Grille de qualité pour le paramètre nutriment (NID) en métropole

	Très bon	Bon		Moyen	Médiocre	Mauvais
NID ( $\mu\text{mol/L}$ )	< 16	16 - 29	> 29	> 29		
RQE "Chlorophylle a"		> 0.33		< 0.33		

#### 4.2.5.4 Proposition/recommandation du groupe de travail

L'oligotrophie des eaux réunionnaises, le caractère très complexe des apports terrigènes en nutriments et les temps de résidence très courts au sein des masses d'eau côtières (lié à l'hydrodynamisme important), font que les seuils proposés pour la métropole ne sont pas adaptés localement. Le GT DCE "Physico-chimie et Phytoplancton" de La Réunion et la Coordination Nationale Hydrologie DCE de l'Iframer essaieront de développer, en collaboration, un indicateur nutriments en 2013/2014.

#### 4.2.6 Le phytoplancton

Le phytoplancton constitue la partie végétale du plancton, ce dernier regroupant des individus animaux et végétaux de petite taille qui se déplacent principalement sous l'influence des courants. Le phytoplancton, qui est le premier maillon de la chaîne alimentaire dans le milieu marin, fait partie des indicateurs de la qualité écologique des masses d'eau retenus dans le cadre du programme de surveillance de la DCE sauf dans les estuaires déclarés turbides.

Le phytoplancton a la capacité de se développer très rapidement provoquant des blooms qui se produisent lorsque les conditions environnementales sont favorables. Lorsque le milieu reçoit trop de matières nutritives, la production phytoplanctonique peut être excessive et engendrer un phénomène d'eutrophisation.

Cet élément contribue à l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau côtières et de transition dans le cadre du programme de surveillance de la DCE.

Il a fait l'objet de plusieurs rapports d'évaluation dont un rapport pour les masses d'eau DOM en 2012 (Gailhard-Rocher *et al.*, 2012).

##### 4.2.6.1 L'échantillonnage

En métropole, les périodes d'échantillonnage varient en fonction des situations géographiques et climatiques :

- Mer du Nord/Manche-Atlantique : de mars à octobre pour la biomasse et de janvier à décembre pour l'abondance,
- Lagunes Méditerranéennes : de juin à août,
- Méditerranées autre que lagunes : de janvier à décembre.

Les paramètres pour chaque indice sont également différents suivant les masses d'eau.

Tableau 18 : Paramètres suivis en fonction des indices et du type de Masse d'Eau (ME) en métropole

Indice	Paramètres	Type ME
<b>Biomasse</b>	Chlorophylle $a$	tous les groupes de MEC et MET sauf les MET "turbides"
<b>Abondance</b>	1/ Microphytoplancton Blooms observés	1/ tous les groupes de MEC et MET sauf lagunes méditerranéennes et MET turbides
	2/ Nanophytoplancton Picophytoplancton	2/ MET Lagunes méditerranéennes
<b>Composition</b>	Blooms et identification des espèces nuisibles	tous les groupes de MEC et MET

**A La Réunion**, l'échantillonnage se fait en **sub-surface**, **toute l'année** sur toutes les masses d'eau cotières (MEC) pour la **biomasse** et de **manière plus allégée en fréquence et dans l'espace pour la composition et l'abondance**. L'échantillonnage dans les MERs est considéré non pertinent par le GT DCE "physico-chimie et phytoplancton" de La Réunion compte-tenu de la variabilité de ce paramètre liée :

- aux phénomènes de broutage du phytoplancton par les organismes benthiques,
- à l'intensité lumineuse très forte associée à une faible profondeur ce qui entraîne une dégradation rapide de la chlorophylle  $a$ ,

- ainsi qu'aux remises en suspensions du microphytobenthos lors, par exemple, d'épisodes de fortes houles.

D'autre part, les masses d'eau réunionnaises sont très oligotrophes, et les concentrations cellulaires maximales enregistrées à ce jour ne sont que de l'ordre de  $10^3$  Cell/L. L'indice d'abondance phytoplanctonique, reposant sur des seuils de bloom significatifs, n'est pas pertinent à la Réunion ou la notion même de bloom n'a pas de sens.

Par contre, le GT DCE de La Réunion recommande de **maintenir un suivi des peuplements phytoplanctoniques dans le cadre du RCS en 4 points**, de façon à suivre l'évolution des peuplements phytoplanctoniques (composition) et à vérifier si, à l'avenir, des blooms viennent à se développer (abondance).

Le phytoplancton est composé à 80% de picophytoplancton (Turquet *et al.*, 2008(a)) donc, à l'image des lagunes méditerranéennes, le seul paramètre microphytoplancton n'est pas pertinent. Le GT DCE de La Réunion conseille donc également le **suivi du nano et du pico plancton**.

Enfin, compte tenu des faibles teneurs en chlorophylle/phéopigments, le GT DCE de La Réunion recommande d'intégrer un **suivi complémentaire de la biomasse par des analyses pigmentaires par HPLC sur 2 points** pour analyse comparée des deux méthodes de suivi.

Tableau 19 : Paramètres suivis en fonction des indices et du type de Masse d'Eau (ME) à La Réunion

Suivi	Paramètres	MEC	MER
<b>Biomasse</b>	Chlorophylle <i>a</i> / phéopigments Analyses pigmentaires	X 2 points : "Large Ermitage" (126-P-016) "Saint Paul (Large)" (126-P-020)	
<b>Abondance/ Composition</b>	Microphytoplancton Nanophytoplancton Picophytoplancton	4 points : "Large Ermitage" (126-P-016) "Saint Paul (Large)" (126-P-020) "Sainte-Marie" (126-P-006) "Grande-Anse" (126-P-014)	

#### 4.2.6.2 L'indicateur

La combinaison des 3 indices : biomasse, abondance et composition conduit à l'indicateur pour l'évaluation de la qualité.

Les indices sont calculés à partir des mesures effectuées sur la durée d'un programme de surveillance (6 ans).

#### **Indice Biomasse**

Le paramètre choisi par tous les pays européens est la **chlorophylle *a***. Ce pigment, présent dans la grande majorité des cellules phytoplanctoniques, simple à mesurer, offre une estimation pertinente de la biomasse du phytoplancton, tout en étant complémentaire de l'information apportée par le dénombrement des espèces.

#### **Indice Abondance**

Le paramètre choisi en métropole (mais pas forcément partagé par les autres pays européens), est la **fréquence de blooms**, définie à partir des données d'observation microscopique du micro-phytoplancton. Il vient ainsi compléter l'indice biomasse en apportant des informations sur la fréquence des efflorescences phytoplanctoniques, élément qui lui aussi peut être caractéristique d'éventuels dysfonctionnements de l'écosystème.

#### **Indice Composition**

A l'heure actuelle, l'état est le suivant : un indice composition utilisant des données pigmentaires acquises par HPLC a été validé pour les eaux côtières de Corse (Goffart, 2011), et est en cours de validation pour les eaux côtières de la partie Est de la Méditerranée française. Un indice basé sur les pigments est également en cours d'étude pour les eaux de transition lagunaires. Pour la Manche et l'Atlantique, une synthèse bibliographique de la composition phytoplanctonique en milieu estuarien (Caffier & Artigas, 2010a), et des réflexions ultérieures ont mis en évidence que le micro phytoplancton dénombré dans le cadre du REPHY n'est pas suffisant pour définir un véritable indice de composition. Des études sont donc prévues en 2013 afin d'acquérir des données complémentaires par des techniques nouvelles (cytométrie en flux, pigments, diversité génétique), qui permettront d'aborder le problème de la composition du phytoplancton dans toute sa diversité, c'est-à-dire micro, nano et pico-phytoplancton.

#### 4.2.6.3 L'évaluation

##### Indice Biomasse

La métrique retenue est le **percentile 90** de la concentration en Chlorophylle *a* (P90), qui permet la prise en compte d'une grande majorité de données, y compris des pics d'abondance, à l'exception des données extrêmes de ces pics.

Il est transformé en un **Ratio de Qualité Ecologique (RQE)** qui est le rapport entre le percentile 90 et la valeur de référence qui correspond au bon état.

Les données utilisées pour cet indice peuvent être des mesures *in situ*, mais aussi des images satellite traitées pour le calcul du P90. La Chlorophylle *a* est mesurée dans des prélèvements réalisés en sub-surface.

Selon les secteurs, les grilles de qualité diffèrent (Figure 13).

Tableau 20 : Grilles de qualité pour le paramètre Chlorophylle *a* par écotype (d'après Gailhard-Rocher et al., 2012)

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
<b>Valeur de référence</b>	Type 1/26a : 3.35 µg/L				
Indice (µg/L)	< 5	5 - 10	10 - 20	20 - 40	> 40
RQE	> 0.67	0.67 - 0.33	0.33 - 0.17	0.17 - 0.08	< 0.08
<b>Valeur de référence</b>	Type 1/26b : 6.7 µg/L				
Indice (µg/L)	< 10	10 - 15	15 - 22.5	22.5 - 45	> 45
RQE	> 0.67	0.67 - 0.44	0.44 - 0.30	0.30 - 0.15	< 0.15
<b>Valeur de référence</b>	Type II A : 1.9 µg/L				
Indice (µg/L)	< 2.4	2.4 - 3.6	3.6 - 7.2	7.2 - 14.4	> 14.4
RQ	> 0.79	0.79 - 0.53	0.53 - 0.26	0.26 - 0.13	< 0.13
<b>Valeur de référence</b>	Type III W : 0.9 µg/L				
Indice (µg/L)	< 1.1	1.1 - 1.8	1.8 - 3.6	3.6 - 7.2	> 7.2

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
RQE	> 0.82	0.82 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.12	< 0.12
<b>Valeur de référence</b>	Type III W Corse <sup>28</sup> : 0.6 µg/L				
Indice (µg/L)	< 0.75	0.75 - 1.22	1.22 - 2.44	2.44 - 4.88	> 4.88
RQE	> 0.80	0.80 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.12	< 0.12
<b>Valeur de référence</b>	Guadeloupe <sup>29</sup> : 0.05 µg//L				
Indice (µg/L)	< 0.1	0.1 - 1	1 - 5	5 - 10	> 10
RQE	> 0.5	0.5 - 0.05	0.05 - 0.01	0.01 - 0.005	< 0.005
<b>Valeur de référence</b>	Martinique <sup>30</sup> : 0.2 µg/L				
Indice (µg/L)	< 0.3	0.3 - 0.6	0.6 - 1.2	1.2 - 2.4	> 2.4
RQE	> 0.67	0.67 - 0.33	0.33 - 0.17	0.17 - 0.08	< 0.08
<b>Valeur de référence</b>	Intermédiaire Corse <sup>31</sup> => Océan Indien : 0.4 µg/L				
Indice (µg/L)	< 0.6	0.6 - 0.9	0.9 - 1.8	1.8 - 3.7	> 3.7
RQE	> 0.67	0.67 - 0.44	0.44 - 0.22	0.22 - 0.11	< 0.11

La grille "Intermédiaire Corse" est retenue pour les masses d'eau côtières réunionnaises. Elle est renommée "Océan Indien" par la coordination DCE Ifremer suite à une réunion du GT DCE "Physico-chimie et phytoplancton" de La Réunion car elle n'est utilisée que pour cette zone.

### Indice Abondance

La métrique retenue est le **pourcentage d'échantillons pour lesquels au moins un taxon est supérieur à une concentration-seuil**. Cette concentration-seuil est différente selon que le taxon est de grande taille ou de petite taille, ou bien selon les groupes de masses d'eau (cette concentration-seuil est par exemple différente entre la Corse et la Méditerranée continentale).

Seul le **groupe de masses d'eau réunissant les lagunes méditerranéennes**, a un indice d'abondance différent, puisqu'il n'est pas basé sur les observations microscopiques du microphytoplancton, mais sur les analyses en cytométrie en flux du nano et du picophytoplancton (on a pu montrer que dans ces écosystèmes, le nano et le pico sont très dominants par rapport au micro). Dans ce cas, deux paramètres sont définis à partir des concentrations en nano et pico, et la métrique est le **percentile 90**. Il est transformé en un **Ratio de Qualité Ecologique (RQE)** qui est le rapport entre le percentile 90 et la valeur de référence qui correspond au bon état.

<sup>28</sup> grille "Corse" proposée par Anne Goffart (STARESO / Calvi)

<sup>29</sup> grille "Guadeloupe" est extraite du tableau 7 (ci-dessous) de "Réalisation du contrôle de surveillance des masses d'eau littorales de la Guadeloupe. Période 2008 - 2013. Rapport de synthèse : 2ème année de suivi. Tranche conditionnelle n°1 (2009-2010). Rapport final du 21/09/2010"

<sup>30</sup> grille "Martinique" est extraite du tableau 5 de la "Consultation pour la surveillance DCE du phytoplancton en Martinique pour 2012"

<sup>31</sup> grille "intermédiaire Corse" est proposée par Catherine Belin

Deux métriques sont donc proposées pour les eaux métropolitaines selon la nature des masses d'eau (Tableau 12).

Tableau 21 : Grilles de qualité retenues en métropole pour l'indice d'abondance phytoplanctonique

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
<b>Tous type de ME</b>					
% d'échantillons. en état de bloom			Un bloom = entre 250 et 150 10 <sup>3</sup> Cell/L (selon les taxons)		
<b>Valeur de référence</b>	<b>16.7</b>				
Indice	< 20	20 - 40	40 - 70	70 - 90	> 90
RQE	< 0.19	0.19 - 0.24	0.24 - 0.42	0.42 - 0.83	> 0.83
<b>Eaux de Transition et Méditerranée (lagunes)</b>					
Percentile 90 de la concentration en millions de Cell/L					
<b>Valeur de référence</b>	<b>Nanoplancton</b>		<b>3</b>		
Indice	< 6	6 - 15	15 - 30	30 - 150	> 150
RQE	< 0.02	0.02 - 0.10	0.10 - 0.20	0.20 - 0.50	> 0.50
<b>Valeur de référence</b>	<b>Picoplancton</b>		<b>15</b>		
Indice	< 30	30 - 75	75 - 150	150 - 750	> 750
RQE	< 0.02	0.02 - 0.10	0.10 - 0.20	0.20 - 0.50	> 0.50

**A La Réunion**, comme indiqué précédemment, les concentrations cellulaires maximales enregistrées à ce jour ne dépassent pas 10<sup>3</sup> Cell/L, très inférieures aux niveaux ciblés par l'indice d'abondance. Cet indice d'abondance est jugé **non pertinent** par le GT "Physico-chimie et Phytoplancton".

#### **Indice Composition**

La métrique initialement retenue en métropole reposait sur le pourcentage d'échantillons présentant des taxons nuisibles en "état de bloom", (un bloom, selon les taxons, étant caractérisé par des concentrations cellulaires dépassant 150 à 250 ×10<sup>3</sup> Cell/L). Cette métrique est actuellement jugée non pertinente et un nouvel indice est en cours d'élaboration (§4.2.6.2)

Tableau 22 : Grille de qualité retenue en métropole pour l'indice de composition phytoplanctonique

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
<b>Valeur de référence</b>	<b>15 %</b>				
Indice	< 10	10 - 17	17 - 35	35 - 80	> 80
RQE	< 0.02	0.02 - 0.10	0.10 - 0.20	0.20 - 0.50	> 0.50

Cet indice est également jugé "non pertinent" pour les eaux réunionnaises par le GT DCE "Physico-chimie et Phytoplancton" de La Réunion compte-tenu de l'absence de bloom.

#### **4.2.6.4 Indicateur Phytoplancton à La Réunion : biomasse**

En conclusion, le GT "Physico-chimie et Phytoplancton" de La Réunion propose de ne retenir comme indicateur "Phytoplancton" que l'indice biomasse.

Il préconise en outre :

- de maintenir un suivi de la composition et de l'abondance en phytoplancton sur 4 stations du RHLR (Sainte-Marie 126-P-006, Grande Anse 126-P-014, Large Ermitage 126-P-016 et St Paul 126-P-020). Ce suivi, à vocation "patrimoniale" permettra, d'autre part, d'identifier d'éventuelles dérives dans la composition des peuplements phytoplanctoniques sur le moyen/long terme.
  - suivi "classique" par dénombrement microscopique pour le microphytoplancton, sur des échantillons bruts (quantitatifs) et sur des échantillons prélevés au filet (qualitatifs)
  - analyses par cytométrie de flux pour le nano et picophytoplancton (augmentation des *Synechococcus sp.* avec l'enrichissement en éléments nutritifs).
- de réaliser, sur deux de ces points (Large Ermitage 126-P-016 et St Paul 126-P-020), des analyses pigmentaires par HPLC.

#### 4.2.7 Le pH et le CO<sub>2</sub>

Le pH et la pression partielle de CO<sub>2</sub> ne faisant pas partie des paramètres à suivre par la DCE, ils n'ont donc pas été utilisés pour élaborer des indicateurs d'état en Europe ou en France métropolitaine.

Les volets **Température "Risque de Blanchissement", pH et CO<sub>2</sub>**, relèvent également et surtout de la problématique "**changement global**". A ce titre, ils s'écartent des objectifs spécifiques de la DCE qui visent avant tout à identifier, pour les juguler, les sources de pressions anthropiques locales pouvant être à l'origine d'une non-atteinte du Bon Etat des masses d'eau.

Le GT DCE "Physico-chimie et Phytoplancton" de La Réunion souhaite néanmoins poursuivre les recherches en cours et approfondir le travail dans une perspective cohérente avec celle de la DCE. En effet, un éventuel dysfonctionnement de l'écosystème, lié à des épisodes de blanchissement répétés ou à des déséquilibres carbonatés (sensible au pH et au CO<sub>2</sub>), pourrait, à terme, se traduire par une dégradation rapide de l'écosystème et **conduire à déroger au Bon Etat des MER de La Réunion.**

##### 4.2.7.1 La pertinence des paramètres

Dans le contexte du changement climatique et de l'acidification des océans, la pertinence de ces deux paramètres, dont on connaît de mieux en mieux l'influence sur le développement et la survie de nombreuses espèces coralliennes, est clairement posée pour les masses d'eau de la zone intertropicale.

Le volume accru de dioxyde de carbone provenant des activités humaines incorporé aux océans via l'atmosphère depuis 1750 les a rendu plus acides, avec une diminution moyenne du pH (mesure de l'acidité ou de l'alcalinité d'une solution) de 0,1 unité. La hausse des concentrations de CO<sub>2</sub> atmosphérique seraient susceptibles d'accroître cette acidification. Aujourd'hui, le pH moyen à la surface des océans est évalué à environ 8,1. Les projections envisagent la progression de l'acidification tout au long du XXI<sup>e</sup> siècle, qui entraînerait une réduction du pH moyen global à la surface des océans comprise entre 0,14 et 0,35 unité.

Selon toute vraisemblance, l'hypothèse que cette acidification progressive puisse nuire aux organismes marins qui forment des squelettes calcifiés, tels que les coraux, est prise en considération (GIEC, 2007).

Sous les basses latitudes, il existe un fort risque de changement d'état des écosystèmes coralliens, dû aux effets combinés de la diminution du degré de saturation en carbonates dans les eaux superficielles, de l'augmentation de la température, de l'amplification des phénomènes météorologiques extrêmes, de l'élévation du niveau de la mer, et de l'anthropisation des zones côtières en milieu tropical (Rosa & Siebel, 2011).

En effet, l'acidification a un impact sur le taux de saturation des eaux marines en aragonite (forme de  $\text{CaCO}_3$  utilisée par les coraux), taux qui pourrait passer sous le seuil d'équilibre à partir duquel les coraux ne seraient plus à même de le fixer.

Même si certaines prévisions semblent être quelque peu alarmistes et relèvent encore aujourd'hui de l'hypothèse, une surveillance des paramètres liés aux carbonates reste pertinente en zone corallienne.

#### 4.2.7.2 L'échantillonnage

Dans le cadre de la surveillance des paramètres liés aux carbonates, quatre paramètres peuvent faire être suivis :

- le pH,
- la pression partielle du  $\text{CO}_2$  dans l'eau,
- la concentration totale en carbone inorganique dissous,
- l'alcalinité.

A condition de disposer également de mesures de la température et de la salinité, la connaissance de deux de ces quatre paramètres est suffisante pour recalculer les teneurs en carbonates, bicarbonates et le taux de saturation en aragonite.

**Un suivi en continu de la température, de l'alcalinité, du pH et de la teneur en carbone inorganique total dissous** permet donc d'accéder à l'ensemble de ces paramètres.

Le projet Run Sea Sciences<sup>32</sup> a permis l'acquisition par l'Université de la Réunion (lab.ECOMAR) de 2 sondes de pH et d'une sonde de pression partielle de  $\text{CO}_2$ . L'objectif initial était d'implanter deux stations de suivi en continu, une à l'intérieur du lagon et l'autre à l'extérieur. P. Cuet (ECOMAR), membre du GT "Physico-chimie Phytoplancton" DCE de La Réunion, teste donc depuis 2011<sup>33</sup> la faisabilité de la mise en œuvre de 2 jeux de sondes enregistrant à haute fréquence le pH et la pression partielle de  $\text{CO}_2$ , l'un dans le lagon de St Gilles et l'autre à l'extérieur du lagon. Les capteurs déployés (SAMI, Sunburst) réalisent des mesures colorimétriques toutes les 15 minutes. Leur limite essentielle est liée au fouling qui réduit l'autonomie *in situ* à une quinzaine de jours au maximum. Malgré ces contraintes, les premières séries de données acquises présentent un véritable intérêt et démontrent qu'entre l'intérieur du lagon et l'extérieur, des différences significatives des dynamiques journalières très différentes pour le pH comme pour la  $\text{PCO}_2$  (variations entre 7,8 et 8,2 pour le pH, entre 150 et 650  $\mu\text{atm}$  pour la  $\text{PCO}_2$ ).

<sup>32</sup> <http://www.run-sea-science.fr/>

<sup>33</sup> Ces sondes ont été acquises dans le cadre du projet Run Sea Science.

#### 4.2.7.3 Proposition/recommandation du groupe de travail

Ces paramètres peuvent donc être considérés comme des paramètres explicatifs dans le cadre des suivis du développement corallien car ils jouent un rôle important dans l'équilibre physico-chimique de l'écosystème lagunaire, en particulier comme paramètres de contrôle de la calcification. Le GT "Physico-chimie et Phytoplancton" de La Réunion recommande de poursuivre et de consolider les acquisitions de données relatives au pH, à la PCO<sub>2</sub>, à la température et la salinité dans une perspective de mesures en continue automatisées à envisager sur le long terme.

### 4.3 Etat de la bancarisation dans Quadrigé<sup>2</sup>

Les données "physico-chimie et phytoplancton" sont en cours de bancarisation et leur état de bancarisation dépend de leur nature.

- *Phytoplancton "Dénombrement par microscopie"* : les données ne sont pas encore bancarisées compte-tenu des contraintes de saisie. Il est prévu de sous-traiter la reprise courant 2013.
- *Phytoplancton "Dénombrement par cytométrie en flux"* : les données ne sont pas encore bancarisées. Leur reprise est prévue via l'outil QUADRILABO (§ 3.2.2.4).
- *Hydrologie y compris les données de biomasse* : plusieurs campagnes ont été bancarisées manuellement, les dernières le seront grâce l'outil QUADRILABO (§ 3.2.2.4).

Tableau 23 : Etat de la bancarisation des données "hydrologie – phytoplancton" au 30/06/2012

Données	Etat de la bancarisation
<b>RNO Hydro</b>	Hydrologie / Données 2002 à 2006 : 100% Phytoplancton / Données 2002 à 2003 : 0% *
<b>RHLR</b>	Campagne 2008s2-2009s1 : 100% Campagne 2009s2-2010s1 : 100% Campagne 2010s2-2011s1 : en cours Campagne 2011s2-2012s1 : en cours
<b>PHYTORUN</b>	0% *

\* sous condition de validation des métadonnées et des données.

### 4.4 Fréquences et période des suivis

Pour ce qui concerne les fréquences des suivis, le GT DCE de La Réunion s'est conformé aux préconisations figurant dans l'arrêté du 25 Janvier 2010<sup>34</sup>, modifié par l'arrêté du 29 Juillet 2011<sup>35</sup>, relatif au programme de surveillance. Les suivis se font toute l'année sur 3 périodes caractéristiques (§3.4.4).

<sup>34</sup> Arrêté du 25 Janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement (NOR : DEVO1001031A)

<sup>35</sup> Arrêté du 29 Juillet 2011 modifiant l'arrêté du 25 Janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement (NOR : DEVL1114000A)

Tableau 24 : Fréquence et période des suivis des paramètres physico-chimique et phytoplancton

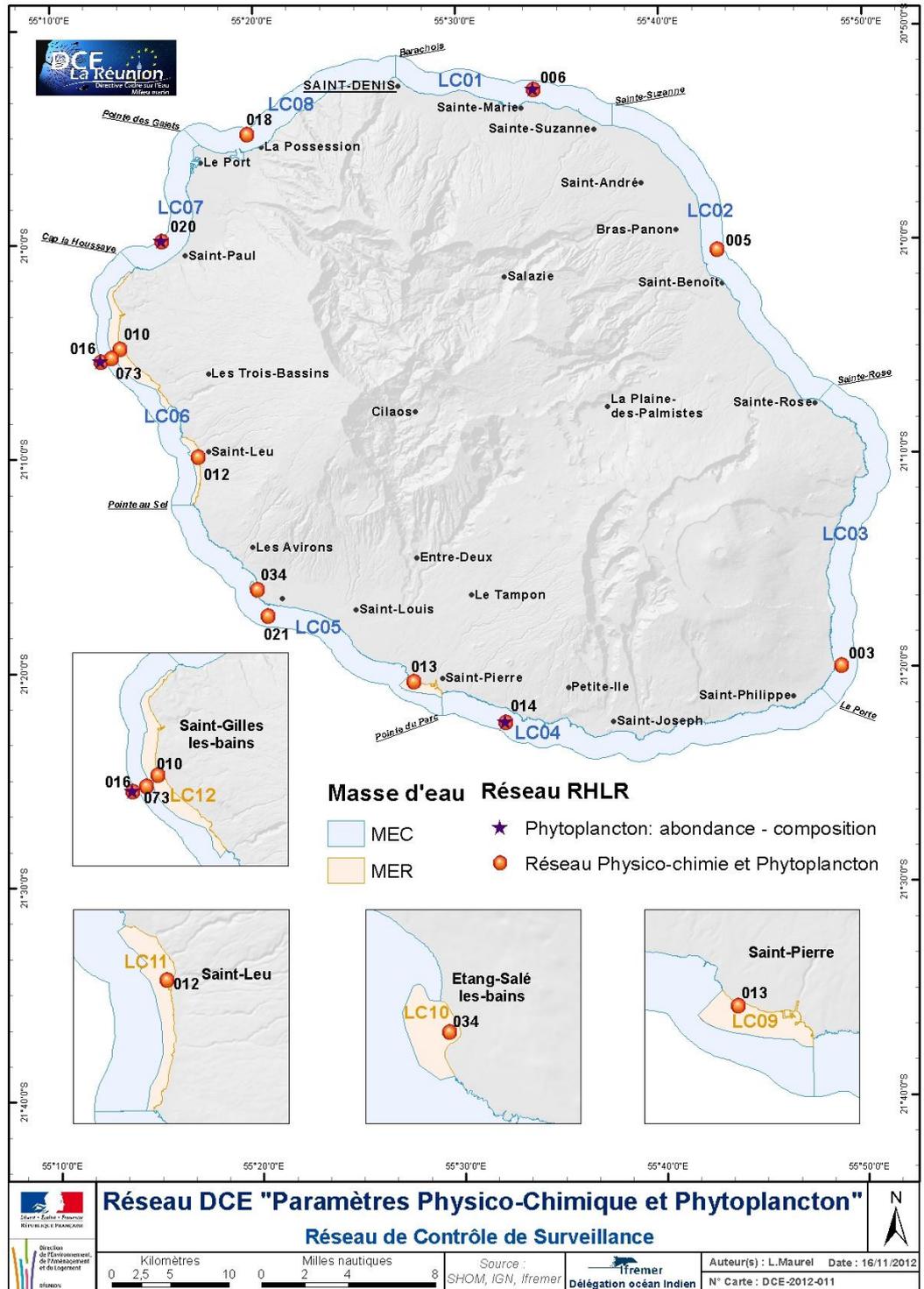
Paramètres	Fréquence	Période
<b>Paramètres généraux</b>		
Oxygène dissous	6 / an	2 en période fraîche/sèche (juillet et août)
Température		2 en début de période chaude/humide (novembre et décembre)
Salinité		2 en période chaude/humide (février et mars)
Transparence		
<b>Nutriments</b>		
Ammonium	6 / an	2 en période fraîche/sèche (juillet et août)
Nitrate + Nitrite		2 en début de période chaude/humide (novembre et décembre)
Nitrite		2 en période chaude/humide (février et mars)
Phosphate		
Silicate		
<b>Phytoplancton</b>		
Chlorophylle a + Biomasse + Analyses pigmentaires + cytométrie de flux	6 / an	2 en période fraîche/sèche (juillet et août) 2 en début de période chaude/humide (novembre et décembre) 2 en période chaude/humide (février et mars)
<b>Phytoplancton</b>		
Flore Totale	3 / an	1 en période fraîche/sèche (juillet et août)
Abondance / Composition		1 en début de période chaude/humide (novembre et décembre)
		1 en période chaude/humide (février et mars)

## 4.5 Positionnement des lieux de surveillance

Les lieux de surveillance du réseau "physico-chimie et phytoplancton" ont été définis selon différents critères croisés (représentativité de la masse d'eau, caractère historique des séries temporelles déjà acquises, rationalisation et optimisation des campagnes d'échantillonnages, possibilité de mutualisation des stratégies retenues pour d'autres éléments de qualités, ...)

Tableau 25 : Positionnement des points du suivi "physico-chimique et phytoplancton"

Ancienne Masse d'eau	Masse d'eau	Mnémorique Q <sup>2</sup>	Lieu de Surveillance	Prof. (m)	Longitude WGS 84	Latitude WGS84
<b>Masse d'Eau Côtière (MEC)</b>						
LC01	<b>LC01</b>	126-P-006	Sainte-Marie	20	55,563834	-20,882000
LC03	<b>LC02</b>	126-P-005	Saint-Benoit	75	55,713667	-21,007667
LC07	<b>LC03</b>	126-P-003	Pointe de la Table	75	55,813333	-21,332333
LC12	<b>LC04</b>	126-P-014	Grande Anse	60	55,536467	-21,374733
LC09	<b>LC05</b>	126-P-021	Saint-Louis	60	55,341299	-21,290166
LC05	<b>LC06</b>	126-P-073	Ermitage	30	55,214410	-21,088167
LC05	<b>LC06</b>	126-P-016	Large Ermitage	75	55,206000	-21,091000
LC04	<b>LC07</b>	126-P-020	Saint-Paul (Large)	75	55,256967	-20,997833
LC02	<b>LC08</b>	126-P-018	La Possession (Large)	75	55,328017	-20,915417
<b>Masse d'Eau Récifale (MER)</b>						
LC11	<b>LC09</b>	126-P-013	Lagon Saint Pierre Ravine Blanche	1	55,461100	-21,342500
LC10	<b>LC10</b>	126-P-034	Le Bassin pirogue - Etang salé (Platier)	1	55,332920	-21,269510
LC08	<b>LC11</b>	126-P-012	Lagon Saint Leu Corne	1	55,284833	-21,165667
LC06	<b>LC12</b>	126-P-010	Lagon Saint-Gilles-les-Bains	1	55,221499	-21,081499



**Carte 39 : Positionnement des stations du réseau de contrôle de surveillance DCE "Paramètres Physico-Chimiques & Phytoplancton" dans les masses d'eau côtières et récifales de La Réunion. ("RHLR", pour réseau Hydrologique Littoral Réunionnais)**

## 4.6 Premiers résultats /grilles retenues

Tableau 26 : Grilles retenues ou en cours de validation

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
<b>Oxygène dissous</b>					
Grille – mg/L	> 5	3 - 5	2 - 3	1 - 2	< 1
<b>Transparence</b>					
Valeur de référence Proposition du GT : 0.4 .					
Grille - NTU	< 0.6	0.6 - 3.0	> 3.0		
<b>Température - Enveloppe MEC Réunion</b>					
Grille - Enveloppe	< 5% en dehors				> 5% en dehors
<b>Biomasse</b>					
Ecotype "Océan Indien" - Valeur de référence : 0.4					
Grille - µg/L	< 0.6	0.6 - 0.9	0.9 – 1.8	1.8 – 3.7	> 3.7
RQE	> 0.67	0.67 - 0.44	0.44 - 0.22	0.22 - 0.11	< 0.11

Tableau 27 : Simulations DCE (valeur = indice)

Calcul de l'indice : Oxygène : Données 2006-2009 / Transparence : Données 2006-2009 / Biomasse : Données 2006-2011

Masse d'eau	Oxygène dissous	Transparence	Température	Nutriments	Biomasse Indice
<b>Masse d'Eau Côtière (MEC)</b>					
LC01				Indicateur en cours de définition	
LC02	Non pertinent				
LC03	Non pertinent				
LC04	Non pertinent				
LC05	Non pertinent				
LC06	Données insuffisantes				
LC07	Non pertinent				
LC08	Non pertinent				
<b>Masse d'Eau Récifale (MER)</b>					
LC09				Indicateur en cours de définition	Non pertinent
LC10					Non pertinent
LC11	Non pertinent		Pas suffisamment de données pour construire l'enveloppe de référence		Non pertinent
LC12					Non pertinent

## 5 RCS "Contaminants chimiques"

En ce qui concerne le suivi des contaminants chimiques, la **Directive 2008/105/CE**, dite Directive fille, modifie la Directive 2000/60/CE et abroge au 22 décembre 2012 les Directives 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE et 86/280/CEE.

Cette Directive fille apporte des modifications au contexte réglementaire de la surveillance chimique, notamment :

- en établissant des Normes de Qualité Environnementale (NQE) conformément aux dispositions et aux objectifs de la Directive 2000/60/CE (JO L 327 du 22.12.2000, p. 1).
- en axant la priorité sur l'obligation de mettre en œuvre un programme de surveillance permettant d'appréhender les tendances temporelles des niveaux de contamination dans chacune des masses d'eau,
- en stipulant qu'il convient de rechercher la ou les matrices les plus adaptées au suivi. Ce positionnement, nouveau, ouvre clairement la porte à une alternative à la surveillance exclusive dans l'eau (qui était jusqu'à présent la règle), en autorisant le contrôle dans les deux autres matrices, sédiment et/ou biote, si elles s'avèrent plus pertinentes.

L'arrêté du 25 Janvier 2010 récemment modifié par l'arrêté du 29 juillet 2011 établit le programme de surveillance pour répondre aux Directives européennes mentionnées ci-dessus.

L'arrêté du 29 Juillet 2011 a confirmé certaines modifications dans le contexte réglementaire de la surveillance chimique, en particulier en élargissant les possibilités de mise en œuvre du suivi chimique aux compartiments biote et sédiment. En s'appuyant sur un rapport récent réalisé par l'Ifremer pour le compte de l'Onema (Claisse, 2009) dont l'objectif est d'améliorer l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau, cet arrêté recommande de baser la surveillance chimique DCE non plus sur des analyses dans l'eau mais dans des matrices intégratrices de la contamination (sédiment, coquillages), au moins pour les substances hydrophobes.

Dans l'attente de normes réglementaires pour le sédiment et les coquillages, les résultats de ces analyses complètent les connaissances sur l'état chimique des masses d'eau et peuvent, le cas échéant, conforter le dire d'expert. Une méthode alternative, basée sur l'utilisation d'échantillonneurs passifs, est en cours de développement (cette technique a été testée/utilisée en Méditerranée et dans les DOM).

### 5.1 Données utilisées

Le GT "chimie" de La Réunion a retenu, comme base de travail, les données pertinentes acquises (§3.1 : définition de la stratégie, ...) :

1. dans le cadre du programme MODIOLE (Cambert *et al.*, 2008) pour les données biotes relatives aux coquillages,
2. dans le cadre du programme PEPS (Gonzalez *et al.*, 2009(b) et (c)) pour ce qui concerne l'ensemble des données relatives aux échantillonneurs passifs.

C'est à partir de ces premières données que le GT DCE "Chimie" de La Réunion a bâti sa proposition de réseau de contrôle de surveillance qui est décrite dans les pages qui suivent. Il appartiendra au Comité de Bassin, en fonction de la réactualisation de l'état des lieux qui interviendra en 2014/2015 suite à une première réalisation du réseau de surveillance en 2013, de statuer sur la nécessité (ou pas) de mettre également en œuvre d'autres types de contrôle (opérationnel, additionnel...).

## 5.2 Paramètres et indicateurs du réseau

Les diverses activités anthropiques qui s'exercent sur les bassins versants, le littoral et en mer déversent de façon chronique ou accidentelle de nombreuses substances chimiques qui peuvent avoir un impact sur l'environnement et/ou la santé humaine. En effet, certaines substances ont une toxicité chronique ou aiguë sur les organismes marins. La pollution chimique peut également avoir des incidences sanitaires liées à la contamination de produits de consommation (coquillages, poissons, ...)

Outre l'atteinte du bon état chimique dans toutes les masses d'eau, c'est-à-dire la réduction des niveaux de contamination en dessous des NQE, la Directive Cadre sur l'Eau impose :

- la réduction progressive de la pollution par les substances prioritaires (SP),
- sur le long terme, la suppression des rejets et pertes de substances prioritaires dangereuses (SPD).

### 5.2.1 Paramètres

Au titre de l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau, la liste des substances à suivre, s'appuie sur la Directive 76/464/CE, complétée par les Directives 2000/60/CE et 2008/105/CE. Elle comprend aujourd'hui **41 substances ou groupe de substances** :

- **33** substances ou groupes de substances prioritaires (SP) dont 13 substances prioritaires dangereuses (SPD) (annexe 10 de la Directive 2000/60/CE modifiée par la Directive 2008/105/CE),
- **8** substances supplémentaires réglementées au niveau européen (liste 1 de la Directive 76/464/CE et annexe 9 de la Directive 2000/60/CE).

Cette liste se verra à nouveau complétée de **15 autres substances ou groupes de substances** très prochainement puisqu'elles sont soumises à candidature dans la prochaine Directive (projet de Directive modifiant les Directives 2000/60/CE et 2008/105/CE)<sup>36</sup>.

En outre, la DCE prévoit l'identification de substances pertinentes dans chaque bassin hydrographique afin de prendre en compte des usages et rejets spécifiques. A ce titre, pour la Réunion, **9 substances spécifiques "locales"**, ont également été identifiées et retenues.

<sup>36</sup> Ce projet s'est concrétisé en aout 2013 par la publication de la directive 2013/39/UE définissant les substances prioritaires pour la politique dans le domaine de l'eau.

### 5.2.2 L'évaluation de l'état chimique

L'évaluation de l'état chimique de la masse d'eau repose sur deux types de **Normes de Qualité Environnementale** (NQE) établies pour chaque substance ou groupe de substances dans la Directive 2008/105/CE (mise à jour 2013/39/UE). Ces normes représentent des seuils à ne pas dépasser afin de protéger l'environnement et la santé humaine :

- la **NQE-CMA** : établie un terme de Concentration Maximale Admissible ( $\mu\text{g/L}$ ),
- la **NQE-MA** : établie un terme de Concentration Moyenne Annuelle à ne pas dépasser ( $\mu\text{g/L}$ ).

Les modalités d'agrégation de ces deux Normes de Qualité Environnementale sont décrites dans l'arrêté du 25 Janvier 2010 (NOR : DEVO1001032A), modifié par l'arrêté du 28 Juillet 2011, relatif, entre autres, aux méthodes et critères d'évaluation de l'état chimique.

L'état chimique ne distingue que 2 classes, bon ou mauvais. En cas de respect de l'ensemble des NQE, l'état chimique est qualifié de "bon". En cas de dépassement d'une NQE, l'état chimique est qualifié de "mauvais".

Tableau 28 : Classe de l'évaluation de l'état chimique

	Bon	mauvais
Critère	Respect des NQE	Non-respect d'une NQE

### 5.2.3 L'évaluation de l'état écologique

L'évaluation de l'état écologique de la masse d'eau au regard des polluants spécifiques repose sur 5 classes et est agrégé suivant la Figure 16.

Tableau 29 : Classe de l'évaluation de l'état écologique – Polluants spécifiques

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Polluants spécifiques	<b>Respect de la NQE</b> Le classement dans un ou l'autre des états est fonction des autres éléments de l'état écologique.		<b>Non Respect de la NQE</b> Le classement dans un ou l'autre des états est fonction des autres éléments de l'état écologique.		

Le GT DCE "Chimie" de La Réunion s'est essentiellement appuyé sur :

- les recommandations formulées par la Cellule Analyse du Risque Chimique de l'Ifremer Nantes et de l'INERIS (ARC) portant sur l'adaptation de la surveillance chimique de la DCE au contexte de l'île de La Réunion (Bocquené, 2011),
- les documents réalisés par l'Ifremer concernant l'adaptation de la surveillance chimique pour la DCE conformément à la Directive fille 2008/105/CE (Claisse, 2009),
- les conclusions de différents travaux effectués dans le cadre de la DCE à La Réunion, notamment les projets portant sur les modioles (Cambert *et al.*, 2008), les échantillonneurs passifs (Mazzellan *et al.*, 2011 ; Gonzalez *et al.*, 2009(b) ; Gonzalez *et al.*, 2009(c) ; Gonzalez *et al.*, 2009(e)), l'évaluation des bruits de fond géochimiques (Chiffolleau *et al.*, 2011), la cartographie morpho-sédimentologique (Guennoc *et al.*, 2008 ; Turquet *et al.*, 2008(b)) des fonds marins (Cartomar) et l'état de référence des masses d'eaux côtières (Andral *et al.*, 2008) .

## 5.2.4 Choix des matrices

L'analyse de ces différents rapports a amené le GT DCE "Chimie" de La Réunion à préconiser :

- de **ne pas utiliser les sédiments** comme matrice pour le réseau du contrôle de surveillance à La Réunion du fait de leur très grande instabilité liée aux très fortes houles, cycloniques ou australes, et qui génèrent des remaniements importants des fonds meubles jusqu'à des profondeurs de 30 voire 40 mètres.  
Du fait de cet hydrodynamisme élevé, la fraction fine du sédiment (argiles, vases et limons) dans le centimètre supérieur de la couche sédimentaire, visée par l'échantillonnage, n'est plus représentative du site étudié.
- de retenir la **matrice biote**, en s'appuyant sur la technique du **caging de modioles**,
- et d'utiliser de manière systématique des **échantillonneurs passifs pour réaliser les suivis dans l'eau**.

Le GT DCE "Chimie" de La Réunion préconise donc de retenir comme compartiment de suivi l'eau ou le biote. Le choix entre ces deux matrices dépend des contaminants, et plus précisément de leur affinité pour l'une ou l'autre matrice, affinité qui dépend de leurs propriétés physico-chimiques et est appréhendée par le Log Kow<sup>37</sup>.

*Tableau 30 : Comportement biogéochimique des molécules et matrice(s) optimale(s)  
(hors sédiment, non pertinent à La Réunion)*

Log Kow	Caractère de la molécule	Matrice optimale
< 3	hydrophile	eau
3 < Log Kow ≤ 5	intermédiaire	eau, <del>sédiment</del> et biote
> 5	hydrophobe	eau (par SBSE uniquement), <del>sédiment</del> et biote

## 5.2.5 Choix des méthodes

### 5.2.5.1 Les échantillonneurs passifs

Dans le cadre de différents projets, dont un à La Réunion, la pertinence et l'opérationnalité des techniques d'**échantillonnage passif** (DGT, POCIS, SBSE) ont été testées à grande échelle dans diverses masses d'eau (Gonzalez *et al.*, 2008, 2009 (a, b, c, d, e), 2010 (a) ; 2012 (a, b, c) ; Tapie *et al.*, 2009 ; Turquet *et al.*, 2010 ; Munaron *et al.*, 2012). Ces projets ont montré les avantages de ces techniques dans le cadre de la mise en place de la DCE

Ces outils permettent de suivre la majorité des substances retenues pour La Réunion, y compris les substances hydrophobes, et pourraient répondre aux exigences de la DCE en fournissant directement des concentrations sous forme dissoute (SBSE, POCIS et DGT) et intégrées dans le temps (POCIS et DGT).

Ils simplifient en outre les opérations de prélèvement et de transport (faibles volumes) et permettent ainsi d'abaisser les coûts de la surveillance. Enfin et surtout, ils améliorent la qualité des données produites grâce à l'abaissement des limites de quantification (LQ) pour un grand nombre de molécules (pré-concentration). Cet abaissement des LQ est primordial

<sup>37</sup> Le coefficient de partage octanol-eau (Kow) est une mesure de la solubilité différentielle de composés chimiques dans un volume connu de deux solvants, l'octanol et l'eau. La valeur obtenue permet d'appréhender le caractère hydrophile ou hydrophobe d'une molécule et donc de déterminer la matrice qui sera la plus adaptée pour sa mesure.

car, pour que les résultats obtenus soient pleinement interprétables, il faut que la LQ soit inférieure ou égale au tiers de la NQE.

Les trois grands types d'échantillonneurs passifs retenus par le GT DCE "Chimie" de La Réunion, adaptés aux mesures des concentrations des contaminants de la DCE en fonction de leurs propriétés chimiques et de leur coefficient de partage (Tableau 19 et Tableau 20) sont **les DGT, les POCIS et le SBSE**.

Tableau 31 : Type d'échantillonneur passif suivant le log Kow

Groupe de substances	Log Kow	Echantillonneur passif
Organique	< 3	POCIS
	3 < Log Kow < 5	SBSE / POCIS
	> 5	SBSE
Inorganique	/	DGT et DGT spécial Hg

Tableau 32 : Type d'échantillonneur passif par groupe de paramètres

Groupe de paramètres	Echantillonneur passif
Alkylphénols, nonylphénols et bisphénols A	SBSE / POCIS
Benzène et dérivés	Non pertinent en milieu marin
Chloroalcanes SCCP SCCP : Short Chain Chlorinated Parafin	SBSE
Chlorobenzènes et mono-aromatiques halogénés	SBSE
COHV Composés Organo-Halogénés Volatils	SBSE / POCIS
HAP Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques	SBSE
Métaux	DGT / DGT spécial Hg
PBDE et PBB PBDE : Polybromodiphényléther PBB : Polybromobiphényl	SBSE
PCB / PCT / PCDD / PCDF PCB : Polychlorobiphényl PCT : Polychloroterphényl PCDD : Polychlorodibenzo-Dioxine PCDF : Polychlorodibenzo-Furanne	SBSE
Pesticides organochlorés	SBSE
Pesticides organophosphorés	SBSE / POCIS
Phtalates	SBSE
Stéroles et stéroïdes	SBSE
Triazines et métabolites	SBSE / POCIS
Urées et métabolites	POCIS

### I. Les DGT : Diffusive Gradient in Thin film

Les DGT sont constitués d'une résine (Chelex100) qui accumule les **cations métalliques dissous les plus "labiles"** (ions hydratés, complexes minéraux, "petits" complexes organiques) en fonction de leur concentration dans le milieu et du temps d'immersion. Ces échantillonneurs ont été développés par l'Université de Lancaster (Davison and Zhang, 1994; Zhang and Davison, 1995) en collaboration avec l'Agence de l'Environnement du Royaume Uni. Leur utilisation en routine pour Cd, Cu, Pb, Ni et Zn a fait l'objet d'une accréditation (ISO 17 025) par le service des accréditations du Royaume Uni (UKAS).

Le dispositif est composé d'un support plastique, sur lequel sont disposés successivement une phase pour laquelle les cations métalliques ont une très forte affinité (résine Chelex 100), un hydrogel de diffusion d'épaisseur connue et un filtre de protection en polycarbonate (Figure 14). Les cations métalliques migrent à travers le gel de diffusion et se fixent de façon irréversible sur la résine. C'est la diffusion, contrôlée par les propriétés physiques du gel, la température et la concentration en métal dans le milieu à échantillonner, qui détermine la cinétique d'accumulation sur la résine.

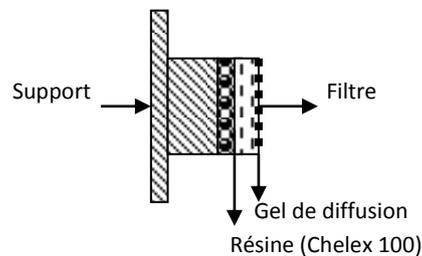


Figure 21 : Vue en coupe d'un dispositif DGT (les proportions ne sont pas respectées)

Les **DGT** sont des dispositifs simples à mettre en œuvre. Leur temps de réponse, en fonction de la concentration dans le milieu, peuvent être très courts (quelques heures), mais habituellement les temps d'immersion sont de quelques jours à plusieurs semaines (la limite étant le fouling ou le vandalisme).

Au cours de l'immersion, la température de l'eau doit être connue car les coefficients de diffusion varient sensiblement avec la température et la valeur mesurée à 25°C, fournie par Lancaster Research Ltd, doit être ajustée. Au minimum, elle doit être mesurée lors de la mise en place et lors de la récupération des dispositifs.

### II. Les POCIS : Polar Organic Chemical Integrative Sampler

Les **POCIS** ont été conçus pour l'échantillonnage intégratif des composés **organiques** hydrophiles ( $\text{Log } K_{ow} < 3$ ). Ils permettent de détecter leur présence (**analyse qualitative**), mais aussi, après "calibration" en laboratoire ou en utilisant des PRC (Performance Reference Compounds), et quand les quantités détectées le permettent, d'évaluer une concentration moyenne "intégrée" sur le temps d'exposition qui est en général compris entre 3 et 5 semaines (**analyse quantitative**).

Chaque POCIS contient 200 mg de phase solide adsorbante (phase Oasis HLB : copolymère de divinylbenzène et n-pyrrolidone) emprisonnée entre deux membranes microporeuses semi perméables en polyéthersulfone (PES). Les membranes sont maintenues par deux disques en acier inoxydable serrés en trois points par des vis (Figure 15). La surface totale d'échange avec le milieu est d'environ 41 cm<sup>2</sup>, le rapport entre la surface d'échange et la masse de phase adsorbante est de l'ordre de 200 cm<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>.

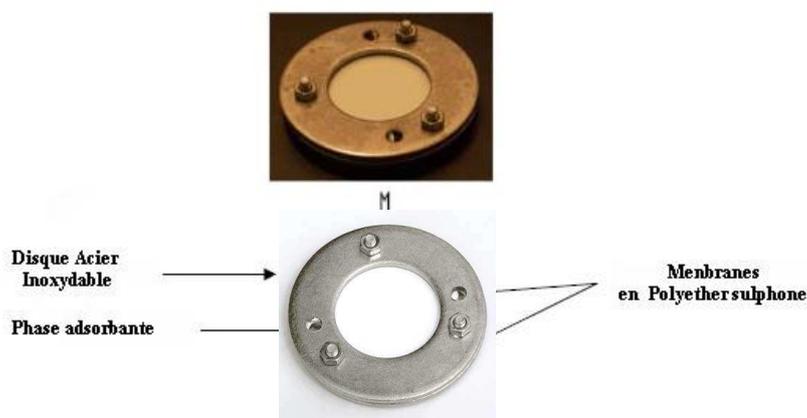


Figure 22: Vue éclatée d'un POCIS (Polar Organic Chemical Integrative Sampler)

Comme pour les DGT, si les POCIS peuvent être utilisés tels quels en analyse qualitative (présence/absence), le taux d'échantillonnage de ces dispositifs ( $R_s$ ) est l'un des paramètres requis pour passer à l'analyse quantitative et évaluer la concentration "moyenne" dans l'eau au cours de la période d'exposition. Ce paramètre est contrôlé par les conditions hydrodynamiques, biologiques (par ex : fouling) et physico-chimiques lors de l'exposition (température et salinité), ainsi que les propriétés intrinsèques des composés dont on veut connaître la concentration. L'évaluation de ce paramètre est nécessaire pour pouvoir évaluer la concentration moyenne d'un composé exprimée sous forme dissoute. Ces systèmes nécessitent donc d'être "calibrés" expérimentalement en conditions de laboratoire "contrôlées". Afin d'améliorer l'aspect quantitatif de la technique POCIS, des composés de référence et de performance (PRC) peuvent être introduits dans les POCIS avant leur exposition (Mazzella *et al.*, 2007, Huckins *et al.*, 2002). Les PRC sont des molécules non interférentes isotopiquement substituées (caféine C13, salbutamol d3, DIA d5) dont la désorption durant la période d'exposition permet de calculer un taux d'échantillonnage *in situ* ( $R_s$  *in situ*).

Comme pour les DGT, au cours de l'immersion, la température et la salinité de l'eau doivent être connus car ces paramètres peuvent influencer le  $R_s$  de certaines molécules.

### III. Les SBSE : Stir Bar Sorptive Extraction

La technique **SBSE** permet d'extraire et concentrer des **composés organiques hydrophobes** : HAP, PCB, Pesticides. Cette technique est basée sur l'extraction par désorption des molécules hydrophobes dissoutes sur un polymère, le polydiméthylsiloxane (PDMS). Ce polymère d'épaisseur 0,5 à 1 mm (en fonction des applications) recouvre un barreau d'agitation aimanté ("twister") de 20 mm de long plongé dans l'échantillon d'eau à analyser (Figure 16).

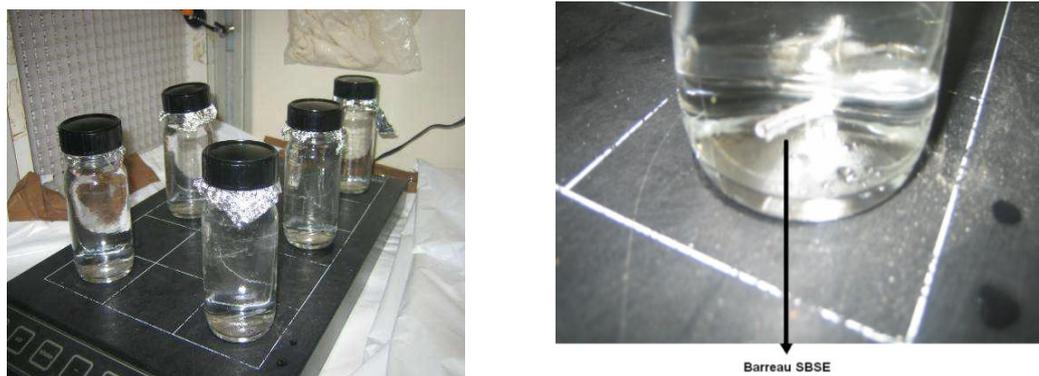


Figure 23: Barreau SBSE dans un échantillon d'eau

Après la phase d'extraction (en batch) qui dure quelques heures dans un volume d'échantillon de l'ordre de 100 ml, l'analyse des composés est faite "en direct" à partir du barreau, par thermo-désorption et analyse par GC-MS.

#### IV. Echantillonneur passif : applicabilité dans le cadre de la DCE

La surveillance "classique", actuellement basée sur l'analyse de prélèvements ponctuels d'eau, peut comporter des inconvénients parfois rédhibitoires pour la fiabilité et la pérennité des données<sup>38</sup> :

- dans certains cas, les méthodes de prélèvement et d'analyse "classiques" n'atteignent pas les critères de performance nécessaires pour une estimation fiable de l'état ( $LQ > NQE$  par exemple),
- les contraintes logistiques ne permettent pas de respecter certaines conditions d'intégrité des échantillons avant analyse (délai avant analyse dans les DOM par exemple, ...),
- il existe un défaut de représentativité temporelle lié à un échantillonnage ponctuel réalisé à basse fréquence, cette fréquence étant contrainte en grande partie par les coûts analytiques.

L'utilisation de matrices intégratrices et alternatives à l'eau, dont les échantillonneurs passifs, est souvent évoquée.

