



# Réaménagement du Port de la commune de Saint-Leu

Dossier de demande d'autorisation pour  
la modification de la Réserve Nationale  
Marine de La Réunion

---

## TABLE DES MATIERES

---

<b>1 Introduction.....</b>	<b>11</b>
<b>2 Identification du pétitionnaire.....</b>	<b>12</b>
<b>3 Objet, motifs, et étendue de l'opération.....</b>	<b>13</b>
3.1 Objet et contexte du projet .....	13
3.2 Caractéristiques du projet.....	16
3.3 Justification du projet .....	19
3.4 Phasage des travaux.....	20
<b>4 La Réserve nationale marine de La Réunion .....</b>	<b>24</b>
4.1 Contexte de création de la RNMR .....	24
4.2 Réglementation applicable au projet au sein de la RNMR .....	26
4.3 Le Plan de gestion de la RNMR.....	27
4.4 Analyse de la compatibilité du projet avec les objectifs de la RNMR.....	28
<b>5 Etat initial du site et du milieu marin environnant .....</b>	<b>32</b>
5.1 Milieu marin.....	32
5.1.1 Bathymétrie .....	32
5.1.2 Hydrodynamique et courantologie .....	34
5.1.2.1 Niveaux de la mer.....	34
5.1.2.2 Conditions d'état de mer .....	36
5.1.2.3 Conditions de vent.....	38
5.1.2.4 Courantologie .....	42
5.1.3 Contexte sédimentaire et morfo-dynamique côtier.....	43
5.1.3.1 Typologie des systèmes côtiers réunionnais.....	43
5.1.3.2 Contexte du projet .....	44
5.1.3.3 Nature sédimentaire des fonds.....	45
5.1.3.4 Évolution sédimentaire de la zone.....	46
5.1.4 Qualité des eaux de baignade .....	48
5.1.5 Écologie du milieu marin .....	49
5.1.5.1 Analyses granulométriques .....	52
5.1.5.2 Qualité des eaux .....	53
5.1.5.3 Qualité des sédiments.....	55
5.1.5.4 Taux de recouvrement global du substrat par les organismes benthiques .....	55

5.1.5.5	Principales espèces ichtyologiques rencontrées .....	69
5.1.5.6	État de vitalité des peuplements, évolution et sensibilité écologique .....	73
5.1.5.7	Avifaune marine .....	77
5.1.5.8	Faune marine .....	78
<b>6</b>	<b>Incidence du projet sur l'espace protégé .....</b>	<b>100</b>
6.1	Effets du projet sur le milieu physique .....	100
6.1.1	Effets du projet sur les niveaux d'eau du lagon.....	100
6.1.1.1	Conditions de simulation .....	100
6.1.1.2	Résultats .....	101
6.1.2	Effets du projet sur la dynamique hydro-sédimentaire.....	110
6.1.2.1	Conditions de simulation .....	110
6.1.2.2	Résultats sur l'apport en matériaux fins des ravines.....	111
6.1.3	Effets du projet sur le transport de sable .....	120
6.1.3.1	Préalable .....	120
6.1.3.2	Résultats .....	121
6.1.4	Effets du projet sur la barrière corallienne .....	128
6.1.5	Effets du projet sur le gabarit hydraulique de la ravine Grand Étang .	129
6.1.6	Effets du projet sur la qualité de l'eau .....	129
6.2	Effets du projet sur le milieu naturel .....	130
6.2.1	Effets du projet sur l'avifaune .....	130
6.2.2	Effets du projet sur le peuplement corallien .....	131
6.2.3	Effets du projet sur la faune marine.....	132
6.2.3.1	Effets du projet sur les cétacés .....	132
6.2.3.2	Effets du projet sur les tortues marines .....	157
6.3	Synthèse des effets du projet sur l'environnement.....	160
<b>7</b>	<b>Mesures réductrices, compensatoires et d'accompagnement .....</b>	<b>161</b>
7.1	Management environnemental de l'opération .....	161
7.1.1	Comité de suivi du Milieu Marin .....	161
7.1.2	Organisation en phase chantier.....	161
7.1.3	Mesures de suivi et mesures compensatoires .....	163
7.1.3.1	Mammifères marins et tortues marines .....	164
7.1.3.2	Qualité de l'eau .....	166
7.1.3.3	Peuplements coralliens .....	169
7.1.3.4	Suivi hydro-sédimentaire.....	170
7.1.3.5	Milieu marin – Phase exploitation.....	170
7.2	Mesures réductrices .....	171
7.2.1	Mesures réductrices vis-à-vis du milieu physique.....	171
7.2.1.1	Qualité des eaux .....	171

---

7.2.1.2	Qualité de l'air.....	174
7.2.2	Mesures réductrices vis-à-vis du milieu naturel .....	175
7.2.2.1	Milieu marin .....	175
7.2.3	Mesures réductrices vis-à-vis de la santé .....	182
7.2.3.1	Gestion des déchets de l'enceinte portuaire.....	182
7.2.3.2	Gestion des eaux grises de l'enceinte portuaire.....	183
7.2.3.3	Gestion du bruit .....	183
7.3	Mesures d'accompagnement .....	185
7.3.1	Biodiversité marine .....	185
7.3.1.1	Objectifs de la démarche .....	185
7.3.1.2	Zonation des équipements pour juvéniles.....	186
7.3.1.3	Présentation des outils .....	186
7.3.1.4	Organisation et mise en place des équipements .....	188
7.3.1.5	Béton écologique destiné à accélérer la colonisation de la faune et de la flore (corail et algues) .....	189
7.3.1.6	Eco-digue en éco-blocs pour juvéniles récifaux (langoustes).....	189
7.3.1.7	Coût de la mesure .....	190
7.3.2	Synthèse des mesures réductrices, compensatoires et d'accompagnement.....	191

---

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

---

Figure 3.1 : Plan des aménagements (source TCO – 2016).....	18
Figure 3.2 : Calendrier des travaux maritimes en fonction des contraintes environnementales .....	23
Figure 4.1 : Localisation générale de la RNMR (source : RNMR) .....	25
Figure 5.1 : bathymétrie de la zone d'étude utilisée pour le modèle (maille de 10m)	33
Figure 5.2 : zoom sur la bathymétrie de la zone d'étude (état actuel).....	33
Figure 5.3 : les différents régimes de houles à La Réunion (Source : Météo-France 2009)	36
Figure 5.4 : Cartes de vent CFSR V1hr moyen en 2009 (hors cyclone Gaël).....	39
Figure 5.5 : Histogrammes V1hr, direction (en haut), roses des vents V1hr et rose max V1hr (au milieu). Point CFSR 21.4°S 55.0°E Période normale hors cyclone ...	40
Figure 5.6 : Statistiques mensuelles de vitesse de vent V1hr CFSR 21.4°S 55.0°E Période normale	41
Figure 5.7 : Conditions extrêmes directionnelles de vent horaire au point 21.4°S 55.0°E	42
Figure 5.8 : Morphologie de la plage corallienne de Saint-Leu (Mission 2004 du BRGM)	45
Figure 5.9 : localisation des prélèvements.....	46
Figure 5.10 : Contexte sédimentaire et évolution du trait de côte du centre de Saint- Leu (BRGM – Décembre 2004) .....	47
Figure 5.11 : évolution sédimentaire depuis 1950.....	48
Figure 5.12 : Plan d'échantillonnage au niveau du récif de Saint-Leu.....	51
Figure 5.13 : Caractéristiques granulométriques des sédiments au niveau de la station 1	52
Figure 5.14 : Caractéristiques granulométriques des sédiments au niveau de la station 2	52
Figure 5.15 : Pourcentage de la couverture moyenne par type de substrat sur les stations étudiées au niveau du récif de Saint-Leu (avril 2010).....	68
Figure 5.16 : Cartographie de la sensibilité écologique de la zone d'étude .....	73

Figure 5.17 : Cartographie du périmètre de la réserve naturelle nationale marine de La Réunion aux abords du projet – Implantation de la zone de protection intégrale de Saint Leu	74
Figure 5.18 : Évolution du recouvrement benthique sur la station platier de la corne du récif de Saint-Leu (1999-2009) / (Source : GIP RNMR)	75
Figure 5.19 : Évolution du recouvrement benthique sur la station pente externe de la corne du récif de Saint-Leu (1999-2009) / (Source : GIP RNMR)	77
Figure 5.20 : Couloirs de remontée des pétrels de Barau de la mer vers les sites de reproduction et localisation de ces sites. (D'après Probst, 1997) - Source : Stratégie de réduction de la mortalité des pétrels induite par les éclairages publics	78
Figure 5.21 : observations des cétacés sur le site d'étude	80
Figure 5.22 : observations des cétacés sur le site d'étude - Zoom	81
Figure 5.23 : part des observations par espèces	82
Figure 5.24 : proportion des individus observés par espèce	83
Figure 5.25 : Fréquence d'observation du grand dauphin de l'indo pacifique sur l'année 2012 sur l'ensemble de La Réunion	84
Figure 5.26 : observations de l'individu « Ying » à l'échelle de l'île	86
Figure 5.27 : observations de l'individu "Billabong" à l'échelle de l'île	86
Figure 5.28 : Fréquence d'observation de la baleine à bosse sur l'année 2012 à l'échelle de la Réunion	87
Figure 5.29 : observations à l'échelle de l'île des baleines à bosse identifiées au sein du site d'étude	89
Figure 5.30 : Fréquence d'observation du dauphin long bec en 2012 à l'échelle de la Réunion	90
Figure 5.31 : Les deux espèces de tortues marines présentes en permanence sur les côtes réunionnaises : la tortue verte ( <i>Chelonia mydas</i> ; à gauche) et la tortue imbriquée ( <i>Eretmochelys imbricata</i> ; à droite)	96
Figure 5.32 : observation aérienne de tortues marines sur le littoral de St Leu	98
Figure 6.1 : scénarios pour l'étude des surcotes	100
Figure 6.2 : Localisation des points de visualisation de l'évolution du niveau d'eau (couleurs : bathymétrie m/NM)	102
Figure 6.3 : Surcote maximale simulée pour une houle de période de retour 1 an et des débits de 10% du débit décennal	103

Figure 6.4 : Évolution du niveau d'eau aux points 1 et 2 pour une houle de période de retour 1 an et des débits de 10% du débit décennal .....	103
Figure 6.5 : Surcote maximale simulée pour une houle de période de retour 10 ans et des débits de 10% du débit décennal .....	104
Figure 6.6 : Évolution du niveau d'eau aux points 1 et 2 pour une houle de période de retour 10 ans et des débits de 10% du débit décennal .....	104
Figure 6.7 : Surcote maximale simulée pour une houle de période de retour 1 an et des débits décennaux .....	105
Figure 6.8 : Évolution du niveau d'eau aux points 1 et 2 pour le cyclone Connie et des débits décennaux .....	105
Figure 6.9 : Évolution du niveau d'eau aux points 1 et 2 pour le cyclone Dina et des débits décennaux	106
Figure 6.10 : Surcote maximale simulée pour le cyclone Dina modifié et des débits centennaux	106
Figure 6.11 : Évolutions du niveau d'eau aux points 1 et 2 pour le cyclone Dina modifié et des débits centennaux .....	107
Figure 6.12 : Position des zones 1 et 2 - différence entre les surcotes maximales en état actuel et en état projet (opération effectuée : état projet – état actuel) .....	108
Figure 6.13 : Dépôt après 3 jours de simulation (apport en particules fines par la ravine - concentration de la ravine 50mg/l) – marée seule .....	113
Figure 6.14 : Dépôt après 3 jours de simulation (apport en particules fines par la ravine - concentration de la ravine 50mg/l) – houle fréquente .....	114
Figure 6.15 : Dépôt après 3 jours de simulation (apport en particules fines par la ravine - concentration de la ravine 50mg/l) – houle annuelle.....	115
Figure 6.16 : Dépôt après 5 jours de simulation (apport en particules fines par la ravine - concentration de la ravine 1 g/l) – cyclone Dina.....	116
Figure 6.17 : Evolution des volumes dans les zones 1, 2 et 3 pour les conditions hors cyclone	118
Figure 6.18 : Evolution des volumes dans les zones 1, 2 et 3 pour le cyclone Dina	119
Figure 6.19 : Transport potentiel moyen sur 3 jours de simulation (fond homogène : sable 500 microns) – marée seule .....	122
Figure 6.20 : Transport potentiel moyen sur 3 jours de simulation (fond homogène : sable 500 microns) – houle fréquente .....	123

---

Figure 6.21 : Transport potentiel moyen sur 3 jours de simulation (fond homogène : sable 500 microns) – houle annuelle.....	124
Figure 6.22 : Transport potentiel moyen sur 5 jours de simulation (fond homogène : sable 500 microns) – cyclone Dina.....	125
Figure 6.23 : Transport potentiel moyen le long des deux radiales (fond homogène : sable 500 microns) .....	126
Figure 6.24 : Position des deux radiales (couleur : bathymétrie m/NM).....	127
Figure 6.28 : Niveau d'enjeu écologique pour les Pétrels de Barau (Sources : DESS Sciences et Gestion de l'Environnement Tropical - Mlle Nelly MINATCHY – juin 2004)	130
Figure 6.29 : Nombre de Pétrel de Barau recueillis en 2001 en fonction des phases de la lune	131
Figure 7.1 : Coordonnées géographiques des points centraux des stations de mesures au niveau du récif de Saint-Leu. Référentiel géodésique WGS 84 .....	169
Figure 7.2 : Principe de fonctionnement de l'unité de traitement .....	173
Figure 7.3 : Illustration du principe de fonctionnement d'un rideau de bulles.....	179
Figure 7.4 : Mesures acoustiques à proximité d'un pieu battu avec ou sans utilisation du rideau de bulles (source KPPF) .....	180
Figure 7.5 : Zone d'installation des mangroves artificielles pour juvéniles.....	188
Figure 7.6 : Zone d'installation des micro-habitats (MH) sur les quais (en complément des MAJ) et sur les pieux et pontons pour l'accueil des juvéniles benthiques.	189
Figure 7.7 : Zone d'installation des éco-blocs sur les musoirs et épis pour l'accueil des juvéniles (notamment langoustes) .....	190

---

## LISTE DES TABLEAUX

---

Tableau 5.1 : Hauteur de la marée astronomique à la Pointe des Galets .....	34
Tableau 5.2 : Niveaux d'eau associés aux houles cycloniques.....	35
Tableau 5.3 : Périodes de retour des houles cycloniques .....	37
Tableau 5.4 : Conditions de houles cycloniques au large.....	38
Tableau 5.5 : Conditions extrêmes directionnelles de vent horaire au point 21.4°S 55.0°E                      41	41
Tableau 5.6 : résultats des prélèvements d'eau et de sédiments (source : CTSI) .....	46
Tableau 5.7 : Classement réglementaire des eaux de baignade sur la commune de Saint Leu (directive européenne de 1976 puis 2006) .....	49
Tableau 5.8 : Concentrations en sels nutritifs obtenus lors des prélèvements dans le lagon de Saint-Leu .....	54
<i>Tableau 5.9 : Concentrations en sels nutritifs obtenus lors des campagnes du RNO entre 2002 et 2010 .....</i>	<i>55</i>
Tableau 5.10 : Couverture moyenne et erreurs-standards (ES) par type de substrat enregistré sur les stations étudiées au niveau du récif de Saint-Leu (avril 2010) (N=Nombre de réplikat par station).....	66
Tableau 5.11 : Couverture moyenne et erreurs-standards (ES) par type de substrat observés sur les stations étudiées au niveau du récif de Saint-Leu (avril 2010) (N=Nombre de réplikat par station).....	67
Tableau 5.12 : Nombre d'individus moyen par m <sup>2</sup> et erreurs-standards (ES) par station de mesures au niveau du récif de Saint-Leu (avril 2010) (N=Nombre de réplikat par station).....	68
Tableau 5.13 : Nombre d'individus total moyen et erreurs-standards (ES) par station de mesures au niveau du récif de Saint-Leu (avril 2010) (Nombre de réplikat par station N=3).        72	72
Tableau 5.14 : nombre d'observations par espèce sur le site d'étude.....	82
Tableau 5.15 : nombre d'individus observés par espèce sur le site d'étude .....	83
Tableau 5.16 : caractéristiques acoustiques connues des vocalises émises par les espèces concernées par le projet (Richardson, et al., 1995) .....	92
Tableau 5.17 : statut UICN de conservation des cétacés de La Réunion .....	94

Tableau 6.1 : Résultats des surcotes en zone 1 .....	108
Tableau 6.2 : Résultats des surcotes en zone 2 .....	109
Tableau 6.3 : Scénarios pour l'étude hydro-sédimentaire .....	111
Tableau 6.4 : Sensibilité acoustique des cétacés concernés dans le cadre de la présente étude (selon Southall et al. 2007) .....	133
Tableau 6.5 : Synthèse des effets du projet sur l'environnement.....	160
Tableau 7.1 : Valeurs admissibles de puissances acoustiques (Arrêté du 18 mars 2002)                   184	
Tableau 7.2 : Synthèse des mesures réductrices et compensatoires .....	191

**1****Introduction**

Le présent dossier concerne le projet d'extension du port de pêche et de plaisance de Saint-Leu dont le Territoire de la Côte d'Ouest (TCO) assure la maîtrise d'ouvrage.

Cette opération comprend des travaux terrestres, parmi lesquels la construction d'une nouvelle capitainerie et le réaménagement de ses abords, mais également des travaux maritimes :

- ✓ Une extension du plan d'eau existant vers la ravine du Grand Etang sans affecter sa capacité hydraulique avec un prolongement de la digue du large ;
- ✓ Une réorganisation globale du plan d'eau portuaire.

Si l'emprise du port actuel est située à l'extérieur du périmètre de la Réserve Nationale Marine de La Réunion (RNMR), l'extension projetée s'inscrit dans sa zone de protection renforcée.

Le décret n°2007-236 du 21 février 2007 portant création de la RNMR mentionne à son article 17 que « les travaux permettant une extension du port Saint Leu compatible avec le Plan de gestion de la réserve » doivent faire l'objet d'une demande d'autorisation de modification de l'état ou de l'aspect de la réserve, conformément aux dispositions des articles L332-9 et R332-23 du code de l'environnement.

Le présent document constitue le dossier de demande d'autorisation sus-décrié.

## Identification du pétitionnaire

Suite au transfert de maîtrise d'ouvrage du 1<sup>er</sup> janvier 2014, le T.C.O est compétent sur le projet de réaménagement et d'extension du Port de Saint-Leu initié par la mairie quelques années auparavant.



**MAITRE D'OUVRAGE** : **Communauté d'agglomération**  
*Territoire de la Côte Ouest*

**Adresse Postale :** **BP 50049 – 97822 Le Port Cedex**

**SIRET :** **24974010100038**

**Téléphone :** *02 62 32 12 12*

**Représenté par :** *Monsieur Le Président Joseph SINIMALE*

**Dossier suivi par :** *Madame Stéphanie FLECKINGER*

## 3

### Objet, motifs, et étendue de l'opération

Le projet objet du présent dossier est situé dans le périmètre du bassin portuaire actuel de Saint Leu et d'une zone d'extension envisagée au Sud (Cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**1) compte tenu de la faible sensibilité écologique de cette zone.

Cette zone est délimitée :

- ✓ à l'ouest, par la digue du bassin actuel ;
- ✓ au nord, par l'entrée du port et le chenal d'accès ;
- ✓ au sud, par l'exutoire de la Ravine Grand-Étang ;
- ✓ à l'est, par la rue de la Compagnie des Indes pour ce qui concerne les travaux terrestres connexes.

Elle correspond à un optimum en termes d'emprise entre la satisfaction des besoins en termes de capacité d'accueil (appréciée à partir des listes d'attente) et la prise en compte des zones à enjeux (débouché de la ravine, récifs coralliens).

#### 3.1 Objet et contexte du projet

Organisé autour de 145 emplacements dédiés à la pêche (26 postes), aux activités nautiques et à la plaisance, le port de Saint Leu rencontre aujourd'hui des obstacles à son développement :

- ✓ Une saturation chronique liée à une demande d'anneaux très supérieure à la capacité d'accueil et en augmentation constante
- ✓ Des services portuaires minimalistes et des équipements vétustes peu attractifs
- ✓ Des conditions d'agitation du plan d'eau ne permettant pas d'assurer les conditions de confort attendues par les usagers.

La ville de Saint Leu a mandaté en 2000 une équipe de maîtrise d'œuvre afin de proposer un programme d'aménagement et de modernisation des infrastructures existantes destiné à apporter des réponses adaptées à chacun de ces éléments de diagnostic. Cette mission a permis de dégager un avant-projet validé par la Collectivité.

Par ailleurs, cette opération s'inscrit dans une démarche plus globale de l'Agglomération et de la Ville consistant à favoriser le développement économique de

la micro-région Ouest par une valorisation du front de mer de Saint Leu autour des activités maritimes et de loisirs, afin de renforcer l'identité touristique et balnéaire de la ville, tout en tenant compte de la richesse écologique de la faune marine et des zones récifales du lagon de Saint Leu.

Cette valorisation se doit donc d'être menée en cohérence avec le Plan de gestion de la RNMR dont le périmètre longe l'ensemble du littoral saint leusien.

Les principaux objectifs de la présente opération recouvrent donc les thématiques suivantes :

- ✓ Répondre à la demande d'anneaux supplémentaires en portant la capacité d'accueil du port à 241 postes
- ✓ Réaménager le port de plaisance par la mise en place de services aux usagers modernes
- ✓ Améliorer les conditions d'agitation pour la sécurité des personnes et des biens.
- ✓ Proposer une conception de projet exemplaire en matière d'insertion paysagère et environnementale, en particulier :
  - au travers de techniques d'éco-conception spécifiques aux aménagements portuaires et destinées à favoriser la restauration de la biodiversité marine dans un milieu déjà très modifié par les activités anthropiques,
  - ainsi que vis-à-vis de la coordination environnementale à mettre en œuvre en amont et pendant le chantier.

L'extension du bassin portuaire et l'augmentation de la capacité d'accueil des embarcations imposent une restructuration globale des espaces techniques et des équipements associés du port (stationnement, abris des pêcheurs).

L'annexe 2 de l'étude d'impact présente le programme technique détaillé du projet de réaménagement et d'extension du Port de Saint Leu – Étude urbaine et de développement touristique de Saint Leu (BRED AMO – groupe GINGER, janvier 2012). Il convient de s'y référer pour les détails concernant le projet urbain global.



Carte 1 : Localisation du projet

## 3.2 Caractéristiques du projet

Le projet d'extension maritime du port de Saint-Leu est inscrit dans un programme d'aménagement urbain global dont les caractéristiques générales sont présentées sur le plan masse ci-après.

Les aménagements terrestres associés concernent :

- ✓ la construction :
  - d'une capitainerie (bureaux du maître de port, l'administration du port, l'accueil des usagers, l'information météo et la station radio),
  - d'un point de vente de produits de la pêche et d'une maison des pêcheurs (box, stockage, point de vente),  
  
dont les matériaux constitutifs seront strictement adaptés aux conditions climatiques et d'ambiance de cette zone littorale, et qui bénéficieront d'une accessibilité universelle
- ✓ ainsi que dans un second temps (hors présente programmation) des établissements commerciaux et des équipements de loisirs en retrait du front de mer, et une réorganisation des cheminements.

Les travaux maritimes regroupent :

- ✓ les travaux de dragage préalables destinés à atteindre les tirants d'eau nécessaires vis-à-vis des catégories de bateaux attendues (entre -1,4 et -1,8 m selon le zonage retenu)
- ✓ les digues de protection contre la houle (prolongement de la digue existante – réduction de la passe d'entrée afin d'améliorer les conditions d'agitation dans le plan d'eau)
- ✓ les quais et pontons d'accostage des bateaux (mise en œuvre d'appontements flottants et catways pour leurs avantages en termes d'intégration environnementale, d'accostage et d'adaptabilité de l'emprise des postes)
- ✓ le renforcement des bornes eau – électricité – télécom et des infrastructures afférentes, avec la mise en place d'équipements économes en énergie
- ✓ la modernisation des équipements portuaires de signalisation, protection, contrôle d'accès...
- ✓ l'aménagement d'une aire de carénage et d'un point de collecte des déchets

- ✓ la mise en conformité des ouvrages de gestion des eaux pluviales et des eaux usées afin d'assurer la collecte et le traitement de l'ensemble des pollutions issues de l'activité portuaire.

Ils s'accompagneront d'une réorganisation globale du plan d'eau portuaire visant une meilleure fonctionnalité avec le déplacement de la rampe de mise à l'eau à l'entrée du port, un regroupement des bateaux par catégorie et une adaptation des dimensions des postes aux divers types de bateaux.

Les postes et les espaces de navigation seront dimensionnés conformément aux règles de l'art afin d'assurer un confort de navigation aux usagers.



Figure 3.1 : Plan des aménagements (source TCO – 2016)

### 3.3 Justification du projet

Dans le cadre de la réflexion préalable sur l'aménagement, plusieurs scénarios ont été envisagés :

- ✓ création d'un port à l'intérieur des terres sous la forme d'une marina accessible par la ravine du Petit Étang
- ✓ création d'un port à sec
- ✓ extension du port en mer
- ✓ extension du port en mer avec éco-conception.

Les deux premiers scénarios ont progressivement été écartés car ils présentent des contraintes très lourdes :

✓ **Marina accessible depuis la ravine :**

Le foncier nécessaire pour cet aménagement est évalué à 23 hectares d'un seul tenant, soit 16,5% du foncier du centre-ville qui est lui-même contraint par la topographie, le lagon et les ravines.

L'emprise nécessaire représente donc une part démesurée du foncier du centre-ville et serait susceptible d'affecter l'harmonie de l'hyper-centre autour de sa trame viaire et de ses atouts patrimoniaux.

Cet aménagement suppose également de délocaliser les installations sportives.

Le tirant d'air sous les ponts (inférieur à 1,65 m) et le tirant d'eau dans la ravine (de l'ordre de 0,5 m) nécessitent pour assurer la circulation nautique de réaliser un dragage très significatif de la ravine (de l'ordre de 1 m) et un réhaussement du tablier des ponts qui s'avère techniquement très délicat au regard de la densité de construction autour des ouvrages (aménagement d'un pont mobile).

✓ **Port à sec :**

Cette solution pose là encore le problème du foncier terrestre disponible à proximité immédiate du port actuel.

Par ailleurs, il est à craindre que les conflits d'usages sur l'espace public entre d'une part les manœuvres des bateaux stockés sur le port à sec et d'autre part le mail de promenade de la rue de la Compagnie des Indes, ne perturbent fortement l'attractivité du site, voire présentent un caractère de danger.

Et ce, d'autant qu'un port à sec ne présente d'intérêt que sur le plan fonctionnel (stockage des bateaux). Il n'a pas la fonction de vitrine touristique, voire

d'élément patrimonial d'un bassin de vie, que peut assurer un port à flot qui se prête à la déambulation le long des quais et autour duquel peuvent être organisés des manifestations et spectacles événementiels.

Le projet d'extension en mer s'est donc imposé comme la solution à privilégier.

Au regard des enjeux environnementaux très forts, un 4<sup>ème</sup> scénario incluant l'intégration de solutions techniques d'éco-conception adaptées aux ouvrages portuaires a été retenu.

### 3.4 Phasage des travaux

Le phasage des travaux, tel que défini à ce stade d'avancement des études, est le suivant :

- ✓ **P0 - La reconstruction de la capitainerie et la construction de la nouvelle cale de mise à l'eau** au Nord du bassin (en préalable aux travaux maritimes)
- ✓ **P1 - La réalisation de l'extension Sud du plan d'eau** (durant cette 1<sup>ère</sup> phase de travaux maritimes, l'activité du port sera maintenue dans le plan d'eau actuel) :
  - La construction de la digue de protection dénommée nouvelle digue Sud (3 mois de travaux)
  - Le dragage de la zone d'extension (7000 m<sup>3</sup> environ soit 2 mois de travail)

Ces travaux seront réalisés sous la protection d'un rideau filtrant couvrant toute la colonne d'eau afin d'éviter la propagation des matières en suspension (filtre fixe couvrant une zone de confinement large ou filtre mobile qui suit le déplacement du poste de travail et couvre une zone de confinement plus réduite).

Ce phasage permet de constituer ensuite un confinement physique pendant les travaux de dragage de l'extension, cette zone n'étant plus reliée au milieu marin ce qui permettra d'empêcher tout dégagement de panache de pollution.

Au vu des faibles profondeurs dans cette zone, le dragage pourra être réalisé directement à la pelle hydraulique (un remblai provisoire sera éventuellement aménagé pour faciliter la circulation de cet engin).

Les matériaux de dragage seront ressuyés sur site (front de mer) puis évacués vers une carrière agréée pour récupérer les matériaux salés. Les eaux de ressuyage seront rejetées dans le futur bassin.

- Le dragage du bassin actuel (3800 m<sup>3</sup>)

La zone de dragage sera confinée par un rideau filtrant couvrant toute la colonne d'eau. Pour les zones proches des berges, le dragage pourra être réalisé à l'aide d'une pelle hydraulique. Le plan d'eau sera dragué à l'aide d'une drague suceuse, d'une pelle hydraulique sur barge ou encore d'une pompe suceuse.

Le dragage du bassin existant sera réalisé dans la continuité de celui de l'extension afin de bénéficier des installations de chantier mises en place.

Le gestionnaire du port souhaite garantir une continuité d'activité du port pendant les travaux, y compris les travaux de dragage du bassin actuel. Des dispositions seront prises en concertation avec les usagers pour permettre une réorganisation provisoire du plan de mouillage, voire un entreposage à terre de certains bateaux peu utilisés, afin de permettre de mener les travaux par demi plan d'eau sous la protection d'un rideau filtrant.

Des études de phasage approfondies seront menées à l'occasion des prochaines phases d'études afin de vérifier la faisabilité de ce principe sans affecter l'efficacité du confinement des MES.

- ✓ **P2a - La démolition de la digue Sud existante** (ces travaux nécessiteront une relocalisation des bateaux dans le plan d'eau mais seront également réalisés en maintenant l'activité du port compte tenu que la passe d'entrée – sortie ne sera pas impactée) – 1.5 mois de travaux

La démolition de la digue Sud sera réalisée en assurant un confinement de la zone de chantier par un rideau filtrant couvrant toute la colonne d'eau. Une zone de sécurité sera aménagée autour de la zone de chantier afin de garantir la sécurité du public.

La démolition de cette digue permettra ensuite de relocaliser la majorité des bateaux dans l'extension du port qui représente environ 100 emplacements pour 150 bateaux existants.

- ✓ **P2b - L'installation des appontements dans l'extension** (3 mois de travaux)
- ✓ **P2c - La construction du quai Est, la démolition des appontements existants et l'aménagement des nouveaux équipements** (5 mois de travaux)

A ce stade, les dispositions constructives retenues reposent sur une sectorisation du plan d'eau du port pendant ces travaux dont la durée est évaluée à 3 mois afin de concilier une continuité d'activité du port et l'avancement du chantier.

Les travaux (remplacement des appontements) pourront se dérouler par demi plan d'eau afin de permettre le stockage des bateaux dans la zone hors chantier.

- ✓ **P3 - Les aménagements à terre définitifs** (zone de carénage, accès, stationnement, espaces paysagers et signalétique).

La durée des travaux d'infrastructures maritimes et terrestres est estimée à 28 mois.

A noter que cette durée reste fortement dépendante des moyens mis en œuvre par l'entreprise, de la méthodologie de travaux à valider avec les entreprises et différents intervenants (maîtrise d'œuvre, comité de suivi), des aléas éventuels liés au suivi environnemental du chantier et de la volonté de maintenir les activités portuaires pendant le chantier.

Désignation des tâches	ANNEE 1				ANNEE 2												ANNEE 3		
	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	
Démarrage des travaux																			
Préparation de chantier, amenée du matériel	■	■	■																
Construction de la nouvelle digue de protection de l'extension du bassin				■	■	■													
Démontage des carapaces existantes et récupération des enrochements					■	■	■												
Dragage du nouveau bassin et aménagement d'une zone de ressuyage sur son emprise							■	■											
Dragage du bassin existant et mise en ressuyage sur l'emprise de l'extension								■	■										
Démolition de la digue sud existante										■	■								
Construction du quai Est												■							
Mise en place des nouveaux pontons et équipements portuaires dans l'extension										■	■		■	■					
Transfert des bateaux du port existant vers l'extension											■			■	■				
Démolition des pontons existants															■				
Dragage de finition du port existant																■			
Mise en place des nouveaux pontons et équipements portuaires dans le bassin existant																	■	■	■
Exigences environnementales																			
Période cyclonique					■	■	■												
Période sensible pour la faune marine	■	■										■	■	■	■				

Figure 3.2 : Calendrier des travaux maritimes en fonction des contraintes environnementales

## 4

# La Réserve nationale marine de La Réunion

 Décret de création, Cartographie et Plan de gestion de la RNNMR.

## 4.1 Contexte de création de la RNMR

Les récifs coralliens de La Réunion sont le siège d'une biodiversité parmi les plus remarquables de l'outre-mer français. En effet, bien que les surfaces récifales réunionnaises soient très réduites (12 km<sup>2</sup> environ), la biodiversité qu'elles hébergent n'en constitue pas moins un patrimoine naturel exceptionnel.

Ces récifs sont cependant aujourd'hui considérés partiellement altérés (platiers, dépressions d'arrière-récif) voire dégradés (pentes externes) et restent menacés au regard de la pression qu'ils subissent :

- ✓ Fréquentation humaine liée aux activités de loisirs (l'Ouest rassemble la grande majorité des activités balnéaires et nautiques de l'île de La Réunion) dont les impacts cumulés peuvent être importants ;
- ✓ Pêche traditionnelle et de loisirs intensive ;
- ✓ Pollution anthropique liée aux nombreuses activités et infrastructures implantées sur les bassins versants situés à l'amont ;
- ✓ Erosion des bassins versants sous l'effet des fortes pluies et du relief très accidenté.

Dans le même temps, la mise en évidence d'une modification rapide du climat et de ses conséquences sur les écosystèmes marins a favorisé une prise de conscience planétaire de la vulnérabilité des récifs coralliens.

Le contexte de création de la RNMR a donc été lié à la volonté de construire un modèle de développement durable permettant d'assurer la survie de ces récifs extrêmement vulnérables et exposés aux pressions humaines.

Le périmètre de la réserve s'étend sur le Domaine Public Maritime, du Cap La Houssaye à la Roche aux Oiseaux à l'Étang Salé, soit un linéaire côtier d'environ 40 km. Sa largeur varie de 300 m à 1 600 m. Elle est en moyenne de près d'un kilomètre.

La surface totale est de 3 500 ha environ. Ce territoire comporte l'ensemble des récifs coralliens de la côte ouest de l'île (20 km de barrière corallienne), ainsi que des côtes rocheuses basaltiques. Sa limite est constituée à terre par la laisse de hautes mers.

Elle couvre une superficie de 980 hectares sur le territoire de la commune de Saint Leu.

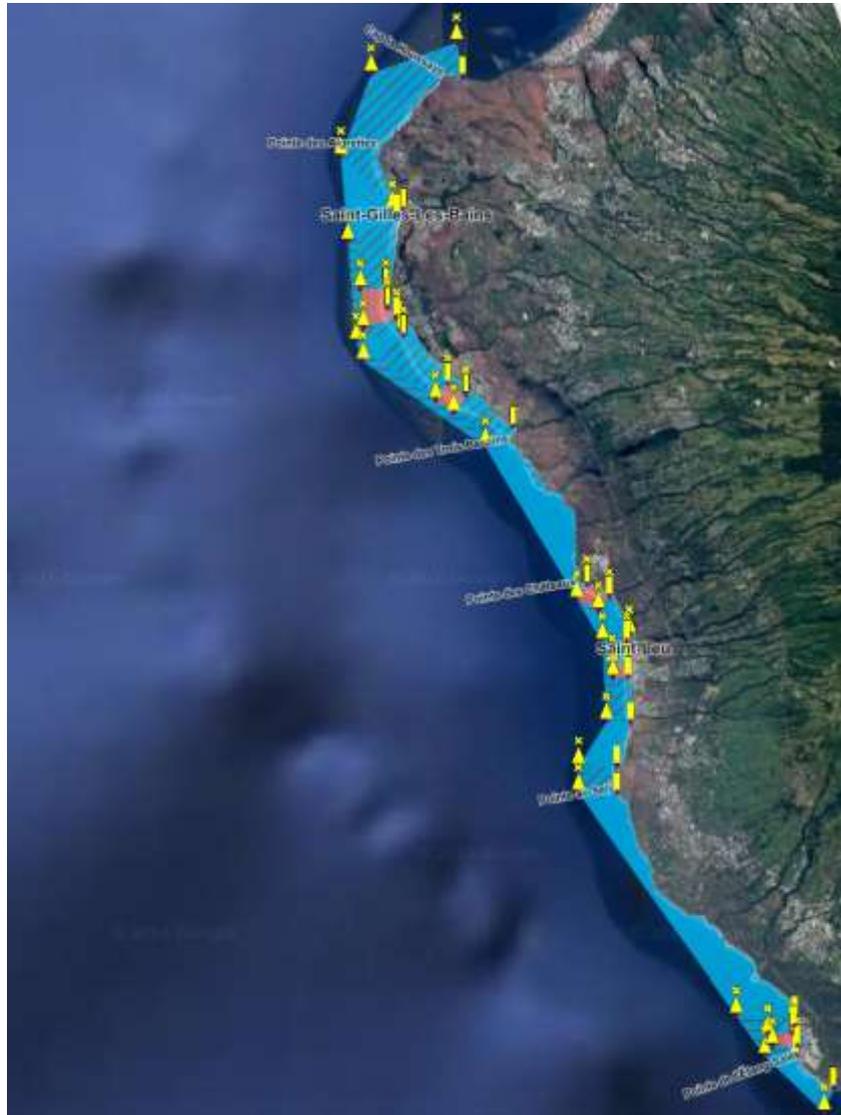


Figure 4.1 : Localisation générale de la RNMR (source : RNMR)

Sa gestion, encadrée par des textes règlementaires nationaux et locaux, a été confiée à un Groupement d'Intérêt Public dont les membres sont l'Etat et les collectivités locales.

## 4.2 Réglementation applicable au projet au sein de la RNMR

Trois niveaux de réglementation sont mis en place au travers de zonages spécifiques prévus dans le décret n°2007-236 du 21 février 2007 portant création de la RNMR :

- ✓ Une **réglementation générale** (Niveau 1) applicable à l'ensemble du territoire de la Réserve.

Elle concerne la limitation de certains usages ;

- ✓ Des règles supplémentaires s'appliquent dans les **zones de protection renforcée** (Niveau 2) correspondant à environ 45 % de la superficie de la réserve, dont 20 % de cet espace est réservé à la pêche professionnelle (niveau 2B).

Dans cette zone, la pêche est interdite ou limitée à certains usages, notamment traditionnels ;

- ✓ Des **zones de protection intégrale** (Niveau 3) sur environ 5 % de la superficie de la réserve.

Dans ces espaces, toutes formes d'activités, travaux, fréquentations, circulations, mouillages ou amarrages sont interdits.

Des autorisations individuelles pour le suivi scientifique, la gestion et la surveillance de la réserve peuvent être délivrées par le préfet.

Des arrêtés préfectoraux complémentaires ont été élaborés pour préciser certaines règles qui devaient être établies localement, notamment pour la pêche et pour la circulation des navires, des engins de plage et de sports nautiques.

**Le bassin portuaire actuel de Saint-Leu a été exclu du zonage de la réserve marine et son chenal s'inscrit dans la zone de réglementation générale.**

**La zone d'extension envisagée dans le cadre du projet de réaménagement du port est quant à elle incluse dans la zone de protection renforcée.**

**A noter enfin qu'une zone sanctuaire a été créée au sud de l'exutoire de la Ravine Grand-Étang. La zone d'extension du port est située à environ 200 m de cette zone de protection intégrale.**

**Conformément au décret de création de la réserve, l'extension du port de Saint Leu peut être autorisée sous réserve d'être compatible avec le plan de gestion de la RNMR.**

Le Schéma d'Aménagement Régional (SAR) fixe les orientations fondamentales en matière de développement, de mise en valeur en territoire et de protection de l'environnement. Le 1er SAR de La Réunion mis en application entre 1995 et 2011 comprenait 2 actions pour la protection des zones récifales dont la création de la RNMR.

Les objectifs et orientations du SMVM inclus dans le SAR couvrent l'ensemble des facteurs liés à l'aménagement ayant une incidence sur l'état de la réserve.

Sont en particulier visés :

- ✓ la protection d'espaces littoraux terrestres et marins
- ✓ la limitation des rejets polluants domestiques, agricoles et industriels dans les eaux continentales et marines
- ✓ la maîtrise des pressions directes liées à la pêche et au tourisme sur les peuplements marins et les récifs coralliens
- ✓ l'accompagnement d'une filière d'excellence « tourisme » sur le littoral
- ✓ la maîtrise du développement urbain.

### 4.3 Le Plan de gestion de la RNMR

Le premier plan de gestion de la RNMR présente les orientations de gestion pour la période 2013-2017.

Il s'agit donc d'orientations définies pour une période de 5 ans et constituant les premiers paliers pour l'atteinte des 4 objectifs de long terme qui constituent les grandes lignes directrices du plan de gestion.

A chaque objectif de long terme est donc rattachée une orientation pour la période 2013 – 2017 :

#### 1. **Garantir la conservation du patrimoine naturel et géologique (mission prioritaire)**

2013-2017 : Amélioration des connaissances sur les espèces (inventaires, biologie, état de santé...), en particulier sur les espèces emblématiques que sont les tortues, les mammifères marins et les requins, mais également les espèces invasives, avant de passer à une phase ultérieure de mise en place de mesures de gestion.

#### 2. **Assurer un développement raisonné de l'activité de pêche et des différents usages conciliables avec la protection de la biodiversité marine**

2013-2017 : Renforcement des connaissances sur les usages, en particulier les activités de pêche (biologie des espèces ciblées par les différentes activités de pêche), avant de passer à une phase ultérieure de mise en place de mesures de gestion et afin de favoriser l'émergence de pratiques durables.

### **3. Garantir le rayonnement et la mise en réseau de la RNMR dans une optique de bonne gouvernance et de gestion intégrée de l'espace marin**

2013-2017 : Bancarisation efficace des documents disponibles et des données collectées – Développement d'une gestion transparente et cohérente.

### **4. Développer une politique pérenne et diversifiée d'information, de pédagogie et de communication à destination de tout public**

2013-2017 : Actions concertées avec le rectorat – Développement d'un plan de communication et d'outils pédagogiques – Formation des professionnels et des usagers.

## **4.4 Analyse de la compatibilité du projet avec les objectifs de la RNMR**

Le port de pêche et de plaisance de Saint Leu accueille des usagers participant aux activités socio-économiques liées à la RNMR (pêche professionnelle embarquée, pêche plaisancière, plongée sous-marine, ...) comme identifié dans le diagnostic préalable au plan de gestion de la réserve.

Le projet d'extension du port participe du développement de la pratique de la plaisance, du développement économique des activités en lien avec l'océan et le lagon et de la revitalisation du front de mer de Saint Leu qui constituent autant de facteurs anthropiques qui influencent la gestion de la RNMR mais dont un développement raisonné est compatible avec ses objectifs.

De façon plus générale, le projet d'extension du port de Saint Leu prend en compte la sensibilité écologique et patrimoniale des milieux qui a fait l'objet d'investigations spécifiques, prévoit d'adopter des dispositions pratiques efficaces pour la préservation des sites sensibles environnants et des espèces emblématiques en phase chantier, et favorise à terme la reconstitution des habitats grâce à des dispositifs d'éco-conception portuaire.

### ***1<sup>er</sup> objectif de long terme***

La mission principale de la RNMR est « **de garantir la conservation des récifs coralliens et des écosystèmes associés** ».

Les ouvrages constitutifs du projet sont implantés dans une zone située près de l'embouchure de la ravine du Grand Etang qui ne présente pas d'intérêt écologique au vu des investigations réalisées.

Toutefois, le site d'implantation de l'extension du port est situé à environ 250 mètres de la zone de protection intégrale de Saint Leu ville et à environ 500 mètres des secteurs à forte sensibilité écologique de la Corne qui se caractérisent par des taux de recouvrement corallien parmi les plus élevés de l'île de La Réunion.

Les enjeux sur ces zones à forte sensibilité écologique sont liés à la migration de panaches turbides générés par les travaux et susceptibles de recouvrir et asphyxier les zones coralliennes.

Les mesures proposées dans le chapitre relatif aux Mesures réductrices et compensatoires du présent document en termes de :

- ✓ confinement des matières en suspension pendant le chantier maritime
- ✓ associées à la surveillance en continu des niveaux de turbidité de l'eau aux abords du chantier

apparaissent adaptées pour éviter de tels incidents.

L'orientation liée à cet objectif de long terme pour la réserve concerne l'amélioration des connaissances sur les espèces.

Les mesures d'accompagnement proposées dans le cadre du projet intègrent entre autres :

- ✓ des études sur l'effet des émissions sonores anthropiques sur les cétacés et les tortues, étant entendu que les travaux les plus impactants se dérouleront hors période de migration des baleines à bosse et de reproduction des tortues vertes (juillet à octobre)
- ✓ un suivi de l'état de santé des récifs coralliens (milieux et peuplements) aux abords de l'enceinte portuaire (durant le chantier et pendant 5 années après les travaux)

et ce dans une zone constituée comme prioritaire en raison qu'elle rencontre (activités de surf, plongée, activités balnéaires).

### ***2<sup>ème</sup> objectif de long terme***

**Il consiste à « assurer un développement raisonné de l'activité de pêche et des différents usages conciliables avec la protection de la biodiversité marine ».**

Les orientations du plan de gestion 2013 – 2017 rattachées à cet objectif de long terme et qui concernent plus particulièrement l'opération sont liées à la **communication auprès des acteurs économiques et des usagers de la pratique nautique** afin de les sensibiliser à une évolution durable de ces différentes activités (G9).

En effet, dans le cadre de l'aménagement de la nouvelle capitainerie, il est prévu d'installer des panneaux d'information pédagogique destinés à la sensibilisation des usagers de la mer respectivement à la protection des mammifères marins, aux risques de collision avec les tortues et aux dangers liés aux déchets plastiques.

Ces outils pédagogiques pourront être élaborés en coordination avec le GIP RNMR et participer à relayer les messages de prévention définis par celui-ci.

### *3<sup>ème</sup> objectif de long terme*

**Il consiste à « garantir le rayonnement et la mise en réseau de la RNMR dans une optique et bonne gouvernance et de gestion intégrée de l'espace marin ».**

Les orientations du plan de gestion 2013 – 2017 rattachées à cet objectif de long terme et qui concernent plus particulièrement l'opération sont liées :

- ✓ d'une part au positionnement de la RNMR sur les projets d'aménagement (AD17)
- ✓ d'autre part à la bancarisation des connaissances (AD22).

L'ensemble des données collectées dans le cadre de l'étude d'impact et des suivis seront mis à disposition de la RNMR pour améliorer la connaissance de l'environnement marin.

Par ailleurs, les représentants du GIP RNMR et/ou du Conseil Scientifique de la RNMR seront conviés à rejoindre le comité de suivi du milieu marin qui sera mis en place dans le cadre du management environnemental de l'opération.

Le Comité, qui regroupera également la maîtrise d'ouvrage du projet, les collectivités parties prenantes, les services de l'Etat, des scientifiques associés et des représentants d'usagers, sera chargé notamment de :

- ✓ statuer sur les modalités du suivi environnemental du chantier
- ✓ s'assurer de la qualité et de la pertinence du protocole de suivi et des mesures d'accompagnement mises en œuvre
- ✓ contrôler l'efficacité des mesures réductrices adoptées
- ✓ faciliter l'acceptation du projet auprès des autorités et des populations.

***4<sup>ème</sup> objectif de long terme***

**Il consiste à « développer une politique pérenne et diversifiée d'information, de pédagogie et de communication à destination de tout public».**

Les orientations du plan de gestion 2013 – 2017 rattachées à cet objectif de long terme et qui concernent plus particulièrement l'opération sont liées à la mise en place par la RNMR de formations à l'attention des professionnels à la connaissance des milieux et des pressions qu'il subit (PI24).

Dans le cadre du management environnemental de l'opération, l'accent sera mis sur l'information et la sensibilisation par le Coordinateur environnemental de tous les intervenants du chantier susceptibles de générer des pollutions ou des nuisances sur le milieu marin.

Ces actions pourront être mises en œuvre en coordination avec le GIP RNMR afin de bénéficier de leur expertise.

## Etat initial du site et du milieu marin environnant

### 5.1 Milieu marin

 Ce chapitre est extrait de l'Etude hydro-sédimentaire réalisée par ACTIMAR et SAFEGE en 2011.

Pour étudier les impacts du projet d'aménagement sur le phénomène de surcote (surélévation du niveau du plan d'eau) et le fonctionnement hydro-sédimentaire aux abords du port, SAFEGE et sa filiale ACTIMAR ont mis en œuvre des outils de modélisation numérique permettant de simuler les processus responsables des surcotes et des mouvements sédimentaires à partir des forçages de marée, de vent, de houle et de débit des ravines.

Ce chapitre présente les données utilisées pour réaliser le modèle.

Les outils de modélisation et les méthodologies qui ont été mis en œuvre pour évaluer les effets du projet sur le milieu physique correspondent à l'état de l'art en la matière. Une maille de résolution de 10 mètres a été utilisée pour les modèles hydro-sédimentaires, ce qui correspond au meilleur compromis pour tenir compte de tous les processus intervenant dans l'élévation du niveau de la mer (étude des surcotes) et la dynamique sédimentaire (transport de sable, envasement), mais également de la précision des données d'entrée disponibles (nature des fonds, apports des ravines, bathymétrie) qui ne permettraient pas d'appréhender ces processus à des échelles métriques.

Toutefois, le rédacteur précise que les conclusions des simulations mathématiques effectuées dans le cadre de la présente étude doivent être appréhendées avec précaution en raison des caractéristiques de la zone d'étude qui comprend des récifs frangeants de faible emprise et des phénomènes de forçage dans le lagon complexes difficilement modélisables.

#### 5.1.1 Bathymétrie

 La bathymétrie au droit du projet est issue d'une campagne spécifique de levés bathymétriques (CTSI, JB TOPO - 2011) réalisée pour partie par sondeur monofaisceaux et pour partie par plongeur scaphandrier pour les zones présentant une profondeur insuffisante pour le bateau.

Les données bathymétriques ont été actualisées en octobre 2016 dans le cadre des investigations préalables aux opérations de dragage du bassin (SEANERGY – 2016).

La bathymétrie du modèle d'étude (maille de 10m) est présentée sur les figures suivantes en état actuel et en état projet.

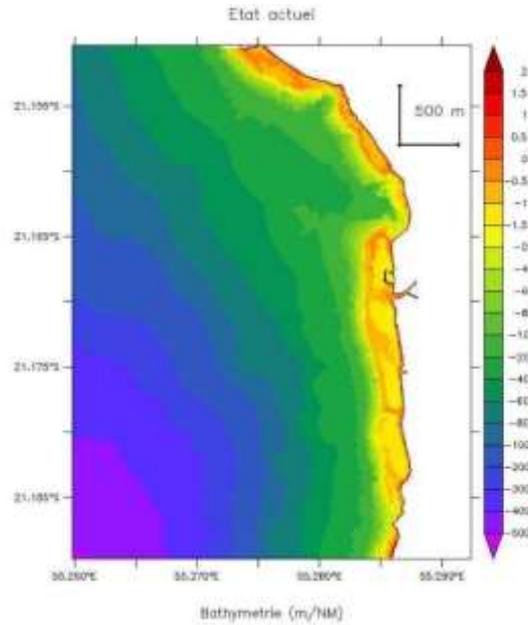


Figure 5.1 : bathymétrie de la zone d'étude utilisée pour le modèle (maille de 10m)

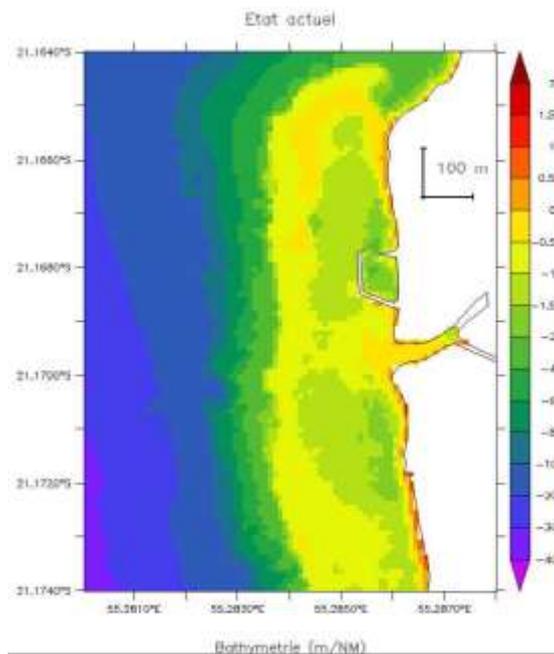


Figure 5.2 : zoom sur la bathymétrie de la zone d'étude (état actuel)

## 5.1.2 Hydrodynamique et courantologie

### 5.1.2.1 Niveaux de la mer

Le niveau de la mer résulte d'une combinaison de forçages incluant : la marée, les phénomènes atmosphériques (pression, vent) et la houle (set-up, run-up, ensachage du lagon).

Les fluctuations de niveaux de la mer peuvent être liées à des marées astronomiques ou à des surcotes conditionnées par des conditions météorologiques particulières : la pression atmosphérique, le vent et le phénomène d'ensachage du lagon devant le port de Saint-Leu.

Correspondances pour faciliter la compréhension du lecteur : le niveau 0 NGR est situé à + 0,53 m en-dessous du niveau 0 hydrographique (NGH) des cartes marines (zéro CM).

Nota : la présente étude n'intègre pas les anomalies altimétriques susceptibles d'affecter les niveaux de la mer en lien avec les grands tourbillons de méso échelle, et en particulier les anomalies de propagation vers l'ouest liées aux vagues barocliniques de Rossby qui traversent l'Océan Indien. (Cf. article S. Pous – P. Lazure – G. André – F. Dumas – I. Halo – P. Penven et al. [2014] sur la circulation des courants aux abords de l'île de La Réunion et de Maurice).

#### A- Les marées astronomiques

Les marées réunionnaises sont semi-diurnes et présentent une inégalité diurne. Les amplitudes de marées varient entre 0,10 et 0,90 m.

Les fortes marées exceptionnelles peuvent atteindre + 0,90 à + 1 m NGH.

La valeur des marées moyennes à la Pointe des Galets est :

	Pleine mer	Basse mer
Vives eaux exceptionnelles	+ 0,95 m NGH	+ 0,05 m NGH
Vives eaux	+ 0,70 m NGH	+ 0,30 m NGH
Mortes eaux	+ 0,60 m NGH	+ 0,40 m NGH

Tableau 5.1 : Hauteur de la marée astronomique à la Pointe des Galets

#### B- Les niveaux d'eau associés aux houles australes

La valeur des niveaux d'eau associés aux houles australes est :

Période de retour	Niveau d'eau (NGR)	Marée (NGR)	Ensachage (estimé)	Élévation du niveau des océans <sup>1</sup>
5 ans	+ 1 m	0,45 m	0,55 m	/
10 ans	+ 1 m	0,45 m	0,55 m	/
25 ans	+ 1 m	0,45 m	0,55 m	/
50 ans	+ 1,15 m	0,45 m	0,55 m	0,15 m
100 ans	+ 1,50 m	0,45 m	0,55 m	0,5 m

Tableau 5.2 : Niveaux d'eau associés aux houles cycloniques

### C- Les surcotes dues aux cyclones

Lors du passage de dépressions cycloniques, des surcotes peuvent s'ajouter aux marées. Elles sont le résultat de fluctuations des pressions barométriques, et de l'onde de tempête qui accompagne le centre du cyclone et gonfle à la remontée des fonds. Elles peuvent, dans les zones basses du littoral, être à l'origine d'inondations. Ces surcotes ne prennent pas en compte les déferlements qu'il convient donc d'ajouter à l'approche des côtes.

Ces phénomènes atmosphériques d'intensité extrême peuvent entraîner des surélévations du niveau d'eau de plusieurs dizaines de centimètres. L'étude d'avant-projet de l'extension du port de Saint Leu (EGIS) retient les hypothèses de surcotes cycloniques suivantes :

- ✓ moyen = 0,3 m ;
- ✓ moyen+ = 0,4 m ;
- ✓ haut = 0,9 m.

L'ensachage correspond à une élévation du niveau moyen de l'eau d'un lagon, sous l'effet de la houle. Ce phénomène entraîne une surélévation du niveau quasi permanente (sauf par mer calme) de l'ordre de 0,1 à 0,2 m et pouvant atteindre 0,5 m pour une houle australe très forte.

### D- L'effet du vent

On admet généralement, qu'un vent soufflant perpendiculairement à la côte, peut provoquer une surélévation de + 0,05 à + 0,15 NGH.

<sup>1</sup> Élévations estimées du niveau des océans basées sur les conclusions de l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007.

### 5.1.2.2 Conditions d'état de mer

L'île de La Réunion est concernée par trois grands types de houles dont l'activité varie suivant les secteurs concernés :

- ✓ les houles australes dues aux dépressions australes lointaines de secteurs Sud à Ouest ;
- ✓ les houles d'alizés de secteurs Est à Sud-Est ;
- ✓ les houles cycloniques, engendrées par les dépressions et cyclones tropicaux. Elles proviennent des secteurs Nord-ouest à Est pendant la période de novembre à mai avec des maxima en février.

Le site de Saint-Leu est plus particulièrement exposé aux houles australes.

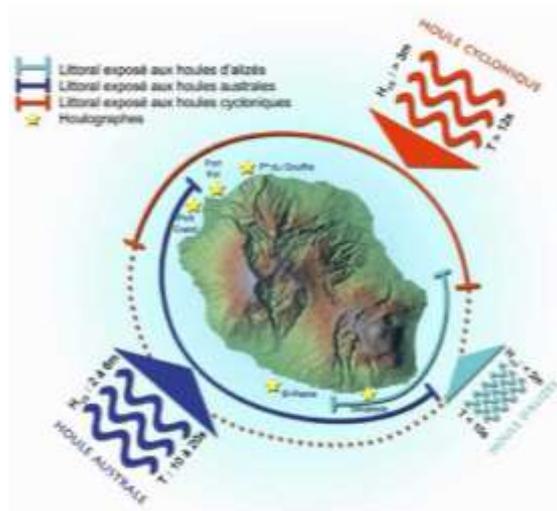


Figure 5.3 : les différents régimes de houles à La Réunion (Source : Météo-France 2009)

Nota : un houlographe a été installé à Saint Gilles mais les données ne sont pas accessibles sur la plate-forme CANDHIS du CETMEF.

#### A- Les houles australes

Les **houles australes** de secteurs sud à sud-ouest sont issues des tempêtes qui se produisent dans le grand sud (40<sup>èmes</sup> rugissants). Ces houles australes sont générées toute l'année mais elles sont plus fréquentes d'avril à novembre.

Les houles australes atteignent l'île de La Réunion avec une provenance sud/sud-ouest, de 200 à 220°, et une hauteur comprise entre 2 mètres et 5 mètres avec des périodes longues comprises entre 15 s et 18 s.

Ces houles n'atteignent pas directement le port de Saint-Leu et son extension car elles sont freinées par la barrière récifale.

## B- Les houles cycloniques

Elles correspondent aux conditions d'agitation extrêmes et exceptionnelles auxquelles peut être soumise la zone d'étude. Les houles cycloniques sont généralement en provenance du secteur nord à nord-est mais la variabilité des trajectoires de cyclones ne permet pas de ne considérer que cette hypothèse. Les plus fréquentes proviennent du secteur Nord-est.

Un cyclone va générer quatre types de houles :

- ✓ des houles modérées de périodes longues annonçant l'arrivée du cyclone ;
- ✓ des houles très fortes dans le sens de propagation du cyclone en approche ;
- ✓ des mers de vents perpendiculaires à la trajectoire du cyclone ;
- ✓ de très gros clapots dans la direction opposée à la trajectoire du cyclone.

Pour le secteur de Saint-Leu, les trajectoires les plus dangereuses sont celles qui contournent l'île par l'ouest. Les plus fortes houles générées par le cyclone se déplacent du nord-ouest vers le sud-ouest.

La majorité des études (Port de la Pointe des Galets, Port de La Possession, Route du littoral...) visant à évaluer les périodes de retour des houles cycloniques au large affichent les résultats suivants :

	Cyclone éloigné	Cyclone rapproché	Cyclone sur l'île
Période (s)	9-13	9-10	-
Surcote (m NGH)	+ 1,20	+ 1,50	+ 1,87
Vents (km/h)	60-70	70-110	> 110
Hs annuelle (m)	6		
Hs décennale (m)	7,7		
Hs trentennale (m)	9		
Hs centennale (m)	10,7		

*Hs : amplitude significative*

**Tableau 5.3 : Périodes de retour des houles cycloniques**

Le Tableau suivant récapitule les conditions cycloniques données par les études de référence à la Réunion.

Référence / Période de retour	1	10	30	100
Rèf. 3 / DHI	4 m / 9 s	7.7 m	9 m	10.7 m / 13s
Rèf. 2 / SOGREAH 1998	4 m / 8.5 s	9 m / 12 s	11 m / 13.5 s	12.5 m / 14.5 s
Rèf. 1 / BRGM 2009				22 m / 18 s (Dina)
Rèf. 6 Egis Eau / DHI 2007		8.5 m / 13.4 s		15.1 m / 16 s

Tableau 5.4 : Conditions de houles cycloniques au large

### 5.1.2.3 Conditions de vent

La Figure suivante représente la moyenne des vitesses et directions de vent issues de la réanalyse CFSR en 2009 (hors cyclone Gaël). L'île de La Réunion est dans la zone des alizés de sud-est. Les vents d'est à sud-est prédominent toute l'année.

Au point CFSR 21.4°S 55.0°E, les vitesses de vents horaires (V1hr) sont en moyenne de 5.3 m/s et au maximum de 17 m/s (en période non cyclonique). Plus de 99% des V1hr sont inférieures à 11 m/s. 70% des vents proviennent des secteurs est à sud-est. Les vitesses de vent sont plus soutenues d'avril à septembre.

Les conditions extrêmes de vent horaire en régime normal, calculées à partir de la série temporelle CFSR en ce même point sont fournies en suivant. La valeur extrême de période de retour 100 ans est de 19 m/s soufflant du ESE.

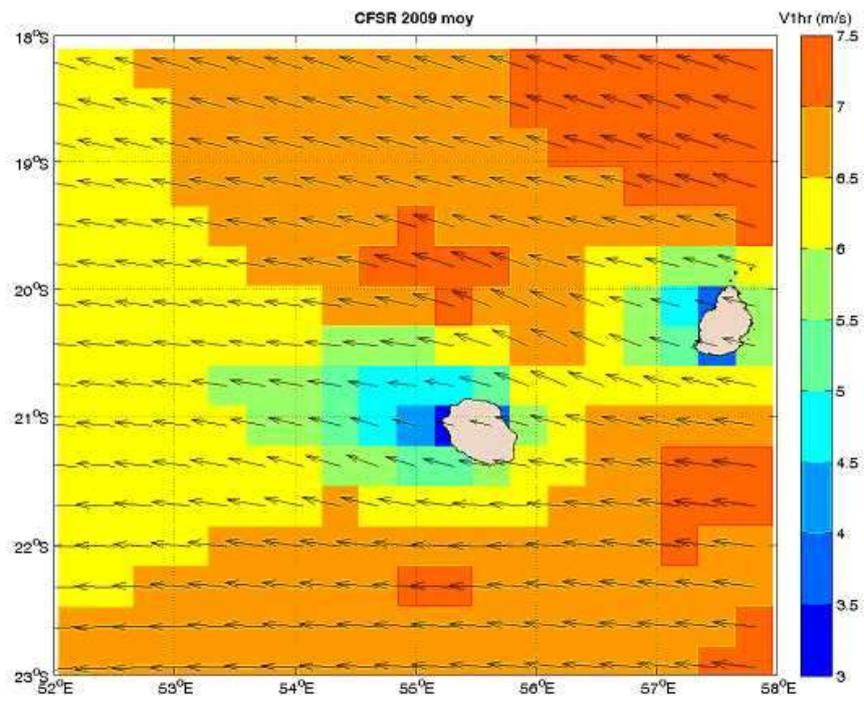


Figure 5.4 : Cartes de vent CFSR V1hr moyen en 2009 (hors cyclone Gaël)

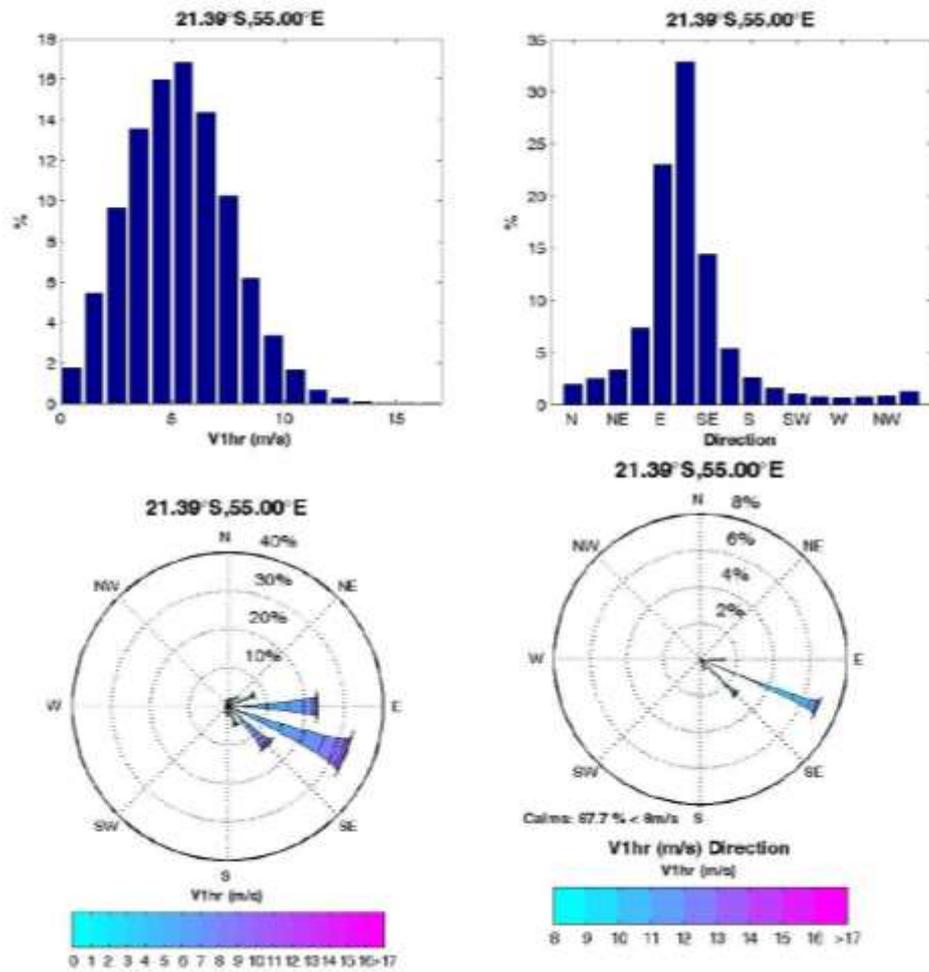


Figure 5.5 : Histogrammes V1hr, direction (en haut), roses des vents V1hr et rose max V1hr (au milieu). Point CFSR 21.4°S 55.0°E Période normale hors cyclone

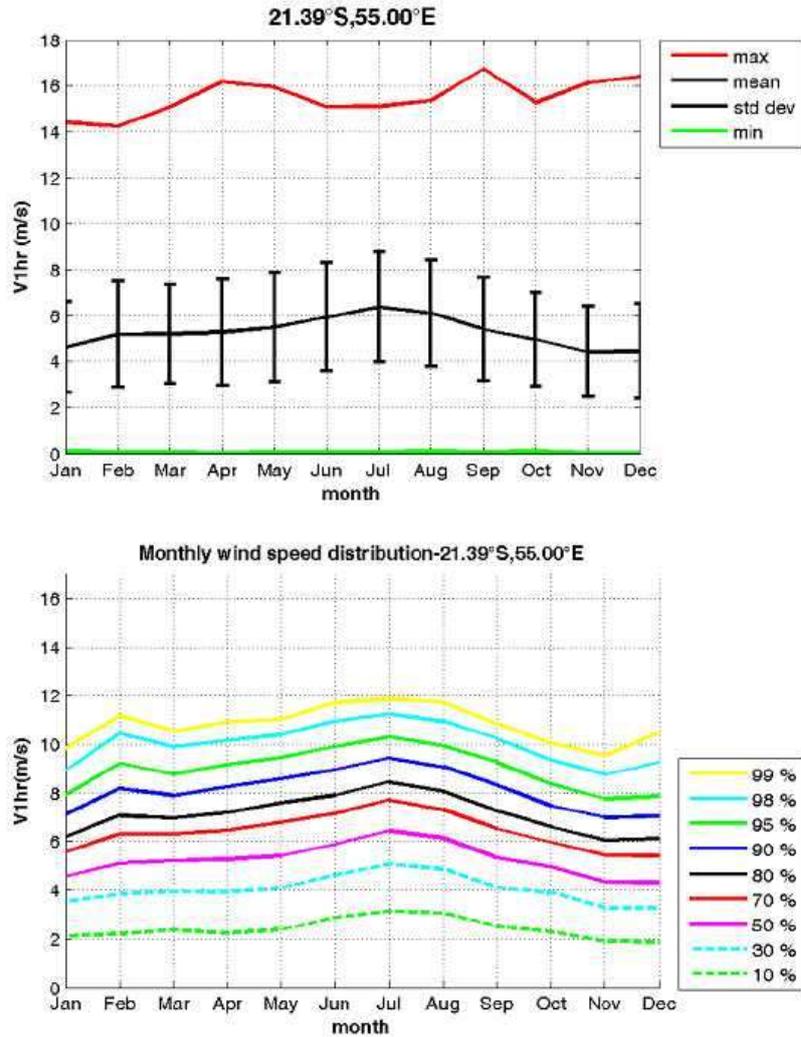


Figure 5.6 : Statistiques mensuelles de vitesse de vent V1hr CFSR 21.4°S 55.0°E Période normale

Sectors	Return Period (years)							Max (31yrs)
	1	10	15	25	50	100		
Omnidirectionnal	14.4 m/s	16.7 m/s	17.1 m/s	17.6 m/s	18.3 m/s	19.0 m/s	16.7 m/s	
N	0	9.1 m/s	13.0 m/s	13.7 m/s	14.6 m/s	15.7 m/s	16.8 m/s	13.4 m/s
NNE	22.5	7.9 m/s	10.7 m/s	11.1 m/s	11.7 m/s	12.5 m/s	13.3 m/s	10.9 m/s
NE	45	7.4 m/s	10.2 m/s	10.7 m/s	11.4 m/s	12.3 m/s	13.3 m/s	11.5 m/s
ENE	67.5	8.6 m/s	10.9 m/s	11.4 m/s	11.9 m/s	12.7 m/s	13.5 m/s	12.3 m/s
E	90	11.5 m/s	13.9 m/s	14.3 m/s	14.9 m/s	15.5 m/s	16.2 m/s	15.3 m/s
ESE	112.5	14.0 m/s	16.5 m/s	17.0 m/s	17.5 m/s	18.3 m/s	19.0 m/s	16.7 m/s
SE	135	13.0 m/s	15.4 m/s	15.9 m/s	16.4 m/s	17.1 m/s	17.7 m/s	15.8 m/s
SSE	157.5	11.6 m/s	14.5 m/s	14.9 m/s	15.6 m/s	16.4 m/s	17.2 m/s	15.1 m/s
S	180	10.1 m/s	13.9 m/s	14.5 m/s	15.3 m/s	16.4 m/s	17.5 m/s	14.6 m/s
SSW	202.5	8.4 m/s	12.4 m/s	13.2 m/s	14.1 m/s	15.3 m/s	16.6 m/s	16.1 m/s
SW	225	7.9 m/s	11.5 m/s	12.2 m/s	13.0 m/s	14.1 m/s	15.2 m/s	13.9 m/s
WSW	247.5	6.7 m/s	9.5 m/s	10.0 m/s	10.6 m/s	11.4 m/s	12.2 m/s	10.7 m/s
W	270	7.5 m/s	11.3 m/s	12.0 m/s	12.8 m/s	13.9 m/s	15.1 m/s	13.3 m/s
WNW	292.5	7.6 m/s	11.9 m/s	12.6 m/s	13.6 m/s	14.8 m/s	16.0 m/s	13.8 m/s
NW	315	9.2 m/s	12.6 m/s	13.2 m/s	13.9 m/s	14.9 m/s	15.8 m/s	14.2 m/s
NNW	337.5	9.4 m/s	12.6 m/s	13.1 m/s	13.8 m/s	14.6 m/s	15.5 m/s	13.1 m/s

Tableau 5.5 : Conditions extrêmes directionnelles de vent horaire au point 21.4°S 55.0°E

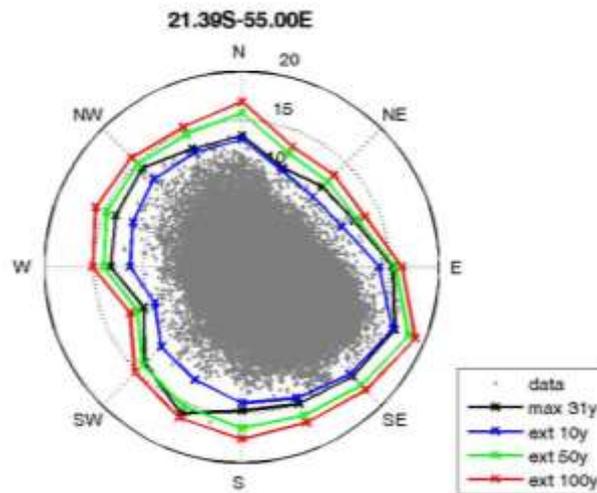


Figure 5.7 : Conditions extrêmes directionnelles de vent horaire au point 21.4°S 55.0°E

La zone d'étude est soumise aux houles australes qui sont réfractées en arrivant à la cote. La houle déferle en arrivant à la limite du platier et y dissipe son énergie.

#### 5.1.2.4 Courantologie

À l'échelle de La Réunion, la circulation des eaux résulte généralement de l'action des vents. On observe ainsi une dérive due aux alizés (si  $> 3$  m/s), en relation avec le Courant Sud Équatorial (CSE) portant dans une direction ouest vers la côte orientale de Madagascar.

Au sud de cette dérive générale, on note la présence de courants variables selon le régime des vents régnant dans cette région. Il résulte de cette variabilité de types de régimes une instabilité de la circulation des eaux marines réunionnaises.

Les courants au droit du port de Saint Leu sont principalement dus à la marée et à la houle. Le vent et le débit des ravines peuvent également intervenir, notamment lors des événements extrêmes (cyclones).

D'après la bibliographie, le schéma courantologique en temps normal correspond à :

- ✓ Un courant littoral orienté du sud vers le nord sous l'action de la houle et une vidange du lagon par la passe nord.

Ce courant peut atteindre 1 à 3 m/s dans le lagon et jusqu'à 5 m/s dans la passe par très forte houle.

- ✓ A la limite du lagon, des courants perpendiculaires à la barrière récifale orientés vers la côte sous l'action du déferlement des vagues.
- ✓ Un courant alternatif nord/sud sous l'effet de la marée à l'extérieur du lagon.

- ✓ Un courant orienté vers l'embouchure au niveau des ravines sous l'action du débit.

### 5.1.3 Contexte sédimentaire et morpho-dynamique côtier

📖 Synthèse morpho-dynamique des littoraux de La Réunion – Phase 1, BRGM, RP-53307-FR, Décembre 2004.

📖 Extension du port de la commune de Saint-Leu - Étude de faisabilité, BCEOM, HER / 41065E, Juin 2005.

#### 5.1.3.1 Typologie des systèmes côtiers réunionnais

Un système côtier se décompose en trois zones étagées :

- ✓ une zone émergée (domaine aérien ou supra-littoral) ;
- ✓ une zone soumise à l'alternance des marées (domaine intertidal ou médio-littoral) ;
- ✓ et une zone immergée (domaine sous-marin ou infra-littoral).

Chacune d'entre elles étant en interaction avec les autres pour les transferts sédimentaires.

Dans le cadre de la typologie retenue pour décrire les côtes réunionnaises, quatre systèmes principaux sont retenus. Leurs caractéristiques morphologiques générales sont décrites par Robert (1974) et plus récemment par Cazes-Duvat et Paskoff (2004).

Ces quatre systèmes côtiers sont :

##### 1. Le « système côtier rocheux » ;

Il représente 43 % du littoral réunionnais et regroupe les falaises et côtes rocheuses basses (deltas de lave, plate-formes d'abrasion).

Le plus souvent basaltiques, ces formations peuvent aussi être meubles ou mixtes et composées de formations superficielles (lahars, coulées de débris, lapilli,...).

##### 2. Le « système côtier alluvial » ;

Il s'agit des côtes d'accumulation de sédiments terrigènes (galets et sables basaltiques d'origine fluviale) et représente 32 % du littoral réunionnais.

On distingue plusieurs stades de remaniement de ces alluvions. Le stade primaire correspond au dépôt fluviale au droit des cours d'eau (cordon de galets « primaires », cône delta) ; le stade secondaire au transport par les courants marins des galets de part et d'autre des cours d'eau (cordons de

galets « secondaires ») ; le troisième stade au comblement des baies par les matériaux plus fins (plages de sable volcanique) et enfin, le quatrième stade à la reprise des sables de plage par le vent (dunes de sable volcanique).

### **3. Le « système côtier corallien » ;**

Il s'agit des plages situées en arrière des formations récifales et alimentées par celles-ci. Il représente 7 % des littoraux de La Réunion. Ces plages peuvent être plus ou moins « évoluées » en fonction de leur extension sous-marine. Cette extension sous-marine est directement liée au type de récif.

En effet, les petites platines et plates-formes coralliennes qui jouxtent de très près le trait de côte, empêchent la formation d'une plage sous-marine. En revanche pour les récifs coralliens plus développés et situés à une centaine de mètres de la ligne de rivage, la plage présente une partie infra-littorale appelée « dépression d'arrière récif » ou encore « chenal d'embarcation ».

Les plages coralliennes étant souvent délimitées par l'arrivée de cours d'eau, les sables qui les composent peuvent être biodétritiques (coralliens et coquilliers) ou mixtes (biodétritiques et volcaniques).

### **4. Le « système côtier artificialisé » ;**

Il s'agit de l'artificialisation des systèmes côtiers précédemment décrits, c'est-à-dire de la construction d'aménagements et d'ouvrages de défense.

Cette artificialisation représente 18 % des côtes réunionnaises. Elle peut être seulement ponctuelle et se coupler avec un autre système (un mur en haut de plage, une cale à bateau sur une grève de galets).

Dans ce cas, l'aménagement ne concerne qu'une partie du système côtier. Mais, l'artificialisation peut aussi être intégrale et recouvrir tous les étages du littoral. Les murs et enrochements qui protègent les grandes infrastructures côtières sont directement au contact de la mer, à marée basse comme à marée haute.

**La zone d'extension du port est concernée par les trois zones étagées d'un système côtier (émergée, soumise au balancement des marées et immergée).**

**Le littoral de Saint-Leu représente un système côtier corallien majoritairement artificialisé.**

#### **5.1.3.2 Contexte du projet**

Le secteur de Saint Leu est bordé de plages coralliennes surmontées au sud par une berme végétalisée (végétation rampante ou filaos) et au nord par des habitations. Seule la partie urbaine de la plage présente une extension sous-marine permettant la

baignade. La plage est interrompue dans sa partie nord par des aménagements (port et promenade) et leurs ouvrages de protection (enrochements).

Les constructions « en dur » (infrastructures touristiques, parkings, voiries...) contribuent à l'artificialisation du trait de côte et à la perturbation indirecte de la morphogénèse littorale.

Les quelques ravines forment des cordons de galets à leur exutoire et des plages de sable basaltique à mixte (mélange de sable volcanique et biodétritique).



Figure 5.8 : Morphologie de la plage corallienne de Saint-Leu (Mission 2004 du BRGM)

### 5.1.3.3 Nature sédimentaire des fonds

Les prélèvements effectués dans le cadre du projet montrent que les fonds sédimentaires du lagon de part et d'autre du port (zone ZP2) sont constitués de matériaux grossiers d'environ 800 microns de diamètre (moyenne des diamètres de granu1 à granu8) ce qui est cohérent avec l'hydrodynamisme fort dû aux courants de houle dans cette zone.

Dans le port (granu 9 à 11), on observe un gradient de granulométrie entre l'entrée et le fond du bassin :

- ✓ L'entrée du port est le lieu de courants dus aux échanges de masses d'eau entre le bassin et le lagon ce qui peut expliquer le caractère très grossier des sédiments à cet endroit (1400 microns) ;
- ✓ A l'inverse, le fond du bassin est plus calme et les sédiments charriés par le courant peuvent s'y déposer.

Dans la ravine et aux abords, la granulométrie est de l'ordre de 600 à 1000 microns.

La concentration en matière en suspension (MES) dans la zone d'étude est de l'ordre de quelques dizaines de mg/l.

		n°	d50 (micron)	MES (mg/L)
ZP2	nord du port	granu1	837.9	
		granu2	884.0	
		granu3	989.7	
		granu4	968.9	
	sud de la ravine	granu5	897.7	
		granu6	618.8	
		granu7	676.7	
		granu8	574.0	
ZP1	bassin	granu9	1409.0	35
		granu10	717.2	54
		granu11	335.0	48
	ravine et abords	granu12	903.7	42
		granu13	578.2	22
		granu14	836.7	12
		granu15	965.8	46

Tableau 5.6 : résultats des prélèvements d'eau et de sédiments (source : CTSI)



Figure 5.9 : localisation des prélèvements

#### 5.1.3.4 Évolution sédimentaire de la zone

Avant toute urbanisation, la plage s'étendait tout le long du lagon. Cette plage constituée de dunes et de végétation participait aux échanges sédimentaires entre la mer et la terre et constituait un stock de sable appréciable.

L'urbanisation a gagné petit à petit sur cette zone littorale, privant les plages du lagon d'une grande partie du stock de sable, et modifiant le schéma fonctionnel.

Les photos aériennes et les anciennes cartes postales recueillies dans le cadre du projet permettent d'appréhender l'évolution du lagon de Saint Leu depuis les dernières décennies (photographies aériennes de 1950 à 2008).

Pour pouvoir comparer les clichés entre eux, un géoréférencement a été réalisé à partir de points remarquables (bâtiments, église, routes...) visibles sur l'ensemble des photographies. Ensuite, la « limite sableuse » a été tracée sur chaque image pour obtenir l'évolution du stock de sable à l'embouchure de la ravine. Cette limite n'est toutefois pas très précise puisqu'elle dépend de la qualité du cliché (contraste, luminosité) et du niveau d'eau à l'instant du cliché (débit de la ravine, marée...), seul les changements significatifs sont donc illustrés.

En 1950, la zone est très peu urbanisée, le stock de sable à l'embouchure de la ravine est significatif et s'étend sur plusieurs dizaines de mètres (plage). Ce stock participe aux échanges sédimentaires dans le lagon et montre des variations sensibles à l'échelle de quelques mois.

En 1966, l'urbanisation est en marche, le stock de sable est toujours très important même si on note déjà une diminution au nord d'un épi qui a été créé à l'emplacement de la future digue du port. La digue du port est construite entre 1966 et 1973. A partir de cette période, le stock de sable diminue progressivement jusqu'à sa disparition sous l'effet de l'urbanisation du bassin versant qui limite l'apport en matériaux des ravines.

L'analyse des photographies aériennes de 1966 et 1997 permet d'observer l'évolution de l'urbanisation et la construction des principaux aménagements côtiers tels que le port et la protection de la promenade du front de mer (Cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).



Figure 5.10 : Contexte sédimentaire et évolution du trait de côte du centre de Saint-Leu (BRGM – Décembre 2004)

En 1966, Saint-Leu présente une côte sableuse alimentée par le récif et le cône de déjection de la Ravine de Grand-Étang. Trente ans plus tard, le front de mer a été aménagé avec des enrochements de protection et le port de plaisance a été construit à

proximité de la Ravine de Grand-Étang (jetée). Aujourd'hui, le sable a totalement disparu de ce secteur de la ville.

Après 1984, il n'y a plus d'évolution marquée au niveau de l'embouchure de la ravine. La zone est complètement urbanisée et le littoral est « fixé » sur une grande partie.

Actuellement, le lagon présente un transit littoral faible en temps normal, les évolutions sédimentaires sont donc également faibles.

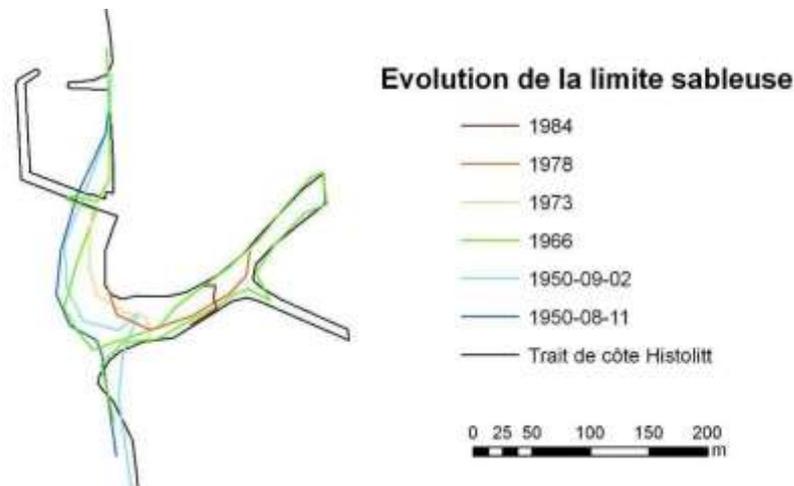


Figure 5.11 : évolution sédimentaire depuis 1950

La construction du port puis l'endigement du littoral entre le port et la passe a fini de modifier le contexte sédimentologique de la partie nord du lagon. Le creusement du chenal d'accès a également modifié les courants.

La zone nord est donc celle qui a changé le plus principalement de par la construction du port et la présence du bâti très proche, mais aussi car elle subit toute la "pression" de l'urbanisation plus en amont (diminution des plages – réduction des apports en matériaux fluviatiles).

Depuis quelques années, l'anthropisation du littoral de Saint Leu est stabilisée et les évolutions sédimentaires des plages coralliennes sont beaucoup moins marquées qu'au cours des 50 dernières années sans pour autant qu'un état d'équilibre ne soit atteint.

**Le contexte sédimentaire et l'évolution du trait de côte du centre la commune de Saint-Leu sont intimement liés aux aménagements côtiers mis en œuvre ces dernières décennies.**

#### 5.1.4 Qualité des eaux de baignade

Le littoral de Saint Leu compte un seul site de baignade autorisée dont la qualité de l'eau est suivie régulièrement par l'Agence Régionale de Santé (ARS).

La plage Saint-Leu MNS obtient le classement « Pavillon Bleu » depuis 2010.

**Le suivi de la qualité des eaux de baignade au niveau de la plage face au récif de Saint-Leu enregistre une eau de baignade de « bonne qualité » depuis 2007 au regard de la réglementation actuelle.**

Année	Plage Saint-Leu (MNS)
2012	
2011	
2010	
2009	
2008	
2007	

*Légende : En bleu : bonne qualité*

Tableau 5.7 : Classement réglementaire des eaux de baignade sur la commune de Saint Leu (directive européenne de 1976 puis 2006)

### 5.1.5 Écologie du milieu marin

 Expertise écologique du milieu marin pour le projet d'extension du port de Saint Leu – Platier et pente externe du récif de Saint-Leu, Dodo Palmé – Juillet 2010.

Le périmètre d'étude du milieu marin est situé au niveau du lagon de Saint Leu, dans le périmètre de la RNNMR.

Une expertise écologique a été menée au niveau du platier et de la pente externe du récif de Saint Leu. Deux prélèvements d'eau de mer et deux prélèvements de sédiments marins ont été effectués et quatre stations ont été échantillonnées selon la méthode mise en place par le Global Coral Reef Monitoring Network (GCRMN).

#### *Qualifications et compétences de l'équipe mobilisée*

Sophie BUREAU – 7 ans d'expérience (lors de la campagne)

Titulaire d'un DESS en environnement et écosystèmes aquatiques et spécialisée en écosystèmes marins, riche d'une expérience en bureau d'étude en métropole et à La Réunion, Sophie Bureau dispose d'un diplôme de plongeur hyperbare classe II B lui permettant de réaliser des interventions de terrain jusqu'à 60 mètres de profondeur.

Sur le plan technique et opérationnel, elle a pris la direction de l'équipe de plongeurs en charge des investigations sous-marines et a réalisé les prélèvements de surface (eau & sédiments).

Elle a été accompagnée par Emmanuel ROTHE – 10 ans d'expérience – Plongeur hyperbare classe II B.

L'expertise réalisée consiste en un état initial des peuplements du récif de Saint-Leu en termes de recouvrement et d'état de vitalité avant le début des travaux d'extension portuaire.

L'objectif de cet état initial des peuplements est de connaître :

- ✓ le taux de recouvrement global du substrat par les organismes benthiques sessiles (coraux, algues...);
- ✓ les peuplements ou les espèces benthiques dominantes en termes de recouvrement ainsi que les principales espèces ichtyologiques rencontrées afin d'analyser les éventuelles évolutions ;
- ✓ l'état de vitalité des peuplements et l'évolution écologique globale de la zone.

Cet état initial des peuplements du récif de Saint Leu est complémentaire du suivi de deux stations permanentes, « La corne platier » et «La corne pente externe », réalisé par le Groupement d'Intérêt Public de la Réserve (GIP RNMR). Ces stations sont suivies chaque année depuis l'année 1999.

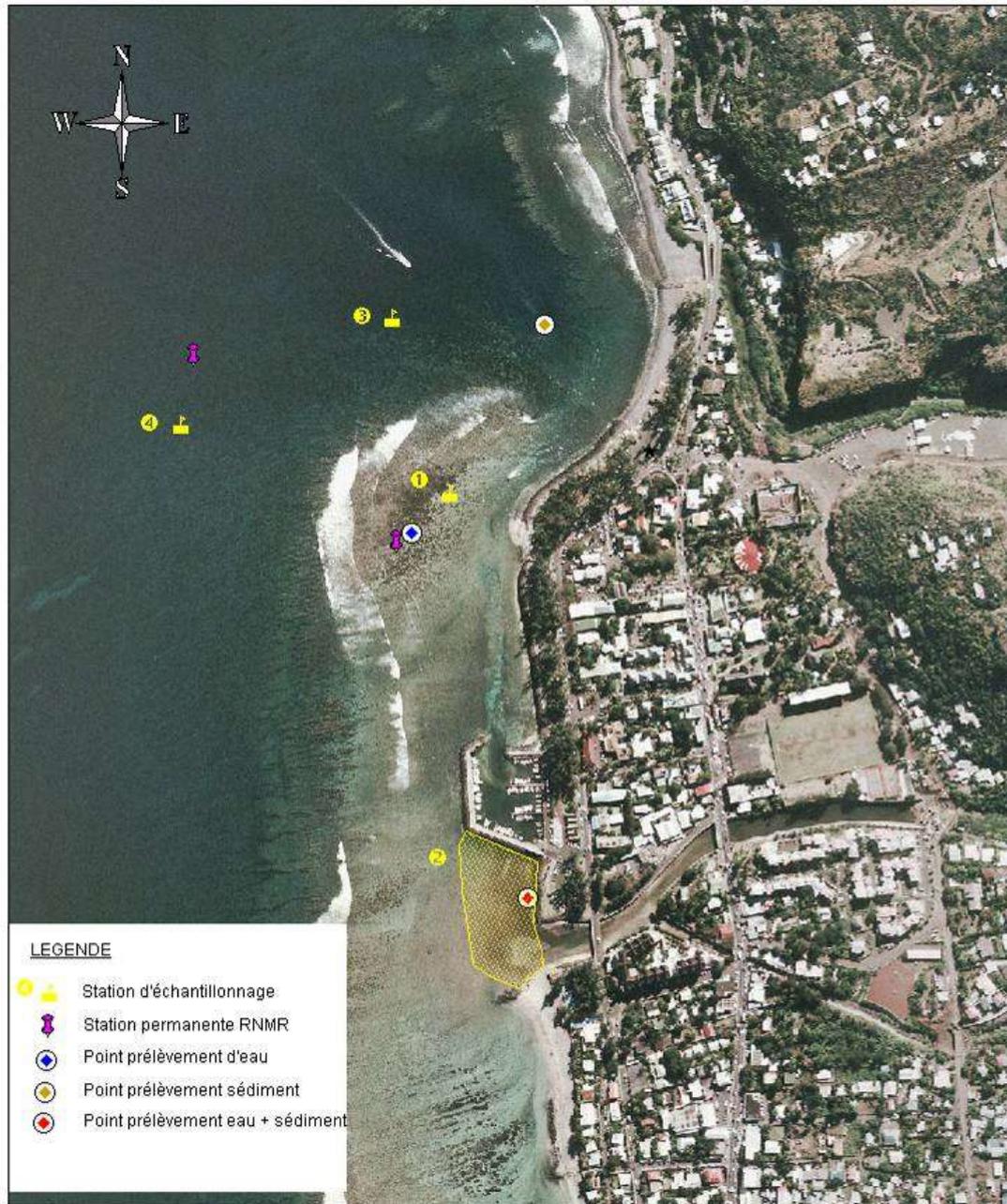


Figure 5.12 : Plan d'échantillonnage au niveau du récif de Saint-Leu

### 5.1.5.1 Analyses granulométriques

La granulométrie du sédiment est un paramètre important dans l'étude de la qualité de ce milieu dans la mesure où elle conditionne pour une grande partie la rétention des polluants, ceux-ci s'adsorbant préférentiellement sur les particules fines.