<sup>38</sup> Applicabilité des échantillonneurs passifs dans le cadre de la DCE / Action II-B01 – Aquaref – Décembre 2011

Tableau 33 : Applicabilité des échantillonneurs passifs

<b>Les échantillonneurs passifs</b> <sup>38 et 39</sup>	
<b>peuvent ...</b>	<b>ne peuvent pas ...</b>
mesurer les concentrations de polluants organiques polaires et non polaires, et de composés inorganiques incluant les métaux, anions, et radionucléides	mesurer les composés organiques ionisables (e.g. mécoprop, glyphosate et AMPA)
fournir une mesure plus représentative des concentrations moyennes de polluants au fil du temps que l'on pourrait rapprocher de l'exposition chronique des organismes <i>=&gt; intégration, par exemple, d'un épisode de pollution qui aurait eu lieu entre 2 prélèvements ponctuels</i>	mesurer les concentrations maximales instantanées des substances
détecter les tendances, sur plusieurs campagnes, en particulier lorsque les concentrations sont faibles être d'une grande utilité dans une démarche de "screening" et "mapping" <i>=&gt; abaissement de la limite de quantification du fait de la pré-concentration</i>	
être facilement mis en œuvre dans des zones où les contraintes logistiques sont fortes <i>=&gt; transport (délai, conditions de conservation, ...) avant analyses facilité du fait de la stabilité des analytes sur la phase réceptrice et le faible volume de l'échantillonneur par rapport à un échantillon d'eau =&gt; pas d'alimentation ou d'apport d'énergie</i>	fournir des données comparables aux NQE définies en termes d'échantillons ponctuels bruts ou filtrés (NQE de la surveillance "classique") du fait de l'échantillonnage sur la fraction dissoute uniquement <i>cependant =&gt; la fraction isolée par les capteurs passifs peut se révéler pertinente vis-à-vis de l'exposition des organismes aquatiques mais des éléments sont encore à acquérir dans ce domaine =&gt; plusieurs pistes sont envisagées, et notamment, l'extrapolation à la fraction totale avec la prise en compte de l'adsorption des composés sur les matières en suspension et la concentration en carbone organique total et dissous</i>
être facilement mis en œuvre par du personnel non spécialisé mais préalablement formé <i>=&gt; absence de maintenance particulière</i>	
réduire les coûts <i>=&gt; transport, temps, consommables, en réactifs (solvants, ...) grâce à l'extraction</i>	
<b>... être utilisés, en l'état des connaissances, en...</b>	
<b>peuvent ...</b>	<b>ne peuvent pas ...</b>
<b>Approches qualitative et semi-quantitative</b> <b>=&gt; amont du contrôle de surveillance (optimisation)</b> <b>=&gt; contrôle opérationnel pour le suivi des tendances</b> <b>=&gt; contrôle d'enquête</b>	<b>Approche quantitative</b> <b>=&gt; contrôle de surveillance</b> <b>=&gt; contrôle opérationnel</b>
<b>Mais dans les DOMs, la balance entre intérêts et limites est en faveur de cette technique.</b>	

<sup>39</sup> [http://www.aquaref.fr/system/files/1-Greenwood\\_contexte\\_reglementaire.pdf](http://www.aquaref.fr/system/files/1-Greenwood_contexte_reglementaire.pdf)

Il existe également certains freins :

- Systèmes d'assurance qualité et contrôle qualité à compléter :

Le consortium Aquaref s'attache activement à rendre ces outils opérationnels pour la surveillance, notamment en publiant des fiches méthodes et en organisant des exercices d'inter comparaison et des séminaires sur le sujet pour harmoniser les pratiques.<sup>40</sup>

- Difficulté à valider tous les échantillonneurs,

Un travail d'identification des matrices les plus appropriées<sup>41 42</sup> pour réaliser le suivi réglementaire des substances prioritaires et d'autres substances d'intérêt en milieu marin a été effectué par l'Ifremer.<sup>43</sup>

- Manque d'acceptation par les régulateurs.

Depuis 2008, l'Onema a confié à l'Ineris un travail de construction et de documentation de NQE.<sup>44</sup>

#### 5.2.5.2 Le caging de modioles

Le biomonitoring utilisant la moule repose sur l'hypothèse que le contenu en contaminant dans la chair de cet animal reflète la **concentration en contaminants biodisponibles dans l'eau sous forme particulaire et/ou dissoute**, selon un processus de **bioaccumulation**. Les organismes vivants ont en effet la capacité d'accumuler les micropolluants jusqu'à atteindre un pseudo-équilibre avec le milieu : après un séjour de plusieurs mois dans l'eau, les niveaux mesurés dans les organismes sont le résultat et le reflet de l'état de contamination chronique du milieu.

Cette hypothèse a été validée pour les substances chimiques de type hydrophobe ou intermédiaire, susceptibles de se bioaccumuler, caractérisées par un coefficient de partage Log Kow supérieur à 3.

Le biomonitoring peut être réalisé de deux façons :

- on utilise les **populations indigènes** de moules sauvages ou cultivées : **biomonitoring passif** (cas du programme ROCCH : Réseau d'Observation des Contaminants Chimiques),
- on a recours à des **transplants d'individus** provenant d'un site de référence : **biomonitoring actif** (cas du programme RINBIO - Réseau Intégrateurs Biologiques).

Le biomonitoring actif procure de nombreux avantages. La période d'exposition est connue et les stations peuvent être sélectionnées à des endroits où les moules naturelles sont absentes, en particulier dans la colonne d'eau. Les mesures sont optimisées par l'utilisation d'échantillons homogènes en taille, âge et en ce qui concerne l'environnement d'origine des individus. Cette méthode de caging permet également de déployer stratégiquement des stations le long de gradients physiques et chimiques ou de les placer près de sources potentielles de pollution, comme des embouchures de fleuves ou des émissaires de rejet en mer, pour en appréhender l'impact.

<sup>40</sup> [http://www.onema.fr/SURVEILLER-Outils-methodes-detection-mesure-contaminants?var\\_recherche=capteur%20passif](http://www.onema.fr/SURVEILLER-Outils-methodes-detection-mesure-contaminants?var_recherche=capteur%20passif)

<sup>41</sup> Adaptation de la surveillance chimique pour la DCE conformément à la directive fille 2008/105/CE ; action Ifremer 2009 n°13 ; réf. DCN-BE/2009.05

<sup>42</sup> Adaptation de la surveillance chimique pour la DCE au contexte des DOM (Martinique, Guadeloupe, Guyane, Réunion, Mayotte) ; action Ifremer 2010 n°19

<sup>43</sup> [http://www.onema.fr/SURVEILLER-Outils-methodes-detection-mesure-contaminants?var\\_recherche=capteur%20passif](http://www.onema.fr/SURVEILLER-Outils-methodes-detection-mesure-contaminants?var_recherche=capteur%20passif)

<sup>44</sup> <http://www.onema.fr/QUALIFIER-Normes-Qualite-Environnementales>

Le RINBIO, développé par l'Ifremer en partenariat avec l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse depuis 1996, utilise cette technique d'implantation de stations artificielles de moules pour évaluer les niveaux de contamination chimique biodisponible sur la façade méditerranéenne française dans chaque unité du référentiel géographique du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin RMC (Cossa *et al.*, 1998 ; Andral *et al.*, 2004 ; Andral *et al.*, 2012).

Le programme "Modiole" (Cambert *et al.*, 2008) , mené entre 2004 et 2008, a permis de valider, le protocole RINBIO et de l'adapter au contexte réunionnais, notamment en utilisant comme espèce support la modiole (*Modiolus auriculatus*), qui est une petite moule tropicale locale. Cette espèce est parfaitement adaptée aux eaux réunionnaises, et les populations naturelles, abondantes en zone récifale, peuvent aisément être utilisées dans le cadre du réseau Contaminants Chimiques DCE.

Les procédures et la méthodologie de traitement des données du réseau permettent de discriminer les facteurs physiologiques, notamment la croissance liée aux caractéristiques trophiques du milieu, des facteurs environnementaux qui interagissent sur le signal brut de contamination mesuré dans la moule.

Chez les mollusques bivalves, notamment les moules, "l'indice de condition" constitue un bon indicateur de l'état physiologique et de la croissance, variant au cours du cycle biologique de l'animal et en fonction des conditions de milieu. Il est donc particulièrement important de prendre en compte cet indice de condition lors du calcul des concentrations en "polluants" pour s'assurer que les variations de "concentration" observées dans l'animal ne sont pas liées à la variation de l'état physiologique de l'animal.

A l'échelle du réseau, les données sont donc ajustées à un « individu standard » et peuvent ainsi être comparées indépendamment de l'indice de condition, et donc indépendamment de l'hétérogénéité physico-chimique et trophique des sites d'implantation et de surveillance.

**Les contaminants à suivre et les méthodes d'échantillonnage correspondantes sont donnés à titre informatif dans le Tableau 34 (pages suivantes).**

Tableau 34 : Substances suivies dans le cadre du RCS "contaminants chimiques"

Substance volatile non pertinente dans le milieu marin - Substance ajoutée dans la directive 2013/39/UE - Substances spécifiques locales

SP = Substance Prioritaire / SPD = Substance Prioritaire Dangereuse

Support "Echantillonneur passif" : impossible - en cours de test - en cours de développement dans le cadre de la Campagne ONEMA 2012 - possible après développement

N° substance	Molécules / Substances	Code SANDRE	Groupe de paramètres	Usage	SP	SPD	Matrice	Support
1	Alachlore	1101	Divers (autres organiques)	Herbicide	X		eau	SBSE POCIS
2	Anthracène	1458	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	/	X	X	eau/biote	SBSE
3	Atrazine	1107	Triazines et métabolites	Herbicide	X		eau	SBSE POCIS
4	Benzène	1114	Benzène et dérivés	/	X		volatile	volatile
5	Diphényléthers bromés (DBE)	1921	PBDE et PBB	/	X	X	eau	SBSE
5	BDE 28/47/99/100/153/154	Σ	PBDE et PBB		X		Σ	Σ
5	Tri BDE 28	2920	PBDE et PBB	/	X		eau	SBSE
5	Tétra BDE 47	2919	PBDE et PBB	/	X		eau	SBSE
5	Penta BDE 99	2916	PBDE et PBB	/	X		eau	SBSE
5	Penta BDE 100	2915	PBDE et PBB	/	X		eau	SBSE
5	Hexa BDE 153	2912	PBDE et PBB	/	X		eau	SBSE
5	Hexa BDE 154	2911	PBDE et PBB	/	X		eau	SBSE
6	Cadmium et ses composés	1388	Métaux	/	X	X	eau/biote	DGT
6 bis	Tétrachlorure de carbone	1276	Composés Organo-Halogénés Volatils (COHV)	/			volatile	volatile
7	Chloroalcanes C10-C13	1955	Chloroalcanes SCCP	/	X	X	eau	SBSE
8	Chlorfenvinphos	1464	Pesticides organophosphorés	Insecticide	X		eau	SBSE POCIS
9	Chlorpyrifos (éthylchlorpyrifos)	1083	Pesticides organophosphorés	Insecticide	X		eau	SBSE POCIS
9 bis	Pesticides cyclodiènes	5534 = 1103+1173 +1181+1207	Pesticides organochlorés	Insecticide			eau	SBSE
9 bis	Aldrine	1103	Pesticides organochlorés	Insecticide			eau	SBSE

Substance volatile non pertinente dans le milieu marin - Substance ajoutée dans la directive 2013/39/UE - Substances spécifiques locales

SP = Substance Prioritaire / SPD = Substance Prioritaire Dangereuse

Support "Echantillonneur passif" : impossible - en cours de test - en cours de développement dans le cadre de la Campagne ONEMA 2012 - possible après développement

N° substance	Molécules / Substances	Code SANDRE	Groupe de paramètres	Usage	SP	SPD	Matrice	Support
9 bis	Dieldrine	1173	Pesticides organochlorés	Insecticide			eau/biote	SBSE
9 bis	Endrine	1181	Pesticides organochlorés	Insecticide			eau	SBSE
9 bis	Isodrine	1207	Pesticides organochlorés	Insecticide			eau/biote	SBSE
9 ter	DDT total	6497 = 1144+1146 +1147+1148	Pesticides organochlorés	DDT et dégradation DDT			eau	SBSE
	Dichlorodiphényl dichloréthane op' / DDD 24' / DDD op'	1143	Pesticides organochlorés	Dégradation DDT op			eau/biote	SBSE
9 ter	Dichloro diphenyl dichloréthane pp' / DDD 44' / DDD pp'	1144	Pesticides organochlorés	Dégradation DDT pp'			eau	SBSE
	Dichlorodiphényl dichloroéthylène op' / DDE 24' / DDE op'	1145	Pesticides organochlorés	Dégradation DDT			eau	SBSE
9 ter	Dichloro diphenyl dichloroéthylène pp' / DDE 44' / DDE pp'	1146	Pesticides organochlorés	Dégradation DDT			eau	SBSE
9 ter	Dichloro diphenyl trichloréthane op' / DDT 24' / DDTop'	1147	Pesticides organochlorés	Insecticide			eau	SBSE
9 ter	Dichloro diphenyl trichloréthane pp' / DDT 44' / DDT pp'	1148	Pesticides organochlorés	Insecticide			eau	SBSE
9 ter	Dichloro diphenyl trichloréthane pp' / DDT 44' / DDT pp'	1148	Pesticides organochlorés	Insecticide			eau	SBSE
10	1,2-dichloroéthane	1161	Composés Organo-Halogénés Volatils (COHV)	/	X		volatile	volatile
11	Dichlorométhane	1168	Composés Organo-Halogénés Volatils (COHV)	/	X		volatile	volatile
12	Di(2-éthylhexyl)phthalate (DEHP)	6616	Phtalates	/	X	X	eau	SBSE
13	Diuron	1177	Urées et métabolites	Herbicide	X		eau	POCIS
14	Endosulfan	1743= 1178+1179	Pesticides organochlorés	Insecticide	X	X	eau/biote	SBSE
15	Fluoranthène	1191	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	/	X		eau	SBSE

Substance volatile non pertinente dans le milieu marin - Substance ajoutée dans la directive 2013/39/UE - Substances spécifiques locales

SP = Substance Prioritaire / SPD = Substance Prioritaire Dangereuse

Support "Echantillonneur passif" : impossible - en cours de test - en cours de développement dans le cadre de la Campagne ONEMA 2012 - possible après développement

N° substance	Molécules / Substances	Code SANDRE	Groupe de paramètres	Usage	SP	SPD	Matrice	Support
16	Hexachlorobenzène	1199	Pesticides organochlorés	Fongicide	X	X	eau	SBSE
17	Hexachlorobutadiène	1652	Composés Organo-Halogénés Volatils (COHV)	/	X	X	eau	SBSE
18	Hexachlorocyclohexane	5537=1200+1201 +1202+1203	Pesticides organochlorés	/	X	X	eau	SBSE
18	HCH-alpha	1200	Pesticides organochlorés	/	X	X	eau	SBSE
18	HCH-beta	1201	Pesticides organochlorés	/	X	X	eau	SBSE
18	HCH-delta	1202	Pesticides organochlorés	/	X	X	eau	SBSE
18	HCH-gamma	1203	Pesticides organochlorés	Insecticide	X	X	eau	SBSE
19	Isoproturon	1208	Urées et métabolites	Herbicide	X		eau	POCIS
20	Plomb	1382	Métaux	/	X		eau/biote	DGT
21	Mercure	1387	Métaux	/	X	X	eau/biote	DGT spécial Hg
22	Naphtalène	1517	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	/	X		eau/biote	SBSE
23	Nickel	1386	Métaux	/	X		eau/biote	DGT
	Nonylphénol	1957	Alkylphénols, nonylphénols et bisphénols A	/		X	eau/biote	SBSE
24	Phenol, 4-nonyl-, branched	1958	Alkylphénols, nonylphénols et bisphénols A	Surfactants non ioniques			eau	SBSE
24	Nonylphénol (n-nonyl 4-phénol)	5474	Alkylphénols, nonylphénols et bisphénols A	/	X	X	eau/biote	SBSE
	Nonylphénols linéaire ou ramifiés	6598=1957 +1958+5474	Alkylphénols, nonylphénols et bisphénols A			X	eau/biote	SBSE
	4-t-Nonylphenol-diéthoxylate	2875	Alkylphénols, nonylphénols et bisphénols A	/			eau/biote	SBSE
	Benzène, éthoxynonyl-(9CI) => NP10E	6366	Alkylphénols, nonylphénols et bisphénols A	Surfactants non ioniques			eau/biote	SBSE
	Ethanol,2-[2-(nonylphénoxy)éthoxy]- => NP20E	6369	Alkylphénols, nonylphénols et bisphénols A	/			eau/biote	SBSE

Substance volatile non pertinente dans le milieu marin - Substance ajoutée dans la directive 2013/39/UE - Substances spécifiques locales

SP = Substance Prioritaire / SPD = Substance Prioritaire Dangereuse

Support "Echantillonneur passif" : impossible - en cours de test - en cours de développement dans le cadre de la Campagne ONEMA 2012 - possible après développement

N° substance	Molécules / Substances	Code SANDRE	Groupe de paramètres	Usage	SP	SPD	Matrice	Support
	p-octylphénol	1920	Alkylphénols, nonylphénols et bisphénols A	Surfactants non ioniques			eau/biote	SBSE
25	Octylphénol (4-(1,1',3,3'-tétraméthylbutyl)phénol)	1959	Alkylphénols, nonylphénols et bisphénols A	/	X		eau/biote	SBSE
	2-[4-(1,1,3,3-tetraméthylbutyl)phénoxy]éthanol, => OP1OE	6370	Alkylphénols, nonylphénols et bisphénols A	Surfactants non ioniques			eau/biote	SBSE
	2-[2-[4-(1,1,3,3-tetraméthylbutyl)phénoxy]éthoxy]éthanol => OP2OE	6371	Alkylphénols, nonylphénols et bisphénols A	Surfactants non ioniques			eau/biote	SBSE
26	Pentachlorobenzène	1888	Chlorobenzènes et mono-aromatiques halogénés	/	X	X	eau	SBSE
27	Pentachlorophénol	1235	Divers	Herbicide, Fongicide, Insecticide et désinfectant	X		eau	SBSE
28	<b>Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)</b>	so	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	so	X	X	eau	SBSE
28	Benzo (a) pyrène+ Benzo (b) fluoranthène + Benzo (k) fluoranthène + Benzo (g,h,i) pérylène Indéno (1,2,3-cd) pyrène	1115+1116 +1117+1118+1204	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	so	X	X	Σ	Σ
28	Benzo (a) pyrène	1115	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	/	X	X	eau/biote	SBSE
28	Benzo (b) fluoranthène + Benzo (k) fluoranthène	/	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	Σ	X	X	Σ	Σ
28	Benzo (b) fluoranthène	1116	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	/	X	X	eau/biote	SBSE
28	Benzo (k) fluoranthène	1117	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	/	X	X	eau	SBSE
28	Benzo (g,h,i) pérylène Indéno (1,2,3-cd) pyrène	/	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	Σ	X	X	Σ	Σ
28	Benzo (g,h,i) pérylène	1118	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	/	X	X	eau	SBSE
28	Indéno (1,2,3-cd) pyrène	1204	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	/	X	X	eau	SBSE
29	Simazine	1263	Triazines et métabolites	Herbicide	X		eau	SBSE

Substance volatile non pertinente dans le milieu marin - Substance ajoutée dans la directive 2013/39/UE - Substances spécifiques locales

SP = Substance Prioritaire / SPD = Substance Prioritaire Dangereuse

Support "Echantillonneur passif" : impossible - en cours de test - en cours de développement dans le cadre de la Campagne ONEMA 2012 - possible après développement

N° substance	Molécules / Substances	Code SANDRE	Groupe de paramètres	Usage	SP	SPD	Matrice	Support
29 bis	Tétrachloroéthylène	1272	Composés Organo-Halogénés Volatils (COHV)	/			volatile	volatile
29 ter	Trichloroéthylène	1286	Composés Organo-Halogénés Volatils (COHV)	/			volatile	volatile
30	Composés du tributylétain (Tributylétain-cation)	2879	Divers	Fongicides	X	X	eau/biote	/
31	Trichlorobenzènes	1774=1283 +1630+1629	Chlorobenzènes et mono-aromatiques halogénés		X		Σ	SBSE
31	1,2,4-trichlorobenzène	1283	Chlorobenzènes et mono-aromatiques halogénés	/	X		eau	SBSE
31	1,3,5-trichlorobenzène	1629	Chlorobenzènes et mono-aromatiques halogénés	/	X		eau	SBSE
31	1,2,3-trichlorobenzène	1630	Chlorobenzènes et mono-aromatiques halogénés	/	X		eau	SBSE
32	Trichlorométhane	1135	Composés Organo-Halogénés Volatils (COHV)	/	X		volatile	volatile
33	Trifluraline	1289	Divers (autres organiques)	Herbicide	X		eau	SBSE
[34]	Dicofol	1172	Pesticides organochlorés	Acaricide	X	X	pas d'info	SBSE
[35]	Sulfonate de perfluorooctane (SPFO)	5348	PFC (PFOA, PFOS)	/	X	X	pas d'info	
[36]	Quinoxifène	2028	Divers (autres organiques)	Fongicide	X	X	eau/biote	SBSE
[37]	7 dibenzo-p-dioxines polychlorés (PCDD)	so	PCB / PCT / PCDD / PCDF	so	X	X	/	/
[37]	2,3,7,8-T4CDD	2562	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau/biote	SBSE
[37]	1,2,3,7,8-P5CDD	2569	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau/biote	SBSE
[37]	1,2,3,4,7,8-H6CDD	2571	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau/biote	SBSE
[37]	1,2,3,6,7,8-H6CDD	2572	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau/biote	SBSE
[37]	1,2,3,7,8,9-H6CDD	2573	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau/biote	SBSE
[37]	1,2,3,4,6,7,8-H7CDD	2575	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau/biote	SBSE

Substance volatile non pertinente dans le milieu marin - Substance ajoutée dans la directive 2013/39/UE - Substances spécifiques locales

SP = Substance Prioritaire / SPD = Substance Prioritaire Dangereuse

Support "Echantillonneur passif" : impossible - en cours de test - en cours de développement dans le cadre de la Campagne ONEMA 2012 - possible après développement

N° substance	Molécules / Substances	Code SANDRE	Groupe de paramètres	Usage	SP	SPD	Matrice	Support
[37]	1,2,3,4,6,7,8,9-O8CDD	2566	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau/biote	SBSE
[37]	<b>10 dibenzofurannes polychlorés (PCDF)</b>	so	PCB / PCT / PCDD / PCDF	so	X	X	/	/
[37]	2,3,7,8-T4CDF	2586	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau/biote	SBSE
[37]	1,2,3,7,8-P5CDF	2588	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau/biote	SBSE
[37]	2,3,4,7,8-P5CDF	2589	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau/biote	SBSE
[37]	1,2,3,4,7,8-H6CDF	2591	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau/biote	SBSE
[37]	1,2,3,6,7,8-H6CDF	2592	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau/biote	SBSE
[37]	1,2,3,7,8,9-H6CDF	2594	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau/biote	SBSE
[37]	2,3,4,6,7,8-H6CDF	2593	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau/biote	SBSE
[37]	1,2,3,4,6,7,8-H7CDF	2596	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau/biote	SBSE
[37]	1,2,3,4,7,8,9-H7CDF	2597	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau/biote	SBSE
[37]	1,2,3,4,6,7,8,9-O8CDF	5248	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X		SBSE
[37]	<b>12 biphényles polychlorés de type dioxines (PCB-TD)</b>	so	PCB / PCT / PCDD / PCDF	so	X	X	/	/
[37]	PCB 77	1091	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau	SBSE
[37]	PCB 81	5432	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau	SBSE
[37]	PCB 105	1627	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau	SBSE
[37]	PCB 114	5433	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau	SBSE
[37]	PCB 118	1243	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau	SBSE
[37]	PCB 123	5434	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau	SBSE
[37]	PCB 126	1089	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau	SBSE
[37]	PCB 156	2032	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau	SBSE

Substance volatile non pertinente dans le milieu marin - Substance ajoutée dans la directive 2013/39/UE - Substances spécifiques locales

SP = Substance Prioritaire / SPD = Substance Prioritaire Dangereuse

Support "Echantillonneur passif" : impossible - en cours de test - en cours de développement dans le cadre de la Campagne ONEMA 2012 - possible après développement

N° substance	Molécules / Substances	Code SANDRE	Groupe de paramètres	Usage	SP	SPD	Matrice	Support
[37]	PCB 157	5435	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau	SBSE
[37]	PCB 169	1090	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau	SBSE
[37]	PCB 189	5437	PCB / PCT / PCDD / PCDF	/	X	X	eau	SBSE
[38]	Aclonifène	1688	Divers (autres organiques)	Herbicide	X		eau	SBSE
[39]	Bifénox	1119	Divers (autres organiques)	Herbicide	X		eau	SBSE
[40]	Cybutryne / Irgarol	1935	Triazines et métabolites	Herbicide	X		eau	SBSE
[41]	Cyperméthrine	1140	Divers (autres organiques)	Insecticide	X		eau	SBSE
[42]	Dichlorvos	1170	Pesticides organophosphorés	Insecticide	X		eau	SBSE
[43]	<b>Hexabromocyclododécane (HBCDD)</b>	so	Divers	so	X	X	eau	SBSE
[43]	Hexabromocyclododécane (alpha+bêta+gamma HBCDD)	7128=6651 +6652+6653	Divers	Produits ignifuges bromés	X		eau	SBSE
[43]	1,2,5,6,9,10- hexabromocyclododécane (HBCDD)	/	Divers	Produits ignifuges bromés	X		eau	SBSE
[43]	α-hexabromocyclododécane (alpha HBCDD)	6651	Divers	Produits ignifuges bromés	X		eau	SBSE
[43]	β-Hexabromocyclododécane (bêta HBCDD)	6652	Divers	Produits ignifuges bromés	X		eau	SBSE
[43]	γ-hexabromocyclododécane (gamma HBCDD)	6653	Divers	Produits ignifuges bromés	X		eau	SBSE
[44]	Heptachlore + Epoxyde d'heptachlore	1197+1748	Pesticides organochlorés	Insecticide	X	X	eau	SBSE
[44]	Heptachlore	1197	Pesticides organochlorés	Insecticide	X	X	eau	SBSE
[44]	Epoxyde d'heptachlore	1748	Pesticides organochlorés	Transformation Heptachlore	X	X	eau	SBSE
[45]	Terbutryne	1269	Triazines et métabolites	Herbicide	X		eau	SBSE

**Projet Bon Etat II :**

Actualisation de l'état des lieux du SDAGE ;  
Volet "eaux côtières réunionnaises"

Décembre 2012



Substance volatile non pertinente dans le milieu marin - Substance ajoutée dans la directive 2013/39/UE - Substances spécifiques locales

SP = Substance Prioritaire / SPD = Substance Prioritaire Dangereuse

Support "Echantillonneur passif" : impossible - en cours de test - en cours de développement dans le cadre de la Campagne ONEMA 2012 - possible après développement

N° substance	Molécules / Substances	Code SANDRE	Groupe de paramètres	Usage	SP	SPD	Matrice	Support
[46]	Ethynyl estradiol (ou 17-alpha-éthynylestradiol)	2629	Stéroïdes et stéroïdes (oestrogènes, progestogènes)	/	X		eau	SBSE
[47]	17-bêta-estradiol	5397	Stéroïdes et stéroïdes (oestrogènes, progestogènes)	/	X		eau	SBSE
[48]	Diclofénac	/	Divers	Substances pharmaceutiques ou hormones	X		eau	SBSE
SSR	2,4-D	1141	Divers (autres organiques)	Herbicide			eau/biote	SBSE
SSR	Deltaméthrine	1149	Divers (autres organiques)	Insecticide			eau/biote	SBSE
SSR	Ethyl pyrimiphos	1260	Pesticides organophosphorés	Insecticide			eau/biote	SBSE
SSR	Fipronil	2009	Divers (autres organiques)	Insecticide			eau/biote	SBSE
SSR	Fluroxypyr	1765	Divers (autres organiques)	Herbicide			eau/biote	SBSE
SSR	Folpet ou folpel	1192	Divers (autres organiques)	Fongicide			eau/biote	SBSE
SSR	Métazachlore	1670	Pesticides organochlorés	Herbicide			eau/biote	SBSE
SSR	Métolachlore	1221	Pesticides organochlorés	Herbicide			eau/biote	SBSE
SSR	Oxadiazon	2737	Divers (autres organiques)	Herbicide			eau/biote	SBSE

## Etat de la bancarisation dans Quadrige<sup>2</sup>

Les données "chimie" sont encore en cours de bancarisation.

Tableau 35 : Etat de la bancarisation des données "chimie" au 31/12/2012

Données	Etat de la bancarisation
<b>MODIOLE</b>	Données 2004-2008 : 0% (*)
<b>PEPS</b>	Données 2008-2009 / 2 campagnes : 0% (*) (**)

(\*) sous condition de validation des métadonnées et des données.

(\*\*) modalités de bancarisation seront définies au terme de l'étude prospective (campagne exceptionnelle de 2012-2013).

### 5.3 Fréquence et période des suivis

Pour ce qui concerne les fréquences des suivis, le GT DCE de La Réunion s'est conformé aux préconisations figurant dans l'arrêté du 25 Janvier 2010, modifié par l'arrêté du 29 Juillet 2011, relatifs au programme de surveillance pour le biote, mais a adapté le suivi pour la matrice eau compte-tenu de l'utilisation des échantillonneurs passifs.

Au lieu d'un suivi mensuel / une fois par plan de gestion, le GT propose :

- 2 fois par plan de gestion pour se caler avec le suivi dans le biote,
- 2 fois par an pour les échantillonneurs intégrateurs (DGT/POCIS) et 6 fois par an pour l'autre échantillonneur (SBSE).

Les suivis se font toute l'année sur 3 périodes caractéristiques (§3.4.4).

Tableau 36 : Fréquence et période des suivis des paramètres contaminants chimiques

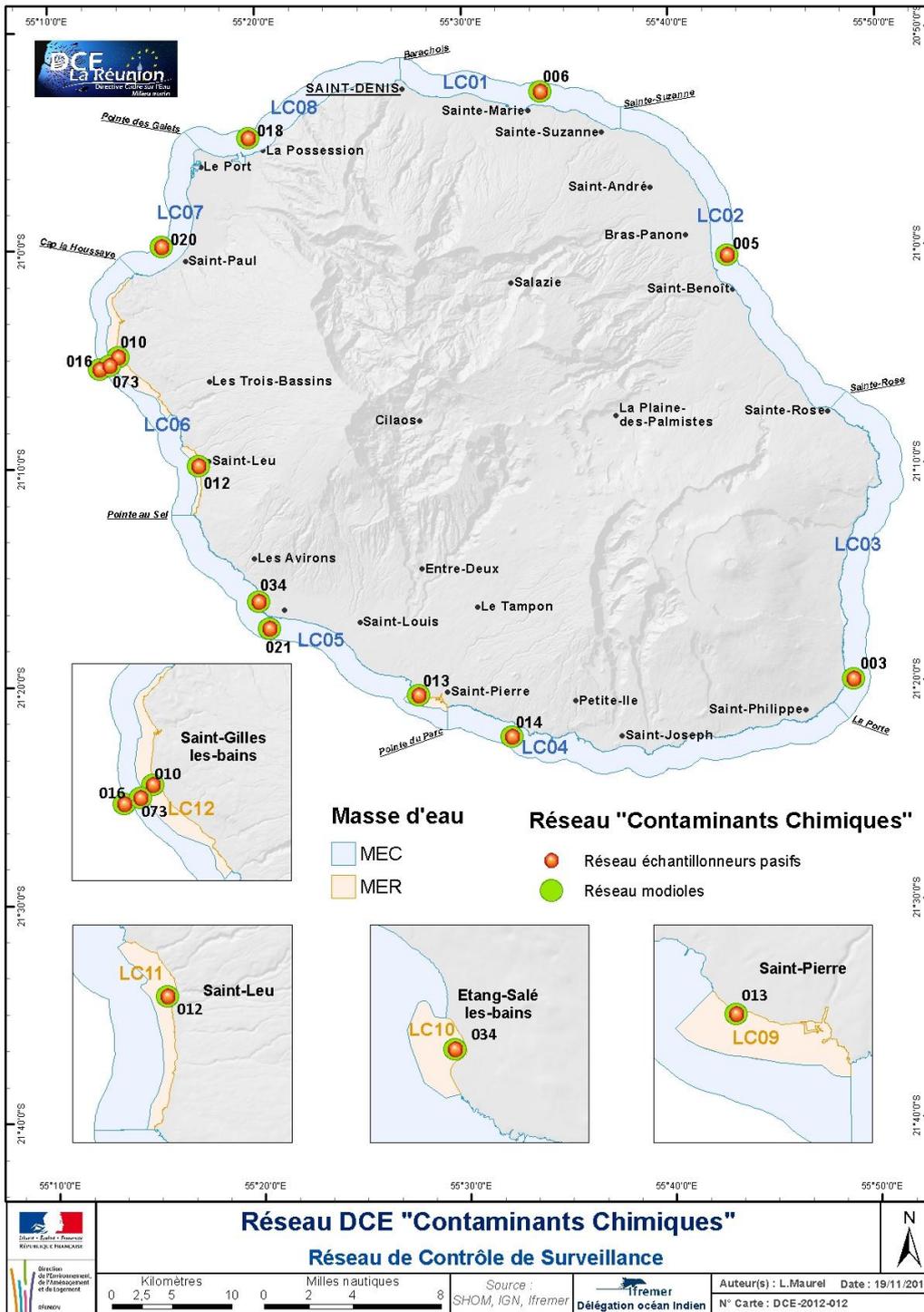
Matrice	Fréquence	Période
<b>Eau</b> DGT/POCIS	2 / an	1 en période chaude/humide (janvier/février) 1 en période fraîche/sèche (juin/juillet)
<b>Eau</b> SBSE	6 / an	2 en période fraîche/sèche (juillet et août) 2 en début de saison chaude/humide (novembre et décembre) 2 en période chaude/humide (février et mars)
<b>Biote</b> Modiole	2 / an	1 en période chaude/humide Avec pose en décembre/janvier et relevage février/mars : 3 mois

## 5.4 Positionnement des lieux de surveillance

Les lieux de surveillance du réseau "contaminants chimiques" sont communs aux lieux de surveillance du réseau "physico-chimie et phytoplancton".

**Tableau 37 : Positionnement des points du suivi "contaminants chimiques"**

Ancienne Masse d'eau	Masse d'eau	Mnémonique Q <sup>2</sup>	Lieu de Surveillance	Prof. (m)	Longitude WGS 84	Latitude WGS84
<b>Masse d'Eau Côtière (MEC)</b>						
LC01	<b>LC01</b>	126-P-006	Sainte-Marie	20	55,563834	-20,882000
LC03	<b>LC02</b>	126-P-005	Saint-Benoit	75	55,713667	-21,007667
LC07	<b>LC03</b>	126-P-003	Pointe de la Table	75	55,813333	-21,332333
LC12	<b>LC04</b>	126-P-014	Grande Anse	60	55,536467	-21,374733
LC09	<b>LC05</b>	126-P-021	Saint-Louis	60	55,341299	-21,290166
LC05	<b>LC06</b>	126-P-073	Ermitage	30	55,214410	-21,088167
LC05	<b>LC06</b>	126-P-016	Large Ermitage	75	55,206000	-21,091000
LC04	<b>LC07</b>	126-P-020	Saint-Paul (Large)	75	55,256967	-20,997833
LC02	<b>LC08</b>	126-P-018	La Possession (Large)	75	55,328017	-20,915417
<b>Masse d'Eau Récifale (MER)</b>						
LC11	<b>LC09</b>	126-P-013	Lagon Saint Pierre Ravine Blanche	1	55,461100	-21.342500
LC10	<b>LC10</b>	126-P-034	Le Bassin pirogue - Etang salé (Platier)	1	55,332920	-21,269510
LC08	<b>LC11</b>	126-P-012	Lagon Saint Leu Corne	1	55,284833	-21,165667
LC06	<b>LC12</b>	126-P-010	Lagon Saint-Gilles-les-Bains	1	55,221499	-21,081499



Carte 40 : Positionnement des stations du réseau de contrôle de surveillance DCE "Paramètres Contaminants Chimiques" dans les masses d'eau côtière de La Réunion

## 6 RCS "Benthos de substrats meubles"

En ce qui concerne le suivi du benthos de substrats meubles, la DCE impose le suivi des macro-invertébrés car ils constituent un excellent indicateur de l'état général d'un milieu et peuvent même révéler, grâce à la présence/absence de certains organismes sensibles ou à la structure des communautés, l'existence de certaines pressions d'origine anthropique.

Le suivi des invertébrés benthiques doit concerner (Directive 2000/60/CE, Annexe V, art.1.2.3) :

- " le niveau de diversité et d'abondance des taxa (...)
- tous les taxa sensibles aux perturbations (...)

### 6.1 Données utilisées

Le GT DCE "Benthos de substrats meubles" de La Réunion a retenu, comme support de travail, les données pertinentes acquises (§3.1 : définition de la stratégie, ...) :

- dans le cadre du projet Cartomar (Guennoc *et al.*, 2008) : cartographie des différents types de fond sédimentaires et leur distribution autour de l'île dans la zone des 20-100 m,
- en 1996 par Lionel Bigot, valorisées dans le cadre de sa thèse en 2006 (L. Bigot, 2006, ECOMAR, Université de La Réunion), et relatives à la distribution spatiale de la macrofaune benthique,
- dans le cadre des travaux de Bigot *et al.*, 2008 visant à préciser le statut écologique des espèces caractéristiques de l'océan Indien,
- lors de certaines études d'impact ponctuelles, rendues accessibles par leurs maîtres d'ouvrage pour les besoins du GT DCE,
- via des prélèvements réalisés en zones portuaires en 2011 destinés à permettre d'identifier les secteurs réunionnais les plus dégradés.

C'est à partir de ces premières données que le GT DCE "Benthos substrats meubles" de La Réunion a bâti sa proposition de réseau de contrôle de surveillance qui est décrite dans les pages qui suivent. Il appartiendra au Comité de Bassin, en fonction de la réactualisation de l'état des lieux qui interviendra en 2014/2015 suite à une première réalisation du réseau de surveillance en 2013, de statuer sur la nécessité (ou pas) de mettre également en œuvre d'autres types de contrôle (opérationnel, additionnel...).

### 6.2 Paramètres et indicateurs du réseau

Suite à un exercice d'inter-calibration au niveau européen, le M-AMBI a été retenu comme l'indicateur le plus pertinent à mettre en œuvre dans le cadre des suivis de benthos de substrats meubles. L'indicateur M-AMBI a été développé par les équipes du centre de recherche technologique marine AZTI (Borja *et al.*, 2007).

La grille de l'indicateur utilisé en métropole est basée sur les eaux de type tempéré. Le contexte réunionnais a nécessité des adaptations élargies de l'outil lui-même (listes

d'espèces et seuils), en fonction des espèces présentes et du rôle qu'elles jouent dans l'écosystème.

### 6.2.1 M-AMBI (Modified – AZTI Marine Biotic Index)

De nombreux indicateurs reposant sur le macrozoobenthos de substrats meubles ont été développés/testés en Europe et dans le monde. Le M-AMBI a été retenu dans le cadre de l'exercice d'inter étalonnage (Borja *et al.*, 2007) comme un des outils opérationnel. Il est appliqué par la France pour l'évaluation de la qualité des masses d'eau métropolitaines à l'issue de sa participation au GIG NEA<sup>45</sup>.

Le GT "benthos de substrats meubles" réunionnais a :

- testé cet indicateur à partir du jeu de données existant (Cartomar, thèse de L. Bigot, études d'impact...),
- réalisé (expertise de L. Bigot et P. Frouin) les adaptations nécessaires,
- validé cet indicateur pour La Réunion.

#### 6.2.1.1 L'échantillonnage

Dans les MER, l'échantillonnage au niveau des dépressions d'arrière récif (entre les platiers et le bas de plage) n'apparaît pas pertinent : forte hétérogénéité spatiale/temporelle, forts remaniements lors des fortes houles. **Seules les masses d'eau côtières sont donc concernées par ce réseau de surveillance.**

Le protocole d'échantillonnage est bien établi et relativement standardisé à l'échelle internationale (NF EN ISO 16665<sup>46</sup>). Au niveau national, le REBENT a rédigé des fiches de recommandations (Ifremer/Dyneco, 2005) du suivi des macroinvertébrés benthiques en "soutien à la DCE".

Les prélèvements se font en milieu sédimentaire fin avec une benne Van Veen ou une benne Smith McIntyre.

Cinq "coups de benne" sont destinés à l'analyse faunistique. Le tamisage se fait sur l'intégralité des échantillons sur des mailles 1 mm. Les individus collectés sont déterminés autant que possible à l'espèce ou au niveau taxonomique le plus faible possible.

Une benne supplémentaire est prélevée pour la caractérisation de la fraction sédimentaire (analyse granulométrique, fraction organique, ...)

Du fait de l'importance des houles cycloniques ou australes et des remaniements qu'elles exercent dans les zones sablo-vaseuses par petits fonds (moins de 20 mètres), le suivi interannuel en contrôle de surveillance de la macrofaune endogée ne pourra être réalisé (et n'aura de sens) que sur des stations situées à une profondeur supérieure à 25 m. L'ensemble des points de suivi de La Réunion sont donc positionnés entre 25 et 70 m de fonds.

#### 6.2.1.2 L'indicateur

Le M-AMBI est basé sur l'indicateur de qualité écologique "AMBI" (Borja *et al.*, 2000), découlant lui-même des travaux de Glémarec et Hily (1981) et Hily (1984).

Glémarec et Hily ont développé un indicateur qui repose sur le dénombrement d'espèces du macrozoobenthos vivant dans les sédiments. Ils ont classé les espèces en cinq groupes

<sup>45</sup> Groupe d'Intercalibration Géographique Nord Est Atlantique : groupe rassemblant les pays d'Europe pour s'accorder sur les métriques et seuils.

<sup>46</sup> NF EN ISO 16665-Janvier 2006. Qualité de l'eau - Lignes directrices pour le prélèvement quantitatif et le traitement d'échantillons de la macrofaune marine des fonds meubles.

écologiques (groupes de polluosensibilité) distincts selon leur affinité ou leur capacité à supporter des enrichissements en matière organique, matière organique qui représente un des traceurs de la pression anthropique.

Glémarec et Hily distinguent ainsi (Tableau 26) des espèces sensibles à cet enrichissement (qui disparaissent les premières en cas d'augmentation des apports ; ces espèces sont classées dans le Groupe I noté GI), des espèces indifférentes (GII), des espèces tolérantes (GIII), et des espèces opportunistes de second ordre (GIV ; elles se développent en cas d'enrichissement), ou opportunistes de premier ordre (GV ; espèces indicatrices par excellence de surcharges caractérisées en matière organique car elles prolifèrent et dominant dans les sédiments les plus enrichis).

**Tableau 38 : Groupes écologiques de pollu-sensibilités différentes (d'après Hily, 1984)**

Groupe	Type d'espèces	Caractéristiques	Groupes trophiques
I	Sensibles à une hypertrophisation	- Largement dominantes en conditions normales - Disparaissent les premières lors de l'enrichissement du milieu. - Dernières à se réinstaller	Suspensivores, carnivores sélectifs, quelques dépositivores tubicoles de subsurface
II	Indifférentes à une hypertrophisation	Espèces peu influencées par une augmentation de la quantité de matière organique (MO)	Carnivores et nécrophages peu sélectifs
III	Tolérantes à une hypertrophisation	Naturellement présentes dans les vases, mais, leur prolifération étant stimulée par l'enrichissement du milieu, elles sont le signe d'un déséquilibre du système	Dépositivores tubicoles de surface profitant du film superficiel de chargé de MO
IV	Opportunistes de second ordre	Cycle de vie court (souvent <1 an) proliférant dans les sédiments réduits	Dépositivores de subsurface
V	Opportunistes de premier ordre	Prolifèrent dans les sédiments réduits sur l'ensemble de leur épaisseur jusqu'à la surface	Dépositivores

A partir de ces premiers travaux de Glémarec et Hily, Borja *et al.* (2000) ont affiné l'indicateur en proposant une formule mathématique qui permet de linéariser les résultats, et donc d'obtenir une "note" en fonction des pourcentages respectifs des abondances des différents groupes écologiques. La note s'étage de 0 à 7 du très bon état au très mauvais. La note de 6 correspond à un milieu très enrichi en matière organique (très impacté), la note de 7 étant attribuée aux milieux azoïques<sup>47</sup>.

La formule de Borja *et al.* est la suivante :

$$AMBI = \frac{(0 \times \%GI) + (1,5 \times \%GII) + (3 \times \%GIII) + (4,5 \times \%GIV) + (6 \times \%GV)}{100}$$

Suite à cette première proposition, Borja et son équipe ont fait évoluer l'indicateur et développé le M-AMBI (pour "Modified-Ambi") (Borja *et al.*, 2007) qui repose sur l'AMBI, mais également sur la richesse spécifique, (*i.e.* le nombre d'espèces présentant au moins un individu par station), et sur l'indice de diversité de Shannon-Weaver (H') qui est donné par la formule :

$$H' = \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

Où :  $p_i$  = abondance proportionnelle ou pourcentage d'importance de l'espèce ( $p_i = n_i/N$ ) ;

S = nombre total d'espèces ;

$n_i$  = nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon ;

N = nombre total d'individus de toutes les espèces dans l'échantillon.

<sup>47</sup> Milieu sans vie animale.

Ces paramètres sont calculés pour toutes les stations. Avec le jeu de données résultant, une Analyse Factorielle des Correspondances est réalisée, déterminant trois axes perpendiculaires minimisant le critère des moindres carrés. La projection dans ce nouveau repère des deux points de référence correspondant à l'état le plus dégradé et au meilleur état, permet de définir un nouvel axe sur lequel sont projetés l'ensemble des points des stations (Figure 17). Pour chacun d'eux est calculée la distance qui le sépare du point le plus dégradé, en considérant que le segment de droite du point le plus dégradé à celui du meilleur état, a une longueur de 1. Cette distance bornée par 0 et 1 est le M-AMBI.

Les stations échantillonnées se réfèrent en métropole à trois types d'environnement hydro-sédimentaires : sables fins plus ou moins envasés subtidiaux, sables fins plus ou moins envasés intertidaux et enfin sables fins à moyens exposés. Ceci a amené le GT national à fixer trois conditions de référence distinctes (Tableau 39).

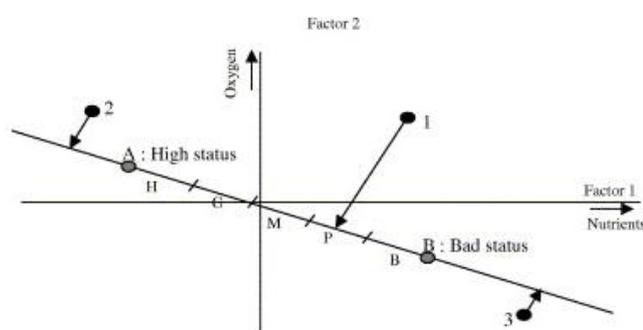


Figure 24 : Définition du statut des stations échantillonnées par projection sur l'axe factoriel défini par les conditions de référence (d'après Bald et al., 2005).

Tableau 39 : Conditions de référence retenues pour le calcul de la valeur de M-AMBI dans les eaux côtières des masses d'eau métropolitaines, et en bleu celle retenue pour les masses d'eau réunionnaises (d'après Bigot et al., 2008). La ligne bleu-ciel correspond aux conditions de La Réunion

Environnement hydro-sédimentaire	Etat	Richesse spécifique	Diversité de Shannon-Weaver	AMBI	M-AMBI
Sables fins plus ou moins envasés subtidiaux	Très bon	53 à 55	4 à 4,5	0,15 à 0,22	0,90 à 0,95
	Très mauvais	1 ou 0	0	> 5,5	> 0,2
Sables fins plus ou moins envasés intertidaux	Très bon	35	4	1	1
	mauvais	1	0	6	0
Sables (fins à moyens) exposés	Très bon	15	3,5	1	1
	mauvais	1	0	6	0

### 6.2.1.3 L'évaluation

La grille de correspondance retenue pour le M-AMBI en zone métropolitaine est présentée dans le Tableau 40.

L'adaptation du M-AMBI aux peuplements endogés de La Réunion a été réalisée par L. Bigot et P. Frouin (ECOMAR), et a porté sur :

- l'attribution d'une classe de pollusensibilité aux espèces tropicales ne figurant pas dans les listes européennes,

- un changement de classe pour certaines espèces, rendue plus ou moins sensibles, selon les cas, à l'enrichissement en matière organique, vraisemblablement du fait des conditions hydroclimatiques en zone intertropicale. Ces changements de classe de pollusensibilité ont donc été réalisés principalement à dire d'expert, à partir des jeux de données disponibles. Cette classification est susceptible d'évoluer très légèrement quand les premiers suivis auront été réalisés, et que les données disponibles seront plus conséquentes,
- la modification des limites des intervalles de classes de qualité par rapport à celles adoptées en métropole (Tableau 40).

**Tableau 40 : Limites des 5 classes " DCE " retenues pour l'indicateur M-AMBI à La Réunion (Bigot et al., 2008) en comparaison avec les limites appliquées en métropole**

Etat Ecologique	Mauvais	Médiocre	Moyen	Bon	Très bon
Classe M-AMBI La Réunion	< 0,20	0,20 – 0,40	0,41 – 0,61	0,62 – 0,82	> 0,82
Clases M-AMBI Métropole	< 0,20	0,20 - 0,39	0,40 - 0,53	0,54 - 0,77	> 0,77

A noter, pour conclure, que lorsqu'une masse d'eau comprend plusieurs stations de suivi, la valeur du M-AMBI globale retenue pour cette masse d'eau correspond à la moyenne des valeurs déterminées sur chacune des stations<sup>48</sup>. Cette particularité déroge au principe habituel de la DCE consistant à retenir le résultat le "plus déclassant" pour caractériser un milieu. Ce choix, défendu par le GT DCE de La Réunion, pourra être rediscuté au terme des campagnes de mesures du plan de gestion en cours.

#### 6.2.1.4 Proposition/recommandation du groupe de travail

Le GT DCE "Benthos de substrats meubles" de La Réunion tient à rappeler l'importance de bien identifier les taxons à l'espèce car les groupes de pollusensibilité sont attribués aux espèces et non aux genres ou à un niveau taxonomique supérieur. Il sera donc primordial que les agents qui seront amenés à réaliser les suivis soient qualifiés pour la reconnaissance/identification des espèces rencontrées dans les sédiments réunionnais. Il sera important de s'interroger au fur et à mesure du suivi sur le rôle écologique des nouvelles espèces qui seront rencontrées (taxons non identifiés jusqu'à présent), nouvelles espèces dont il faudra déterminer le groupe de pollusensibilité.

La biomasse ne fait pas partie des paramètres à suivre dans le cadre de la DCE, car elle n'intervient pas dans le calcul de l'indicateur. Pourtant il s'agit d'un paramètre informatif intéressant. Le GT recommande donc d'estimer cette biomasse et de la bancariser dans Q<sup>2</sup> (qui le permet aisément).

## 6.2.2 Paramètres associés

Les paramètres étudiés et associés à la macrofaune benthique concernent la caractérisation du sédiment. Il s'agit des analyses de granulométrie et de quantification de la matière

<sup>48</sup> les résultats du M-AMBI sont conservés pour chaque station, les données de l'ensemble des stations ne font pas l'objet d'un regroupement pour déterminer un M-AMBI global de la masse d'eau

organique présente dans le sédiment, paramètres pouvant participer à l'explication de la distribution faunistique.

En plus des 5 "coups de benne" prévu pour l'analyse faunistique, un 6<sup>ème</sup> est consacré à la caractérisation sédimentaire. Un carottier à main permet de réaliser un sous-échantillonnage des cinq premiers centimètres. Les sous-échantillons sont ensuite séparés pour réaliser d'une part des répliqués réservés à l'analyse granulométrique (séparés en fractions sur colonne de tamis normalisée AFNOR), d'autre part des répliqués réservés aux analyses de contenu organique (par la méthode de perte au feu).

L'ensemble des protocoles d'échantillonnage sont décrits et détaillés dans le fascicule destiné aux opérateurs (Fascicule du Réseau de Contrôle de Surveillance du Benthos de substrats meubles).

### 6.3 Etat de la bancarisation dans Quadrige<sup>2</sup>

Les données du projet Cartomar et celles de la thèse de L. Bigot sont bancarisées. Celles des prélèvements réalisés en zones portuaires en 2011 sont également vouées à l'être.

Tableau 41 : Etat de la bancarisation des données "benthos de substrat meuble" au 31/12/2012

Données	Etat de la bancarisation
<b>CARTOMAR</b>	Données 2007 : 100%
<b>Thèse L. Bigot</b>	Données 1996 : 100%

### 6.4 Fréquence et période des suivis

Pour ce qui concerne les fréquences des suivis, le GT DCE de La Réunion s'est conformé aux préconisations figurant dans de l'arrêté du 25 Janvier 2010, modifié par l'arrêté du 29 Juillet 2011, relatif au programme de surveillance : une campagne exhaustive tous les 3 ans (2 campagnes par plan de gestion).

D'après les données déjà disponibles, le GT DCE de La Réunion considère que la période la plus intéressante en termes de diversité faunistique et de conditions de navigation se situe entre mars et avril, les campagnes pouvant néanmoins déborder, en cas d'impossibilité technique ou météorologique, sur la période comprise entre février et mai.

Tableau 42 : Fréquence et période des suivis "benthos de substrat meuble"

Matrice	Fréquence	Période
<b>Substrat meuble</b>	1 / 3 ans	sur la période en mars/avril (voire entre février et mai)

### 6.5 Positionnement des lieux de surveillance (= stations)

Face à la carence en données, et afin d'étoffer nos connaissances, le GT DCE "Benthos de substrats meubles" de La Réunion estime que sur les premières années du contrôle de

surveillance il est nécessaire de positionner **au moins** une station d'échantillonnage dans chacune des masses d'eau côtières. Cependant, les prospections réalisées dans le cadre du projet CARTOMAR, montrent que certaines masses d'eau se révèlent particulièrement hétérogènes du point de vue sédimentaire ((granulométrie, pourcentage en carbone organique), ce qui justifie d'y positionner plusieurs stations.

**Tableau 43 : Positionnement des points du suivi "benthos de substrat meuble"**

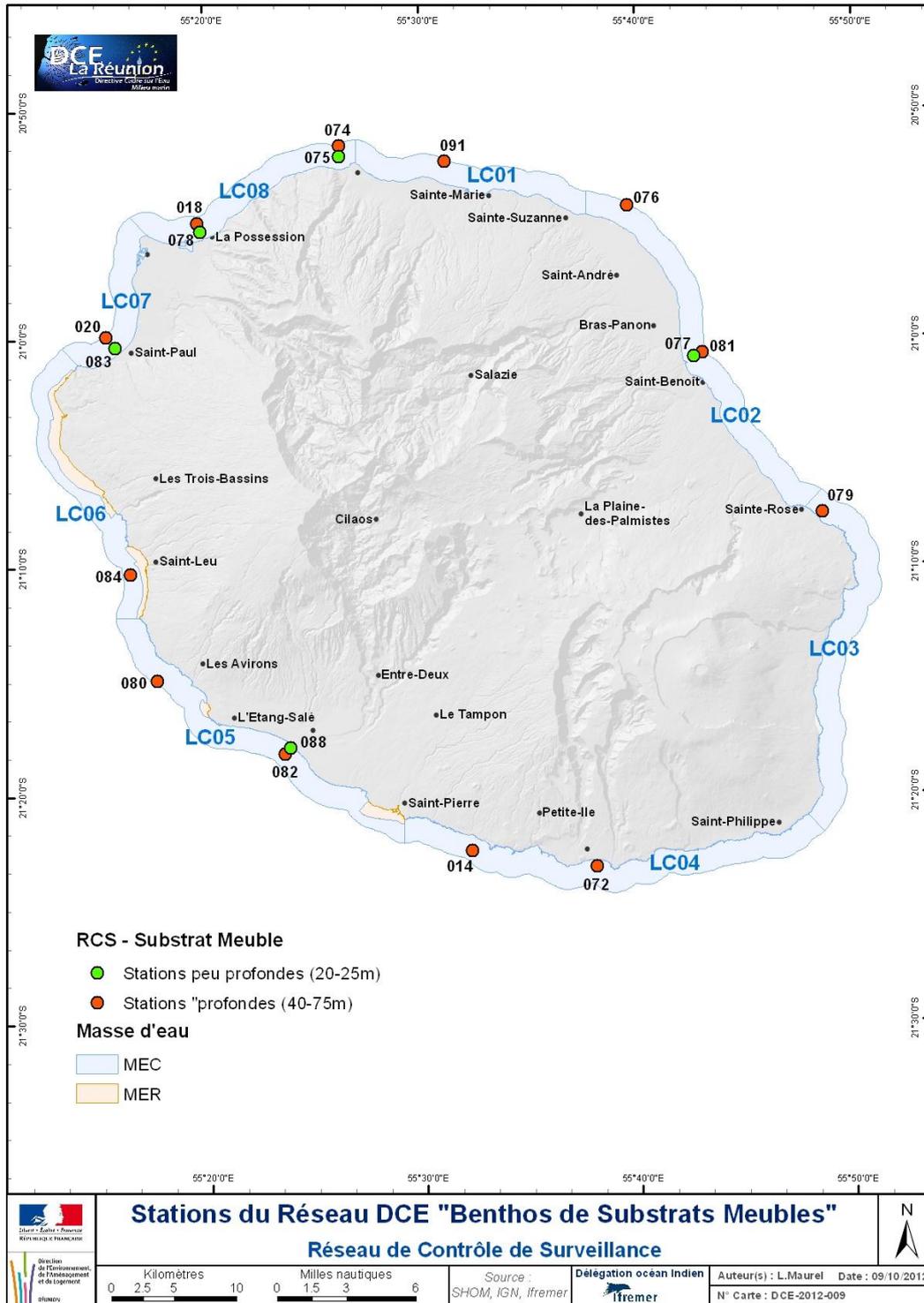
Masse d'eau	Mnémorique Q <sup>2</sup>	Lieu de Surveillance	Longitude (WGS 84)	Latitude (WGS 84)
LC01	126-P-091	Saint Denis – Gillot*	55.51941	-20.87140
LC02	126-P-076	Saint André - Bois Rouge*	55.65990	-20.90392
	126-P-077	Saint Benoit - Bourbier (Large)*	55.71735	-21.01193
	126-P-081	Saint Benoit - Bourbier (Côte)	55.71060	-21.01464
LC03	126-P-079	Sainte Rose - Bassin des Harengs*	55.80900	-21.12870
LC04	126-P-014	Grande Anse	55.53647	-21.37473
	126-P-072	Saint Joseph	55.63283	-21.38713
LC05	126-P-080	Les Avirons - Bois Blanc*	55.29362	-21.24927
	126-P-082	Saint Louis - Bel Air (Large)*	55.39198	-21.30295
	126-P-088	Saint Louis - Bel Air (Côte)	55.39642	-21.29875
LC06	126-P-084	Saint Leu*	55.27390	-21.17113
LC07	126-P-020	Saint Paul (Large)*	55.25697	-20.99783
	126-P-083	Saint Paul (Côte)	55.26393	-21.00576
LC08	126-P-018	La Possession (Large)*	55.32802	-20.91542
	126-P-078	La Possession (Côte)	55.33000	-20.92116
	126-P-074	Saint Denis - Barachois (Large)*	55.43767	-20.85905
	126-P-075	Saint Denis - Barachois(Côte)	55.43776	-20.86681

\* Station historique CARTOMAR 2008

Du fait de l'hydrodynamisme important et des remaniements fréquents des sédiments par les houles australes et cycloniques dans les secteurs de petits fonds, les stations ont été positionnées à des profondeurs supérieures à 40 mètres (entre 40 à 80 m), l'objectif étant d'échantillonner des secteurs présentant une stabilité sédimentaire suffisante dans le temps (Bigot *et al.*, 2006), et par voie de conséquence une meilleure représentativité de l'état général (ou moyen) des masses d'eau, comme l'exige la DCE. Douze (12) stations ont ainsi été retenues au sein des huit masses d'eau côtières.