Les deux prélèvements réalisés au niveau des stations 1 et 2 présentent des profils granulométriques similaires (**Erreur ! Source du renvoi introuvable. & Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) qui se caractérisent par :

- ✓ une forte prédominance des particules de sable (63  $\mu\text{m}$  à 2 mm), soit entre 96 et 98% ;
- ✓ et la très faible représentation de vase (< 63  $\mu\text{m}$ ), soit entre 2 et 4%.

La classe modale est constituée par les sables grossiers (500 à 2 000  $\mu\text{m}$ ) dans des proportions comprises entre 47,5 et 60,4%.

Le sédiment de nature sableuse présente un bon grano-classement, ce qui traduit une situation d'hydrodynamisme modéré (ne permettant pas le dépôt de particules fines).

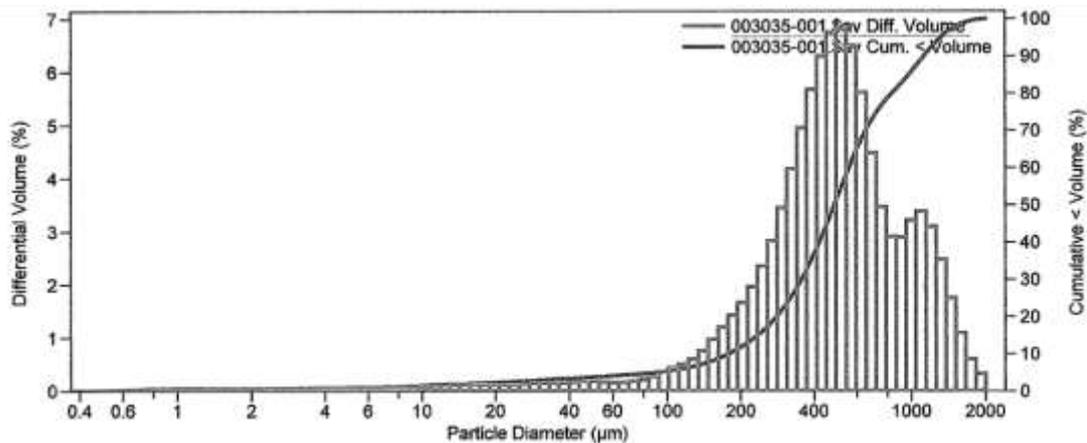


Figure 5.13 : Caractéristiques granulométriques des sédiments au niveau de la station 1

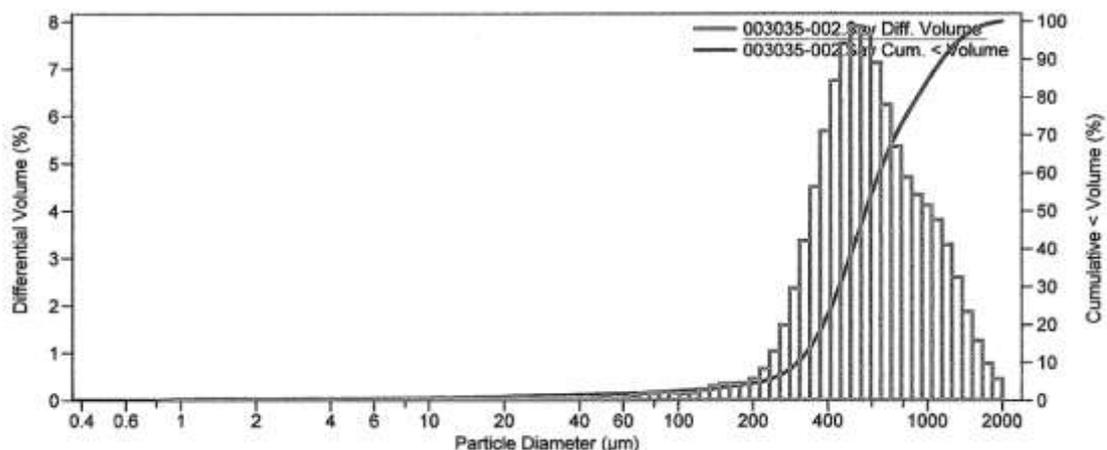


Figure 5.14 : Caractéristiques granulométriques des sédiments au niveau de la station 2

### 5.1.5.2 Qualité des eaux

La qualité des eaux au niveau du lagon de Saint Leu développée ci-après s'appuie sur les expertises réalisées respectivement par DODE PALME (Cf. Annexe 1 Volet Prélèvements et analyses d'échantillons d'eau de mer de l'étude d'impact) et CTSI (Cf. Annexe 13 – Volet Prélèvements et analyses des eaux littorales de l'étude d'impact) et sur une comparaison avec les données du RNOHYD fournies par l'IFREMER.

Elle peut être abordée selon différents paramètres. On distinguera trois groupes de paramètres :

#### 1. les indicateurs généraux des eaux marines (température, salinité)

Un certain nombre de paramètres que l'on pourrait qualifier d'accompagnateurs permet de caractériser les masses d'eaux marines sans parler de contamination. Ils peuvent néanmoins dans certains cas permettre indirectement de relever une pollution de la masse d'eau. La salinité est notamment utilisée comme marqueur de la dilution en mer des apports d'eau douce.

#### 2. les paramètres concernant la charge solide des eaux (concentration en matières en suspension)

#### 3. les sels nutritifs.

La température enregistrée en sub-surface au niveau des deux stations est de 27°C.

La salinité mesurée est de 34,73 ‰ au niveau des deux stations.

A La Réunion les valeurs de salinité sans apport d'eau douce se situent entre 35,0‰ et 35,5‰. Les valeurs mesurées dans le lagon de St Leu lors des suivis du Réseau Hydrologique Littoral Réunionnais (RHLR) se situent entre 34,5‰ et 35,2‰ pour une moyenne de 34,95‰. La valeur mesurée de 34,73‰ correspond ainsi à une eau légèrement dessalée située dans la normale des valeurs mesurées dans le lagon de St Leu.

L'origine de cette dessalure ne peut toutefois pas être identifiée sans une analyse complémentaire, notamment de la température, du pH et des silicates dissous, qui informent sur la part d'eaux de ruissellement, résurgentes et pluviales dans la dessalure mesurée. Il est toutefois probable que la légère dessalure mesurée soit liée à la proche embouchure de la ravine Grand-Etang. Cette hypothèse est corroborée par les concentrations relativement élevées en sels nutritifs mesurées, comme indiqué ci-après.

La charge solide des eaux a été appréhendée à partir de la mesure de la concentration en MES.

NB : concernant les mesures de MES, il est à noter que les mesures ont été effectuées sans bouteille de type Niskin, à la différence des mesures du réseau RNOHYD. Cette différence de protocole est à l'origine des variations très marquées dans les résultats des concentrations en MES, entre d'une part les mesures du réseau RNOHYD réalisées entre 2003 et 2005 ( $V_{\text{moy}} : 1,36 \text{ mg/l} - V_{\text{max}} : 5,1 \text{ mg/l}$ ) et celles de la campagne CTSI (13 mg/l pour la station 1 et 17 mg/l pour la station 2).

Au vu de cet aléa, ces dernières mesures n'ont pas été prises en compte.

De plus, depuis 2006, les mesures de charge solide sont effectuées par des mesures de turbidité dont le protocole est plus simple. Les mesures de turbidité du réseau RNOHYD rendent compte d'une valeur maximale de 0,72 NTU (une valeur extrême de 3.35 NTU relevée) et une moyenne de 0,21 NTU pour des mesures effectuées entre 2006 et 2010.

Les sels nutritifs (azote et phosphore) sont de bons indicateurs des apports terrestres au milieu marin. On distinguera dans cette partie les deux formes d'azote inorganique (nitrites –  $\text{NO}_2$ , nitrates –  $\text{NO}_3$ ) ainsi que le phosphore inorganique (ou orthophosphates –  $\text{PO}_4$ ). Dans le cycle de l'azote, l'azote organique (N) apporté au milieu marin est oxydé en présence d'oxygène en ammonium puis en nitrites et enfin en nitrates. De même, le phosphore organique (P) est oxydé en orthophosphates en présence d'oxygène.

Sels nutritifs	Station 1	Station 2
Orthophosphate ( $\mu\text{mol/l}$ )	0,16	0,14
Phosphore total (mg/l)	< 0,02	0,02
Nitrate ( $\mu\text{mol/l}$ )	0,75	0,33
Nitrite ( $\mu\text{mol/l}$ )	0,10	0,10
Ammoniac ( $\mu\text{mol/l}$ )	< 0,50	< 0,50

Tableau 5.8 : Concentrations en sels nutritifs obtenus lors des prélèvements dans le lagon de Saint-Leu

Ces résultats peuvent être comparés aux résultats obtenus lors des campagnes en mer du RNO Hydrologie à La Réunion entre 2002 et 2010 (Cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Sels nutritifs	Valeur moyenne	Valeur maximale
Phosphate ( $\mu\text{mol/l}$ )	0,14	0,27

<i>Nitrate</i> ( $\mu\text{mol/l}$ )	0,47	3,11
<i>Nitrite + Nitrate</i> ( $\mu\text{mol/l}$ )	0,60	3,35
<i>Nitrite</i> ( $\mu\text{mol/l}$ )	0,13	0,24
<i>Ammoniac</i> ( $\mu\text{mol/l}$ )	0,26	0,78
<i>Silicate</i> ( $\mu\text{mol/l}$ )	2,88	5,41

*Tableau 5.9 : Concentrations en sels nutritifs obtenus lors des campagnes du RNO entre 2002 et 2010*

Les concentrations en sels nutritifs mesurées lors de la campagne s'inscrivent dans les fourchettes du suivi du RNO.

**L'analyse du compartiment eau de mer montre des concentrations relativement importantes en sels nutritifs.**

### 5.1.5.3 Qualité des sédiments

L'analyse de la qualité des sédiments a été effectuée par CTSI. Il convient de se reporter au rapport d'analyse joint en Annexe 13 de l'étude d'impact qui explicite la méthodologie et les résultats obtenus (hors mesures MES non prises en compte).

**L'analyse sédimentaire met en évidence des sédiments de nature sableuse avec une faible part de particules fines (2 à 4 %) montrant une absence de contamination concernant les métaux lourds et des composés organiques présents à l'état de traces.**

### 5.1.5.4 Taux de recouvrement global du substrat par les organismes benthiques

L'analyse du taux de recouvrement par les organismes benthiques d'une station de mesure non permanente, mais géo-référencée de manière précise, permet de réaliser un état initial de l'état de santé du récif corallien dont l'évolution quantitative et qualitative pourra être suivie dans le temps.

Par ailleurs, l'analyse d'espèces indicatrices comme par exemple les populations d'Acropores, et notamment les Acropores branchus, communautés par définition très sensibles, permet de déduire l'état de pression actuelle qui s'exerce sur une zone et de définir la sensibilité écologique d'une station.

#### A- Au sud du port existant : station 2

L'ensemble de la zone située au sud du port actuel (entre la digue sud du port et l'embouchure de la Ravine Grand-Étang) a été investiguée. Ces observations ont montré la quasi-absence de recouvrement corallien de cette zone, mis à part quelques

très petites colonies au niveau des enrochements de la digue du port, et un substrat dur composé de galets enalgués. Les zones de sédiments meubles sont quasi inexistantes (Cf. photos suivantes).

Les invertébrés vagiles observés sur cette zone sont essentiellement des oursins (*Echinothrix diadema*, *Tripneustes gratilla*, *Echinometra mathaei*) présents en quantité moyenne sur les zones rocheuses et les enrochements des digues du port et constituent des témoins d'une zone dégradée (Cf. photos suivantes).

**L'absence de recouvrement corallien confirme que cette zone est sous l'influence d'apports d'eau douce et de sédiments de la Ravine Grand-Étang.**

**L'absence de sédiments meubles dans cette zone d'embouchure démontre, pour cette période de l'année, un faible transport sédimentaire ou plus vraisemblablement un transport des particules sédimentaires en aval au niveau du lagon de Saint Leu.**



**Photo 1 : Absence de recouvrement corallien**



**Photo 2 : Débris et galets enalgués**



**Photo 3 : Substrat enalgué**



**Photo 4 : Substrat enalgué et cyanophycées**



**Photo 5 : Présence d'oursins *Echinothrix diadema* au niveau de zones rocheuses**



**Photo 6 : Présence d'oursin *Tripneustes gratilla***

## B- Au niveau du platier : station 1

Les taux de recouvrement détaillés par type de substrat et par station sont mentionnés au niveau des **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** suivants.

Les taux de recouvrement détaillés par type de substrat et par station sont mentionnés au niveau des **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et suivants et de la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

La station 1 située au niveau du platier et orientée parallèlement à la côte enregistre un recouvrement corallien important avec une couverture moyenne en coraux vivants de 47,92% +/- 3,76 ES.

Cette valeur est plus importante que celle enregistrée au niveau de la station permanente (La Corne platier) suivie par le GIP RNMR : 37% en 2008, 19% en 2009, 33.1% en 2010, 28.6% en 2011, 35.2% en 2012, 40.2% en 2013, 40.0% en 2014 et 35.6% en 2015.

Ces valeurs sont globalement stables, avec toutefois des variations interannuelles notables. On relève en particulier la capacité de résilience suite à des épisodes de stress comme en 2009 ou 2011. Ce point est développé dans la suite du présent document.

Le recouvrement moyen en substrats enalgués est de 49,75% +/- 5,72 ES et composé essentiellement de débris coralliens recouverts d'un feutrage algal (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). La part complémentaire du recouvrement est composée d'éponge, du genre *Dysidea sp.*, pour 2,33% +/- 2,25 ES (Cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** § D ci-après).

L'ensemble de la station présente une faible variété taxonomique en corail vivant sur les transects observés, avec un total de 10 espèces relevées. Les espèces coralliennes sont composées essentiellement d'Acropores, dominées par des Acropores branchus (ACB) (*Acropora muricata*) pour 23,33% +/- 10,52 ES formant par endroit de grandes colonies couvrant plusieurs m<sup>2</sup> (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) et à d'autres endroits des repousses (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Au total, 4 espèces d'Acropores ont été observées (5 espèces au niveau de la station permanente en 2008 et 3 espèces en 2009). Notons également un faible recouvrement de *Porites (Syneraea rus)* pour 4 % +/- 4,27 ES espèce caractéristique des zones de platier dégradé.

La population d'invertébrés vagiles sur la station 1 s'est avérée de densité moyenne avec 12,92 +/- 4,40 ES individus par m<sup>2</sup>.

L'ensemble de la station présente une faible variété taxonomique en invertébrés benthiques vagiles sur les quadrats observés, avec un total de 12 espèces relevées au niveau des transects de mesure. Le groupe des échinodermes est le plus représenté avec un total de 4 espèces observées et 7,833 +/- 4,26 ES individus par m<sup>2</sup>. L'espèce la plus présente est l'ophiure *Ophiocoma erinaceus* caché dans les anfractuosités du récif ou dans les buissons d'Acropores.

Aucun individu d'*Acanthaster planci*, invertébré corallivore n'a été observé.

Seulement deux individus d'*Octopus sp.* (poulpe) ont été répertoriés.



Photo 7 : vue d'ensemble du recouvrement corallien (*Acropora abrotanoides*)



Photo 8 : vue d'ensemble du recouvrement corallien (*Acropora* spp.)



Photo 9 : massif d'Acropores branchus (ACB)



Photo 10 : débris coralliens recouvert d'un feutrage algal



Photo 11 : massif d'*Acropora muricata*



Photo 12 : repousses d'*Acropora muricata* sur des débris coralliens



Photo 13 : Ophiure *Ophiocoma erinaceus*



Photo 14 : Oursin *Echinothrix diadema*

## C- Au niveau de la pente externe : stations 3 et 4

### a- Station 3

La station 3 est située au niveau de la pente externe, le plus à l'est (proche de la côte) de la corne du récif de Saint-Leu, par 8 mètres de profondeur et orientée perpendiculairement à la côte.

Elle enregistre un recouvrement corallien moyen à faible avec une couverture moyenne en coraux vivants de 32% +/- 4,44 ES. Le recouvrement moyen en substrats enalgués est de 66,67% +/- 5,58 ES et composé majoritairement de roches enalguées (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). La part complémentaire du recouvrement est composée de coraux mous, du genre *Sinularia sp.*, pour 1,17% +/- 1,04 ES (cf. Tableaux § D ci-après).

L'ensemble de la station présente une faible variété taxonomique en corail vivant sur les transects observés, avec un total de 6 espèces relevées. Les espèces coralliennes sont composées essentiellement d'Acropores, dominées par des Acropores branchus (ACB) (*Acropora hemprichii* & *Acropora valida*) pour 18,58% +/- 5,39 ES ainsi que des Acropores Submassifs (ACS) (*Acropora abrotanoides*) pour 7,42% +/- 4,49 ES (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Au total 3 espèces d'Acropores ont été observées (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Notons également un recouvrement moyen de *Porites (Syneraea) rus* pour 4,33 % +/- 4,65 ES.

La population d'invertébrés vagiles sur la station 3 étudiée s'est avérée être très faible avec 0,25 +/- 0,45 ES individus par m<sup>2</sup>.

Seuls, un poulpe (*Octopus sp*), une squille (*Odontodactylus scyllarus*) et un bénitier (Bénitier spp.) ont été observés.

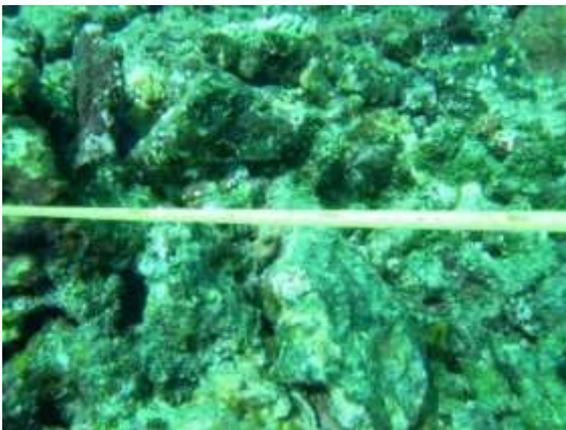


Photo 15 : roche enalguée



Photo 16 : *Acropora abrotanoides* (ACS) et *Acropora hemprichii* (ACB)

**b- Station 4**

Du fait du caractère hétérogène de la station 4, elle sera traitée comme deux stations indépendantes, station 4 sud (2 réplicats) et station 4 nord (1 réplicat).

Au vu du positionnement de la station et des observations faites, les résultats de la station 4 nord sont comparables aux résultats de la station « La corne – pente externe » observés par le GIP RNNMR en 2008 et 2009.

L'ensemble de la station 4 est situé au niveau de la pente externe par 8 mètres de profondeur et est orienté parallèlement à la côte.

La station 4 sud enregistre un recouvrement corallien faible avec une couverture moyenne en coraux vivants de 20,13% +/- 3,36 ES. Le recouvrement moyen en substrats enalgués est de 74,25% +/- 4,60 ES et composé majoritairement de roches enalguées. La part complémentaire du recouvrement est composée de millépore (CME) pour 1,38% +/- 0,53 ES ainsi que de coraux mous, du genre *Sinularia sp.*, pour 2,75% +/- 1,06 ES et du genre *Sarcophytum sp.* pour 0,25% +/- 0,35 ES (Cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ci-après).

La station 4 sud présente une faible variété taxonomique en corail vivant sur les transects observés, avec un total de 9 espèces relevées au niveau des 2 transects de mesure. Les espèces coralliennes sont composées majoritairement de coraux massifs (CM) pour 10,25% +/- 3,89 ES du genre *Porites sp.* et *Leptoria phrygia* ainsi que des Acropores Submassifs (ACS) (*Acropora abrotanoides*) pour 5,5% +/- 1,41 ES (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Au total 1 seule espèce d'Acropore a été observée sur les transects de mesure.

La population d'invertébrés vagiles sur la station 4 sud étudiée s'est avérée être de densité moyenne avec 20,13 +/- 15,30 ES individus par m<sup>2</sup>.

L'ensemble de la station présente une faible variété taxonomique en invertébrés benthiques vagiles sur les quadras observés, avec un total de 6 espèces relevées au niveau des transects de mesure. Le groupe des échinodermes est le plus représenté avec un total de 3 espèces observées et 17,75 +/- 13,74 ES individus par m<sup>2</sup>. L'espèce la plus présente est l'oursin *Echinostrephus sp.* creusant dans le corail.

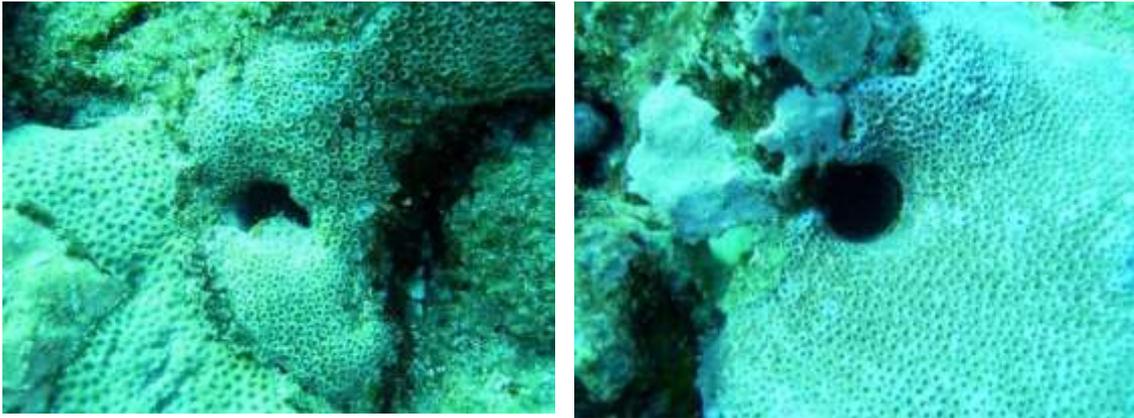


Photo 17 & Photo 18 : oursin *Echinostrephus sp.* creusant dans le corail

La station 4 nord enregistre un recouvrement corallien très important avec une couverture moyenne en coraux vivants de 74,50% (**Erreur ! Source du renvoi introuvable. & Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Cette valeur est comparable à celle enregistrée au niveau de la station permanente suivie par le GIP RNMR : 70% en 2008, 60% en 2009, 59.5% en 2010, 64.5% en 2011, 61.2% en 2012, 58.7% en 2013, 56.9% en 2014 et 55.8% en 2015.

Là encore, ces valeurs sont globalement stables, bien que de légères variations interannuelles puissent être remarquées, avec un écart à la moyenne sur une période de 8 ans qui n'excède pas 5 points.

Le recouvrement moyen en substrats enalgués est de 16% et composé majoritairement de roches enalguées. La part complémentaire du recouvrement est composée de millépore (CME) pour 3,5% ainsi que de coraux mous, du genre *Sinularia sp.*, pour 4% et du genre *Sarcophytum sp.* pour 2% (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable. ci-après.**

La station 4 nord présente une variété taxonomique moyenne en corail vivant sur le transect observé, avec un total de 13 espèces relevées (23 espèces en 2008 et 18 en 2009 au niveau de la station permanente). Les espèces coralliennes sont composées majoritairement d'Acropores, dominées par *Acropora abrotanoides* (ACS) pour 44,75% (42,25% en 2008 et 24,92% en 2009), formant d'importants massifs (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) et *Acropora digitifera*, Acropore digité (ACD), pour 3,75%. Au total 2 espèces d'Acropores ont été observées (5 espèces en 2008 et 3 en 2009). Les espèces coralliennes également présentes sont les coraux massifs (CM) pour 16%, du genre *Porites sp.* majoritairement (**Erreur ! Source du renvoi introuvable. & Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), ainsi que des coraux encroûtants (CE) pour 6,25% (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) et des coraux submassifs (CS) pour 3,75%.

La population d'invertébrés vagiles sur la station 4 nord étudiée s'est avérée être très faible avec  $1,25 \pm 1,50$  ES individus par  $m^2$ .

L'ensemble de la station présente une faible variété taxonomique en invertébrés benthiques vagiles sur les quadras observés, avec un total de 4 espèces relevées au niveau des transects de mesure.



**Photo 19 : vue d'ensemble du recouvrement corallien de la station 4 nord**



**Photo 20 : vue d'ensemble du recouvrement corallien de la station 4 nord**



**Photo 21 : massif d'*Acropora abrotanoides* (ACS), station 4 nord**



**Photo 22 : corail massif (CM) de *Porites lutea* station 4 nord**



**Photo 23 : corail massif (CM) du genre *Porites* sp. station 4 nord**



**Photo 24 : corail encroûtant (CE) *Turbinaria mesenterina***

## D- La zone de protection intégrale de Saint Leu

La zone de protection intégrale de St Leu n'a pas fait l'objet d'investigations spécifiques à l'occasion de la présente étude mais est suivie annuellement dans le cadre des stations de référence (GCRMN) par la RNMR au même titre que la zone du port.

Les stations de référence en question sont : (1) La Varangue Platier, (2) La Varangue Pente externe. Elles sont situées au centre de la zone de protection intégrale.

Les pourcentages de recouvrement des substrats durs par les coraux vivants mesurés sur ces stations depuis 2008 sont les suivantes :

- La Varangue Platier : 55,3% (08), 36,5% (09), 44,0% (10), 64,6% (11), 28,7% (12), 36,8% (13), 29,0% (14), 48,8% (15)
- La Varangue Pente externe : 33,7% (08), 29,5% (09), 38,0% (10), 31,4% (11), 32,5% (12), 36,2% (13), 36,1% (14), 38,0% (15)

Ces stations, situées en zone de protection intégrale, présentent des valeurs de recouvrement inférieures à celles de La Corne Pente externe, pourtant située en zone de réglementation générale.

La station de platier présente de fortes variations des valeurs acquises d'une année à l'autre. L'origine de cette variabilité pourrait être recherchée auprès de la RNMR (changement de station, d'opérateur, phénomène environnemental, etc.). Les valeurs restent globalement relativement élevées pour La Réunion.

La station de pente externe présente en revanche des valeurs stables dans le temps pouvant être définies comme moyennes pour La Réunion.

En dehors de ces valeurs, doivent également être citées les références suivantes qui concernent le suivi de la vitalité corallienne en réserve :

- Université de La Réunion, 2006. Etat initial de l'effet réserve de la RNMR.
- Université de La Réunion, 2008. Bilan de 10 ans de suivi GCRMN Benthos (1998-2008).
- Université de La Réunion, 2016. Suivi n°1 de l'effet réserve de la RNMR (T + 10 ans).
- MAREX, 2016 (à paraître). Rapport régional du réseau GCRMN (chapitre Réunion).
- PARETO, 2009, 2012, 2016. Rapports de suivi du benthos de substrats durs dans le cadre de la DCE.

Une sonde de mesure de température en continu a également été immergée sur cette station en 2016 par la RNMR. D'autres programmes de surveillance de la RNMR concernent également partiellement cette zone [suivi Macabit (*Epinephelus merra*), Pêcheries traditionnelles, Reproduction des coraux, etc.].

## E- Récapitulatif des résultats

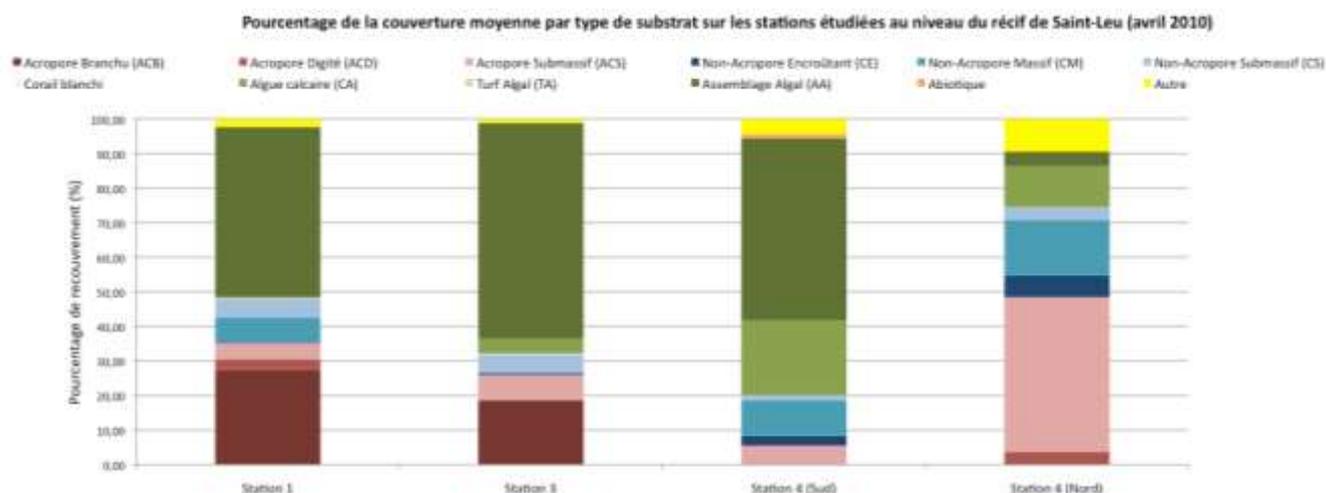
Type de substrat	Station 1 (N=3)		Station 3 (N=3)		Station 4 Sud (N=2)		Station 4 Nord (N=1)	
	Moy (%)	ES	Moy (%)	ES	Moy (%)	ES	Moy (%)	ES

<b>Coraux vivants</b>	47,92	3,76	32,00	4,44	20,13	3,36	74,50	-
<b>Substrats enalgués</b>	49,75	5,72	66,67	5,58	74,25	4,60	16,00	-
<b>Autre</b>	2,33	2,25	1,17	1,04	4,38	0,88	9,50	-
<b>Abiotique</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	0,35	0,00	-

**Tableau 5.10 : Couverture moyenne et erreurs-standards (ES) par type de substrat enregistré sur les stations étudiées au niveau du récif de Saint-Leu (avril 2010) (N=Nombre de répliquat par station).**

Type de substrat	Station 1 (N=3)		Station 3 (N=3)		Station 4 (Sud) (N=2)		Station 4 (Nord) (N=1)	
	Moy (%)	ES	Moy (%)	ES	Moy (%)	ES	Moy (%)	ES
<b>Acropore Branchu (ACB)</b>	<b>27,50</b>	<b>5,41</b>	<b>18,58</b>	<b>5,39</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>-</b>
<i>Acropora muricata</i>	23,33	10,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
<i>Acropora cf hemprichii</i>	4,17	5,58	13,42	6,88	0,00	0,00	0,00	-
<i>Acropora valida</i>	0,00	0,00	5,17	1,53	0,00	0,00	0,00	-
<b>Acropore Digité (ACD)</b>	<b>3,00</b>	<b>5,20</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>3,75</b>	
<i>Acropora digitifera</i>	3,00	5,20	0,00	0,00	0,00	0,00	3,75	-
<b>Acropore Submassif (ACS)</b>	<b>4,67</b>	<b>5,03</b>	<b>7,42</b>	<b>4,49</b>	<b>5,50</b>	<b>1,41</b>	<b>44,75</b>	
<i>Acropora abrotanoides</i>	4,67	5,03	7,42	4,49	5,50	1,41	44,8	-
<b>Non-Acropore Encroûtant (CE)</b>	<b>0,33</b>	<b>0,58</b>	<b>0,50</b>	<b>0,50</b>	<b>2,88</b>	<b>0,53</b>	<b>6,25</b>	
<i>Hydnophora sp.</i>	0,33	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
<i>Astreopora sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,13	0,53	2,50	-
<i>Echinopora sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	-
<i>Montipora sp.</i>	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00	0,00	0,50	-
<i>Turbinaria mesenterina</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	-
<i>Psammocora profundacella</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	-
<i>Favites pentagona</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	1,06	0,50	-
<b>Non-Acropore Massif (CM)</b>	<b>7,08</b>	<b>2,77</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>10,25</b>	<b>3,89</b>	<b>16,00</b>	
<i>Porites sp.</i>	6,25	2,82	0,00	0,00	5,00	0,71	15,00	-
<i>Porites lobata</i>	0,17	0,29	0,00	0,00	3,25	4,60	0,00	-
<i>Platygyra sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	-
<i>Leptoria phrygia</i>	0,67	1,15	0,00	0,00	1,75	0,35	0,00	-
<i>Goniopora sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,35	0,00	-
<b>Non-Acropore Submassif (CS)</b>	<b>5,33</b>	<b>4,07</b>	<b>5,50</b>	<b>3,50</b>	<b>1,50</b>	<b>1,41</b>	<b>3,75</b>	
<i>Porites (Syneraea) rus</i>	4,00	4,27	4,33	4,65	0,00	0,00	0,00	-
<i>Favia stelligera</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,35	1,50	-
<i>Montipora cf circumvallata</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
<i>Pocillopora verrucosa</i>	0,00	0,00	1,17	1,26	1,25	1,06	0,75	-
<i>Pocillopora cf meandrina</i>	1,33	1,26	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	-
<b>Corail blanchi</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,17</b>	<b>0,29</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	
<b>Autre</b>	<b>2,33</b>	<b>2,25</b>	<b>1,17</b>	<b>1,04</b>	<b>4,38</b>	<b>0,88</b>	<b>9,50</b>	
Millépore (CME)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,38	0,53	3,50	-
Corail mou (SC)								-
<i>Sarcophytum sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,35	2,00	-
<i>Sinularia sp.</i>	0,00	0,00	1,17	1,04	2,75	1,06	4,00	-
Eponge								-
<i>Dysidea sp.</i>	2,33	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
<b>Substrat enalgué</b>	<b>49,75</b>	<b>5,72</b>	<b>66,67</b>	<b>5,58</b>	<b>74,25</b>	<b>4,60</b>	<b>16,00</b>	
Assemblage Algal (AA)	49,25	6,57	62,50	2,00	52,75	1,77	4,25	-
Algue calcaire (CA)	0,00	0,00	4,17	7,22	21,50	6,36	11,75	-
Turf Algal (TA)	0,50	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
<b>Abiotique</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>1,25</b>	<b>0,35</b>	<b>0,00</b>	
Sable	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	0,35	0,00	-

**Tableau 5.11 : Couverture moyenne et erreurs-standards (ES) par type de substrat observés sur les stations étudiées au niveau du récif de Saint-Leu (avril 2010) (N=Nombre de répliquat par station).**



**Figure 5.15 : Pourcentage de la couverture moyenne par type de substrat sur les stations étudiées au niveau du récif de Saint-Leu (avril 2010)**

	Station 1 (N=12)		Station 3 (N=12)		Station 4 (sud) (N=8)		Station 4 (nord) (N=4)	
	Moy (indiv/m <sup>2</sup> )	ES	Moy (indiv/m <sup>2</sup> )	ES	Moy (indiv/m <sup>2</sup> )	ES	Moy (indiv/m <sup>2</sup> )	ES
<b>Annélides</b>								
<i>Spirobranchus giganteus</i>	0,67	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Crustacés</b>								
<i>Odontodactylus scyllarus</i>	0,00	0,00	0,08	0,29	1,38	2,07	0,25	0,50
<i>Cymo quadrilobatus</i>	0,58	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Saron marmoratus</i>	0,92	1,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Alpheus sp.</i>	0,17	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Trapezia sp.</i>	0,08	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Bernard l'ermite spp</i>	2,42	1,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Echinodermes</b>								
<i>Echinometra mathaei</i>	1,33	1,15	0,00	0,00	0,25	0,46	0,00	0,00
<i>Echinothrix diadema</i>	0,75	1,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,50
<i>Echinostrephus sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	15,63	13,21	0,00	0,00
<i>Ophiocoma erinaceus</i>	5,67	3,06	0,00	0,00	1,88	2,03	0,00	0,00
<i>Fromia sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,50
<i>Actinopyga mauritiana</i>	0,08	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Mollusques</b>								
<i>Philidiella rosans</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,71	0,50	1,00
<i>Octopus sp.</i>	0,17	0,39	0,08	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Bénitier spp.</i>	0,08	0,29	0,08	0,29	0,75	1,04	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>12,92</b>	<b>4,40</b>	<b>0,25</b>	<b>0,45</b>	<b>20,13</b>	<b>15,30</b>	<b>1,25</b>	<b>1,50</b>

**Tableau 5.12 : Nombre d'individus moyen par m<sup>2</sup> et erreurs-standards (ES) par station de mesures au niveau du récif de Saint-Leu (avril 2010) (N=Nombre de réplicats par station)**

### 5.1.5.5 Principales espèces ichthyologiques rencontrées

L'inventaire et le dénombrement des communautés de poissons récifaux apportent des éléments d'analyses complémentaires à l'observation des organismes benthiques sur l'état de santé du récif corallien. En effet, certains poissons, dits opportunistes, ne sont pas très exigeants quant à la qualité du milieu ou quant à la nourriture disponible.

D'autres organismes, en revanche, dits espèces indicatrices, sont très sensibles à leur environnement et disparaissent rapidement d'un récif qui ne possède pas de bonnes conditions pour leur survie. Par la suite, l'évolution quantitative et qualitative de ces populations pourra être suivie.

#### A- Au sud du port existant : station 2

Dans cette zone des populations de poissons récifaux, majoritairement de petite taille, ont été observées essentiellement dans les enrochements de la digue portuaire.

Il a été relevé des populations significatives d'Acanthuridae, *Acanthurus triostegus*, *Acanthurus nigrofuscus* et *Naso unicornis*, poissons herbivores qui raclent avec leurs dents en forme de petite brosse le feutrage algal qui pousse sur les coraux morts ou les substrats rocheux. Ces espèces sont indicatrices de milieux dégradés.



Photo 25 : Acanthuridae, *Acanthurus triostegus* et *Acanthurus nigrofuscus*



Photo 26 : Baliste Picasso, *Rhinecanthus aculeatus*



Photo 27 : Acanthuridae, *Naso unicornis*



Photo 28 : Chaetodontidae, *Chaetodon lunula* et *Chaetodon vagabondus*

Le Baliste picasso, *Rhinecantus aculeatus*, poisson opportuniste se nourrissant essentiellement d'oursins a été observé, mais également quelques poissons papillons, *Chaetodon lunula* et *Chaetodon vagabondus*, corallivores.

## B- Au niveau du platier : station 1

La moyenne des poissons comptabilisés sur l'ensemble de la station est de 193,33 +/- 23,46 ES et de 25 espèces de la liste prédéfinie (Cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Les familles majoritairement observées sur cette zone de platier sont les Pomacentridae, *Stegastes sp* (39,67 +/- 18,77 ES), *Plectroglyphidodon sp.* (15,33 +/- 2,52 ES) et *Dascyllus aruanus* (5,33 +/- 6,11 ES) suivie des Acanthuridae, *Ctenochaetus striatus* (34,33 +/- 9,07 ES) *Acanthurus triostegus* (17,33 +/- 19,30 ES), *Acanthurus nigrofuscus* (15,33 +/- 7,77 ES), et *Naso unicornis* (27,67 +/- 5,86 ES). Les Pomacentridae sont des individus territoriaux inféodés aux buissons d'Acropores et défendent des zones couvertes par des pelouses de turf algal.

Le nombre moyen d'individus et le nombre d'espèces comptabilisés lors de cette campagne de mesure pour la station platier est du même ordre de grandeur que les résultats obtenus en 2009 sur la station permanente suivi par le GIP RNNMR (271,65 poissons comptabilisés en moyenne et 25 espèces).

Lors de l'inventaire biodiversité réalisé en 2008 sur la station permanente par le GIP RNNMR, un total de 66 espèces différentes de poissons a été comptabilisé. Ce nombre d'espèces est un nombre moyen enregistré au niveau des platiers réunionnais.

Parce qu'ils vivent étroitement associés aux colonies coralliennes, les poissons-papillons, et notamment le poisson-papillon à trois bandes *Chaetodon trifasciatus*, le poisson-papillon de Meyer *Chaetodon meyeri* ou encore le petit poisson-lime à tâches oranges *Oxymonacanthus longirostris* sont de bons indicateurs d'un milieu récifal sain. Ce sont des corallivores stricts et leur nombre est donc directement lié à l'étendue des surfaces coralliennes et à l'état de santé des coraux.

Ces espèces indicatrices telles que *Chaetodon trifasciatus* (2 +/- 1 ES), *Chatodon meyeri* (0,33 +/- 0,58 ES) ainsi que *Oxymonacanthus longirostris* (1,33 +/- 1,15 ES) sont présentes sur la station étudiée et le nombre moyen d'individus observés est comparable aux valeurs moyennes enregistrées sur le transect permanent en 2008 et 2009 par le GIP RNNMR.

Les Acanthuridae, espèces dans l'ensemble indicatrices des milieux dégradés, sont présents de manière relativement importante sur l'ensemble de la station avec un nombre d'individus moyen de 94,67 +/- 19,40 ES. Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles obtenues par le GIP RNNMR (84 individus en 2008 et 100 individus en 2009).

D'autre part, la famille des Serranidae, indicateur d'un effort de pêche important, est faiblement présente avec en moyenne 1,33 +/- 2,31 individus (8,67 individus en 2008 et 5,66 individus en 2009).



Photo 29 : *Chaetodon trifasciatus*



Photo 30 : *Epinephelus hexagonatus*

## C- Au niveau de la pente externe : stations 3 et 4

### a- Station 3

La moyenne des poissons comptabilisés sur l'ensemble de la station est de 276,33 +/- 73,79 ES et de 25 espèces de la liste prédéfinie (Cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** § D ci-après). La famille majoritairement observée sur cette zone de la pente externe est la famille des Acanthuridae (161 +/- 70,93 ES), *Acanthurus triostegus* (87,33 +/- 104,15 ES), présents en bancs d'une centaine d'individus, *Ctenochaetus striatus* (52,33 +/- 32,08 ES), *Acanthurus nigrofuscus* (16 +/- 13,89 ES), et *Naso unicornis* (5,33 +/- 0,58 ES). La perche d'or, *Gnathodentex aureolineatus* (20,67 +/- 18,88 ES) et les capucins, *Mulloidichthys vanicolensis* (15 +/- 9,54 ES) sont présents en bancs d'une vingtaine d'individus.

Les espèces indicatrices telles que *Chaetodon trifasciatus* (3 +/- 1,73 ES), *Chaetodon meyeri* (0,67 +/- 0,58 ES) ainsi que *Oxymonacanthus longirostris* (2,67 +/- 1,53 ES) sont présentes sur la station étudiée.

Aucun Serranidae n'a été dénombré sur la station.

### b- Station 4

La moyenne des poissons comptabilisés sur l'ensemble de la station est de 275 +/- 43,49 ES et de 25 espèces de la liste prédéfinie (Cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** § D ci-après). La famille majoritairement observée sur cette zone de la pente externe est la famille des Acanthuridae (105,67 +/- 6,81 ES), *Ctenochaetus striatus* (42,33 +/- 24,95 ES), *Acanthurus nigrofuscus* (57 +/- 31,95 ES), *Acanthurus triostegus* (5 +/- 8,66 ES), et *Naso unicornis* (1,33 +/- 2,31 ES). La perche d'or, *Gnathodentex aureolineatus* (22,33 +/- 33,62 ES), les capucins, *Mulloidichthys vanicolensis* (55,67 +/- 29,91 ES) (bancs de cinquantaine d'individus) et les

Pomacentridae, *Plectroglyphidodon dickii* (42,33 +/- 30,66 ES) sont présents sur la station.

Le nombre moyen d'individus (275) et le nombre d'espèces comptabilisés (25) lors de cette campagne de mesures pour la station pente externe sont plus importants que les résultats obtenus en 2009 sur la station permanente suivie par le GIP RNNMR (186 poissons comptabilisés en moyenne et 22 espèces). Ce nombre plus important est lié à la présence de bancs de perche d'or, *Gnathodentex aureolineatus* et de capucins, *Mulloidichthys vanicolensis*.

Lors de l'inventaire biodiversité réalisé en 2008 sur la station permanente par le GIP RNNMR, un total de 62 espèces différentes de poissons a été comptabilisé.

Les espèces indicatrices telles que *Chaetodon trifaciatus* (3 +/- 1 ES), *Chatodon meyeri* (1 +/- 1 ES) ainsi que *Oxymonacanthus longirostris* (1,33 +/- 1,15 ES) sont présentes sur la station et le nombre moyen d'individus observés est comparable aux valeurs moyennes enregistrées sur le transect permanent en 2008 et 2009 par le GIP RNNMR.

Aucun Serranidae n'a été dénombré sur la station (0,67 individus en 2008 et 0,33 individus en 2009).

#### D- Récapitulatif des résultats

	Station 1		Station 3		Station 4	
Taille de l'échantillon (N)	3		3		3	
	Moy	ES	Moy	ES	Moy	ES
Nombre total d'individus	193,33	23,46	276,33	73,79	275	43,49

Tableau 5.13 : Nombre d'individus total moyen et erreurs-standards (ES) par station de mesures au niveau du récif de Saint-Leu (avril 2010) (Nombre de répliqués par station N=3).

### 5.1.5.6 État de vitalité des peuplements, évolution et sensibilité écologique

Les observations *in situ* faites lors de cet inventaire, l'analyse du taux de recouvrement global du substrat par les organismes benthiques ainsi que le dénombrement de l'ichtyofaune présente sur la zone d'investigation, permettent d'établir la cartographie de sensibilité écologique suivante pour la zone d'étude.