En outre, afin de pouvoir mieux appréhender les perturbations locales liées aux pressions anthropiques et à l'impact des houles extrêmes, cinq stations supplémentaires ont été positionnées au droit des zones les plus urbanisées aux alentours des isobathes 20-25 m. Ces lieux de surveillance supplémentaires se situent dans les masses d'eau LC04 (Baie de St Paul), LC09 (en face de la commune de St Louis), LC03 (en face de la commune de St Benoît), LC01 (en face de la commune de St Denis) et LC02 (en baie de La Possession).

Au total, le réseau de suivi de l'ensemble des masses d'eau côtières totalise donc **17 stations**. La carte des stations est présentée en Carte 41.



Carte 41 : Positionnement des stations du RCS DCE "Benthos de substrats meubles" dans les masses d'eau côtières de La Réunion. La numérotation correspond aux 3 derniers chiffres du mnémonique Q<sup>2</sup> (Tableau 43)

La pertinence de maintenir les 17 stations de suivi dans les 9 masses d'eau côtières à l'issue du premier programme de surveillance sera évaluée par le GT DCE de La Réunion dans une perspective d'optimisation de l'effort d'échantillonnage vis-à-vis de la stratégie du RCS.

## 7 RCS "Benthos de substrats durs"

Les recommandations de la DCE vis-à-vis des substrats durs concernent le suivi de deux groupes distincts (Ifremer/Dyneco, 2005) :

- "Flore autre que le phytoplancton" (macroalgues en substrat durs),
- "invertébrés benthiques".

La surveillance des algues macroscopiques et des phanérogames est rendue obligatoire par l'article 1.1.4 de l'annexe V de la DCE, qui inscrit ce paramètre à la liste des éléments de qualité biologique permettant l'évaluation de l'état écologique des Masses d'Eau côtières. Ce suivi doit être systématiquement mis en œuvre dans le cadre du contrôle de surveillance (Annexe V – art. 1.3.1). Il n'y a pas de préconisation particulière concernant les invertébrés des substrats durs dans le cadre de la DCE, du fait de la diversité des substrats, durs en métropole et dans les DOM (tout particulièrement au niveau des écosystèmes récifaux). Un début de réflexion entre les différents experts nationaux sur les écosystèmes récifaux a été mené lors d'un atelier, initié par l'ONEMA début 2012 (ONEMA, 2012). Cet atelier a consisté à :

- **identifier les principales actions à mettre en œuvre** à court et moyen termes, pour aboutir à la création d'indices,
- **établir une liste des paramètres à relever et des métriques candidates.**

Le GT "Benthos de substrats durs" s'est ainsi appuyé sur ces dernières recommandations pour bâtir un indicateur pertinent et adapté aux écosystèmes récifaux de La Réunion.

### 7.1 Données utilisées

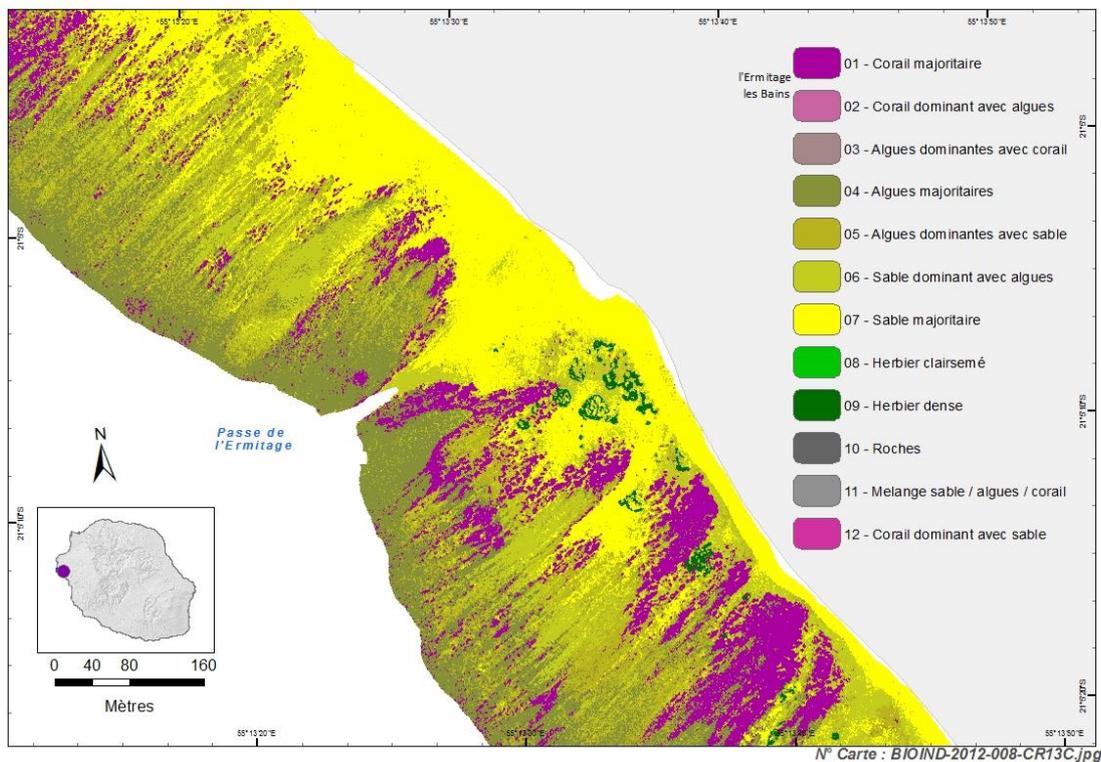
La réflexion du GT DCE "Benthos substrats durs" de La Réunion s'est essentiellement appuyée sur :

- Le suivi GCRMN (Global Coral Reef Monitoring Network) mené par le GIP RNMR (Réserve Nationale Marine de La Réunion) depuis 1998 dans le cadre d'un suivi pérenne des écosystèmes récifaux. Les 4 masses d'eau récifales sont concernées par ce suivi qui repose sur 7 stations échantillonnées systématiquement sur 2 niveaux : plateforme récifale et pente externe.
- La campagne MSA-Pentes Externes (Medium Scale Approach) de 2009 (Le Goff *et al.*, 2010) qui visait à réaliser un échantillonnage exhaustif tout au long des pentes externes de la côte Ouest de l'île. La méthode d'échantillonnage mise en œuvre consistait à estimer, en s'appuyant sur des quadrats, les taux de recouvrements des différents types de substrats rencontrés d'une part, et les niveaux de colonisation relatifs des grands groupes fonctionnels d'autre part. Cet échantillonnage était basé sur l'examen au sein de quadrats du recouvrement par le substrat dans un premier temps, par les grands groupes fonctionnels d'algues et coraux dans un second temps.
- Le projet BIOINDICATION (Le Goff *et al.*, 2012) visant à définir des indicateurs d'enrichissement en nutriments sur les plateformes récifales dans un premier volet, puis à proposer un indicateur issu du traitement des images hyperspectrales dans un second volet. Ce dernier a permis de réaliser des cartes d'habitat à haute résolution mettant en évidence la forte hétérogénéité spatiale des plateformes récifales.

## 7.2 Paramètres et indicateurs du réseau

Les experts nationaux réunis début 2012 à l'initiative de l'ONEMA et du MNHN ont regroupé les paramètres selon deux axes : les herbiers et les coraux.

Les zones récifales de La Réunion se caractérisent par une présence très limitée d'herbiers à phanérogames (Carte 42). Les traitements en cours, dans le cadre de l'approche hyperspectrale visant à développer des méthodes de cartographie d'habitat adaptées aux écosystèmes récifaux, tend à montrer que sur la plateforme récifale la plus importante de l'île de La Réunion (Saint-Gilles Ermitage), les surfaces occupées par des herbiers à phanérogame sont de l'ordre de 2 hectares, pour une surface totale cartographiée de plus de 240 hectares (soit une occupation des herbiers limitée à moins à 1 % de la plateforme récifale).



**Carte 42 : résultat des premiers traitements par classification des images hyperspectrales acquises sur la zone de st Gilles-Ermitage. Zoom centré sur la zone teste de la Passe de l'Ermitage, les zones d'herbiers apparaissent de couleur verte.**

Dans ce contexte, les membres du GT Experts ont statué sur la non pertinence d'adosser un indicateur DCE adapté aux herbiers à phanérogames à La Réunion. Seuls les paramètres "coralliens", et algues associées, ont donc été retenus et traités par le GT.

Le Tableau 44 présente une synthèse, à l'échelle des DOM, des paramètres "coralliens" suivis actuellement (et des méthodes employées). Certains ont été considérés comme pertinents par le GT national (notés N1). D'autres le seraient potentiellement (notés N2) mais ne bénéficient pas encore d'un recul historique suffisant pour statuer : le GT national préconise de les suivre afin d'être à même d'évaluer leur intérêt au terme du prochain plan de gestion (6 ans). Certains paramètres, enfin, sont notés "C". Il s'agit de paramètres purement explicatifs mais non classants pour les masses d'eau. Le GT national recommande de les suivre, dans le cadre des réseaux DCE à mettre en œuvre, car ils sont potentiellement nécessaires à l'analyse et à la compréhension d'un évènement ou des évolutions constatées au niveau des peuplements.

**Tableau 44 : Conclusions du GT National quant aux paramètres retenus pour les RCS. Seuls les paramètres grisés font aujourd'hui l'unanimité. En Bleu les paramètres pour lesquels La Réunion dispose de données historiques**

Groupes	Paramètres	Métriques candidates	Niveau	Suivi à La Réunion	Méthode/ protocole
Algues	Recouvrement Macroalgues	% MA/ corail vivant % MA/ substrat dur	N1	Oui	Réunion/Mayotte: LIT <sup>49</sup> , Antilles: PIT <sup>50</sup>
	Taxons Macroalgues	Taxons nitrophiles/ phosphorophiles Algues "compétitrices"	N1		BELT transect
Coraux	Recouvrement corail vivant	% corail viv/ corail mort % corail viv/ substrat total	N1	Oui	Réunion/Mayotte: LIT, Antilles: PIT
	Densité colonies adultes	Colonies adultes /m <sup>2</sup>	N1		LIT/PIT/Quadrat
	Taxons coraux	Ratio acropores/ non acropores (Pampa)	N2	Oui	BELT transect Identification au genre
	Densité juvéniles	Juveniles/m <sup>2</sup> % adultes /juvéniles	N2		Quadrats, tous genres confondus, <2 cm (Antilles), <5 cm (Indo-Pac.)
	Blanchissement	3 classes: saine; partiellement blanchie; totalement blanchie	C	Oui	LIT/PIT/BELT?
Autres Invertébrés	Densité Echinides	oursins diadèmes/m <sup>2</sup> autres espèces ?	N2	Oui	BELT transect / quadrat?
	Gorgones	Présence/absence	C		LIT/PIT/BELT?
	<i>Acanthaster</i>	Présence/absence	C, N2	Oui	LIT/PIT/BELT?
	Eponges	Présence/absence	C, N2	Oui	LIT/PIT/BELT?

Les données du GCRMN du GIP RNMR permettent de calculer aisément le recouvrement corallien et macro-algal. Elles permettent également d'évaluer la part des Coraux Acropores (CAC) au sein du corail vivant car les coraux sont identifiés la plupart du temps au genre, voire à l'espèce. Le blanchissement est également renseigné.

Les paramètres actuellement non mesurés à La Réunion mais envisageables dès le premier suivi sont la densité de juvéniles, ainsi que l'ensemble des paramètres concernant les invertébrés (en blanc dans le Tableau 44).

### 7.2.1 Paramètres suivis

En croisant les paramètres préconisés par les Experts Nationaux et ceux acquis dans le cadre des suivis locaux, une liste de paramètres méritant d'être suivis a été établie (Tableau 45). Les paramètres grisés sont ceux pour lesquels des données spatiales et temporelles sont d'ores et déjà disponibles dans la Base de données CoReMo de la RNMR.

<sup>49</sup> Linear Intercept Transect

<sup>50</sup> Point Intercept Transect

**Tableau 45 : Paramètres et métriques retenus pour le suivi des pentes externes, et méthodes correspondantes. Les lignes grisées correspondent aux paramètres déjà suivis. Les méthodes sont décrites dans le paragraphe 7.2.4.1.**

Méthode	Compartment	Paramètres	Métriques
L.I.T Line Intercept Transect	Corail "dur" (HC, "Hard Coral")	Vitalité	% relatif au substrat colonisable
		Couverture corallienne	% de recouvrement de HC total
		Part relative des genres	% relatif, au sein de HC total
		Part relative des principales formes	% relatif, au sein de HC total
	Alcyonaire	Vitalité	% relatif au substrat colonisable
		Couverture	% de recouvrement d'Alcyonaire total
	Algue	Part de chaque groupe fonctionnel par rapport algues totales	% relatif au peuplement "algue" total
Corail mort	Part corail mort (colonie encore sur pied aisément différenciable d'un substrat calcaire quelconque)	% relatif à l'ensemble Corail mort + Corail vivant	
Belt Transect	Invertébrés benthiques vagiles	Abondance de taxon cible du type holothurie, oursin herbivore (ex : <i>Diadema</i> et <i>Echinometra</i> ), <i>Acanthaster planci</i> , bénitier, autre macro bivalve (à définir les espèces cibles).	Densité
Quadrat	Recrutement corallien	Nombre par classe de taille (<2cm et compris entre 2 et 5cm) par grande catégorie (groupe fonctionnel)	Densité et % relatif au sein de HC total
	Algues dressées	Couverture	% de recouvrement des algues total

Le phénomène de blanchissement corallien, susceptible d'être réversible, ne doit pas être pris en compte comme facteur de déclassement. Il présente toutefois un intérêt certain à être suivi en tant que paramètre explicatif, traceur d'un état de stress, susceptible de permettre de comprendre une baisse de la couverture corallienne d'une année sur l'autre sans qu'elle soit forcément liée à un impact d'origine anthropique locale. Lors d'une évaluation globale du transect, l'observateur doit également notifier s'il y a présence de nécroses et/ou de maladies. Ces derniers paramètres sont additionnels et sont présentés dans le Tableau 46.

**Tableau 46: Paramètres et métriques additionnels retenus pour le suivi des pentes externes, et méthodes correspondantes. Les lignes grisées correspondent aux paramètres déjà suivis**

Méthode	Compartment	Paramètres	Métriques
L.I.T Line Intercept Transect	Corail "dur" (HC, "Hard Coral")	Santé générale des coraux vivants : Présence de Nécroses / Maladies	Observation / Non Observation
		Part corail blanchi sur corail vivant	% relatif, au sein de HC total
		Couverture corail blanchi	% de recouvrement de HC blanc total

## 7.2.2 Etat de référence

Le GT s'est appuyé sur les recommandations des experts nationaux présentées dans le paragraphe précédent pour établir un indicateur d'état des pentes externes. Cet indicateur permet de combiner plusieurs paramètres.

La mise en place de cet indicateur a nécessité un important travail sur les données disponibles et récoltées depuis 1998 (GCRMN) ainsi que l'établissement d'un état de référence grâce aux travaux de Bouchon (1981), Chabanet et Faure (1995), et Faure (1982, 2009, 2010(a) et 2010(b)).

Concernant les pentes externes, les mesures étaient différenciées entre horizon supérieur (au-dessus de 10 mètres de profondeur) et horizon moyen (10-15 mètres). L'horizon moyen est le seul pris en compte ici étant donné que les stations GCRMN actuelles sont à une douzaine de mètres de profondeur. Pour les platiers, une différenciation est effectuée entre les platiers internes et externes.

La synthèse de ce travail d'expertise et de synthèse bibliographique (réalisée par J-B. Nicet et G. Faure) est présentée dans les paragraphes 7.2.2.1 et 1.1.1.1.

**Les valeurs observées et mesurées en 1980 sont retenues comme valeurs de référence applicables aux zones récifales de La Réunion.**

### 7.2.2.1 Pentes externes

Tableau 47 : Evolution des couvertures coralliennes et algales sur les pentes externes des platiers récifaux de La Réunion entre 1980 et 2010. La Saline appartient à la masse d'eau récifale de Saint-Gilles

Année :		1980	2010	
Station :		Saline	Saint-Leu	Saline
Couverture	Corail	70%	25-40%	10-25%
	Alcyonnaire (corail mou)	5%	30%	20-30%
	Algue calcaire	15%	20-30%	50-60%
	Algues molles (probablement turf inclus)	10%		

En **1980**, les groupes fonctionnels/formes dominants étaient :

- Acropores digités,
- Acropores branchus,
- Pocillopores,
- Coraux massifs/encroûtants (*Pavona clavus*, *Favia* spp., *Favites* spp., *Porites* spp.,...),
- Acropores tabulaires.

En **2010**, les constats sont les suivants :

- Les Acropores tabulaires ont quasiment disparu, les Acropores branchus sont de moins en moins présents.
- La couverture corallienne est comprise entre 25 et 40% à Saint-Leu et 10 et 25% à Saint Gilles,
- Diminution d'environ 50% du recouvrement corallien au profit d'algues (essentiellement), d'alcyonnaires et d'éponges (en moindre quantité),
- Diminution de la richesse spécifique.

### 7.2.2.2 Plateformes récifales (platiers)

Tableau 48: Evolution des couvertures coralliennes et algales sur les platiers récifaux de La Réunion entre 1980 et 2010

Année :		1980		2010	
Station :		Platier Interne Saline	pente Externe Saint-Leu	Platier Interne Saline	pente Externe Saint-Leu
Couver- ture	Corail	50%	70%	25%	30%
	Alcyonnaire (corail mou)	-	-	30%	20%
	Algue calcaire	-	30%	50%	50%
	Eponges	-	-	5%	-

Les groupes fonctionnels/formes dominants sur platier interne :

- |   |   |
|---|---|
| - Acropores branchus                          | - <i>Pavona divaricata</i> , <i>P. cactus</i> |
| - Acropores digités                           | - <i>Pocillopora damicornis</i>               |
| - Acropores tabulaires                        | - <i>Montipora circumvallata</i>              |
| - <i>Porites nigrescens</i> , <i>P. lutea</i> |   |

Les groupes fonctionnels/formes dominants sur platier externe:

- |   |  |
|---|--|
| - Acropores branchus                      | - <i>Goniastrea retiformis</i> , <i>Favia stelligera</i> |
| - Acropores digités                       | - <i>Pavona divaricata</i> , <i>P. cactus</i>            |
| - Acropores tabulaires                    | - <i>Pocillopora damicornis</i> , <i>P. verrucosa</i>    |
| - Acropores submassifs                    | - <i>Montipora informis</i> , <i>Pavona venosa</i>       |
| - <i>Porites solida</i> , <i>P. lutea</i> | - <i>Turbinaria mesenterina</i>                          |

Informations manquantes :

- Absence de valeurs différenciées pour les parts respectives d'Acropores ou non Acropores,
- Les genres dominants sont identifiés, mais non quantifiés.

### 7.2.2.3 Synthèse

Sur la base de ces informations, un état de référence pour les paramètres suivants est proposé :

- Couverture corallienne,
- Couverture d'algues calcaires et d'algues dressées<sup>51</sup>,
- Couverture de coraux mous.

Au sein des coraux, il apparait que les groupes fonctionnels Acropores branchus et Acropores tabulaires sont associés à un bon état de santé des récifs (habitat préférentiel des poissons récifaux qui, en outre favorise le camouflage pour des invertébrés benthiques), contrairement aux non Acropores encroûtants, massifs et submassifs. Il est donc intéressant de suivre les formes de corail, en plus des genres. Seuls les genres principaux feront l'objet d'une étude particulière. Certains genres sont trop peu présents pour permettre une quelconque interprétation

<sup>51</sup> Si la distinction entre les algues dressées et le turf algal est bien intégrée dans les méthodes d'acquisition de données en cours, cette discrimination n'était pas réalisée par le passé. Les données historiques ne permettent donc pas de caractériser le compartiment algal à un niveau plus fin que "algues dressées".

### 7.2.3 Pentés externes versus Plateformes récifales

L'analyse de la série historique des paramètres mesurés par le GCRMN constitue une source d'information précieuse permettant d'appréhender l'écosystème récifal dans sa globalité et dans ses particularités (platiers récifaux vs pentés externes).

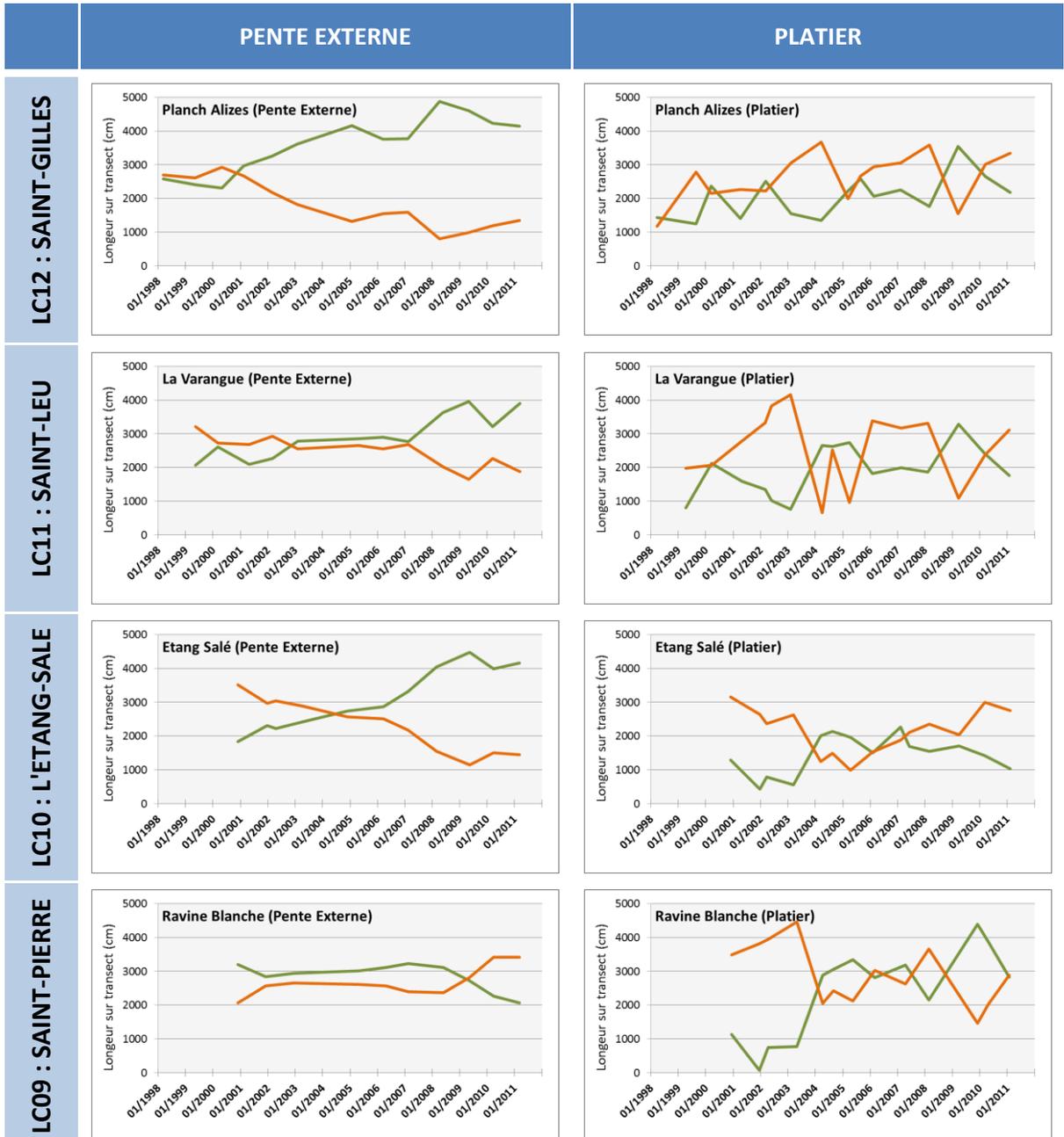


Figure 25 : Evolution des "couvertures" coralliennes (—) et algales (—) sur les plateformes récifales et les pentés externes de 4 stations de suivi du GIP RNMR (réparties au sein des 4 MER) entre 1998 et 2011. Longueur d'algues (en vert) et longueur de corail (en orange) observées le long des transects échantillonnés.

La couverture corallienne témoigne de la qualité des zones récifales. Elle évolue souvent de manière antagoniste avec la couverture algale sur le substrat dur (en zone détritique, où le substrat est meuble, seules les algues peuvent se développer). Ces deux paramètres ont été les premiers à faire l'objet d'un suivi dans le temps. Globalement, la tendance observée sur la

majorité des sites échantillonnés entre 1998 et 2009 révèle une baisse de la couverture corallienne au profit d'une augmentation de la couverture algale (Bigot, 2008). Les populations algales ont ainsi doublé, voire triplé en surface sur certains sites. La plupart présente aujourd'hui une couverture algale supérieure à 50 %, ce qui, selon Bruno *et al.* (2009), serait caractéristique d'un état écologique dégradé.

Au sein des plateformes récifales les séries temporelles montrent une importante variabilité interannuelle (Figure 25, colonne de droite). Ces fluctuations sont à mettre en relation avec la faible hauteur d'eau qui accroît la sensibilité aux effets directs des conditions environnementales (fortes pluies, houle australe, cyclones) sur les plateformes récifales. Ce "bruit de fond naturel" se révèle dominant et rend d'autant plus difficile l'identification et/ou la recherche d'une origine anthropique dans les dégradations observées.

Pour les pentes externes (Figure 25, colonne de gauche), le contexte est différent. Les paramètres mesurés par le GCRMN du GIP RNMR sont plus stables dans le temps, révélant ainsi une sensibilité moindre aux fluctuations et aléas hydroclimatiques. Situées à des niveaux bathymétriques plus profonds, les pentes externes bénéficient d'une hauteur d'eau suffisante pour être mieux "abritées" des pressions "naturelles".

Le passage du cyclone "Dina", en janvier 2002, et l'épisode important de blanchissement qui s'en est suivi (Scopélitis *et al.*, 2009) illustre bien ces différences qui caractérisent les plateformes récifales et leurs pentes externes. L'évolution comparée des couvertures algales et corallienne au cours des années suivantes, perceptible à partir de la campagne 2003 (Figure 25) montre combien "Dina" a plus fortement marqué les plateformes récifales que les pentes externes.

Cette variabilité temporelle se double d'une importante variabilité spatiale, perceptible à travers les mesures réalisées dans le cadre du GCRMN du GIP RNMR. L'analyse des données historiques, à l'échelle des 3 unités d'échantillonnage (transects de 20 m) qui définissent une station, permet de visualiser la variabilité spatiale qui caractérise ces milieux. La Figure 26 illustre cette particularité, en s'appuyant sur le paramètre "vitalité corallienne" pour 4 stations correspondant aux 4 masses d'eau récifales. La variabilité observée entre les 3 transects d'une même station se révèle sensiblement plus importante sur les plateformes récifales que sur les pentes externes.

Cette particularité doit être mise en perspective des caractéristiques géomorphologiques des deux environnements. Les plateformes récifales constituent des milieux très hétérogènes dans lesquels la dépression d'arrière récif (substrat plus ou moins homogène, de nature détritique ou sableuse) se mélange au platier récifal, substrat rocheux, support des structures coralliennes complexes. Cette hétérogénéité morphologique des plateformes récifales est beaucoup plus réduite sur les pentes externes, quasiment exclusivement constituées de substrats durs. En outre, la couche d'eau très réduite (< 1.5 m en moyenne) qui recouvre les plateformes récifales de La Réunion contribue également à l'exposition de ces écosystèmes aux pressions de surface (vents, houles, ...). Les pentes externes se révèlent plus abritées, moins complexes géomorphologiquement, et à ce titre constituent des environnements plus stables dans le temps comme dans l'espace.

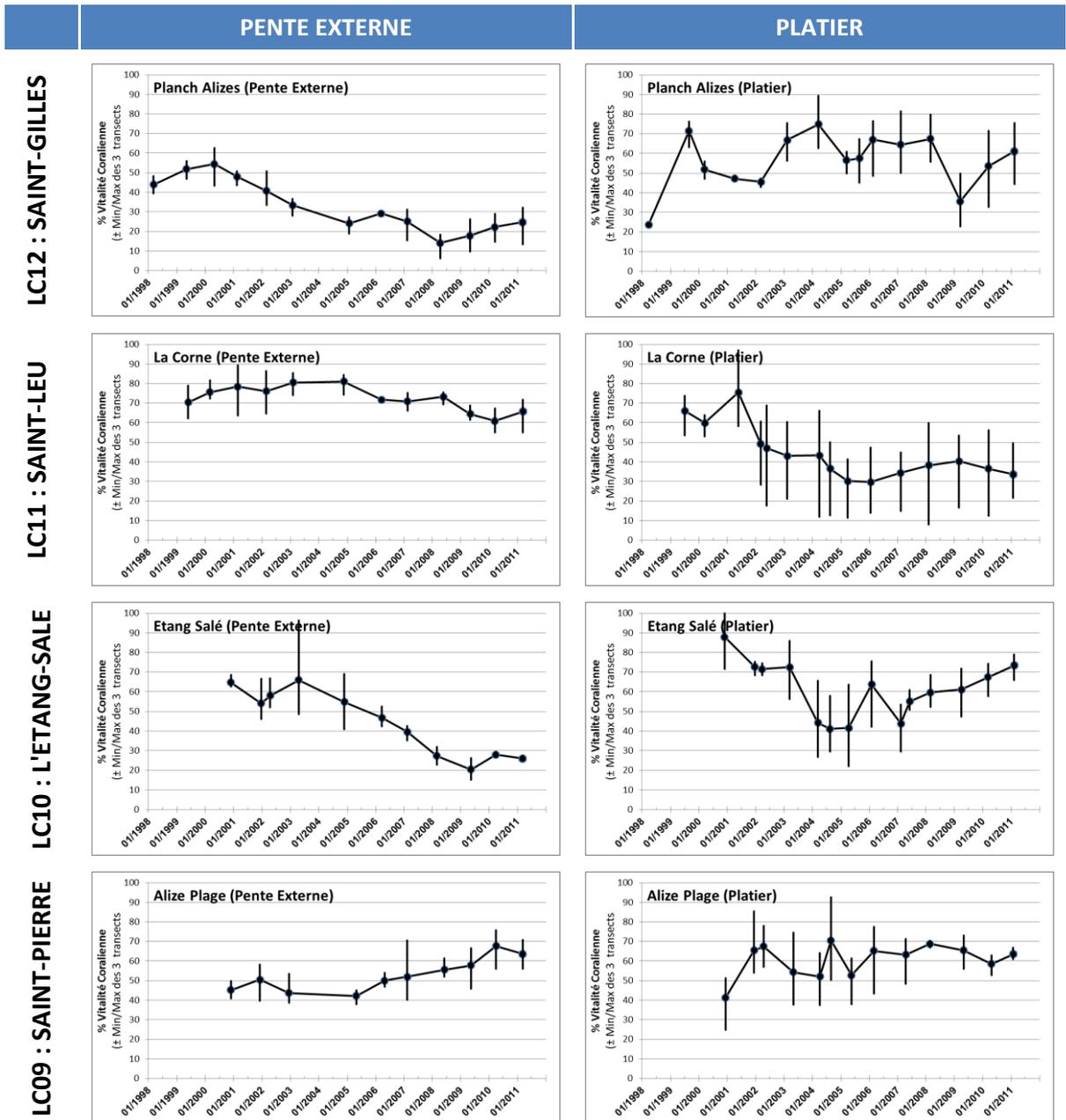


Figure 26 : "Vitalité Corallienne" observées sur les plateformes récifales et les pentes externes de 4 stations de suivi du GIP RNMR (réparties au sein des 4 MER) entre 1998 et 2011. Chaque valeur est encadrée par les valeurs minimum et maximum observées entre les 3 transects caractérisant chaque échantillonnage comme illustration de la dimension spatiale de la variabilité.

Dès le début des travaux menés par le GT DCE de La Réunion, ce double constat qui distinguait les plateformes récifales de leurs pentes externes s'est révélé être un élément très structurant de la réflexion. Si l'objectif *in fine* restait bien de proposer des méthodes et des outils d'évaluation de l'état de santé global des masses d'eau récifales, il était indispensable de discriminer les moyens à mettre en œuvre pour y parvenir en fonction du milieu concerné. Cette distinction était d'autant plus nécessaire que tous les experts s'accordaient pour considérer que si la méthode d'échantillonnage LIT (Linear Intercept Transect), employée jusqu'à présent, était bien adaptée aux pentes externes (substrat homogène, variabilités spatiales et temporelles réduites), elle se révélait plus limitée sur les plateformes récifales en particulier dans le cadre de la caractérisation des phénomènes de

dystrophie. En effet, selon le GT DCE "Benthos de substrats durs", la méthode LIT n'est pas la mieux adaptée pour permettre d'appréhender les développements algaux qui sont une manifestation de dystrophie liée à l'augmentation des apports en nutriments (Cuet *et al.*, 1988 ; Naïm, 1993 ; Semple, 1997, Chabanet, 1994). Cet enrichissement des plateformes récifales, notamment en azote, et dans une moindre mesure en phosphate (Cuet *et al.*, 1988 ; Naïm *et al.*, 2000), provient plus particulièrement des résurgences des nappes phréatiques et a pour origine l'urbanisation de la côte ouest de l'île ainsi que le développement des activités anthropiques. Dans ce contexte, dès 2009, une action spécifique (projet BIOINDICATION, ONEMA/IFREMER) visant à définir un ou plusieurs bioindicateurs à eutrophisation adaptés aux zones récifales réunionnaises a été mise en œuvre avec le soutien de l'ONEMA (Le Goff *et al.*, 2012).

Dans le cadre du présent projet BON ETAT II, les travaux du GT DCE de La Réunion se sont donc focalisés en priorité sur l'exploitation des données historiques dans la perspective d'un premier indicateur d'état de santé des écosystèmes coralliens adapté d'abord aux pentes externes. Les résultats de ces travaux sont présentés dans le chapitre 7.2.4 à venir. Le chapitre suivant (7.2.5), dédié aux plateformes récifales, présentera de manière synthétique les résultats issus du projet BIOINDICATION. Le lecteur sera invité à se reporter au rapport publié par Le Goff *et al.* (2012) pour les compléments et détails qu'il jugerait nécessaires.

## 7.2.4 L'indicateur Benthos de Substrats Durs adapté aux pentes externes

### 7.2.4.1 L'échantillonnage

Face à la dégradation des récifs coralliens à l'échelle mondiale, l'ICRI (International Coral Reef Initiative) a développé un réseau international de suivi des récifs : le GCRMN. L'objectif de ce réseau est de fournir aux gestionnaires les programmes, protocoles et méthodes adaptés pour le suivi écologique des récifs coralliens.

Trois méthodes issues du GCRMN sont utilisées pour le réseau de contrôle de surveillance "Benthos de substrats durs": le L.I.T., le Belt et le Quadrat (Hill & Wilkinson, 2004).

- L.I.T.

Il s'agit de dérouler un ruban gradué sur 20 m et d'identifier le substrat et les organismes interceptés par le ruban et d'en mesurer la longueur. Chaque interception correspond à une transition, la différence entre 2 transitions constitue une section :

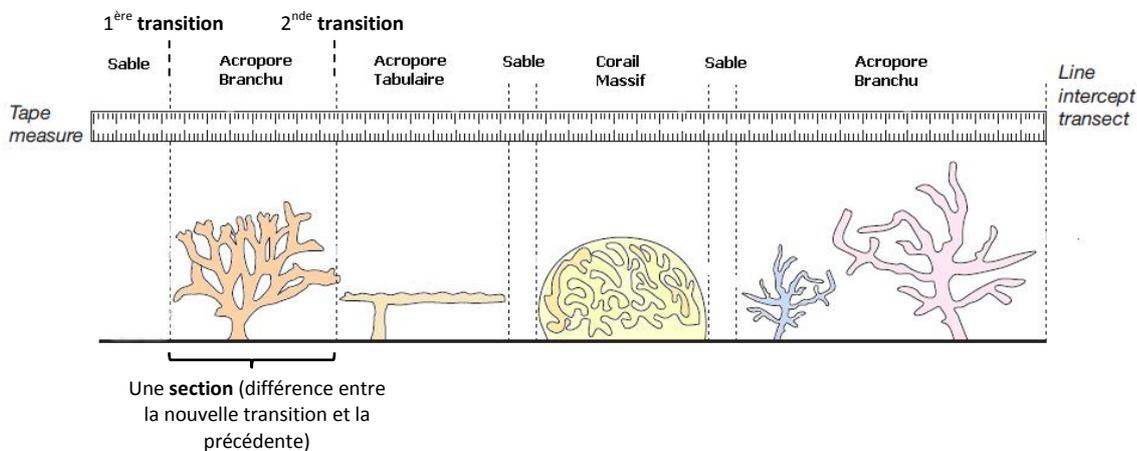


Figure 27 : Schéma du déroulement d'un transect LIT

- Belt

Cette approche consiste, dans un couloir de 20m de long et 4m de large, à déterminer et dénombrer les invertébrés remarquables pour en estimer les densités (le Belt doit se dérouler autour du L.I.T.).

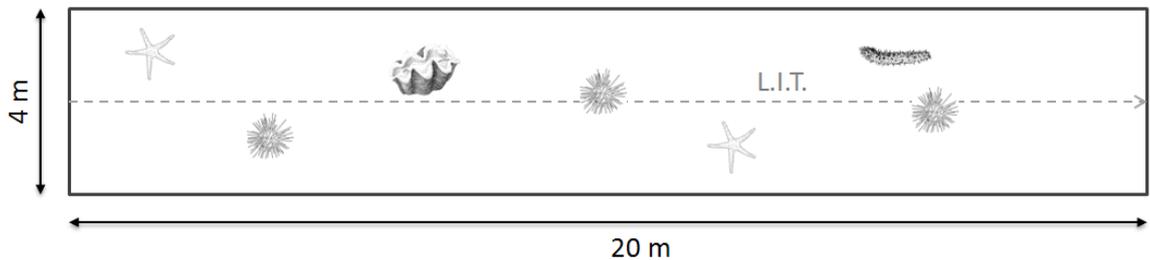


Figure 28 : Schéma du déroulement du Belt transect

- Quadrat

Son utilisation sert à estimer visuellement le recrutement corallien et la couverture algale (que le L.I.T. ne permet pas), le quadrat mesure 1 m<sup>2</sup>.

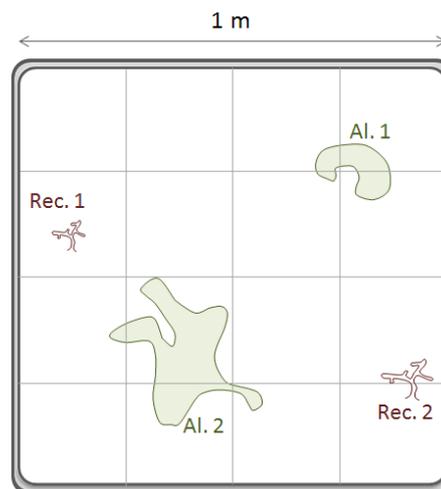


Figure 29 : Schéma du Quadrat utilisé pour compter les recrutements (Rec.) et estimer le recouvrement en algues (Al.)

#### 7.2.4.2 L'indicateur

Nombre de traitements et d'analyses exploratoires visant à développer l'indicateur ont été réalisés à partir du jeu de données GCRMN du GIP RNMR. Les paramètres du Tableau 49 ont été retenus.

Il est important de conserver à l'esprit que l'indicateur proposé aujourd'hui n'a pu l'être que sur la base des données **disponibles**. Au fil des ans, et de l'acquisition de données nouvelles, cet indicateur sera susceptible d'ajustements afin qu'il puisse être progressivement renforcé et consolidé en intégrant les résultats des paramètres supplémentaires recommandés (jamais mesurés jusqu'alors).

Tableau 49 : paramètres et métriques retenus par le GT BSD de La Réunion pour élaborer l'indicateur Pentes Externes

Paramètre	Métrique	Intitulé de l'Indice normalisé
<b>Recouvrement Corail Vivant</b>	Vitalité (%) sur substrat dur (colonisable) Noté : Vitalité corallienne	VITALITE
<b>Recouvrement Acropores</b>	Part d'acropores sur le corail vivant (%) Noté : %CAC	ACROPORES
<b>Recouvrement ACT+ACB</b>	Part d'ACT+ACB au sein des acropores (%) Noté : %ACB+ACT	ACB+ACT
<b>Recouvrement Algues dressées</b>	Part des algues dressées sur le substrat disponible (%) Noté : % Algue dressées	ALGUES DRESSEES
<b>Recouvrement Algues Calcaires</b>	Part des algues calcaires sur le substrat disponible (%) Noté : % Algue calcaires	ALGUES CALCAIRES
<b>Recouvrement Corail mou</b>	Vitalité de corail mou (%) sur le substrat disponible (%) Noté : % Corail Mou	CORAIL MOU

La question d'une métrique relative au "TURF algal" a longuement alimenté le débat au sein du GT DCE. Le TURF, ou gazon algal, se développe sur tout substrat dur non colonisé par du corail vivant (ce substrat est majoritairement constitué de corail mort). Le TURF constitue donc lui-même un paramètre totalement corrélé et inversement proportionnel au paramètre VITALITE. Un indicateur intégratif, tel qu'il est envisagé dans le cadre de la DCE, doit limiter autant que faire se peut l'autocorrélation des paramètres qui le constituent et donc reposer sur des métriques indépendantes. Le TURF étant inversement proportionnel à la VITALITE, le GT l'a écarté et a retenu la VITALITE corallienne.

La démarche a ensuite consisté, pour chacun de ces paramètres et chacune de ces métriques, à définir un référentiel pertinent, afin de constituer des indices, indices qu'il a fallu ensuite normaliser afin de pouvoir les regrouper et ainsi constituer l'indicateur final. L'étape de normalisation a en effet été indispensable car certains paramètres peuvent être qualifiés "d'améliorants", et d'autres de "déclassants".

**Les paramètres "améliorants"** sont ceux dont l'augmentation est signe d'une amélioration de la qualité de la masse d'eau. Il s'agit de :

- **Vitalité corallienne** : couverture corallienne vivante (coraux durs) ramenée au substrat potentiellement colonisable (en pourcentage),
- **ACROPORES** : part d'Acropores au sein de la population "Corail" (en pourcentage),
- **ACB+ACT** : part des coraux branchus (ACB) et tabulaires (ACT) au sein de la population des Acropores (en pourcentage),
- **ALGUES CALCAIRES** : couverture ramenée au substrat disponible (dur et débris, sans le corail vivant dur) pour la colonisation comme support potentiel pour le recrutement de coraux durs (en pourcentage).

**Les paramètres "déclassants"** sont ceux dont une augmentation témoigne d'une altération de la qualité de la masse d'eau :

- **ALGUES DRESSEES** : couverture d'algues dressées ramenée au substrat disponible (dur et débris, sans le corail dur) pour la colonisation (en pourcentage),

- **CORAIL MOU** : couverture absolue en coraux mous (Alcyonaires) ramenée au substrat disponible (substrat dur non colonisé par du corail ; en pourcentage), comme facteur limitant le substrat potentiellement colonisable par les coraux durs.

L'indicateur utilisé ici repose sur le L.I.T. et les calculs sont réalisés sur des sommes totales de sections identiques (section = mesure en cm d'un élément). Les codes utilisés dans le calcul de l'indicateur final sont présentés dans le Tableau 50.

**Tableau 50 : Correspondances [Type General] et [Code Benthos] utilisés dans CoReMo dans la saisie et extraction des données, les éléments indispensables pour les calculs sont grisés.**

Type General		Code Benthos	
<b>AB</b>	Abiotique	R	Débris
		RCK	Roche
		S	Sable
<b>AL</b>	Algue	CA	Non déterminé
		FMA	Algue Calcaire
		HMA	Algue Dressée Molle
		TA	Algue Dressée Dure
<b>DC</b>	Corail Mort	DC	Turf Algal
<b>HC</b>	Corail Dur	DC	Corail Mort
		ACB	Acropore Branchu
		ACD	Acropore Digité
		ACE	Acropore Encroûtant
		ACS	Acropore Submassif
		ACT	Acropore Tabulaire
		CB	Corail Branchu
		CE	Corail Encroûtant
		CF	Corail Foliacé
		CM	Corail Massif
		CME	Millepore
CMR	Corail Champignon		
CS	Corail Submassif		
CTU	Tubipore		
<b>OT</b>	Autre	OT	Autre
		SP	Eponge
		ZO	Zoantaire
<b>SC</b>	Corail Mou	SC	Corail Mou

### I. Indice VITALITE

La vitalité correspond à la couverture corallienne vivante (coraux durs) ramenée au substrat potentiellement colonisable (en pourcentage).

*Condition de calcul* : la vitalité ne se calculera que si et seulement si la longueur absolue du substrat dur est supérieure à 2 mètres (soit 10 % du total du transect de 20 m).

- Paramètres
  - Couverture en corail vivant (dur), "HC" du Tableau 50, toutes formes et tous genres confondus,
  - Substrat potentiellement colonisable (= substrats durs)

- Métrique

La formule générale utilisée :

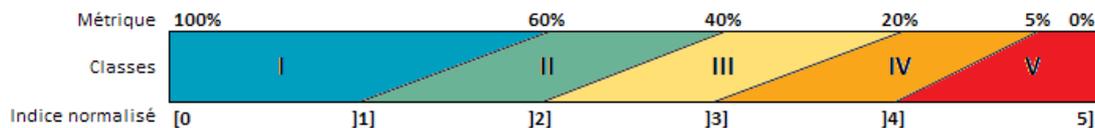
$$\text{Vitalité corallienne} = \frac{\text{Recouvrement Corail Vivant}}{\text{Substrats durs}} \times 100$$

Le L.I.T. ne prend pas en compte le type de substrat. Il faut ici considérer que toutes les observations sont liées à du substrat dur (corail vivant/mort, algues...) exceptées les observations ayant pour [Code Benthos] S (Sable) ou R (Débris), d'où la formule suivante pour pouvoir utiliser les données disponibles :

$$\text{Vitalité} = \frac{HC}{\text{Total transect} - (S + R)} \times 100$$

- Référentiel

La grille de lecture (correspondance métrique/indice normalisé) prise en compte dans le cas présent, est la suivante :



### II. Indice ACROPORES (CAC)

Il s'agit de calculer la part d'acropores au sein de la population "Corail" (en pourcentage).

*Condition de calcul* : la part d'acropores au sein du corail vivant n'a de sens que si le recouvrement en corail vivant absolu représente au moins 2 mètres du transect (10 %).

- Paramètres
  - Couverture en acropores (somme des ACB, ACT, ACS, ACE et ACD),
  - Couverture des coraux durs (HC),

- Métrique

La formule générale utilisée :

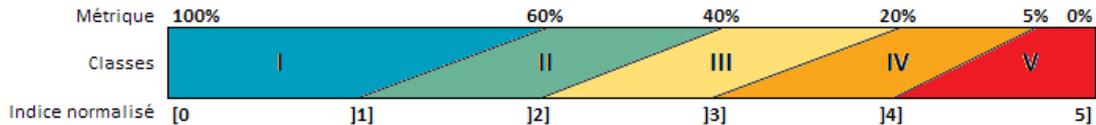
$$\%CAC = \frac{\text{Recouvrement d'Acropores}}{\text{Recouvrement Corail Vivant}}$$

D'après les données récoltées par le L.I.T. le calcul repose sur :

$$\%CAC = \frac{ACB + ACS + ACE + ACD + ACT}{HC} \times 100$$

- Référentiel

La grille de lecture (correspondance métrique/indice normalisé) prise en compte dans le cas présent, est la suivante :



### III. Indice ACT + ACB

Il s'agit de calculer la part des coraux branchus (ACB) et tabulaires (ACT) au sein de la population des Acropores (en pourcentage).

*Condition de calcul* : la part d'Acropores branchus et tabulaires n'est calculée que si la section totale absolue des coraux Acropores représente au moins 2 mètres (10 %).

- Paramètres

- Couverture d'ACB,
- Couverture d'ACT,
- Couverture de CAC.

- Métrique

La formule générale utilisée :

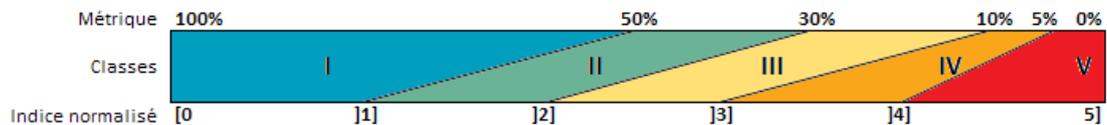
$$\%ACB + ACT = \frac{\text{Recouvrement en Acropores branchus et tabulaires}}{\text{Recouvrement total d'Acropores}}$$

D'après les données récoltées par le L.I.T., le calcul repose sur :

$$\%ACB + ACT = \frac{ACB + ACT}{ACB + ACS + ACE + ACD + ACT} \times 100$$

- Référentiel

La grille de lecture (correspondance métrique/indice normalisé) prise en compte dans le cas présent est la suivante :



### IV. Indice ALGUES DRESSEES

Il s'agit de calculer la part des algues dressées sur le substrat disponible (dur et débris, sans le corail dur) pour la colonisation (en pourcentage).

*Condition de calcul* : la part d'algues dressées par rapport au substrat disponible (dur et débris, sans corail dur) ne peut être calculée que si ce même substrat est suffisamment important : minimum, 2 mètres (10 %).

- Paramètres

- Couverture HMA,

- Couverture FMA,
- Substrat disponible.

- Métrique

La formule générale utilisée :

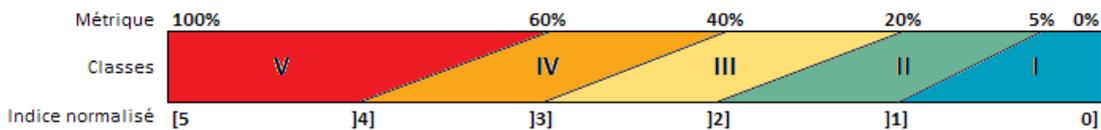
$$\%Algue Dressée = \frac{Recouvrement\ Algue\ Dressée}{Substrat\ disponible}$$

D'après les données récoltées par le L.I.T. le calcul repose sur :

$$\%Algue\ Dressée = \frac{HMA + FMA}{(Total\ transect - S) - HC} \times 100$$

- Référentiel

La grille de lecture (correspondance métrique/indice normalisé) prise en compte dans le cas présent est la suivante :



#### V. Indices ALGUES CALCAIRES

Il s'agit de calculer la part des algues calcaires sur le substrat disponible (dur et débris, sans le corail dur) pour la colonisation (en pourcentage).

*Condition de calcul* : la part d'algues dressées par rapport au substrat disponible (dur et débris, sans corail dur) ne peut être calculée que si ce même substrat est suffisamment important: minimum, 2 mètres (10%).

- Paramètres

- Couverture CA,
- Substrat disponible.

- Métrique

La formule générale utilisée :

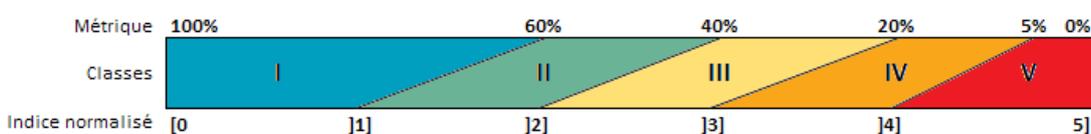
$$\%Algue\ Calcaire = \frac{Recouvrement\ Algue\ Calcaire}{Substrat\ disponible}$$

D'après les données récoltées par le L.I.T. le calcul repose sur :

$$\%Algue\ Calcaire = \frac{CA}{(Total\ Transect - S) - HC} \times 100$$

- Référentiel

La grille de lecture (correspondance métrique/indice normalisé) prise en compte dans le cas présent est la suivante :



### VI. Indices CORAIL MOU

Il s'agit de calculer la part du corail mou sur le substrat disponible (substrat dur, sans le corail dur) pour la colonisation (en pourcentage).

*Condition de calcul* : on considère, ici, que la part de corail mou par rapport au substrat disponible (substrat dur, sans corail dur) ne peut être calculée que si ce même substrat représente au moins 2 mètres.

- Paramètre
  - Couverture SC,
  - Substrat disponible.

- Métrique

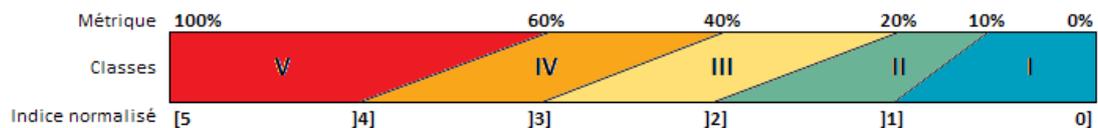
La formule générale utilisée :

$$\%Corail\ Mou = \frac{Recouvrement\ Corail\ Mou}{Substrat\ disponible}$$

D'après les données récoltées par le L.I.T. le calcul repose sur :

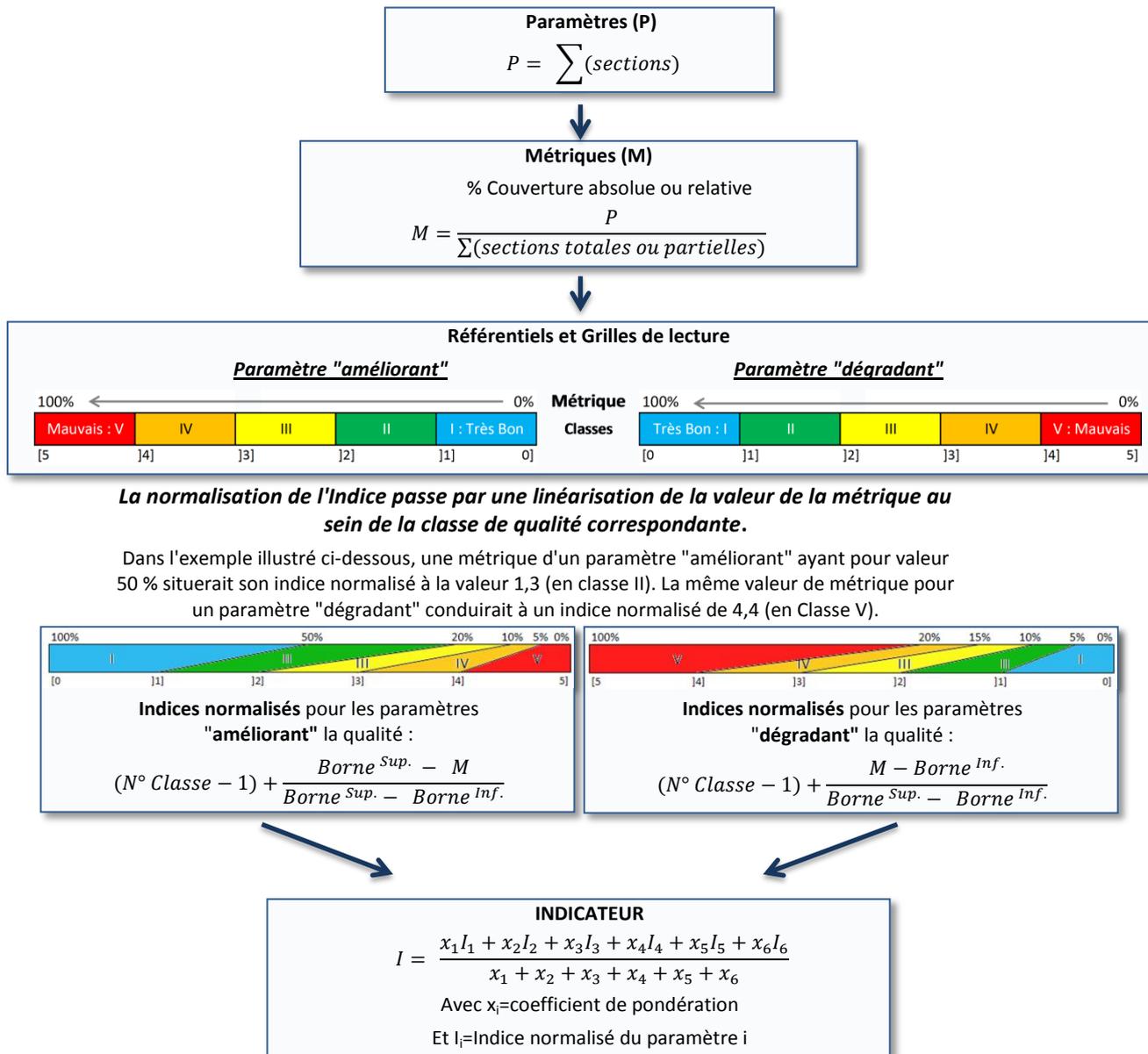
$$\%Corail\ Mou = \frac{SC}{Transect\ Total - (S + R) - HC} \times 100$$

- Référentiel



### 7.2.4.3 L'évaluation

- Synthèse des calculs – combinaison des indices calculés



**Figure 30 : Processus de calcul des indices normalisés permettant de calibrer les valeurs des métriques sur une seule et même grille de lecture pour permettre le calcul de l'indicateur par moyenne pondérée.**

La pertinence des différents indices normalisés retenus n'est pas identique : certains indices retranscrivent mieux que d'autres la qualité de la biocénose benthique corallienne des pentes externes réunionnaises, et représenteront de meilleures sentinelles pour déceler des évolutions, positives ou négatives, de cet état de santé. C'est en particulier le cas de la vitalité corallienne, de la proportion d'Acropores au sein des peuplements coralliens qui représentent les paramètres caractéristiques de l'état de référence (*i.e.* très bon état "pristine"). A l'opposé, les zones dégradées ou en cours de dégradation sont caractérisées par une augmentation du recouvrement algal que retranscrit l'indice Algues Dressées.