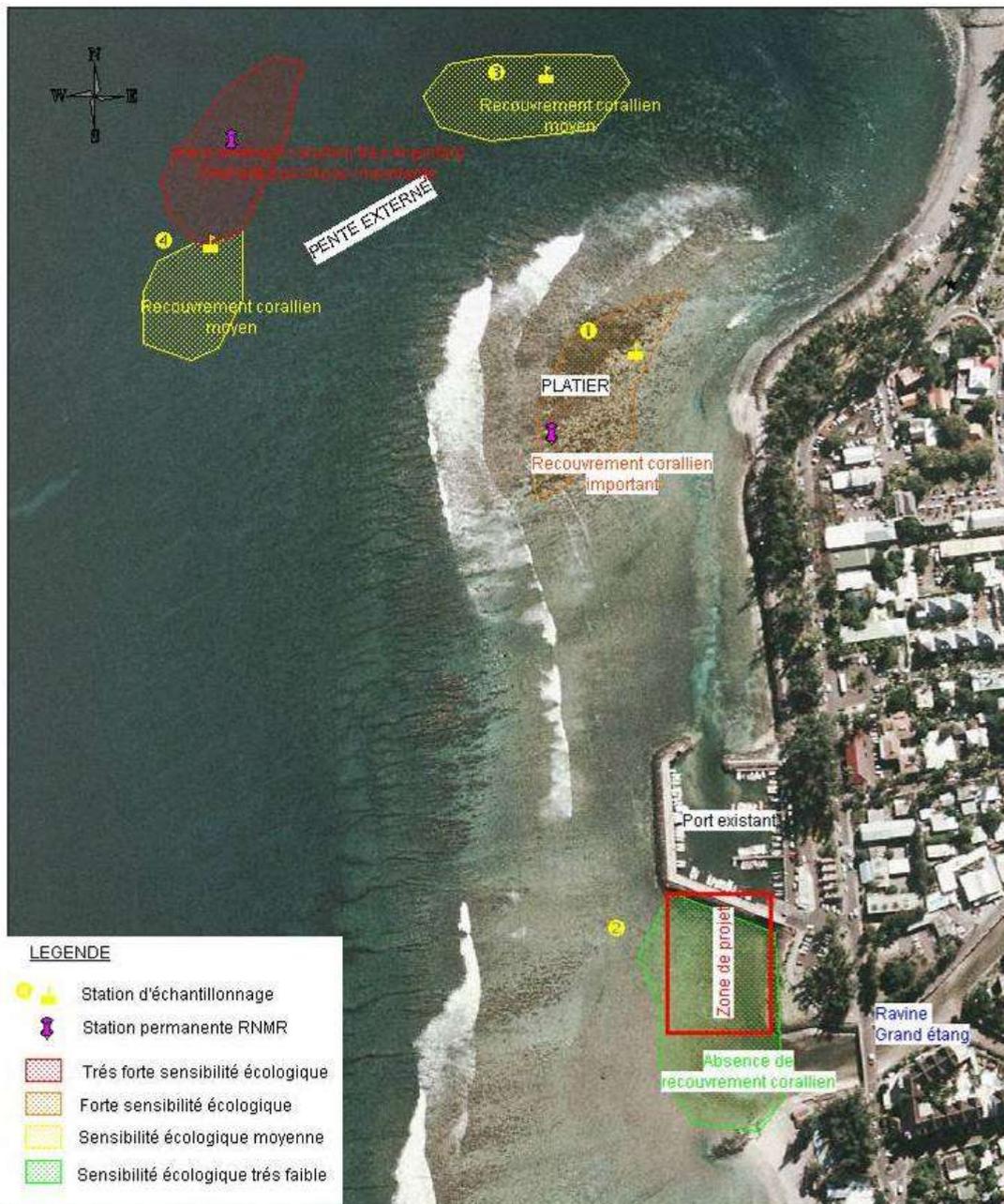


Figure 5.16 : Cartographie de la sensibilité écologique de la zone d'étude

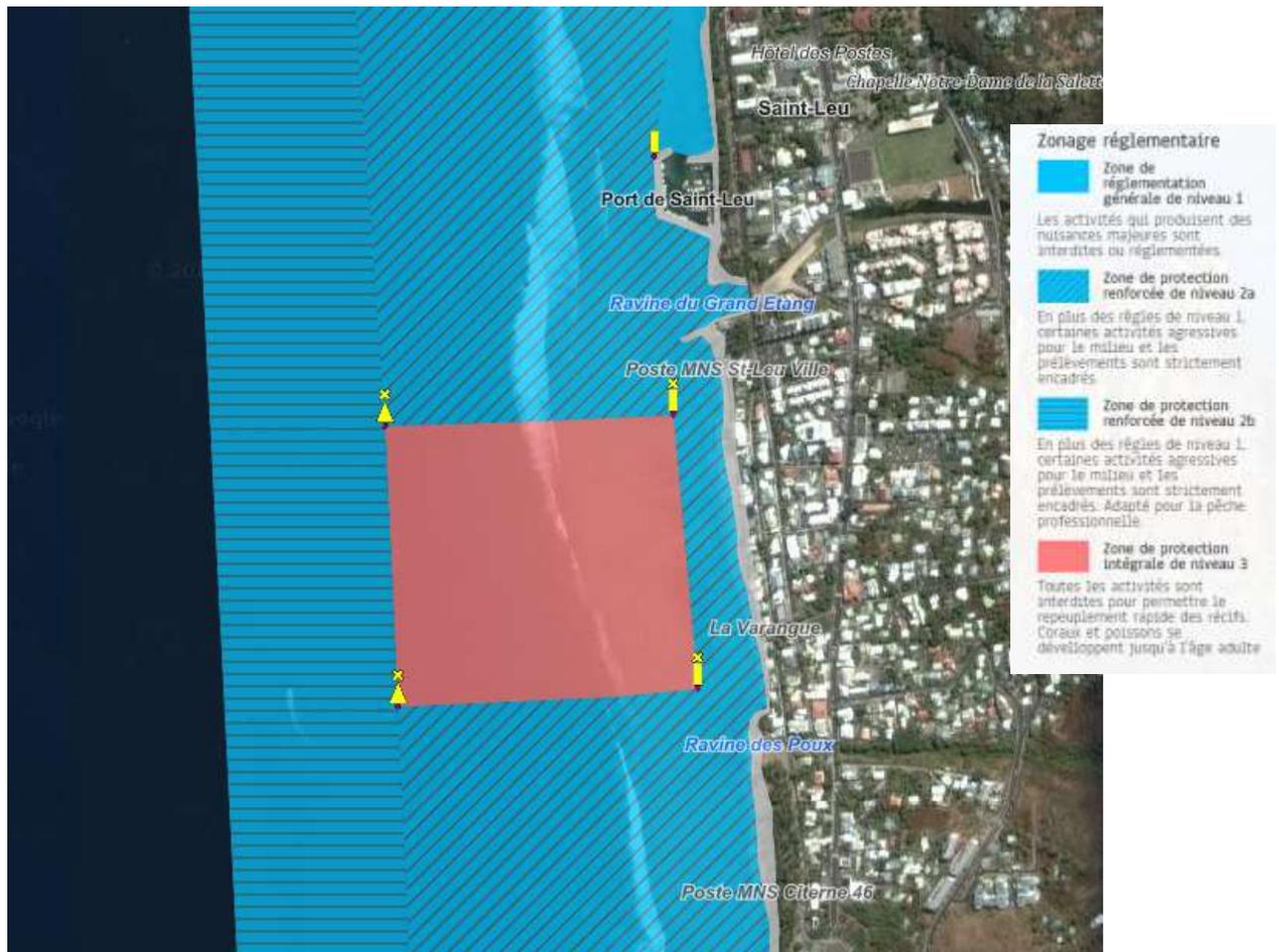


Figure 5.17 : Cartographie du périmètre de la réserve naturelle nationale marine de La Réunion aux abords du projet – Implantation de la zone de protection intégrale de Saint Leu

## A- Station 1

**La zone de platier (station 1) située au niveau de la corne du récif de Saint-Leu est une zone présentant un bon état de vitalité des peuplements récifaux.**

En effet, la station 1 étudiée enregistre un recouvrement corallien important dans le contexte de La Réunion avec une couverture moyenne en coraux vivants de 47,92%.

**Comparativement aux autres platiers réunionnais, cette valeur est parmi les plus élevées observées. Le nombre d'espèces indicatrices d'un milieu récifal sain sur l'ensemble de la station étudiée confirme l'état de vitalité de cette zone et sa forte sensibilité écologique.**

**Cette zone doit de fait faire l'objet d'une surveillance renforcée pendant le chantier et post travaux.**

Le suivi de la station permanente platier effectué par le GIP RNNMR, présenté au niveau de la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, montre une évolution cyclique

des populations d'Acropores au cours des dix dernières années, qui est par ailleurs observée pour l'ensemble des platiers réunionnais.

Après une chute du recouvrement moyen en 2004, les populations d'Acropores branchus ont recolonisé le platier récifal de la Corne Nord pour chuter de nouveau en 2009. Ce graphique met donc en évidence une bonne dynamique de ce platier qui, malgré des épisodes de stress, possède des capacités de résilience importantes.

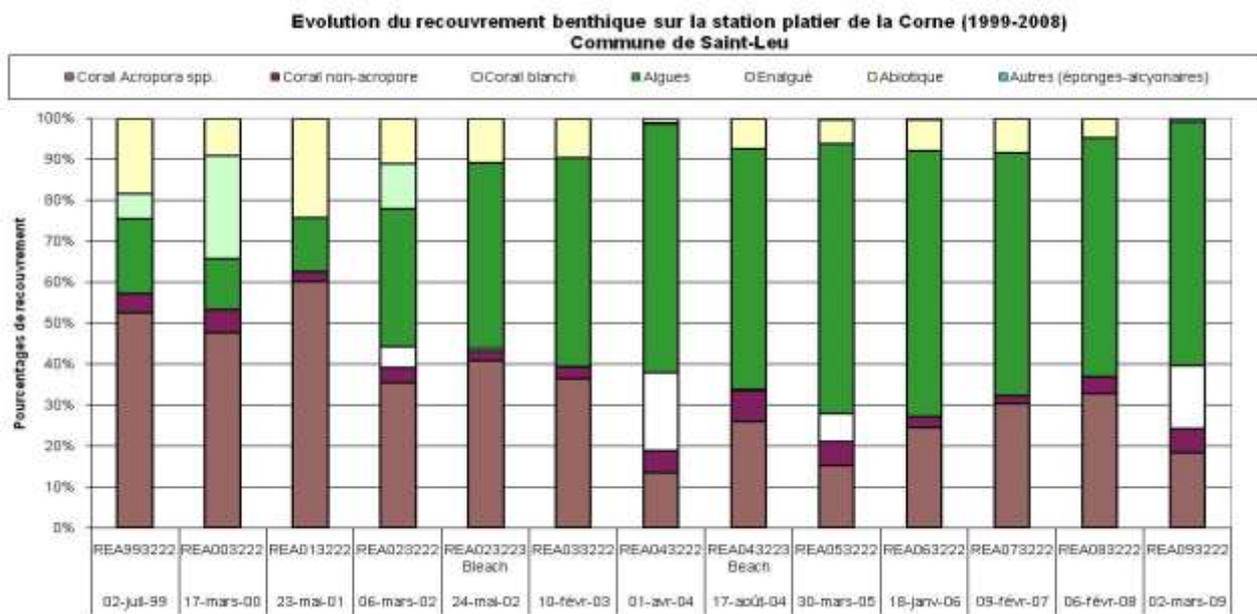


Figure 5.18 : Évolution du recouvrement benthique sur la station platier de la corne du récif de Saint-Leu (1999-2009) / (Source : GIP RNMR)

### B- Station 3

La zone de pente externe, au niveau de la station 3, située le plus à l'est de la corne du récif de Saint-Leu, est une zone de transition entre la zone de platier et l'embouchure de la Ravine de la Fontaine et présente une sensibilité écologique moyenne.

Cette zone possède un état de vitalité moyen des peuplements récifaux avec un taux de recouvrement corallien de 32%, comparativement aux autres suivis de pente externe des récifs réunionnais.

### C- Station 4 sud

La zone de pente externe, au niveau de la station 4 sud, située au sud de la corne du récif de Saint-Leu, présente également une sensibilité écologique moyenne.

Cette zone possède un taux de recouvrement corallien moyen à faible de 20,13%. Les peuplements benthiques sessiles récifaux sont composés majoritairement de coraux non-acropores de forme massive et d'acropores submassifs (*Acropora abrotanoides*).

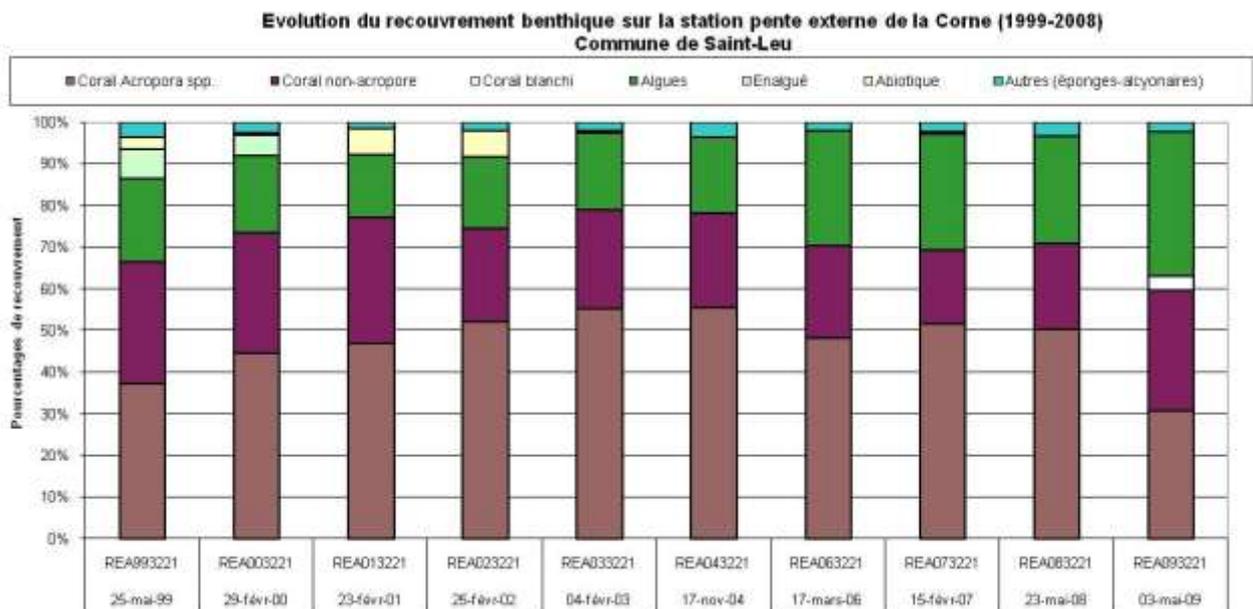
#### D- Station 4 nord

**Le nord de cette zone (station 4 nord), située à proximité de la station permanente pente externe suivie par le GIP RNNMR, possède quant à lui une très forte sensibilité écologique, avec un très bon état de vitalité des peuplements récifaux. En effet, la station enregistre un recouvrement corallien très important avec une couverture moyenne en coraux vivants de 74,50%, valeur la plus importante enregistrée au niveau des suivis de la pente externe des récifs réunionnais.**

**Cette zone doit de fait également faire l'objet d'une surveillance renforcée pendant le chantier.**

Les peuplements benthiques sessiles récifaux sont composés majoritairement d'acropores submassifs, *Acropora abrotanoides*, de même que la station permanente. La diversité spécifique corallienne est, dans cette zone, la valeur la plus importante enregistrée au niveau des 4 stations de mesure.

Le suivi de la station permanente « la corne – pente externe » depuis 10 ans est présenté au niveau de la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Ce graphique montre une légère perturbation des populations coralliennes en 2009 sur la station permanente avec une diminution des coraux du genre *Acropora*, un léger bleaching et une augmentation algale. Ceci permet donc de confirmer l'existence d'un stress avec un impact sur le platier de la corne et une légère incidence sur la pente externe.



**Figure 5.19 : Évolution du recouvrement benthique sur la station pente externe de la corne du récif de Saint-Leu (1999-2009) / (Source : GIP RNMR)**

### 5.1.5.7 Avifaune marine

Le Paille en queue à bec jaune (*Phaethon lepturus*), n'a pas été observé au niveau de la zone d'étude lors des prospections. Le Pétrel de Barau (*Pterodroma barau*), le Puffin de Baillon (*Puffinus lherminieri bailloni*) et le Puffin du Pacifique (*Puffinus pacificus*) sont, quant à eux, fortement susceptibles de survoler le site que ce soit en journée pendant leur phase d'alimentation en mer ou à l'aube et au coucher du soleil lors de leur migration entre leurs sites de nidification dans les hauteurs de l'île et l'océan.

Les différentes études réalisées par la SEOR (Société d'Études Ornithologiques de la Réunion) indiquent une corrélation entre les échouages d'oiseaux endémiques et les éclairages artificiels.

L'enjeu écologique est d'autant plus important dans les traversées de ravines qui constituent des couloirs d'envol pour les jeunes pétrels.

La période la plus sensible est du 1<sup>er</sup> avril au 15 mai (à la fin de la période d'élevage), avec un pic d'abondance des envols lors de la nouvelle lune.

Le problème des échouages des jeunes pétrels et puffins induits par les éclairages artificiels a déjà été signalé par IMBER dès 1975 et cité dans plusieurs autres études (SIMONS, 1985 ; TELFER, 1987 ; BARRÉ, 1988 ; BOURNE, 1967 ; TELFER et al., 1987).

L'urbanisation croissante de nos côtes et de nos mi-pentes constitue autant de « pièges écologiques » qui mettent en péril le devenir de ces espèces.

Les lumières artificielles sont extrêmement attractives pour les jeunes pétrels et puffins qui s'échouent dans les villes. La grandeur de leurs ailes ne leur permet pas de reprendre leur envol et les condamne alors à une mort certaine (inanition, collision avec des véhicules, chiens et chats, stress thermique). Ces échouages constituent donc une cause de mortalité importante pour ces oiseaux. En effet, LE CORRE et al. (2002) estimait le taux d'échouage des jeunes pétrels de Barau entre 20% et 40 % des jeunes à l'envol il y a quelques années.

Actuellement deux hypothèses sont avancées pour expliquer ce phénomène :

- ✓ Les jeunes assimilent les éclairages artificiels aux reflets des étoiles sur la mer. Ces derniers, inexpérimentés, descendent ainsi vers les éclairages publics, se croyant au-dessus de l'océan (REED et al., 1985) ;
- ✓ Les Procellariidae se nourrissent de calmars bio-luminescentes (présence d'organes dorsaux émettant une lumière naturelle), et associeraient donc la lumière à une source de nourriture. Cette association et l'inexpérience

pourraient expliquer l'attraction des jeunes oiseaux pour les éclairages (IMBER, 1975).

La bibliographie indique des couloirs de vol localisés sur la commune de Saint-Leu (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

**Les juvéniles sont attirés par les éclairages, qui les conduisent à s'échouer, parfois après être entrés en collision avec une structure. Cette vulnérabilité apparente oblige à prendre des précautions quant à l'intensité, aux périodes et à l'orientation des éclairages de l'aménagement (phases chantier et exploitation).**

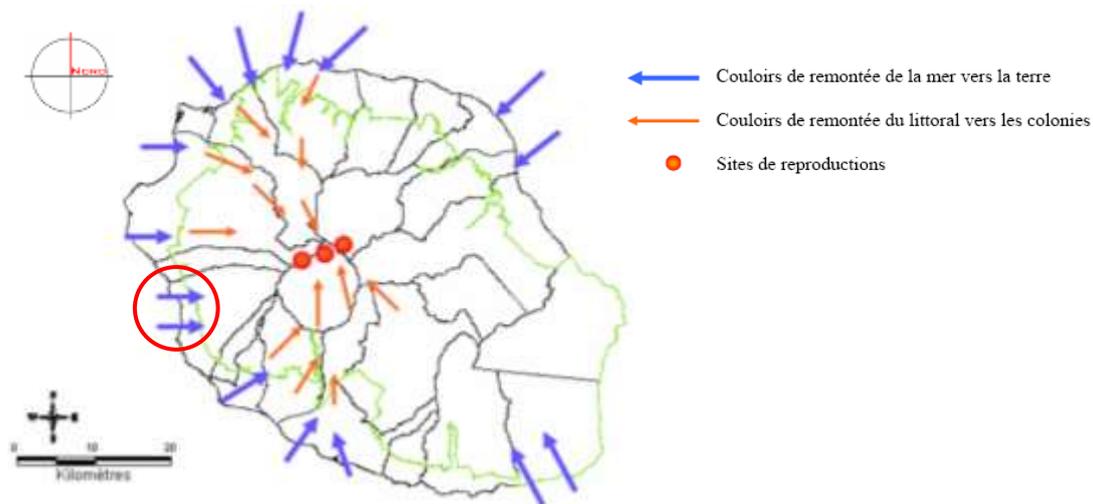


Figure 5.20 : Couloirs de remontée des pétrels de Barau de la mer vers les sites de reproduction et localisation de ces sites. (D'après Probst, 1997) - Source : Stratégie de réduction de la mortalité des pétrels induite par les éclairages publics

### 5.1.5.8 Faune marine

Au niveau réglementaire, l'ensemble des cétacés présents à La Réunion ainsi que leur habitat est protégé par l'arrêté ministériel du 1<sup>er</sup> juillet 2011, les plaçant sous l'égide du régime prévu par les articles L.411-1 et suivants du Code de l'environnement.

Dans ce contexte, il est nécessaire de préciser les espèces fréquentant la zone d'influence définie pour le projet ainsi que la fonctionnalité de l'habitat concerné.

Il est précisé qu'en l'absence d'étude acoustique précise, la zone d'étude retenue pour l'étude de la faune marine correspond à une estimation à dire d'expert de l'aire d'influence du projet.

## A- Les cétacés

📖 « Description de l'état de référence de la distribution des cétacés – Projet d'extension du Port de Saint Leu », GLOBICE, Juillet 2012

« Etude d'impact du projet d'extension du port de Saint Leu sur les mammifères marins », GLOBICE, Février 2013

Ces études se basent sur les données recueillies par GLOBICE entre 2004 et mars 2012 et sont annexées au dossier d'étude d'impact.

### a- Inventaire des espèces observées sur le site d'étude

Trois espèces de cétacés ont été recensées au sein de la zone d'étude (cf. figures suivantes) :

✓ **1 espèce de Mysticète (cétacé à fanons) :**

- La baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*) ;

✓ **2 espèces d'odontocètes (cétacés à dents) :**

- Le grand dauphin de l'Indo-pacifique (*Tursiops aduncus*) ;
- Le dauphin long bec (*Stenella longirostris*).

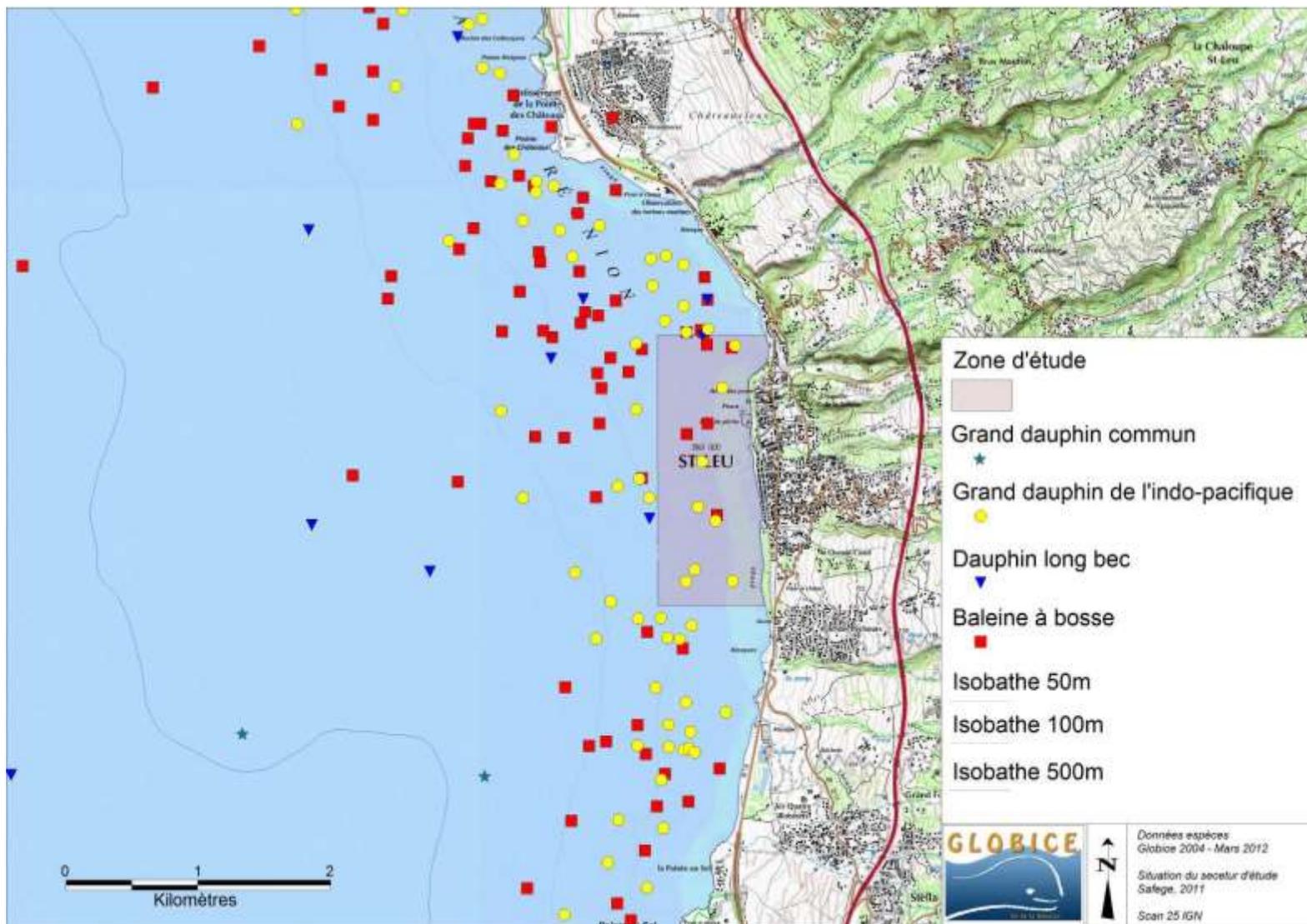


Figure 5.21 : observations des cétacés sur le site d'étude

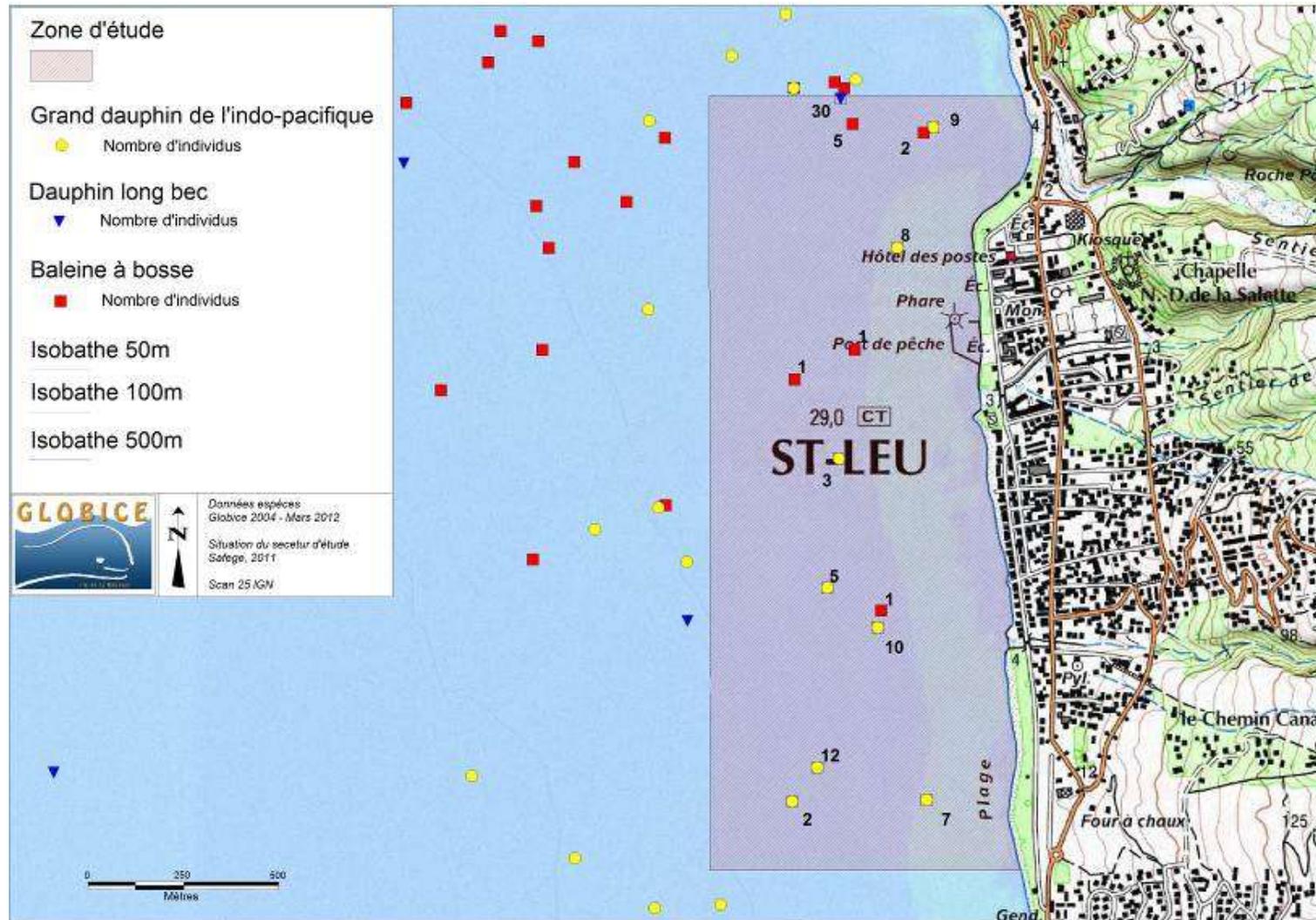


Figure 5.22 : observations des cétacés sur le site d'étude - Zoom

Parmi les espèces observées, le grand dauphin de l'indo-pacifique est le plus communément recensé sur le site d'étude, avec 8 observations de l'espèce, soit 57% des observations. Vient ensuite la baleine à bosse (5 observations, 36% des observations), et le dauphin long bec (1 observation, 7% des observations) (cf. tableau et figure ci-après).

Espèce	Nombre d'observations
Grand dauphin de l'indo pacifique	8
Dauphin à long bec	1
Baleine à bosse	5

Tableau 5.14 : nombre d'observations par espèce sur le site d'étude

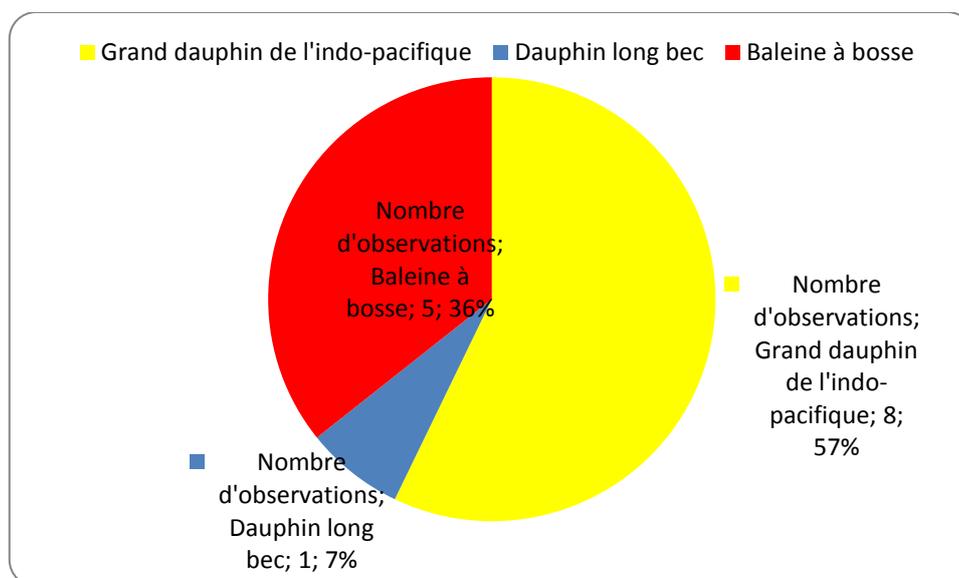


Figure 5.23 : part des observations par espèces

En termes de nombres d'individus observés, le grand dauphin de l'indo-pacifique reste le plus représenté, avec 56 individus, soit 58% des individus observés. Le seul groupe de dauphin long bec observé était composé de 30 individus (31% des individus observés), les observations de baleines à bosse représentant 10 individus (11% des individus observés) (cf. tableau 2.18 et fig. 2.33).

Il est à préciser que ces chiffres représentent le cumul des individus observés lors des différentes prospections, non le nombre d'individus différents identifiés à l'échelle du site.

Espèce	Nombre d'individus
Grand dauphin de l'indo pacifique	56
Dauphin à long bec	30
Baleine à bosse	10

Tableau 5.15 : nombre d'individus observés par espèce sur le site d'étude

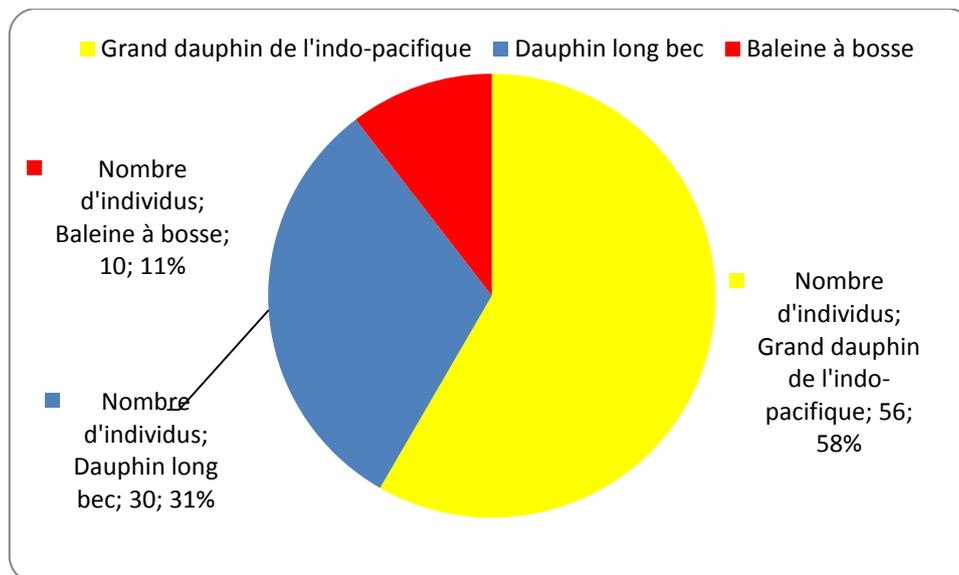


Figure 5.24 : proportion des individus observés par espèce

On déduit des observations les commentaires suivants.

**Le grand dauphin de l'indo-pacifique fréquente de manière régulière le site d'étude, les groupes observés étant par ailleurs relativement importants. Concernant la baleine à bosse, si l'espèce fréquente régulièrement la zone, il s'agit de groupes restreints, voire d'individus isolés. Au contraire, le dauphin à long bec, se déplaçant habituellement en groupes importants, représente une part conséquente du nombre d'individus observés, bien qu'une seule observation sur le site d'étude soit à rapporter le concernant.**

Le fait que la zone d'étude soit donc fréquentée principalement par les espèces côtières que sont la baleine à bosse, le grand dauphin de l'indo pacifique et le dauphin à long bec, correspond aux observations effectuées à l'échelle de La Réunion par GLOBICE, en fonction de la bathymétrie. La zone d'étude se situe en effet au sein d'une bande bathymétrique peu profonde (0 – 50m), largement utilisée par le grand dauphin de l'indo-pacifique et la baleine à bosse et régulièrement fréquentée par le dauphin à long bec.

## b- Caractérisation de la fréquentation de chaque espèce à l'échelle du site d'étude

### Grand dauphin de l'indo-pacifique

#### *Comparaison interzone de la fréquentation*

La Figure ci-dessous met en lumière la fréquentation importante du grand dauphin de l'indo-pacifique sur les deux secteurs que sont le Sud de la baie de St Paul et la bande côtière longeant l'actuelle route du littoral, entre la Possession et St-Denis. Les fréquences d'observation y sont élevées, supérieures à 0.1 observation par kilomètre pour l'ensemble des mailles les plus côtières en Baie de St-Paul, voire comprise entre 0.5 et 1 observation par kilomètre pour l'extrême Sud de la Baie.

En comparaison, le secteur situé au large de St-Leu apparaît moins fréquenté. Les mailles entourant le port, représentant une bande de 2km de large à partir de la côte, ont accueilli moins de 0.01 observation par kilomètre. Ce niveau de fréquentation est comparable à celui relevé sur le secteur au large de St-Pierre, au Sud de l'île.

**Globalement, si le secteur entourant le port de St Leu ne constitue pas une zone particulièrement dense en termes d'observations pour le Grand dauphin de l'indo-pacifique, il fait partie de l'habitat utilisé par l'espèce, et est ainsi susceptible d'accueillir ses activités vitales, dans une proportion moindre que le Nord – Ouest de l'île mais qui reste conséquente à l'échelle de La Réunion.**

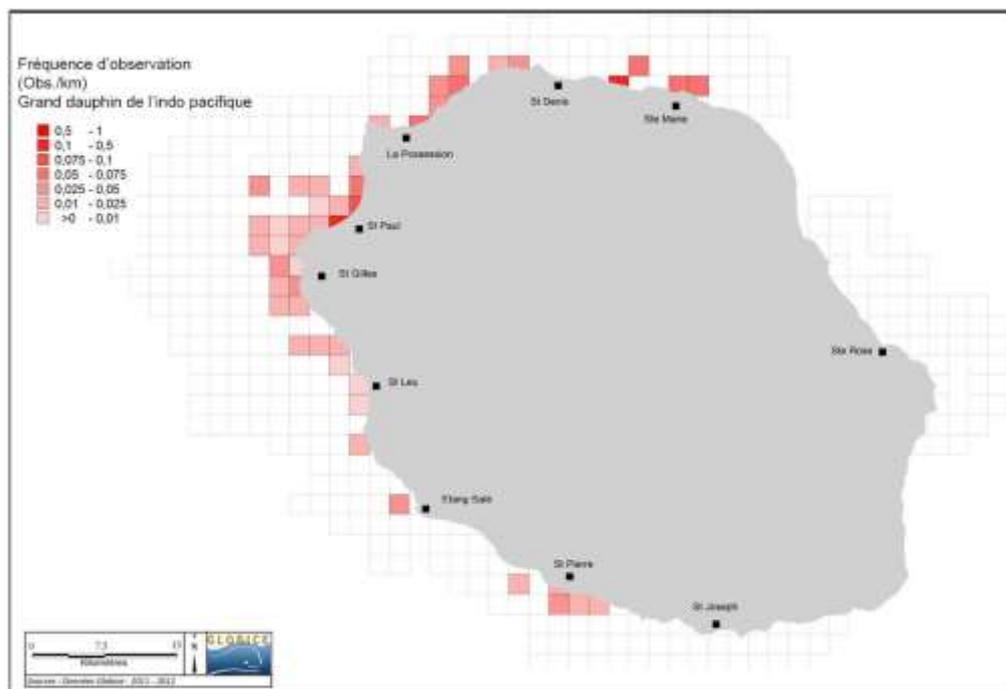


Figure 5.25 : Fréquence d'observation du grand dauphin de l'indo pacifique sur l'année 2012 sur l'ensemble de La Réunion

### *Caractérisation de la fonctionnalité du site*

L'activité des groupes observés a pu être caractérisée dans 4 cas sur 8. Le repos a été identifié à 3 reprises, la prédation à 1 reprise.

Le faible échantillonnage ne permet pas de dégager de conclusion significative quant à une fonctionnalité spécifique du site d'étude. Globalement, à l'échelle de l'île, la bande bathymétrique de 0 à 100 mètres, sur laquelle vient en partie se situer la zone d'étude, correspond à la zone d'habitat préférentiel du grand dauphin de l'Indo pacifique, regroupant environ 95% des observations. Il y exerce l'ensemble de ses activités vitales, telles que la prédation, la socialisation, la reproduction et le voyage. Cette zone présente ainsi un intérêt majeur pour l'espèce.

La taille des groupes observés dans la zone d'étude s'étend de 2 à 12 individus, la présence de juvéniles ayant été rapportée à 3 reprises.

L'identification individuelle qui sera détaillée ci-dessous met en lumière que la zone d'étude sert également de zone de transit pour les déplacements vitaux des individus.

### *Identification des individus*

Les données de photo-identification, basées sur l'identification individuelle à partir des marques de l'aileron dorsal des animaux, permettent de caractériser le mouvement des individus observés sur le site, la stabilité des groupes et leur degré de fidélité au site.

L'analyse des photo-identifications réalisées lors des 8 observations de l'espèce permet de comptabiliser un minimum de 18 individus différents ayant fréquenté la zone.

Parmi ces individus photo-identifiés sur la période 2004 / mars 2012, 15 ont été observés à 1 seule reprise dans cette même zone, 3 y ont été observés à deux reprises. La zone d'étude ne semble ainsi pas constituer un secteur privilégié par certains individus.

D'une observation à l'autre, la composition des groupes varie, les groupes rencontrés n'étant jamais constitués des mêmes individus. Les individus identifiés dans la zone d'étude font partie de la population résidente de La Réunion et ont tous été également observés dans d'autres secteurs de l'île, entre St-Pierre et Ste-Suzanne.

Les 2 figures ci-après, présentant les mouvements de 2 individus, sont caractéristiques des déplacements de l'espèce. Ceux-ci s'effectuent au sein d'un corridor côtier, majoritairement en deçà de l'isobathe des 60m. Les individus semblent également se déplacer tout autour de l'île.

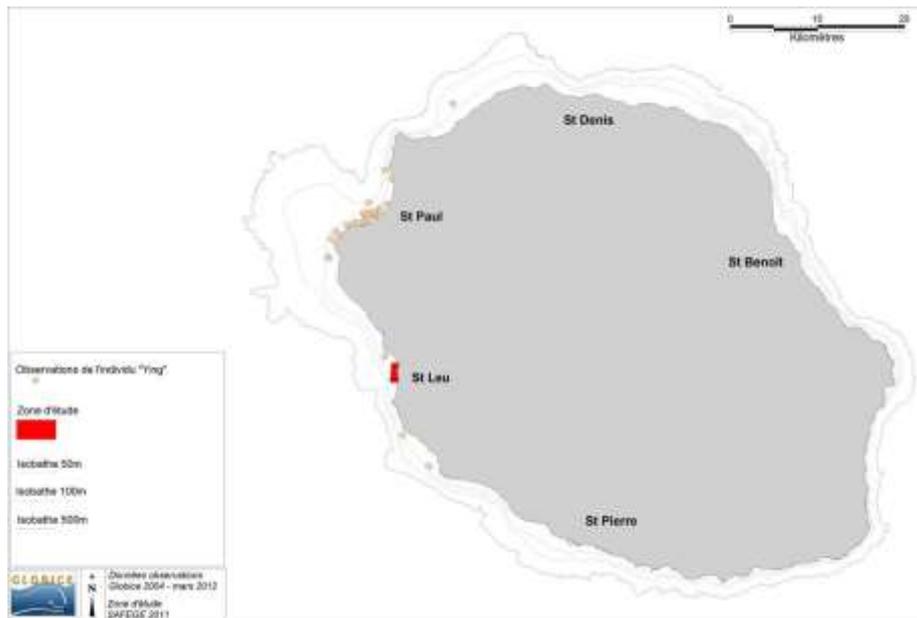


Figure 5.26 : observations de l'individu « Ying » à l'échelle de l'île

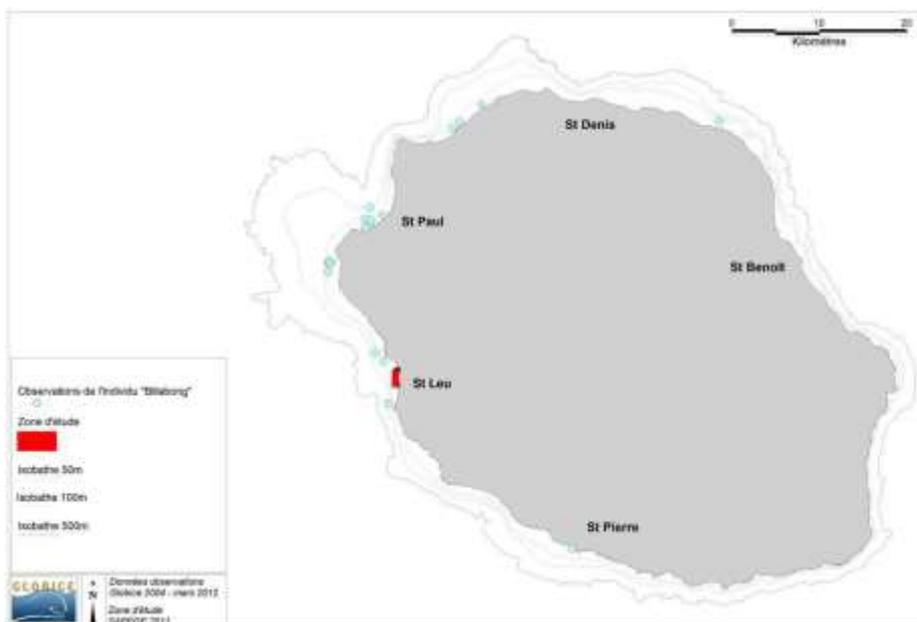


Figure 5.27 : observations de l'individu "Billabong" à l'échelle de l'île

Il apparaît ainsi que les individus identifiés ne sont pas inféodés à la zone d'étude, mais utilisent également d'autres secteurs pour satisfaire leurs besoins vitaux.

**A l'image de l'ensemble des eaux côtières de La Réunion, comprises entre 0 et 60m de fond, la zone d'étude joue ainsi un rôle de corridor écologique, utilisé par le grand dauphin de l'indo-pacifique pour ses déplacements vitaux (connexion des différents sites de l'île).**

## **Baleines à bosses**

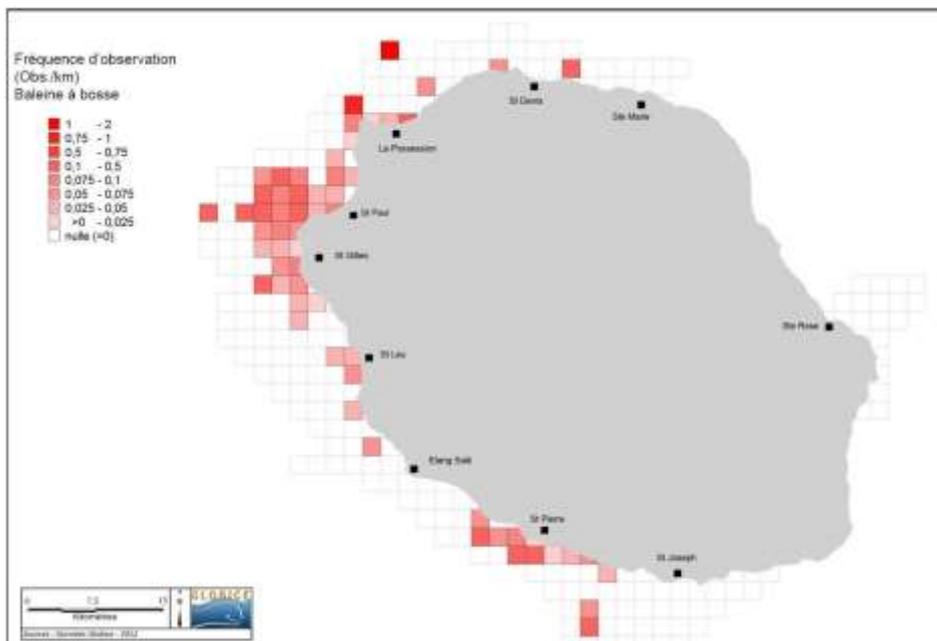
### *Comparaison interzone de la fréquentation*

La baleine à bosse étant une espèce migratrice présente uniquement en hiver autour de La Réunion, seuls les mois de juin, juillet, août et septembre 2012 ont été pris en compte. Durant cette période, un effort de prospection total de 2996 km a permis de comptabiliser un total de 159 observations de baleines à bosse dans les eaux ouest de La Réunion.

La Figure ci-après met en évidence une fréquence d'observation très importante de la zone dite du « sec de St-Gilles », située face au Cap Lahoussaye. Entre St-Gilles et St-Denis, 41% des mailles prospectées ont fait l'objet d'au moins une observation (33 mailles sur 80). Parmi elles, 11 présentent une fréquence d'observation supérieure à 0.1 observation par kilomètre.

En comparaison, le secteur au large de St Leu apparaît également comme régulièrement fréquenté, bien que dans une proportion moindre. Deux mailles présentent une fréquence d'observation comprise entre 0.025 et 0.005 observation par kilomètre, et une maille présente une fréquence d'observation comprise entre 0.05 et 0.075 observation par kilomètre. Ce niveau de fréquentation apparaît plus faible que le secteur Nord – Ouest, entre St-Gilles et la Grande Chaloupe, également plus faible que le secteur de St-Pierre, au Sud. Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que la zone ait été prospectée moins régulièrement que les autres secteurs.

**Les eaux au large de St Leu sont utilisées par la baleine à bosse, à une échelle moindre que les secteurs au large de St-Gilles, St-Paul, la Possession et St-Pierre, mais à un niveau qui reste conséquent à l'échelle de La Réunion.**



**Figure 5.28 : Fréquence d'observation de la baleine à bosse sur l'année 2012 à l'échelle de la Réunion**

### *Caractérisation de la fonctionnalité du site*

L'activité des groupes observés a pu être caractérisée dans 3 cas sur 5. Le repos, le voyage et la reproduction ont été identifiés à 1 reprise chacun. A l'image du grand dauphin de l'indo-pacifique, le faible échantillonnage ne permet pas de dégager de conclusion significative quant à une fonctionnalité spécifique du site d'étude.

Globalement, à l'échelle de l'île, la bande bathymétrique de -20 à -80m, sur laquelle vient en partie se situer la zone d'étude, correspond à la zone d'habitat préférentiel de la baleine à bosse, regroupant environ 83% des observations. Pour rappel, la bande côtière de 0 à 40m est fréquentée préférentiellement par les mères accompagnées de leur nourrisson, la moitié des observations de couple « mère-nourrisson » sont faites dans cette tranche bathymétrique.

**La zone d'étude est ainsi située au sein de l'habitat préférentiel de la baleine à bosse, utilisé par l'espèce pour l'exercice d'activités vitales, notamment la reproduction et l'élevage des jeunes, le repos et le transit. Cette zone présente ainsi un intérêt majeur pour l'espèce.**

La taille des groupes observés dans la zone d'étude s'étend de 1 à 5 individus, la présence de juvéniles ou nouveaux-nés ayant été rapportée à 2 reprises, confirmant le rôle de ces eaux de faible profondeur pour l'élevage des jeunes.

L'identification individuelle qui sera détaillée ci-dessous met en lumière que la zone d'étude sert également de zone de transit pour les déplacements vitaux des individus.

### *Identification des individus*

D'une manière générale, les données de photo-identification récoltées par GLOBICE depuis 2004 démontrent que les baleines à bosse se déplacent largement autour de l'île, de nombreuses baleines identifiées étant observées à plusieurs reprises dans des secteurs différents au cours d'une même saison (Dulau et al, *in press*).

A l'échelle du site d'étude, sur les 10 individus observés, 6 ont pu être photo-identifiés, dont 3 ont été observés plusieurs fois à l'échelle de La Réunion.

Les 3 individus « recapturés » (identifiés à plusieurs reprises) sont les individus « Cyclone », « Cookies » et « Surprise », « Cyclone » étant 1 femelle observée accompagnée de son nourrisson au sein du site d'étude. Ces 3 individus ont été observés dans différents secteurs de l'île (figure ci-après).

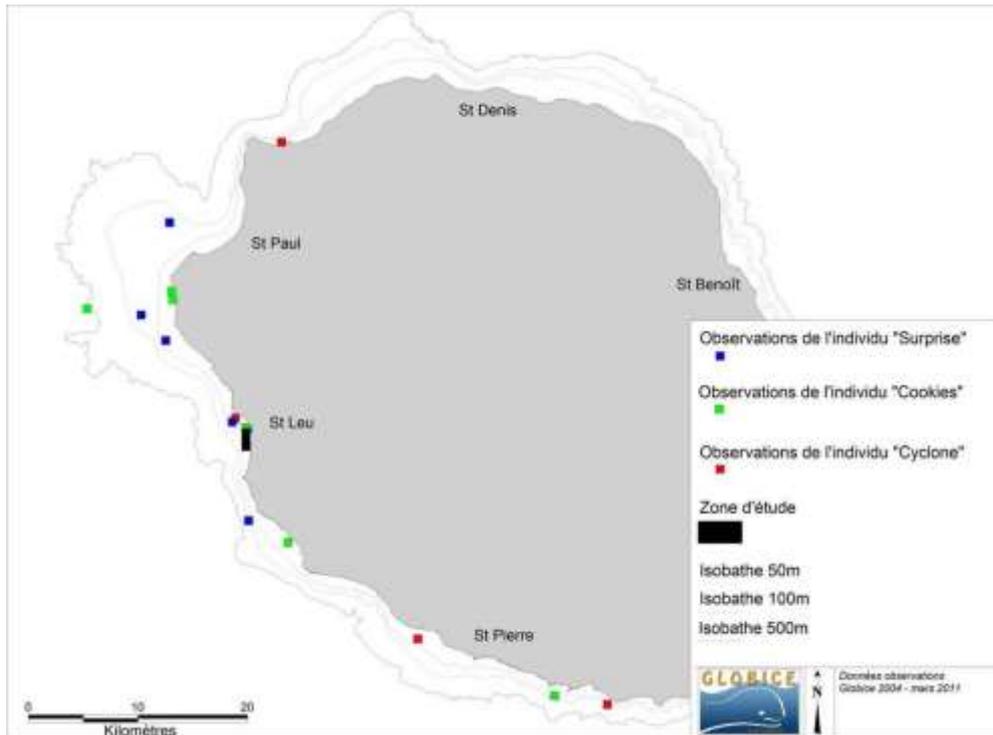


Figure 5.29 : observations à l'échelle de l'île des baleines à bosse identifiées au sein du site d'étude

« Cyclone » a été observée à 5 reprises entre la Possession et St-Joseph, entre le 14 septembre et le 25 octobre 2008. « Cookies » a été observée à 6 reprises entre St-Gilles et Grand-Anse, entre le 14 septembre et le 25 octobre 2008. « Surprise » a été observée à 5 reprises entre St-Paul et le Cap Malizé entre le 5 et le 15 juillet 2009.

**La zone d'étude apparaît ainsi être située dans un corridor assurant un rôle de connexion entre les différents secteurs de La Réunion. Elle est donc également utilisée par la baleine à bosse à des fins de transit entre ces différents secteurs.**

## Le dauphin à long bec

### *Comparaison interzone de la fréquentation*

La Figure ci-dessous montre que le dauphin long bec fréquente les eaux de l'Ouest de La Réunion de manière plutôt régulière entre la Baie de St-Paul et l'Etang Salé.

La maille englobant le port de St Leu a fait l'objet d'une fréquence d'observation de l'espèce comprise entre 0.025 et 0.05 observation par kilomètre de prospection.

En comparaison, les eaux situées au large de St-Gilles s'avèrent plus fréquentées, deux mailles présentant des fréquences d'observations comprises entre 0.075 et 0.1 observation par kilomètre, six mailles entre 0.05 et 0.075 observation par kilomètre.

**Globalement, la fréquence d'observation du dauphin long bec des eaux au large de St Leu est relativement élevée à l'échelle de l'île. St Leu semble ainsi se situer au cœur d'un secteur apprécié par l'espèce, compris entre St-Paul et l'Etang Salé, même si au sein de ce secteur les eaux au large de St-Gilles semblent être plus attractives.**

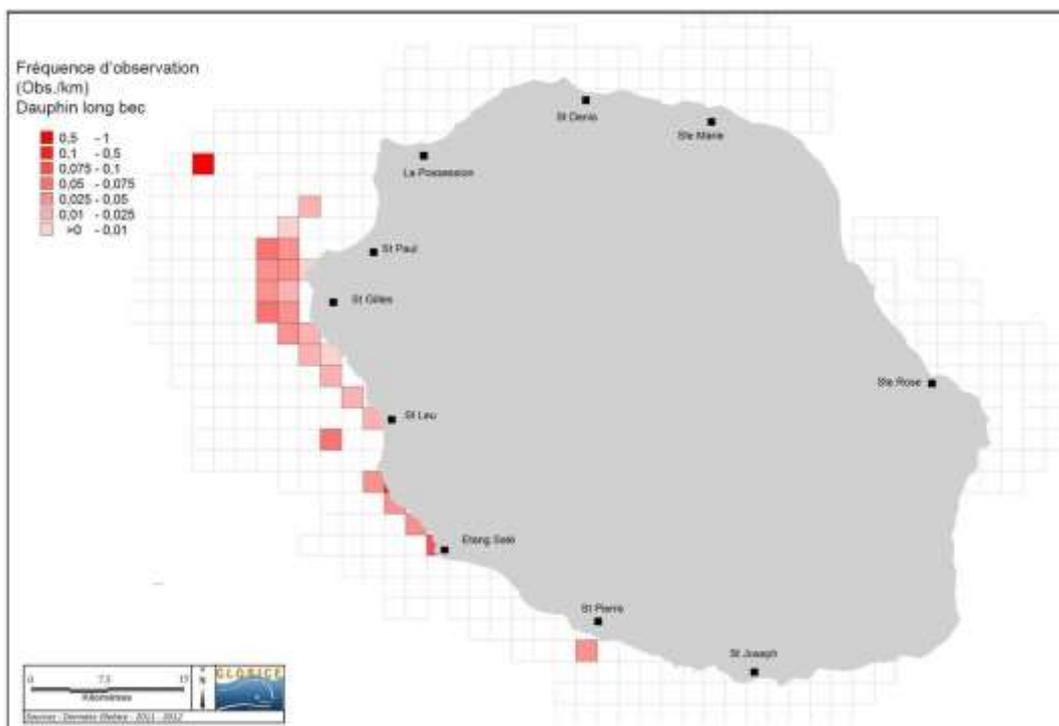


Figure 5.30 : Fréquence d'observation du dauphin long bec en 2012 à l'échelle de la Réunion

### *Caractérisation de la fonctionnalité du site*

L'activité du groupe observé n'a pas pu être déterminée. Si l'on s'en réfère aux éléments disponibles dans la littérature, l'espèce fréquente habituellement les eaux peu

profondes durant la journée, lors des phases de repos (Best, 2007), ou de socialisation (Norris et al., 1984).

**Étant donnée sa localisation, au sein de la bande bathymétrique comprise entre 0 et 50m de fond, la zone d'étude est donc susceptible d'être utilisée principalement à des fins de repos et de socialisation par le dauphin à long bec.**

A l'heure actuelle il n'est pas possible de déterminer si les observations faites dans le secteur correspondent à des groupes stables dans le temps, fréquentant la zone de manière régulière. La composition de groupes et les connexions entre les différents secteurs de l'île et les populations du large sont encore méconnues à l'heure actuelle.

### c- Éléments acoustiques

#### Sons produits par les cétacés

Le présent chapitre a vocation à présenter des éléments issus de la littérature relatifs à la vulnérabilité acoustique des cétacés. La question des impacts acoustiques des projets d'aménagement constitue en effet une problématique essentielle pour ces différentes espèces.

Un bruit de fond ambiant existe naturellement dans les milieux marins, et fait partie de l'environnement naturel des cétacés. A cela vient s'ajouter les bruits provoqués par les activités humaines. L'environnement sonore résulte donc de bruits d'origine physique (vent, intempéries, vagues, turbulence, etc.), biologique (sons émis par les organismes marins) et anthropogénique (trafic maritime, travaux d'aménagements, etc.) et est accru dans les habitats côtiers.

Les cétacés vivent dans cet environnement sonore en utilisant eux-mêmes les sons pour se repérer dans leur environnement, pour détecter et localiser leurs proies et pour communiquer. Ils produisent différents types de vocalises.

#### *Les Odontocètes (cétacés à dents)*

Ils produisent deux types de sons :

- ✓ sifflements, à fréquence modulée (4-16 kHz) et d'autres sons pulsés très variés. Ces vocalises, dites « sociales », sont utilisées pour la communication (reconnaissance des individus, cohésion du groupe, etc.) ;
- ✓ clics d'écho-localisation qui sont des impulsions de large bande (2-200kHz), de forte intensité et directionnelles, émises avec un intervalle permettant le retour d'un écho. La gamme de fréquence utilisée est variable selon les espèces. Ces clics sont utilisés comme un sonar, pour la localisation des proies et des obstacles.

#### *Les Mysticètes (cétacés à fanons)*

Les mysticètes produisent des sons de fréquences plus basses que les odontocètes, de 12 Hz à 8 kHz, et n'émettent pas de clics d'écho-localisation. Les baleines à bosse sont reconnues comme produisant une multitude de sons, organisés selon une structure hiérarchique complexe, que l'on nomme des « chants ». Ces chants sont émis sur les zones de reproduction par les mâles uniquement et il est supposé qu'ils jouent un rôle dans la sélection sexuelle des partenaires. L'unité de base (parfois appelée *note*) est un son continu de fréquence variable, entre 30 Hz et 8 kHz.

Les caractéristiques acoustiques des sons émis par les espèces concernées par le projet sont présentées dans le tableau suivant.

Espèce	Type de vocalise	Gamme de fréquence	de Fréquences dominantes	Intensité dB re 1 $\mu$ Pa
<b>Odontocètes</b>				
<b>Grand dauphin *</b>	Clic écholocalisation	110-130kHz		218-228
	Sifflements	0,8-24 Hz	3,5-14,5 Hz	125-173
<b>Dauphin long bec</b>	Clic écholocalisation	<65 kHz		
	Sifflements	1-22,5Hz	6,8-17 Hz	109-150
	Train de pulses	-	5-60 Hz	108-115
<b>Dauphin tacheté pantropical</b>	Sifflements	3,1-21,4Hz	6,7-17,8Hz	-
	Clic écholocalisation	-	-	-
<b>Mysticètes</b>				
<b>Baleine à bosse</b>	chant	30Hz-8kHz	120Hz-4kHz	144-174

Tableau 5.16 : caractéristiques acoustiques connues des vocalises émises par les espèces concernées par le projet (Richardson, et al., 1995)

Ainsi, les espèces identifiées dans ou à proximité du site d'étude utilisent l'acoustique pour satisfaire différents besoins vitaux (reproduction, communication, prédation). Elles sont donc susceptibles de supporter des dérangements induits par une modification du niveau sonore ambiant et/ou des émissions acoustiques qui interféreraient avec leurs signaux.

## **Seuils**

Les seuils de risque potentiel généralement admis aujourd'hui sont définis par deux niveaux de harcèlement correspondant à des niveaux perçus (Lurton & Antoine, 2007):

- ✓ 180 dB re 1  $\mu$ Pa : limite de danger, au-dessus de laquelle des effets physiques sont susceptibles de se produire, soit directement (lésions de l'appareil auditif) soit indirectement (réactions paniques de remontée ou d'échouage) ; rester en deçà de ce seuil est une priorité absolue
- ✓ 160 dB re 1  $\mu$ Pa : seuil au-dessus duquel peuvent se produire des effets notables et durable de comportement (abandon de zone), éventuellement réversible, mais sans créer de danger direct et immédiat.

Ces seuils doivent seulement être considérés comme indicatifs. Ils ne tiennent compte ni de la fréquence, de la durée et de l'occurrence des signaux, ni de l'espèce de cétacé considérée et sont susceptibles d'être modifiées dans les années à venir, en fonction de l'évolution des connaissances (Lurton & Antoine, 2007).

La seule notion de niveau (sans critère de durée) est très insuffisante. Par exemple avec les seuils ci-dessus, un niveau occasionnel de plus de 160 dB re 1  $\mu$ Pa mais de courte sera considéré comme ayant un impact sur le comportement des animaux, alors qu'un niveau plus faible, considéré comme acceptable, mais permanent, ou de longue durée, pourra être tout aussi impactant.

### **d- Identification des enjeux**

#### **Estimation de la patrimonialité des espèces**

##### *Protection réglementaire*

Le statut de protection et le caractère emblématique des espèces de cétacés présentes au sein des zones d'étude, leur confèrent une forte valeur patrimoniale.

En France, l'ensemble des cétacés a le statut d'espèce protégée, par l'arrêté national du 1<sup>er</sup> juillet 2011. L'article 2 prohibe « la destruction, la mutilation, la capture ou l'enlèvement intentionnels incluant les prélèvements biologiques, la perturbation intentionnelle incluant la poursuite ou le harcèlement des animaux dans le milieu naturel ».

Ce texte protège également les habitats, interdisant : « La destruction, l'altération ou la dégradation des sites de reproduction et des aires de repos des animaux. Ces interdictions s'appliquent aux éléments physiques ou biologiques réputés nécessaires à la reproduction ou au repos de l'espèce considérée, aussi longtemps qu'ils sont effectivement utilisés ou utilisables au cours des cycles successifs de reproduction ou de repos de cette espèce et pour autant que la destruction, l'altération ou la dégradation compromette la conservation de l'espèce en remettant en cause le bon accomplissement des cycles biologiques ».

**L'arrêté de protection du 1<sup>er</sup> juillet 2011 couvre toutes les espèces de cétacés, les siréniens et plusieurs espèces de pinnipèdes. Il s'applique aux trois espèces identifiées dans le cadre du projet d'extension du port de St-Leu.**

### *Statut de conservation*

Au niveau local, l'évaluation du statut de conservation de ces espèces par l'UICN-France et le Muséum National d'Histoire Naturelle, effectuée pour La Réunion en 2010 et à laquelle GLOBICE a participé permet de donner une idée précise du risque de disparition des espèces de l'île.

Le tableau ci-dessous fait apparaître que sur les 3 espèces recensées dans le cadre de l'étude, 2 sont considérées comme menacées selon les critères développés par l'UICN :

- ✓ Le grand dauphin de l'Indo-pacifique est considéré comme « En Danger » (EN), de fait de sa population limitée, son habitat côtier très restreint et le risque de dégradation de son habitat ;
- ✓ La baleine à bosse est considérée comme « Vulnérable » (VU), de par son habitat côtier pendant la période critique de reproduction et l'augmentation des interactions avec les activités humaines (dégradation de son habitat, augmentation du trafic maritime....).

En revanche, le statut du dauphin long bec ainsi n'a pas été défini du fait du manque de données nécessaires à l'évaluation (DD : Data deficient).

Nom scientifique	Nom français	Catégorie Liste rouge France	Critère Liste rouge France	Catégorie Liste rouge mondiale
<i>Tursiops aduncus</i>	Grand Dauphin de l'Indo-Pacifique	EN	B(1+2)ab(iii) D	DD
<i>Megaptera novaeangliae</i>	Baleine à bosse	VU	EN (B2ab(iii) D) (-1)	LC
<i>Peponocephala electra</i>	Dauphin d'Electre	LC		LC
<i>Stenella attenuata</i>	Dauphin tacheté pantropical	LC		LC
<i>Globicephala macrorhynchus</i>	Globicéphale tropical	DD		DD
<i>Lagenodelphis hosei</i>	Dauphin de Fraser	DD		LC
<i>Stenella longirostris</i>	Dauphin long bec	DD		DD
<i>Tursiops truncatus</i>	Grand Dauphin commun	DD		LC
<i>Physeter macrocephalus</i>	Cachalot	DD		VU

Tableau 5.17 : statut UICN de conservation des cétacés de La Réunion

**La zone d'étude présente une sensibilité écologique très forte vis-à-vis de la faune marine avec une fréquentation significative de 3 grandes espèces de cétacés.**

**Le grand dauphin de l'indo-pacifique et la baleine à bosse présentent un statut d'espèces menacées selon les critères de l'UICN à La Réunion. Le dauphin long bec n'est pas concerné à ce jour pour des raisons d'évaluation incomplète.**

## **Enjeux au niveau de la protection des cétacés**

Les enjeux du projet en termes de préservation des cétacés concernent tout particulièrement :

- ✓ Ne pas faire barrière aux mouvements des populations locales de cétacés, notamment le grand dauphin de l'Indo-pacifique et la baleine à bosse et limiter l'emprise du projet sur leur habitat ;
- ✓ Garantir un environnement sonore compatible avec les fonctions vitales des espèces. Les cétacés utilisant l'acoustique pour se nourrir, se repérer et communiquer, la limitation du niveau sonore ambiant apparaît comme un enjeu majeur, le son étant susceptible de se propager très loin de sa source.

La zone d'influence du projet est ainsi susceptible d'être largement plus étendue que celle ayant servi de base à la présente étude.

**Au regard des enjeux de préservation des cétacés vis-à-vis des nuisances acoustiques, les travaux les plus impactants seront interdits pendant la période de migration des baleines à bosse de juillet à octobre.**

## **B- Les Tortues**

📖 « Etude d'impact du projet d'extension du port de Saint Leu sur les tortues marines », KELONIA, Juillet 2012, annexée au dossier d'étude d'impact

### **a- Généralités**

Les tortues marines sont des espèces migratrices, à maturité tardive et qui occupent au cours de leur cycle biologique des habitats diversifiés (plages, pleine mer, mangroves, platiers, herbiers marins,...) répartis sur une zone géographique très étendue. Le recrutement et les temps de résidence sur ces différents habitats varient en fonction des conditions environnementales et ne sont pas constants au cours de l'année.

Cinq espèces de tortues marines sont présentes dans le Sud-ouest de l'Océan Indien : la tortue verte (*Chelonia mydas*), la tortue imbriquée (*Eretmochelys imbricata*), la tortue caouanne (*Caretta caretta*), la tortue olivâtre (*Lepidochelys olivacea*) et la tortue luth (*Dermochelys coriacea*). Ces cinq espèces de tortues marines sont présentes dans les eaux de La Réunion.

Parmi elles, deux espèces sont présentes tout au long de l'année sur les côtes réunionnaises : la tortue verte et la tortue imbriquée. Ces deux espèces semblent y trouver des sites d'alimentation et de développement favorables. La première espèce est la seule connue pour se reproduire sur les plages de La Réunion.



Figure 5.31 : Les deux espèces de tortues marines présentes en permanence sur les côtes réunionnaises : la tortue verte (*Chelonia mydas* ; à gauche) et la tortue imbriquée (*Eretmochelys imbricata* ; à droite)

Toutes les espèces de tortues marines sont protégées. Elles sont inscrites comme « vulnérables », « menacées d'extinction » ou « gravement menacées d'extinction » sur la Liste Rouge des espèces menacées de l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature), et bénéficient de mesures de conservation dans le cadre de la convention internationale CITES-CMS (Convention on International Trade in Endangered Species - Convention on Migratory Species) et régionale IOSEA-MoU (Indian Ocean – East Asian Marine Turtle Memorandum of Understanding).

La tortue verte *Chelonia mydas* est classée « En Danger » (EN) et la tortue imbriquée *Eretmochelys imbricata* est classée « En Danger Critique d'extinction » (CR) sur les listes internationale, nationale et régionale de l'UICN.

En France, ces espèces de tortues marines sont protégées par l'arrêté du 14 octobre 2005 inscrit au Journal Officiel du 16/12/2005.

#### **b- Fréquentation de la zone d'étude par les tortues marines**

Le littoral de St Leu regroupe deux habitats importants pour 2 espèces de tortues marines : la tortue verte *Chelonia mydas* et la tortue imbriquée *Eretmochelys imbricata* :

- ✓ des habitats de développement pour les juvéniles sur les récifs frangeants depuis la Pointe des Châteaux jusqu'à la Pointe au sel ;
- ✓ des plages de ponte (plus de 90% de ponte observées à La Réunion le sont sur les Plages du Nord de St Leu).

Par ailleurs la tortue de mer est l'emblème de la ville de Saint Leu, qui l'a intégrée dans son logo et en a fait sa mascotte. KELONIA l'observatoire des tortues marines de La Réunion implanté à l'entrée Nord de Saint Leu, est le site touristique le plus visité de la commune avec 122 000 visiteurs en 2011, et un des tout premiers sites touristiques de La Réunion.

Les données utilisées dans l'étude sont extraites du programme de recensement aérien des tortues marines sur la côte ouest de La Réunion selon le protocole mis en œuvre depuis 1998 (de la Pointe au sel à la Baie de Saint Paul) par KELONIA (Sauvignet et al., 2000 ; Michalowski, 2007 ; Jean et al., 2010a).

Au cours des survols en ULM réalisés entre 2003 et 2011, 34 tortues marines ont été observées dans le périmètre de la zone d'étude et 209 dans le périmètre de la Baie de Saint Leu (cf. Figure suivante). Pendant la même période, 2 909 observations ont été enregistrées sur l'ensemble de la zone d'étude du programme de recensement aérien (longueur totale du transect : 30 km).

Les tableaux présentés sur la carte indiquent le nombre de tortues recensées chaque année sur chacun des deux périmètres. On note une augmentation globale du nombre de tortues marines recensées à Saint Leu depuis 2003.

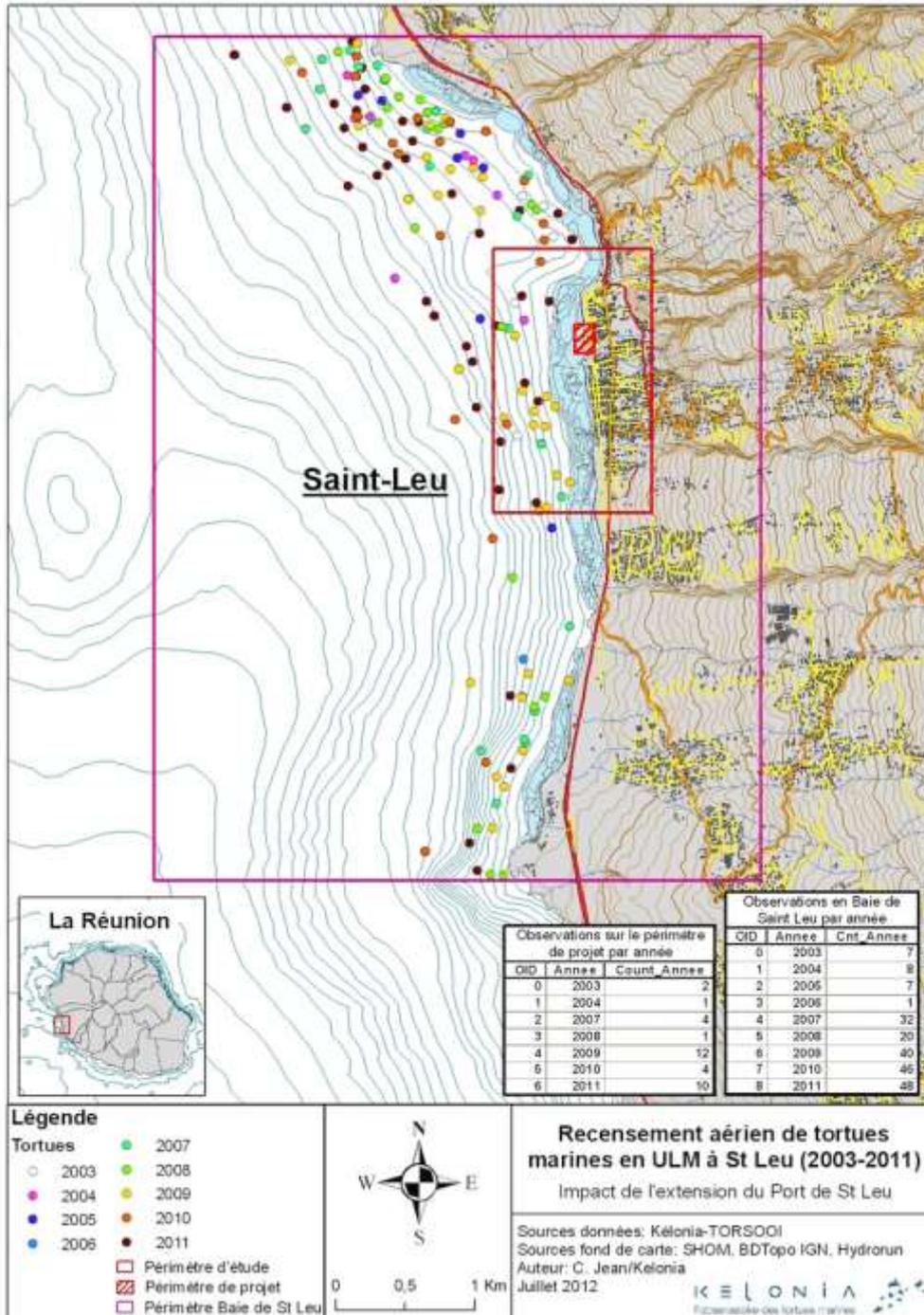


Figure 5.32 : observation aérienne de tortues marines sur le littoral de St Leu

Par ailleurs, la présence régulière de juvéniles (taille <50cm) de tortues dans le chenal et le lagon de Saint Leu est rapportée par les pêcheurs et pratiquants d'activités nautiques. En effet, depuis près de 3 ans, le club nautique de Saint Leu a rapporté plusieurs observations de jeunes tortues en sortie du port (taille < 50cm), à proximité de la base nautique.

De même, des pêcheurs et usagers du port ont observé à plusieurs reprises des jeunes tortues à proximité de la digue du port de Saint Leu et en bordure du chenal d'accès au port. Ces observations ont été confirmées par les équipes de KELONIA qui se sont rendues sur place.

Depuis le démarrage du programme de restauration des plages de ponte de tortues marines à Saint Leu, les plages Nord de la commune ont hébergé 90% des pontes observées à La Réunion : 14 nids depuis 2004.

Les tortues vertes femelles viennent pondre entre juillet et octobre sur les plages qui ont fait l'objet de restauration écologique : restauration de la végétation littorale indigène, réduction des nuisances lumineuses (pose de déflecteur, extinction totale ou partielle de l'éclairage public), surveillance durant les épisodes de ponte.

Le suivi par balise Argos d'une femelle en 2011 a montré le comportement entre les pontes successives, mettant en évidence le déplacement le long du littoral précédant la montée nocturne sur la plage. Les femelles ne montent pondre que sur les zones de plage non éclairées.

Les accouplements ont lieu à proximité des plages de ponte. Durant l'accouplement, qui dure plusieurs heures, les tortues dont la mobilité est réduite (seule la femelle nage) sont particulièrement sensibles aux collisions avec les engins rapides.

**La zone d'extension du port de Saint Leu se situe sur une zone du récif frangeant peu favorable à la présence des tortues marines en raison de la nature des fonds et de sa profondeur.**

**En revanche, certains sites de la zone d'étude (abords de la digue, chenal d'accès au port et abords du club nautique) situés à proximité de la zone de chantier sont identifiés comme des habitats de développement des jeunes tortues.**

**Les plages du Nord de la commune constituent des sites de ponte à fort enjeu. Durant la période de reproduction, les tortues vertes et les tortues imbriquées présentent une vulnérabilité accrue pendant les accouplements et les phases de recherche de zone calme et sombre pour déposer les œufs.**

## Incidence du projet sur l'espace protégé

### 6.1 Effets du projet sur le milieu physique

#### 6.1.1 Effets du projet sur les niveaux d'eau du lagon

📖 Étude hydrosédimentaire, Actimar/SAFEGE – 2012

Les impacts du projet d'aménagement du port de Saint-Leu sur la dynamique hydro-sédimentaire et sur les niveaux d'eau ont été investigués par une approche 2DH en utilisant les modèles numériques Seamer et Swan de manière couplée.

L'évaluation des effets sur les niveaux d'eau du lagon concerne essentiellement les travaux maritimes.

##### 6.1.1.1 Conditions de simulation

Pour étudier l'impact de l'aménagement sur les surcotes, les simulations ont été menées avec la bathymétrie actuelle et la bathymétrie du projet.

Le couplage des modèles Seamer et Swan est considéré pour l'ensemble des simulations (houle cyclonique notamment) en prenant en compte un champ de vent identique.

On rappelle que le niveau d'eau résulte de la combinaison des processus suivants : débit des ravines, houle, marée, pression et vent. Pour évaluer l'impact du projet sur le niveau d'eau en tenant compte de l'ensemble de ces processus, six conditions ont été étudiées :

	Conditions météo-océanique	Débit des ravines
1	Houle australe période de retour 1an	10% du débit décennal
2	Houle australe période de retour 10ans	10% du débit décennal
3	Houle australe période de retour 1an	débit décennal
4	Cyclone Connie	débit décennal
5	Cyclone Dina	débit décennal
6	Cyclone Dina modifié	débit centennal

Figure 6.1 : scénarios pour l'étude des surcotes

Les deux premiers scénarios permettent d'évaluer l'impact du projet sur le phénomène d'ensachage du lagon. Le 3<sup>ème</sup> permet d'isoler l'influence du débit dans les ravines Grand et Petit Étang en introduisant un débit décennal. Les scénarios 4 et 5 correspondent à des conditions cycloniques ayant déjà eu lieu avec deux trajectoires et intensités différentes.

Le scénario 6 correspond à un cyclone exceptionnel dont la trajectoire passe sur l'Ile de La Réunion ; il permet d'introduire une surcote extrême du même ordre de grandeur que celle retenue par EGIS dans le cadre des études d'avant-projet (0,9 m). Par ailleurs, ce scénario fait intervenir un débit d'occurrence centennale, cette condition constitue donc une situation extrême exceptionnelle.

### 6.1.1.2 Résultats

Les pages suivantes présentent les résultats obtenus pour chaque simulation avec les visualisations suivantes :

- ✓ Cartes des surcotes maximales obtenues au cours de la simulation en état actuel et en état projet ;

Le terme surcote désigne la différence entre le niveau obtenu avec tous les forçages (marée, houle, pression, vent, débit des ravines) et le niveau obtenu sous le seul forçage de la marée ;

- ✓ Évolution du niveau d'eau (par rapport au niveau moyen) en deux points du domaine de calcul :
  - un point situé à l'extérieur du platier corallien (Point 1 : 55.275°E 21.16879°S)
  - un point situé à proximité du port (Point 2 : 55.28461°E 21.16879°S).

Ces deux points sont localisés sur la Figure suivante.

Les résultats montrent que l'action de la houle est primordiale sur le niveau d'eau sur le platier. Ainsi, l'ensachage du lagon peut atteindre 0,62 m pour une houle de période de retour 1 an et 0,76 m pour une houle de période de retour 10 ans (Figure 6.3 et Figure 6.5). Ces niveaux sont du même ordre de grandeur que les surcotes cycloniques qui sont principalement dues à la baisse de pression lors du passage du cyclone.

Les évolutions au niveau des points 1 et 2 (Figure 6.4 et Figure 6.6) montrent que l'ensachage est peu influencé par les variations de niveau dues à la marée, le déferlement des vagues s'effectuant toujours au niveau de la limite du platier.

L'augmentation du débit des ravines (ravine du Grand Étang et Petit Étang : 149 m<sup>3</sup>/s en débit décennal) ne modifie pas le maximum de surcote atteint dans le lagon, en revanche, le débit décennal crée une pente due à l'écoulement fluvial dans la ravine (Figure 6.7).

Pour les simulations en conditions cycloniques, les processus prépondérants sont la pression atmosphérique et la houle. L'action de la pression est particulièrement visible sur l'évolution des niveaux au point 1. L'action de la houle est quant à elle visible en comparant l'évolution au point 2 par rapport au point 1 (Figures 6.8 à 6.10).

Les différentes simulations mettent en évidence des surcotes maximales dans le lagon allant de 0,48m pour le cyclone Connie à 0,53m pour le cyclone Dina et 1,26m pour le cyclone Dina modifié (situation extrême exceptionnelle).

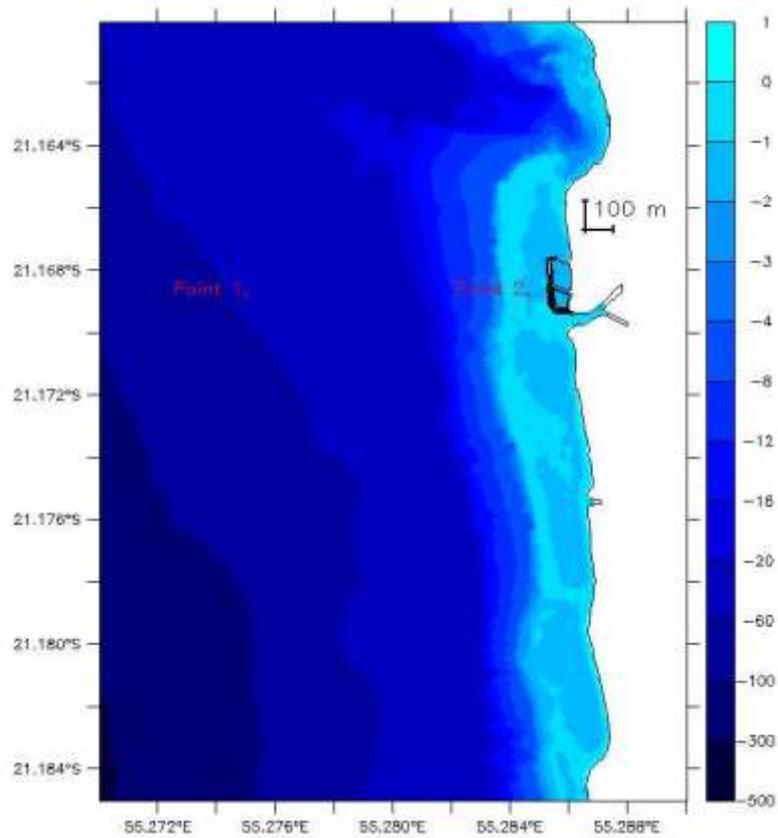


Figure 6.2 : Localisation des points de visualisation de l'évolution du niveau d'eau (couleurs : bathymétrie m/NM)

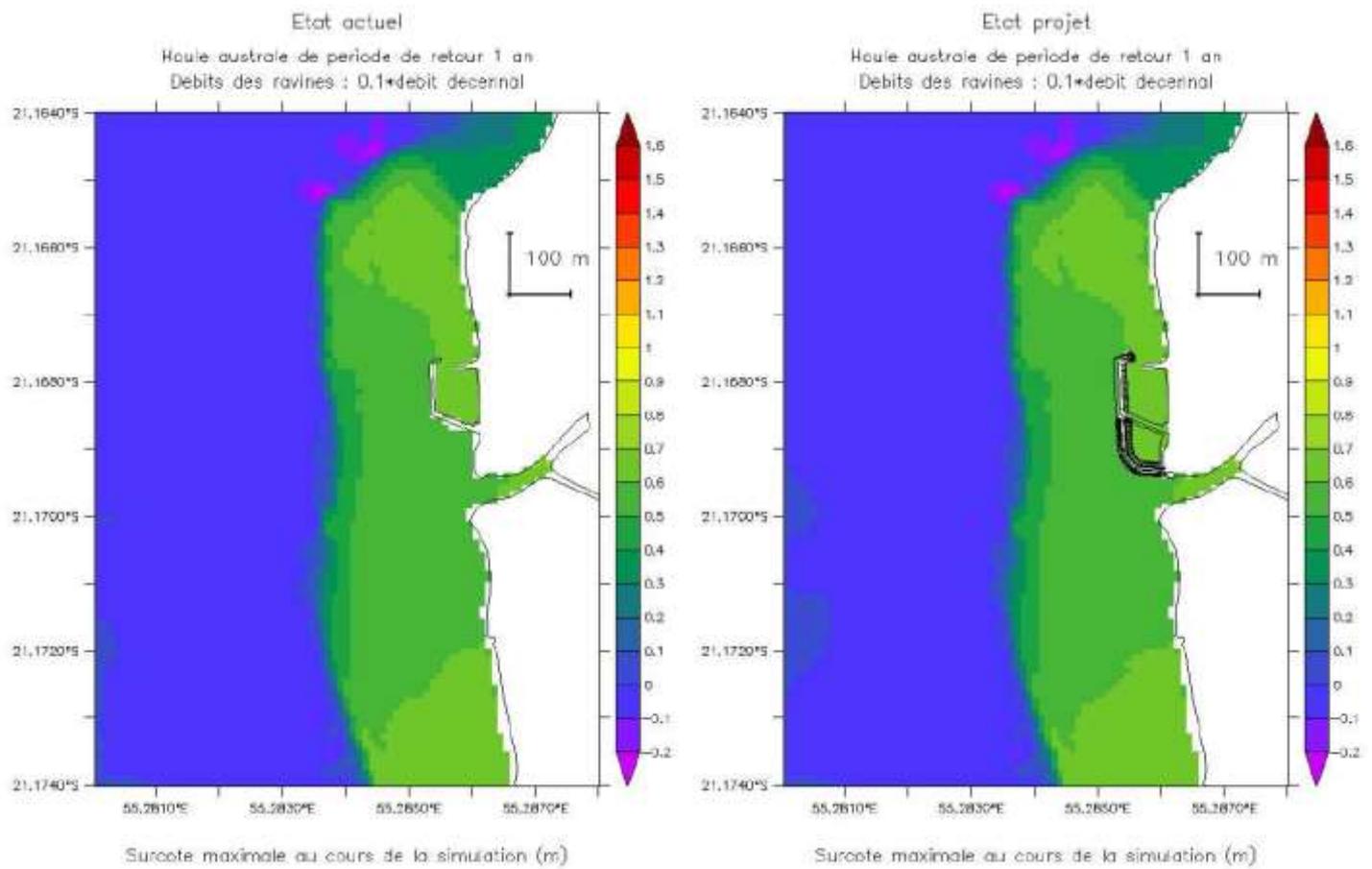


Figure 6.3 : Surcote maximale simulée pour une houle de période de retour 1 an et des débits de 10% du débit décennal

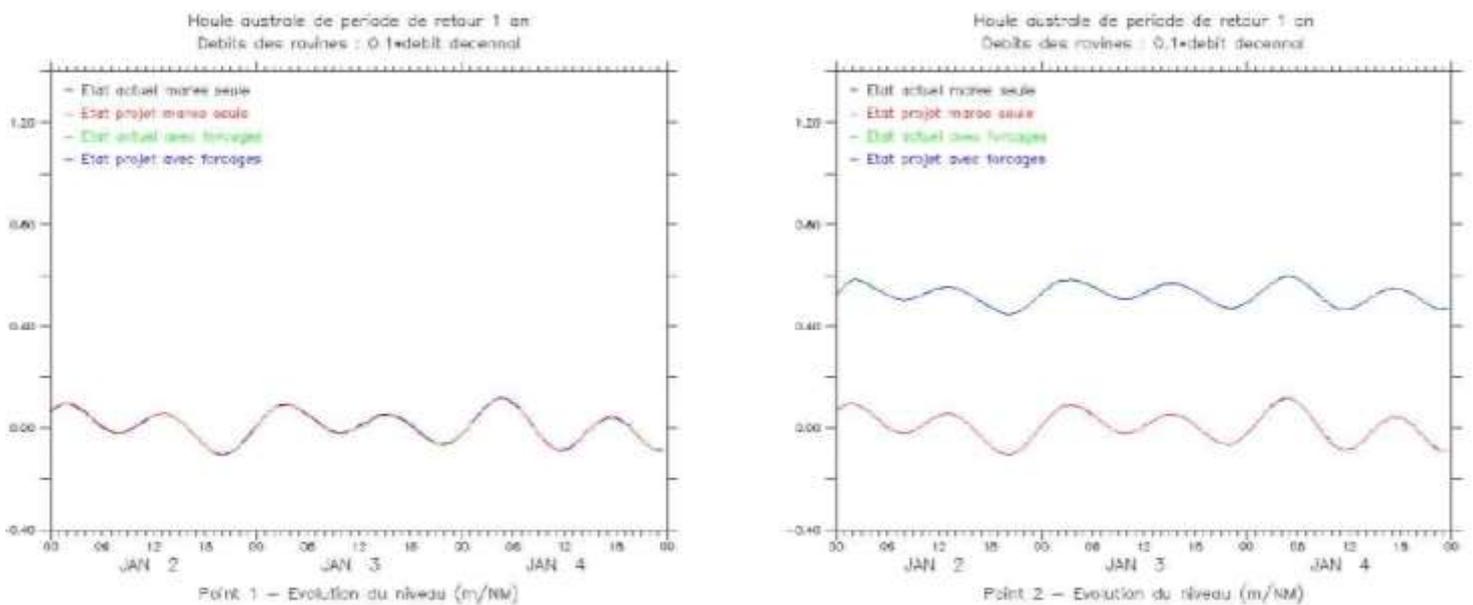


Figure 6.4 : Évolution du niveau d'eau aux points 1 et 2 pour une houle de période de retour 1 an et des débits de 10% du débit décennal

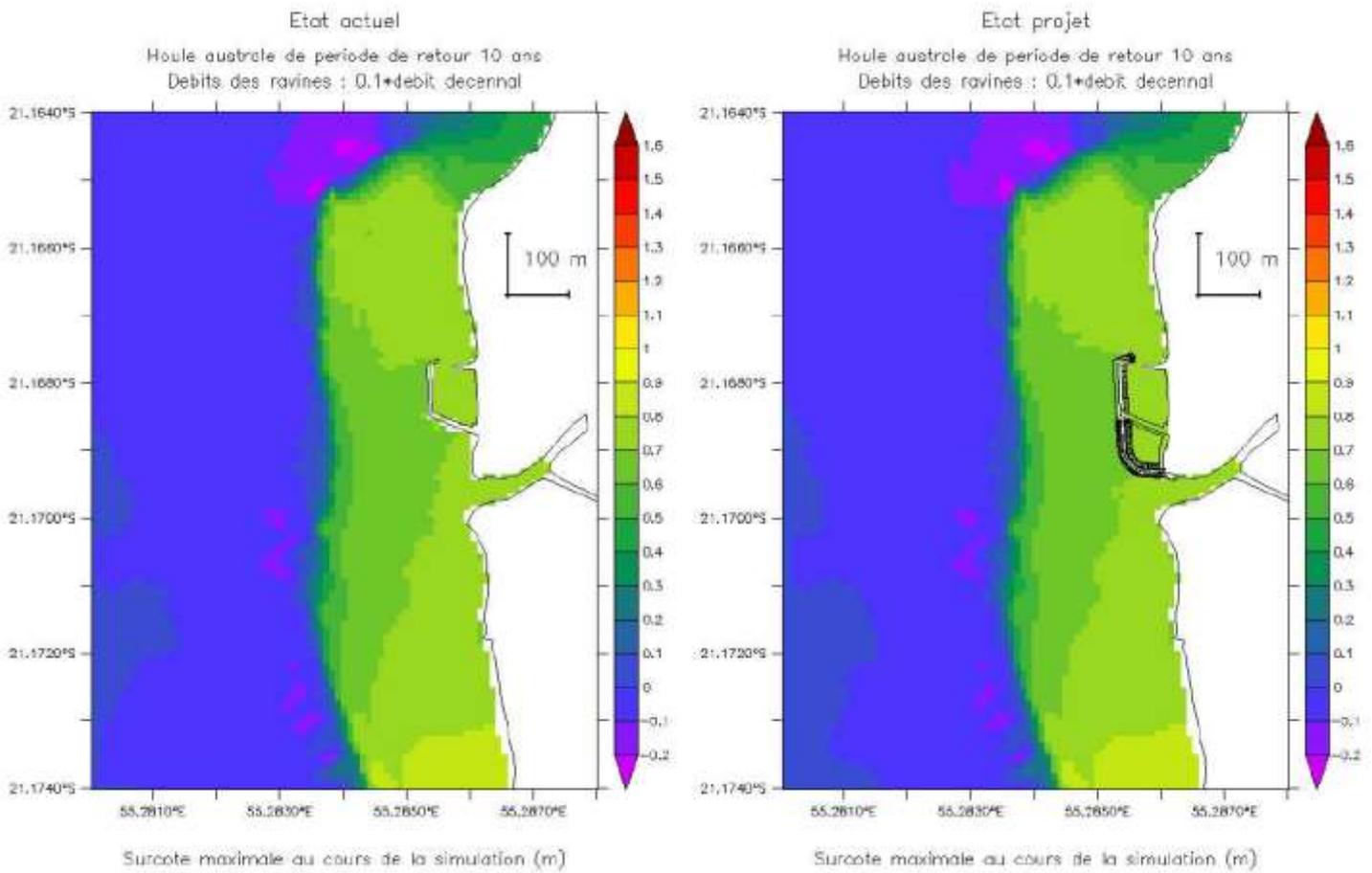


Figure 6.5 : Surcote maximale simulée pour une houle de période de retour 10 ans et des débits de 10% du débit décennal