Ces trois indices, VITALITE, ACROPORES et ALGUES DRESSEES sont de meilleurs traceurs de la qualité des pentes externes que les 3 autres indices calculés. Il est donc nécessaire de leur donner plus de "poids", plus d'importance (dont le coefficient de pondération est

proportionnel à l'importance du paramètre mesuré dans sa contribution au "bon" ou "mauvais" état), dans la constitution de l'indicateur synthétique global (Tableau 36).

**Tableau 51 : Paramètres, référentiels et pondérations retenus par le GT BSD de La Réunion pour l'élaboration de l'indicateur DCE Benthos de Substrats Durs adapté aux Pentas externes des récifs frangeants de La Réunion.**

VITALITE	CAC	ACB+ACT	ALGUE DRESSEE	ALGUE CALCAIRE	CORAIL MOU	
PONDERATION						
10	5	1	2	1	1	
0	0	0	100	0	100	Mauvais
5	5	5	60	5	60	Médiocre
20	20	10	40	20	40	Moyen
40	40	30	20	40	20	Bon
60	60	50	5	60	10	Bon
100	100	100	0	100	0	Très Bon

- Grille

L'indicateur est une moyenne de tous les indices normalisés (avec application de leur pondération) :

$$I = \frac{x_1 I_1 + x_2 I_2 + x_3 I_3 + x_4 I_4 + x_5 I_5 + x_6 I_6}{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6}$$

Avec  $x_i$  = Coefficient de pondération appliqué à l'indice du paramètre  $i$

$I_i$  = Indice normalisé du paramètre  $i$

L'indicateur varie ainsi de 0, "très bon" état à 5, "mauvais" état :

Etat	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
INDICATEUR	[0 ; 1]	[1 ; 2]	[2 ; 3]	[3 ; 4]	[4 ; 5]

L'évaluation globale doit rendre compte de l'intégralité des stations et de l'hétérogénéité du milieu. Ainsi qualifier l'état d'une masse d'eau par le "benthos de substrats durs" doit reposer sur une moyenne des indicateurs calculés sur chaque station de la même masse d'eau.

#### 7.2.4.4 Proposition/recommandation du groupe de travail

Dans le protocole d'échantillonnage établi, d'autres paramètres doivent être suivis (Tableau 45) :

- Part du corail mort,
- Présence de nécroses/maladies,
- Densité des juvéniles,
- Couverture d'algues, suivi des taxons particuliers,
- Densité des macro-invertébrés cibles.

Il est également indispensable de dissocier le substrat de la colonisation afin d'améliorer le calcul de la vitalité corallienne.

### 7.2.5 L'indicateur Benthos de Substrats Durs adapté aux plateformes récifales

L'indicateur présenté au chapitre précédent (7.2.4) a été développé à partir des données acquises par le GIP RNMR et disponibles sur les pentes externes. Il est donc adapté pour qualifier l'état écologique de ces pentes externes, mais ne l'est pas en ce qui concerne les platiers récifaux car, selon le GT DCE "Benthos de substrats durs" de La Réunion, il surévalue leur qualité, principalement parce qu'il ne prend pas assez en compte les développements algaux qui sont une manifestation de dystrophie liée à l'augmentation des apports en nutriments (Cuet *et al.*, 1988 ; Naïm, 1993 ; Semple, 1997, Chabanet, 1994).

Cet enrichissement des plateformes récifales, notamment en azote, et dans une moindre mesure en phosphate (Cuet *et al.*, 1988 ; Naïm *et al.*, 2000), provient plus particulièrement des résurgences des nappes phréatiques et a pour origine l'urbanisation de la côte ouest de l'île ainsi que le développement des activités anthropiques.

Afin de proposer un indicateur adapté aux plateformes récifales, une action spécifique, soutenue par l'ONEMA a été mise en œuvre à travers le projet BIOINDICATION (Le Goff *et al.*, 2012). Malgré les moyens mis en œuvre et les efforts déployés, Les conditions rencontrées au cours de ce projet BIOINDICATION (une seule année d'acquisition de données) n'ont pas permis de révéler les processus recherchés pour aboutir *in fine* à un indicateur opérationnel. En conséquence, les conclusions du projet BIOINDICATION recommandent, dans un premier temps, de pouvoir envisager la mise en place d'une procédure de contrôle d'enquête dans le cadre du prochain plan de gestion à venir (2016-2021). L'objectif cible la possibilité de pouvoir appréhender les apports en nutriments et le développement algal à une échelle temporelle interannuelle afin de pouvoir caractériser dans le temps et dans l'espace les processus de dystrophie néfastes au développement corallien.

Ce chapitre propose, de manière synthétique, de présenter les principaux résultats obtenus dans le cadre du projet BIOINDICATION. Le lecteur est invité à se référer au rapport final BIOINDICATION (le Goff *et al.*, 2012) s'il souhaite obtenir des précisions relatives à des éléments qui lui paraîtraient nécessaires. L'accent sera porté ici sur les perspectives offertes par une technique récente d'imagerie hyperspectrale aéroportée en cours de développement dans le cadre du projet SPECTRHABENT initié par la DEAL Réunion et l'Ifremer.

#### 7.2.5.1 Volet 1 : caractérisation de phénomènes de dystrophie sur les plateformes récifales

Le premier volet de BIOINDICATION a été conduit par l'Arvam (Zubia *et al.*, 2012), assisté par le laboratoire ECOMAR de l'Université de La Réunion (P. Cuet) sur les aspects hydrologiques et par PARETO Ecoconsult (J.B. Nicet) pour le suivi des peuplements coralliens. Son objectif était de décrire le peuplement algal des platiers récifaux réunionnais et d'essayer d'identifier les réponses de la biocénose algale à un gradient d'enrichissement (variation des couvertures, modification de la composition spécifique, identification d'espèces ou de groupes d'espèces indicatrices ou sentinelles...). Les données ont été acquises par les méthodes "classiques" GCRMN : L.I.T., Belt transects, Photoquadrats.

Les paramètres, *a priori*, pertinents pour élaborer l'indicateur de dystrophie à macroalgues ont bien été identifiés, mais ce projet, qui ne reposait que sur 12 mois de suivi, n'a pas permis de développer l'indicateur lui-même. Le GT a donc proposé qu'un contrôle d'enquête soit lancé dès que possible afin de prolonger la phase d'acquisition de données, condition *sine qua non* pour l'élaboration de l'indicateur.

Les résultats et préconisations sont décrits dans le rapport BIOINDICATION pour l'ONEMA (Le Goff *et al.*, 2012).

### 7.2.5.2 Volet 2 : Utilisation des Images hyperspectrales

Le second volet, conduit par l'Ifremer (T. Bajjouk et J. Populus du Service Applications géomatiques de l'Ifremer Brest) avec le soutien de l'Aamp (P. Mouquet) a reposé sur l'utilisation d'images hyperspectrales et de données Lidar acquises dans le cadre des projets Litto3D<sup>52</sup> et Spectrhabet OI<sup>53</sup>. L'objectif était de réaliser, pour La Réunion, des cartographies utiles à la DCE, en s'appuyant sur l'information relative aux taux de couvertures, aux taux de vitalités coralliennes ou algales, à la bathymétrie ou à la géomorphologie dans une perspective de permettre de caractériser l'hétérogénéité spatiale de la plateforme récifale. Ces cartographies devaient servir de support et d'assistance pour permettre de positionner au mieux les futurs transects de suivi des réseaux de contrôle de la DCE, et, le cas échéant, de pouvoir contribuer au développement d'un indicateur de dystrophie.

L'imagerie hyperspectrale est une technologie déjà éprouvée mais son application aux écosystèmes coralliens est récente. Son intérêt réside dans les possibilités qu'elle offre, grâce aux "signatures spectrales spécifiques" des cibles visées (substrats, algues, corail, ...) d'identifier les différentes composantes spectrales à l'échelle de l'élément primaire de l'image (pixel) pour générer, par exemple, une information continue de nature surfacique à haute résolution (décimétrique). Selon la technique de traitement d'image utilisée, l'opérateur va pouvoir accéder et/ou générer des données spécifiques. Les techniques de "classification" seront adaptées à la caractérisation des différents types d'habitats. Le "démélangeage spectral" permet d'appréhender finement les informations relatives au taux de couverture des cibles étudiées (couvertures algales, vitalité corallienne, ...). Toujours à partir des mêmes données brutes hyperspectrales, couplées à des données LIDAR, la géomorphologie des fonds peut être précisée : bathymétrie haute résolution, analyse de pentes, rugosité, .... Enfin, au cours des traitements réalisés, des informations complémentaires propres à la colonne d'eau sont générées et permettent, entre autre, de produire de l'information relative à la turbidité du milieu par exemple. Ces techniques sont actuellement en pleine expansion et offrent des perspectives particulièrement intéressantes et prometteuses tant dans les domaines de la recherche, que de la connaissance, et du développement d'outils de gestion adaptés au milieu marin littoral.

La part la plus intéressante de ces techniques innovantes, vis-à-vis de la DCE, réside dans les possibilités offertes d'appréhender les taux de couvertures algales et coralliennes. Sans rentrer dans les détails (voir Le Goff *et al.*, 2012) le principe est de décomposer à l'échelle de chaque pixel de l'image initiale dite "image corrigée", les différentes composantes des constituants purs que l'on cherche à discriminer (corail, algues, sable, herbiers) (Figure 31).

<sup>52</sup> Litto3D<sup>®</sup> est un projet financé par l'Etat et mené par le SHOM et l'IGN. Il avait pour objectif de réaliser un MNT altimétrique et bathymétrique continu Terre-Mer sur le pourtour des îles françaises de l'océan Indien (La Réunion, Mayotte, îles Eparses ; projet achevé sur La Réunion, en cours sur les autres îles).

<sup>53</sup> Spectrhabet OI est un projet Etat (DEAL Réunion), Taaf, Aamp et Ifremer visant à utiliser les données Lidar de Litto3D<sup>®</sup> et des données hyperspectrales acquises lors des survols aériens de Litto3D<sup>®</sup> pour réaliser des cartographies des habitats benthiques subtidiaux du pourtour des îles françaises de l'océan Indien. En cours.

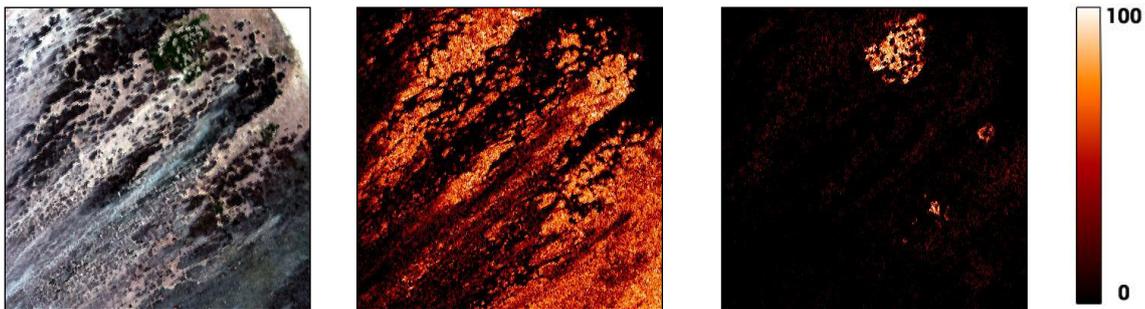
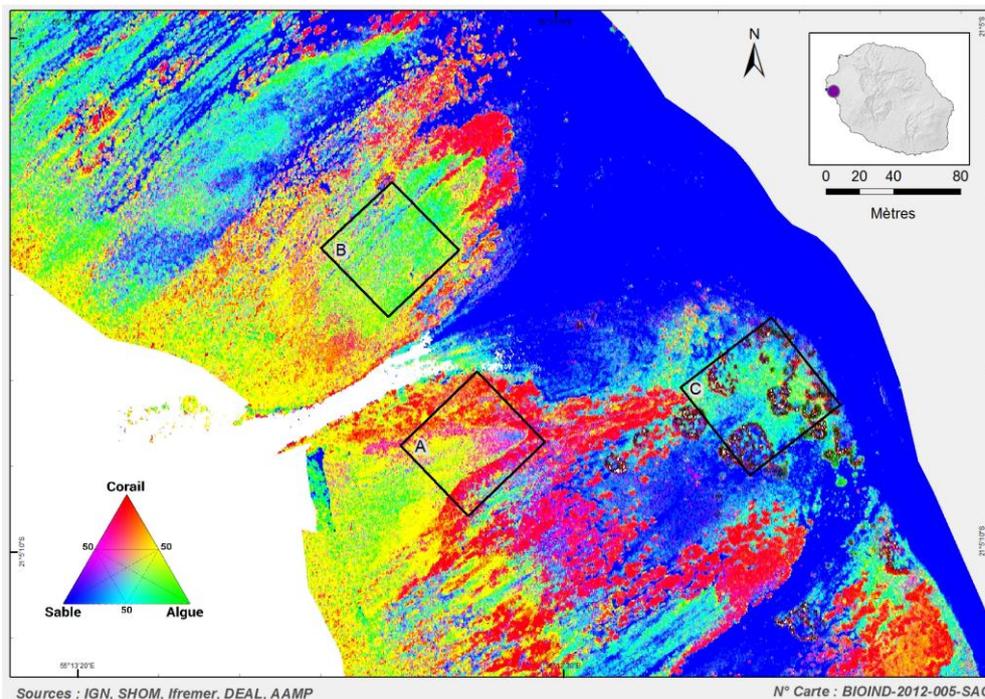


Figure 31 : De gauche à droite, l'image corrigée des effets de la colonne d'eau, l'image des abondances coralliennes, et l'image de l'abondance des herbiers (données à titre d'exemple). (d'après Le Goff et al., 2012)

Chaque composante pure, va alors pouvoir être exploitée de manière isolée. Plusieurs composantes peuvent également être combinées entre elles pour générer une nouvelle image en "fausses couleurs" de type composition colorée RVB (Rouge Vert Bleu). Ainsi en représentant les 3 constituants majoritaires, le sable en bleu, les algues en vert et les coraux en rouge, on parvient à faire ressortir la tendance globale des pixels à travers les nuances de couleurs du spectre lumineux. A noter que les pourcentages de recouvrement par les herbiers peuvent être superposés pour apparaître comme une 4<sup>ème</sup> composante sur l'image composite. Apparaissant en niveau de gris, cette couche d'information n'interfère pas avec les 3 composantes RVB.

Une carte de synthèse composite des recouvrements en Sable, Corail, Algues et Herbiers peut ainsi être produite (Carte 43). Les taux de recouvrement respectifs des 3 constituants "Corail/Algue/Sable" sont compris entre 0 % (absence de réponse spectrale) et 100 % (réponse spectrale pure). La composition colorée Rouge / Vert / Bleu (RVB) permet de représenter l'ensemble des combinaisons possibles des taux de recouvrement de ces trois constituants majoritaires de l'image. Les herbiers, du fait de leur importance écologique, y sont rajoutés dans un second temps (en noir).

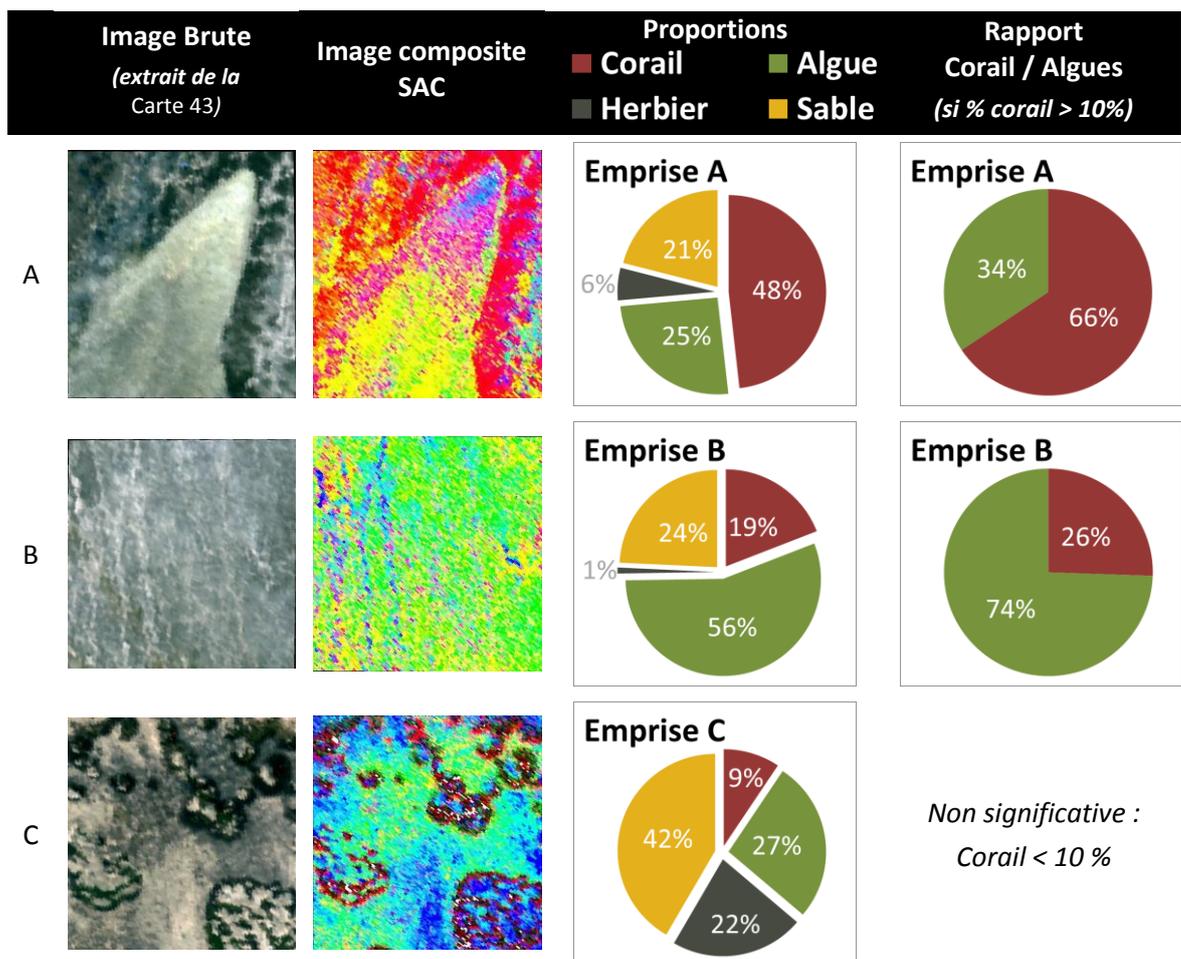


Carte 43 : Part des composants Corail/Algue/Sable autour de la Passe de l'Ermitage (Plateforme récifale de Saint-Gilles). L'aplât niveau de gris correspond aux zones sans données exploitables (non identification par l'algorithme de traitement). Les sous-secteurs A, B, C servent d'emprises à l'extraction de statistiques descriptives du Tableau 52.

L'intérêt majeur de cette démarche réside dans sa capacité à apporter, à l'échelle de chaque pixel (40 × 40 cm), une information quantitative et continue intégrant l'ensemble des 3 composants majoritaires (Sable, Corail, Algues) de la zone récifale observée. Ainsi, les zones tendant vers les trois couleurs primaires RVB permettent de localiser les secteurs de recouvrements très dominants (jusqu'à 100 % d'une seule composante). *A contrario*, les secteurs caractérisés par des couleurs secondaires (cyan, magenta et jaune notamment) révéleront des mélanges à deux ou trois constituants dont les proportions relatives seront modulées en fonction de la couleur. La légende permet de caractériser la nature des mélanges révélés.

Les résultats présentés dans les pages précédentes, visant la définition d'un indicateur d'état de santé "Benthos de substrats Durs" adapté aux pentes externes, ont montré que parmi tous les paramètres pouvant être pris en compte, deux se révélaient incontournables dans le calcul de l'indicateur final (7.2.4.4) : La vitalité corallienne (paramètre "améliorant" qui témoigne de bon état) vs le développement algal, plutôt signe de dégradation. Ces deux informations sont bien discriminées sur les images hyperspectrales et le Tableau 52 illustre la manière dont il est possible de quantifier le rapport entre ces deux paramètres à l'échelle d'une zone donnée.

**Tableau 52 : Calcul des statistiques descriptives (proportions Corail, Algues, Sable, Herbiers) extraites des 3 sous-secteurs A, B, C de l'image composite SAC (Carte 43)**



La dimension surfacique de l'imagerie hyperspectrale se révèle très complémentaire des résultats issus des suivis stationnels réalisés historiquement à La Réunion. Il est alors apparu intéressant, au-delà de la mise en évidence de la dimension hétérogène et mosaïquée de ces milieux coralliens, d'essayer d'aller plus loin en explorant les possibilités offertes par ces traitements pour appréhender dans sa globalité l'ensemble d'une masse d'eau récifale.

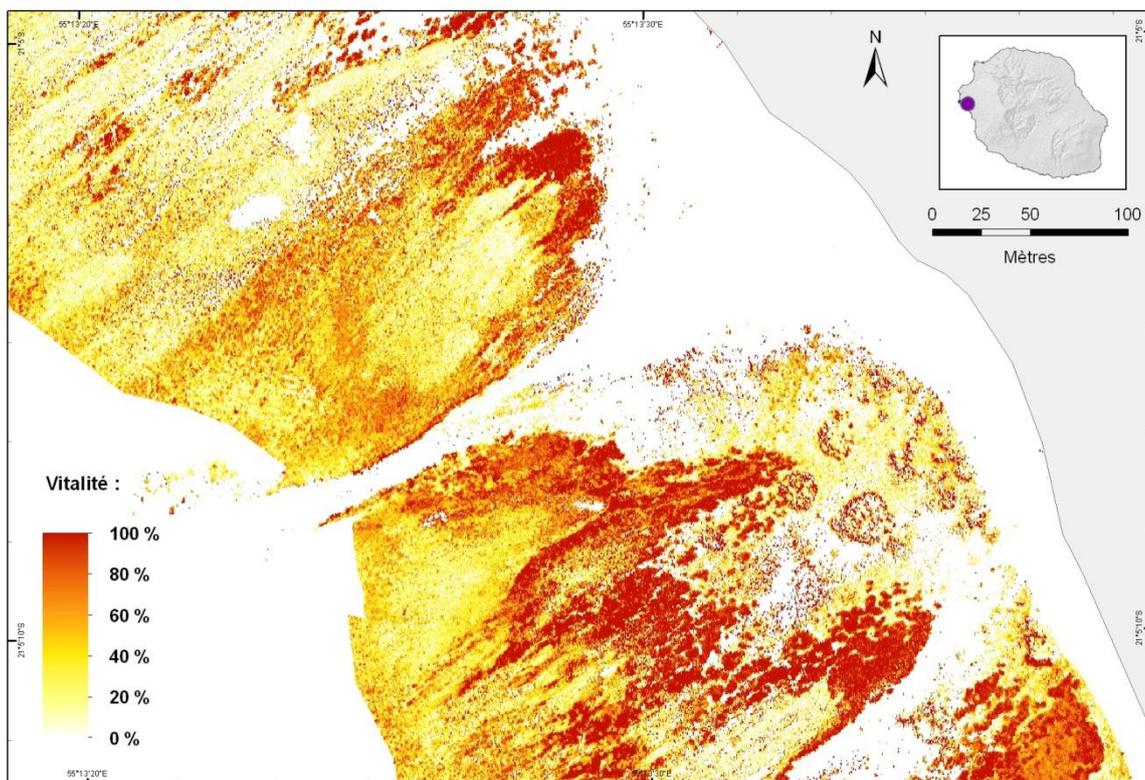
A partir des taux de recouvrements algaux et coralliens, il est possible de générer un indicateur approchant le paramètre de vitalité corallienne (% de couverture corallienne ramenée à la surface potentiellement colonisable représentée par le substrat dur). La méthode proposée s'articule en 2 étapes :

- 1) discrimination de la dépression d'arrière récif, substrat meuble non colonisable, pour ne conserver que la part de substrat dur (platier récifal) susceptible d'être colonisée de manière durable par le corail,
- 2) sur le platier récifal (substrat dur) on distingue les zones sableuses et détritiques (dépôts et petites dépressions remplies de sable, non colonisables) du reste (Algues + Corail). Cette seconde fraction (Algues + Corail) représentant la part du platier récifal (substrat dur) potentiellement colonisable par le corail.

En posant le rapport entre la surface de "corail vivant" divisé par la surface totale représentée par le "corail vivant" + "algues", on approche le calcul de la vitalité corallienne tel qu'il est proposé par le GT "Benthos de substrat durs" DCE de La Réunion, pour obtenir un indice de "vitalité corallienne hyperspectrale" :

$$\text{Vitalité (HS)} = \frac{\text{TauxCorail}}{\text{TauxCorail} + \text{TauxAlgues}}$$

Cet indice est qualifié de "vitalité corallienne hyperspectrale" pour bien le distinguer de l'indice de référence calculé à partir des données "terrain" acquises sur les pentes externes.



Sources : IGN, SHOM, Ifremer, DEAL, AAMP

N° Carte : BIOIND-2012-006-Vitalité

**Carte 44 : Vitalité Corallienne hyperspectrale (« VCH » : part de Corail Vivant sur le substrat dur) autour de la Passe de l'Ermitage (plateforme récifale de Saint-Gilles)**

Cette VCH, calculée à l'échelle de chacun des pixels de l'image, est comprise entre 0 % (absence de corail sur un substrat pourtant colonisable) et 100 % (couverture totale du substrat colonisable par du corail).

La Carte 44 présente un aperçu cartographique à pleine résolution du résultat, sur une zone test de la plateforme récifale au niveau de la Passe de l'Ermitage. La même représentation, étendue à l'échelle de l'ensemble de la masse d'eau est disponible via l'Atlas dédié et accessible sur Sextant.

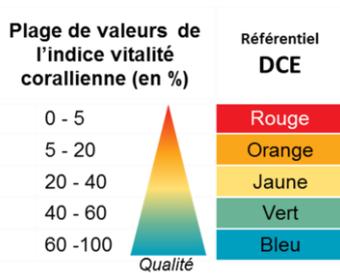
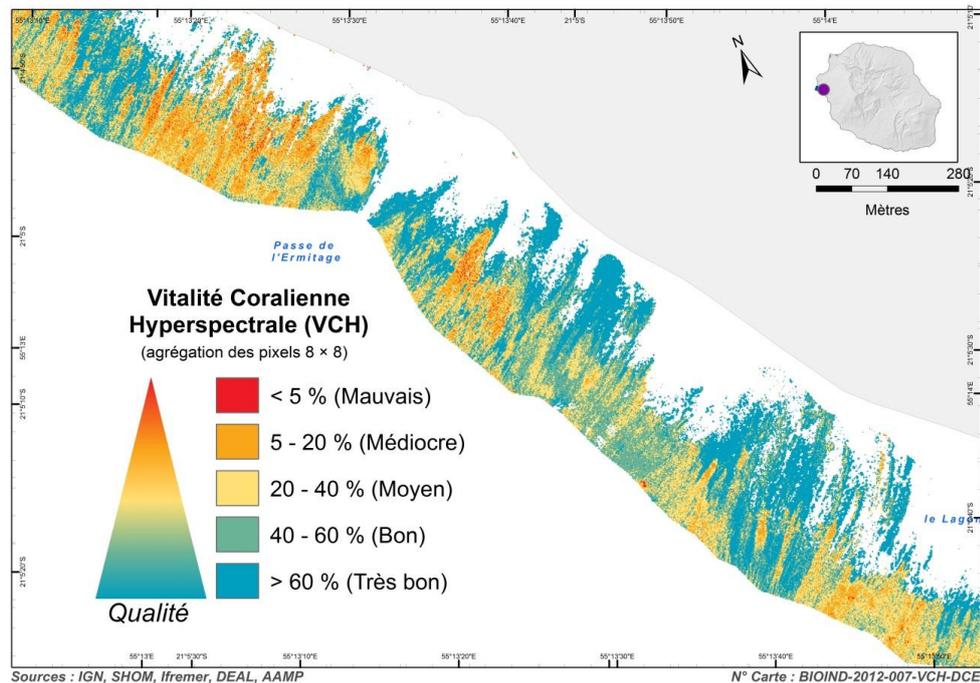


Figure 32 : Référentiel (grille de lecture et seuils associés) proposé pour le paramètre "vitalité corallienne" recommandé dans le cadre du RCS "Benthos de substrats durs" à La Réunion

Dans le cadre du Réseau de contrôle de Surveillance DCE appliqué aux pentes externes des zones récifales de La Réunion, le GT "Benthos de substrats Durs" DCE de La Réunion a proposé un référentiel et une grille associée pour le paramètre "Vitalité Corallienne" mesurée sur le terrain (Le Goff *et al.*, 2012).

En appliquant ce même référentiel aux résultats obtenus pour la "vitalité corallienne hyperspectrale", il est alors possible de produire une cartographie spatialisée de ce paramètre (Carte 45) étendue à l'ensemble de la masse d'eau récifale. Ces données font l'objet d'une mise en ligne sur le portail Sextant ([www.ifremer.fr/sextant](http://www.ifremer.fr/sextant)).



Carte 45 : Représentation spatialisée d'un indicateur de vitalité corallienne hyperspectrale (VCH) selon la symbologie DCE autour de la Passe de l'Ermitage (plateforme récifale de Saint-Gilles) (d'après Le Goff *et al.*, 2012)

A partir de cartes de ce type, il est possible de globaliser la valeur de l'indicateur à l'ensemble de la masse d'eau en moyennant les valeurs pixellaires de l'indice vitalité corallienne hyperspectrale (VCH). Dans l'exemple ci-dessus (emprise de la Carte 45) la valeur moyenne de cet indice VCH est de **48.2 %** ce qui classerait le secteur en "Vert" pour ce paramètre (Bon état).

Par géotraitement, il est alors possible de réaliser des calculs de surfaces, correspondant aux différentes classes de qualité, appliqués à la vitalité corallienne hyperspectrale (VCH) tel que représenté dans le Tableau 53.

**Tableau 53 : Vitalité corallienne exprimée en classes de qualité et surfaces correspondantes au sein du lagon de l'Ermitage/la Saline (emprise de la Carte 45)**

Indice	Vitalité VCH)	Nb Pixels	%	Surface en ha
5	[0-5[	1 463	0.92%	<b>0.37</b>
4	[5-20[	21 002	13.19%	<b>5.38</b>
3	[20-40[	43 792	27.49%	<b>11.21</b>
2	[40-60[	41 766	26.22%	<b>10.69</b>
1	[60-100[	51 252	32.18%	<b>13.12</b>
<b>Total :</b>		<b>159 275</b>	<b>100%</b>	<b>40.77</b>

Ces résultats préfigurent ce que pourrait apporter cette technique reposant sur l'imagerie hyperspectrale pour l'évaluation de la qualité des eaux (au sens de la DCE) à l'intérieur des zones récifales.

### 7.2.5.3 Recommandations formulées pour le suivi des plateformes récifales

La principale difficulté pour appréhender un état de santé de la plateforme récifale réside dans la très forte hétérogénéité tant spatiale que temporelle qui les caractérise. Le Projet BIOINDICATION (Le Goff *et al.*, 2012) avait pour objectif d'y répondre en proposant un indicateur d'enrichissement en nutriments. Malgré les moyens mis en œuvre et les avancées conséquentes obtenues en termes de connaissance relatives aux peuplements algaux des platiers récifaux (espèces ou groupes d'espèces opportunistes et potentiellement indicatrices de dystrophie) il n'a pas été possible, sur une année de données de terrain, de bâtir l'indicateur attendu. Parallèlement, les exploitations qui ont été faites des images hyperspectrales se révèlent encourageantes et offrent des perspectives nouvelles. La dimension surfacique qu'elles proposent est particulièrement bien adaptée pour de tels milieux. Elle se révèle en outre très complémentaire des suivis stationnels classiquement mis en œuvre.

S'appuyant sur l'expérience et les acquis du présent travail, et de celui réalisé dans le cadre du projet BIOINDICATION (Le Goff *et al.*, 2012), le GT "Benthos de substrat durs" recommande en priorité de prolonger les efforts dédiés spécifiquement à la question du développement des méthodes et des bio-indicateurs adaptés aux zones des platiers récifaux. Pour ce faire, il propose, sur la période du prochain plan de gestion (6 ans), la mise en place d'un Contrôle d'Enquête dédié pour mobiliser, à une échelle pluri-annuelle, les moyens nécessaires et pertinents. Ce contrôle d'enquête, largement détaillé dans le rapport BIOINDICATION devra intégrer :

- le suivi des nutriments (afin d'évaluer une potentielle dystrophie locale),
- le suivi des taxons algaux (méthode des quadrats),
- le suivi du corail (L.I.T.),
- accessoirement le suivi du pH et CO<sub>2</sub> jouant un rôle important dans la calcification (tel que décrit dans le paragraphe 4.2.7)
- des images hyperspectrales permettant d'élargir les connaissances à une échelle plus globale représentative de la masse d'eau.

Au terme du plan de gestion (6 ans) les données acquises serviront de support à l'élaboration d'un indicateur adapté.

### 7.3 Etat de la bancarisation dans Quadrigé<sup>2</sup>

Actuellement, les données MSA (Medium Scale Approach) issues de la campagne "Prospection des Pentes externes" de 2009 sont entièrement saisies dans Quadrigé<sup>2</sup> (Q<sup>2</sup>). Les données du GCRMN de la réserve marine sont saisies dans la base de données CoReMo (Coral Reef Monitoring), développée pour accueillir les données des récifs coralliens. Pour les besoins de la DCE, une partie des données actuellement stockées sous CoReMo V3, ont vocation à être reprises dans Q<sup>2</sup>. Les routines de transfert-récupération des données sont en cours de développement et pourront être mises en œuvre dès que les données identifiées auront été validées et qualifiées par le Groupe de travail Ifremer/RNMR qui a été mis en œuvre. Les données issues du projet BIOINDICATION seront, quant à elles, bancarisées à terme dans les outils ad hoc (Q<sup>2</sup>, CoReMo, BDRECIF-OI, ...etc).

Tableau 54 : Etat de la bancarisation des données "benthos de substrat dur" au 30/10/2012

Données	Etat de la bancarisation
MSA – Pentes Externes	Données 2009 : 100%
GCRMN - RNMR	Données 1998-2011 : 100% Données 2011-2013 : En cours (finalisation courant 2013)

### 7.4 Fréquence et période des suivis

L'été est la période la plus favorable au développement algal (: c'est la période où la compétition entre le développement algal et la croissance des colonies coralliennes est maximale. Evaluer l'indicateur au moment le plus défavorable pour le corail est la stratégie adoptée par le GIP RNMR. Les suivis GCRMN sont opérés chaque année de manière privilégiée entre les mois de janvier et de février (été austral).

Dans le cadre des suivis pérennes imposés par la DCE, il a été établi par le GT que l'échantillonnage aurait lieu deux fois par plan de gestion. Un plan de gestion ayant une durée de six ans, **le RCS "Benthos de substrats durs" devra donc être mis en œuvre pour la DCE tous les trois ans** de manière coordonnée, et donc complémentaire, avec le suivi GCRMN annuel porté par le GIP RNMR.

Tableau 55 : Fréquence et période des suivis "benthos de substrat dur"

Matrice	Fréquence	Période
Substrat dur	1 / 3 ans	sur la période janvier / février

### 7.5 Positionnement des lieux de surveillance

Concernant les pentes externes, sept stations réparties dans les quatre masses d'eau récifales existent déjà dans le cadre du suivi annuel GCRMN du GIP RNMR : deux stations dans la masse d'eau récifale de Saint-Gilles, deux pour Saint-Leu, une pour Etang-Salé et deux pour Saint-Pierre (Tableau 56). Pour la DCE, ces stations pérennes seront enrichies de sept

stations supplémentaires afin de compléter ce réseau de suivi et permettre d'avoir des stations les plus représentatives possible des masses d'eau récifales. Conformément aux stations du GCRMN, ces stations complémentaires sont situées autour des isobathes 9-12 mètres.

**Tableau 56 : Positionnement des points du suivi "benthos de substrats durs" actuellement mises en œuvre par le GIP RNMR**

Masse d'eau	Mnémonique Q <sup>2</sup>	Lieu de Surveillance	Longitude (WGS 84)	Latitude (WGS 84)
LC09 (Saint Pierre)	126-P-039	Alizé Plage (Pente externe)	55.47102	-21.34857
	126-P-038	La Ravine Blanche (Pente externe)	55.28261	-21.16404
LC10 (L'Etang-Salé)	126-P-035	Le Bassin pirogue - Etang salé (Pente externe)	55.22969	-21.09900
LC11 (Saint Leu)	126-P-030	La Corne (Pente externe)	55.32828	-21.26878
	126-P-033	La Varangue (Pente externe)	55.28248	-21.17354
LC12 (Saint Gilles)	126-P-029	Planch'Alizés (Pente externe)	55.21701	-21.08126
	126-P-026	Le Toboggan - Trois châteaux (Pente externe)	55.45913	-21.34572

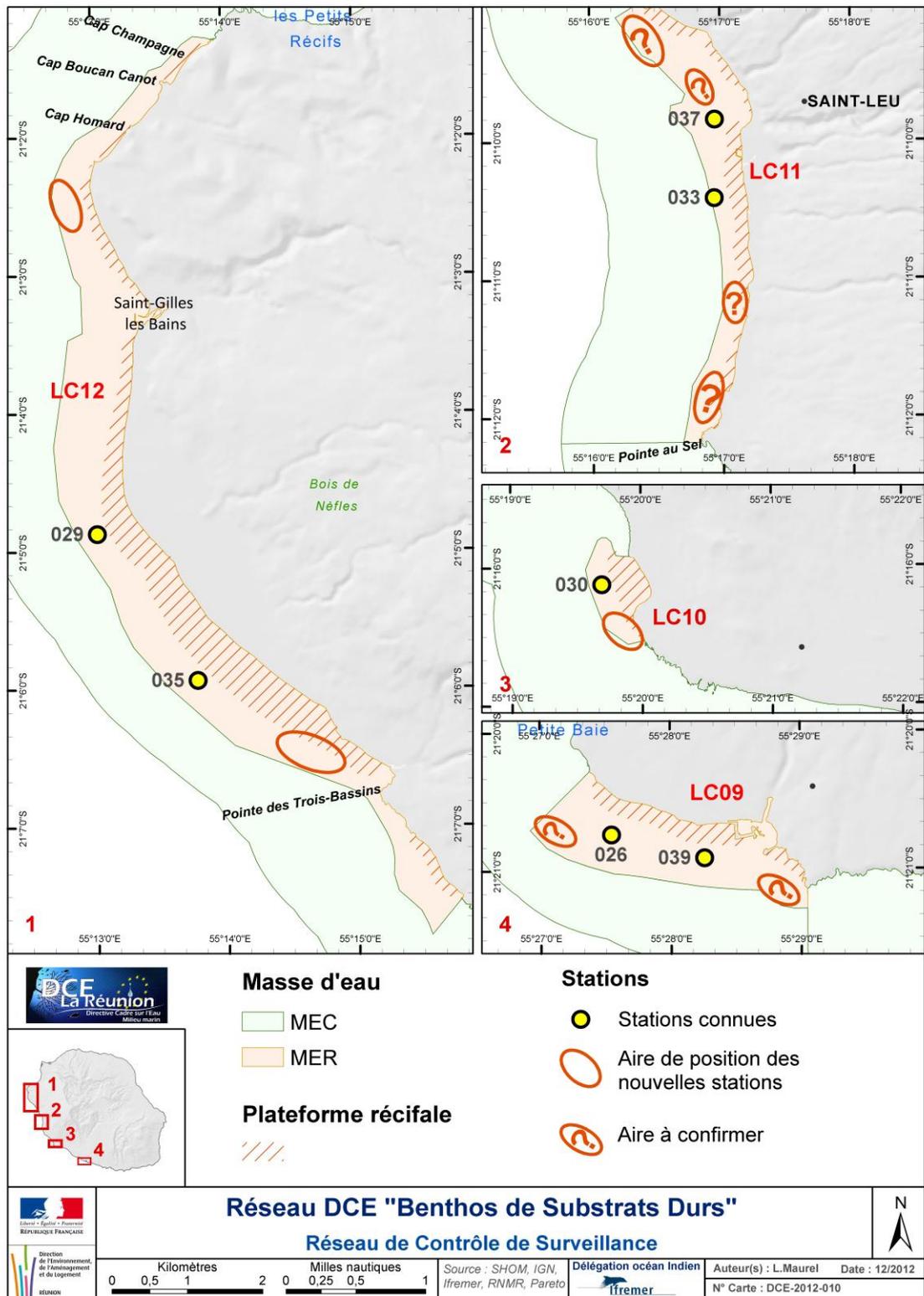
En regard des stations pérennes existantes, le GT n'a pas souhaité arrêter de manière absolue le positionnement exact des sept stations DCE complémentaires. Le caractère hautement stratégique du positionnement de ces stations complémentaires doit en effet être étudié avec toute l'attention nécessaire. Dans ce contexte, il a été proposé par le GT que cette question fasse l'objet d'un travail spécifique et concerté en intégrant de manière la plus exhaustive possible les données, les connaissances et l'expérience partagée avec le futur opérateur du RCS "Benthos Substrats Durs" à l'occasion de la mise en œuvre de la première campagne DCE.

Dans l'attente, seuls les secteurs destinés à accueillir ces futures stations de suivis DCE ont été identifiés par le GT (Tableau 57 et Carte 46).

**Tableau 57 : Localisation des secteurs ayant vocation à accueillir 1 stations DCE "benthos de substrats durs" en complément des stations mises en œuvre par le GIP RNMR**

Masse d'eau	Secteur proposé pour accueillir une station RCS DCE "Benthos de substrat durs"
LC09 (Saint Pierre)	Au Sud de la "Pointe de la Ravine Blanche"
LC10 (L'Etang-Salé)	En face de La "Pointe de l'Etang Salé"
LC11 (Saint Leu)	En face de La Gendarmerie de Saint-Leu (Nord de "La Pointe au Sel")
	Entre "La Pointe des Châteaux" et "La Corne"
	Au Sud de "La Pointe des Châteaux" (Limite Nord de la masse d'eau)
LC12 (Saint Gilles)	Entre "Trou d'eau" et "Trois-Bassins", (Sud de Saint-Gilles les Bains)
	Sud "Pointe des Aigrettes", (Nord de Saint-Gilles les Bains)

Par l'analyse des données historiques du GCRMN, complétées par les données MSA, la MER de Saint-Leu (LC11) révèle la plus grande hétérogénéité spatiale. C'est pour cette raison que le GT a souhaité y positionner 3 stations complémentaires DCE comparativement à LC12 (MER Saint-Gilles) qui elle n'en accueillerait que 2 pour une superficie plus importante.



Carte 46 : Carte des stations du réseau DCE " Benthos de substrats durs " dans les masses d'eau récifales de La Réunion. Les points jaunes sont les stations historiques, les cercles rouges sont les secteurs où il faut appliquer le réseau de surveillance "Pente externe"



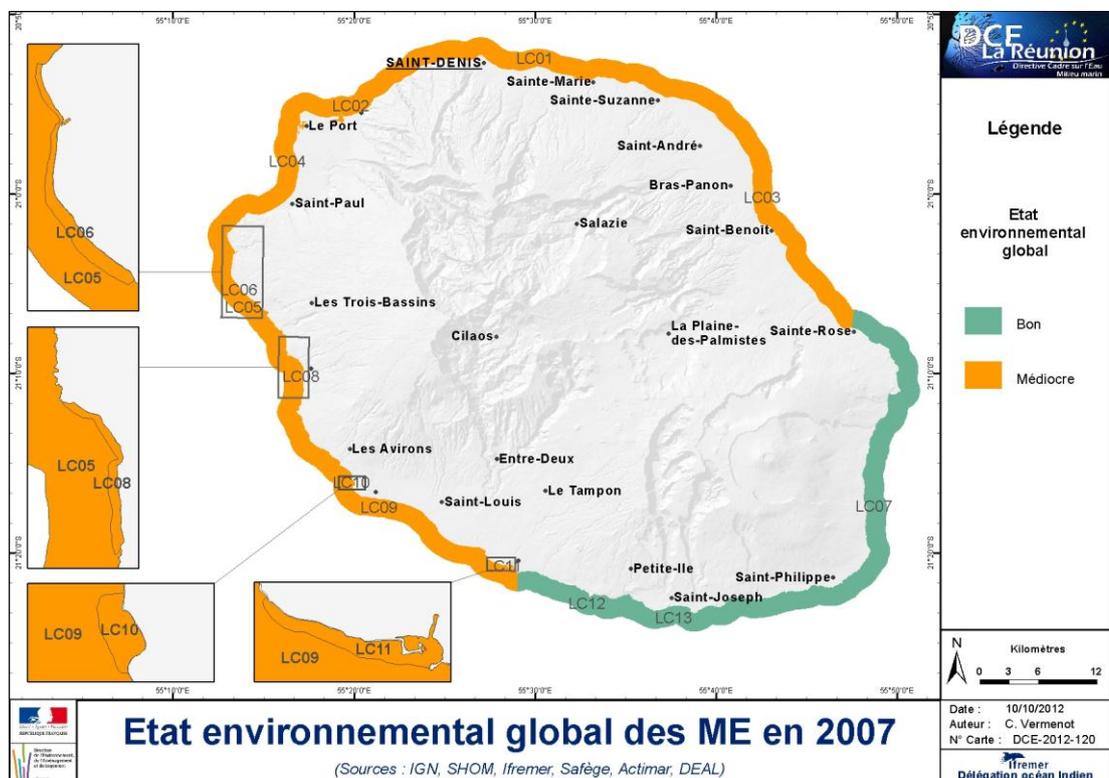
## 8 Proposition de réactualisation de l'état des lieux des ME littorales pour le SDAGE 2016 - 2021

En France, les suivis, données, synthèses découlant des réseaux de suivi de la DCE sont utilisés par les Comités de Bassin en charge de la coordination des "SDAGE", Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux. Les SDAGE sont les documents définissant la politique de l'eau à l'échelle des grands bassins hydrographiques français ("districts hydrographiques"), bassins qui correspondent aux aires de compétence des Agences de l'Eau en métropole et à celles des Offices de l'Eau dans les DOM.

L'état des lieux du district hydrographique est l'étape préalable à la révision du SDAGE. Il comprend, entre autres, la caractérisation du district hydrographique et pour ce qui nous concerne, l'évaluation des masses d'eau côtières et récifales.

Le SDAGE 2010 – 2015 a été adopté en 2009 en se basant sur un état des lieux réalisé en 2005 et réactualisé en 2007. Il vise une politique de reconquête et de protection des cours d'eaux, des plans d'eau, des eaux souterraines et côtières avec comme objectif 73% de toutes les eaux réunionnaises en bon état en 2015, assorti d'objectifs moins strictes pour 2 masses d'eau (LC01 et LC02 : adaptation pour la chimie et l'hydromorphologie du fait de l'impact fort de la route du littoral).

L'état environnemental global des ME, adopté en 2007, est présenté dans la carte ci-dessous (Carte 47).



Carte 47 : Etat environnemental global 2007 des ME Côtières et Récifales

La DCE fixe des obligations aux Etats membres sur le calendrier et sur les méthodes de travail à suivre. A ce titre, il est donc prévu dans les articles R212-6 et R217-7 du code de l'environnement que le Comité de bassin arrête, au moins trois ans avant l'entrée en vigueur du SDAGE, un calendrier et un programme de travail ainsi qu'une synthèse provisoire des questions importantes. La Figure 33 présente ceux du prochain SDAGE 2016-2021.

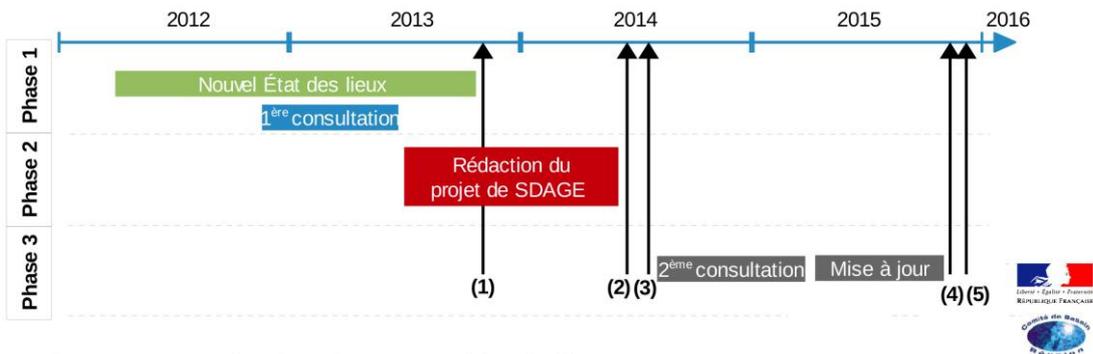


Figure 33 : Calendrier et programme de travail SDAGE 2016-2021

La phase 1, qui court de 2012 à octobre 2013, prévoit notamment le nouvel Etat des lieux ainsi que la première consultation. C'est dans ce contexte que s'inscrit la mise à jour de l'état des lieux des ME côtières et récifales, développée dans ce paragraphe par l'intermédiaire d'une fiche par ME, synthétisant les données acquises depuis 2004, l'état des connaissances sur le milieu physique ainsi que les résultats des réseaux de surveillance déjà existants.

## 8.1 Les quatre suivis du RCS support de l'évaluation de l'état des lieux

L'évaluation de l'état des lieux des masses d'eaux côtières à La Réunion, pour le prochain plan de gestion (2016-2021), s'appuiera sur les résultats acquis dans le cadre des quatre suivis du Réseaux de Contrôle de la Surveillance que ce travail a contribué à définir. Le Tableau 58 présente de manière synthétique les quatre RCS (paramètres, fréquences, périodes de mise en œuvre) qui sont actuellement envisagés et recommandés par les GT DCE de La Réunion.

Parmi eux, le Réseau de Contrôle de la Surveillance "Hydrologie et Phytoplancton" est le seul qui puisse être considéré comme pleinement opérationnel aujourd'hui. En effet, le RNOHydro, entre 2002 et 2007, puis le RHLR, depuis 2008, ont été mis en œuvre pour préfigurer le RCS de la DCE. Les données acquises, puis bancarisées durant cette période permettent de disposer aujourd'hui d'une base robuste sur laquelle peut s'adosser la révision en cours de l'état des lieux.

Les trois autres RCS (Contaminants chimiques, Benthos de substrats durs et Benthos de substrats meubles) ne bénéficient pas du même recul historique et seront mis en œuvre pour la première fois entre 2013 et 2015.

La proposition de révision de l'Etat des lieux qui est formulée dans le présent travail et présentée dans les pages suivantes s'appuie donc conjointement :

- sur des données historiques lorsqu'elles sont disponibles
- sur les données acquises ces dernières années dans le cadre de projets spécifiques
- sur l'expertise des membres des GT DCE lorsque cela se révélait nécessaire.

**Tableau 58 : récapitulatif synthétiques des 4 réseaux de contrôle de la Surveillance eaux littorales mis en œuvre à La Réunion pour le prochain plan de gestion 2016-2020**

RCS DCE (Paramètres / Matrice)			Paramètres associés		Fréquence ...		période de suivi	
					... par année	... par plan de gestion		
HYDROLOGIE ET PHYTOPLANCTON	Paramètres généraux	Oxygène dissous <sup>1</sup>	Temp., Salinité, Turb.		6 / an	6 ans / 6	2 en saison fraîche/sèche (juil-Août) 2 en début de saison chaude/humide (nov-déc) 2 en saison chaude/humide (fév-mars)	
		Température						
		Salinité						
		Transparence (turbidité)						
	Nutriments	Ammonium	Temp., Salinité, Turb.		6 / an	6 ans / 6		
		Nitrate + Nitrite						
		Nitrite						
		Phosphate						
		Silicate						
	Phyto-plancton	Biomasse	Chlorophylle a <sup>2</sup>	Temp., Salinité, Turb.		6 / an		6 ans / 6
Abondance / composition		Analyse pigmentaire <sup>3</sup>						
CONTAMINANTS CHIMIQUES	Eau	DGT / POCIS	Temp., Salinité, Turb.		2 / an	2 ans / 6		
		SBSE			6 / an	2 ans / 6		
	Biote	Caging Modiole	Taille Moy. ± Ec.Type % M.S., % Lipides, IG		1 / an	2 ans / 6		
BENTHOS "SUBSTRATS MEUBLES"		Dénombrement	Granulométrie Matière Organique Biomasse		1 / an	2 ans / 6	Entre Mars et Avril	
BENTHOS "SUBSTRATS DURS"	Méthode LIT	Corail "dur"	Couverture	Pente Ext.	Platier récif.	Pente externe 1 / an  Platier récifale 3 / an	Pente externe 2 ans / 6  Platier récifale 6 ans / 6	Pente externe et platier récifal entre février et mars
			Part relative genres et formes	Pente Ext.	Platier récif.			
			Nécroses / maladies	Pente Ext.	Platier récif.			
			Blanchissement	Pente Ext.	Platier récif.			
		Alcyonnaire	Couverture	Pente Ext.	Platier récif.			
			Couverture algue calcaire	Pente Ext.				
			Couverture algue		Platier récif.			
			Couverture algue dressée "totale"	Pente Ext.	Platier récif.			
			Couv. algue dressée (genre)	Pente Ext.				
			Présence/Absence Algues selon les listes réduites d'espèces		Platier récif.			
	Algues	Couverture algale des différents groupes taxonomiques par photoquadrat *		Platier récif.				
		Corail "mort"	Couverture	Pente Ext.	Platier récif.			
	Méthode BELT Transect	Invertébrés benthiques vagiles ou macro-invertébrés	Abondance de taxons cibles	Pente Ext.	Platier récif.			
			Présence/Absence Algues selon les listes réduites d'espèces établies		Platier récif.			
			Indice d'abondance relatif		Platier récif.			
Méthode Quadrat	Recrutement corallien	Nombre par classe de taille par grande catégorie : POC, ACR, AUTRES	Pente Ext.					

<sup>1</sup> dans les Masses d'Eau Récifales - MER et les Masses d'Eau Côtières - MEC (< 30 m)

<sup>2</sup> dans les MEC uniquement

<sup>3</sup> uniquement sur 2 lieux de surveillance "Saint-Paul" (126-P-020) et "Large Ermitage" (126-P-016)

<sup>4</sup> uniquement sur 4 lieux de surveillance (Évaluation des ME et lieux de surveillance)

Les résultats détaillés dans les pages suivantes et le bilan qui en découle en termes de proposition de nouvel état des lieux, sont basés sur les critères DCE 2000/60/CE et réalisés à partir des résultats intégrant toutes les sources de données validées acquises dans le cadre des réseaux en cours (RHLR) ou des études mise en œuvre pour préfigurer ces réseaux. Ce « nouvel état des lieux » sera proposé pour validation au Comité de Bassin dans la perspective de son adoption comme référentiel pour le plan de gestion 2016-2020.