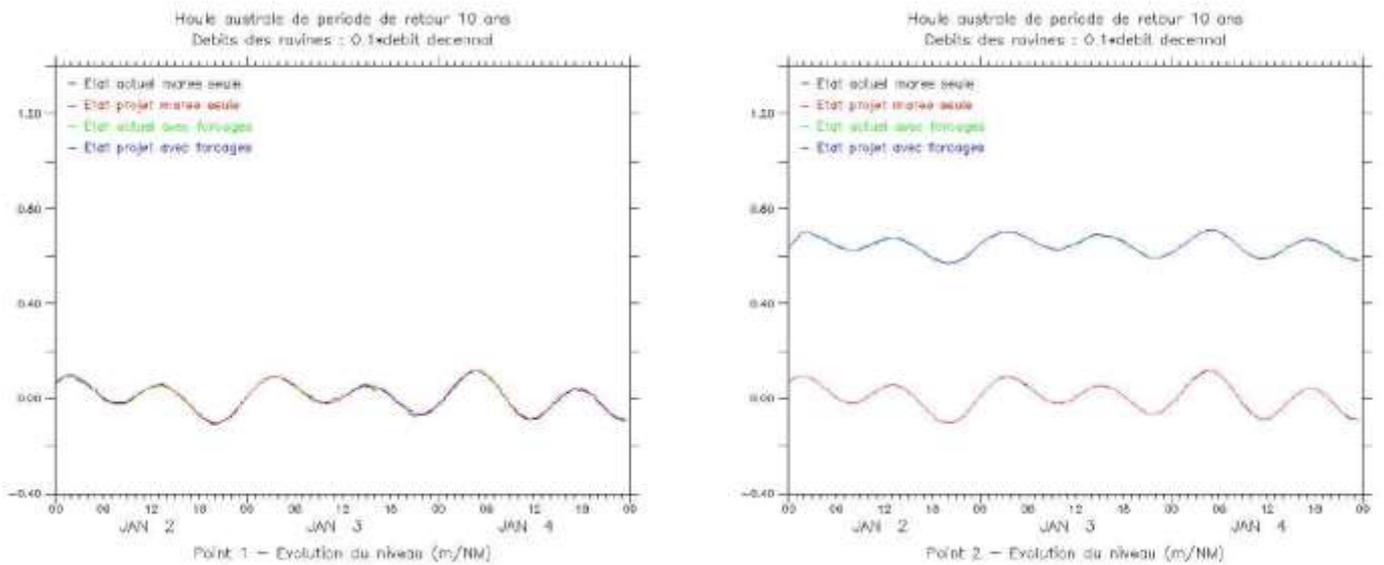


Figure 6.6 : Évolution du niveau d'eau aux points 1 et 2 pour une houle de période de retour 10 ans et des débits de 10% du débit décennal

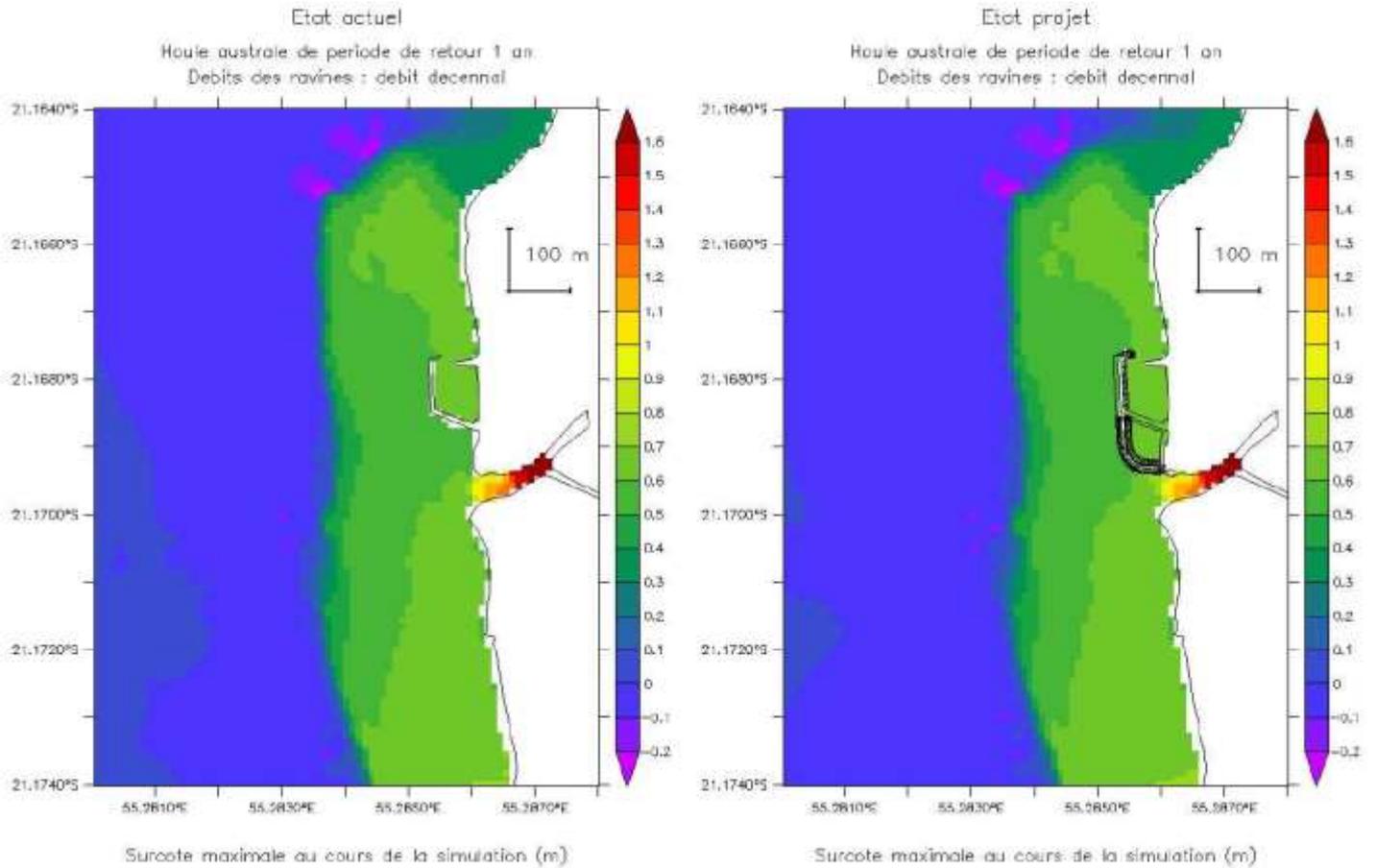


Figure 6.7 : Surcote maximale simulée pour une houle de période de retour 1 an et des débits décennaux

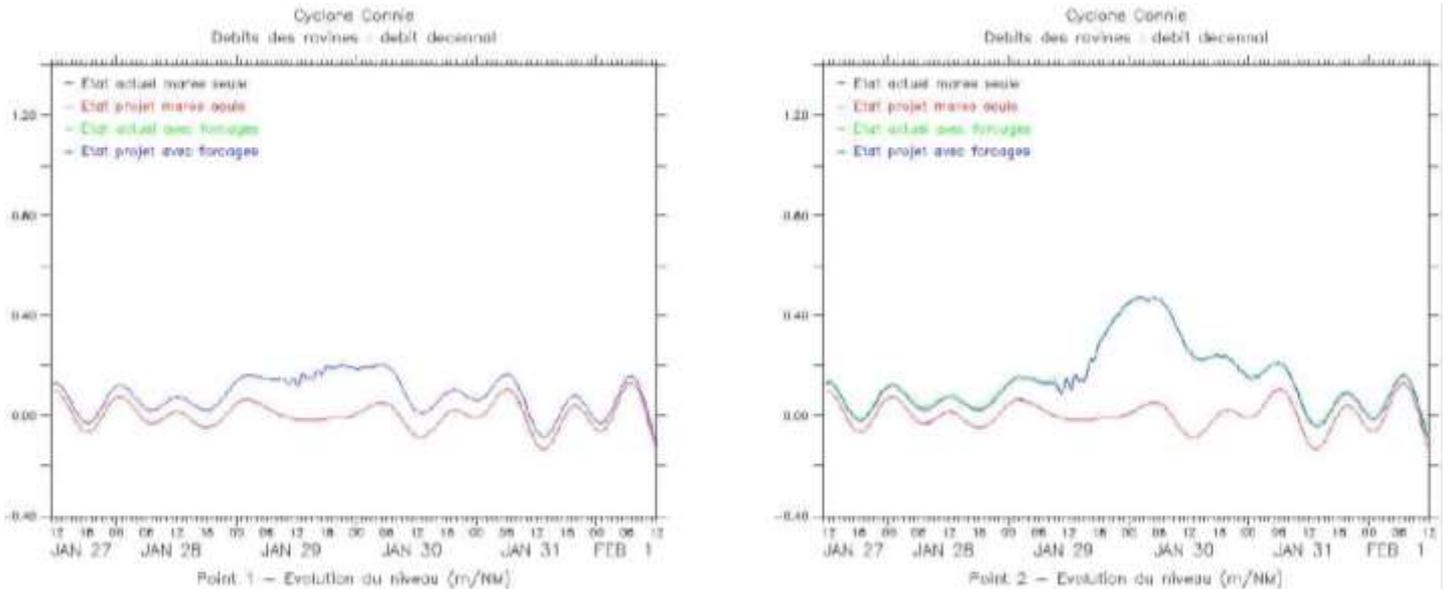


Figure 6.8 : Évolution du niveau d'eau aux points 1 et 2 pour le cyclone Connie et des débits décennaux

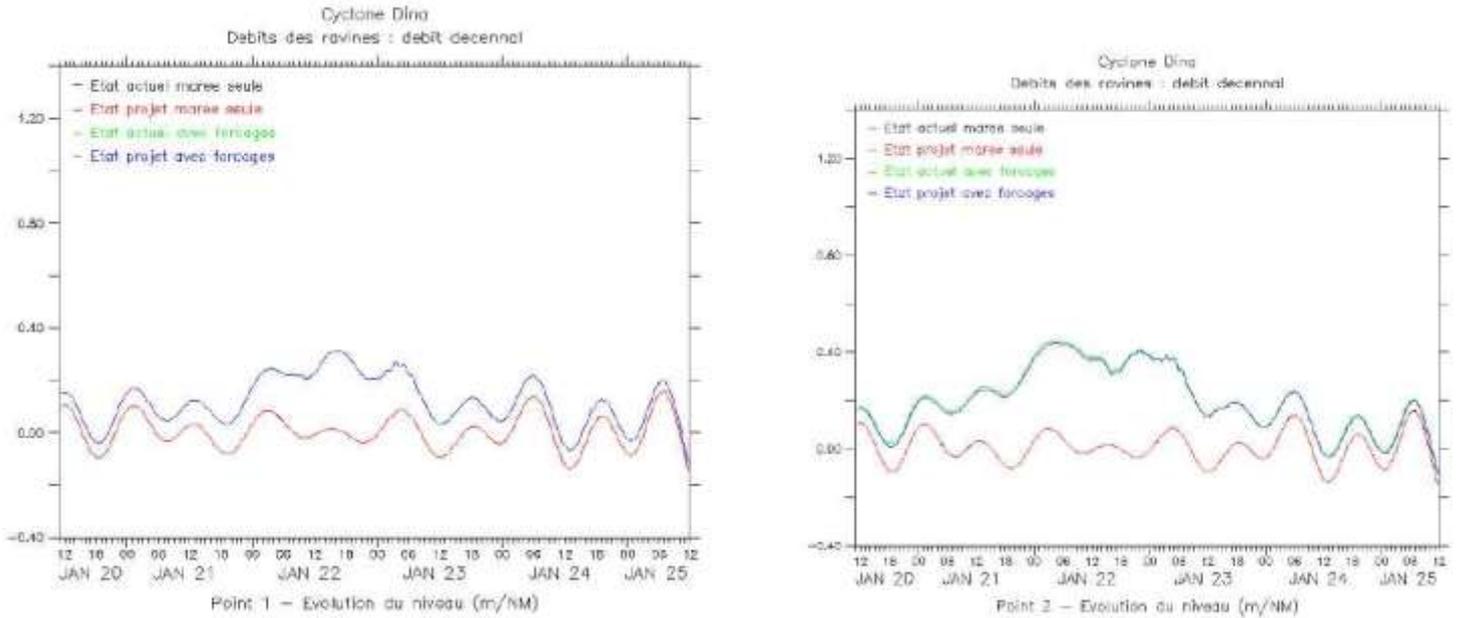


Figure 6.9 : Évolution du niveau d'eau aux points 1 et 2 pour le cyclone Dina et des débits décennaux

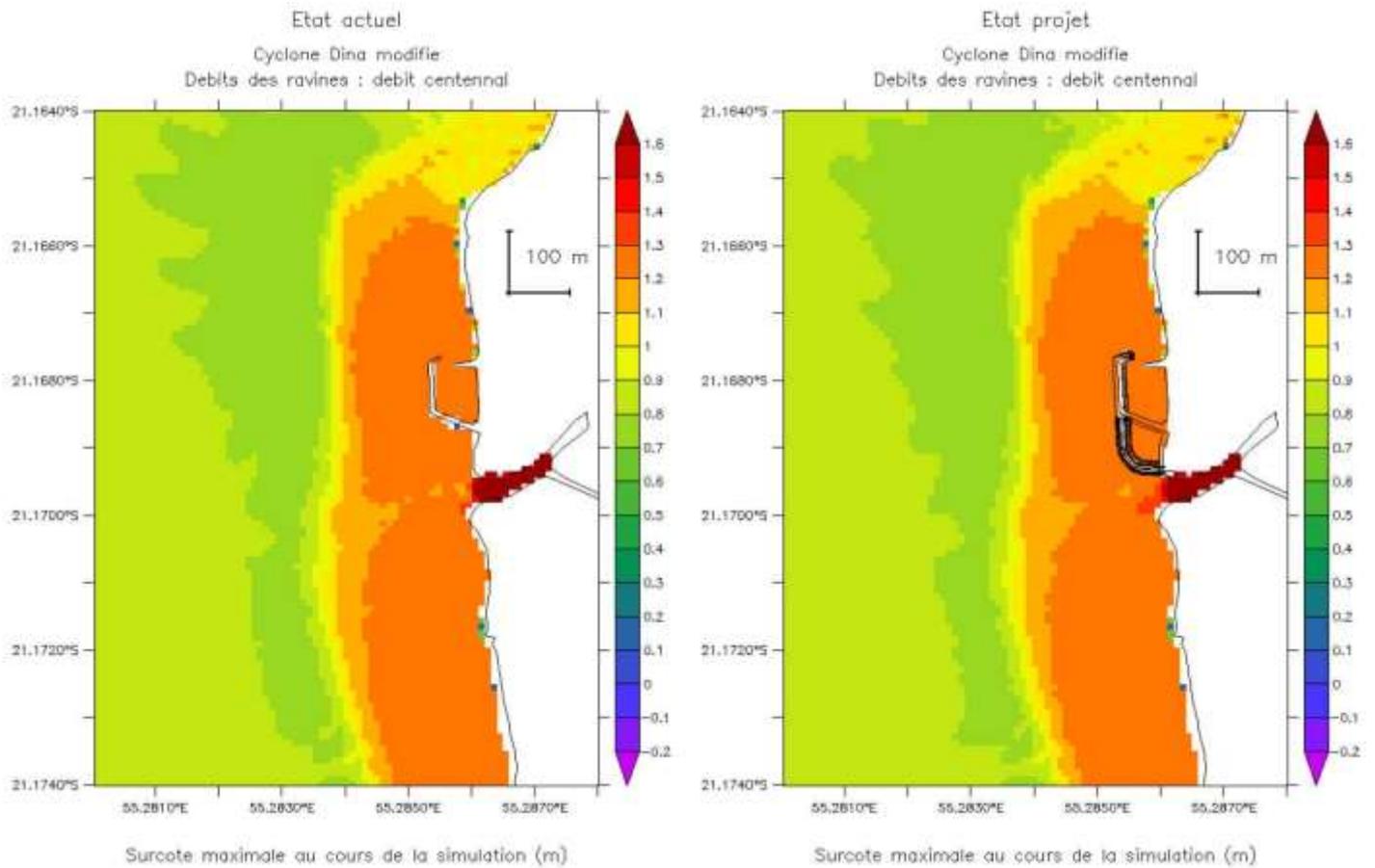
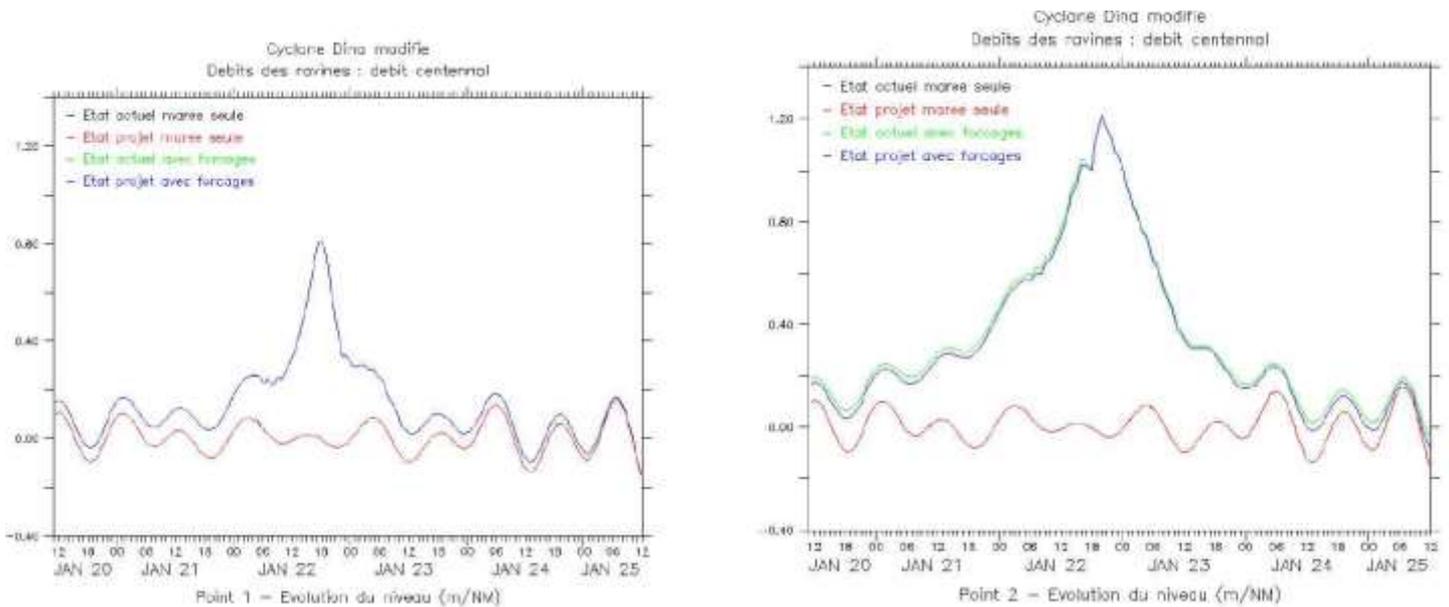


Figure 6.10 : Surcote maximale simulée pour le cyclone Dina modifié et des débits centennaux



**Figure 6.11 : Évolutions du niveau d'eau aux points 1 et 2 pour le cyclone Dina modifié et des débits centennaux**

Les différentes figures présentées (cartes de surcotes maximales et évolutions temporelles) mettent en évidence le peu d'effet du projet sur les surcotes.

Pour quantifier cet effet plus précisément, deux zones sont définies :

- ✓ Zone 1 : dans le lagon devant le port ;

Cette zone est représentative de la surcote simulée dans le lagon ; elle est également très proche du projet envisagé puisqu'elle longe la digue ;

- ✓ Zone 2 : à l'embouchure de la ravine ;

Cette zone correspond à l'endroit où le projet a le plus d'effet sur les surcotes.

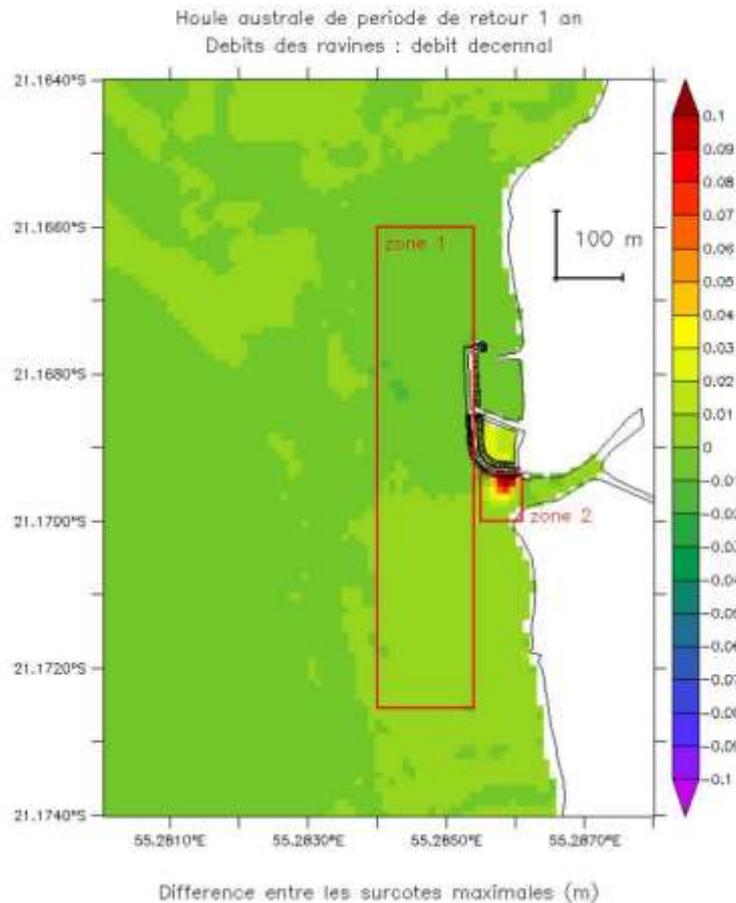


Figure 6.12 : Position des zones 1 et 2 - différence entre les surcotes maximales en état actuel et en état projet (opération effectuée : état projet – état actuel)

Les 2 tableaux suivants indiquent les maxima et moyennes simulés dans les zones 1 et 2 en état actuel et en état projet. Ils indiquent également l'écart en pourcentage provoqué par le projet.

Conditions	Maximum état actuel (m)	Maximum état projet (m)	Ecart (%) <sup>a</sup>	Moyenne état actuel (m) <sup>**</sup>	Moyenne état projet (m) <sup>**</sup>	Ecart (%) <sup>a</sup>
houle australe (1 an) ravines : 10% du débit décennal	0.62	0.62	<(+/-)1%	0.56	0.56	<(+/-)1%
houle australe (10 ans) ravines : 10% du débit décennal	0.76	0.76	<(+/-)1%	0.68	0.68	<(+/-)1%
houle australe (1 an) ravines : débit décennal	0.62	0.63	<(+/-)1%	0.58	0.58	<(+/-)1%
cyclone Connie ravines : débit décennal	0.48	0.47	<(+/-)1%	0.41	0.41	<(+/-)1%
cyclone Dina ravines : débit décennal	0.53	0.53	<(+/-)1%	0.46	0.46	<(+/-)1%
cyclone Dina modifié ravines : débit centennal	1.26	1.27	<(+/-)1%	1.17	1.18	<(+/-)1%

<sup>a</sup> : (valeur en état projet – valeur en état actuel) / valeur en état actuel

<sup>\*\*</sup> : moyenne des surcotes maximales obtenues dans la zone

Tableau 6.1 : Résultats des surcotes en zone 1

On constate que le projet n'a aucun impact notable sur les surcotes dans la zone 1. Tous les écarts sont inférieurs à 1% de la surcote actuelle.

Conditions	Maximum état actuel (m)	Maximum état projet (m)	Ecart (%)*	Moyenne état actuel (m)**	Moyenne état projet (m)**	Ecart (%)*
houle australe (1 an) ravines : 10% du débit décennal	0.59	0.60	<(+/-)1%	0.58	0.59	<(+/-)1%
houle australe (10 ans) ravines : 10% du débit décennal	0.72	0.73	<(+/-)1%	0.71	0.71	1.1%
houle australe (1 an) ravines : débit décennal	0.91	0.92	<(+/-)1%	0.64	0.68	5.3%
cyclone Connie ravines : débit décennal	0.99	0.98	<(+/-)1%	0.46	0.54	17.2%
cyclone Dina ravines : débit décennal	1.00	1.01	<(+/-)1%	0.53	0.58	9.1%
cyclone Dina modifié ravines : débit centennal	1.64	1.57	-4.1%	1.19	1.25	4.8%

\* : (valeur en état projet – valeur en état actuel) / valeur en état actuel

\*\* : moyenne des surcotes maximales obtenues dans la zone

Tableau 6.2 : Résultats des surcotes en zone 2

Dans la zone 2, le projet a peu d'impact sur les maxima des surcotes. Seule une légère diminution est constatée en cas de débit centennal ; mais il faut rappeler que pour cette condition, la pente fluviale est forte en raison du débit de 308 m<sup>3</sup>/s injecté dans la ravine et conditionne le maxima obtenu dans la zone 2.

En revanche, le projet entraîne une augmentation de la moyenne des surcotes dans cette zone lorsque le débit de la ravine est fort (débit décennal ou centennal). Cette augmentation peut atteindre une dizaine de centimètres (8cm dans le cas du cyclone Connie).

Cet effet du projet est dû au prolongement de la digue qui canalise l'écoulement et empêche l'eau de s'évacuer au nord de l'embouchure. Ainsi, le maximum des surcotes atteint n'est pas modifié mais le niveau reste élevé dans une zone plus vaste autour de l'embouchure de la ravine. Cet impact reste donc très localisé et n'intervient qu'en cas de débit exceptionnel (pas d'effet constaté pour un débit égal à 10% du débit décennal).

**Les modèles Seamer et Swan ont été mis en œuvre pour chaque configuration du port sur 6 conditions météo-océaniques différentes faisant intervenir des conditions variées en termes de houles et de cyclones.**

**Les résultats ont mis en évidence que le projet n'a aucun effet notable sur les surcotes dans le lagon de Saint Leu, et ce quelles que soient les conditions simulées (y compris pour une situation extrême d'un cyclone passant sur l'île avec un débit de la ravine d'occurrence centennale).**

L'impact du projet est limité à la zone de l'embouchure de la ravine où le fait que le débouché soit canalisé par l'extension de la digue entraîne une légère augmentation du niveau moyen lorsque le débit de la ravine est extrême (décennal ou centennal). Cette augmentation est de l'ordre de quelques centimètres (8cm pour le cyclone Connie) sur la moyenne des surcotes maximales dans la zone.

Toutefois, le rédacteur précise que les conclusions des simulations mathématiques effectuées dans le cadre de la présente étude doivent être appréhendées avec précaution en raison des caractéristiques de la zone d'étude qui comprend des récifs frangeants de faible emprise et des phénomènes de forçage dans le lagon complexes difficilement modélisables.

## 6.1.2 Effets du projet sur la dynamique hydro-sédimentaire

 Étude hydrosédimentaire, Actimar/SAFEGE – 2012

### 6.1.2.1 Conditions de simulation

Pour étudier l'impact du projet sur la dynamique sédimentaire, deux processus intervenants dans l'ensablement du port seront pris en compte :

- ✓ L'apport des ravines en matériaux fins : le débit solide des ravines est pris en compte en considérant comme hypothèse une concentration de 1 g/l dans la ravine en période de cyclone<sup>2</sup> et 50 mg/l hors période cyclonique<sup>3</sup> ;

Les matériaux pris en compte sont fins (diamètre de quelques dizaines de microns) ;

- ✓ L'apport par transport des sédiments présents sur le fond du lagon (principalement venant du sud étant donné le sens privilégié des courants) : un diamètre médian de 500 microns est considéré pour maximiser le transport dans le lagon (diamètre minimal mesuré dans le lagon : 574 microns).

---

<sup>2</sup> L'apport des ravines est de 250 à 500 m<sup>3</sup>/an/km<sup>2</sup>. En considérant qu'un événement cyclonique amenant un débit de période de retour 10 ans dans les ravines correspond à l'apport annuel moyen en matériaux, on obtient pour la ravine des Grand et Petit Étang une concentration de l'ordre de 1g/l

<sup>3</sup> Niveau de MES mesuré dans la zone d'étude lors de la campagne de CTSI

	Processus étudié	Conditions météo-océanique	Débit des ravines	Diamètre des sédiments considérés (microns)
1	Apport des sédiments présents sur le fond	Marée seule	10% du débit décennal	500
2		Houle australe fréquente 2m 12s 200°	10% du débit décennal	500
3		Houle australe période de retour 1 an	10% du débit décennal	500
4		Cyclone Dina	débit décennal	500
5	Apport des ravines	Marée seule	10% du débit décennal	30
6		Houle australe fréquente 2m 12s 200°	10% du débit décennal	30
7		Houle australe période de retour 1 an	10% du débit décennal	30
8		Cyclone Dina	débit décennal	30

Tableau 6.3 : Scénarios pour l'étude hydro-sédimentaire

### 6.1.2.2 Résultats sur l'apport en matériaux fins des ravines

#### A- Préalable

Les particules de sédiments fins amenées par les ravines sont transportées par les courants, elles tendent à se décanter du fait de leur vitesse de chute et si elles se déposent (formulation de Krone dans le modèle hydro-sédimentaire), elles ne seront ensuite remises en suspension que si les conditions hydrodynamiques sont suffisamment actives (formulation de Parthéniades dans le modèle hydro-sédimentaire).

Afin d'évaluer le comblement du bassin du port dû aux apports en sédiments fins des ravines et l'influence du projet sur ces processus, on utilise les paramètres suivants :

- ✓ Dépôt initial nul : le fond est considéré comme non érodable, seul le dépôt s'effectuant au cours de la simulation est considéré ;
- ✓ Débits solides des ravines constants (concentration : 50mg/l hors condition cyclonique, 1g/l en condition cyclonique). Les concentrations initiales et aux limites au cours de la simulation sont nulles ;
- ✓ Durée de la simulation : 3 jours sont simulés pour les simulations hors condition cyclonique et 5 jours pour le cyclone. La durée des simulations correspond à l'établissement d'une tendance stationnaire pour les scénarios à flux constant, et à la durée de l'événement pour les scénarios à forçage transitoire (passage du cyclone).

Remarque : Les incertitudes sur les débits des ravines tant liquide ( $m^3/s$ ) que solide ( $kg/s$ ) sont très grandes, c'est pourquoi les résultats doivent être considérés en valeur relative, entre état actuel et projet.

## B- Résultats

Les pages suivantes présentent les résultats pour chaque simulation avec les cartes des dépôts obtenues à l'issue des simulations (soit après 3 jours pour les simulations hors cyclone et après 5 jours pour la simulation du cyclone Dina, le passage du maximum d'intensité du cyclone ayant lieu au milieu de la simulation).

Les résultats du modèle sont en mètres, l'échelle est logarithmique pour distinguer l'ensemble des dépôts même les plus faibles. Les résultats sont également synthétisés par l'évolution du bilan volumique sur 3 zones du port définies par :

- ✓ Zone 1 : zone située au nord du port (surface de la zone définie : 3500 m<sup>2</sup>) ;
- ✓ Zone 2 : bassin du port en état actuel (surface de la zone définie : 5600 m<sup>2</sup>) ;
- ✓ Zone 3 : bassin du port en état projet, c'est-à-dire avec l'extension (surface de la zone définie : 10500 m<sup>2</sup>).

En absence de houle (Figure 6.13), les sédiments se déposent immédiatement après l'exutoire de la ravine (au nord de la zone de protection intégrale) c'est-à-dire dès que les courants sont assez faibles pour permettre un dépôt. Dans la ravine, le débit (même à 10% du débit décennal) génère des courants suffisamment forts pour maintenir en suspension les particules. Le dépôt atteint au maximum 5 mm au bout de 3 jours dans les conditions simulées (apport solide des ravines constant).

En présence de houle (Figure 6.14 et Figure 6.15), l'agitation des vagues maintient les particules en suspension et le courant de dérive littorale (lui aussi forcé par les vagues) les transporte vers le nord jusqu'à la zone 1 au nord du port qui est abritée des houles australes et où les courants sont plus faibles. Ainsi, une partie des sédiments amenés par les ravines arrive jusqu'au port, cette quantité reste toutefois très faible même avec un apport solide constant (dépôt maximal au bout de 3 jours : 1.4 mm en houle australe fréquente et 1.8 mm en houle australe annuelle dans les conditions simulées).

On note également de faibles dépôts en haut de plage sur l'ensemble du littoral.

En condition cyclonique, les apports des ravines sont beaucoup plus importants qu'en temps normal. Les sédiments amenés sont transportés au gré des courants et suivant la position du cyclone vers le nord ou vers le sud du lagon. En raison de la houle générée, ils se déposent seulement dans les zones abritées, c'est-à-dire la zone 1 et le bassin du port avec un dépôt maximal de 12 cm dans la zone 1 et 3 cm dans le port après 5 jours de simulations (voir Figure 6.16).

On rappelle que pour les besoins de la modélisation, il a été choisi une concentration de 1g/l et un débit décennal dans la simulation de Dina considérée. Le flux solide est donc 200 fois plus important que pour les simulations hors cyclone et ce flux est considéré constant pendant 5 jours.

L'apport en sédiments et les dépôts qui en découlent sont donc vraisemblablement surestimés.

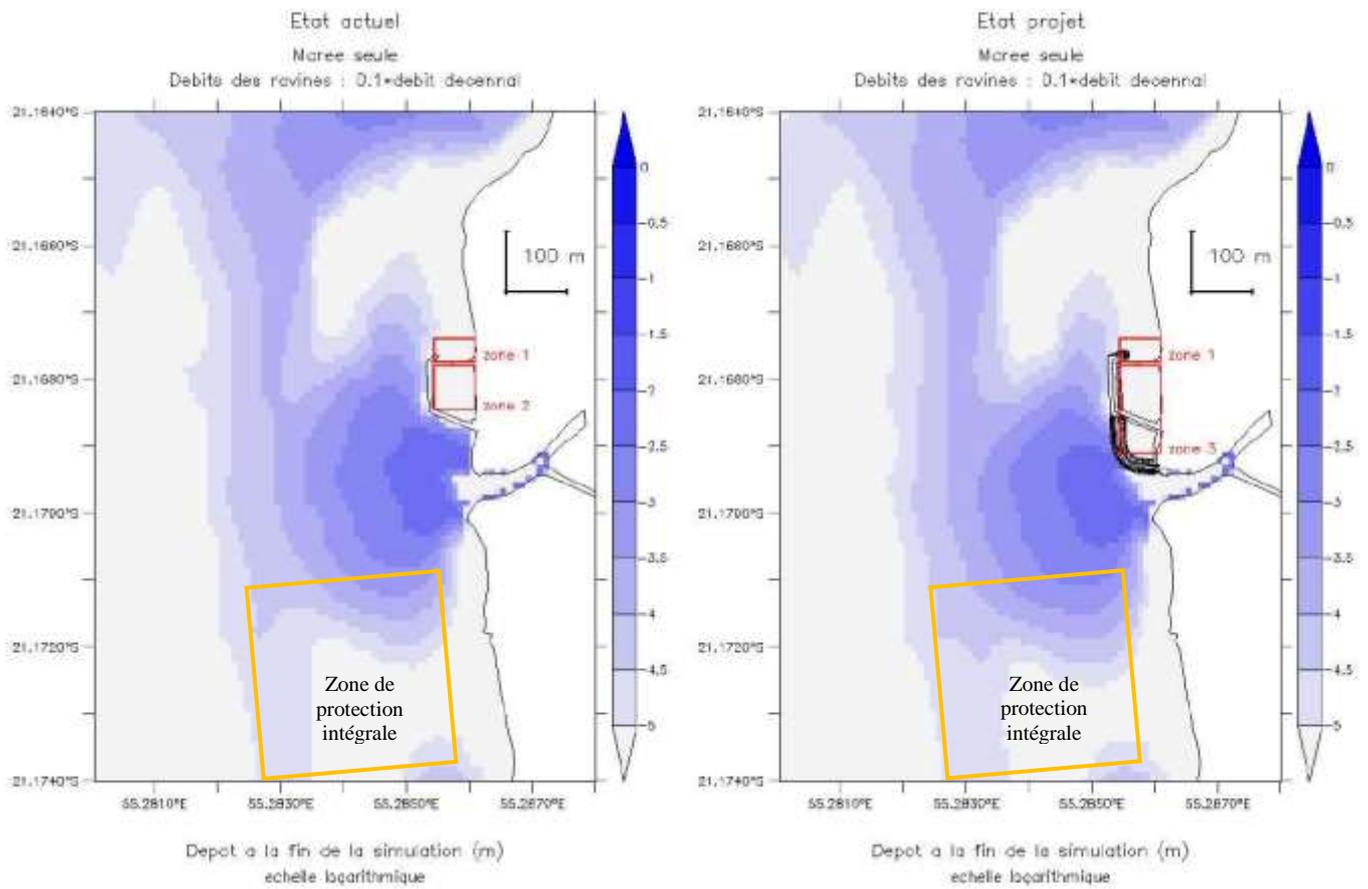
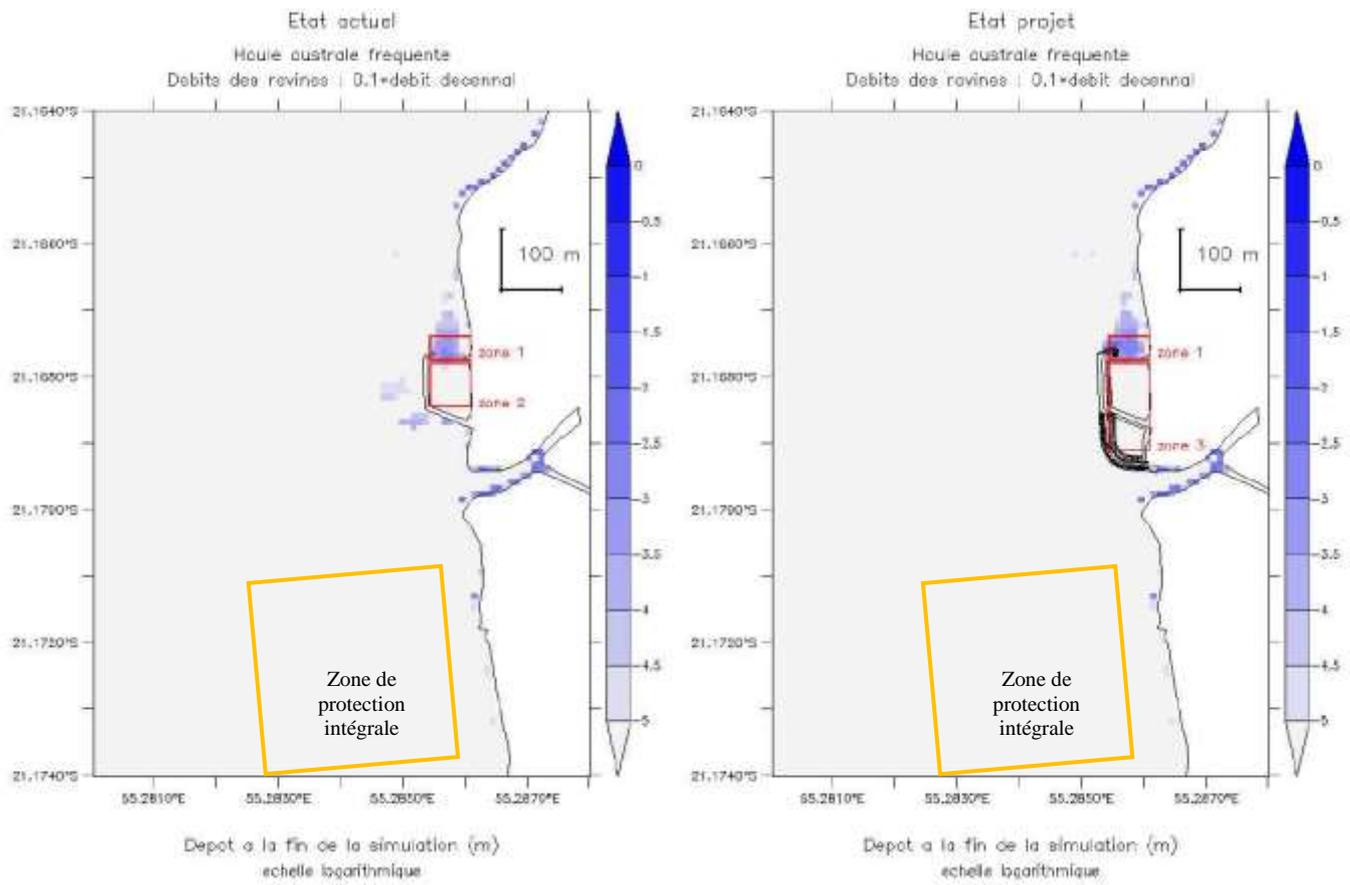


Figure 6.13 : Dépôt après 3 jours de simulation (apport en particules fines par la ravine - concentration de la ravine 50mg/l) – marée seule



**Figure 6.14 : Dépôt après 3 jours de simulation (apport en particules fines par la ravine - concentration de la ravine 50mg/l) – houle fréquente**

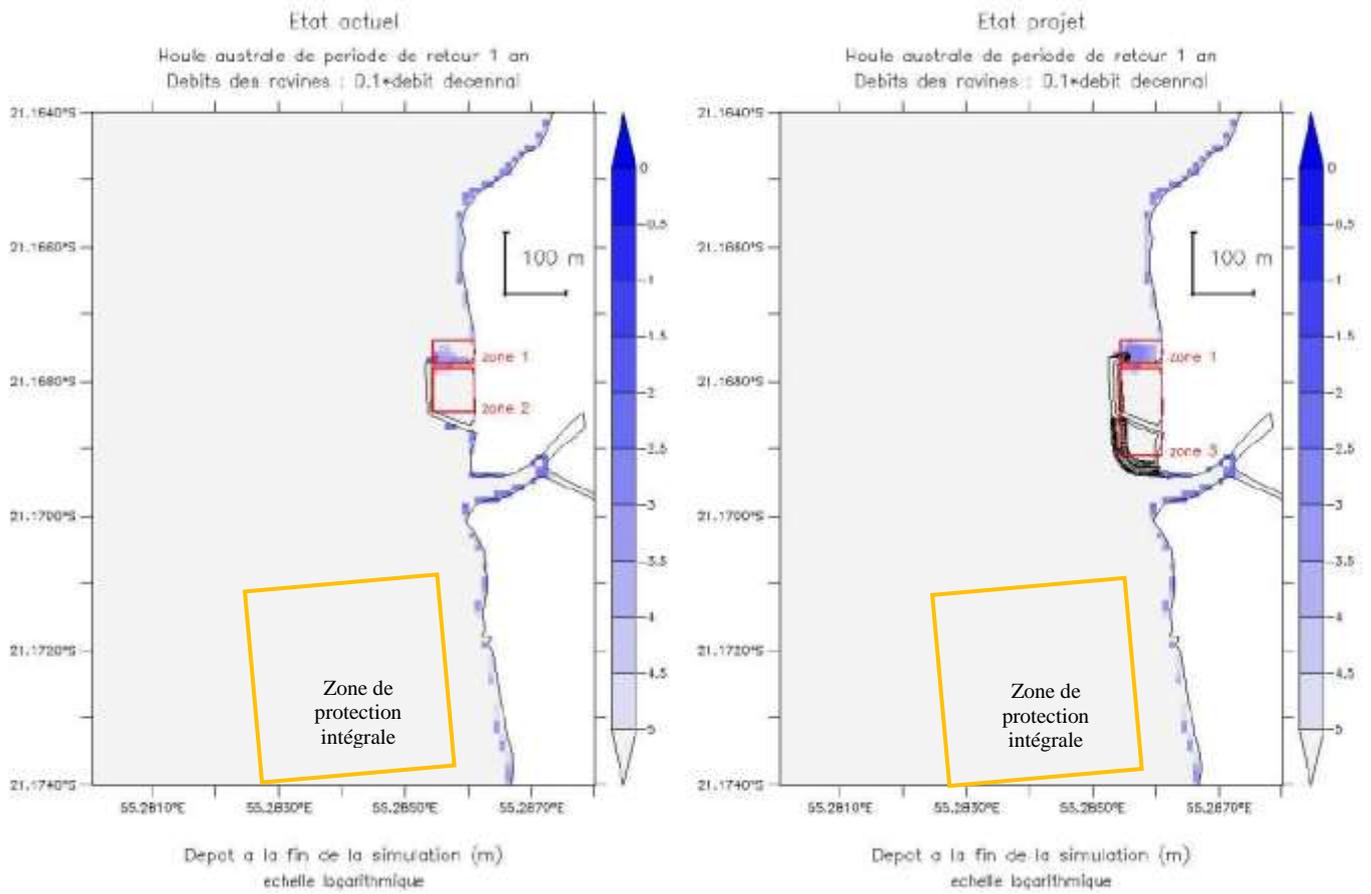
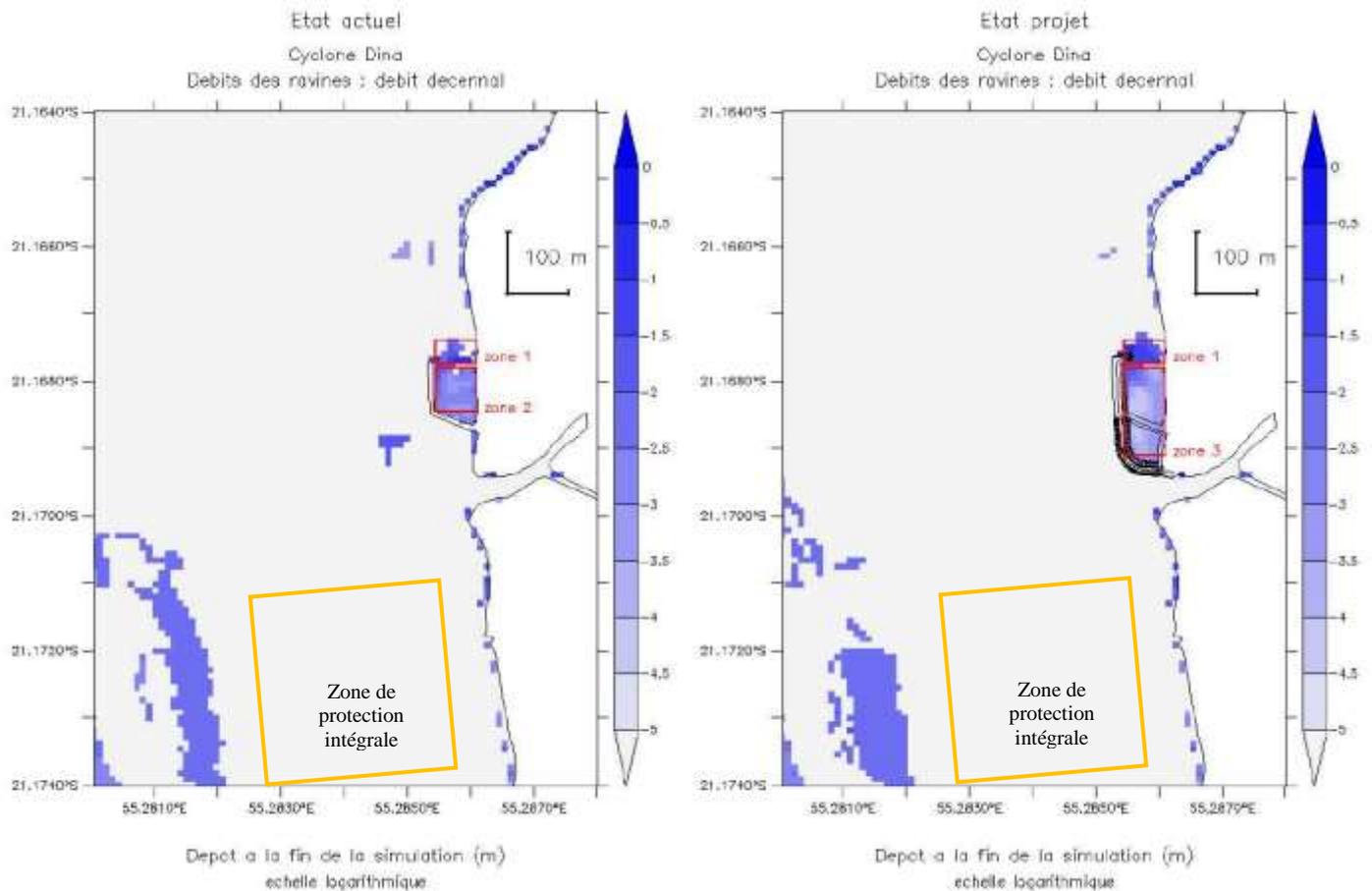


Figure 6.15 : Dépôt après 3 jours de simulation (apport en particules fines par la ravine - concentration de la ravine 50mg/l) – houle annuelle



**Figure 6.16 : Dépôt après 5 jours de simulation (apport en particules fines par la ravine - concentration de la ravine 1 g/l) – cyclone Dina**

Les différentes figures présentées montrent que le projet ne modifie pas les zones de dépôt.

Les zones 1, 2 et 3 permettent d'effectuer des calculs de post-traitement (l'évolution des volumes déposés dans chaque zone est tracée) pour comparer de façon plus synthétique les résultats du modèle en situation actuelle et aménagée.

Remarque : les simulations en marée seule ne sont pas tracées car la Figure 6.13 montre que le projet n'a aucun effet sur le comblement dans le port puisqu'il n'y a pas de dépôt dans le bassin.

En condition de houle australe (Figure 6.17), le projet abrite davantage la zone 1 en raison de l'allongement du musoir (réduction de la passe d'entrée) ; cet aménagement tend à augmenter le volume déposé dans la zone 1 (multiplication par un facteur de 2,5 à 2,8).

Dans le port, le dépôt en état projet est plus important qu'en état actuel pour une houle annuelle mais il est plus faible pour une houle fréquente (remarque : le volume déposé dans la zone 3 en état projet n'a pas été tracé car il se superpose au volume déposé

dans la zone 2 ; autrement dit, il n'y a pas de dépôt au fond du port). Il faut noter que les volumes déposés sont deux ordres de grandeurs plus faibles que dans la zone 1 pour une surface couverte plus importante.

Étant donné les flux solides considérés qui sont probablement surestimés (débit constant à 10% du débit décennal, concentration à 50 mg/l), on peut conclure que les apports des ravines ont un effet négligeable sur le comblement du port en condition de houle australe et cela en état actuel comme en état projet.

En conditions cycloniques (Figure 6.18), on retrouve l'effet d'abri de la zone 1 en état projet qui tend à augmenter le volume déposé (multiplication par un facteur de 2 en état projet).

Dans le port, le passage du cyclone (nuit du 22 au 23 janvier 2002) est marqué par une augmentation des dépôts qui tendent ensuite à se stabiliser une fois le cyclone passé. Le projet ne modifie pas cette évolution mais tend à diminuer les dépôts dans le bassin, même en considérant l'ensemble du bassin en état projet (zone 3).

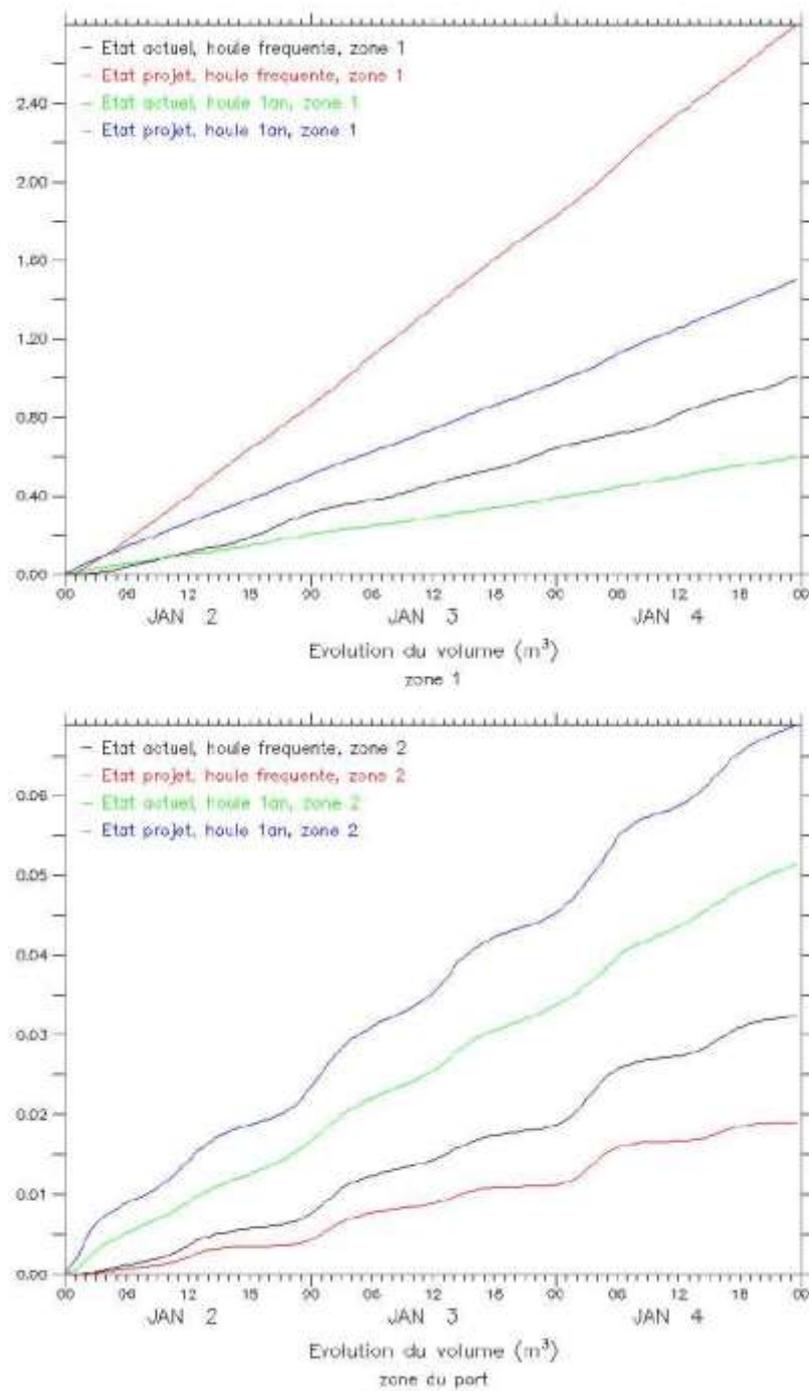


Figure 6.17 : Evolution des volumes dans les zones 1, 2 et 3 pour les conditions hors cyclone

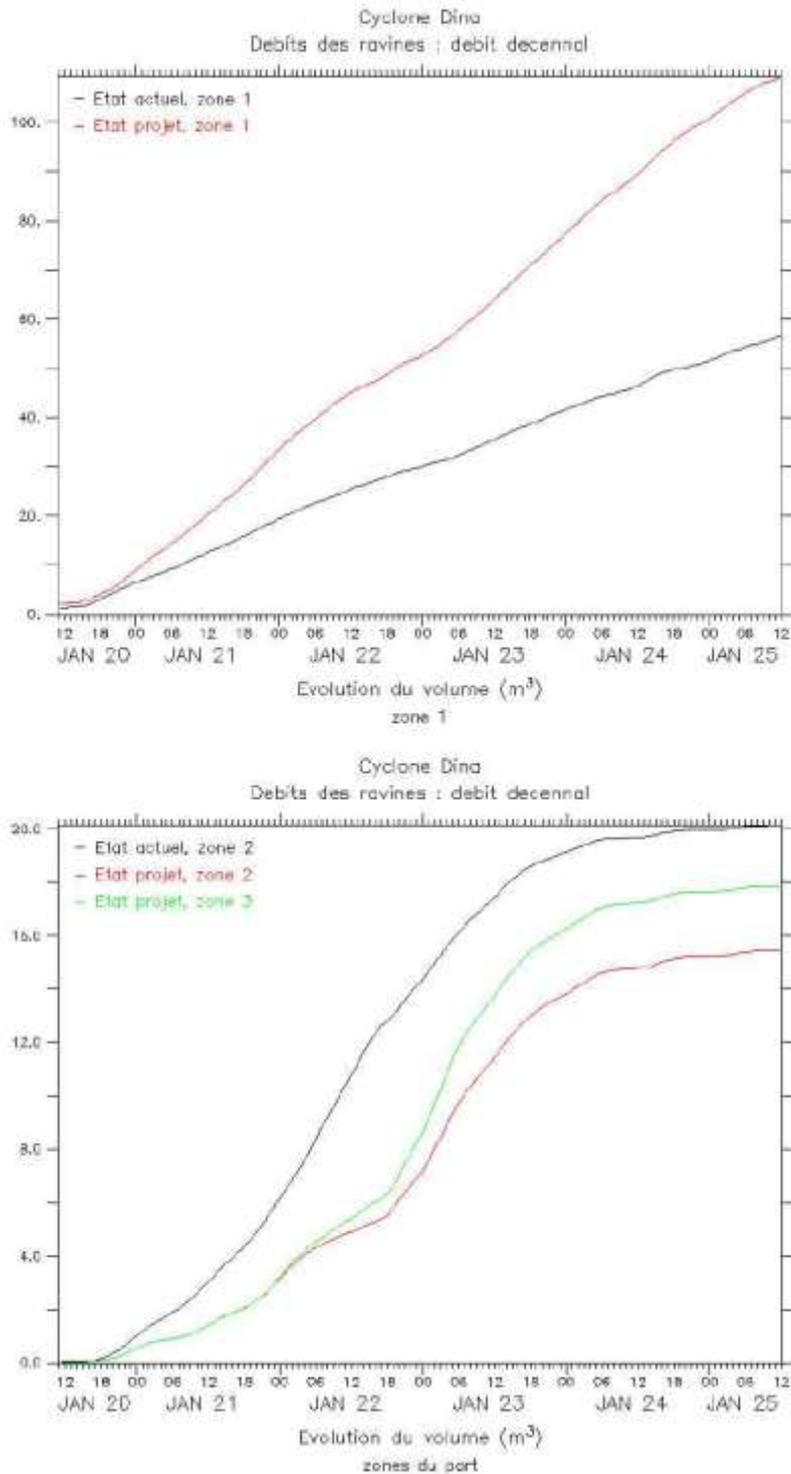


Figure 6.18 : Evolution des volumes dans les zones 1, 2 et 3 pour le cyclone Dina

Les modèles Seamer et Swan ont été mis en œuvre pour chaque configuration du port sur 4 conditions météo-océaniques faisant intervenir des conditions variées en termes de forçages (débits, marée, houle, cyclone). L'apport solide en particules fines est considéré par des flux solides introduits dans les ravines.

Les résultats ont mis en évidence que le projet augmente d'un facteur 2 à 2.8 l'envasement de la zone située au nord de la digue d'entrée du port en conditions de houle australe ou de cyclone. Cette zone se situe à plus de 150 mètres du platier de la corne du récif et à environ 400 mètres de la pente externe qui constituent les zones à forte sensibilité écologiques situées à proximité du projet. Ces distances doivent permettre de limiter les interactions négatives avec les récifs coralliens.

L'envasement du bassin du port est très faible en état actuel, il reste faible en état projet et diminue même en conditions cycloniques.

Dans le reste du lagon, les effets du projet apparaissent très limités.

On relève en situation de marée seule un très léger déplacement vers le sud du cône de dépôt du débouché de la ravine qui n'apparaît pas significatif.

Le projet n'induit donc pas de modification des dépôts des particules fines apportées par la ravine dans le lagon et en particulier dans la zone de protection intégrale de la RNMR.

Toutefois, le rédacteur précise que les conclusions des simulations mathématiques effectuées dans le cadre de la présente étude doivent être appréhendées avec précaution en raison des caractéristiques de la zone d'étude qui comprend des récifs frangeants de faible emprise et des phénomènes de forçage dans le lagon complexes difficilement modélisables.

### 6.1.3 Effets du projet sur le transport de sable

 Étude hydro-sédimentaire, Actimar/SAFEGE – 2012

#### 6.1.3.1 Préalable

Le modèle Seamer prend en compte les principaux processus de dynamique sédimentaire liés à l'action des courants et des vagues.

Le transport de sable est calculé en chaque point du maillage du domaine par une formule de transport (ici Soulsby Van Rijn) appliquée à des sédiments de caractéristiques déterminées (granulométrie, vitesse de chute, tension critique d'érosion, seuil critique de mise en mouvement).

De plus les simulations ont été configurées en considérant que la répartition granulométrique des sables est constante et que la disponibilité en sable est infinie sur l'ensemble du domaine. Les résultats du modèle correspondent donc au transport potentiel. Le transport réel sera égal à cette valeur si le sédiment considéré est effectivement présent. Il pourra être plus faible s'il n'existe pas de sédiment sur le fond en quantité suffisante. Cette approche en termes de transport potentiel est adaptée lorsque l'on ne dispose pas d'une cartographie précise de la présence/épaisseur de sable sur l'ensemble du domaine.

On rappelle également que la visualisation du transport sableux moyen est vectorielle, caractérisée par une norme et une direction. De manière schématique, les zones de convergence des vecteurs transports et/ou de gradient décroissant de ces mêmes vecteurs sont des zones de dépôt tandis que les tendances à l'érosion sont effectives dans les zones de divergence ou de gradient croissant.

Les transports sableux dépendent des conditions courantologiques et d'agitation observées sur la zone. Étant donné la variabilité des conditions climatiques et les incertitudes liées notamment au débit des ravines, on ne tentera pas ici de reproduire une évolution du site à long terme. Le modèle est utilisé afin de décrire les principales caractéristiques des modifications dues au projet affectant les processus de transport sableux.

Unité utilisée : l'unité  $m^2/s$  est une unité usuelle de transport de sable ; elle correspond plus précisément à  $m^3/s/m$  ce qui permet de l'appréhender comme le flux (en volume) traversant une section de 1 mètre de large (dans la direction perpendiculaire au flux).

L'autre unité également utilisée pour décrire le transport de sable est le flux de masse en  $kg/s/m$  ; pour l'obtenir il suffit de multiplier le flux volumique par la masse volumique du sédiment sec (en  $kg/m^3$ ).

### 6.1.3.2 Résultats

Les pages suivantes présentent les résultats obtenus pour chaque simulation avec les cartes des transports potentiels moyens obtenus à l'issue des simulations (soit après 3 jours pour les simulations hors cyclone et après 5 jours pour la simulation du cyclone Dina, le passage du maximum d'intensité du cyclone ayant lieu au milieu de la simulation).

En absence de houle (Figure 6.19), seul le sable présent dans la ravine est transporté vers l'embouchure où il se dépose. Ailleurs, il n'y a pas de mouvement de sable, l'action de la marée est donc nulle sur les sables. Le projet augmente légèrement le transport à l'embouchure, la zone de dépôt est donc légèrement décalée vers l'ouest. Cet effet rejoint l'impact observé sur les surcotes. Il n'y a pas d'autre effet dans le lagon.

Il est à noter que plus le débit de la ravine est faible plus les courants dans la ravine sont faibles.

Comme la quantité de sable transportée est fonction puissance 3 à 5 du courant, le transport peut être très faible voire nul lorsque le débit est faible.

En présence de houle (Figure 6.20 et Figure 6.21), ce facteur devient prépondérant du transport de sable. La dérive littorale générée par la houle sur la limite du platier récifal provoque alors un transport très important orienté du sud vers le nord.

Comme il n'y a pas de sable sur la barrière du platier, le caractère « potentiel » du transport calculé doit être gardé en mémoire. Dans le lagon, la houle génère également un transport orienté du sud vers le nord jusqu'au niveau du port puis une zone de

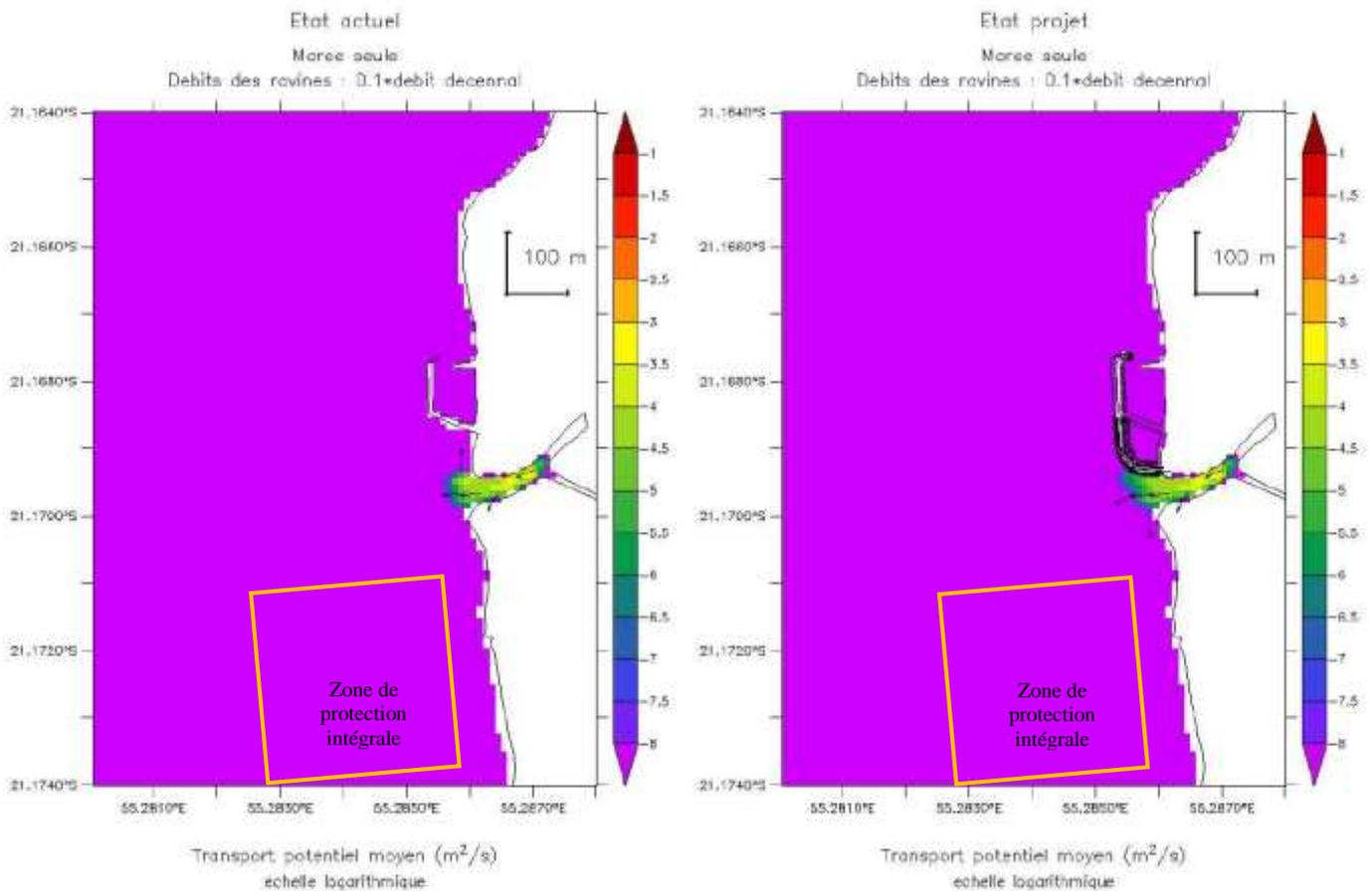
recirculation au nord du port. Ce schéma de circulation des sables n'est pas modifié par le projet.

Le bassin portuaire est situé dans une zone abritée, le transport de sable y est donc nul. Par ailleurs, au niveau de l'entrée du port, le transport est également nul en houle fréquente et faible en houle annuelle. L'ensablement du port est donc très faible. Le projet abrite davantage la zone d'entrée du port, ce qui conduit à une réduction des apports dans le bassin portuaire.

D'après ces résultats, le projet ne modifie donc pas la capacité de l'environnement à ensabler le port en conditions normales.

En condition cyclonique (Figure 6.22), le processus dominant est le débit de la ravine (débit décennal dans la simulation) qui génère un transport très élevé dans la ravine et une zone de fort gradient décroissant du transport à l'embouchure. Ce gradient provoque une zone de dépôt des sables à l'embouchure. Le projet ne modifie pas cette dynamique.

Le port et l'entrée du port restent dans une zone de transport nul, l'ensablement du bassin est donc négligeable ce qui n'est pas modifié par le projet.



**Figure 6.19 : Transport potentiel moyen sur 3 jours de simulation (fond homogène : sable 500 microns) – marée seule**



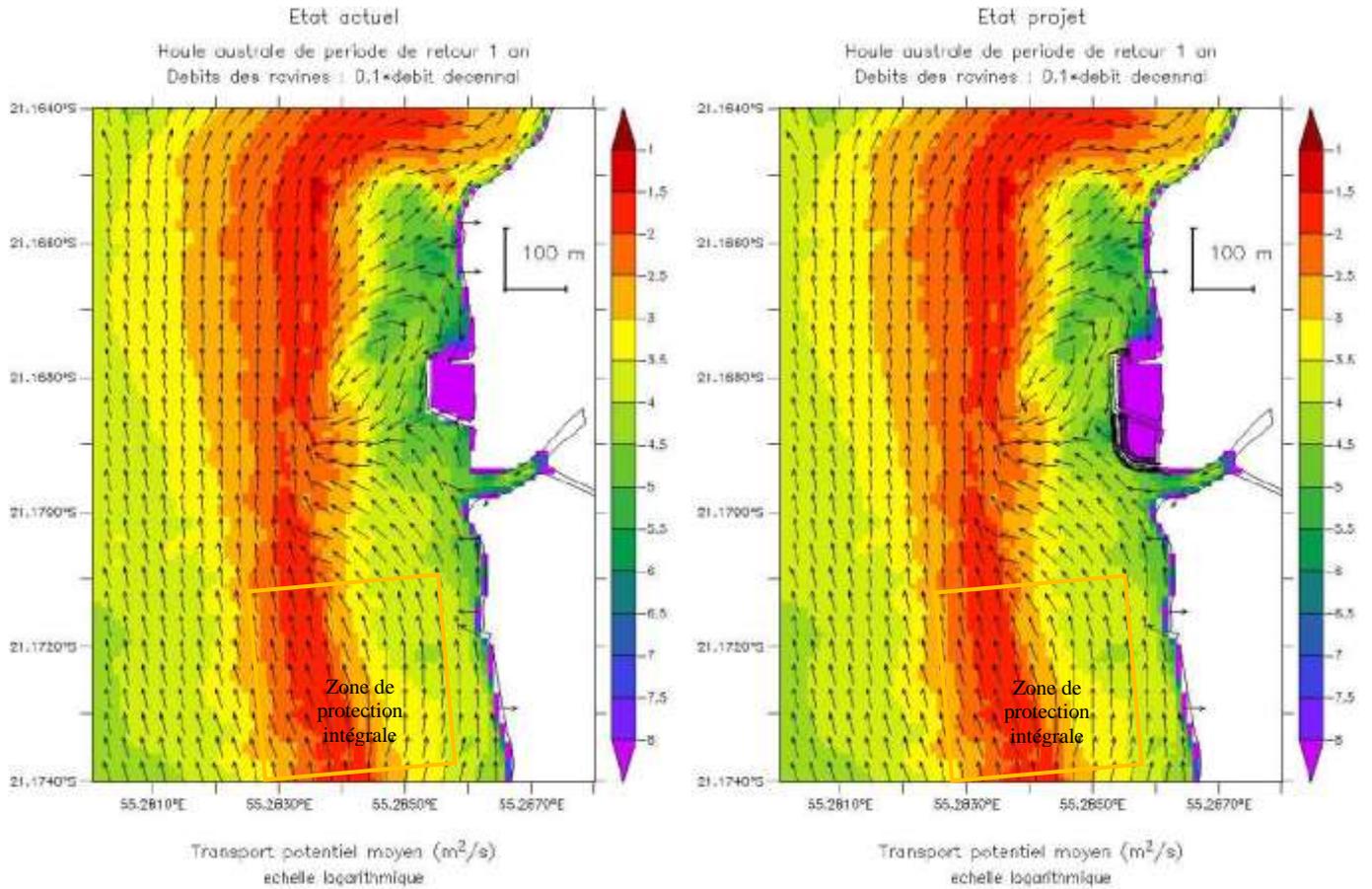
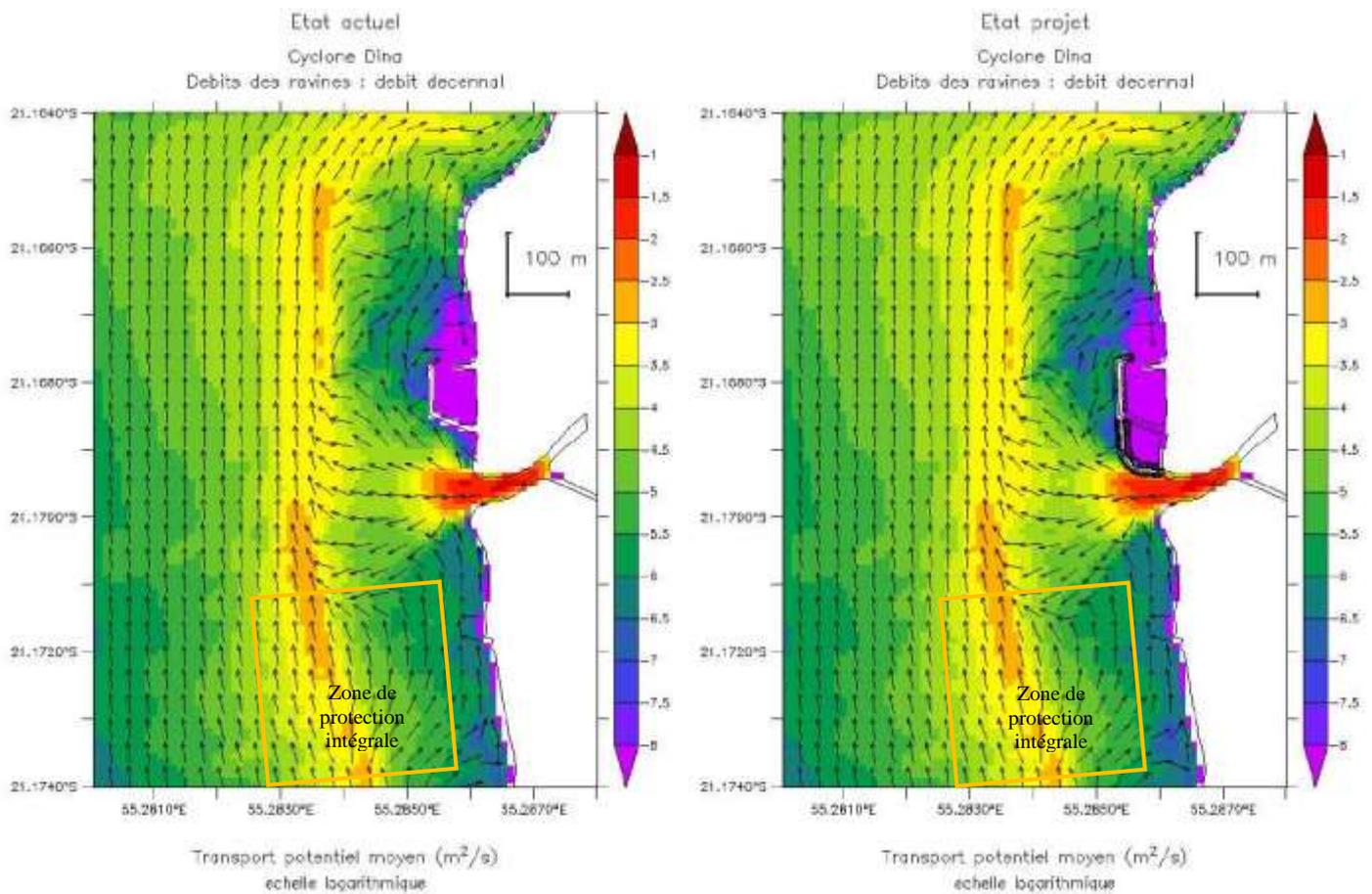


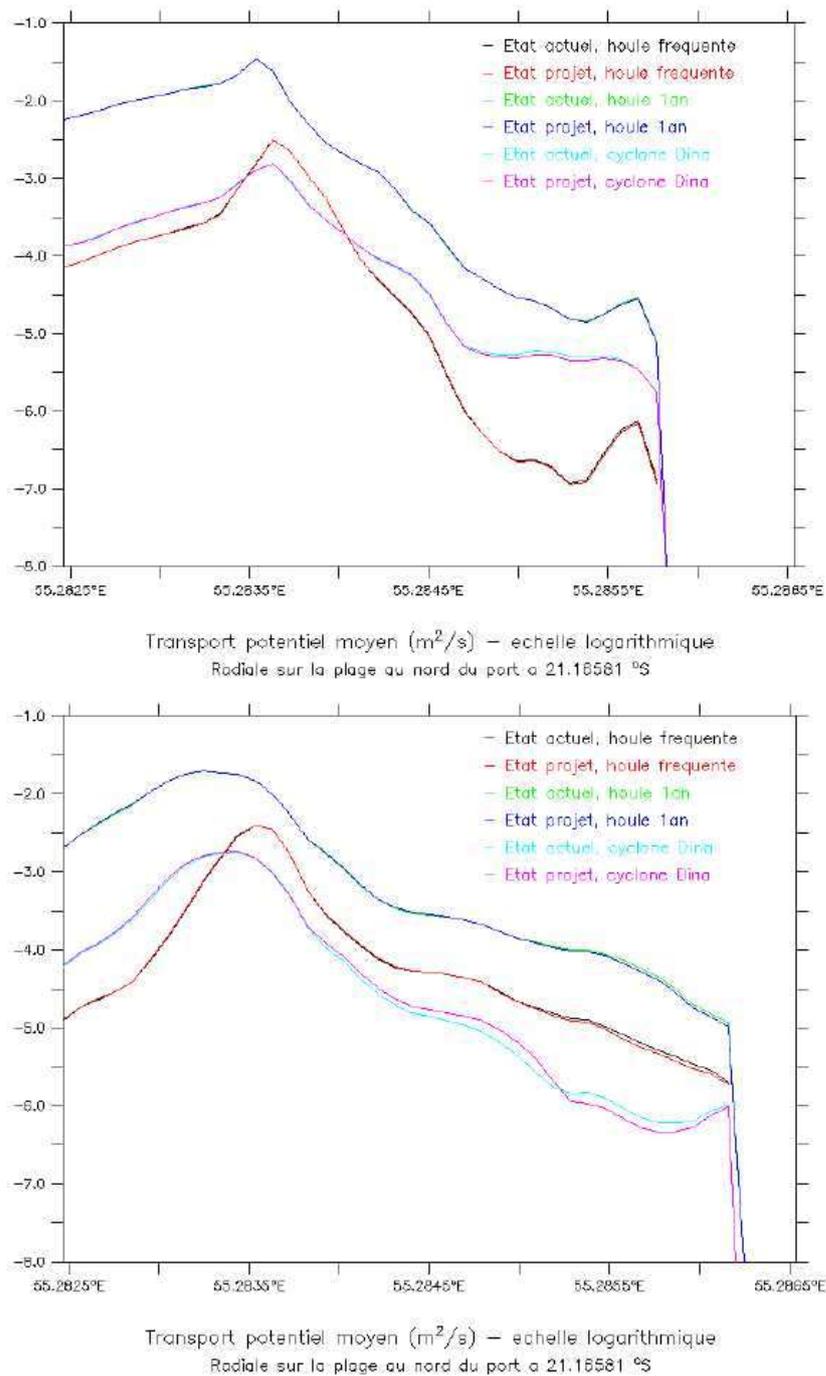
Figure 6.21 : Transport potentiel moyen sur 3 jours de simulation (fond homogène : sable 500 microns) – houle annuelle



**Figure 6.22 : Transport potentiel moyen sur 5 jours de simulation (fond homogène : sable 500 microns) – cyclone Dina**

Pour évaluer les modifications du transport au niveau des plages situées à proximité du projet, le transport potentiel moyen est tracé sur deux radiales: une au nord du port et une au sud (voir Figure 6.23).

La Figure 6.24 montre que le transport « longshore » (parallèle à la côte) sur les plages n'est pas modifié par le projet qui n'a donc pas d'incidence sur le risque d'érosion des plages dû à ce processus.



**Figure 6.23 : Transport potentiel moyen le long des deux radiales (fond homogène : sable 500 microns)**

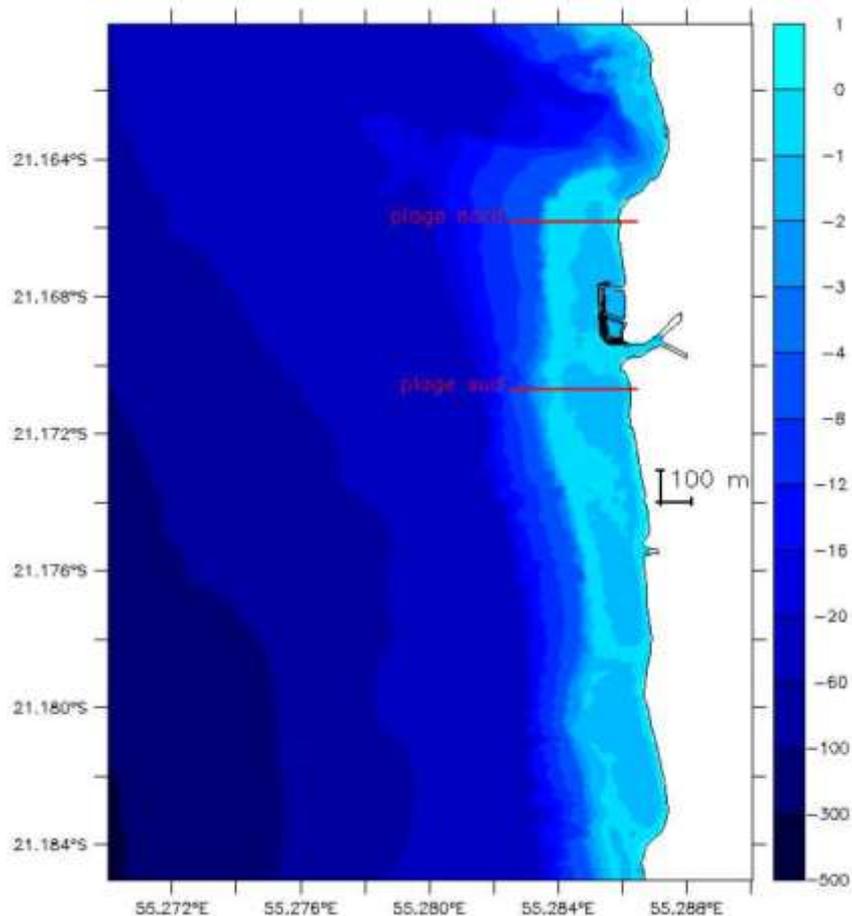


Figure 6.24 : Position des deux radiales (couleur : bathymétrie m/NM)

Les modèles Seamer et Swan ont été mis en œuvre pour chaque configuration du port sur 4 conditions météo-océaniques en considérant des sables de 500 microns sur le fond.

Les résultats ont mis en évidence que le projet d'aménagement du port augmente légèrement le transport au niveau de l'embouchure de la ravine mais ne modifie pas les schémas actuels de circulation des sables.

Grace à sa position excentrée de l'axe de dérive littorale situé sur la limite du platier récifal, le projet n'a aucun effet significatif dans le reste du lagon et sur l'ensablement du bassin.

Toutefois, le rédacteur précise que les conclusions des simulations mathématiques effectuées dans le cadre de la présente étude doivent être appréhendées avec précaution en raison des caractéristiques de la zone d'étude qui comprend des récifs frangeants de faible emprise et des phénomènes de forçage dans le lagon complexes difficilement modélisables.

## 6.1.4 Effets du projet sur la barrière corallienne

En préalable, il est rappelé (cf. fig. 6.3) que la surcote du plan d'eau n'est pas significativement modifiée au voisinage de la barrière corallienne par le projet d'aménagement, y compris lors des événements de crue intense de la ravine (cf. fig. 6.7).

Par ailleurs, il est également que la situation actuelle prise en compte correspond au bassin portuaire existant, et non à la situation qui prévalait avant sa construction.

Nous pouvons exclure l'apparition (suite au projet d'extension) d'un effet inertiel (caractère de jet) suffisamment fort pour se maintenir jusqu'à la barrière corallienne, car ce phénomène aurait été mis en évidence dans l'analyse des surcotes (qui intègre le dénivelé dû à l'écoulement de la crue dans le lagon), en particulier dans la distribution spatiale de cette surcote.

Ceci étant posé, une estimation de l'accroissement des courants au droit de la ravine peut être obtenue par un calcul de continuité :

$$U_{barrière} = \frac{Q_{ravine}}{\pi R H}$$

où Q est le débit décennal (150 m<sup>3</sup>/s), H la profondeur typique dans le lagon (1.5 m) et R la distance exutoire-barrière :

- ✓ 200 m environ en état actuel ;
- ✓ 150 mètres en état projeté.

Cette approche est maximaliste car la digue supplémentaire liée à l'extension du bassin portuaire ne concerne que la rive droite de la ravine et non la rive gauche ; l'endiguement de la ravine n'est donc que partiel.

L'ordre de grandeur  $U_{barrière}$  ainsi calculé s'établit à 16 cm/s en état actuel et 21 cm/s en état aménagé pour une crue décennale.

**L'effet du projet sur la barrière corallienne et notamment l'éventuelle création d'une nouvelle passe apparaît peu probable au vu de la faible élévation de la vitesse des courants au débouché de la ravine lors des événements de crue intense.**

### **6.1.5 Effets du projet sur le gabarit hydraulique de la ravine Grand Étang**

La digue de protection de l'extension du port a été positionnée de manière à ce que le pied de la digue n'intercepte pas le lit de la ravine, y compris pour ce qui concerne le pied de talus, et donc ne diminue pas la capacité hydraulique de la ravine.

### **6.1.6 Effets du projet sur la qualité de l'eau**

Le projet est situé au débouché des ravines du Grand et Petit Etang et à ce titre n'aura pas d'incidence sur la qualité des eaux des ravines.

Concernant les eaux marines, les risques de pollution concernent d'une part la mise en suspension de matériaux fins pendant les travaux maritimes (dragage et déroctage, amenée et repli de blocs d'encrochements, battage de pieux...) et d'autre part des fuites éventuelles sur les engins de chantier mécaniques.

Afin de limiter les effets de ces pollutions, des procédures spécifiques d'intervention seront contractualisées avec les entreprises en charge des travaux :

- ✓ Utilisation d'engins en bon état d'entretien ;
- ✓ Stockage des matériaux et matériels et stationnement des engins sur des aires spécifiques permettant la récupération des égouttures, recours à des aires étanches pour le stockage des matières dangereuses ;
- ✓ Utilisation de rideaux filtrants couvrant toute la colonne d'eau pour le confinement des matières en suspension ;
- ✓ Mise en œuvre d'un protocole de mesure en continu de la turbidité à l'extérieur de la zone confinée associé à des mesures d'alerte en temps réel.

Les aménagements concernés ne comprennent pas de travaux de terrassements par déblais au-delà des horizons de surface, ni de fondations profondes susceptibles d'atteindre le plafond des nappes stratégiques et à ce titre n'ont pas d'influence sur la qualité des eaux souterraines.

En phase d'exploitation, les eaux souillées issues de l'aire de carénage ou des aires de circulation / stationnement de véhicules seront traitées par des dispositifs adaptés avant transfert vers les réseaux urbains d'assainissement sanitaire ou pluvial.

**Des procédures strictes d'intervention en phase chantier seront mises en œuvre afin de confiner les panaches de pollution issus de la mise en suspension des fines aux zones de chantier.  
En phase d'exploitation, la qualité des eaux sera améliorée par rapport à la situation actuelle par la mise en œuvre de dispositifs de traitement adaptés.**

## 6.2 Effets du projet sur le milieu naturel

### 6.2.1 Effets du projet sur l'avifaune

Les différentes études réalisées par la SEOR (Société d'Études Ornithologiques de La Réunion) montrent une corrélation entre les échouages d'oiseaux endémiques et les éclairages artificiels.

Cet enjeu est d'autant plus significatif dans les traversées de ravines qui constituent des couloirs d'envol pour les jeunes pétrels.

La période la plus sensible pour ce phénomène s'étend du 1<sup>er</sup> avril au 15 mai (à la fin de la période d'élevage) avec un pic d'abondance des vols à l'occasion de la nouvelle lune.

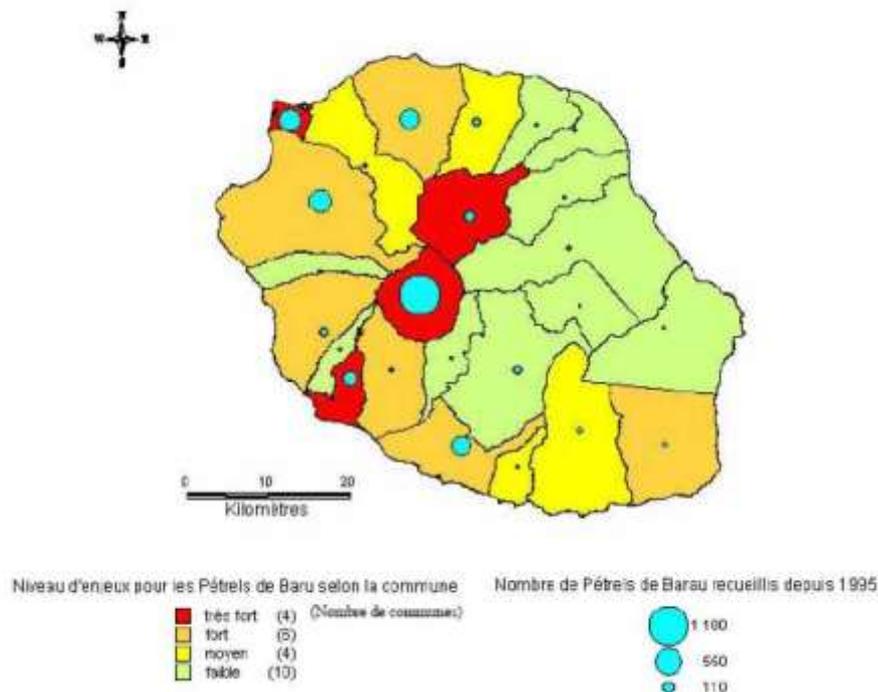
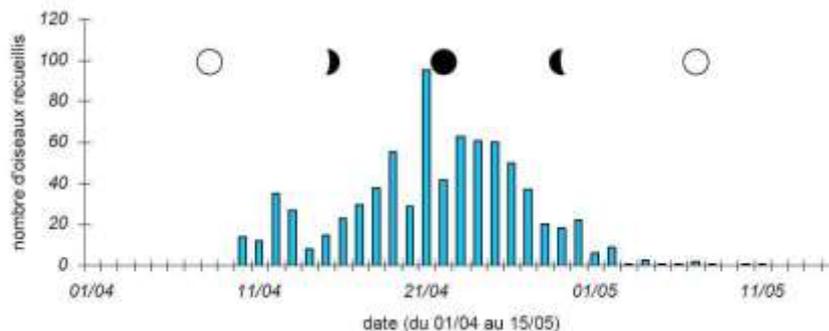


Figure 6.25 : Niveau d'enjeu écologique pour les Pétrels de Barau (Sources : DESS Sciences et Gestion de l'Environnement Tropical - Mlle Nelly MINATCHY – juin 2004)



**Figure 6.26 : Nombre de Pétrel de Barau recueillis en 2001 en fonction des phases de la lune**

Le problème des échouages des jeunes pétrels et puffins induits par les éclairages artificiels a déjà été signalé par Imber dès 1975 et cité dans plusieurs autres études (Simons, 1985 ; Telfer, 1987 ; Barré, 1988 ; Bourne, 1967 ; Telfer et al., 1987).

L'urbanisation croissante des côtes et mi-pentes de La Réunion constitue autant de «pièges écologiques» qui mettent en péril le devenir de ces espèces.

Les lumières artificielles sont extrêmement attractives pour les jeunes pétrels et puffins qui s'échouent dans les villes. La grandeur de leurs ailes ne leur permet pas de reprendre leur envol et les condamne alors à une mort certaine (inanition, collision avec des véhicules, chiens et chats, stress thermique). Ces échouages constituent donc une cause de mortalité importante pour ces oiseaux.

Ainsi, Le Corre et al. (2002) estime le taux d'échouage des jeunes pétrels de Barau entre 20% et 40 % des jeunes à l'envol.

Actuellement deux hypothèses sont avancées pour expliquer ce phénomène :

- ✓ Les jeunes assimilent les éclairages artificiels aux reflets des étoiles sur la mer ;  
Inexpérimentés, ces derniers descendent vers les éclairages publics, se croyant au-dessus de l'océan (Reed et al., 1985) ;
- ✓ Les Procellariidae se nourrissent de calmars bio-luminescents (présence d'organes dorsaux émettant une lumière naturelle) et associeraient la lumière à une source de nourriture (Imber, 1975).