## 8.2 Caractéristiques physiques

Les données présentées sont issues principalement de trois projets conduits ces dernières années et déjà présentés dans le paragraphe 2.3 :

- **Projet Cartomar (Guennoc *et al.*, 2008)** : cartographie du substrat des zones comprises entre 20 et 100 m de fond autour de La Réunion : identification de la nature des fonds (grands types sédimentaires) sur une grande partie du pourtour de l'île.
- **Projet HYDRORUN (Projet Ifremer/CR Réunion/OLE/DEAL/FEDER, 2012)** : Développement d'une plateforme de modélisation hydrodynamique couvrant l'ensemble du littoral réunionnais. Ce projet a débuté par la réalisation d'une synthèse bathymétrique fine des fonds autour de l'île de La Réunion. Il a ensuite permis de développer des modèles de houles et vagues ainsi que de courants couvrant l'intégralité du pourtour de l'île. Des synthèses annuelles et saisonnières des houles, courants, et des températures des masses d'eau (surface/fond) ont été générées et sont présentées dans ce chapitre.
- **Projet Spectrhabet (Projet DEAL/Ifremer/Aamp, 2012)** : à l'occasion des campagnes Litto3D (DEAL/SHOM/IGN) des acquisitions d'images hyperspectrales sont venues compléter les mesures LIDAR initialement prévues. Litto3D a permis d'obtenir des données fines de bathymétrie dans la zone 0-35 mètres sur le pourtour de l'île, et Spectrhabet a produit, entre autre, des images géoréférencées de l'ensemble des structures bio-construites caractérisant les plateformes récifales et leurs pentes externes.

## 8.3 Données prises en compte pour l'évaluation des états

Tableau 59 : Légende "Qualité" des masses d'eau

Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais	Données insuffisantes	Non pertinent	Non Défini
						NP	ND

### 8.3.1 Etat Chimique

Le suivi des **contaminants chimiques** pour le plan de gestion 2010-2015 est programmé entre 2014 et 2015 conformément aux prescriptions du §5.

En 2012 un plan d'action national pour lutter contre la pollution des milieux aquatiques a été initié par l'ONEMA pour permettre la mise à jour des listes de substances faisant l'objet d'une surveillance. La réalisation d'une "étude prospective micropolluants" dans les eaux a été initiée. Cette opération de Recherche et Développement d'emprise nationale (Métropole + DOM) a pour ambition de permettre l'identification de substances à enjeu en matière de connaissances toxicologiques et écotoxicologiques. Cette démarche d'étude doit également permettre de contribuer aux réflexions sur les futurs programmes de surveillance. Dans le

cadre de cette "Etude Prospective Micropolluants 2012", la réalisation d'une campagne d'analyse par échantillonneurs passifs de type POCIS pour les substances hydrophiles et SBSE pour les substances hydrophobes est mise en œuvre, à La Réunion, sur 4 stations situées en eau littorale. Cette tâche a été confiée localement à l'ARVAM (soutenu par l'ONEMA).

### 8.3.2 Etat Ecologique

#### Etat Biologique

- **Phytoplancton**

L'évaluation de l'état de la masse d'eau est réalisée sur les données bancarisées à la date du 30/06/2012 complétées par les données acquises en 2010 et 2011 mais non encore bancarisées.

Elle se fait via l'**indice biomasse / paramètre chlorophylle  $a$** . Les indices abondance et composition ayant été déclarés non pertinents par le GT "Hydrologie et Phytoplancton" de La Réunion (§4.2.6).

- **Benthos de substrats meubles**

Le suivi pour le plan de gestion 2010-2015 est programmé en 2013 conformément aux prescriptions du §6.

Une évaluation de l'état de la masse d'eau a été réalisée à partir des données de CARTOMAR et HYDRORUN.

- **Benthos de substrats durs**

Le suivi pour le plan de gestion 2010-2015 est programmé entre 2014 et 2015 conformément aux prescriptions du §7.

Une évaluation de l'état de la masse d'eau a été réalisée à partir des données de suivi des pentes externes acquises entre 2006 et 2011 dans le cadre du suivi GCRMN du GIP RNMR. Le résultat le plus déclassant est pris en compte pour l'évaluation de l'état.

#### Etat hydromorphologique

Le BRGM a programmé l'évaluation de l'état hydromorphologique à La Réunion pour 2013.

#### Etat physico-chimiques

L'évaluation de l'état de la masse d'eau est réalisée à partir des données bancarisées à la date du 30/06/2012.

L'évaluation de la **température** dans les MERs est impossible compte-tenu de l'absence de données suffisantes pour définir l'enveloppe de référence. Elle est donc notée "non défini (ND)"

Le paramètre **salinité** a été déclaré "non pertinent (NP)" par les experts nationaux (§4.2.3).

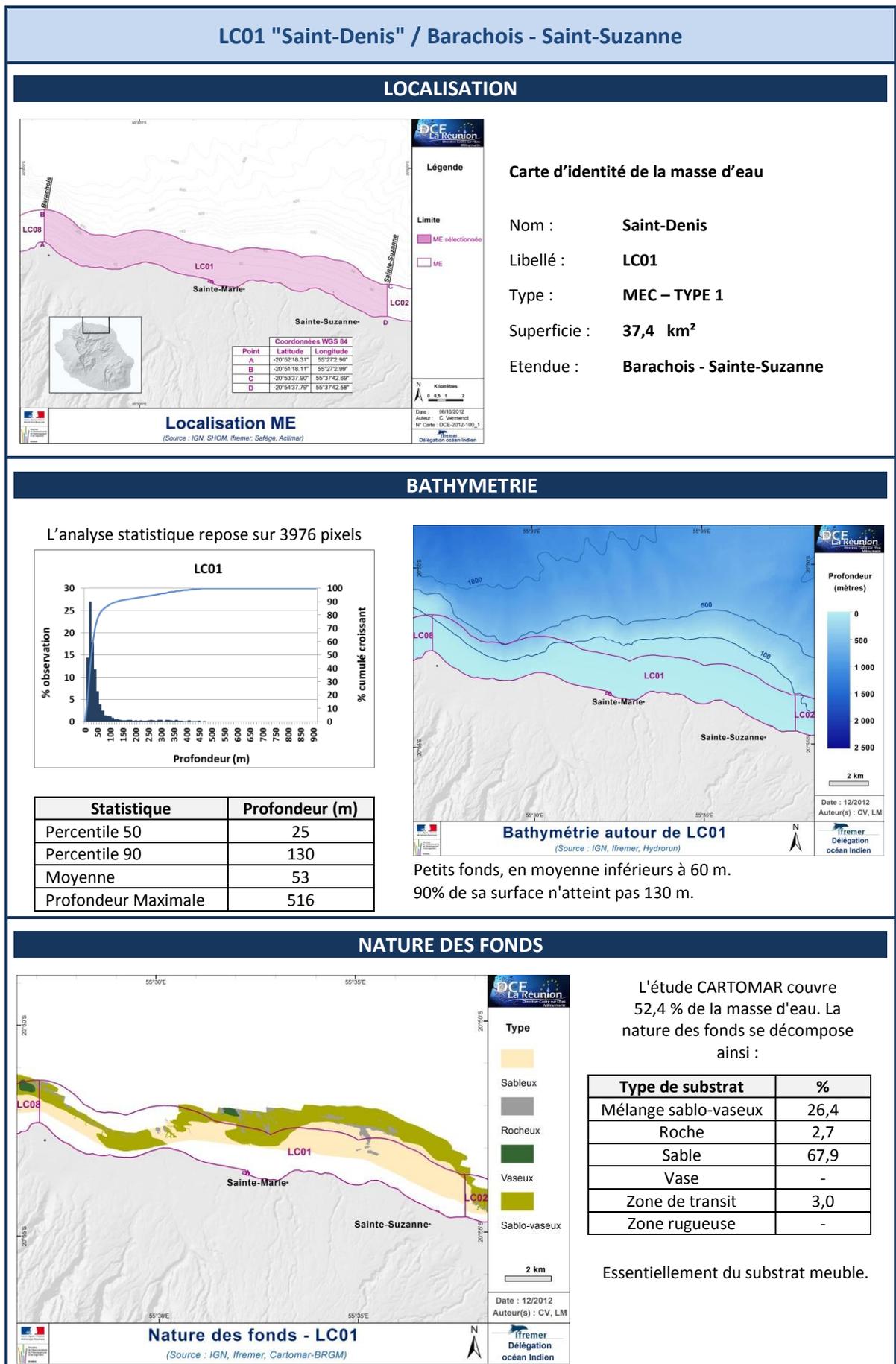
Le paramètre **oxygène dissous** a été déclaré "non pertinent (NP)" dans les MER et les MEC avec des fonds supérieurs à 30m, par le GT DCE "Hydrologie et Phytoplancton" de La Réunion (§4.2.1).

Le suivi des **substances spécifiques** est programmé entre 2014 et 2015 dans le cadre du suivi des contaminants chimiques (§8.3.1).

## 8.4 Synthèse par masse d'eau

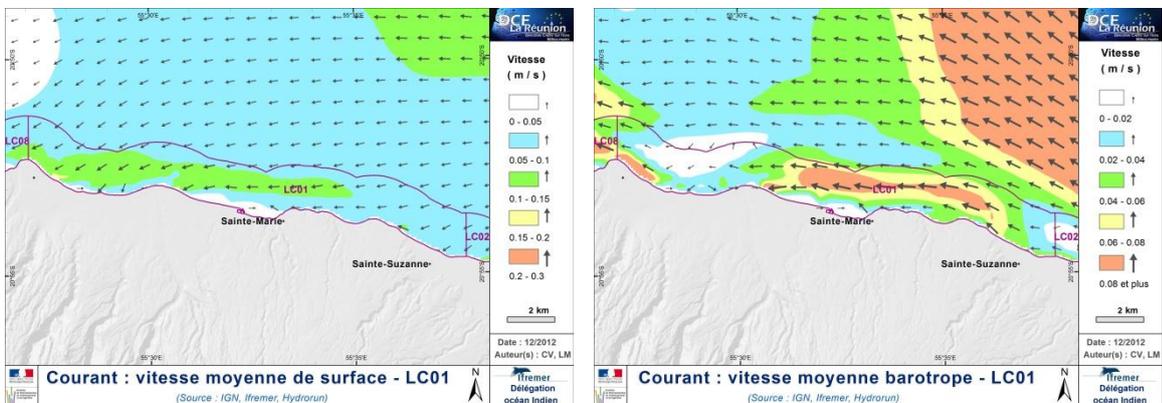
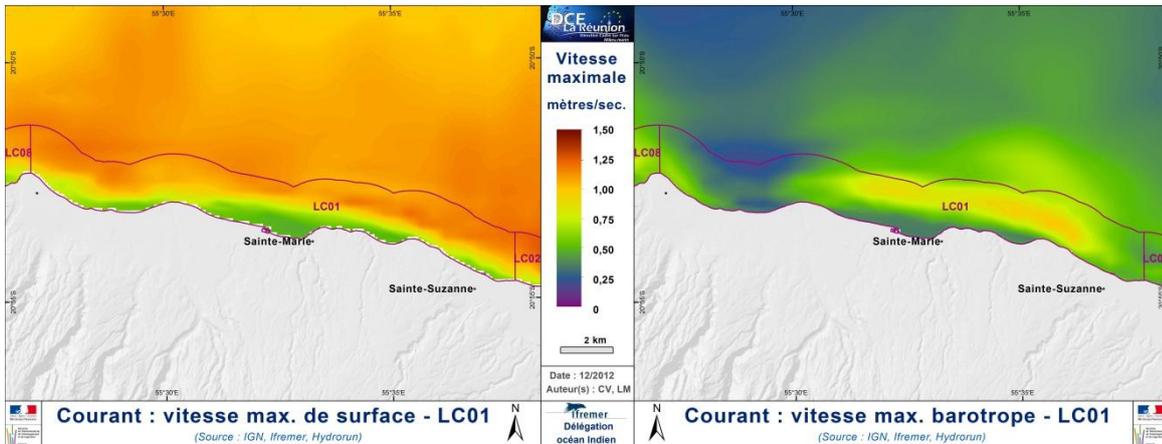
Pour chaque masse d'eau DCE, les pages suivantes présentent, sous forme de fiches individualisées, le résultat de l'évaluation s'appuyant sur les connaissances acquises et les données actuellement validées et/ou bancarisées sous Q<sup>2</sup>. Cette évaluation de l'état des masses d'eau est précédée d'un descriptif détaillé de leurs caractéristiques physiques (bathymétrie, nature des fonds, courantologie, exposition aux houles, température). Ce descriptif est étendu, pour les masses d'eau récifales

## 8.4.1 LC01 "Saint-Denis" / Barachois - Sainte-Suzanne



## LC01 "Saint-Denis" / Barachois - Saint-Suzanne

### COURANTOLOGIE



Le courant de surface moyen annuel est dirigé vers l'Ouest à Sud-Ouest, pas toujours parallèle à la côte.

Sa vitesse maximum varie de **0,15 m/s** à **1,23 m/s**.

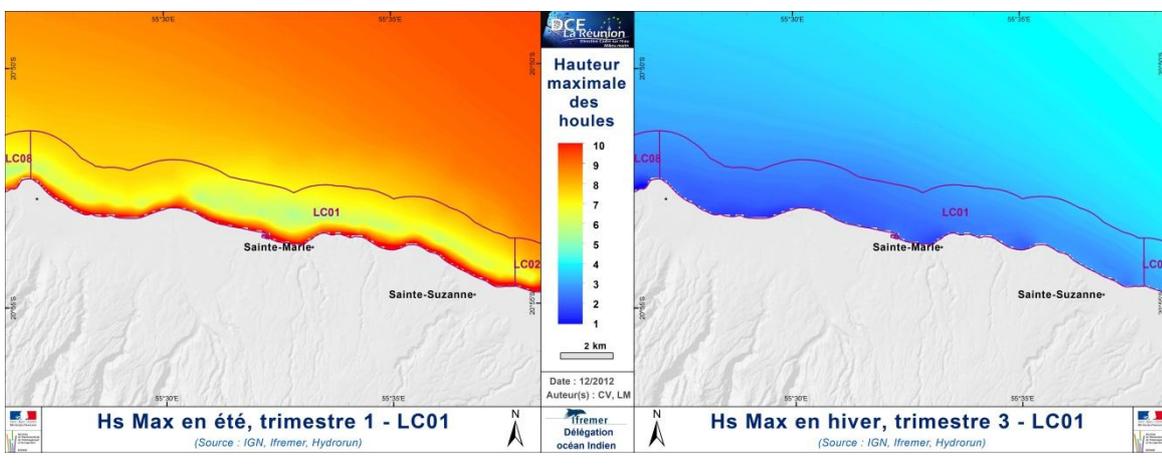
Le temps de résidence est relativement court.

Le courant barotrope moyen est parallèle à la côte d'Est en Ouest.

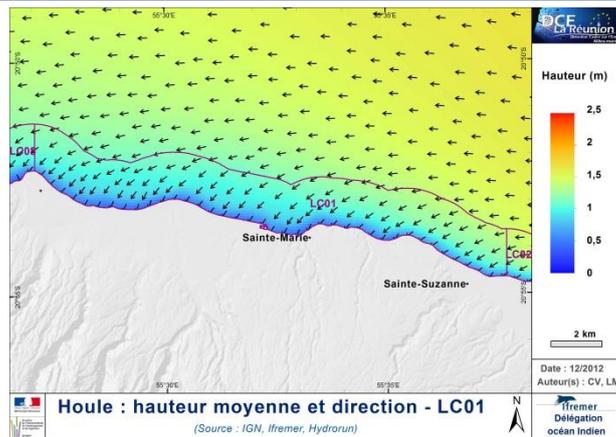
Les vitesses maximum du courant barotrope varient quant à elles de **0,05 m/s** à **1,03 m/s**.

### HOULE – ETATS DE MER

#### Hauteur des houles



### LC01 "Saint-Denis" / Barachois - Saint-Suzanne



Ce secteur est abrité des houles australes (hiver) et peut au contraire être exposé significativement aux houles cycloniques.

L'analyse statistique repose sur 105 pixels :

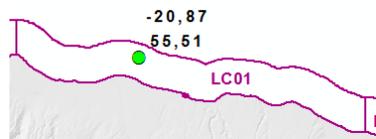
Statistique	Hauteur vague (m) de la houle		
	Moyenne	Australe	Cyclonique
Percentile 50	1,0	2,4	7,0
Percentile 90	1,3	3,0	11,1
Moyenne	1,0	2,4	7,5
Hauteur maximale	1,4	3,4	12,0

Hauteur moyenne des vagues relativement faible : 1 m,  
Maximum : 12 m en période de houles cycloniques,

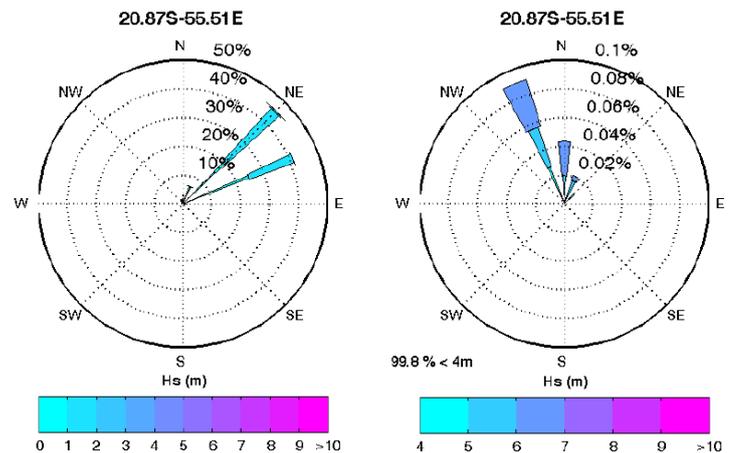
Orientation moyenne homogène : Sud à Sud-Ouest

#### Rose des houles

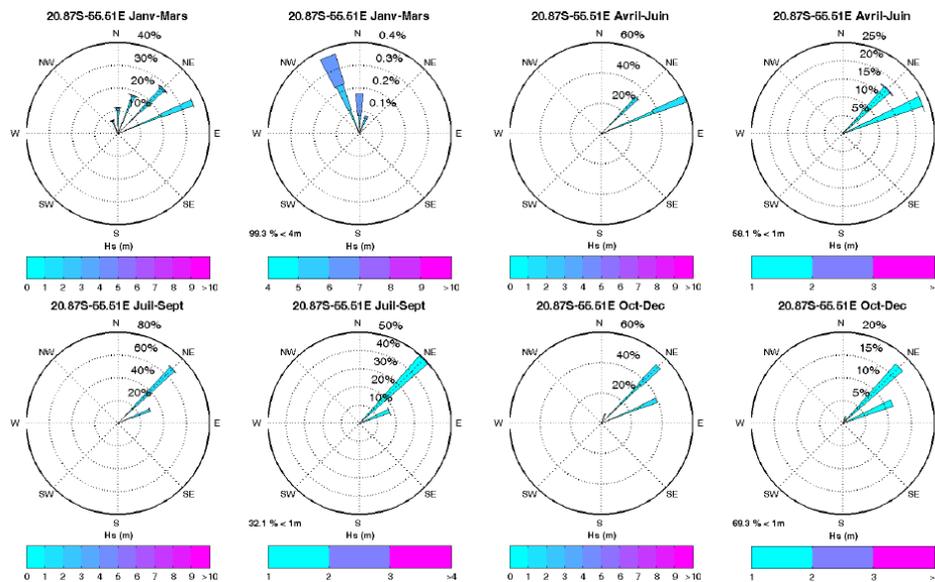
Rose de houle annuelle (gauche) et rose annuelle max, houles supérieures à 4m (droite)



Site où des synthèses ont été calculées



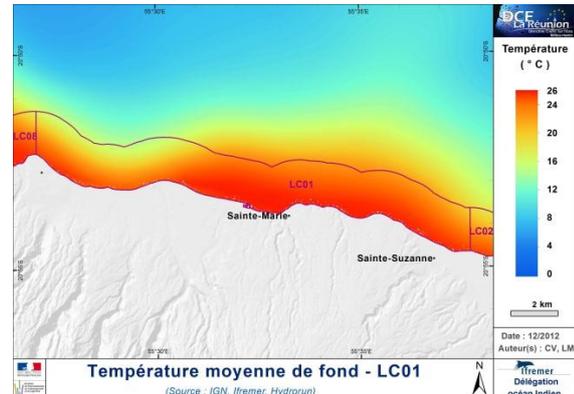
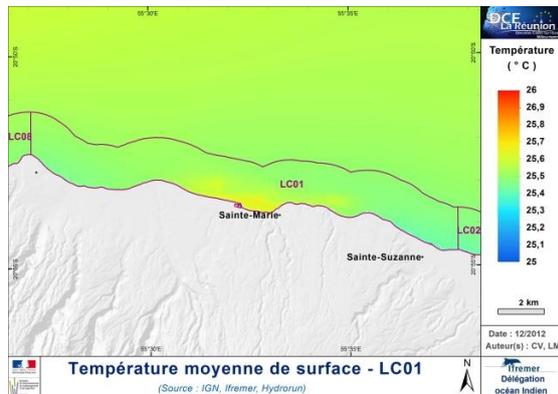
#### Roses de houles trimestrielles et trimestrielles maximum au large de l'Aéroport Roaland-Garros



Plus de 70 % du temps la houle est orientée Nord-Est. En période cyclonique (janvier-mars), les plus fortes houles sont orientées Nord à Nord-Ouest.

## LC01 "Saint-Denis" / Barachois - Saint-Suzanne

## TEMPERATURE



La température moyenne annuelle de surface est comprise entre **25,4°C** et **25,7°C**.

A l'échelle saisonnière, elle s'échelonne, en moyenne, entre **28,7°C** (février) et **22,0°C** (août).

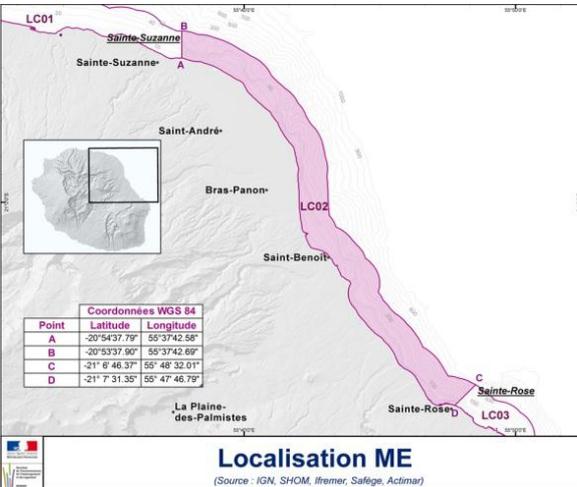
Les températures de fond s'échelonnent, selon la bathymétrie, entre **13,4°C** et **25,7°C**.

		Etat Environnemental Provisoire - LC01					
Etat	Chimique	Ecologique					
		Biologique	Hydromorphologique		Physico-Chimique		
Eléments	Contaminants chimiques	Phytoplancton			Température		
		Benthos de substrat meuble			Oxygène dissous		
		Benthos de substrat dur	ND			Nutriments	ND
						Salinité	NP
						Transparence	
						Polluants spécifiques	

### 8.4.2 LC02 "Saint-Benoît" / Sainte-Suzanne - Sainte-Rose

## LC02 "Saint-Benoît" / Saint-Suzanne - Sainte-Rose

### LOCALISATION



Point	Latitude	Longitude
A	-20°54'37.79"	55°37'42.58"
B	-20°53'37.80"	55°37'42.697"
C	-21° 6' 48.37"	55° 48' 32.01"
D	-21° 7' 31.35"	55° 47' 46.79"

**Carte d'identité de la masse d'eau**

Nom : **Saint-Benoît**

Libellé : **LC02**

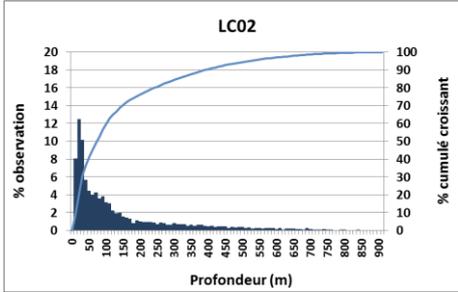
Type : **MEC – TYPE 2**

Superficie : **61,1 km<sup>2</sup>**

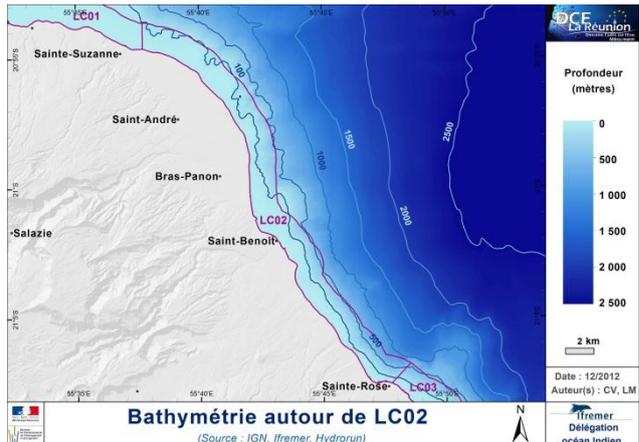
Etendue : **Sainte-Suzanne - Sainte-Rose**

### BATHYMETRIE

L'analyse statistique repose sur 6488 pixels



Statistique	Profondeur (m)
Percentile 50	80
Percentile 90	390
Moyenne	139
Profondeur Maximale	908

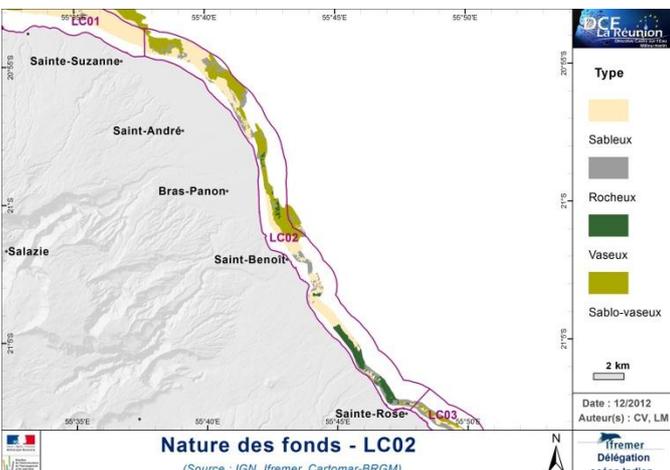


**Bathymétrie autour de LC02**

(Source : IGN, Ifremer, Hydronun)

Fond moyen (aux alentours de 100 m), maximum à 900 m  
90 % des fonds sont comprise entre 0 et 400 m

### NATURE DES FONDS



**Nature des fonds - LC02**

(Source : IGN, Ifremer, Cartomar-BRGM)

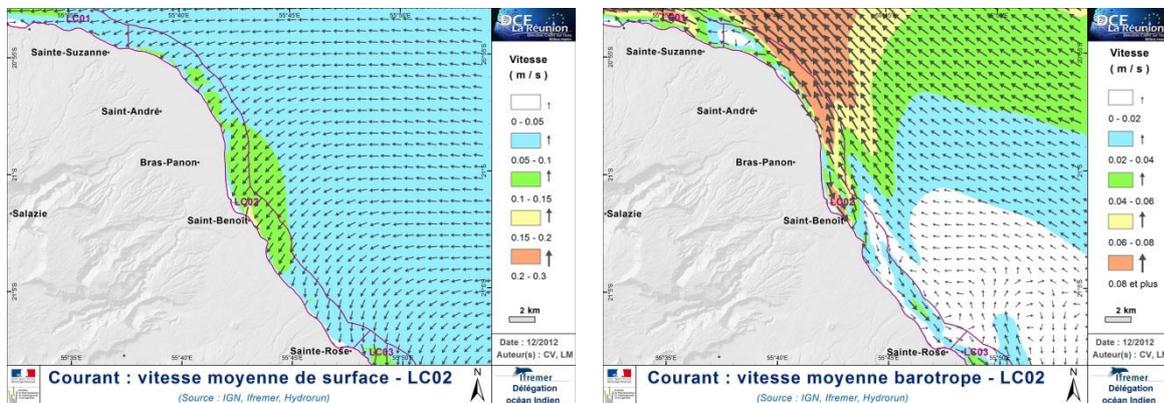
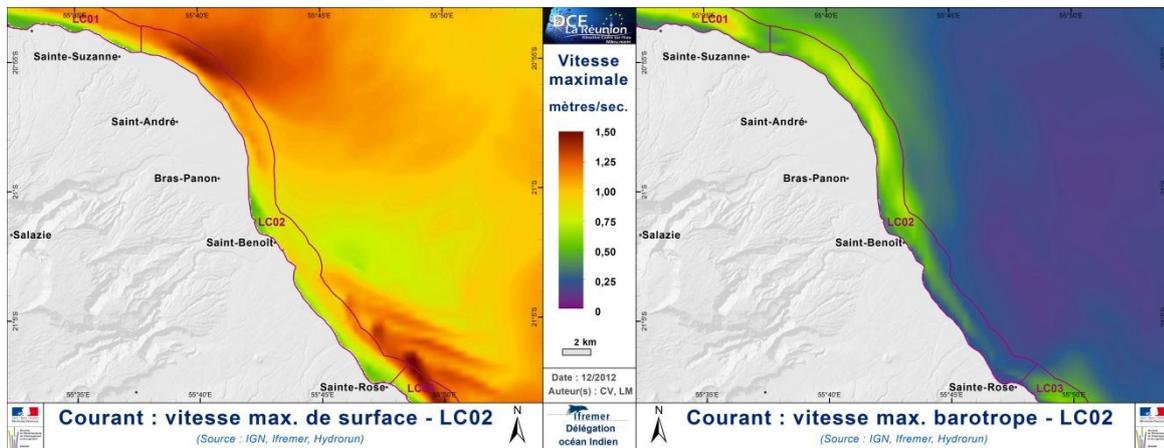
L'étude CARTOMAR couvre 43,6 % de la masse d'eau. La nature des fonds se décompose ainsi :

Type de substrat	%
Mélange sablo-vaseux	25.9
Roche	16.4
Sable	40.3
Vase	11.4
Zone de transit	6.0
Zone rugueuse	-

Les fonds sont hétérogènes.

## LC02 "Saint-Benoît" / Saint-Suzanne - Sainte-Rose

## COURANTOLOGIE



Le courant de surface moyen annuel est unidirectionnel, orienté vers la côte.

Sa vitesse maximum varie de **0,52 m/s** à **1,47 m/s**.

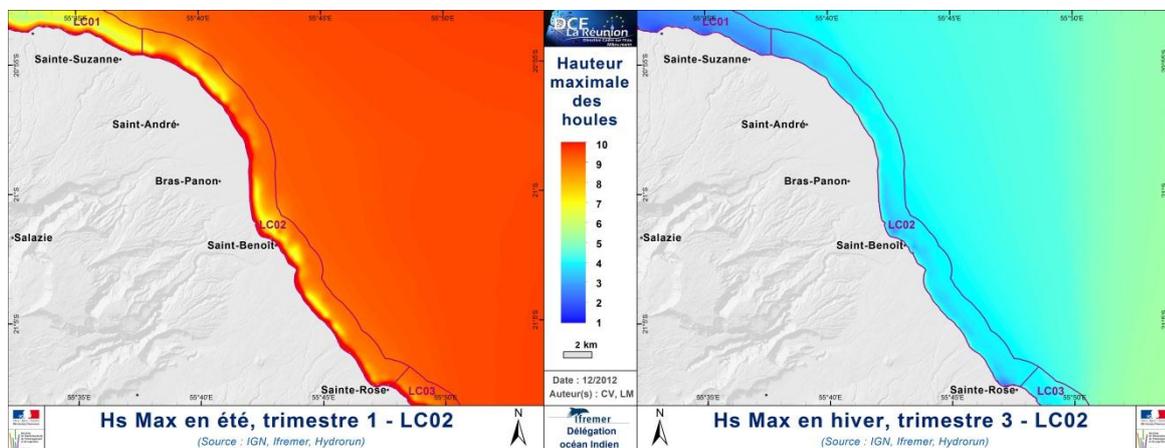
Le temps de résidence est court.

Le courant barotrope est globalement parallèle à la côte orienté vers le nord, au-dessus de Saint-Benoît en sens opposé (vers le sud) au-dessous de Saint-Benoît.

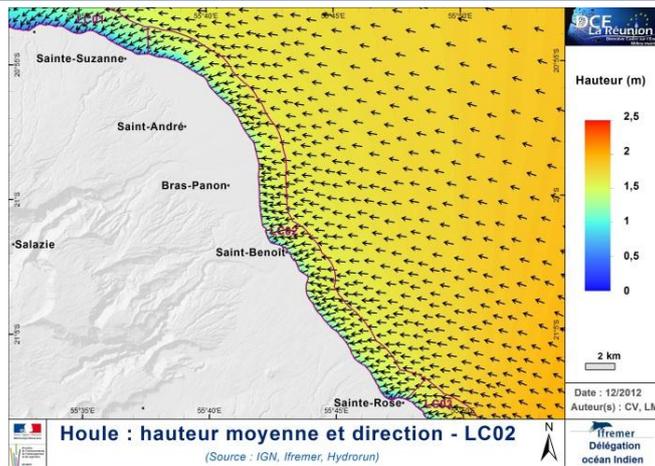
Les vitesses maximum varient quant à elles de **0,18 m/s** à **0,84 m/s**.

## HOULE – ETATS DE MER

## Hauteur des houles



### LC02 "Saint-Benoît" / Saint-Suzanne - Sainte-Rose



Ce secteur est très exposé aux houles cycloniques et abrité des houles australes.

L'analyse statistique repose sur 181 pixels :

Statistique	Hauteur vague (m) de la houle		
	Moyenne	Australe	Cyclonique
Percentile 50	1.5	3.8	8.7
Percentile 90	1.6	4.4	12.4
Moyenne	1.4	3.8	8.9
Hauteur maximale	1.6	5.0	13.3

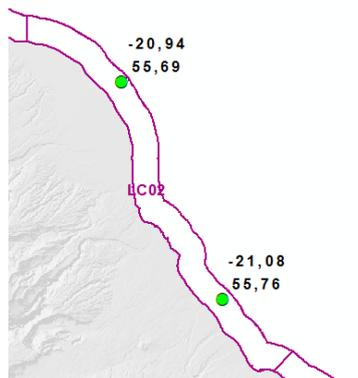
Orientation moyenne homogène : Ouest à Sud-Ouest

Hauteur moyenne des vagues : 1,4 m,  
Maximum : 13 m en période de houles cycloniques,

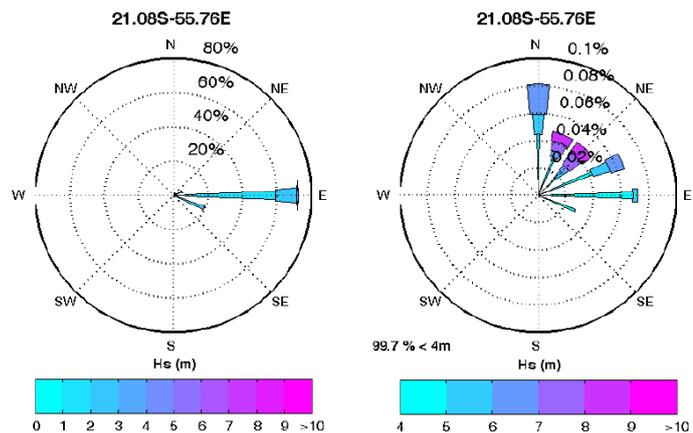
#### Rose des houles

(les synthèses sont calculées sur deux sites et présentent des profils identiques, un seul est donc présenté)

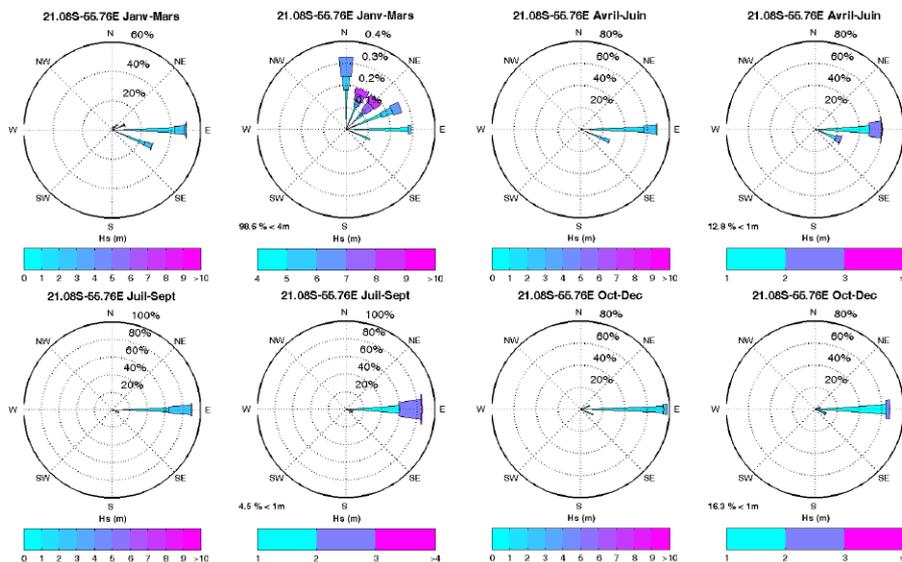
Rose de houle annuelle (gauche) et rose annuelle max, houles supérieures à 4m (droite)



Sites où des synthèses ont été calculées



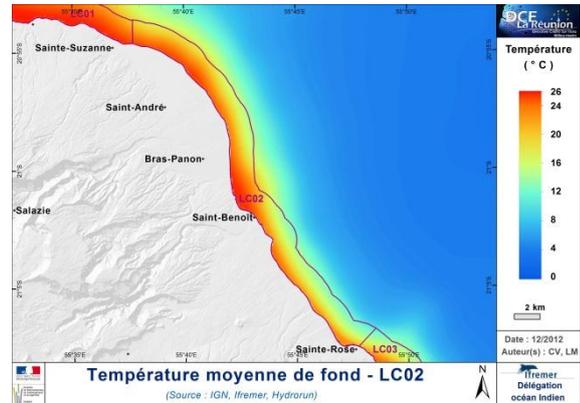
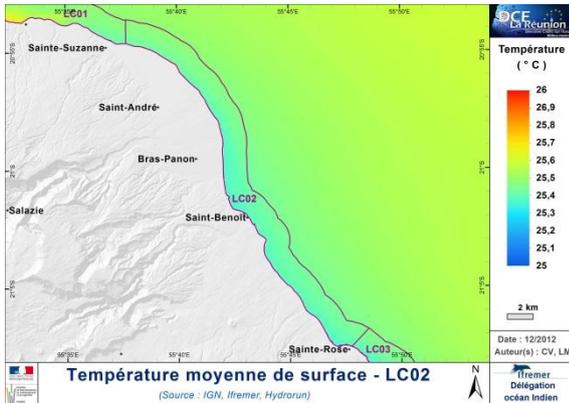
#### Roses de houles trimestrielles et trimestrielles maximum au large de Sainte-Anne



80% du temps la houle provient de l'Est. La période cyclonique (janvier-mars) se distingue du reste de l'année par de plus fortes houles (> 4m) de Nord à Nord-Est.

LC02 "Saint-Benoît" / Saint-Suzanne - Sainte-Rose

TEMPERATURE



La température moyenne annuelle de surface est comprise entre 25,5°C et 25,4°C.

A l'échelle saisonnière, elle s'échelonne, en moyenne, entre 28,1°C (février) et 22,3°C (août).

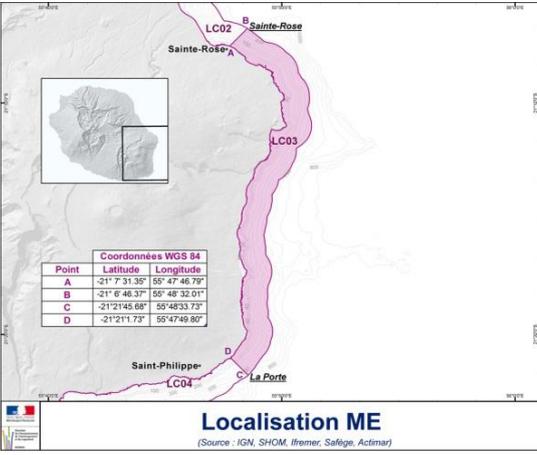
Les températures de fond s'échelonnent, selon la bathymétrie, entre 8,5°C et 25,4°C.

Etat		Etat Environnemental Provisoire - LC02			
		Chimique		Ecologique	
Eléments	Contaminants chimiques		Biologique	Hydromorphologique	Physico-Chimique
			Phytoplancton		Température
			Benthos de substrat meuble		Oxygène dissous
			Benthos de substrat dur	ND	Nutriments
					Salinité
					Transparence
				Polluants spécifiques	

### 8.4.3 LC03 "Volcan" / Sainte-Rose - La Porte

LC03 "Volcan" / Sainte-Rose - La Porte

LOCALISATION



Point	Latitude	Longitude
A	-21° 7' 31.39"	55° 47' 46.79"
B	-21° 9' 46.37"	55° 48' 32.01"
C	-21° 21' 45.68"	55° 48' 33.73"
D	-21° 21' 17.3"	55° 47' 49.80"

**Localisation ME**  
(Source : IGN, SHOM, Ifremer, Safage, Actimar)

**Carte d'identité de la masse d'eau**

Nom : Volcan

Libellé : LC03

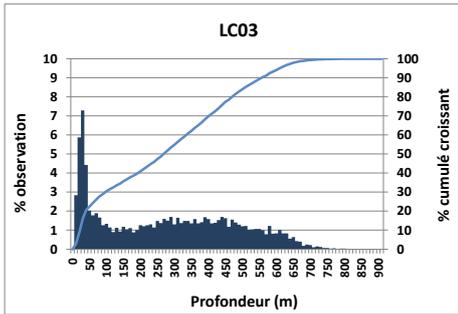
Type : MEC – TYPE 2

Superficie : 57,7 km<sup>2</sup>

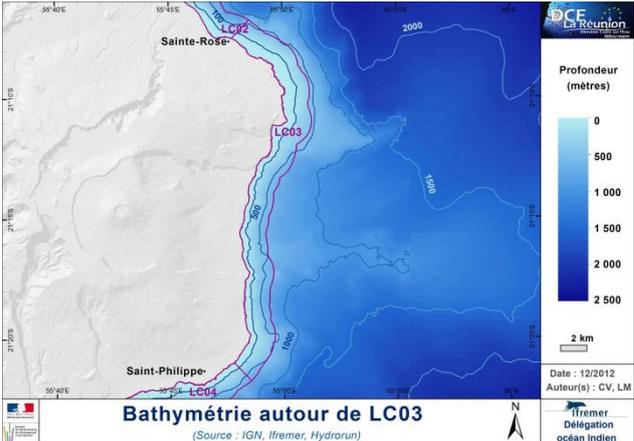
Etendue : Sainte-Rose - La Porte

BATHYMETRIE

L'analyse statistique repose sur 6132 pixels



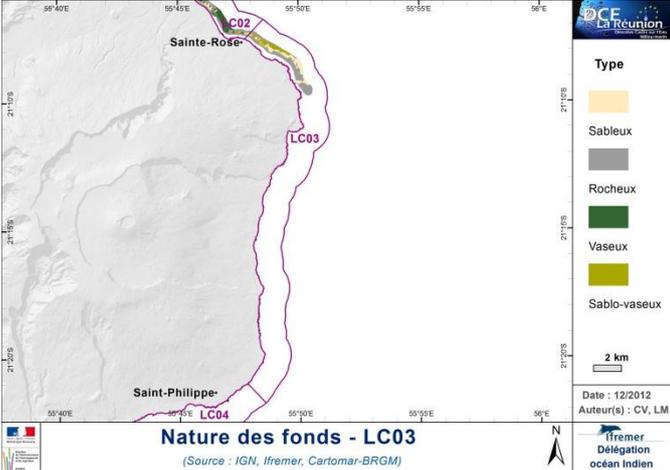
Statistique	Profondeur (m)
Percentile 50	270
Percentile 90	590
Moyenne	265
Profondeur Maximale	793



**Bathymétrie autour de LC03**  
(Source : IGN, Ifremer, Hydrarun)

Grands fonds (> 260 m en moyenne), maximum à 800 m  
90 % des fonds sont comprise entre 0 et 600 m

NATURE DES FONDS



**Nature des fonds - LC03**  
(Source : IGN, Ifremer, Cartomar-BRGM)

L'étude CARTOMAR couvre 7,5 % de la masse d'eau. La nature des fonds se décompose ainsi :

Type de substrat	%
Mélange sablo-vaseux	-
Roche	95.9
Sable	4.1
Vase	-
Zone de transit	-
Zone rugueuse	-

A noter que cette masse d'eau est presque exclusivement constituée de substrat rocheux d'origine basaltique (coulées de lave).

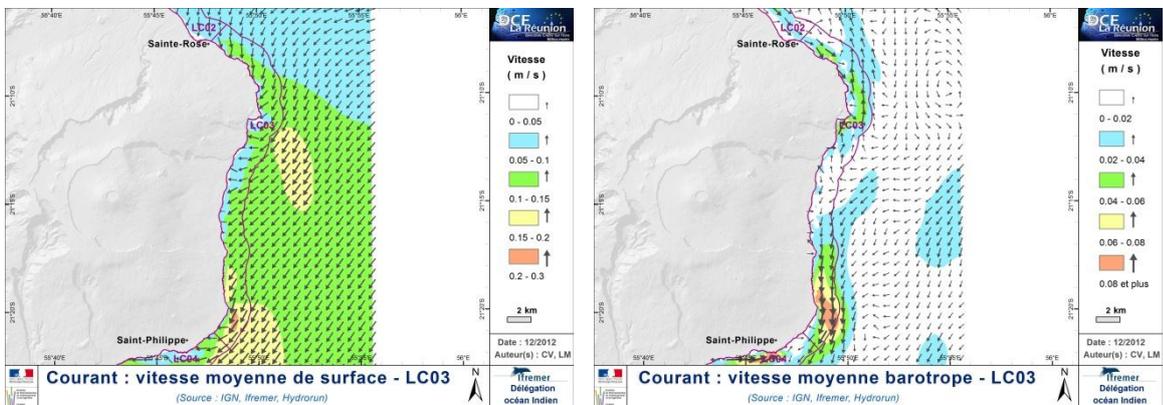
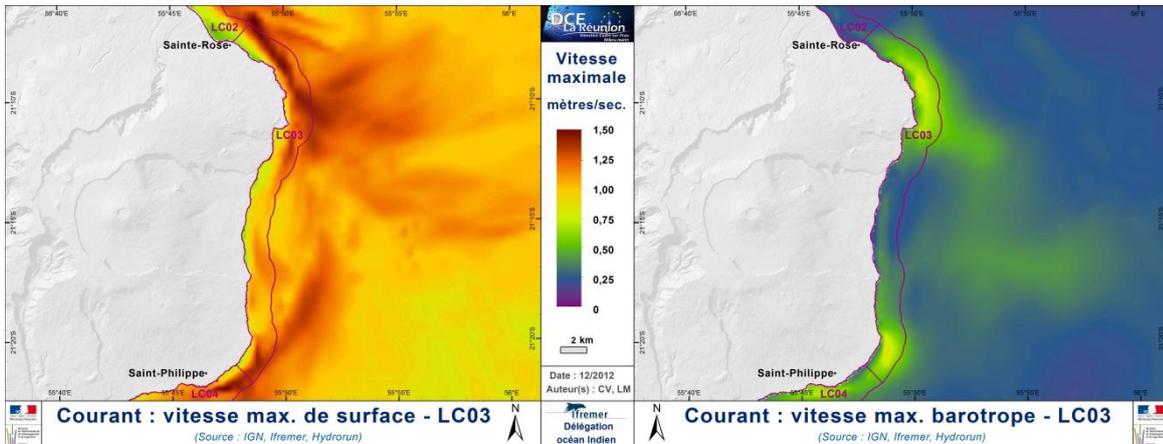
**Projet Bon Etat II :**  
Actualisation de l'état des lieux du SDAGE ;  
Volet "eaux côtières réunionnaises"

Décembre 2012



## LC03 "Volcan" / Sainte-Rose - La Porte

### COURANTOLOGIE

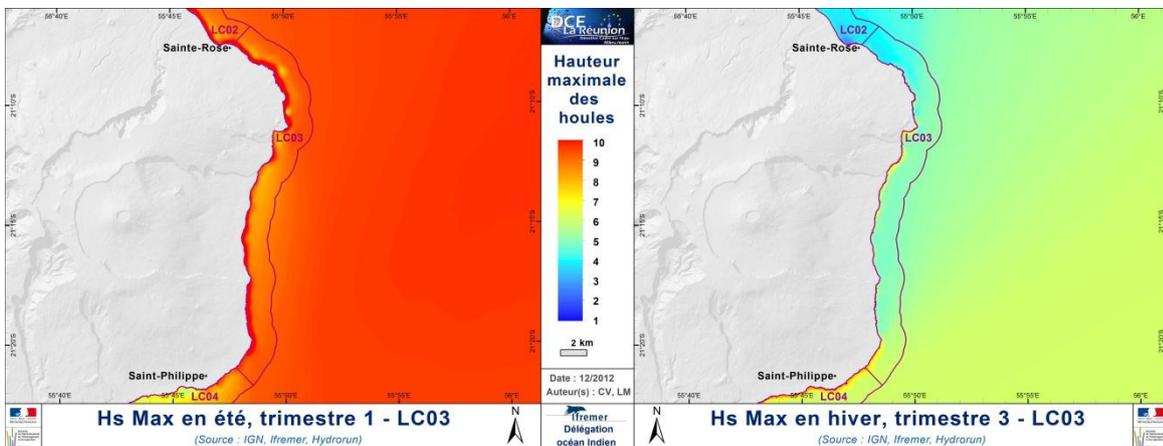


Le courant de surface moyen annuel est orienté vers le sud et le Sud-Ouest  
 Sa vitesse maximum varie de **0,7 m/s** à **1,47 m/s**.  
 Le temps de résidence est court.

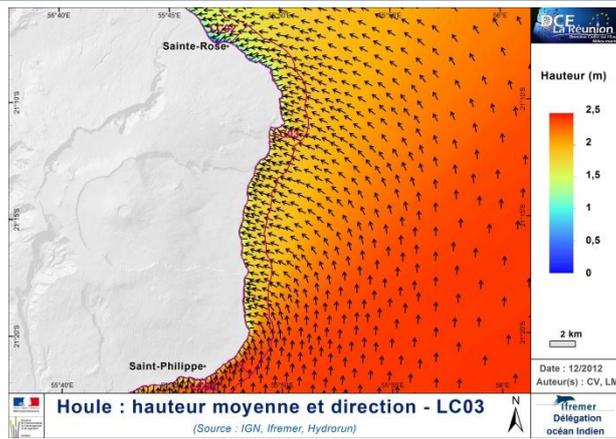
Le courant barotrope moyen est globalement faible et est hétérogène. Les extrémités Nord et Sud de la ME se caractérisent par des conditions plus actives témoignant d'une tendance au déplacement des masses d'eau.  
 Les vitesses maximum varient quant à elles de **0,2 m/s** à **0,9 m/s**.

### HOULE – ETATS DE MER

#### Hauteur des houles



### LC03 "Volcan" / Sainte-Rose - La Porte



Ce secteur apparaît abrité des houles cycloniques (90 % de ces houles sont inférieures à 5,5 m), mais reste exposé aux houles australes.

L'analyse statistique repose sur 172 pixels :

Statistique	Hauteur vague (m) de la houle		
	Moyenne	Australe	Cyclonique
Percentile 50	<b>1.8</b>	5.0	9.0
Percentile 90	<b>2.2</b>	6.0	11.5
Moyenne	<b>1.8</b>	5.1	9.3
Hauteur maximale	<b>2.4</b>	8.0	13.4

Hauteur moyenne des vagues : 1,8 m,  
Maximum : 13 m en période de houles cyclonique,

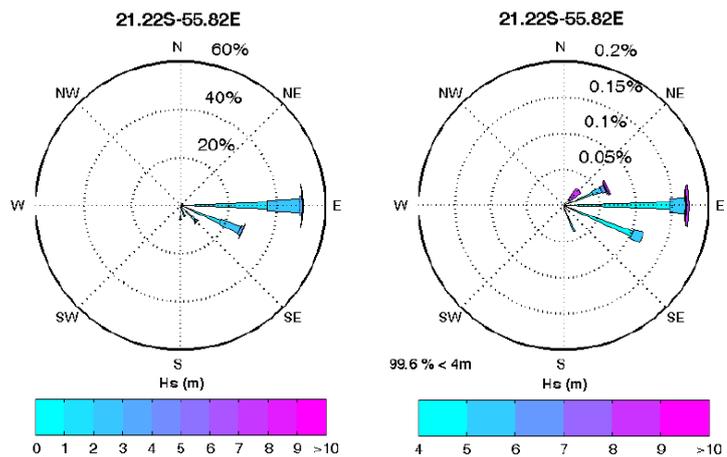
Cette masse d'eau est fortement exposée aux houles cycloniques et plus abritée des houles australes

### Rose des houles

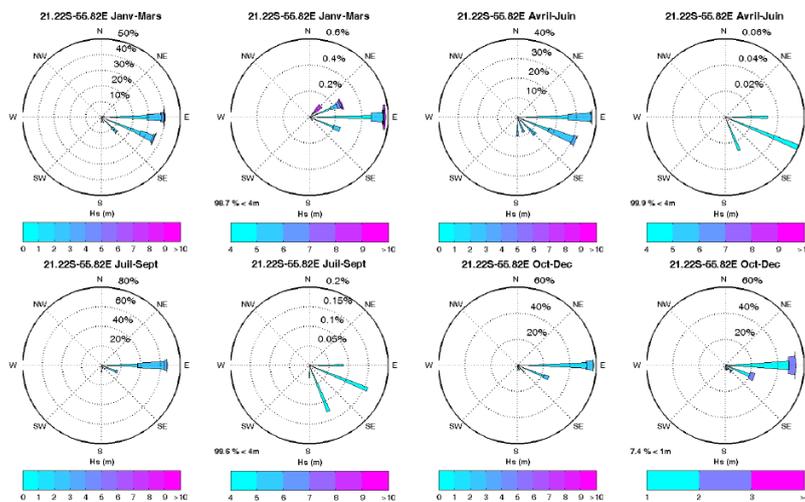
Rose de houle annuelle (gauche) et rose annuelle max, houles supérieures à 4m (droite)



Sites où des synthèses ont été calculées



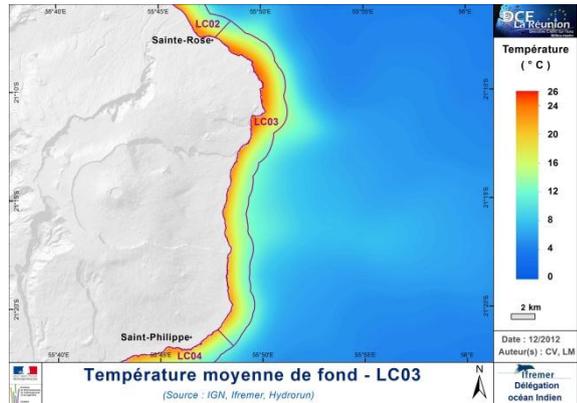
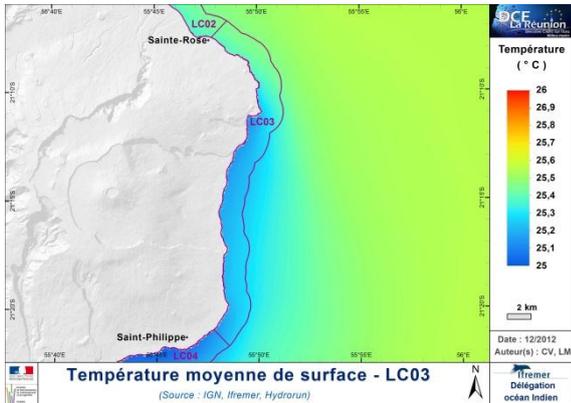
### Roses de houles trimestrielles et trimestrielles maximum au Sud de L'Anse des Cascades



Peu de variabilité saisonnière : les houles dominantes proviennent de l'Est. Les plus fortes houles arrivent en période cyclonique (> 4m).

### LC03 "Volcan" / Sainte-Rose - La Porte

#### TEMPERATURE



La température moyenne annuelle de surface est comprise entre **25,1°C** et **25,5°C**.

A l'échelle saisonnière, elle s'échelonne, en moyenne, entre **28,0°C** (février) et **22,4°C** (août).

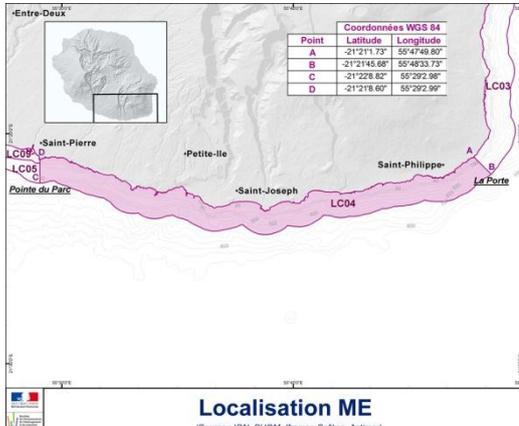
Les températures de fond s'échelonnent, selon la bathymétrie, entre **10,0°C** et **23,6°C**.

Etat		Etat Environnemental Provisoire - LC03			
		Biologique		Physico-Chimique	
Eléments	Chimique	Ecologique			
	Contaminants chimiques	Biologique	Hydromorphologique		
		Phytoplancton			
		Benthos de substrat meuble			
		Benthos de substrat dur	ND		
				Température	
				Oxygène dissous	ND
				Nutriments	ND
				Salinité	NP
				Transparence	
				Polluants spécifiques	

### 8.4.4 LC04 "Saint-Joseph" / La Porte - Pointe du Parc

## LC04 "Saint-Joseph" / La Porte - Pointe du Parc

### LOCALISATION



Point	Latitude	Longitude
A	-21°21'17.3"	55°47'49.80"
B	-21°21'45.66"	55°49'33.73"
C	-21°22'26.82"	55°52'22.95"
D	-21°21'8.60"	55°52'22.99"

**Localisation ME**  
(Source : IGN, SHOM, Ifremer, Saifge, Actimar)

**Carte d'identité de la masse d'eau**

Nom : **Saint-Joseph**

Libellé : **LC04**

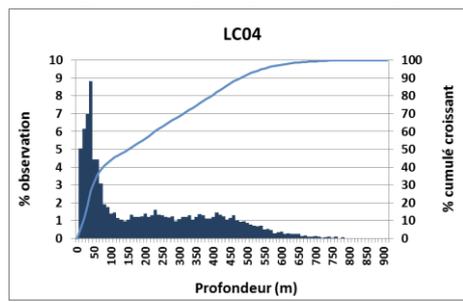
Type : **MEC – TYPE 3**

Superficie : **69,8 km<sup>2</sup>**

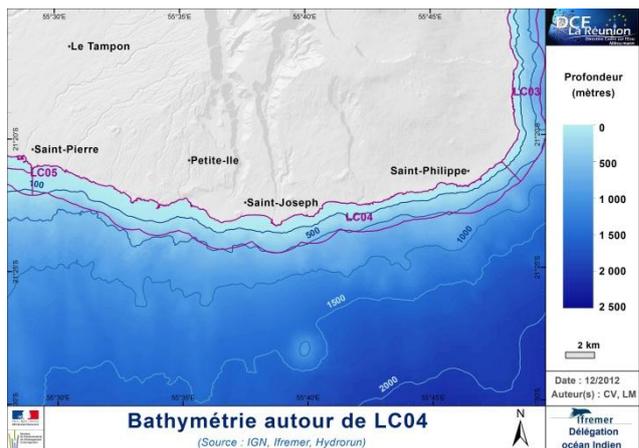
Etendue : **La Porte - Pointe du Parc**

### BATHYMETRIE

L'analyse statistique repose sur 3640 pixels



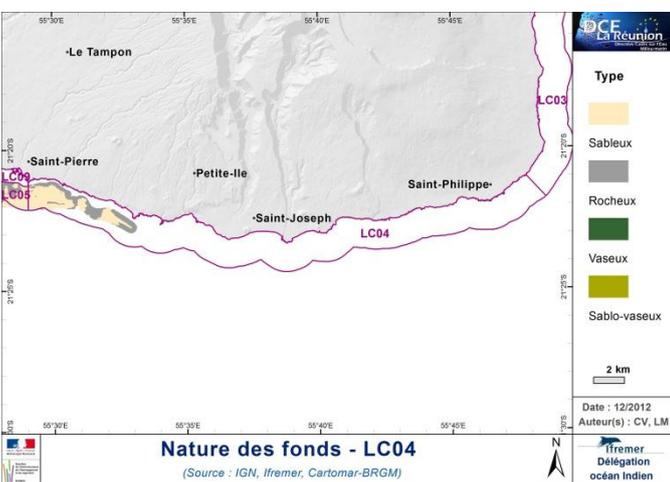
Statistique	Profondeur (m)
Percentile 50	150
Percentile 90	480
Moyenne	207
Profondeur Maximale	796



**Bathymétrie autour de LC04**  
(Source : IGN, Ifremer, Hydrarun)

Fond moyen (entre 150 à 200 m), maximum à 800 m  
90 % des fonds sont comprise entre 0 et 500 m

### NATURE DES FONDS



**Nature des fonds - LC04**  
(Source : IGN, Ifremer, Cartomar-BRGM)

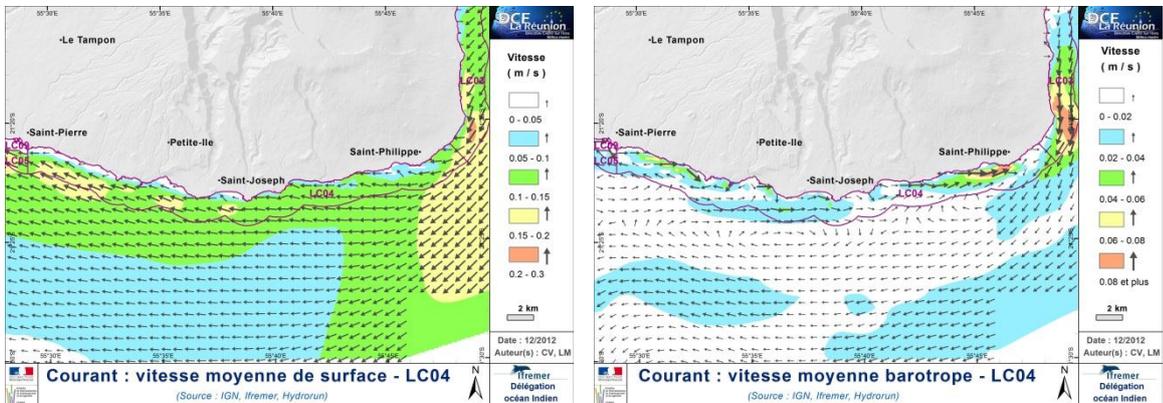
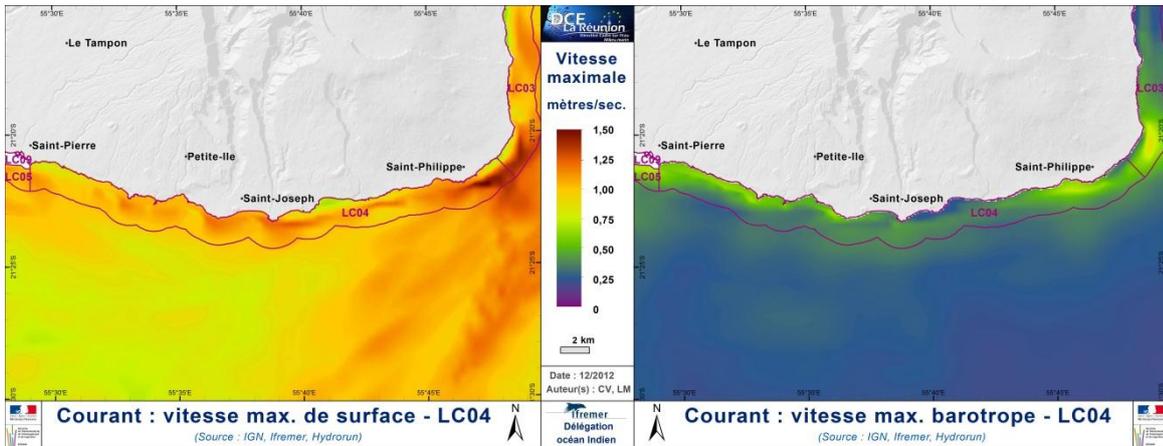
L'étude CARTOMAR couvre 11,8 % de la masse d'eau. La nature des fonds se décompose ainsi :

Type de substrat	%
Mélange sablo-vaseux	-
Roche	66.1
Sable	33.5
Vase	-
Zone de transit	0.4
Zone rugueuse	-

Sur la faible surface étudiée par Cartomar, les fonds sont hétérogènes.

## LC04 "Saint-Joseph" / La Porte - Pointe du Parc

### COURANTOLOGIE

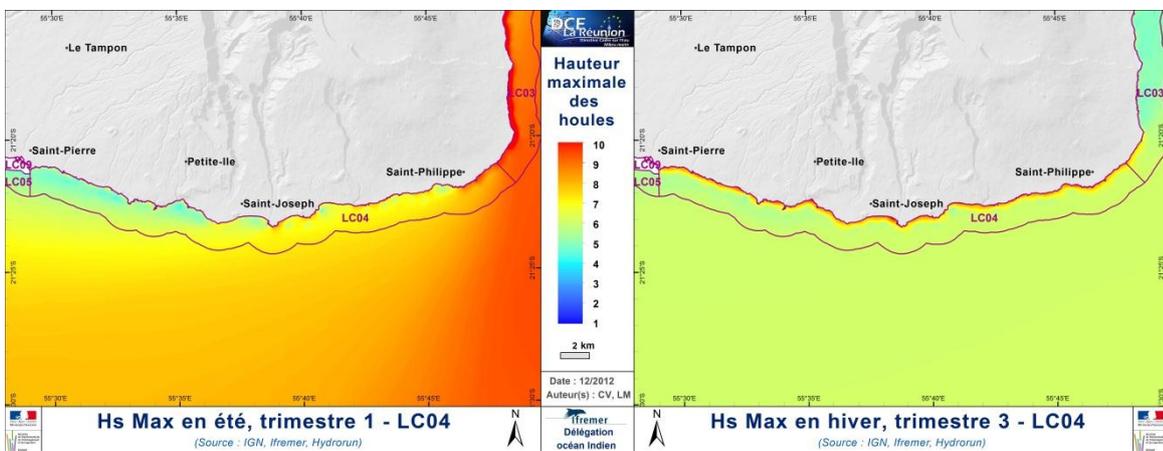


Le courant de surface moyen annuel est homogène et unidirectionnel, parallèle à la côte d'Ouest en Est  
Sa vitesse maximum varie de **0,7 m/s** à **1,85 m/s**.  
Le temps de résidence est court.

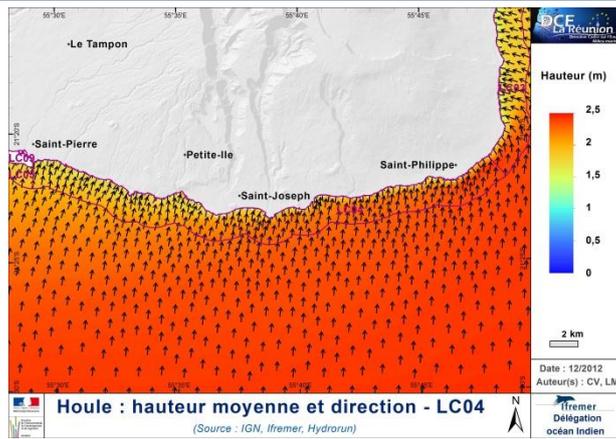
Le courant barotrope est hétérogène.  
Les vitesses maximum varient quant à elles de **0,2 m/s** à **0,7 m/s**.

### HOULE – ETATS DE MER

#### Hauteur des houles



### LC04 "Saint-Joseph" / La Porte - Pointe du Parc



Ce secteur apparaît abrité des houles cycloniques (90 % de ces houles sont inférieures à 5,5 m), mais reste exposé aux houles australes.

L'analyse statistique repose sur 232 pixels :

Statistique	Hauteur vague (m) de la houle		
	Moyenne	Australe	Cyclonique
Percentile 50	2.0	5.9	6.6
Percentile 90	2.3	8.6	7.9
Moyenne	2.0	6.3	6.5
Hauteur maximale	2.4	10.9	10.0

Hauteur moyenne des vagues : 2 m,

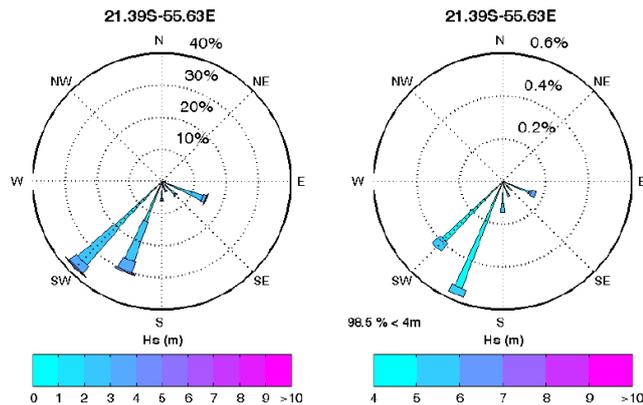
Maximum : 10 m en période de houles cycloniques et jusqu'à 11 m en période de houles australes

#### Rose des houles

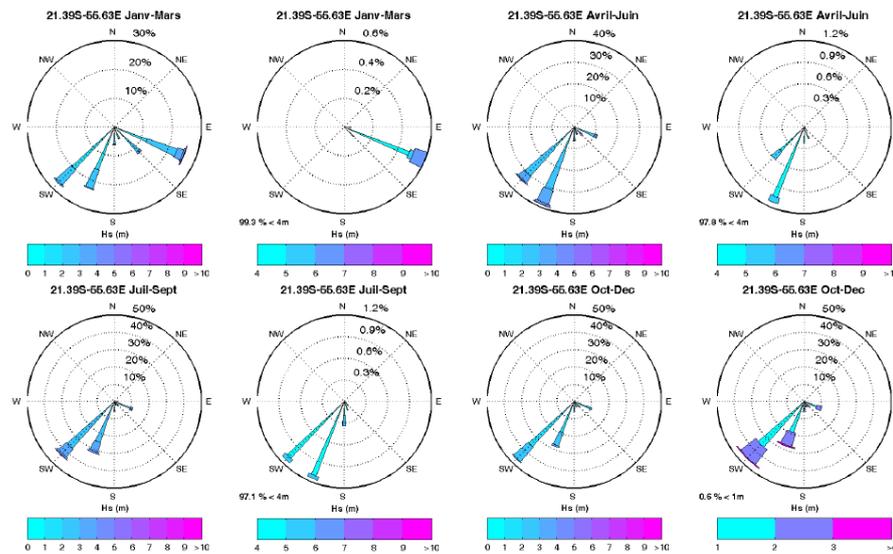
Rose de houle annuelle (gauche) et rose annuelle max, houles supérieures à 4m (droite)



Sites où des synthèses ont été calculées



#### Roses de houles trimestrielles et trimestrielles maximum au large de Saint-Joseph

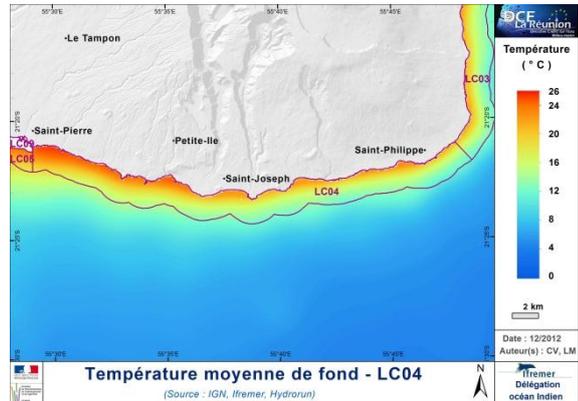
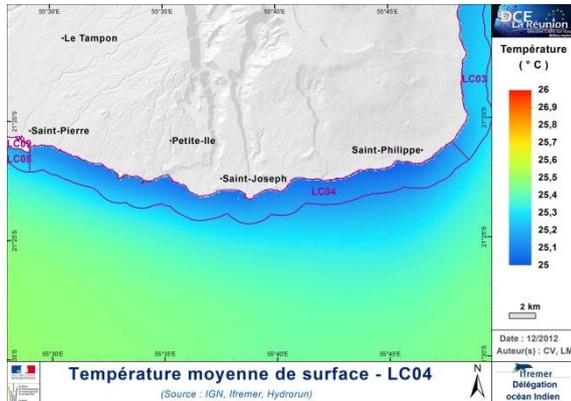


Les houles dominantes proviennent majoritairement (>65 %) du Sud-Ouest. Il en est de même pour les plus fortes houles (> 4 m).

Particularité : houles cycloniques proviennent du secteur Est (janv-mars)

## LC04 "Saint-Joseph" / La Porte - Pointe du Parc

## TEMPERATURE



La température moyenne annuelle de surface est comprise entre **25,0°C** et **25,3°C**.

A l'échelle saisonnière, elle s'échelonne, en moyenne, entre **27,8°C** (février) et **22,0°C** (septembre).

Les températures de fond s'échelonnent, selon la bathymétrie, entre **9,0°C** et **24,9°C**.

		Etat Environnemental Provisoire - LC04				
Etat	Chimique	Ecologique				
		Biologique	Hydromorphologique	Physico-Chimique		
Eléments	Contaminants chimiques	Phytoplancton		Température		
		Benthos de substrat meuble		Oxygène dissous	ND	
		Benthos de substrat dur	ND	Nutriments	ND	
				Salinité	NP	
				Transparence		
				Polluants spécifiques		

### 8.4.5 LC05 "Saint-Louis" : Pointe du Parc - Pointe au Sel

LC05 "Saint-Louis" / Pointe du Parc - Pointe au Sel

LOCALISATION

**Carte d'identité de la masse d'eau**

Nom : **Saint-Louis**

Libellé : **LC05**

Type : **MEC – TYPE 4**

Superficie : **53,8 km<sup>2</sup>**

Etendue : **Pointe du Parc - Pointe au Sel**

BATHYMETRIE

L'analyse statistique repose sur 3640 pixels

Statistique	Profondeur (m)
Percentile 50	55
Percentile 90	230
Moyenne	92
Profondeur Maximale	647

**Bathymétrie autour de LC05**  
(Source : IGN, Ifremer, Hydruan)

Fond moyen (moyenne inférieure à 100m), maximum à 650 m  
90 % des fonds sont inférieurs à 230 m

NATURE DES FONDS

**Nature des fonds - LC05**  
(Source : IGN, Ifremer, Cartomar-BRGM)

L'étude CARTOMAR couvre 56,3 % de la masse d'eau. La nature des fonds se décompose ainsi :

Type de substrat	%
Mélange sablo-vaseux	17.0
Roches	56.2
Sable	26.8
Vase	-
Zone de transit	-
Zone rugueuse	-

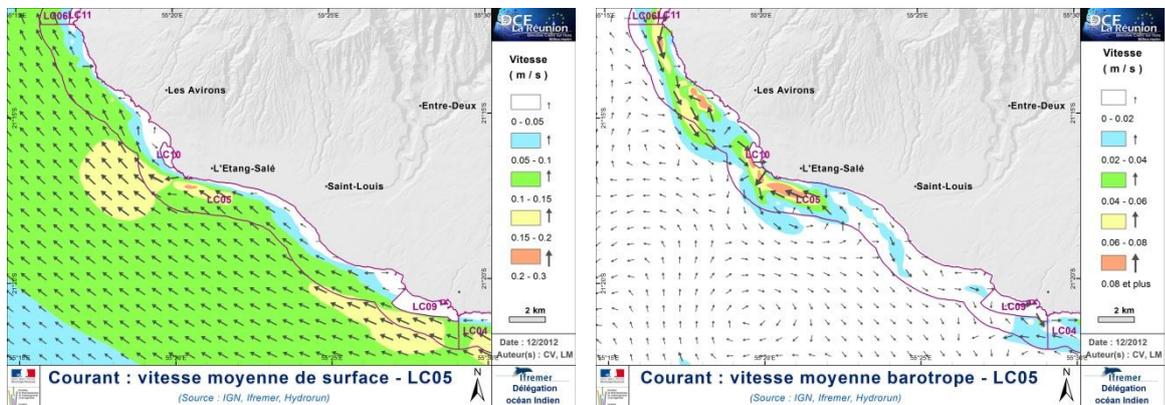
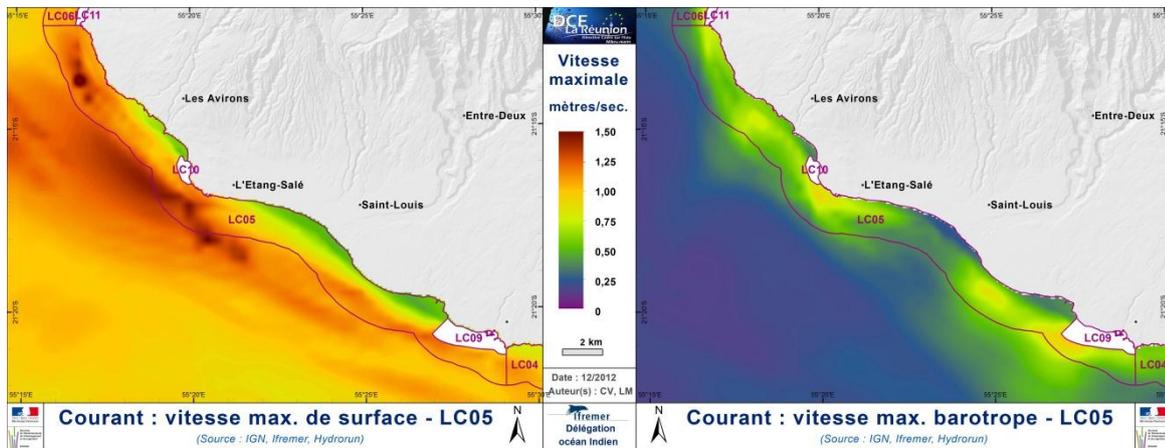
Zone hétérogène, plutôt dur dans les faibles profondeurs, puis sableux au-delà de 25-30 m.

Projet Bon Etat II :  
Actualisation de l'état des lieux du SDAGE ;  
Volet "eaux côtières réunionnaises"

Décembre 2012

## LC05 "Saint-Louis" / Pointe du Parc - Pointe au Sel

### COURANTOLOGIE

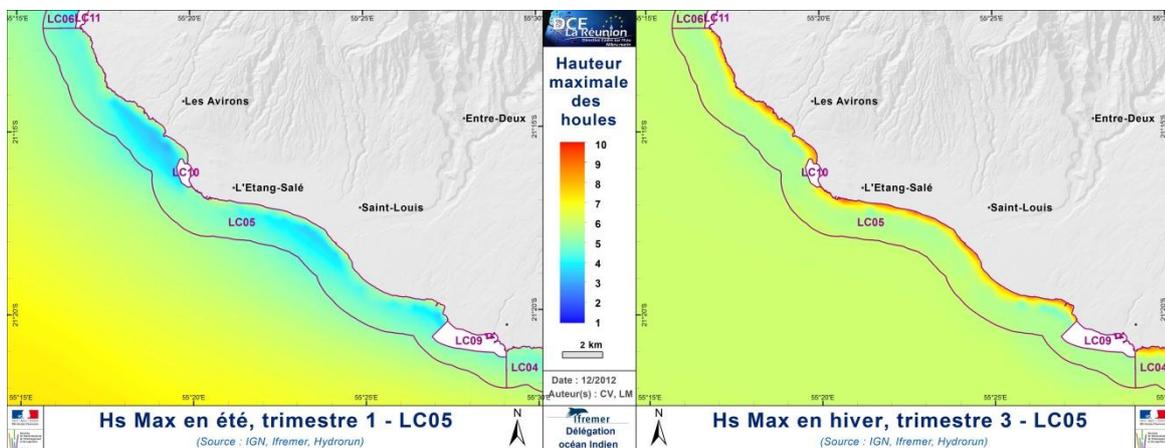


Courant de surface moyen **parallèle à la côte** excepté en face d'Etang-Salé, localement tourbillonnaire.  
Les vitesses maximums varient de **0,5 à 1,8 m/s**.  
Le temps de résidence est court.

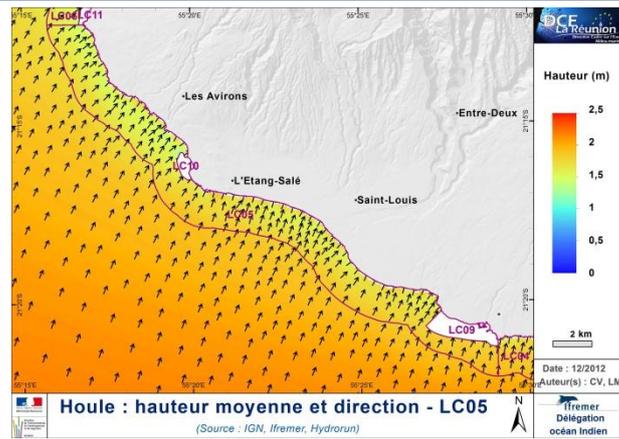
Courant barotrope hétérogène.  
Les vitesses maximum varient quant à elles de **0,2 à 1,0 m/s**.

### HOULE – ETATS DE MER

#### Hauteur des houles



### LC05 "Saint-Louis" / Pointe du Parc - Pointe au Sel



Ce secteur apparait abrité des houles cycloniques (90 % de ces houles sont inférieures à 5,5 m), mais reste exposé aux houles australes.

L'analyse statistique repose sur 166 pixels :

Statistique	Hauteur vague (m) de la houle		
	Moyenne	Australe	Cyclonique
Percentile 50	1.7	5.5	4.6
Percentile 90	1.8	8.4	5.5
Moyenne	1.7	5.9	4.6
Hauteur maximale	1.9	9.8	6.4

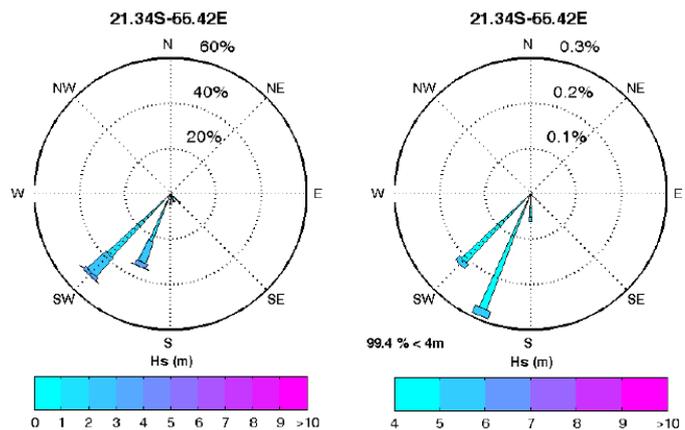
Hauteur moyenne des vagues : 1,9 m,  
Maximum : 10 m en période de houles australes

#### Rose des houles

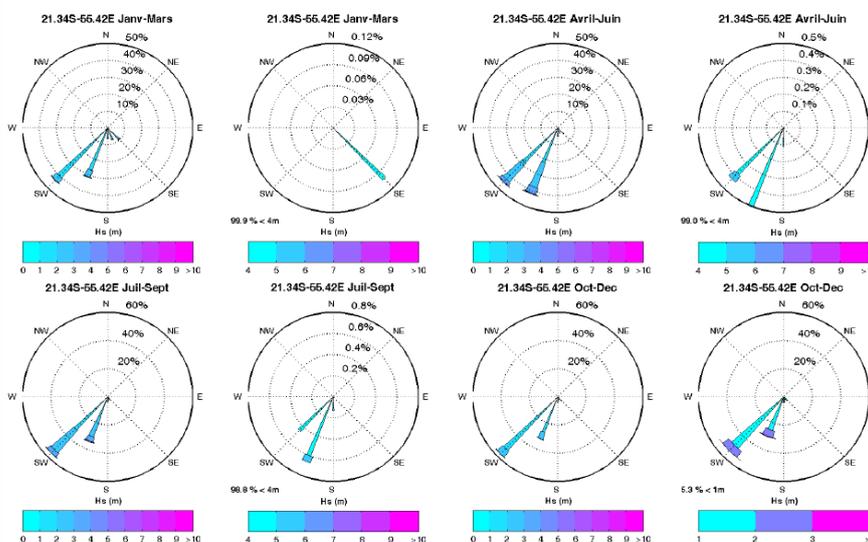
Rose de houle annuelle (gauche) et rose annuelle max, houles supérieures à 4m (droite)



Sites où des synthèses ont été calculées



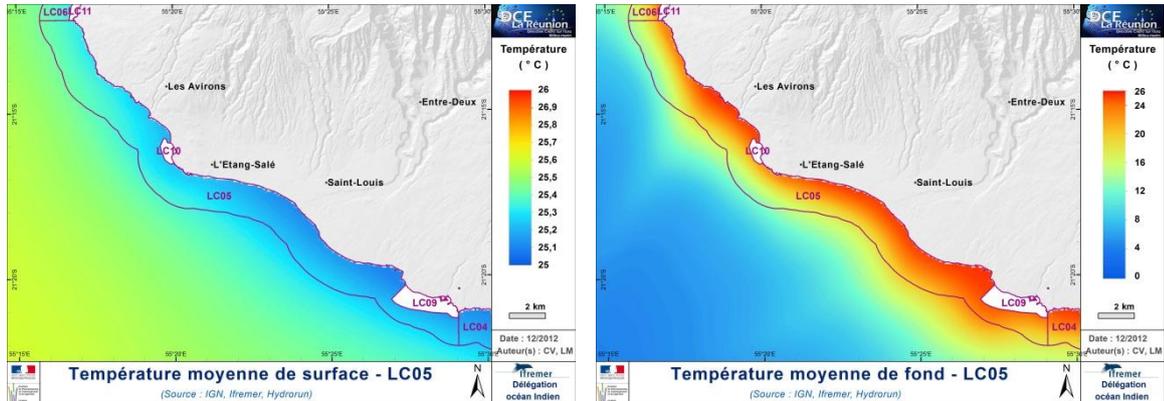
#### Roses de houles trimestrielles et trimestrielles maximum au large de l'aéroport de Pierrefonds



Peu de variabilité saisonnière dans la direction de houle : 90 % proviennent du secteur Sud-Ouest. On peut noter en période cyclonique une légère réorientation des houles les plus intenses (> 4m) vers le secteur Sud-Est.

## LC05 "Saint-Louis" / Pointe du Parc - Pointe au Sel

## TEMPERATURE



La température moyenne annuelle de surface est comprise entre **25,1°C** et **25,4°C**.

A l'échelle saisonnière, elle s'échelonne, en moyenne, entre **27,8°C** (février) et **22,1°C** (septembre).

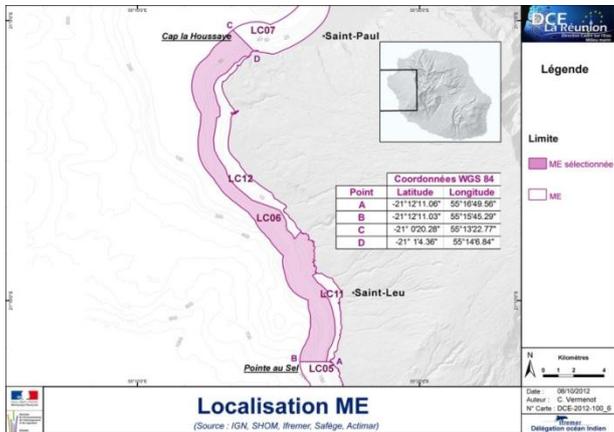
Les températures de fond s'échelonnent, selon la bathymétrie, entre **10,7°C** et **25,1°C**.

		Etat Environnemental Provisoire – LC05				
Etat	Chimique	Ecologique				
		Biologique	Hydromorphologique	Physico-Chimique		
Eléments	Contaminants chimiques	Phytoplancton		Température		
		Benthos de substrat meuble		Oxygène dissous	ND	
		Benthos de substrat dur	ND	Nutriments	ND	
				Salinité	NP	
				Transparence		
				Polluants spécifiques		

### 8.4.6 LC06 " Ouest" / Pointe au Sel - Cap La Houssaye

## LC06 "Ouest" / Pointe au Sel - Cap La Houssaye

### LOCALISATION

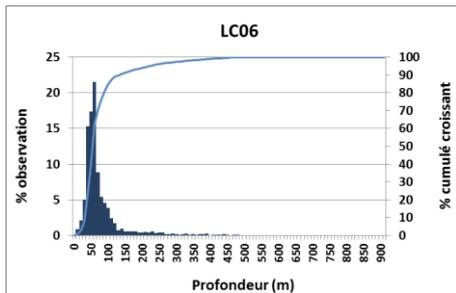


#### Carte d'identité de la masse d'eau

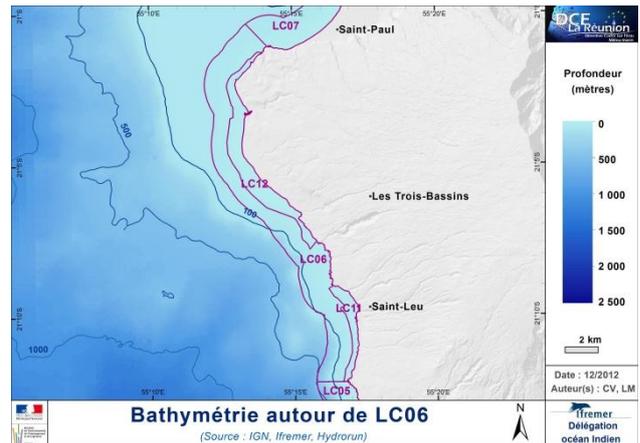
Nom : **Ouest**  
 Libellé : **LC06**  
 Type : **MEC – TYPE 1**  
 Superficie : **34,1 km<sup>2</sup>**  
 Etendue : **Pointe au Sel - Cap La Houssaye**

### BATHYMETRIE

L'analyse statistique repose sur 3640 pixels

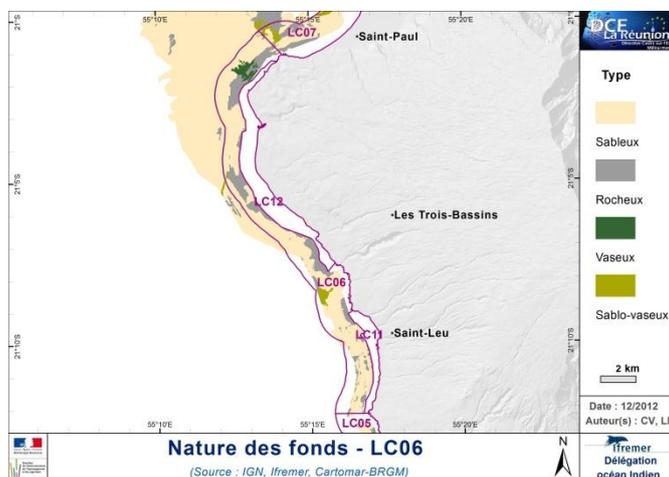


Statistique	Profondeur (m)
Percentile 50	55
Percentile 90	130
Moyenne	75
Profondeur Maximale	500



Fond moyen (moyenne inférieure à 75m), maximum à 500 m.  
 90 % des fonds sont inférieurs à 130 m.

### NATURE DES FONDS



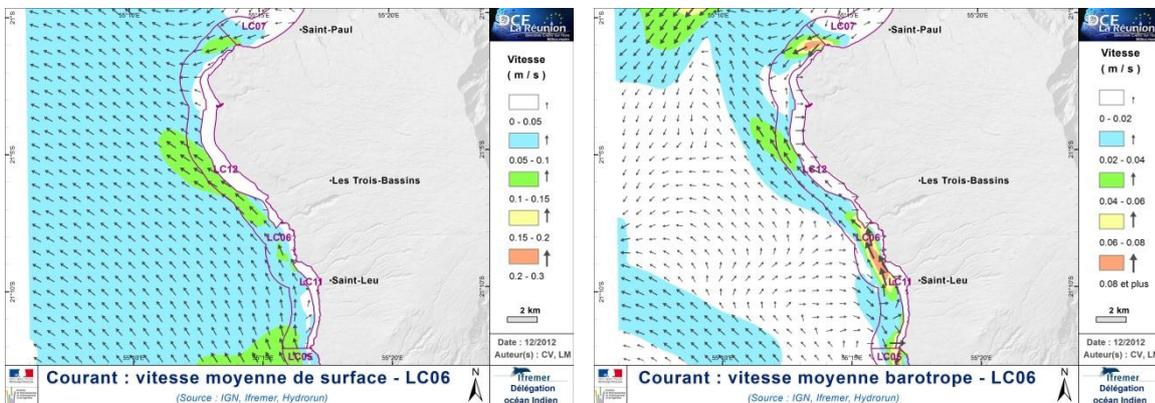
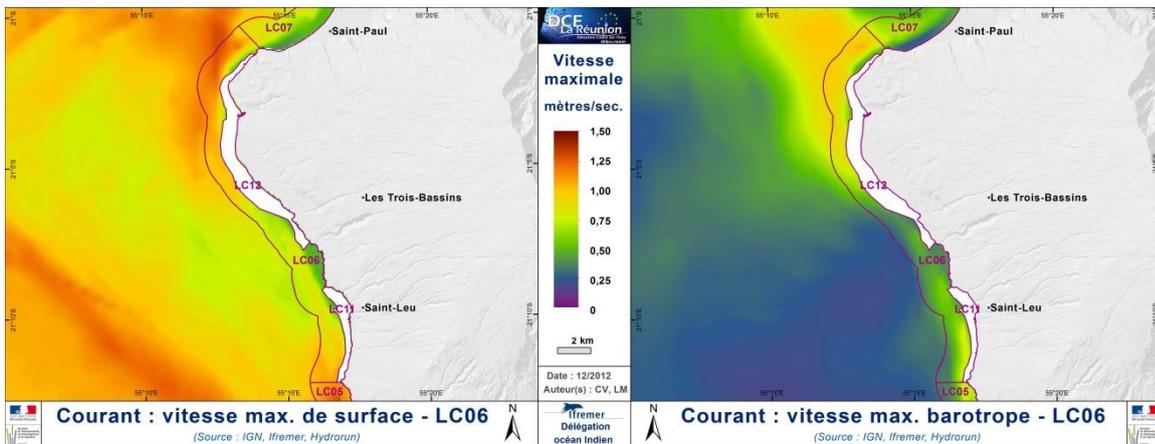
L'étude CARTOMAR couvre 81.8 % de la masse d'eau. La nature des fonds se décompose ainsi :

Type de substrat	%
Mélange sablo-vaseux	1.6
Roche	24.1
Sable	71.3
Vase	2.9
Zone de transit	0.2
Zone rugueuse	-

Faible profondeur : substrats durs  
 Profondeurs importante : substrats meubles

## LC06 "Ouest" / Pointe au Sel - Cap La Houssaye

## COURANTOLOGIE



Courant de surface moyen **parallèle à la côte.**

Zone de convergence au large de Saint-Gilles : Nord-ouest.

Les vitesses maximums varient de **0,5 à 1,3 m/s.**

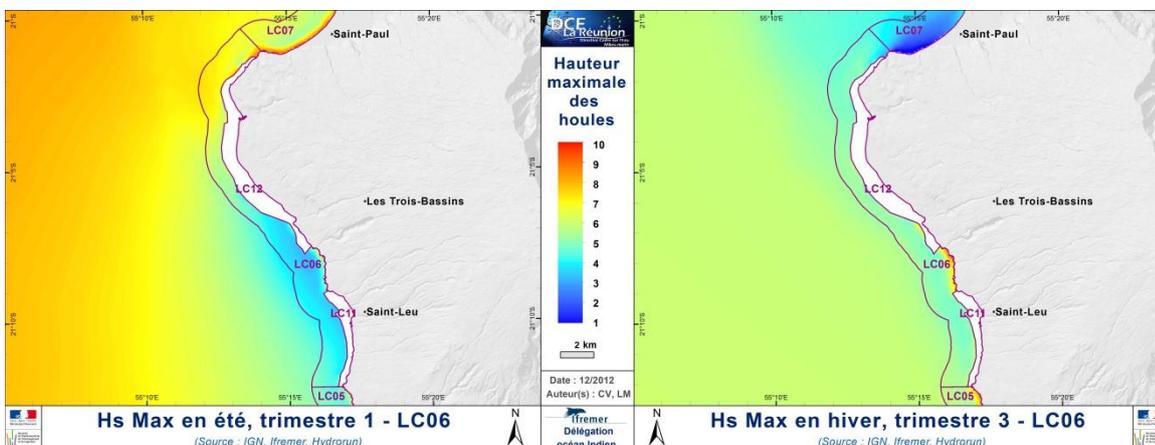
Le temps de résidence est court.

Courants barotropes proche de ceux de surface.

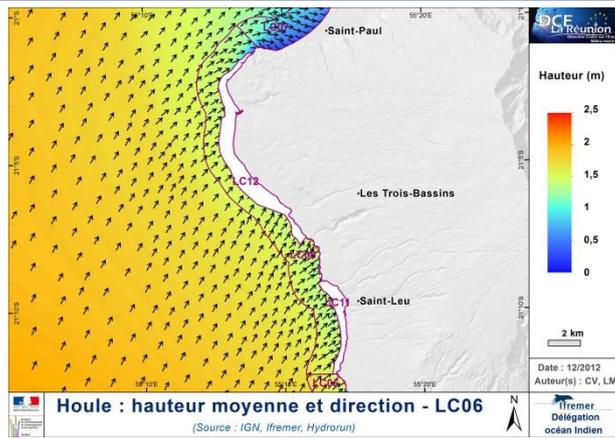
Les vitesses maximum varient quant à elles de **0,1 à 1,1 m/s.**

## HOULE – ETATS DE MER

## Hauteur des houles



### LC06 "Ouest" / Pointe au Sel - Cap La Houssaye



ME relativement abritée à la fois des houles australes (dont 90% sont inférieures à 5,4 m) mais également des houles cycloniques (perceptibles essentiellement au nord de Saint-Gilles).

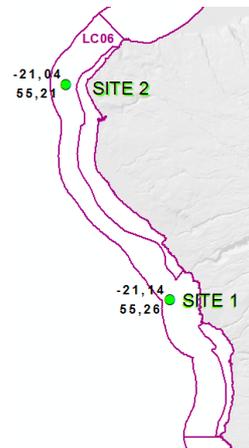
L'analyse statistique repose sur 108 pixels :

Statistique	Hauteur vague (m) de la houle		
	Moyenne	Australe	Cyclonique
Percentile 50	1.4	5.0	4.2
Percentile 90	1.6	5.4	7.0
Moyenne	1.4	5.1	4.8
Hauteur maximale	1.7	8.8	7.4

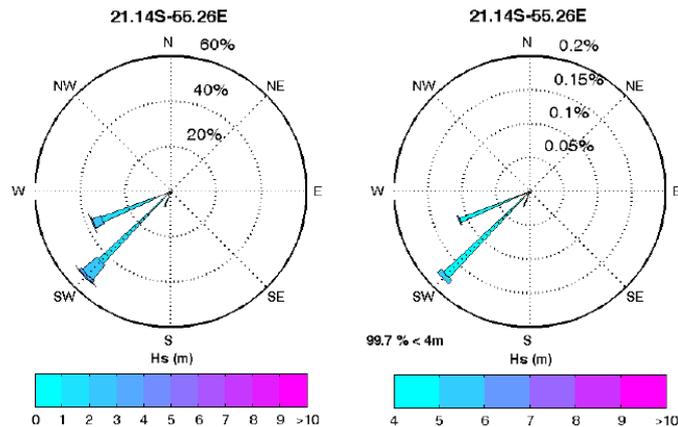
Hauteur moyenne des vagues : 1,4 m,  
Maximum : 8 m en période de houles australes

### Rose des houles

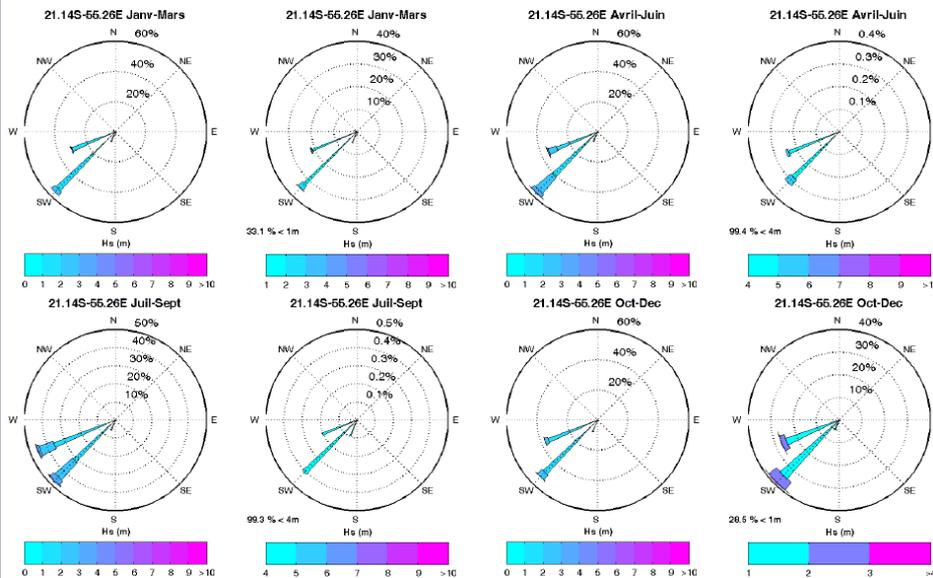
SITE 1 : Rose de houle annuelle (gauche) et rose annuelle max, houles supérieures à 4m (droite)



Les 2 sites où des synthèses ont été calculées



SITE 1 : Roses de houles trimestrielles et trimestrielles maximum au large de la Pointe des Châteaux

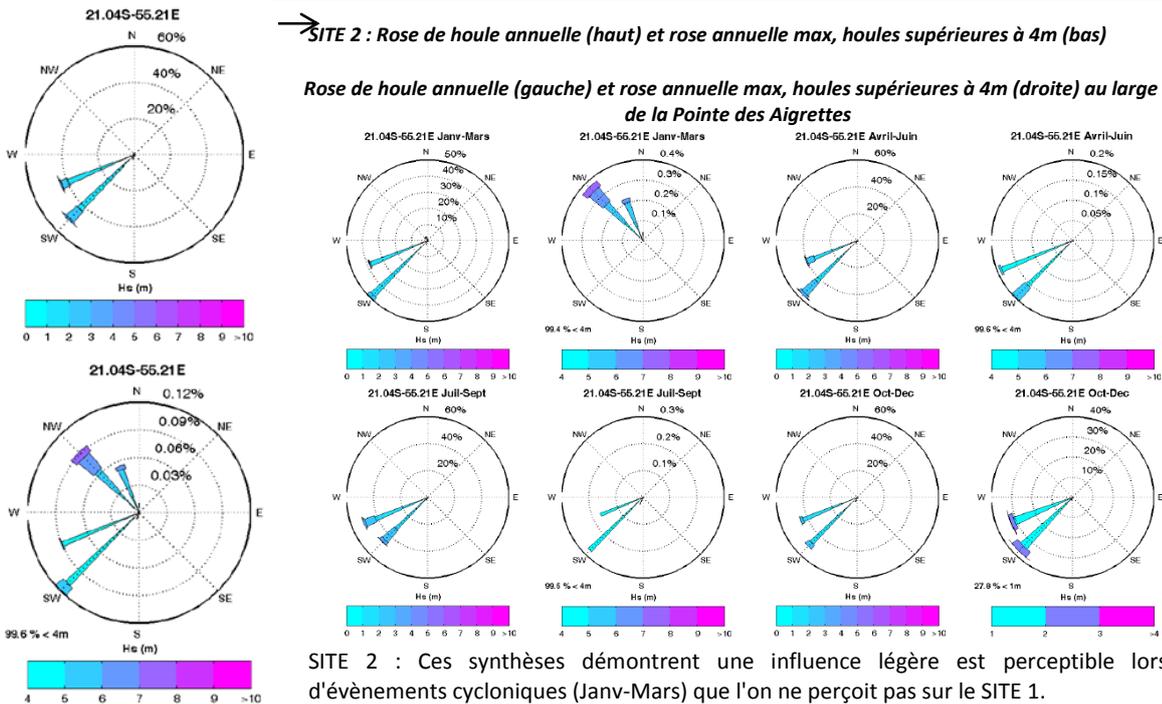


SITE 1 :  
Pas de variabilité saisonnière dans la direction de houle dans ce secteur de la masse d'eau (90 % du temps, les houles proviennent du secteur sud-ouest)

LC06 "Ouest" / Pointe au Sel - Cap La Houssaye

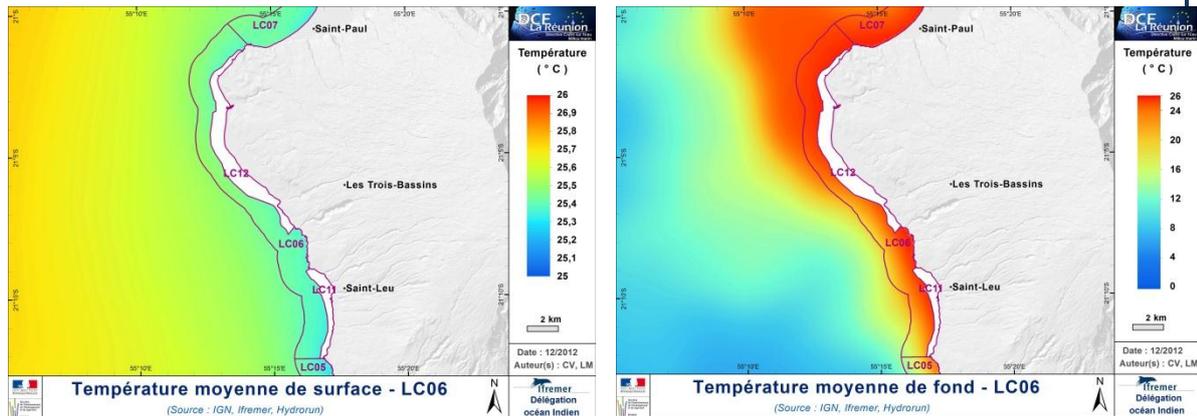
→ SITE 2 : Rose de houle annuelle (haut) et rose annuelle max, houles supérieures à 4m (bas)

Rose de houle annuelle (gauche) et rose annuelle max, houles supérieures à 4m (droite) au large de la Pointe des Aigrettes



SITE 2 : Ces synthèses démontrent une influence légère est perceptible lors d'évènements cycloniques (Janv-Mars) que l'on ne perçoit pas sur le SITE 1.

TEMPERATURE

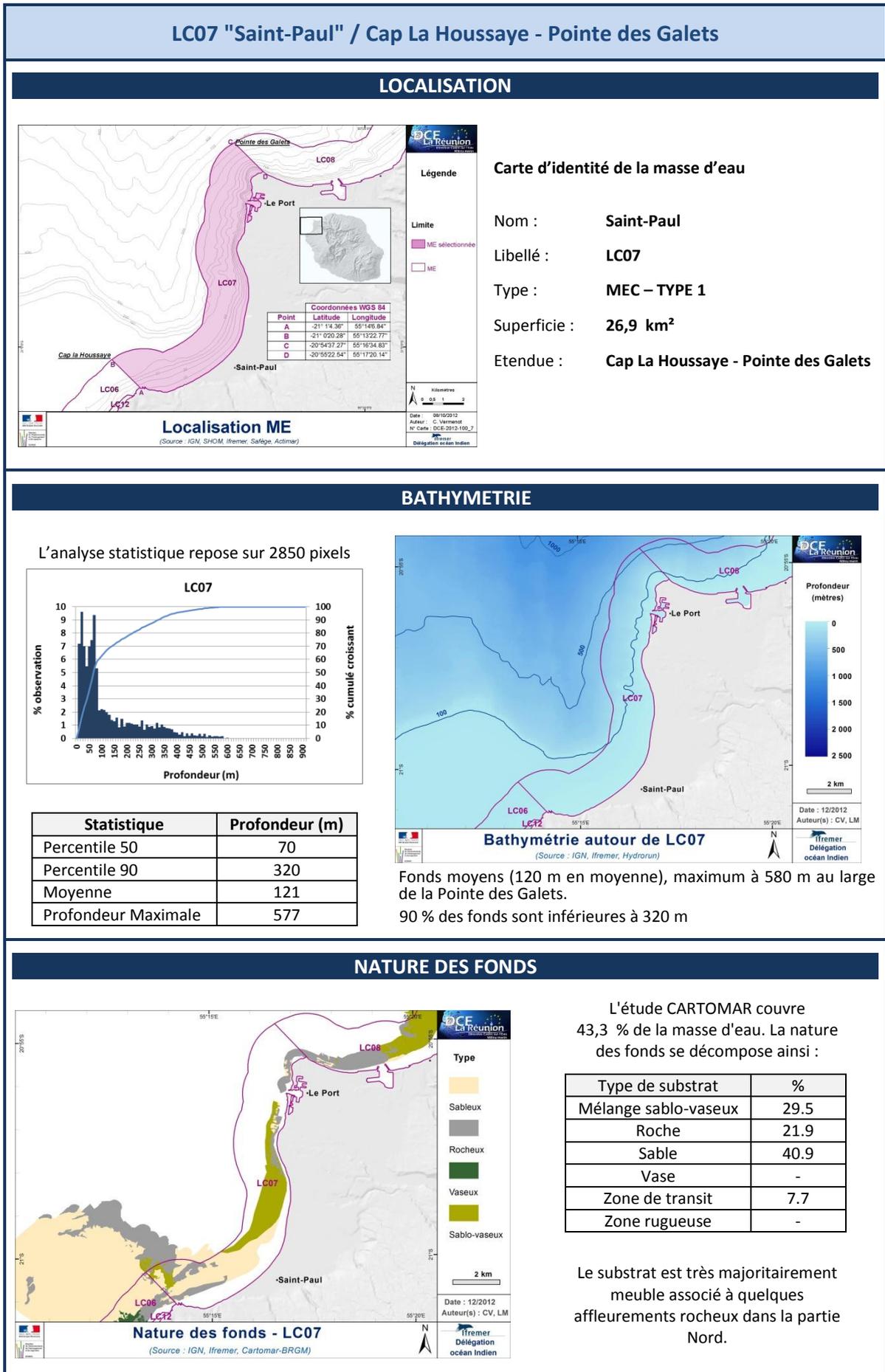


La température moyenne annuelle de surface est comprise entre 25,3°C et 25,5°C. A l'échelle saisonnière, elle s'échelonne, entre 28,0°C (février) et 22,3°C (août).

Les températures de fond s'échelonnent, selon la bathymétrie, entre 14,2°C et 25,4°C.

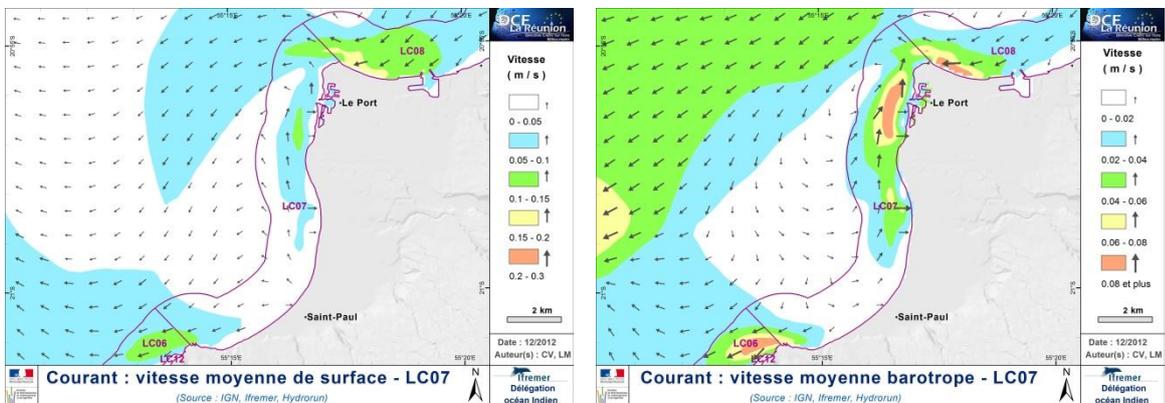
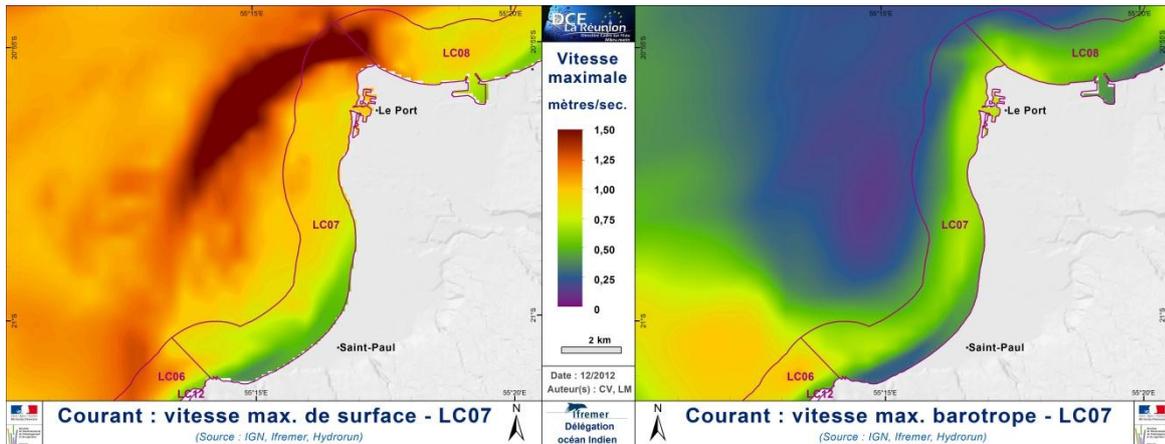
		Etat Environnemental Provisoire – LC06			
Etat	Chimique	Ecologique			
		Biologique	Hydromorphologique	Physico-Chimique	
Eléments	Contaminants chimiques	Phytoplancton		Température	
		Benthos de substrat meuble		Oxygène dissous	ND
		Benthos de substrat dur	ND	Nutriments	ND
				Salinité	NP
				Transparence	
			Polluants spécifiques		

## 8.4.7 LC07 "Saint-Paul" / Cap La Houssaye - Pointe des Galets



## LC07 "Saint-Paul" / Cap La Houssaye - Pointe des Galets

### COURANTOLOGIE



Le courant de surface moyen annuel globalement orienté vers le Sud-Ouest, tendance inverse observable dans la partie Nord de la masse d'eau.

Sa vitesse maximum varie de **0,4 m/s à 1,6 m/s**.

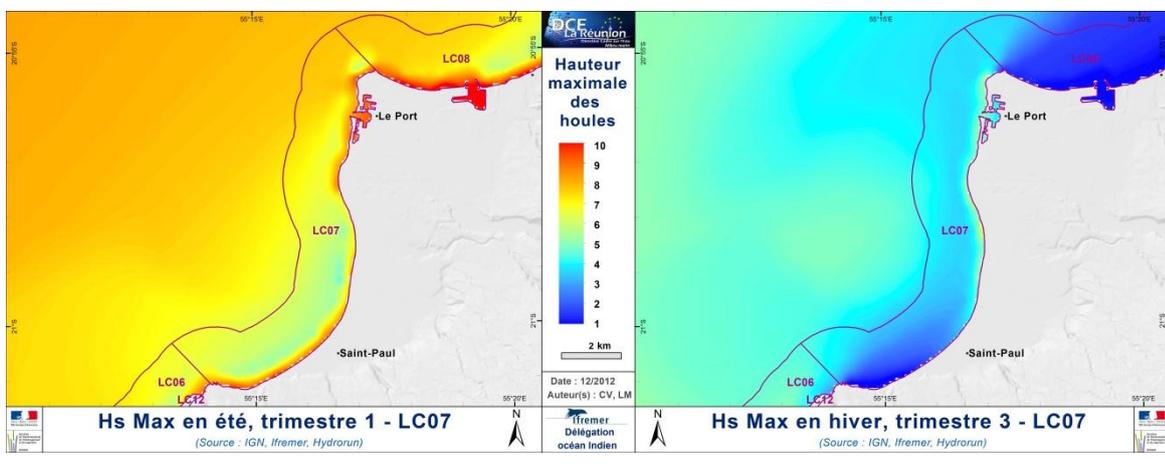
Inversion du courant barotrope moyen entre la zone au large et la zone côtière : témoin de la présence d'une zone "tourbillonnaire".

Les vitesses maximum varient quant à elles de **0,2 m/s à 0,9 m/s**.

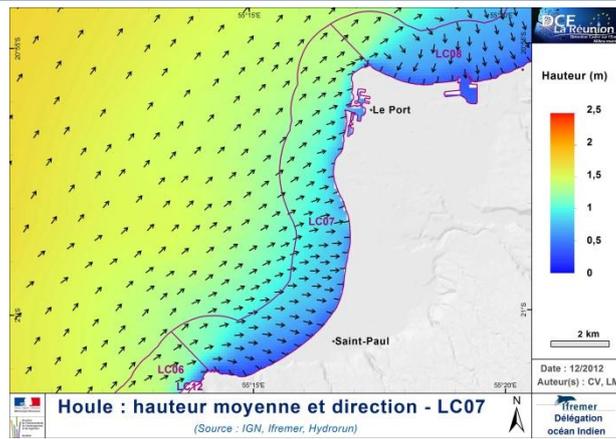
Seule masse d'eau réunionnaise susceptible d'avoir un temps de résidence plus significativement long qu'ailleurs.

### HOULE – ETATS DE MER

#### Hauteur des houles



### LC07 "Saint-Paul" / Cap La Houssaye - Pointe des Galets



Secteur relativement abrité des vagues (< 1 m), mais potentiellement exposé exceptionnellement en période cyclonique (10 m).

L'analyse statistique repose sur 95 pixels :

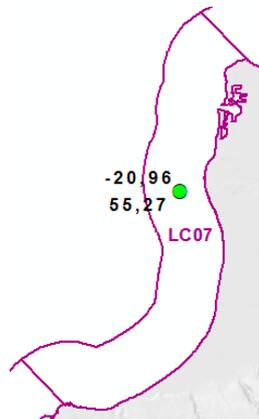
Statistique	Hauteur vague (m) de la houle		
	Moyenne	Australe	Cyclonique
Percentile 50	1.9	3.6	6.4
Percentile 90	2.3	4.3	7.9
Moyenne	0.9	3.5	6.6
Hauteur maximale	1.4	5.2	10.1

Hauteur moyenne des vagues : 1,4 m,

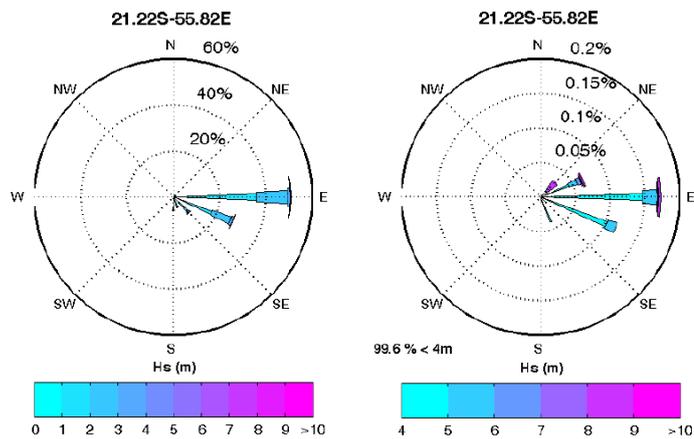
Maximum : 10 m en période de houles cyclonique,

#### Rose des houles

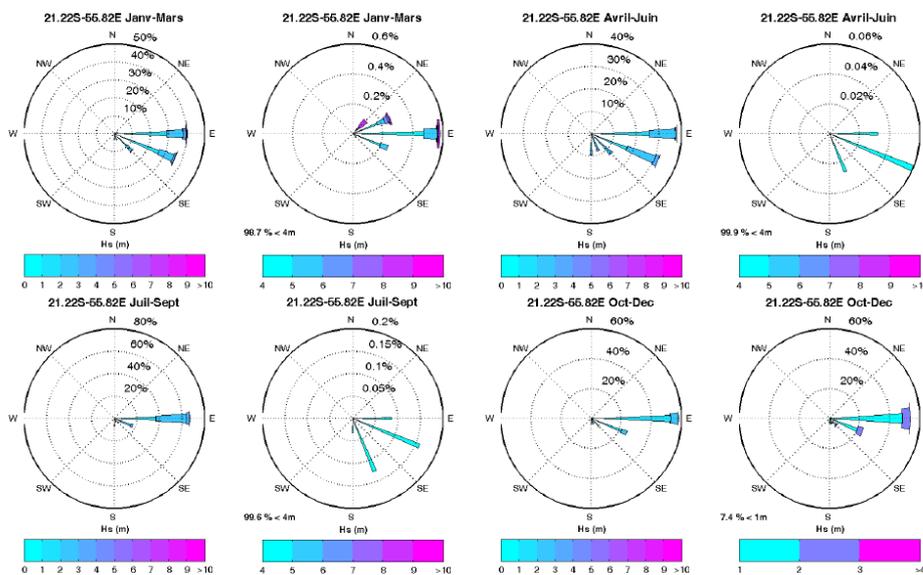
Rose de houle annuelle (gauche) et rose annuelle max, houles supérieures à 4m (droite)



Site où des synthèses ont été calculées



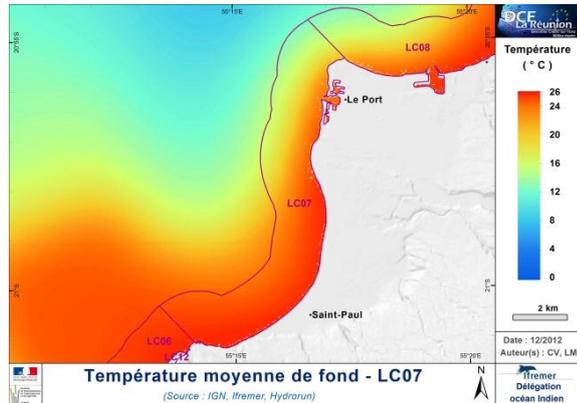
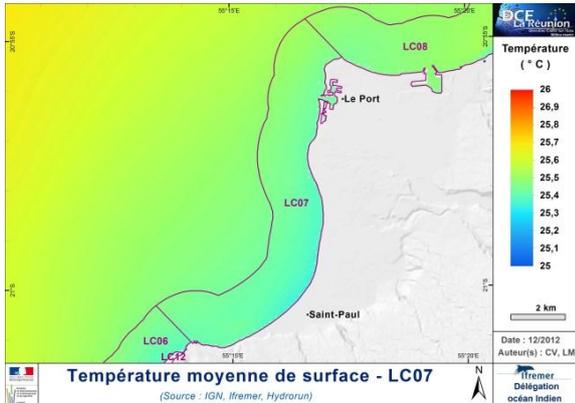
#### Roses de houles trimestrielles et trimestrielles maximum à Cambaie



80 % des houles viennent du Sud-Ouest. Secteur susceptible de subir les houles cycloniques (de secteur Nord à Nord-Ouest), et dans une moindre mesure celle également des houles australes (de secteurs Sud-Ouest)

## LC07 "Saint-Paul" / Cap La Houssaye - Pointe des Galets

### TEMPERATURE



La température moyenne annuelle de surface est comprise entre **25,3°C** et **25,5°C**.

A l'échelle saisonnière, elle s'échelonne, en moyenne, entre **28,0°C** (février) et **22,4°C** (septembre).

Les températures de fond s'échelonnent, selon la bathymétrie, entre **11,1°C** et **25,5°C**.

Etat		Etat Environnemental Provisoire – LC07			
		Chimique	Ecologique		Physico-Chimique
Eléments	Contaminants chimiques	Biologique	Hydromorphologique	Physico-Chimique	
		Phytoplancton		Température	
		Benthos de substrat meuble		Oxygène dissous	ND
		Benthos de substrat dur	ND	Nutriments	ND
				Salinité	NP
				Transparence	
		Polluants spécifiques			

### 8.4.8 LC08 "Le Port" / Pointe des Galets - Barachois

## LC08 "Le Port" / Pointe des Galets - Barachois

### LOCALISATION

Point	Latitude	Longitude
A	-20°55'22.54"	55°17'20.14"
B	-20°54'37.27"	55°16'34.83"
C	-20°51'18.04"	55°27'2.92"
D	-20°52'18.33"	55°27'2.92"

**Localisation ME**  
(Source : IGN, SHOM, Ifremer, Saifage, Azlmar)

#### Carte d'identité de la masse d'eau

Nom : **Le Port**

Libellé : **LC08**

Type : **MEC – TYPE 1**

Superficie : **37,8 km<sup>2</sup>**

Etendue : **Pointe des Galets - Barachois**

---

### BATHYMETRIE

L'analyse statistique repose sur 3994 pixels

Statistique	Profondeur (m)
Percentile 50	40
Percentile 90	230
Moyenne	78
Profondeur Maximale	591

**Bathymétrie autour de LC08**  
(Source : IGN, Ifremer, Hydrarun)

Petits moyens (80 m en moyenne et 50% de la surface couverte des fonds de moins de 50 m), maximum à 600 m au large de la Pointe des Galets.

90 % des fonds sont inférieures à 230 m

---

### NATURE DES FONDS

**Nature des fonds - LC08**  
(Source : IGN, Ifremer, Cartomar-BRGM)

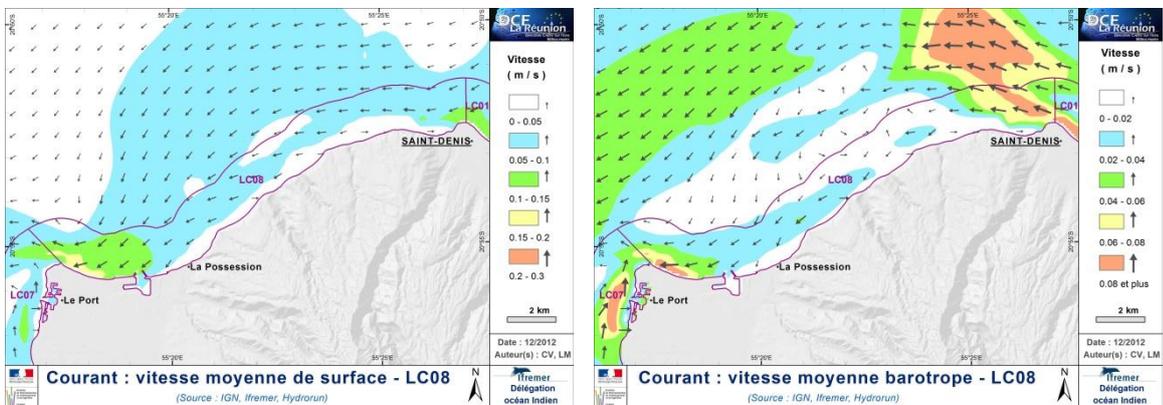
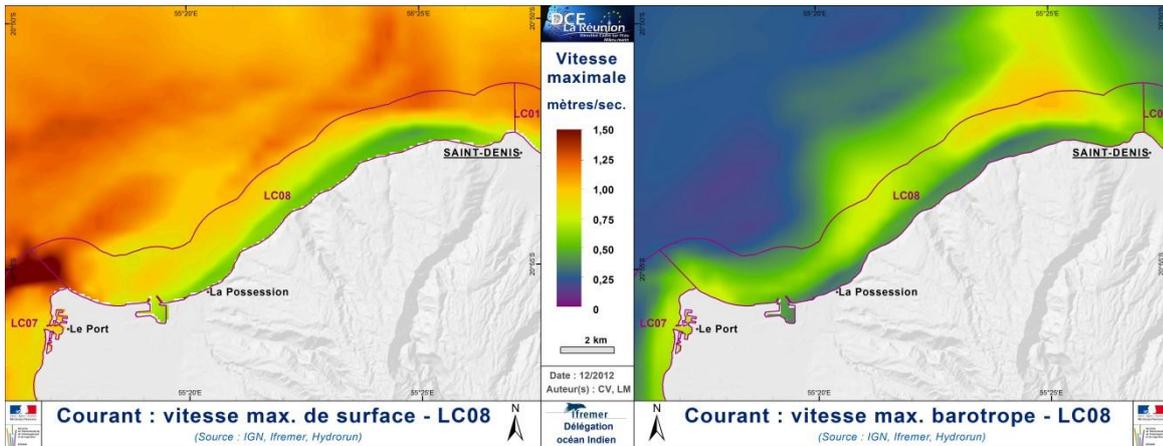
L'étude CARTOMAR couvre 56,2 % de la masse d'eau. La nature des fonds se décompose ainsi :

Type de substrat	%
Mélange sablo-vaseux	31.5
Roche	12.1
Sable	50.6
Vase	4.0
Zone de transit	1.8
Zone rugueuse	-

Le substrat est très majoritairement meuble associé à quelques affleurements rocheux (notamment vers la Pointe des Galets)

## LC08 "Le Port" / Pointe des Galets - Barachois

### COURANTOLOGIE



Le courant de surface moyen homogène, parallèle à la côte, orienté Ouest à Sud-Ouest.

Sa vitesse maximum varie de **0,5 m/s à 1,7 m/s**.

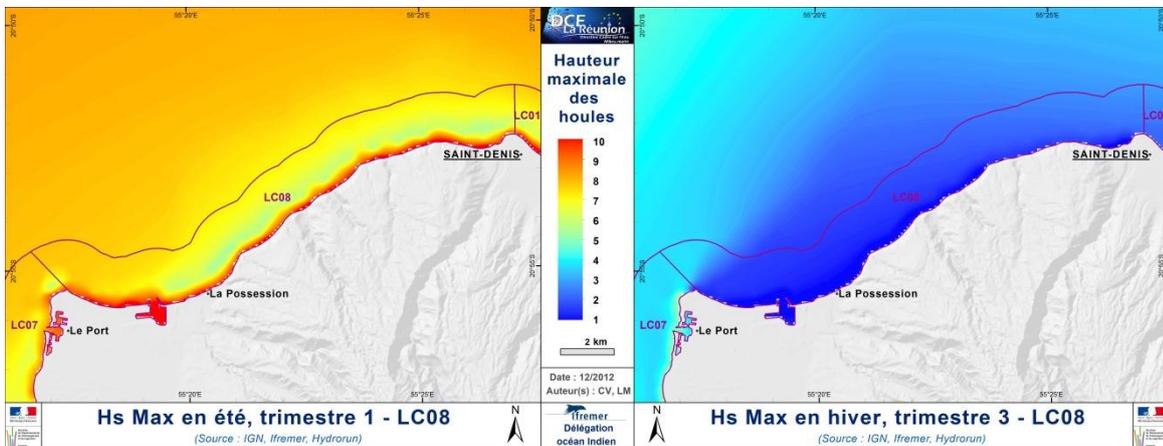
Temps de résidence court

Inversion du courant barotrope présente la même tendance que le courant de surface, toutefois une hétérogénéité est notable au niveau de la Pointe du Gouffre (Nord de La Grande Chaloupe)

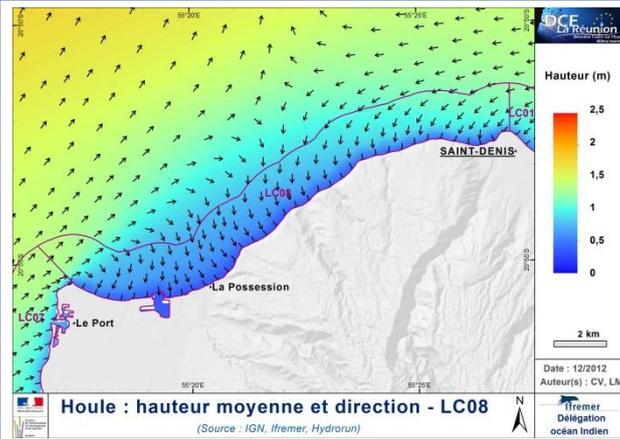
Les vitesses maximum varient quant à elles de **0,2 m/s à 1,0 m/s**.

### HOULE – ETATS DE MER

#### Hauteur des houles



### LC08 "Le Port" / Pointe des Galets - Barchois



Secteur relativement abrité des houles australes, mais plus franchement exposé aux houles cycloniques.

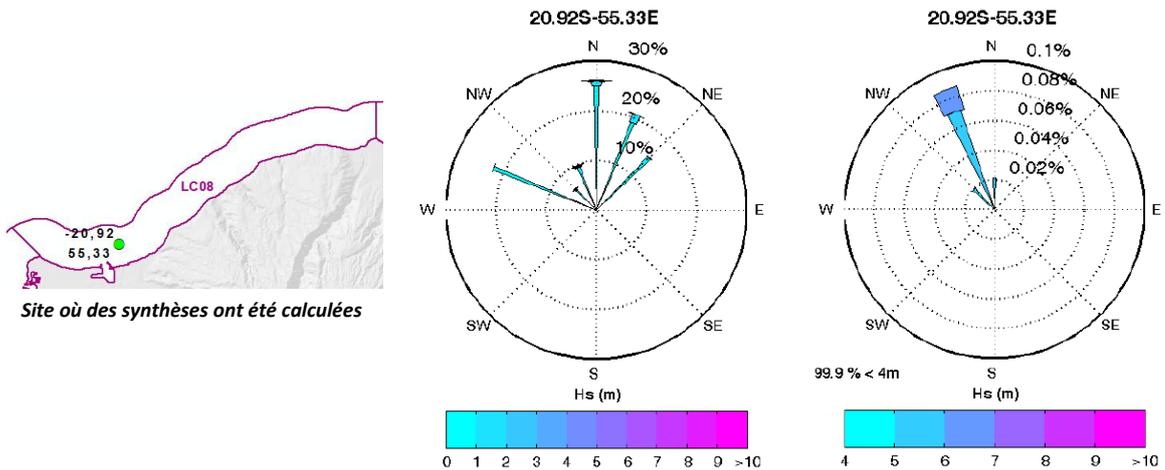
L'analyse statistique repose sur 114 pixels :

Statistique	Hauteur vague (m) de la houle		
	Moyenne	Australe	Cyclonique
Percentile 50	<b>0.7</b>	1.6	6.9
Percentile 90	<b>1.1</b>	2.4	10.1
Moyenne	<b>0.8</b>	1.7	7.2
Hauteur maximale	<b>1.3</b>	3.7	11.3

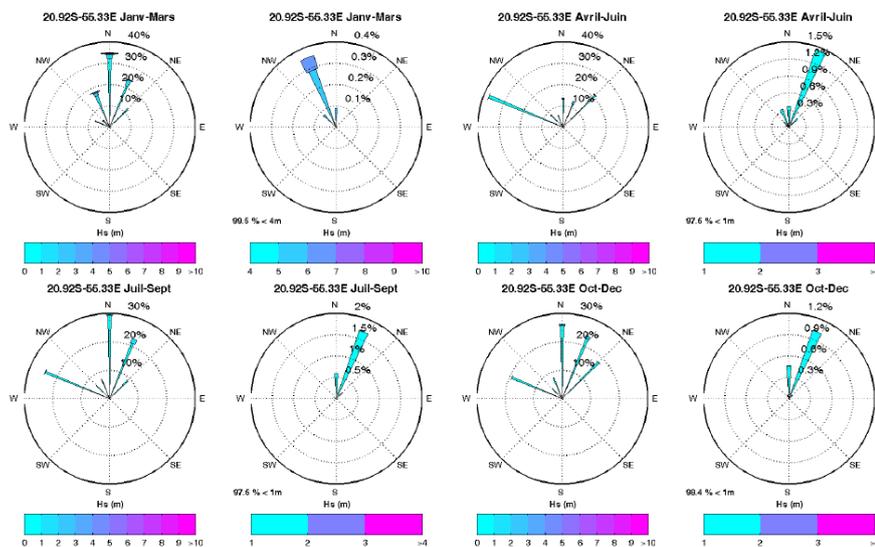
Hauteur moyenne des vagues : 0,8 m,  
Maximum : 11 m en période de houles cyclonique.

#### Rose des houles

Rose de houle annuelle (gauche) et rose annuelle max, houles supérieures à 4m (droite)



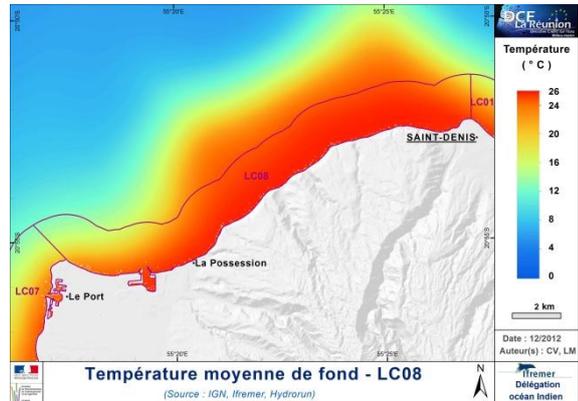
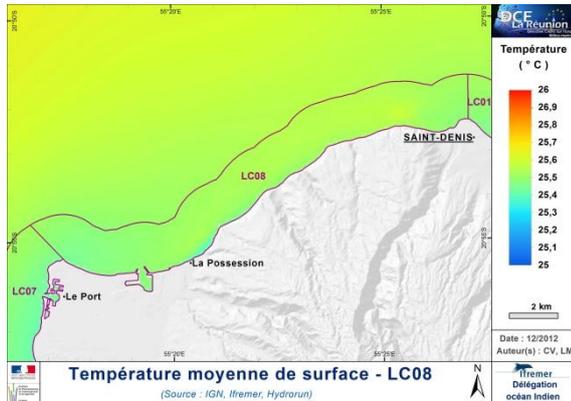
Roses de houles trimestrielles et trimestrielles maximum au large de Port Est



Forte variabilité annuelle dans les directions des houles : balayage d'un spectre compris entre l'Ouest-Nord-Ouest jusqu'au Nord-Est. C'est en période cyclonique que sont les plus fortes houles (> 4 m) en provenance du secteur Nord-Nord-Ouest. Le reste du temps elles ne dépassent que rarement le mètre.

## LC08 "Le Port" / Pointe des Galets - Barachois

### TEMPERATURE



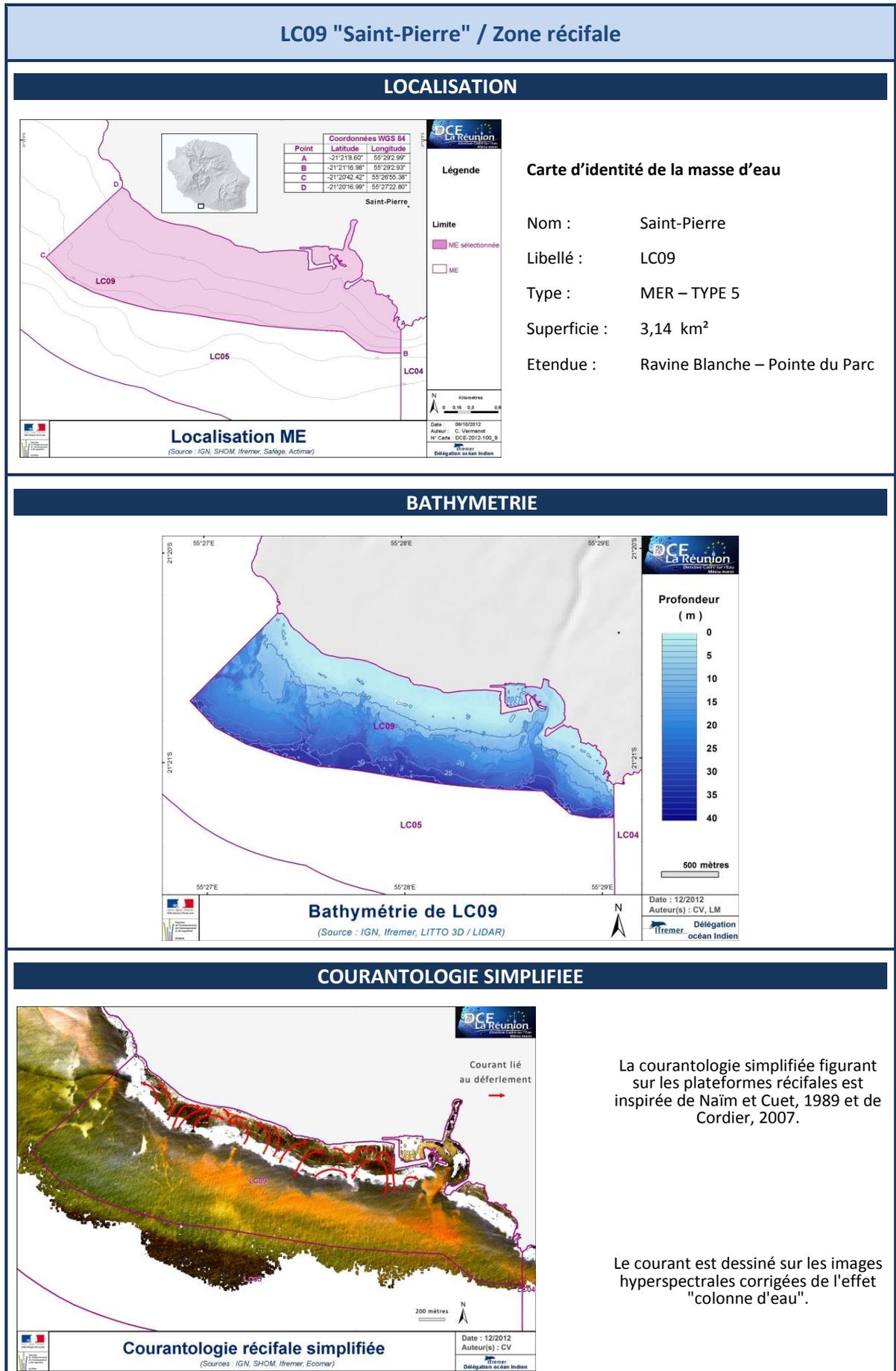
La température moyenne annuelle de surface est comprise entre **25,4°C** et **25,6°C**.

A l'échelle saisonnière, elle s'échelonne, en moyenne, entre **28,6°C** (février) et **22,0°C** (septembre).

Les températures de fond s'échelonnent, selon la bathymétrie, entre **11,1°C** et **25,7°C**.

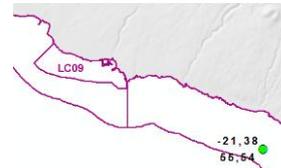
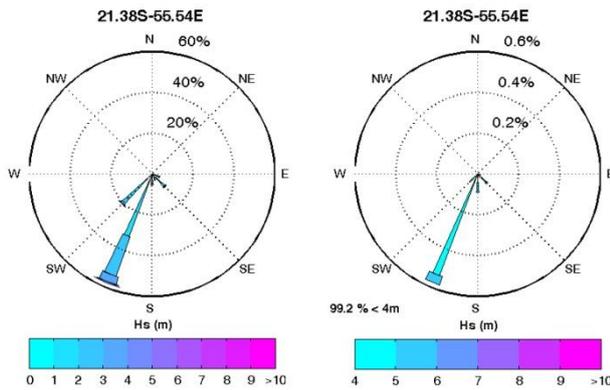
Etat		Etat Environnemental Provisoire – LC08				
		Chimique	Ecologique		Physico-Chimique	
Eléments	Contaminants chimiques	Biologique	Hydromorphologique			
		Phytoplancton			Température	
		Benthos de substrat meuble			Oxygène dissous	ND
		Benthos de substrat dur	ND		Nutriments	ND
					Salinité	NP
					Transparence	
			Polluants spécifiques			

## 8.4.9 LC09 "Saint-Pierre" / Zone récifale - Saint-Pierre



## LC09 "Saint-Pierre" / Zone récifale

## HOULE

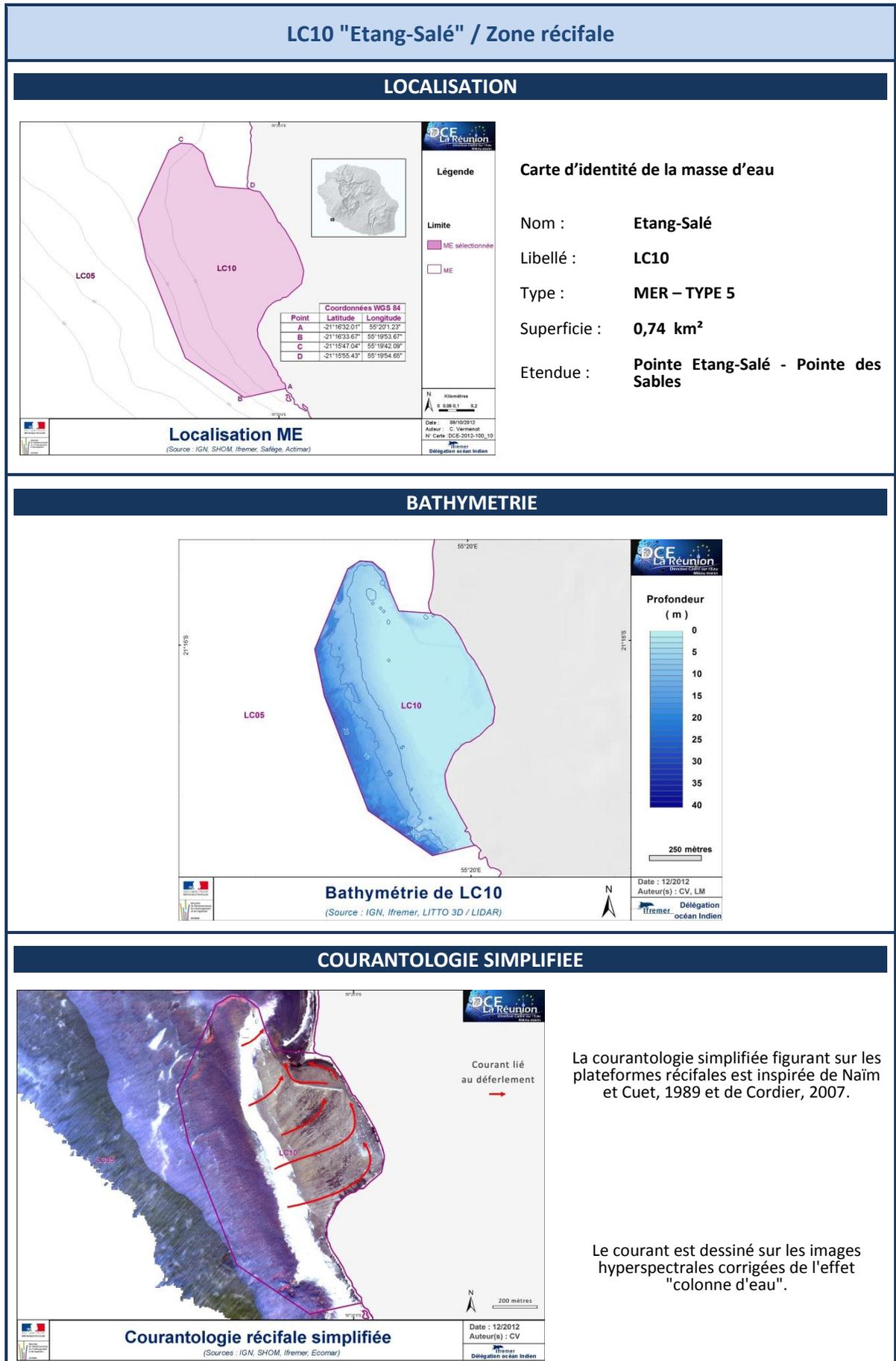


Au droit de la ME LC09, les houles sont de secteurs Sud-Ouest à Sud-Sud-Ouest, et la hauteur peut atteindre 6 m au maximum

Le déferlement et la propagation de la houle, sur un platier récifal, sont estimés être parmi les principales forces mises en jeu dans la circulation au sein des récifs de type frangeants comme à la Réunion (Roberts *et al.*, 1977 et 1981 et Roberts, 1980).

		Etat Environnemental Provisoire – LC09					
Etat	Chimique	Ecologique					
		Biologique	Hydromorphologique	Physico-Chimique			
Eléments	Contaminants chimiques	Phytoplancton	ND		Température	ND	
		Benthos de substrat meuble	ND		Oxygène dissous	ND	
		Benthos de substrat dur			Nutriments	ND	
					Salinité	NP	
			Transparence				
			Polluants spécifiques				

## 8.4.10 LC10 "Etang-Salé" / Zone récifale - Etang-Salé

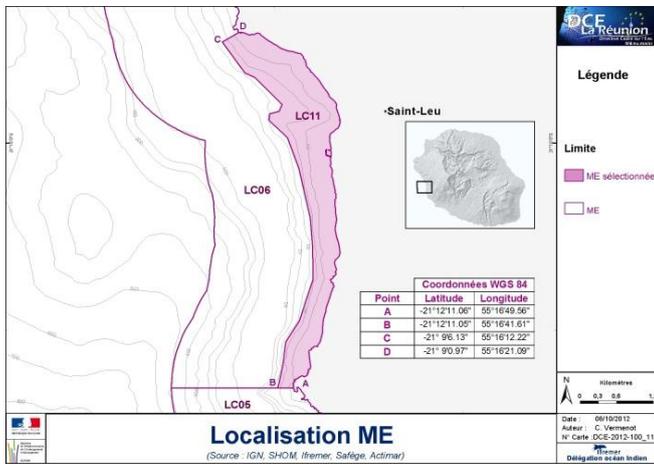


		Etat Environnemental Provisoire – LC10					
		Chimique		Ecologique			
Etat			Biologique	Hydromorphologique		Physico-Chimique	
		Eléments	Contaminants chimiques		Phytoplancton	ND	
			Benthos de substrat meuble	ND	Oxygène dissous	ND	
			Benthos de substrat dur		Nutriments	ND	
					Salinité	NP	
					Transparence		
					Polluants spécifiques		

8.4.11 LC11 "Saint-Leu" / Zone récifale - Saint-Leu

LC11 "Saint-Leu" / Zone récifale

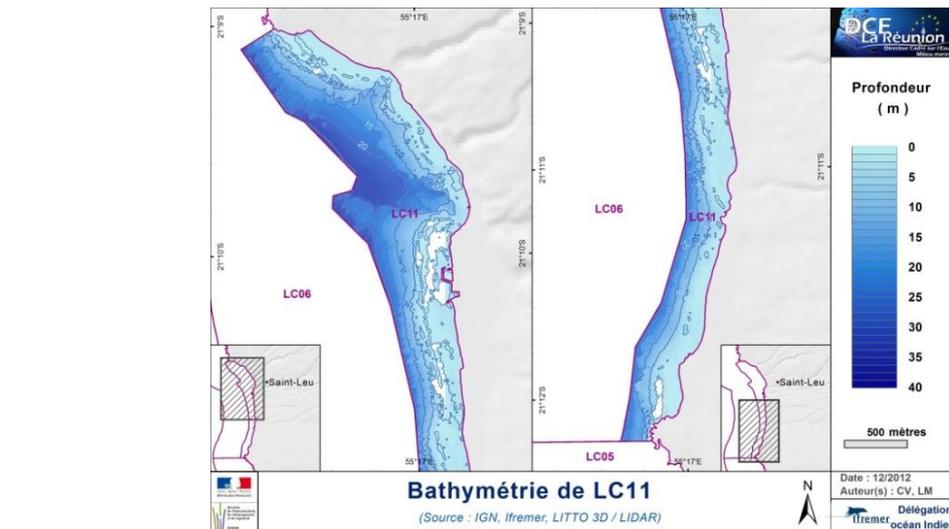
LOCALISATION



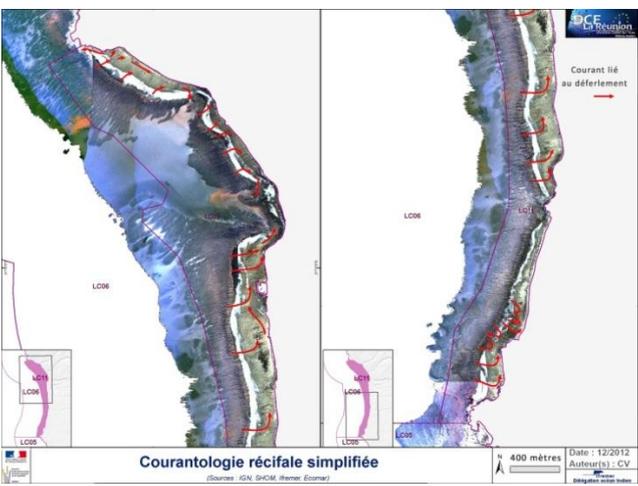
Carte d'identité de la masse d'eau

Nom : **Saint-Leu**  
 Libellé : **LC11**  
 Type : **MER – TYPE 5**  
 Superficie : **3,26 km<sup>2</sup>**  
 Etendue : **Pointe des Châteaux – Pointe au Sel**

BATHYMETRIE



COURANTOLOGIE SIMPLIFIEE

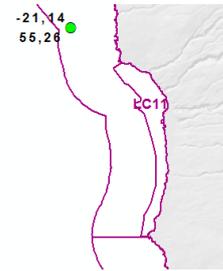
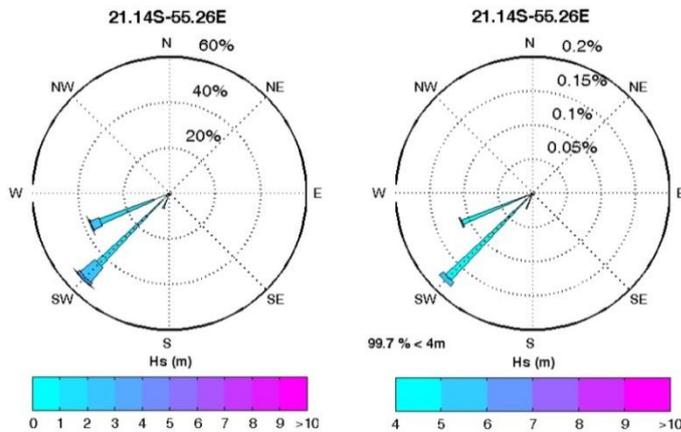


La courantologie simplifiée figurant sur les plateformes récifales est inspirée de Naïm et Cuet, 1989 et de Cordier, 2007.

Le courant est dessiné sur les images hyperspectrales corrigées de l'effet "colonne d'eau".

### LC11 "Saint-Leu" / Zone récifale

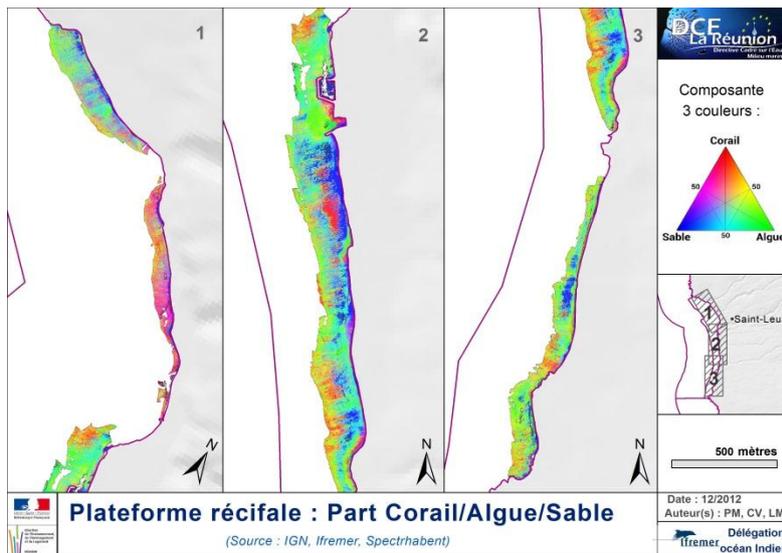
#### HOULE



Au droit de la Masse d'Eau LC11 les houles sont orientées de secteur Sud-Ouest à Ouest-Sud-Ouest, et la hauteur maximale est inférieure à 6m.

Le déferlement et la propagation de la houle, sur un platier récifal, sont estimés être parmi les principales forces mises en jeu dans la circulation au sein des récifs de type frangeants comme à la Réunion (Roberts *et al.*, 1977 et 1981 et Roberts, 1980).

#### COMPOSANTES ALGUES / CORAIL / SABLE SUR LA PLATEFORME



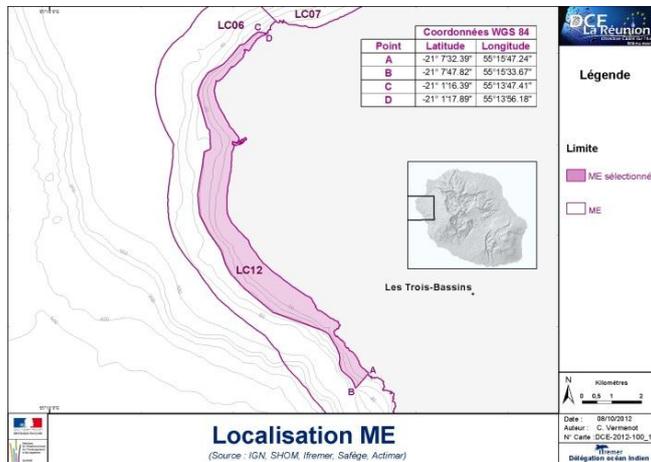
Synthèse composite des recouvrements en sable, corail et algues à partir de la signature spectrale intra-pixellaire (40 cm de résolution)

Etat		Etat Environnemental Provisoire – LC11				
		Chimique		Ecologique		
Eléments	Contaminants chimiques	Biologique		Hydromorphologique	Physico-Chimique	
		Phytoplancton	ND		Température	ND
		Benthos de substrat meuble	ND		Oxygène dissous	ND
		Benthos de substrat dur			Nutriments	ND
					Salinité	NP
					Transparence	
		Polluants spécifiques				

## 8.4.12 LC12 "Saint-Gilles" / Zone récifale - Saint-Gilles

## LC12 "Saint-Gilles" / Zone récifale

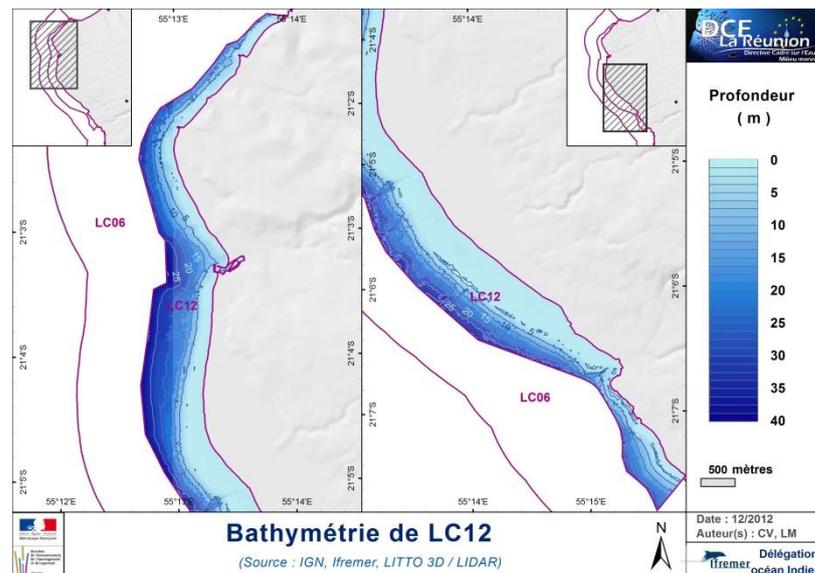
## LOCALISATION



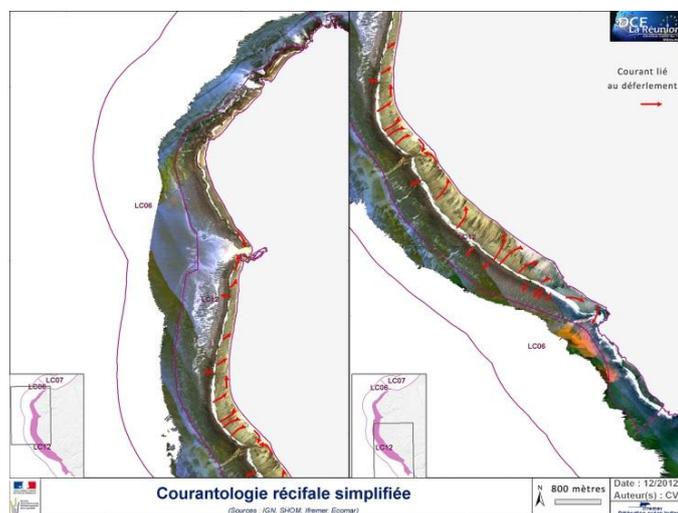
## Carte d'identité de la masse d'eau

Nom : Saint-Gilles  
 Libellé : LC12  
 Type : MER - TYPE 5  
 Superficie : 9,91 km<sup>2</sup>  
 Etendue : Souris-Blanche - Maharani

## BATHYMETRIE

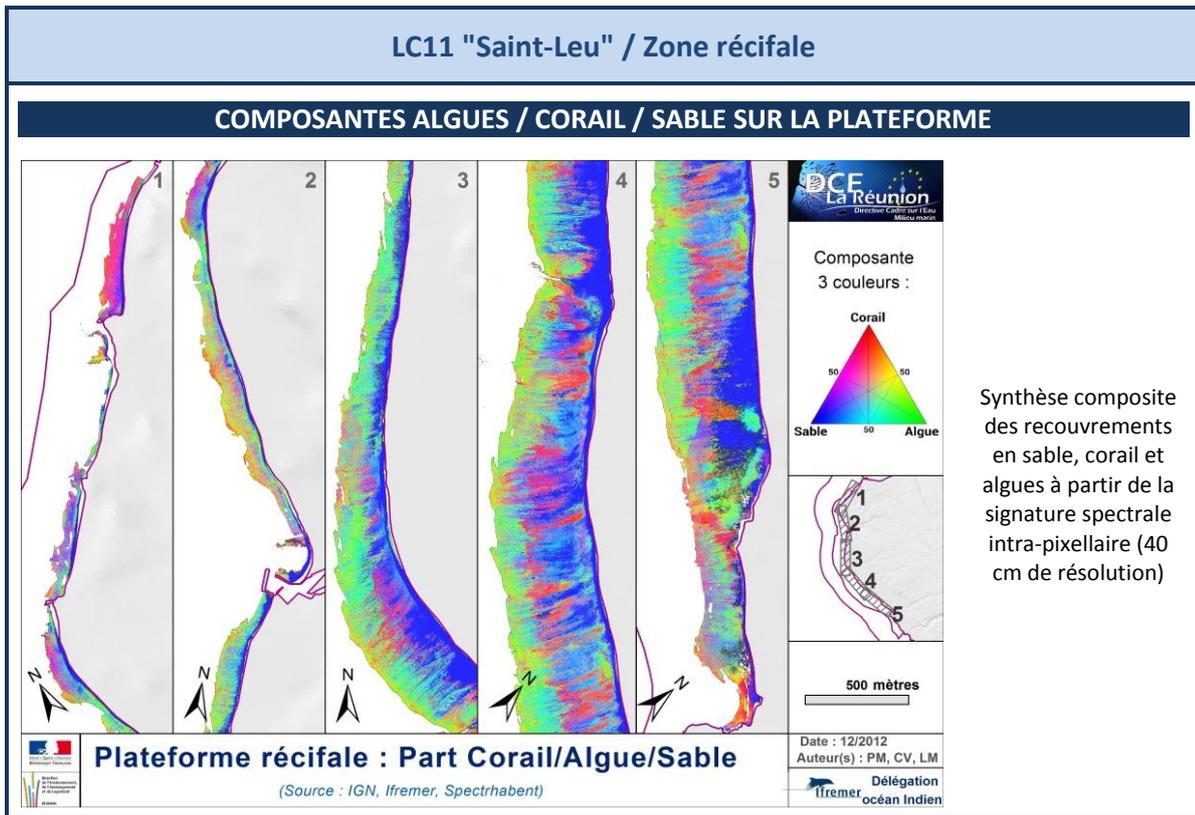


## COURANTOLOGIE SIMPLIFIEE



La courantologie simplifiée figurant sur les plateformes récifales est inspirée de Naïm et Cuet, 1989 et de Cordier, 2007.

Le courant est dessiné sur les images hyperspectrales corrigées de l'effet "colonne d'eau".

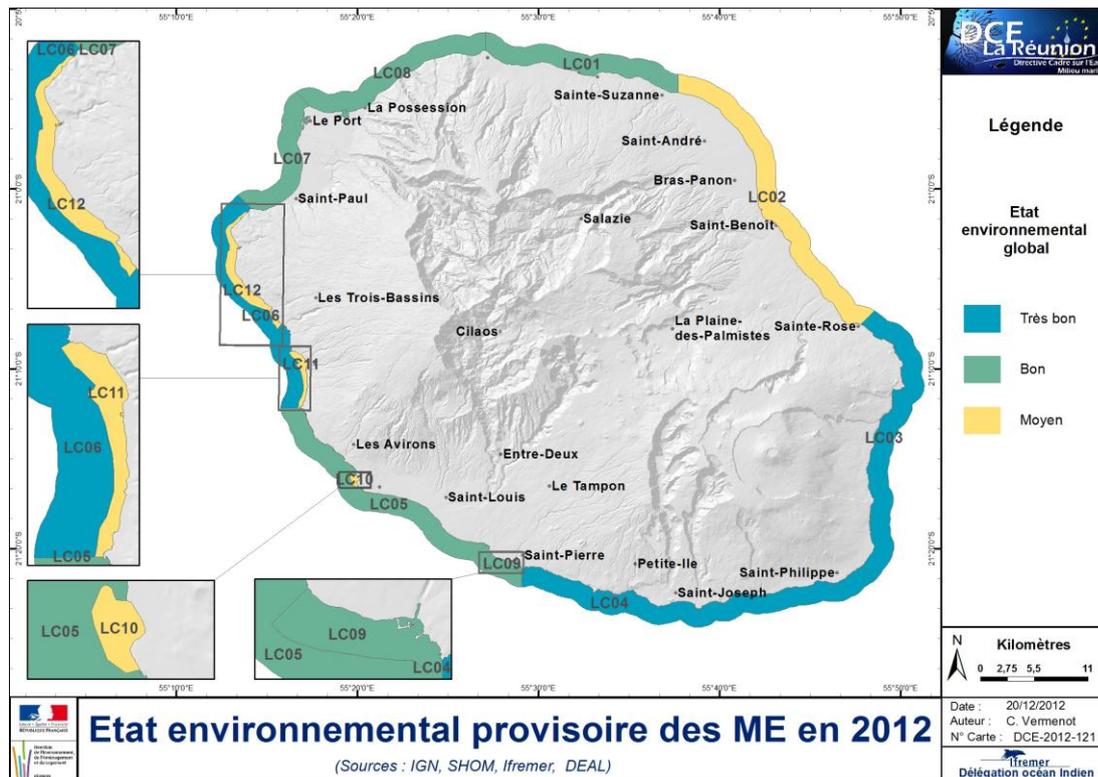


Etat		Etat Environnemental Provisoire – LC12					
		Chimique		Ecologique			
Eléments	Contaminants chimiques	Biologique		Hydromorphologique		Physico-Chimique	
		Phytoplancton	ND			Température	ND
		Benthos de substrat meuble	ND			Oxygène dissous	ND
		Benthos de substrat dur				Nutriments	ND
						Salinité	NP
						Transparence	
					Polluants spécifiques		

## 8.5 Synthèse globale Réunion

Masses d'eau	Nom	Limites	Environnemental						
			<= plus déclassant des 2	1/Chimique	2/Écologique				
				<= agrégation des 3	1/ Hydromorphologique	2/ Biologique	3/ Physico-Chimique		
LC01	Saint-Denis	Barachois - Sainte-Suzanne							
LC02	Saint-Benoit	Sainte-Suzanne - Sainte-Rose							
LC03	Volcan	Sainte-Rose - La Porte							
LC04	Saint-Joseph	La Porte - Pointe du Parc							
LC05	Saint-Louis	Pointe du Parc - Pointe au Sel							
LC06	Ouest	Pointe au Sel - Cap La Houssaye							
LC07	Saint-Paul	Cap La Houssaye - Pointe des Galets							
LC08	Le Port	Pointe des Galets - Barachois							
LC09	Saint-Pierre	Zone récifale - Saint-Pierre							
LC10	Etang-Salé	Zone récifale - Etang-Salé							
LC11	Saint-Leu	Zone récifale - Saint-Leu							
LC12	Saint-Gilles	Zone récifale - Saint-Gilles							

(Sources: Etat Ecologique : simulation des indicateurs de 2006 à 2011 ; données substrats meubles : projet Cartomar 2008 ; données phytoplancton et physico-chimiques :Données historiques du RHLR bancarisées sous Q<sup>2</sup> et en cours de bancarisation pour la période 2006 à 2011).



Carte 48 : Proposition de réactualisation de l'état des ME littorales

A ce jour et à titre provisoire, car c'est le Comité de Bassin qui validera l'actualisation de l'état des lieux, nous pouvons conclure que :

- 3 ME côtières sont en "très bon état" : LC03 (type 2), LC04 (type 3) et LC06 (type 4),
- 4 ME côtières sont en "bon état" : LC05 (type 4), LC01, LC07 et LC08 (toutes de type 1),
- 1 ME côtière sont en "état moyen" : LC02 (type 2),
- 1 MEC de type récifal est en "bon état" : LC09 (type 5),
- 3 MEC de type récifal sont en "état moyen" : LC10, LC11 et LC12 (toutes de type 5).

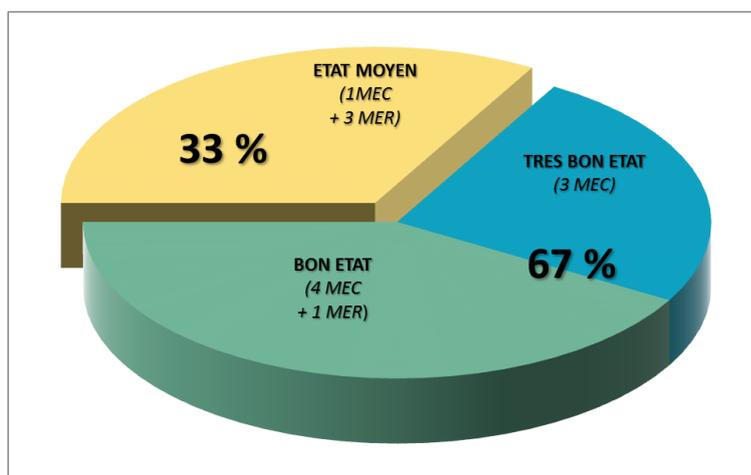


Figure 34 : proposition de bilan de l'état des lieux pour les masses d'eau littorales réunionnaises.

Huit masses d'eau Littorales sur 12 (67 %) peuvent être considérées comme ayant atteint le bon état écologique en 2012 à La Réunion.

## 9 Conclusion et perspectives

La Réunion est l'un des 34 "hot spots" de la biodiversité mondiale et l'un des 10 "hot spots" de la biodiversité marine, avec un taux d'endémisme supérieur à 50%. L'inventaire de la biodiversité marine récifale (Bourmaud, 2005) a dressé la liste des espèces présentes sur les récifs réunionnais, qui comprend, entre autres : 858 espèces de poisson osseux, 459 espèces de cnidaires, dont 148 espèces de coraux constructeurs de récifs (coraux durs), 2 500 de Mollusques, 61 d'Echinodermes, 181 de végétaux. La croissance démographique importante et rapide sur l'île de La Réunion a entraîné une augmentation des pressions s'exerçant sur ce territoire exigu : surfréquentation, pollutions domestique, terrigène (érosion et mauvaise gestion des bassins versants), agricoles et industrielles. Ces pollutions sont parmi les menaces majeures qui pèsent sur les eaux côtières de La Réunion.

Dans ce contexte, la gestion de l'eau au sens large constitue un enjeu majeur dans le but d'apaiser les conflits d'usage liés au partage de la ressource (qui se dégrade du fait des activités humaines : pollutions, destructions des milieux aquatiques, des zones humides...) et de garantir la protection et la préservation des milieux aquatiques. C'est ce constat partagé qui est à l'origine de l'adoption par l'Union Européenne de la Directive Cadre sur l'Eau en 2000 et de sa déclinaison aujourd'hui à La Réunion. Cette démarche repose sur l'élaboration d'un plan de gestion et d'un programme de mesures destinés à fixer des objectifs environnementaux de bon état des masses d'eaux littorales tout en définissant les mesures à mettre en œuvre pour remplir ces objectifs. A La Réunion, comme partout ailleurs, le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE), coordonné par le Comité de Bassin Réunion, porte ce plan de gestion inscrit dans la DCE.

Le travail présenté dans ce document est le fruit de nombreuses années d'efforts des acteurs Réunionnais de l'environnement littoral, initiés, soutenus et encouragés par les services de l'Etat et des collectivités territoriales dans un contexte d'urgence vis-à-vis des échéances réglementaires qui imposaient de répondre aux exigences de la DCE avant la fin du plan de gestion en cours (2010-2015). La mise en œuvre des Groupes de Travail DCE réunionnais (GT DCE), en 2010, fut une étape déterminante. Elle a permis de mobiliser et de fédérer, avec succès, une partie importante de la communauté scientifique et des gestionnaires de La Réunion. Les expériences, les compétences et les expertises ont été largement partagées au sein de ces GT DCE dans le but d'intégrer le maximum de connaissance, des plus anciennes aux plus récentes (et parfois même encore en cours d'acquisition), pour apporter les réponses aux attentes de la Directive. Ce travail n'a pas été aisé. Si pour certains domaines (hydrologie, phytoplancton, contaminants, benthos de substrats meubles) les membres des GT ont pu bénéficier de l'expérience acquise en métropole pour adapter les outils existants au contexte régional, la présence des Masses d'Eau Récifales (MER), et des écosystèmes coralliens associés, ne disposaient d'aucun équivalent ailleurs. Pour ces milieux, qui n'étaient même pas identifiés en tant que tel dans la DCE, tout restait à définir et/ou à inventer, tant sur le plan des outils supports pour l'évaluation de l'état des lieux que des moyens à mettre en œuvre dans le cadre du Contrôle de la Surveillance. Malgré cette contrainte, tous les efforts nécessaires ont été déployés pour être en mesure de répondre de manière cohérente et efficace aux attentes de la Directive Cadre sur l'Eau pour le milieu marin à La Réunion.

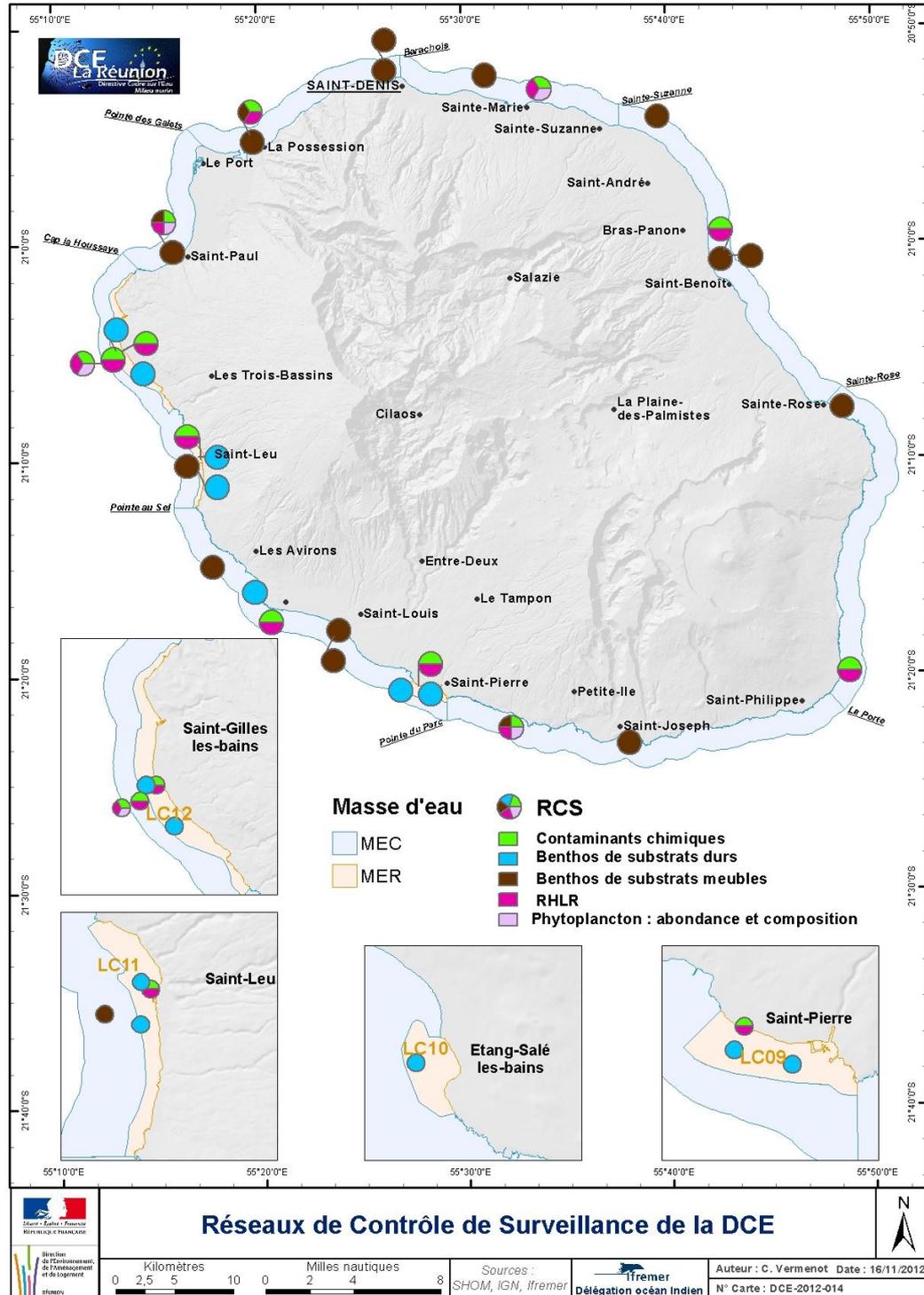
L'ampleur de la tâche et des objectifs fixés a nécessité un important travail de coordination qui a été confié à la Cellule Environnement de la Délégation Ifremer océan Indien. Dans le

cadre de cette mission il a été nécessaire d'organiser le travail selon plusieurs axes que les limites des échéances, réduites à 3 ans, ont contraint à mener parfois de front :

- **Evaluation de la pertinence du découpage des masses d'eau littorales pour la DCE.** Les limites, définies à dire d'expert en 2004 (Lazure, 2004), ont pu être réévaluées en regard des données acquises depuis, et plus particulièrement celles produites dans le cadre de la mise en œuvre de la plateforme de modélisation hydrodynamique HYDRORUN. Ce travail a permis de confirmer la pertinence de certaines frontières existantes, tout en proposant des ajustements dans le sens d'une amélioration de la cohérence et de l'homogénéité des masses d'eau littorales pour la DCE. Ce nouveau découpage a été présenté le 18 décembre 2012 au Comité de Bassin Réunion pour être retenu comme nouveau référentiel DCE.
- **Identifier, centraliser et bancariser les données déjà acquises, pertinentes et utiles pour la DCE.** Cette tâche a été la première à être mise en œuvre. Elle s'est largement appuyée sur l'expertise des GT DCE dans tous les domaines concernés et a permis, dès 2011 d'initier la bancarisation des données sous Quadrige<sup>2</sup>, dans un format compatible avec les SI Etat comme la DCE l'exige. La principale difficulté résidait dans la récupération et la standardisation des métadonnées associées, étape fondamentale pour permettre une bancarisation de données validées et qualifiées dans le respect des règles d'interopérabilité du SIE.
- **Retenir les paramètres et définir les métriques permettant d'élaborer des indicateurs d'état des masses d'eau.** Principal objectif fixé par les GT DCE Experts, il s'agissait, en s'appuyant sur les données existantes et celles en cours d'acquisition, d'identifier les paramètres et les métriques les plus pertinents susceptibles de servir de support aux indicateurs d'état de santé exigés par la DCE. Dans les 4 domaines retenus comme support de l'évaluation de l'état des lieux (hydrologie et phytoplancton, contaminants chimiques, benthos de substrats meubles et benthos de substrats durs) l'objectif a été atteint. Une série de paramètres, associés à des métriques, ont été proposés. Ils ont permis de définir des indicateurs adaptés au contexte réunionnais. Dans la perspective d'une mise en œuvre opérationnelle pour le prochain plan de gestion (2016-2021), ils ont été intégrés dans les dernières campagnes des RCS du plan de gestion en cours (2010-2015) et ont d'ores et déjà été exploités pour la révision en cours.
- **Définir les réseaux pérennes de suivi - Réseaux de Contrôle de Surveillance (RCS).** Cette seconde tâche importante confiée aux GT DCE avait pour objectif de préciser les modes opératoires de la mise en œuvre des 4 RCS DCE pour le milieu marin à La Réunion (choix des protocoles de prélèvement et d'analyse, choix des paramètres et des matrices, positions des stations, fréquences et périodicité des suivis...). Ce travail a permis de produire 4 fascicules techniques ayant vocation à servir de guide pratique pour la mise en œuvre des RCS à La Réunion. Complémentaires du présent rapport, ces fascicules s'en distinguent par leur caractère évolutif. Au terme de chaque campagne DCE d'acquisition de données, ils seront susceptibles d'intégrer le retour d'expérience des opérateurs des RCS pour être réactualisés afin de conserver leur caractère de document de spécifications techniques pour la conduite des réseaux au fil des ans.
- **Proposer une réactualisation de l'état des lieux des masses d'eaux littorales à La Réunion.** S'appuyant sur l'ensemble des actions précitées, une synthèse globale a pu être réalisée à travers une série de fiches dédiées à chacune des masses d'eau littorales de La Réunion. Ce bilan préfigure la proposition qui sera faite au Comité de

Bassin fin 2013 pour adoption/validation en tant qu'état des lieux de référence pour le milieu marin d'ici l'échéance du prochain plan de gestion (2016-2021).

Au terme de ce travail, 4 Réseaux de Contrôle de la Surveillance couvrant l'ensemble des 12 masses d'eau littorales (Carte 49) sont proposés.



Carte 49 : Localisation des points de suivis des différents RCS à La Réunion

Si ces 4 RCS peuvent être considérés comme opérationnels aujourd'hui, il n'en demeure pas moins que des améliorations sont envisageables et devront être apportées au fil du prochain

plan de Gestion (2016-2021). La stratégie retenue par les membres des GT DCE repose sur ce principe. Les conditions de première mise en œuvre des RCS pour le milieu marin à La Réunion intègrent un spectre large du point de vue opérationnel. Les années qui viennent vont permettre de mieux préciser l'importance des suivis à conduire pour parfaitement caractériser l'état des masses d'eau et leurs évolutions (révision du nombre de stations, des fréquences ...), ce qui se traduira très vraisemblablement par un allègement des réseaux. Les premiers suivis seront également mis à profit pour évaluer l'intérêt (ou la nécessité) de mettre en œuvre des contrôles complémentaires, opérationnels, additionnels ou d'enquête (à l'image de ce qui est actuellement pressenti pour les plateformes récifales).

Parallèlement, si une attention particulière a été portée à la bancarisation des données ayant servi de support au travail qui vient d'être détaillé, il convient de signaler que l'ensemble des résultats produits ont vocation à être rendus accessibles. Ainsi, toutes les données cartographiques ont été archivées au sein de l'infrastructure de données géographiques Sextant ([www.ifremer.fr/sextant](http://www.ifremer.fr/sextant)) avec la perspective de pouvoir ouvrir ce portail à la diffusion des données. D'autre part, la mise en œuvre d'un Atlas numérique dédié à la DCE à La Réunion est en projet. Cet outil, déjà opérationnel sur plusieurs bassins de métropole, sera adapté au contexte Réunionnais. A terme (2013) il constituera un des outils de valorisation de la DCE à La Réunion.

## 10 Références documentaires

### 10.1 Bibliographie

- ANDRAL B., STANISIERE J.-Y., SAUZADE D., DAMIER E., THEBAULT H., GALGANI F., BOISSERY P. 2004. Monitoring chemical contamination levels in the Mediterranean based on the use of mussel caging. *Marine Pollution Bulletin*, 49(9-10), 704-712.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.05.008>
- ANDRAL B., GONZALEZ J.-L., CUET P., BIGOT L., TURQUET J., NICET J. B. 2010. Caractérisation de l'état de référence biologique des masses d'eau côtières au regard de la directive cadre sur l'eau. RST.DOP/LER-PAC/10-16. 53 p.  
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00028/13914/>
- ANDRAL B., FIANDRINO A., ROQUE D'ORBCASTEL E., PAIRAUD I., GALGANI F., GONZALEZ J.-L., BOUCHOUCHA M. 2012. Partenariat Ifremer – Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse : Recherche – Surveillance – Expertise. 15 années au service de la Méditerranée. RST.ODE/LER-PAC/12-20. 79 p.  
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00116/22711/>
- BALD J., BORJA A., MUXIKA I., FRANCO J. et VALENCIA V., 2005. Assessing reference conditions and physico-chemical status according to the European Water Framework Directive: a case-study from the Basque Country (Northern Spain). *Marine Pollution Bulletin*, 50: 1508-1522.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X05002638>
- BIGOT L., 2006. Les communautés de macrofaune benthique des sédiments côtiers en zone tropicale non récifale : Diversité et réponses aux modifications de l'environnement marin à La Réunion (Océan Indien). Thèse. Université de La Réunion, Discipline : Ecologie Marine.  
[http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/46/81/29/PDF/2006lare0022\\_bigot.pdf](http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/46/81/29/PDF/2006lare0022_bigot.pdf)
- BIGOT L., 2008. Evolution spatio-temporelle de la biodiversité et de la structure des communautés benthiques entre 1998 et 2008 sur les stations sentinelles GCRMN de La Réunion. Rapport ECOMAR pour le compte de APMR 32 p. + annexes.
- BOCQUENE G., GONZALEZ J.-L., CLAISSE D. 2011. Recommandations pour l'adaptation de la surveillance chimique de la dce au contexte des DOM - Rapport final - Convention 2010 - Action 19. Onema, Ref. Convention Onema-Ifremer 2010, 161p.
- BORJA A., FRANCO J. et PEREZ V., 2000. A Marine Biotic Index to Establish the Ecological Quality of Soft-Bottom Benthos Within European Estuarine and Coastal Environments. *Marine Pollution Bulletin*, 12 (4): 1100-1114.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X00000618>
- BORJA A., JOSEFSON A.B., MILES A., MUXIKA I., OLSGARD F., PHILLIPS G., RODRÍGUEZ J. G., RYGG B., (2007). An approach to the intercalibration of benthic ecological status assessment in the North Atlantic ecoregion, according to the European Water Framework Directive, *Mar. Poll. Bull.*, 55: 1–6 42-52,  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.08.018>.

- BOUCHON C., 1981. Quantitative Study of the Scleractinian Coral Communities of a Fringing Reef of Réunion Island (Indian Ocean) *Mar. Ecol. Prog. se. Vol 4* :273-288.  
<http://www.int-res.com/articles/meps/4/m004p273.pdf>
- BOURMAUD C.F, ABOUIDANE A., BOISSIER P., LECLERC E. MIRAULT E., PENNOBER G. 2005. Coastal and Marine biodiversity of La Réunion. *Indian. J. Mar. Sci.* Vol.34(1). pp. 98-103  
[http://www.researchgate.net/publication/228511601\\_Coastal\\_and\\_marine\\_biodiversity\\_of\\_La\\_Runion/file/72e7e5180e2632e0ce.pdf](http://www.researchgate.net/publication/228511601_Coastal_and_marine_biodiversity_of_La_Runion/file/72e7e5180e2632e0ce.pdf)
- BRUNO JF., SWEATMAN H., PRECHT WF., SELIG ER. and SCHUTTE VGW., 2009. Assessing evidence of phase shifts from coral to macroalgal dominance on coral reefs. *Ecology* 90(6). Pp. 1478-1484.  
<http://www.esajournals.org/doi/pdf/10.1890/08-1781.1>
- CAMBERT H., GONZALEZ J.-L., ANDRAL B., TURQUET J. 2008. Etude pilote pour la mise en place d'un outil de biomonitoring en milieu marin dans le cadre de la mise en place de la Directive Cadre Eau à La Réunion. Programme MODIOLE (2004-2008). Rapport ARVAM A.104. 91 p.  
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00125/23623/>
- CHABANET P., 1994. Etude des relations entre les *peuplements* benthiques et les peuplements ichtyologiques sur le complexe récifal de Saint-Gilles / La Saline. Île de La Réunion. Thèse de Doctorat, Université de La Réunion. 235 pp + Annexes.
- CHABANET P. et FAURE G., 1995. Interrelations entre les peuplements benthiques et ichtyologiques en milieu corallien *C.R.Acad.Sc. Paris Sciences de la vie*, 317 : 1151-1157.
- CHIFFOLEAU J-F., AUGER D., AVERTY B., BOCQUENE G., ROZUEL E. 2011. Evaluation des valeurs de fonds géochimiques dans l'eau de mer des 4 métaux de l'état chimique DCE. Cas des Départements d'Outre-Mer - Rapport final - Convention 2010 - Action 18.
- CHIFFOLEAU J-F., QUOD J-P., CUET P., LIEUTAUD A., 2005. RNO. Surveillance du Milieu Marin. Travaux du Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin. Le RNO à La Réunion, Bilan de deux ans d'étude préliminaire. Edition 2005. ISBN : 1620 – 1124
- CLAISSE D. 2009. Adaptation de la surveillance chimique pour la DCE conformément à la directive fille 2008/105/CE. Propositions pour l'élaboration de stratégies (2009) - Convention 2009 - Action 13. Onema, Ref. R.INT.DCN-BE/2009.05 Convention Onema / Ifremer 2009 (Action n° 13), 32p.
- CONAND F., MARSAC F., TESSIER E. et CONAND C., 2007. A Ten-year Period of Daily Sea Surface Temperature at a Coastal Station in Reunion Island, Indian Ocean (July 1993 – April 2004): Patterns of Variability and Biological Responses. *Western Indian Ocean J. Mar. Sci.* Vol. 6, No. 1, pp. 1–16  
<http://vieocean.free.fr/articles/temperature.pdf>
- CORDIER E., 2007. Dynamique hydrosédimentaire du récif frangeant de l'Hermitage / La Saline (La Réunion): Processus physiques et flux sédimentaires. Thèse de doctorat de l'Université de La Réunion, océanographie physique et sédimentologie. Juin 2007. 209p.  
<http://hal.inria.fr/docs/00/32/11/80/PDF/These-Cordier-2007.pdf>
- COSSA D., ABARNOU A., ANDRAL B., BOUGRIER S., BUESTEL D., CLAISSE D., HATT P.-J., STANISIERE J.-Y. 1998. Compte-rendu et recommandations de l'atelier RINBIO tenu

au Centre de Nantes les 19 et 20 janvier 1997 - De l'usage de la méthode des transplants de moule pour le suivi de la contamination chimique le long des côtes méditerranéennes françaises.

<http://archimer.ifremer.fr/doc/00086/19715/>

CUET P., NAÏM O., FAURE G. et CONAN J-Y., 1988. Nutrient-rich groundwater impact on benthic communities of a Saline fringing reef (Reunion Island, Indian Ocean): preliminary results. Proc. 6th Int. Coral Reef Symp., Townsville, August 8-12: 207-212.

CUET P., TURQUET J., CHIFFOLLEAU J-F., 2006. Phase pilote d'extension du RNO à La Réunion : résultats des trois années de suivi (2002-2005). Rapport Arvam/Ecomar A.133. 93 p + annexes

DANIEL A., SOUDANT D., 2009. Evaluation DCE avril 2009 : élément de qualité oxygène. Document général pour l'ensemble des masses d'eaux de la France métropolitaine - Convention 2009 - Action 4. DYNECO/PELAGOS/09.02. 74 p.

DANIEL A., SOUDANT D., 2010. Évaluation DCE mai 2010 : Élément de qualité : nutriments. Document général pour les masses d'eaux de la France métropolitaine, hors lagunes méditerranéennes - Convention 2009 - Action 4. Onema, Ref. DYNECO/PELAGOS/10.03, 100p.

<http://archimer.ifremer.fr/doc/00019/12991/>

DANIEL A., SOUDANT D., 2011(a). Evaluation DCE février 2011 - Elément de qualité : salinité - Convention 2010 - Action 7. Onema, Ref. Convention Onema-Ifremer 2010, 108p.

DANIEL A., SOUDANT D., 2011(b). Evaluation DCE février 2011 Elément de qualité : transparence. Onema, Ref. Convention Onema-Ifremer 2010, 132p.

FAURE G., 1982. Recherches sur les peuplements de Scléactinaires des Récifs Coralliens de l'Archipel des Mascareignes. Thèse Doct. es Sci. Marseille : Vol I Ecologie 205pp, Biblio. Planches ; Vol II Systématique 246 p.

FAURE G., 2009. Biodiversité des Scléactinaires sur les platiers de La Saline (La Réunion) Rapport Réserve Marine La Réunion; Rapport 16p.

FAURE G., 2010(a). Biodiversité des Scléactinaires de St Leu (La Réunion) Rapport Réserve Marine La Réunion ; Rapport 33p.

FAURE G., 2010(b). Biodiversité des Scléactinaires sur la pente externe de La Saline (La Réunion) Rapport Réserve Marine La Réunion ; Rapport 31p.

GABRIE, 1984. L'érosion des plages balnéaires à La Réunion. Lab. Géol. Université de La Réunion. 62 p.

GAILHARD-ROCHER I., ARTIGAS. L.P., DANIEL A., 2012. Traitement des données phytoplanctoniques et pigmentaires disponibles dans les DOMs. Analyse complémentaire des nouvelles données acquises et proposition de nouvelles acquisitions et approches complémentaires. – Partenariat 2011 ONEMA Ifremer – Livrables 1, 2 et 3

GIEC, 2007: Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. GIEC, Genève, Suisse, 103 pages

[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/syr/fr/frontmatter.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/fr/frontmatter.html)

- GLEMAREC M. et HILY C., 1981. Perturbations apportées à la macrofaune benthique de la baie de Concarneau par les effluents urbains et portuaires. *Acta Oecologica, Oecologia Applicata*, 2 (2): 139 - 150.
- GONZALEZ J-L., TAPIE N., BUDZINSKI H., GUYOMARCH J., CRENN V., BRETAUDEAU-SANJUAN J. 2009(a). Première évaluation des niveaux de contamination chimique des eaux littorales guyanaises dans le cadre de la préparation du volet "chimie" du contrôle de surveillance DCE - campagne Novembre 2008. Rapport final, Convention IFREMER / DIREN Guyane contrat n° 07/5 210 962/F, 42p.  
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00035/14623/>
- GONZALEZ J-L., TURQUET J., CAMBERT H., BUDZINSKI H., TAPIE N., GUYOMARCH J. et ANDRAL B. 2009(b). Mise en place d'échantillonneurs passifs pour la caractérisation de la contamination chimique des masses d'eau côtières réunionnaises: Campagnes Octobre 2008, Février 2009, PROJET PEPS La Réunion (Pré étude: Echantillonnage Passif pour la Surveillance de la contamination chimique), Rapport d'avancement. Juin 2009. 21p.  
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00020/13170/>
- GONZALEZ J-L., TURQUET J., CAMBERT H., BUDZINSKI H., TAPIE N., GUYOMARCH J. et ANDRAL B. 2009(c) PROJET PEPS La Réunion (Pré étude: Echantillonnage Passif pour la Surveillance de la contamination chimique) : Mise en place d'échantillonneurs passifs pour la caractérisation de la contamination chimique des masses d'eau côtières réunionnaises. Rapport final, Convention IFREMER / DIREN n°07/1216859/TF. Novembre 2009. 89p  
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00020/13170/10228.pdf>
- GONZALEZ J-L, GUYOMARCH J., TAPIE N., MUNARON D., BUDZINSKI H., TURQUET J., CAMBERT H., ANDRAL B., BOISSERY P. 2009(d) Evaluation of chemical contamination of marine waters: "large scale" application of the DGT technique. Conference on DGT and the Environment, Sardinia, Italy , 7th to 9th October 2009.
- GONZALEZ J-L., TAPIE N., MUNARON D., BUDZINSKI H. 2009(e). PROJET PEPS Méditerranée (Pré étude: Echantillonnage Passif pour la Surveillance de la contamination chimique). Rapport Convention Cadre Ifremer / AERM&C Utilisation échantillonneurs passifs – Méditerranée - Contrat n° 08/3211080/F, 90p.  
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00020/13168/>
- GONZALEZ J-L, GUYOMARCH J., TAPIE N., MUNARON D., BUDZINSKI H., ANDRAL B., BOISSERY P. 2010(a) .Utilisation des échantillonneurs passif pour l'évaluation de la contamination chimique des eaux marines: application à la Méditerranée française. 39th CIESM Congress, Venice, 10-14 May 2010  
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00085/19601/>
- GONZALEZ J.-L., MUNARON D., ANDRAL B., SARGIAN P., TOMASINO C., GUYOMARCH J., VAN GANSE S. 2011. Campagne DCE 2009 : Utilisation des échantillonneurs passifs (DGT, POCIS, SBSE) pour l'évaluation au titre de la DCE de l'état chimique des eaux côtières méditerranéennes. RST/ODE/LER-PAC/11-04. 52p.  
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00035/14620/>
- GONZALEZ J-L., TAPIE N., GUYOMARCH J., BUDZINSKI H. 2012(a). PROJET PEPS Guyane - Evaluation de la contamination chimique des eaux guyanaises par les techniques d'échantillonnage passif: Application et soutien à la mise en place de la DCE. Campagne Juillet 2010 (Période Humide). Convention IRD/Ifremer 2010, Mars 2012 –

- RST.RBE/BE/CM/2012-02/TOULON, 29 p.  
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00071/18206/>
- GONZALEZ J-L., TAPIE N., GUYOMARCH J., BUDZINSKI H., VAN GANSE S., LUGLIA M. 2012(b). PROJET PEPS Guyane - Evaluation de la contamination chimique des eaux guyanaises par les techniques d'échantillonnage passif: Application et soutien à la mise en place de la DCE. Campagne Octobre 2009. Convention IRD/IFREMER N° réf 10/1218624/F, Mars 2012 – RST.RBE/BE/CM/2012-01/TOULON, 70p.  
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00071/18206/>
- GONZALEZ J-L., TAPIE N., GUYOMARCH J., BUDZINSKI H. 2012(c). PROJET PEPS Guyane - Evaluation de la contamination chimique des eaux guyanaises par les techniques d'échantillonnage passif: Application et soutien à la mise en place de la DCE. Campagnes Juillet et Novembre 2010. Convention IRD / Ifremer 2010, 45 p.  
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00134/24497/>
- GUENNOC.P., VILLAIN.C., THINON.I., LE ROY M. (2008). Cartographie morphosédimentologique des fonds marins côtiers de La Réunion (« Cartomar »). Rapport BRGM/RP-56579-FR – 43p.
- HILL J. et WILKINSON C., 2004. Methods for Ecological Monitoring of Coral Reefs. Version 1. ISBN 0 642 322 376. Australian Institute of Marine science Eds. 123p.  
[http://194.59.188.239/pdf/Methods\\_Ecological\\_Monitoring.pdf](http://194.59.188.239/pdf/Methods_Ecological_Monitoring.pdf)
- HILY C., 1984. Variabilité de la macrofaune benthique dans les milieux hypertrophiques de la Rade de Brest. Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Bretagne Occidentale. Vol. 1: 359 pp., Vol. 2: 337 pp.
- IFREMER, 2009. Evaluation DCE avril 2009 : élément de qualité température. Document général pour l'ensemble des masses d'eaux de la France métropolitaine - Convention 2009 - Action 4.
- IFREMER/DYNECO, 2005. Recommandations pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE. Recommandation concernant le benthos marin. 26 p + annexes.
- LAZURE P., 2004. Délimitation des masses d'eaux naturelles dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) : Applications aux eaux marines des Départements d'Outre-Mer : Guadeloupe, Martinique, Guyane, Réunion. RST/DEL/AO n° 04-2004. 27 p.
- LE BERRE I., LOUZE J., DAVID L., 2012 – Atlas de sensibilité du littoral aux pollutions marines, Dispositif opérationnel ORSEC départemental de La Réunion. Annexe technique du dispositif spécifique Polmar-Terre. LETG-Brest Géomer / DEAL de La Réunion / IFREMER. 62 p.  
[http://www.ifremer.fr/sextant/fr/web/polmar\\_reunion/](http://www.ifremer.fr/sextant/fr/web/polmar_reunion/)
- LE GOFF R., ROPERT M. (Coord.), et BAJJOUK T., BEIN A., CAMBERT H., CAUVIN B., CEBEILLAC A., CUET P., A., DUVAL M., MAUREL L., MOUQUET P., NICET J.B., POPULUS J., POTHIN, K., QUOD J.P., TALEC P., TURQUET J., VERMENOT C., ZUBIA M. 2012. Projet Bio-Indication à La Réunion : définition d'indicateurs adaptés aux récifs coralliens de La Réunion. Rapport Final 2012. Conventions Onema/Ifremer de 2009 à 2012. RST-DOI 2012-16. 123p.
- MAZZELLA N., COQUERY M., MIÈGE C., BERHO C., GHESTEM J.-P., TOGOLA A., GONZALEZ J.-L., TIXIER C., LARDY-FONTAN S. 2011. Applicabilité des échantillonneurs passifs dans le cadre de la DCE. Irstea, 80 p.

- METEO-FRANCE, 2011. Atlas Climatique de La Réunion. ISBN 978-2-11-128623-8.
- MONTAGGIONI L. & FAURE G., 1980. Les Récifs Coralliens des Mascareignes : Océan Indien. Collection des travaux du centre universitaire. Université de La Réunion. ISSN 0337-100X. 143p
- MUNARON D., TAPIE N., BUDZINSKI H., ANDRAL B., and GONZALEZ J.-L. 2012. Pharmaceuticals, Alkylphenols And Pesticides In Mediterranean Coastal Waters : Results From A Pilot Survey Using Passive Samplers. Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 114. p. 82-92.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2011.09.009>
- NAIM O., 1993. Seasonal responses of a fringing reef community to eutrophication (Reunion island, Western Indian ocean). Mar. Ecol. Progr. Ser. 99: 307-315.  
<http://www.int-res.com/articles/meps/99/m099p137.pdf>
- NAÏM O., CUET P. et MANGAR V., 2000. The Mascarene Islands. In: Coral reefs of the Indian Ocean: their ecology and conservation. T. McClanahan, Sheppard & Obura (eds), Oxford University Press, pp 353-381.  
<http://books.google.fr/books?id=NDtCISiFS8IC&printsec=frontcover&hl=fr#v=twopage&q&f=false>
- ONEMA, 2012. Compte-rendu Atelier indicateurs benthiques DCE (récifs coralliens et phanérogames) dans les DOM. 18 p + annexes.
- POTHIER A., 2013. Reprise automatique des données Invertébrés benthiques dans Quadrigé<sup>2</sup>/ Mode d'emploi pour l'élaboration et l'intégration du fichier EXCEL. Données Macrofaune (IM-SM). 25p.  
[http://www.ifremer.fr/quadrige2\\_support/content/download/71673/935573/file/Consignes\\_Reprise\\_REBENT\\_Taxons\\_Macrofaune\\_IM\\_SM.pdf](http://www.ifremer.fr/quadrige2_support/content/download/71673/935573/file/Consignes_Reprise_REBENT_Taxons_Macrofaune_IM_SM.pdf)
- ROSA R., SEIBEL B.A., 2011. "Synergistic effects of climate-related variables suggest future physiological impairment in a top oceanic", PNAS, vol. 105, n°52, 2008, pp. 20776-20780. Cité dans Etudes et Documents / Impacts à long terme du changement climatique sur le littoral métropolitain – Commissariat général au développement durable- n°55 Octobre 2011  
<http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ED55.pdf>
- SCOPELITIS J., ANDREFOUËT S., PHINN S., CHABANET P., NAÏM O., TOURRAND C. et DONE T., 2009. Changes of coral communities over 35 years : Integrating *in situ* and remote-sensing data on Saint-Leu Reef (La Réunion, Indian Ocean). Estuarine, Coastal and Shelf Science 84 : 342-352.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771409002066>
- SEMPLÉ R., 1997. Algal growth on two sections of a fringing coral reef subject to different levels of eutrophication in Reunion Island. *Oceanologica Acta* 20: 851-861.  
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00093/20468/18140.pdf>
- SHOM, 2011. Références Altimétriques Maritimes, Cotes du zéro hydrographique et niveaux caractéristiques de la marée. 98p.
- TAPIE N., MUNARON D., GONZALEZ J.L., BUDZINSKI H. 2009. Application of POCIS for the monitoring of pesticides, pharmaceuticals and alkylphénols in marine water. SETAC Europe 19th Annual Meeting, Goteborg, 31 may – 4 june 2009.

- TURQUET J., DELESALLE B., DENIS M., BLANCHOT J. 2008(a). Programme PHYTO RUN. Structure et dynamique du Phytoplancton côtier de La Réunion. Résultats de l'étude complémentaire. Rapport ARVAM A.301.38 p.
- TURQUET J., CAMBERT H BIGOT L. 2008(b). Programme CARTOMAR. Propriétés physiques, contaminations, macrofaune benthique. Donnée brutes. CD Rom ARVAM ECOMAR pour le compte de la DIREN Réunion.
- TURQUET J., NICET J-B., CAMBERT H., DENIS Y., GONZALEZ J-L., BIGOT L., GUYOMARCH J., BUDZINSKI H., TAPIE N., JAMON A., PRIBAT B. 2010. Définition des réseaux de surveillance DCE de la qualité des masses d'eau côtières de l'île de Mayotte - Rapport final Tome 1 Synthèse et propositions. N° HASAR091005-2.  
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00035/14621/>
- Zubia M., Cuet P., Nicet J.B., Cambert H., Bein A. et Turquet J., 2012. Définition d'un bio indicateur d'eutrophisation (coraux, algues, invertébrés) pour les récifs coralliens de La Réunion. Rapport final Septembre 2012. Arvam n°10/1218779. 188p.



## 10.2 Textes réglementaires

Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau (JOCE n° L 327 du 22 décembre 2000)

Circulaire DCE 2007/20 du 5 mars 2007 relative à la constitution et la mise en œuvre du programme de surveillance (contrôle de surveillance, contrôles opérationnels, contrôles d'enquête et contrôles additionnels) pour les eaux littorales (eaux de transition et eaux côtières) en application de la directive 2000/60/CE du 23 octobre 2000 du Parlement et du Conseil établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de (NOR : DEVO0700194C)

Directive 2008/105/CE du parlement européen et du conseil du 16 Décembre 2008 établissant des normes de qualité environnementale dans le domaine de l'eau, modifiant et abrogeant les directives du Conseil 82/176/CEE, 83/153/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE, 86/280/CEE et modifiant la directive 2000/60/CE. (JOUE n° L 348 du 24 décembre 2008)

Arrêté du 25 Janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement (NOR : DEVO1001031A)

Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R.212-11 et R.212-18 du Code de l'Environnement (NOR : DEVO1001032A)

Arrêté du 28 juillet 2011 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R.212-11 et R.212-18 du Code de l'Environnement (NOR : DEVL1117913A)

Arrêté du 29 Juillet 2011 modifiant l'arrêté du 25 Janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement (NOR : DEVL1114000A)

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 (NOR : DEVL1128052A)

Avis du 21 Janvier 2012 relatif aux limites de quantification des couples "paramètre-matrice" de l'agrément des laboratoires effectuant des analyses dans le domaine de l'eau et des milieux aquatiques (NOR : DEVL113786V)



## 11 Table des illustrations

<b>Figures</b>	
Figure 1 : Direction et force du vent par: a. flux E-SE ; b. flux S-E ; c. flux N-E (Source : Météo-France, atlas climatique, 2011) .....	6
Figure 2 : Synthèse du régime des houles à La Réunion (d'après Gabrié, 1984, précisé par les résultats d'HYDRORUN) (P = période ; H = hauteur) .....	13
Figure 3 : Schéma des 4 profils rencontrés autour de La Réunion, profils basés sur la nature du fond, la profondeur et l'exposition aux vagues. ....	21
Figure 4 : Baie de Saint-Leu (fausses couleurs). A gauche, image en réflectance au sol avant correction des effets de la colonne d'eau. A droite, image en réflectance au fond après correction. (Les bancs de sable blancs en bas à gauche de l'image se situent entre 20 et 25m de fond). ....	22
Figure 5 : Superposition des limites adoptées en 2004 sur les images hyperspectrales (gauche) et celles proposées en 2012 dans l'hypothèse où seule la plateforme récifale est prise en compte (droite). (Secteur La Saline – Trois Bassins) .....	33
Figure 6 : Image hyperspectrale après correction de l'effet de la colonne d'eau (à gauche), limite jaune de la masse d'eau récifale de Saint-Leu 2004 (à droite).....	36
Figure 7 : Bathymétrie issue des données Lidar (à gauche), dessin de la nouvelle masse d'eau récifale Saint-Leu (à droite) .....	36
Figure 8 : Eléments de géomorphologie récifale du récif frangeant rencontré à La Réunion (adapté de Montaggioni et Faure (1980) et illustré par les images hyperspectrales), DAR : Dépression d'Arrière-Récif .....	39
Figure 9 : Bancarisation Quadrige <sup>2</sup> dans les systèmes d'information SIEau / SINP / SISMER .....	46
Figure 10 : Schéma de principe de l'intégration des données dans Quadrige <sup>2</sup> .....	47
Figure 11 : Administration par le responsable de programme/stratégie dans Quadrige <sup>2</sup> .....	50
Figure 12 : Bancarisation des résultats/dénombrements dans Quadrige <sup>2</sup> .....	50
Figure 13 : Ecran d'accueil de l'Atlas DCE de La Réunion. ....	54
Figure 14 : Schéma d'évaluation de la qualité d'une masse d'eau imposée par la DCE SP = Substance Prioritaire, SPD = Substance Prioritaire Dangereuse .....	58
Figure 15 : Schéma explicatif de la démarche de création d'un indicateur à partir de paramètres différents, disposant chacun d'une métrique et d'un référentiel propres, ce qui oblige à passer par une normalisation des indices correspondants afin de rendre toutes les métriques lisibles sur une seule et même grille et donc de pouvoir combiner les indices entre eux .....	60
Figure 16 : Règles d'agrégation des éléments de qualité dans la classification de l'état écologique .....	61
Figure 17 : Pertinence du positionnement du point de suivi dans la masse d'eau en fonction de la résiduelle de courant (symbolisée par les flèches bleues) .....	65
Figure 18 : Teneur en Oxygène dissous sur la période 2002-2009 dans les MECs de La Réunion (ligne grisée = absence de données) .....	71
Figure 19 : Enveloppe sinusoïdale de référence définie pour l'indicateur température à La Réunion dans les MEC. Données du RHLR ; températures en ordonnée ; Trait plein rouge = sinusoïde de référence ; pointillés rouges = enveloppe de référence .....	76
Figure 20 : Intégration des indices NID et ERQ Chla (à gauche) pour constituer la grille d'évaluation de l'indicateur NID en métropole (à droite) .....	79
Figure 21 : Vue en coupe d'un dispositif DGT (les proportions ne sont pas respectées) .....	96
Figure 22: Vue éclatée d'un POCIS (Polar Organic Chemical Integrative Sampler) .....	97
Figure 23: Barreau SBSE dans un échantillon d'eau .....	98

Figure 24 : Définition du statut des stations échantillonnées par projection sur l'axe factoriel défini par les conditions de référence (d'après Bald et al., 2005).....	116
Figure 25 : Evolution des "couvertures" coralliennes (—) et algales (—) sur les plateformes récifales et les pentes externes de 4 stations de suivi du GIP RNMR (réparties au sein des 4 MER) entre 1998 et 2011. Longueur d'algues (en vert) et longueur de corail (en orange) observées le long des transects échantillonné. ....	127
Figure 26 : "Vitalité Corallienne" observées sur les plateformes récifales et les pentes externes de 4 stations de suivi du GIP RNMR (réparties au sein des 4 MER) entre 1998 et 2011. Chaque valeur est encadrée par les valeurs minimum et maximum observées entre les 3 transects caractérisant chaque échantillonnage comme illustration de la dimension spatiale de la variabilité. ....	129
Figure 27 : Schéma du déroulement d'un transect LIT.....	130
Figure 28 : Schéma du déroulement du Belt transect.....	131
Figure 29 : Schéma du Quadrat utilisé pour compter les recrutements (Rec.) et estimer le recouvrement en algues (Al.).....	131
Figure 30 : Processus de calcul des indices normalisés permettant de calibrer les valeurs des métriques sur une seule et même grille de lecture pour permettre le calcul de l'indicateur par moyenne pondérée. ....	138
Figure 31 : De gauche à droite, l'image corrigée des effets de la colonne d'eau, l'image des abondances coralliennes, et l'image de l'abondance des herbiers (données à titre d'exemple). (d'après Le Goff et al., 2012).....	142
Figure 32 : Référentiel (grille de lecture et seuils associés) proposé pour le paramètre "vitalité corallienne" recommandé dans le cadre du RCS "Benthos de substrats durs" à La Réunion.....	145
Figure 33 : Calendrier et programme de travail SDAGE 2016-2021.....	152
Figure 34 : proposition de bilan de l'état des lieux pour les masses d'eau littorales réunionnaises.....	198

### Tableau

Tableau 1 : Paramètres à prendre en compte pour le découpage des masses d'eau côtières et le regroupement des masses d'eau en "types". Directive n°2000/60/CE du 23 octobre 2000 ...	3
Tableau 2 : Typologie des Masses d'eau du découpage initial de 2004 .....	4
Tableau 3 : Références altimétriques maritimes disponibles pour La Réunion (Source : SHOM, 2011) ...	8
• Tableau 4 : Hauteur des houles cycloniques (Cordier, 2007) .....	10
Tableau 5 : Caractéristiques et typologies des masses d'eau .....	42
Tableau 6 : Composition des 4 groupes de travail thématiques DCE Réunion .....	43
Tableau 7 : Terminologie Quadrigé <sup>2</sup> .....	48
Tableau 8 : Eléments des états biologiques et chimiques .....	57
Tableau 9 : Termes employés pour la construction des indicateurs .....	59
Tableau 10 : Différentes classes pour l'appréciation de l'état d'une masse d'eau .....	58
Tableau 11 : Paramètres du contrôle de surveillance (en gras : paramètre ajouté par le GT car jugé pertinent compte-tenu des spécificités locales) .....	63
Tableau 12 : Fréquence et périodicité du contrôle de surveillance (en italique : fréquence et périodicité adaptées) .....	66
Tableau 13 : Températures caractéristiques à La Réunion en fonction de la saison et de l'altitude (Source : Météo France / Atlas Climatique de La Réunion 2011) .....	67
Tableau 14 : Grille de qualité pour le paramètre Oxygène dissous .....	72
Tableau 15 : Grille de qualité pour le paramètre Transparence/Turbidité par écotype .....	74
Tableau 16 : Grille de qualité pour le paramètre Température dans les MEC .....	76
Tableau 17 : Grille de qualité pour le paramètre nutriment (NID) en métropole .....	79
Tableau 18 : Paramètres suivis en fonction des indices et du type de Masse d'Eau (ME) en métropole	80
Tableau 19 : Paramètres suivis en fonction des indices et du type de Masse d'Eau (ME) à La Réunion	81
Tableau 20 : Grilles de qualité pour le paramètre Chlorophylle a par écotype (d'après Gailhard-Rocher et al., 2012) .....	82
Tableau 21 : Grilles de qualité retenues en métropole pour l'indice d'abondance phytoplanctonique	84
Tableau 22 : Grille de qualité retenue en métropole pour l'indice de composition phytoplanctonique	84
Tableau 23 : Etat de la bancarisation des données "hydrologie – phytoplancton" au 30/06/2012 .....	87
Tableau 24 : Fréquence et période des suivis des paramètres physico-chimique et phytoplancton .....	88
Tableau 25 : Positionnement des points du suivi "physico-chimique et phytoplancton" .....	88
Tableau 26 : Grilles retenues ou en cours de validation .....	90
Tableau 27 : Simulations DCE (valeur = indice) Calcul de l'indice : Oxygène : Données 2006-2009 / Transparence : Données 2006-2009 / Biomasse : Données 2006-2011 .....	90
Tableau 28 : Classe de l'évaluation de l'état chimique .....	93
Tableau 29 : Classe de l'évaluation de l'état écologique – Polluants spécifiques .....	93
Tableau 30 : Comportement biogéochimique des molécules et matrice(s) optimale(s) (hors sédiment, non pertinent à La Réunion) .....	94
Tableau 31 : Type d'échantillonneur passif suivant le log Kow .....	95
Tableau 32 : Type d'échantillonneur passif par groupe de paramètres .....	95
Tableau 33 : Applicabilité des échantillonneurs passifs .....	99
Tableau 34 : Substances suivies dans le cadre du RCS "contaminants chimiques" .....	102
Tableau 35 : Etat de la bancarisation des données "chimie" au 31/12/2012 .....	110
Tableau 36 : Fréquence et période des suivis des paramètres contaminants chimiques .....	110
Tableau 37 : Positionnement des points du suivi "contaminants chimiques" .....	111
Tableau 38 : Groupes écologiques de pollu-sensibilités différentes (d'après Hily, 1984) .....	115

Tableau 39 : Conditions de référence retenues pour le calcul de la valeur de M-AMBI dans les eaux côtières des masses d'eau métropolitaines, et en bleu celle retenue pour les masses d'eau réunionnaises (d'après Bigot et al., 2008) . La ligne bleu-ciel correspond aux conditions de La Réunion .....	116
Tableau 40 : Limites des 5 classes " DCE " retenues pour l'indicateur M-AMBI en métropole ..... <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
Tableau 41 : Limites des 5 classes " DCE " retenues pour l'indicateur M-AMBI à La Réunion (Bigot et al., 2008) .....	117
Tableau 42 : Etat de la bancarisation des données "benthos de substrat meuble" au 31/12/2012 .....	118
Tableau 43 : Fréquence et période des suivis "benthos de substrat meuble" .....	118
Tableau 44 : Positionnement des points du suivi "benthos de substrat meuble" .....	119
Tableau 45 : Conclusions du GT National quant aux paramètres retenus pour les RCS. Seuls les paramètres grisés font aujourd'hui l'unanimité. En Bleu les paramètres pour lesquels La Réunion dispose de données historiques .....	123
Tableau 46 : Paramètres et métriques retenus pour le suivi des pentes externes, et méthodes correspondantes. Les lignes grisées correspondent aux paramètres déjà suivis. Les méthodes sont décrites dans le paragraphe 7.2.4.1. ....	124
Tableau 47: Paramètres et métriques additionnels retenus pour le suivi des pentes externes, et méthodes correspondantes. Les lignes grisées correspondent aux paramètres déjà suivis	124
Tableau 48 : Evolution des couvertures coralliennes et algales sur les pentes externes des platiers récifaux de La Réunion entre 1980 et 2010. La Saline appartient à la masse d'eau récifale de Saint-Gilles .....	125
Tableau 49: Evolution des couvertures coralliennes et algales sur les platiers récifaux de La Réunion entre 1980 et 2010 .....	125
Tableau 50 : paramètres et métriques retenus par le GT BSD de La Réunion pour élaborer l'indicateur Pentés Externes .....	132
Tableau 51 : Correspondances [Type General] et [Code Benthos] utilisés dans CoReMo dans la saisie et extraction des données, les éléments indispensables pour les calculs sont grisés. ....	133
Tableau 52 : Paramètres, référentiels et pondérations retenus par le GT BSD de La Réunion pour l'élaboration de l'indicateur DCE Benthos de Substrats Durs adapté aux Pentés externes des récifs frangeants de La Réunion.....	139
Tableau 53 : Calcul des statistiques descriptives (proportions Corail, Algues, Sable, Herbiers) extraites des 3 sous-secteurs A, B, C de l'image composite SAC (Carte 43) .....	143
Tableau 54 : Vitalité corallienne exprimée en classes de qualité et surfaces correspondantes au sein du lagon de l'Ermitage/la Saline (emprise de la Carte 45).....	146
Tableau 55 : Etat de la bancarisation des données "benthos de substrat dur" au 30/10/2012.....	147
Tableau 56 : Fréquence et période des suivis "benthos de substrat dur" .....	147
Tableau 57 : Positionnement des points du suivi "benthos de substrats durs" actuellement mises en œuvre par le GIP RNMR .....	148
Tableau 58 : Localisation des secteurs ayant vocation à accueillir 1 stations DCE "benthos de substrats durs" en complément des stations mises en œuvre par le GIP RNMR.....	148
Tableau 59 : récapitulatif synthétiques des 4 réseaux de contrôle de la Surveillance eaux littorales mis en œuvre à La Réunion pour le prochain plan de gestion 2016-2020 .....	153
Tableau 60 : Légende "Qualité" des masses d'eau .....	154

### Cartes

Carte 1 : Présentation de la localisation des Masses d'eau et de leurs typologies tels qu'elles ont été définies en 2004 .....	4
Carte 2 : Modèle Numérique de Terrain bathymétrique (compilation des 6 modèles côtiers à 100 m, HYDRORUN).....	8
Carte 3 : Carte présentant la nature des fonds simplifiée à partir des données acquises en 2008 dans le projet Cartomar .....	9
Carte 4 : Présentation des hauteurs de vagues moyennes (aplat couleur), de leurs directions et fréquences moyennes (taille et orientation des flèches), HYDRORUN .....	11
Carte 5 : Hauteurs maximales des houles modélisées et moyennées sur le trimestre 1 (correspondant aux houles de type cyclonique), HYDRORUN .....	12
Carte 6 : Hauteurs maximales des houles modélisées et moyennées sur le trimestre 3, HYDRORUN ...	12
Carte 7 : Maximum des courants de surface modélisé pour le trimestre 1 (gauche) et pour le trimestre 3 (droite), HYDRORUN .....	15
Carte 8 : Maximum des courants de surface annuels, HYDRORUN .....	15
Carte 9 : Maximum des courants barotrope modélisé pour le trimestre 1 (à gauche) et pour le trimestre 3 (à droite), HYDRORUN .....	16
Carte 10 : Maximum des courants barotropes annuels, HYDRORUN .....	16
Carte 11 : Vitesse et direction moyenne des courants de surface de La Réunion, HYDRORUN .....	17
Carte 12 : Vitesse et direction moyenne des courants barotrope de La Réunion, HYDRORUN.....	17
Carte 13 : Moyenne des températures de surface, HYDRORUN.....	19
Carte 14 : Moyenne des températures de fond, HYDRORUN .....	19
Carte 15 : Moyenne des températures de surface 1 <sup>er</sup> trimestre à gauche, du 3 <sup>ème</sup> à droite, HYDRORUN. ....	20
Carte 16 : Typologie et limites des masses d'eau proposées en 2004 (Lazure, 2004) et ayant servi de support au travail de réajustement réalisé en 2012 (présent travail). Cf Tableau 2 (p.4) pour le détail et le descriptif de la typologie proposée en 2004. ....	24
Carte 17 : Courants "tourbillonnaires" de Saint-Paul (gauche) et homogénéité des courants entre Le Port et Saint-Denis (droite).....	25
Carte 18 : Modifications du découpage des masses d'eau dans le Nord de l'île.....	26
Carte 19 : Masses d'eau associées au type 1 et caractéristiques propres à chacune au sein de ce type. ....	26
Carte 20 : Zone de transition d'exposition aux houles extrêmes à l'Est de Saint-Philippe (La Porte). ....	27
Carte 21 : Types d'inversions de courants; à Saint-Philippe se rencontrent pour partir au large, à Saint-Benoît arrivent du large pour se séparer de part et d'autre de la côte.....	28
Carte 22 : Modifications du découpage des masses d'eau dans l'Est de l'île.....	28
Carte 23 : Masses d'eau associées à la typologie 2 et caractéristiques de chacune au sein de ce type. ....	29
Carte 24 : Modifications du découpage des masses d'eau dans le Sud de l'île. ....	30
Carte 25 : Masse d'eau associée à la typologie 3 et principales caractéristiques. ....	30
Carte 26 : Modifications du découpage des masses d'eau dans l'Ouest de l'île. ....	31
Carte 27 : Masses d'eau associées à la typologie 4 et caractéristiques de chacune au sein de ce type. ....	32
Carte 28 : Limites de la masse d'eau récifale Saint-Gilles retenues en 2004 (gauche) et celles proposées en 2012 dans l'hypothèse où seule la plateforme est prise en compte (droite : 5 entités)...	34
Carte 29 : Limites de la masse d'eau récifale Saint-Leu retenues en 2004 (gauche) et celles proposées en 2012 dans l'hypothèse où seule la plateforme est prise en compte (droite).....	34
Carte 30 : Limites de la masse d'eau récifale de L'Etang-Salé retenues en 2004 (gauche) et celles proposées en 2012 dans l'hypothèse où seule la plateforme est prise en compte (droite). ..	35

Carte 31 : Limites de la masse d'eau récifale Saint-Pierre retenues en 2004 (gauche) et celles proposées en 2012 dans l'hypothèse où seule la plateforme est prise en compte (droite). .35	35
Carte 32 : Limites de la masse d'eau récifale Saint-Gilles retenues en 2004 (gauche) et celles proposées en 2012 dans l'hypothèse d'une prise en compte du platier et des pentes externes (droite). .....	37
Carte 33 : Limites de la masse d'eau récifale Saint-Leu retenues en 2004 (gauche) et celles proposées en 2012 dans l'hypothèse d'une prise en compte du platier et des pentes externes (droite). .....	37
Carte 34 : Limites de la masse d'eau récifale L'Etang-Salé retenues en 2004 (gauche) et celles proposées en 2012 dans l'hypothèse d'une prise en compte du platier et des pentes externes (droite). ....	38
Carte 35 : Découpage de la masse d'eau récifale Saint-Pierre dans le cas où plateforme et pente externe sont prises en compte. ....	38
Carte 36 : Modifications du découpage des masses d'eau (gauche : 2004 ; droite : proposition 2012) .40 (Page suivante) Carte 37 : Découpage des masses d'eau 2012 et typologie associée .....	40
Carte 38 : Répartition saisonnière des précipitations annuelles (à gauche) et Température moyenne annuelle (à droite), (Source : Météo France / Atlas Climatique de La Réunion 2011) .....	67
Carte 39 : Positionnement des stations du réseau de contrôle de surveillance DCE "Paramètres Physico-Chimiques & Phytoplancton" dans les masses d'eau côtières et récifales de La Réunion. ("RHLR", pour réseau Hydrologique Littoral Réunionnais).....	89
Carte 40 : Positionnement des stations du réseau de contrôle de surveillance DCE "Paramètres Contaminants Chimiques" dans les masses d'eau côtière de La Réunion .....	112
Carte 41 : Positionnement des stations du RCS DCE "Benthos de substrats meubles" dans les masses d'eau côtières de La Réunion. La numérotation correspond aux 3 derniers chiffres du mnémotechnique Q <sup>2</sup> (Tableau 44).....	120
Carte 42 : résultat des premiers traitement par classification des images hyperspectrales acquises sur la zone de st Gilles-Ermitage. Zoom centré sur la zone teste de la Passe de l'Ermitage, les zones d'herbiers apparaissent de couleur verte.....	122
Carte 43 : Part des composants Corail/Algue/Sable autour de la Passe de l'Ermitage (Plateforme récifale de Saint-Gilles). L'aplat niveaux de gris correspond aux zones sans données exploitables (non identification par l'algorithme de traitement). Les sous-secteurs A, B, C servent d'emprises à l'extraction de statistiques descriptives du Tableau 53.....	142
Carte 44 : Vitalité Corallienne hyperspectrale (« VCH » : part de Corail Vivant sur le substrat dur) autour de la Passe de l'Ermitage (plateforme récifale de Saint-Gilles) .....	144
Carte 45 : Représentation spatialisée d'un indicateur de vitalité corallienne hyperspectrale (VCH) selon la symbologie DCE autour de la Passe de l'Ermitage (plateforme récifale de Saint-Gilles) (d'après Le Goff et al., 2012).....	145
Carte 46 : Carte des stations du réseau DCE " Benthos de substrats durs " dans les masses d'eau récifales de La Réunion. Les points jaunes sont les stations historiques, les cercles rouges sont les secteurs où il faut appliquer le réseau de surveillance "Pente externe" .....	149
Carte 47 : Etat environnemental global 2007 des ME Côtières et Récifales .....	151
Carte 48 : Proposition de réactualisation de l'état des ME littorales .....	198
Carte 49 : Localisation des points de suivis des différents RCS à La Réunion.....	201