**Dans le cadre du projet, le réseau d'éclairage mis en place devra respecter les recommandations de la SEOR pour limiter l'impact sur l'avifaune. Il en sera de même de l'éclairage existant aux abords du site qui sera modernisé.**

## **6.2.2 Effets du projet sur le peuplement corallien**

L'analyse de l'état initial de l'environnement a démontré que l'emprise de l'extension du bassin portuaire est une zone de sensibilité écologique nulle pour les peuplements coralliens, mais que des zones d'intérêt écologique de premier plan étaient situées aux abords de la zone de travaux (platier, pentes externes), que ce soit au Nord ou au Sud du site.

Les effets potentiels du projet sur ces zones sont liés à la dispersion de panaches turbides.

Les panaches turbides constituent en effet les facteurs de dégradation les plus importants, essentiellement en raison des risques d'asphyxie des polypes par les fines (soupe de coraux) et des risques de sédimentation en zone corallienne.

Les effets néfastes des particules les plus fines sur les peuplements coralliens sont connus (Faure et al 1984 ; Faure 1989), principalement sur les espèces dont les calices ont une taille millimétrique : Acroporidae, Poritidae, Pocilloporidae ( qui représentent plus de 50% des espèces présentes). Ces particules sont capables de rester en suspension plusieurs mois, avant de sédimenter très loin de leur lieu de mise en suspension.

**La migration de panaches turbides générés par les travaux d'aménagement en direction des zones coralliennes d'intérêt situées au nord et au sud du projet est susceptible de générer des taux de mortalité significatifs par recouvrement et asphyxie.**

**Les mesures proposées en termes de confinement des matières en suspension pendant le chantier maritime associées à la surveillance en continu des niveaux de turbidité de l'eau aux abords du chantier sont adaptées pour éviter de tels incidents.**

## 6.2.3 Effets du projet sur la faune marine

 Expertise de l'impact du projet sur les cétacés (GLOBICE) et les tortues marines (KELONIA) – 2012

### 6.2.3.1 Effets du projet sur les cétacés

#### A- Effets en phase chantier

Le projet d'extension du port de St Leu comprend différents travaux maritimes susceptibles d'entraîner un dérangement des mammifères marins.

Sont présentés en premier lieu ci-dessous, de manière générale, les différents types d'impact identifiés, puis le niveau de ces impacts en fonction des caractéristiques techniques propres à chacun des travaux envisagés.

Concernant les mammifères marins, les travaux maritimes prévus sont de nature à induire des conséquences négatives en premier lieu sur le plan acoustique, en second lieu au niveau de l'augmentation de la turbidité.

#### a- Impact acoustique

Chaque espèce est sensible à une bande de fréquences spécifique, en fonction de laquelle on déduit sa « catégorie acoustique ». Les catégories acoustiques (Southall et

al., 2007) des trois espèces considérées dans le cadre de la présente étude sont présentées dans le Tableau ci-dessous :

Espèce	Catégorie acoustique	Gamme de fréquences fonctionnelle
Grand dauphin de l'indo-pacifique	Moyenne fréquence	150 Hz à 160 kHz
Dauphin long bec	Moyenne fréquence	150 Hz à 160 kHz
Baleine à bosse	Basse fréquence	7 Hz à 22 kHz

**Tableau 6.4 : Sensibilité acoustique des cétacés concernés dans le cadre de la présente étude (selon Southall et al. 2007)**

En l'absence d'étude acoustique précise permettant de déterminer les fréquences émises par les différents types de travaux maritimes qui seront engagés dans le cadre du projet, ces niveaux de sensibilité sont donnés à titre indicatif.

Il en est de même de la zone d'influence précise du projet, soit l'étendue du secteur perturbé par les nuisances acoustiques émises. Il n'est ainsi pas possible de définir avec précision la surface à l'intérieur de laquelle se feront sentir les différents impacts envisagés ci-dessous.

### ***Perte de fonctionnalité de l'habitat et perturbations comportementales***

En premier lieu, la hausse du niveau de bruit anthropique est susceptible d'entraîner une perte de fonctionnalité de la zone perturbée.

Le niveau sonore à partir duquel une émission acoustique est susceptible d'entraîner la fuite des individus hors de la zone concernée n'est pas connu. Il est cependant admis que les émissions acoustiques peuvent induire un dérangement des animaux en deçà des seuils présentant un risque d'impact physiologique entraînant leur fuite ou évitement de la zone perturbée (Richardson et al. in Marine mammals and noise, 1995, p°388). Celle-ci perd ainsi sa fonctionnalité, les individus ne pouvant plus y exercer leurs activités vitales. L'habitat disponible à ces fins étant amputé d'autant pendant la période d'émission.

Plusieurs études ont ainsi mis en avant les conséquences d'émissions sonores anthropiques sur le comportement des cétacés. Les réactions relevées à la réception du bruit incluent l'arrêt du repos, du nourrissage, des interactions sociales, des modifications au niveau des fréquences de remontées en surface, des respirations ou des cycles de plongée, ainsi que des marques d'évitement (Richardson et al. in Marine mammals and noise, 1995, p°392).

Peu de données sont disponibles sur la durée pendant laquelle les individus maintiennent un comportement perturbé une fois que la nuisance a pris fin. Il semble cependant que cette durée n'excède pas quelques heures (Richardson et al., 1986).

La hausse du bruit anthropique lié à l'accroissement du trafic maritime semble ainsi être la cause de l'abandon de sites de reproduction de la baleine grise dans la péninsule de Basse-Californie (Gard 1974 ; Reeves 1977 ; Bryant et al., 1984).

Les réactions comportementales au bruit anthropique varient fortement selon les espèces, mais également entre individus d'une même espèce, voire pour un même individu à des moments différents. Ces variations peuvent être liées à l'activité pratiquée au moment du dérangement, mais également au niveau de tolérance des individus au bruit par effet d'habitude.

Les cétacés au repos, exposés au bruit, ont tendance à devenir actifs, à amorcer des plongées et des retours en surface, et chercher à s'éloigner de la source du signal (Richardson et al. in *Marine mammals and noise*, 1995, p°394). Les cétacés en phase de nourrissage ou de socialisation semblent eux beaucoup plus tolérants au bruit. Toutefois, lorsqu'ils sont exposés à un niveau sonore important, ils ont tendance à cesser ces activités de prédation et socialisation pour fuir la zone, soit à cause de la gêne physique engendrée, soit à cause du bruit généré qui masque les vocalises utilisées lors de ces activités, réduisant ainsi le champ d'écholocation et/ou la distance de communication.

Richardson et al. (1986) a décrit la fuite de baleines boréales en phase de nourrissage à l'approche de navires, puis leur retour sur le même site le jour suivant.

Ces déplacements temporaires peuvent avoir un coût énergétique non négligeable pour les individus s'ils s'avèrent fréquents à l'échelle d'une saison. Ce type de perturbation (entraînant notamment l'interruption du nourrissage et une fuite par nage rapide) semble devoir altérer de manière non négligeable la condition physique des individus s'il se produit de manière répétée (Richardson et al., in *Marine mammals and noise*, p°403). Le niveau de cette perturbation n'est cependant pas caractérisable de manière précise.

### ***Stress***

La présence de cétacés au sein d'une zone perturbée sur le plan acoustique ne signifie pas forcément que ceux-ci sont indifférents à cette perturbation.

Brodie (1981) relève que des individus peuvent rester sur un secteur perturbé si aucun autre secteur ne présente les conditions requises par les animaux. Ces individus sont alors susceptibles de subir un stress lié à un bruit auquel ils ne peuvent échapper. Une étude menée sur les baleines noires de l'Atlantique Nord met en évidence la relation entre la diminution drastique du trafic maritime dans la Baie de Fundy (Canada) et la forte baisse du taux de métabolites de glucocorticoïdes (hormone sécrétée en cas de stress), mettant ainsi en avant le lien entre niveau de bruit et stress (Rolland et al., 2012).

Un stress répété, en ce qu'il entraîne l'activation de mécanismes physiologiques (sécrétion d'ACTH - Adreno Cortico-Tropic Hormone ou hormone corticotrope) peut causer à termes des dommages physiologiques importants (Selye 1973).

### ***Perturbations sociales***

Les nuisances acoustiques sont susceptibles d'entraîner des perturbations sociales.

Des groupes peuvent ainsi se désagréger, les individus fuyant un bruit anthropique dans des directions différentes. La durée de cette perturbation n'est pas documentée, mais peut durer, d'après Richardson et al. (1985), plusieurs heures voire plus d'une journée pour les individus engagés dans des phases de prédation en groupe ou en parade sexuelle.

Les conséquences ne sont pas connues, mais peuvent consister en une perturbation des structures sociales, des comportements de reproduction, une diminution de l'attention portée aux juvéniles ou un désordre au niveau des activités sociales (Richardson et al., in *Marine mammals and noise*, p°395). Malgré le manque de données sur cet aspect, Richardson and al. (1985) avance que des perturbations sociales répétées désavantagent les individus concernés, en empêchant l'exercice d'activités vitales qui auraient eu lieu normalement, et qu'elles affectent la composition des groupes, dont la constitution est coûteuse en temps et en énergie.

Ces perturbations sont de nature à affecter l'efficacité des individus à éviter les prédateurs, à trouver leur nourriture, à s'accoupler ou s'occuper des nouveaux-nés et juvéniles.

Une réaction courante pour des cétacés exposés au bruit est la diminution ou l'arrêt des cris sociaux (Watkins, 1986). Considérant que ces cris jouent un rôle dans la communication au sein du groupe, leur arrêt peut indiquer une perturbation sociale.

La perturbation sociale peut consister en outre en la séparation de la mère et de son nouveau-né, notamment si les individus sont déjà distants de quelques dizaines voire centaines de mètres au moment de la perturbation, ce qui peut arriver chez les mysticètes. Cet aspect n'est que très peu documenté.

Une étude menée sur les baleines boréales montre qu'une mère et son baleineau, séparés de plus de 1 kilomètre suite à l'approche d'un bateau, sont capables de communiquer, et ainsi de se rejoindre une fois la perturbation passée (Koski et al. 1988). Le baleineau est cependant plus vulnérable au cours de la période pendant laquelle il est séparé de sa mère.

### ***Masquage***

Les nuisances acoustiques générées par le projet sont également susceptibles d'entraîner un phénomène de « masquage », c'est-à-dire le fait que les sons produits par les travaux viennent couvrir les sons émis par les cétacés.

Les effets concrets de ce phénomène ne sont pas bien documentés (Richardson et al. in *Marine mammals and noise*, 1995, p°390). Cependant, le masquage affecte en premier lieu les signaux les plus faibles, provenant de sources sonores distantes. Peu d'informations sont disponibles sur l'importance pour les cétacés de percevoir les sons les plus faibles qui seront « masqués » en premier.

Le masquage est un phénomène naturel, le bruit anthropique qui vient se superposer au bruit ambiant ne faisant que l'accentuer et amplifier ses effets.

Les conséquences d'un bruit de fond élevé sur les animaux (notamment quand cette augmentation du bruit est temporaire et locale, comme dans le cas d'espèce) concernent la diminution du champ d'écholocation (baisse de distance de détection des proies) et des distances de communication. Le niveau de ces impacts reste cependant difficilement quantifiable, faute de données disponibles (Richardson et al. in *Marine mammals and noise*, 1995, p°391).

Les cétacés peuvent probablement tolérer une augmentation du masquage lié à l'augmentation du bruit de fond qui par essence est variable dans l'océan. Les limites de cette tolérance, et ainsi le seuil au-delà duquel le masquage entraîne des conséquences négatives sur les animaux, ne sont toutefois pas connues (ibid).

Sans qu'il soit possible d'en caractériser précisément les effets, le masquage peut ainsi potentiellement gêner les communications entre les cétacés, notamment les mysticètes (Payne and Webb, 1971), également gêner l'exercice de leurs activités vitales pour lesquelles ils utilisent l'acoustique (prédation, déplacements...).

Le manque de données sur le niveau et les gammes de fréquences émises pendant les travaux ne permet pas de définir plus précisément le niveau d'impact.

### ***Dommages physiologiques temporaires***

A partir d'un certain seuil, les nuisances acoustiques auxquelles sont exposés les cétacés sont susceptibles d'entraîner des dommages temporaires sur l'audition des cétacés. Ces seuils sont propres à chaque espèce ou groupe d'espèces, en fonction de leur catégorie acoustique.

La durée et l'intensité de ces dommages (Temporary Threshold Shift ou TTS - Kryster 1985) dépendent du niveau et de la durée d'exposition au bruit. Bien que cet aspect soit peu documenté pour les mammifères marins, il est admis que les TTS sont susceptibles d'entraîner des conséquences négatives sur leurs facultés à percevoir et utiliser les sons naturels (Richardson et al., in *Marine mammals and noise*, 1995, p°368).

Les conséquences pourraient altérer la capacité des animaux à communiquer, à localiser les proies ou à se déplacer en utilisant l'écholocation, mais également altérer les facultés à percevoir les sons émis par les proies, les prédateurs ainsi que les autres sons naturels (Richardson et al., in *Marine mammals and noise*, 1995, p°168). Les conséquences se rapprochent ainsi du « masquage » évoqué précédemment. Cependant, les effets d'un TTS sont de nature à persister une fois que la nuisance acoustique s'est éteinte, contrairement au masquage.

### ***Dommmages physiologiques permanents***

Les dommages physiologiques sur les cétacés exposés à un niveau sonore dépassant un certain seuil peuvent être permanents (Permanent Threshold Shift ou PTS). A l'image des dommages temporaires, ces seuils sont propres à chaque groupe d'espèce.

Les conséquences de ces dommages sont mal documentées. Il est cependant admis qu'ils sont susceptibles d'endommager les tissus corporels et entraîner la surdité des individus, et à ce titre entraîner leur désorientation puis leur échouage (O'Brien et al. 2005 ; André et al., 2011).

Bien que la difficulté d'étudier ces phénomènes rend leurs conséquences méconnues, la surdité semble de nature à entraîner la mort des individus concernés. Les cétacés utilisent en effet l'acoustique pour communiquer (en présence de dangers ou de nourriture ou encore lors de leurs interactions sociales, notamment en phase de reproduction). Les odontocètes utilisent également un système d'écholocation pour détecter, localiser et identifier les objets sous-marins, notamment les obstacles et les proies (Richardson et al. in *Marine mammals and noise*, 1995, p°159). Privés de leurs capacités auditives, les cétacés ne semblent ainsi plus en mesure d'exercer correctement ces activités vitales.

### **b- Turbidité**

L'augmentation de la turbidité est considérée comme un phénomène de nature à engendrer un impact au moins « de courte durée » et « de niveau moyen » sur les cétacés (Dolman et al., 2007 ; SC/59/E10).

Par ailleurs, le panache turbide est de nature à persister après la fin des travaux, prolongeant la durée de la nuisance au-delà de la phase de chantier.

### ***Diminution de l'efficacité de la prédation***

L'augmentation de la turbidité peut affecter la capacité d'alimentation des mammifères marins, notamment les espèces qui dépendent de leur vision pour détecter et à suivre leurs proies, le panache turbide venant réduire les conditions de visibilité sous-marine

(Gunfleet Sands 3 - Demonstration Project Environmental Statement Offshore Export Cable Environmental Addendum Report, Dong Energy Report, 2011).

### ***Perte de fonctionnalité de l'habitat***

Bien que cet aspect soit très peu documenté, le dégagement d'un panache turbide semble de nature à entraîner une perte de fonctionnalité de la zone concernée. En effet, la diminution de la visibilité amenuise la faculté à détecter les éventuelles menaces, notamment les prédateurs, voire les navires. Ce phénomène semble ainsi de nature à entraîner le déplacement des individus en dehors de la zone perturbée, amputant ainsi temporairement leur habitat.

Les espèces ne possédant pas de système d'écholocation et ainsi plus dépendantes de leur vision semblent plus vulnérables.

### **c- Impacts cumulatifs**

Les impacts potentiels du projet identifiés en phase de travaux consistent donc en des impacts acoustiques et liés à l'augmentation de la turbidité.

Les conséquences négatives de ces deux types d'impact sont susceptibles de s'additionner, augmentant ainsi le niveau de dérangement, dans des proportions qu'il n'est cependant pas possible de définir précisément.

Il convient cependant de mentionner qu'une perturbation acoustique (masquage, perte des facultés auditives...) doublée d'une perturbation visuelle (diminution de la faculté à détecter visuellement les objets) entraîne des risques accrus pour les cétacés ne disposant pas de système d'écholocation, notamment les mysticètes. Les espèces utilisant uniquement la vue ou l'ouïe pour détecter et fuir les risques potentiels (prédateurs, navires notamment) se retrouvent ainsi plus vulnérables face à ces risques. De même, les espèces dépendantes de leur système d'écholocation peuvent être d'autant plus vulnérables en milieu turbide, en cas de masquage acoustique de leurs vocalises et de l'écho qu'elles perçoivent en retour.

### **d- Source et mesure des impacts identifiés – Cas de la construction de la digue de protection**

Aucune modélisation des nuisances acoustiques qui vont être générées par cette phase, notamment le bruit lié aux chocs entre les enrochements et le fond, également entre les enrochements entre eux, n'est disponible.

Le bruit est estimé par le concepteur à 100 dB re 1  $\mu$ Pa (sans précision quant à la bande de fréquence concernée). Dans le cas d'espèce, le seuil utilisé précédemment pour des

travaux similaires (Etude d'impact sur les cétacés du projet d'extension du Port Est - Globice, 2012), sera repris.

Selon la connaissance du rédacteur, ce type d'opération n'a pas fait l'objet de publication scientifique permettant d'estimer le niveau et la bande de fréquences de la perturbation sonore engendrée.

Concernant l'augmentation de la turbidité, la mise en suspension de sédiments sera dépendante de la nature des fonds qui selon les investigations réalisées à ce stade sont majoritairement rocheux au droit de l'emprise des travaux.

### *Nature de l'impact engendré*

Concernant les nuisances sonores, la construction de la digue est susceptible d'entraîner un impact acoustique, sans qu'il soit possible en l'état actuel des connaissances de définir la surface qui subira l'influence sonore de cette phase. De manière préventive, le niveau de 100 dB re 1  $\mu$ Pa sera pris en considération pour l'évaluation des impacts potentiels de cette phase, sans prise en compte du caractère dégressif du niveau de bruit en fonction de la distance à la source. Les bandes de fréquences émises seront considérées comme audibles par les cétacés. Le bruit généré par cette phase semble devoir être ponctuel et répété, correspondant au versement ou au dépôt des enrochements.

Le niveau sonore généré semble ainsi devoir se situer en dessous des seuils de dommage physiologique. Par ailleurs, le caractère non continu des émissions sonores semble exclure un phénomène de masquage. Il est également envisageable que les individus concernés fuient la zone impactée, alors même que des secteurs adjacents présentent des conditions aussi favorables, rendant ainsi la génération d'un stress prolongé peu probable.

Faute de définition de l'état acoustique sous-marin de référence sur la zone, il n'est pas possible de préciser dans quelle mesure les bruits émis par cette phase de travaux viendront dépasser le bruit ambiant. Si l'on considère, de façon préventive, que ces bruits excéderont le bruit ambiant, ils risquent d'entraîner la perte de fonctionnalité de la portion d'habitat soumise à cette perturbation. Un risque de perturbation comportementale est également envisageable, les individus étant susceptibles de réagir à ce type d'émissions brèves et répétées, entraînant une dépense énergétique non prévue. Des perturbations sociales (ruptures des activités engagées, voire séparation des groupes) sont également à envisager.

Les impacts envisagés à ce niveau sont ponctuels, et ne devraient pas excéder la durée prévisionnelle de ces travaux évaluée à 3 mois.

**Globalement, le bruit généré par l'élaboration de la digue n'est pas considéré comme ayant un impact fort et durable sur les populations de cétacés.**

**Au niveau de la turbidité, l'impact envisagé est insignifiant (en cas de dépôt d'enrochements propres sur un substrat dur) à faible (ensouillage dans les sédiments du fond).**

**Nota : ces conclusions s'appliquent également aux travaux de prolongement de la digue de protection existante à l'entrée du port.**

### **e- Source et mesure des impacts identifiés – Cas des travaux de dragage**

L'emprise de l'extension sud sera draguée après la construction de la future digue de protection et avant la démolition de la digue de protection existante. Ce dragage aura donc lieu en milieu confiné sans aucun contact avec les eaux du lagon.

Le bassin actuel sera dragué (dragage mécanique) soit par pelle soit par dragline depuis les berges, ou depuis un support nautique. Le dragage hydraulique sera conduit à l'aide d'une pompe à sédiments suspendue à une grue ou munie d'une conduite d'aspiration guidée par des plongeurs. En cas d'horizon rocheux, il sera terrassé à la pelle ou au brise roche hydraulique.

Aucune étude acoustique précisant les nuisances sonores émises n'est disponible. Le type de dragueuse utilisé ainsi que les procédés qui seront mis en œuvre ne sont actuellement pas connus de manière précise et définitive.

#### ***Nature de l'impact engendré***

Au niveau acoustique, le bruit du dragage peut surpasser le bruit ambiant sur des distances considérables. Il présente cependant des caractéristiques différentes selon le type de dragueuse utilisée.

Greene (1985, 1987) a démontré que la bande de fréquence (20-1000 Hz) émise par les dragueuses suceuses du type de celles qui pourraient être employées au niveau du dragage hydraulique du bassin actuel devrait normalement passer en dessous du bruit de fond ambiant « théorique » (environ 100 dB re 1  $\mu$ Pa) au-delà d'un périmètre de 25km autour du point de dragage.

Ces chiffres sont donnés à titre indicatif, le niveau de bruit ambiant et la propagation du son est fonction de nombreuses caractéristiques propres à chaque site.

A proximité des opérations (rayon de 1 kilomètre), le bruit émis sur cette bande de fréquence excèdera les 150 dB re 1  $\mu$ Pa. Cependant, certaines dragues sont susceptibles d'émettre des sons plus puissants, détectables à plus de 25km.

Ainslie et al. (2009) rapporte notamment un pic sonore à s'élevant à 183 dB re 1  $\mu\text{Pa}^2 \text{m}^2$  par tiers d'octave centré à 130 Hz lors d'opérations de dragage menées au large de Sakhalin.

Les sons les plus puissants émis par les dragues suceuses à désagrégateur se situent principalement au niveau des basses fréquences. Cependant, les hautes fréquences sont également présentes et audibles, par-dessus le bruit de fond « haute fréquence » ambiant. Pour illustrer le niveau de bruit à basse fréquence, (Richardson et al. in *Marine mammals and noise*, 1995, p°125) et Robinson et al. (2009) estiment que le bruit produit par ce type de dragueuse en dessous de 30 Hz est comparable au niveau de bruit produit par un gros tanker, ce dernier étant cependant plus bruyant en dessous de 30 Hz.

Les nuisances acoustiques générées par les dragues à benne (clam shell), du type de celle qui pourrait être utilisée pour le dragage mécanique du bassin actuel, sont variables et dépendent de leur phase de travail (Miles et al., 1986, 1987).

Pour le tiers d'octave le plus puissant, centré à 250 Hz, Miles et al. (1986, 1987) relève des niveaux de bruit variant de 150 à 162 dB re 1  $\mu\text{Pa}\cdot\text{m}$ . Le son le plus puissant est émis par le moteur du treuil qui ramène la benne à la surface (167 dB re 1  $\mu\text{Pa}\cdot\text{m}$ ). Le bruit de la benne quand elle se referme sur les matériaux est en comparaison bien moins important.

En résumé, le dragage peut générer des émissions puissantes, notamment dans les basses fréquences. Des fréquences au-dessus de 6 kHz peuvent cependant être émises lors de ces opérations. Le bruit des dragueuses est en théorie indétectable au-delà de 25km. Le produit est comparable à ceux des navires de taille importante, la différence à ce niveau étant la durée de la perturbation, les opérations de dragage étant plus longues que le passage d'un navire (Richardson et al. in *Marine mammals and noise*, 1995, p°126).

Le bruit généré par les opérations de dragage est ainsi de nature à engendrer un niveau de perturbation élevé. Les niveaux sonores maximums enregistrés, disponibles dans la littérature, se situent au niveau du seuil de dommage temporaire (TTS) des cétacés.

Il est à noter que l'utilisation possible d'un brise roche hydraulique est mentionnée. Ces opérations sont également de nature à générer des nuisances acoustiques importantes, similaires à celles émises par le battage de pieux. Le niveau d'impact défini pour le battage peut ainsi être appliqué aux éventuelles opérations impliquant un brise roche hydraulique.

Malgré l'absence de modélisation acoustique, il est fortement envisageable que le bruit généré par le dragage excède largement le bruit ambiant et soit de nature à entraîner

des conséquences sur les mammifères marins au niveau de la perte de fonctionnalité d'habitat ainsi que des perturbations comportementales et sociales. Son caractère continu va entraîner un effet de masquage sur la durée des travaux, sur une surface qu'il n'est cependant pas possible de déterminer. La possibilité de dommages physiologiques temporaires n'est également pas à exclure.

Il est cependant envisageable que les cétacés quittent la zone perturbée au commencement des opérations de dragage, trouvant refuge au sein de secteurs adjacents. Ainsi, si l'impact consistant en une perte de fonctionnalité d'habitat, et donc une amputation de l'habitat disponible semble certain, les individus ne seront exposés aux autres impacts identifiés que dans la mesure où ils s'aventureront sur le secteur perturbé. Il n'est pas possible de présager précisément de la mesure dans laquelle les individus traverseront ce secteur. Une réflexion en ce sens est cependant proposée par espèce ci-après.

Le dragage de l'extension se fera de manière confinée. Sans qu'il soit possible de le mesurer, ce confinement devrait entraîner une baisse du niveau d'énergie acoustique reçu en pleine mer sur l'habitat des cétacés.

Concernant la turbidité, le dragage va engendrer une mise en suspension de matériaux dans la colonne d'eau, dans une mesure qu'il n'est pas possible de caractériser. Le niveau de la perturbation engendrée pour les cétacés est ainsi difficile à qualifier. Il dépend notamment du niveau de turbidité « normal » pour le site : l'impact sera négligeable dans un contexte de forte turbidité naturelle, plus conséquent dans une mer où les espèces sont fortement conditionnées par la transparence de l'eau (Suivis environnementaux des opérations de dragage et d'immersion, Guide méthodologique, Geode, 2012).

**Au niveau acoustique, les opérations de dragage semblent ainsi en mesure d'engendrer un impact a priori fort et temporaire. Il n'excèdera pas la durée de trois mois prévue dans le phasage.**

**Etant donné la configuration du site et des travaux (dragage de l'extension en milieu confiné sans contact avec les eaux du lagon, bassin actuel séparé de la pleine mer par la digue actuelle puis par le récif), l'impact potentiel du dragage sur les cétacés, en ce qui concerne la turbidité, est considéré comme faible. L'impact est temporaire, mais pourra excéder la durée des travaux (le panache turbide pouvant rester en suspension un certain temps après la fin des opérations).**

#### **f- Source et mesure des impacts identifiés – Cas du battage de pieux**

Le battage de pieux est envisagé au niveau de la construction des appontements. Aucune modélisation acoustique ou donnée technique concernant cette phase n'est disponible.

### ***Nature de l'impact engendré***

Les niveaux d'énergie acoustique perçus à 1 mètre de distance lors d'opérations d'enfoncement de pieux ne semblent pas devoir excéder 165 dB re 1  $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$  pour la bande de fréquence de 20 Hz à 1 kHz. Les niveaux sonores types émis dans cette bande sont à situer entre 100 et 130 dB re. 1  $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$  (David 2006).

Globalement, sans prise en compte du contexte acoustique sous-marin local, le bruit des « marteaux » servant à enfoncer les pieux peut être perçu par les mammifères marins à plus de 10 km de la source. De Jong, et al. (2008) situe le niveau sonore maximum d'un coup à 185 dB re 1  $\text{Pa}^2\text{-s}$  à 100 Hz.

Les niveaux sonores émis par le battage sont ainsi susceptibles d'être élevés. Il est précisé que ces niveaux sont dépendants de différents paramètres, notamment le diamètre des pieux. Les émissions acoustiques liées au battage semblent cependant de nature à largement excéder le bruit ambiant. Le niveau sonore maximum relevé disponible dans la littérature dépasse les seuils de dommage physiologique temporaire (TTS).

Des conséquences négatives en termes de perte de fonctionnalité d'habitat, de perturbations comportementales et sociales sont ainsi probables. L'impact du battage peut ainsi être significatif si les animaux sont amenés à changer temporairement d'habitat ou si la recherche de nourriture, l'accouplement ou l'allaitement sont perturbés (David 2006). Le masquage devrait cependant être limité par la nature intermittente du bruit. En outre, des dommages physiologiques temporaires ne sont pas à exclure.

L'impact acoustique du battage peut ainsi être considéré comme fort et temporaire. Il n'excédera pas la durée d'un mois telle que prévue par le planning de travaux.

Le battage semble également de nature à engendrer la mise en suspension de sédiments, dans une mesure qu'il n'est pas possible de caractériser. L'impact est cependant considéré comme faible, du fait de la configuration du site.

### **g- Vulnérabilité des espèces aux impacts pressentis – Cas du Grand dauphin de l'indo-pacifique**

Les espèces de cétacés ne présentent pas toutes le même niveau de sensibilité face aux différents impacts évoqués ci-dessus. Leur vulnérabilité est notamment fonction de l'effectif de la population locale, de leur caractère migratoire ou sédentaire, de la superficie et de la localisation de leur habitat... Le niveau de vulnérabilité doit s'envisager à l'échelle locale et régionale.

#### **A l'échelle locale**

A La Réunion, le grand dauphin de l'indo-pacifique est observé très proche de la côte, dans des eaux de 3 à 100 m de profondeur. La majorité des observations se situe dans des eaux de moins de 60m de profondeur (Dulau et al., 2008). L'habitat préférentiel

de cette espèce correspond donc à une bande côtière relativement étroite, s'étendant à moins de 1,5km de la côte et représentant une surface de 220km<sup>2</sup> autour de l'île.

Les suivis par photo-identification montrent que les individus observés dans la zone d'étude se déplacent largement autour de l'île, les mêmes individus étant «recapturés» (c'est-à-dire identifiés individuellement à plusieurs reprises) dans différents secteurs.

C'est donc l'ensemble de la bande côtière de l'île qui semble être utilisée par les individus. C'est également l'ensemble de la population locale qui est potentiellement concernée par le projet, en ce que chaque individu est susceptible d'utiliser ou de chercher à utiliser la zone soumise à l'influence des travaux.

### ***Perte de fonctionnalité de l'habitat***

Les travaux prévus dans le cadre du projet se situeront à l'intérieur du lagon, sur un secteur non fréquenté par le grand dauphin de l'indo-pacifique. Cependant, le bruit généré par les phases les plus bruyantes (dragage, battage) devrait concerner les eaux au large du lagon qui constituent son habitat. Les conséquences sont ainsi une perte de fonctionnalité de l'habitat, c'est-à-dire une amputation de la superficie disponible pour l'exercice des activités vitales.

Le grand dauphin de l'indo-pacifique est particulièrement sensible à cet aspect. Son habitat étant particulièrement restreint, toute amputation même temporaire est à considérer sérieusement. Son caractère très côtier le rend par ailleurs particulièrement vulnérable aux dégradations du littoral ou au morcèlement de son habitat par le développement de projets d'aménagement en eaux peu profondes.

Par ailleurs, le grand dauphin de l'indo-pacifique se déplaçant tout autour de l'île, les phases bruyantes du projet risquent d'engendrer une « barrière acoustique » venant rompre son corridor de déplacement et ainsi entraver les mouvements vitaux des individus. La distance entre le récif et l'isobathe de 100m, considéré comme la limite de l'habitat utilisable par l'espèce, est inférieure à 2 km au niveau du port de Saint Leu. Ainsi, les bruits engendrés par les travaux agiront comme une barrière acoustique s'ils se propagent à plus de 2 km du récif. La perte de fonctionnalité de l'habitat semble devoir être conséquente principalement aux phases de dragage et de battage de pieux, opérations les plus bruyantes. La proportion d'habitat potentiellement concernée n'est pas mesurable, faute de précisions sur la superficie de la zone impactée.

Concernant la mise en suspension de matériaux, si ce phénomène devait concerner l'habitat de l'espèce, il ne semble pas de nature à entraîner un impact sur les individus. Les dauphins utilisent l'écholocation régulièrement lors de la recherche de nourriture, et sont peu susceptibles d'être affectés par l'augmentation de la turbidité. (Gunfleet Sands 3 - Demonstration Project Environmental Statement Offshore Export Cable Environmental Addendum Report, Dong Energy Report, 2011). Le niveau de turbidité des eaux ne semble par ailleurs pas influencer la distribution de l'espèce (Cribb et al., 2008).

**Bien qu'il soit impossible de mesurer la proportion d'habitat concernée par rapport à l'habitat global utilisé par l'espèce à La Réunion, l'impact de la phase travaux du projet sur le grand dauphin de l'indo-pacifique au niveau de la perte de fonctionnalité de l'habitat est considéré comme moyen à fort en fonction de la surface qui sera impactée, pour les phases de dragage et de battage de pieux.**

**A la différence des phases de dragage et battage, la phase de construction de la digue ne semble pas de nature à engendrer un impact significatif à ce niveau (pas de nuisance sonore associée).**

### ***Perturbations comportementales, sociales et stress***

Les individus semblent en mesure de fuir la zone d'influence acoustique du projet, pour se déplacer vers des secteurs calmes, aptes à accueillir l'exercice de leurs activités vitales. Étant donné la nature temporaire des travaux, les perturbations comportementales, sociales, ou la génération de stress ne devraient concerner que marginalement la population de grand dauphin de l'indo-pacifique. Seuls les individus présents à l'intérieur de la zone perturbée au démarrage des travaux semblent devoir être concernés.

Cependant, comme précisé ci-dessus, le grand dauphin de l'indo-pacifique se déplace largement autour de l'île. Des individus peuvent chercher à se rendre de part et d'autre du secteur perturbé, le traversant malgré la nuisance, notamment si celui-ci s'étend jusqu'à l'isobathe des 60m marquant la limite de l'habitat du grand dauphin de l'indo-pacifique. Les individus effectuant leurs déplacements vitaux n'auront ainsi d'autres choix que de s'aventurer plus au large en s'exposant davantage aux prédateurs, ou traverser la zone perturbée en s'exposant à cette catégorie d'impacts.

**L'impact du projet (dragage et battage) sur le grand dauphin de l'indo-pacifique au niveau des perturbations comportementales, sociales, ou de la génération de stress est considéré comme moyen.**

### ***Masquage***

A l'image du paragraphe précédent, seuls les individus présents dans la zone perturbée au moment des phases bruyantes (dragage, battage) sont potentiellement concernés par le masquage. La présence d'individus dans cette zone en phase travaux est possible mais non quantifiable. De même, s'il existe des habitats favorables adjacents à la zone d'étude, il n'est pas possible de prédire si les animaux auront une réaction d'évitement ou s'ils resteront sur zone.

La phase de construction de la digue elle-même ne semble pas en mesure d'engendrer ce phénomène (pas de nuisance acoustique en milieu marin).

**L'impact du projet sur le grand dauphin de l'indo-pacifique en ce qui concerne le masquage est considéré comme fort, notamment du fait des conséquences graves qui peuvent en résulter en terme d'alimentation et de socialisation.**

### *Dommages physiologiques temporaires*

Selon Southall et al. (2007), le seuil de dommage physiologique temporaire pour le grand dauphin de l'indo-pacifique se situe à 187 dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$ . Il a été vu que le dragage et le battage sont susceptibles d'approcher ce seuil, voire de le dépasser.

De manière empirique, il est considéré ici que les niveaux de bruit émis se retrouvent de manière peu atténuée au-delà du récif, sur l'habitat du grand dauphin de l'indo-pacifique.

**L'altération des capacités auditives des individus, même momentanées, est susceptible d'avoir des conséquences graves. Ainsi l'impact potentiel sur le grand dauphin de l'indo-pacifique à ce niveau est considéré comme fort.**

### *Dommages physiologiques permanents*

Selon Southall et al. (2007), le seuil de dommages physiologiques permanents pour le grand dauphin de l'indo-pacifique se situe à 198 dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$ , seuil qui ne devrait pas être atteint dans le cadre de l'opération.

**L'impact à ce niveau est ainsi considéré comme nul.**

### *A l'échelle régionale*

Il n'existe actuellement aucune estimation d'abondance à l'échelle régionale ou mondiale pour le grand dauphin de l'indo pacifique. A La Réunion, cette espèce forme une population résidente, a priori non connectée avec les autres populations de la région, comptant probablement moins de 200 individus (Dulau et al., 2009).

La population concernée par le projet n'aura donc pas la possibilité d'occuper d'autres territoires, extérieurs à La Réunion, pendant la durée du projet. De la même manière, une atteinte à l'état de santé de cette population ne pourra pas être compensée par l'apport d'individus provenant d'autres régions de l'océan indien.

**L'effectif restreint de la population de dauphins de l'indo-pacifique présente à La Réunion la rend particulièrement vulnérable à toute perturbation de son état de santé et de son milieu.**

## **h- Vulnérabilité des espèces aux impacts pressentis – Cas du Dauphin long bec**

### **A l'échelle locale**

A La Réunion, le dauphin long bec a un habitat relativement étendu et fréquente à la fois les eaux peu profondes, très proches de la côte, et les eaux du large. L'espèce est régulièrement observée dans des eaux de plus de 100m de profondeur. Peu d'observations ont cependant été rapportées au large du site d'étude.

Le dauphin long bec semble ainsi a priori moins directement concerné par les effets du projet que le grand dauphin de l'indo-pacifique.

### ***Perte de fonctionnalité de l'habitat***

Le dauphin long bec peut être sensible aux nuisances acoustiques générées par des opérations de dragage. Shallenberger (1978) a notamment mis en évidence ce phénomène dans une baie à Hawaii dès le lancement de travaux de construction bruyants impliquant du dragage.

Cependant, bien que la surface d'habitat fonctionnel de l'espèce à La Réunion ne soit pas connue, celui-ci s'étend davantage au large que l'habitat utilisé par le grand dauphin de l'indo-pacifique. Ainsi, même si la zone d'influence acoustique du projet, notamment en ce qui concerne ses phases les plus bruyantes (dragage et battage de pieux) n'est pas définie, l'habitat de l'espèce semble suffisamment large pour qu'une amputation due au bruit du chantier ne représente pas un impact conséquent.

Concernant une perte de fonctionnalité de l'habitat causée par une augmentation de la turbidité, le dauphin long bec apparaît comme particulièrement sensible à la turbidité de l'eau et sera donc plus vulnérable que les autres espèces à ce niveau (Culik, 2010). En effet, l'espèce semble utiliser préférentiellement des eaux claires pour se prémunir de l'attaque des prédateurs, notamment en phase de repos pendant laquelle son système d'écholocation est inactif.

Cependant, le site d'étude n'est pas identifié comme une zone spécifique de repos pour cette espèce, qui n'a été observée que de manière exceptionnelle à proximité du site qui accueillera le chantier. Si cela n'exclut pas que cette zone soit utilisée par l'espèce, l'augmentation temporaire de la turbidité pendant certaines phases des travaux n'est pas perçue comme ayant des conséquences importantes pour cette population à large répartition.

**L'impact du projet sur le dauphin long bec au niveau de la perte de fonctionnalité de l'habitat est ainsi considéré comme faible.**

### ***Perturbations comportementales, sociales et stress***

A l'image du grand dauphin de l'indo-pacifique, le dauphin long bec pourra facilement occuper des secteurs adjacents calmes lors des phases bruyantes des travaux. Une perturbation comportementale, sociale, ou la génération de stress sont susceptibles de concerner des individus éventuellement présents et surpris par le démarrage des travaux.

**L'impact à ce niveau sur le dauphin long bec est estimé faible en raison du faible nombre d'observations rapportées sur le secteur d'étude et de l'habitat étendu de l'espèce.**

### ***Masquage***

A l'image du paragraphe précédent et à l'instar du grand dauphin de l'indo-pacifique, seuls les individus présents dans la zone perturbée au moment des phases bruyantes (dragage, battage) sont potentiellement concernés par le masquage.

Cependant, la zone perturbée ne représente a priori qu'une faible proportion de l'habitat de l'espèce à La Réunion, et on rappelle le faible nombre d'observations rapportées au large du site d'étude.

**L'impact du masquage est considéré comme faible pour le dauphin long bec.**

### ***Dommmages physiologiques temporaires***

Selon Southall et al. (2007), le seuil de dommage physiologique temporaire pour le dauphin long bec se situe à 187 dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$ . Il a été vu que le dragage et le battage sont susceptibles d'approcher ce seuil, voire de le dépasser. L'habitat utilisé par l'espèce se superpose ainsi dans une mesure qu'il n'est cependant pas possible de caractériser de manière précise, avec la zone de risque de dommage physiologique temporaire.

Cependant, la surface de l'habitat de l'espèce est considérée comme très étendue par rapport à la zone de risque.

**Les effets potentiels du projet en termes de dommages physiologiques temporaires sur le dauphin long bec sont considérés comme faible.**

### ***Dommmages physiologiques permanents***

Selon Southall et al. (2007), le seuil de dommages physiologiques permanents pour le grand dauphin de l'indo-pacifique se situe à 198 dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$ , seuil qui ne devrait pas être atteint dans le cadre de l'opération.

**L'impact à ce niveau sur le dauphin long bec est ainsi considéré comme nul.**

### **A l'échelle régionale**

Aucune donnée n'est actuellement disponible sur d'éventuels échanges entre les dauphins long bec de La Réunion et les autres populations de la région.

**L'éventualité d'un impact à l'échelle régionale est cependant considérée comme inexistante.**

### **i- Vulnérabilité des espèces aux impacts pressentis – Cas de la Baleine à bosse**

#### **A l'échelle locale**

A La Réunion, la majorité des observations de baleines à bosse a été effectuée dans la bande bathymétrique de 0 à -100m, soit sur une zone géographique de 345km<sup>2</sup> autour de l'île.

Contrairement au grand dauphin de l'indo-pacifique et au dauphin long bec, cette espèce migratrice n'est présente à La Réunion que sur une partie de l'année, entre fin juin et début novembre. Elle vient alors se reproduire et mettre bas dans les eaux côtières de l'île.

**L'émission de nuisances sonores hors de cette période n'aurait ainsi aucune incidence sur la baleine à bosse.**

#### ***Perte de fonctionnalité de l'habitat***

A La Réunion, l'espèce est susceptible d'utiliser les eaux très peu profondes, certaines observations étant rapportées dans des eaux de moins de 10m de profondeur (Globice, données non publiées). Les couples mère-baleineau notamment sont susceptibles de se rapprocher très près des côtes. La baleine à bosse est ainsi susceptible d'utiliser de manière conséquente l'habitat potentiellement concerné par le projet, notamment lors de ses phases bruyantes. Plusieurs observations ont été réalisées dans la zone d'étude démontrant une fréquentation régulière du site par cette espèce.

L'impact des nuisances liées au dragage sur la baleine à bosse n'est pas documenté. Cependant, plusieurs études montrent l'abandon de sites par des mysticètes, au moins temporairement, suite à des opérations de dragage (Bryant et al., 1984). A l'inverse, certains auteurs mettent en avant une tolérance forte de certains mysticètes face aux bruits produits par le dragage (Slay et al., 1993 ; Richardson et al., 1985), peut être aidés par un phénomène d'habitude (Richardson et al., 1987).

La zone d'étude est utilisée par l'espèce pour l'exercice d'activités vitales, notamment la reproduction et l'élevage des jeunes, le repos et le transit. Cette zone présente ainsi un intérêt majeur pour l'espèce. Il est envisageable que les couples mère / baleineau, a minima, cherchent à éviter une zone perturbée par un fort niveau de bruit anthropique,

tels que ceux qui risquent d'être générés par les phases de dragage et de battage du projet. Cependant, leur réaction ne peut-être prévisible, différents cas ayant été décrits dans la littérature scientifique.

La perte de fonctionnalité de l'habitat, considérant la reproduction, le repos et le transit concernera les baleines « résidentes » à La Réunion (à l'échelle d'une saison), soit un minimum de 30% des baleines recensées au cours d'une saison (Dulau et al., 2012). La grande majorité des baleines observées en début de saison ne sont pas revues et sont considérées comme étant de passage, l'île de La Réunion représentant une étape sur leur route migratoire. Pour ces individus, le projet aura pour conséquence de limiter la zone d'habitat disponible autour de l'île en tant que zone de transit au niveau régional ; ils seront peu affectés par la perte de fonctionnalité de cette zone au niveau de la reproduction.

Au niveau de la turbidité, la mise en suspension de matériaux devrait rendre la zone concernée impropre à la fréquentation des baleines à bosse pendant les travaux, si d'aventure un panache turbide s'étend au-delà du récif. Les mères accompagnées de leur nouveau-né pourraient être sensibles à l'augmentation de la turbidité, car cela pourrait altérer la détection des prédateurs potentiels.

**L'impact du projet en matière de nuisances sonores est considéré comme fort pour la baleine à bosse en termes de perte de fonctionnalité d'habitat. Les individus utilisent en effet les eaux peu profondes de La Réunion notamment pour l'élevage des jeunes, phase très sensible de leur cycle biologique.**

### ***Perturbations comportementales, sociales et stress***

L'émission de vocalises fait partie de la stratégie de reproduction des baleines à bosse, les mâles produisant des chants pré-nuptiaux pendant plusieurs heures. Cependant, les incidences comportementales d'une hausse du niveau de bruit anthropique sur la baleine à bosse ne sont pas bien documentées.

Comme évoqué ci-dessus, les réactions peuvent varier selon les individus exposés à un même niveau de bruit, allant de l'indifférence à l'évitement (à propos de baleines boréales : Richardson et al., 1987).

Richardson et al. (1990) a cependant mis en avant que des baleines boréales situées à bonne distance d'opérations de dragage en cours ne montraient que de faibles signes d'évitement, alors que les individus plus proches et plus exposés (recevant entre 122 et 131 dB, soit 21 à 30 dB de plus que le bruit ambiant) ont montré des signes plus marqués d'évitement. Elles ont arrêté de se nourrir et se sont déplacées à plus de 2 km de distance. Elles se trouvaient à environ 800m au moment du démarrage des travaux.

Il est donc envisageable que les bruits générés par les phases les plus bruyantes du projet entraînent une modification du comportement des baleines concernées, voire leur fuite du site. Cela peut entraîner des dépenses énergétiques non prévues, potentiellement dommageables en cas de présence de nouveau-né.

Par ailleurs, pour rappel, Koski et al. (1988) a rapporté la séparation d'une baleine boréale et de son baleineau suite à un dérangement anthropique. Il est ainsi envisageable que les bruits impulsifs du battage ou les forts niveaux sonores générés par le dragage entraînent une perturbation sociale chez les baleines à bosse, le risque étant la séparation des groupes, notamment des couples mères / baleineaux.

Concernant la création de stress, les individus ont la possibilité de fuir la zone perturbée. Il est ainsi peu envisageable que les baleines restent exposées aux nuisances suffisamment longtemps pour être concernées par le stress, outre un stress ponctuel déclenchant la fuite.

**Bien qu'il soit difficile de qualifier l'impact comportemental et social des phases bruyantes des travaux maritimes du projet sur la baleine à bosse, cet impact est considéré comme fort car les perturbations afférentes sont susceptibles d'entraîner des conséquences néfastes pour les femelles lactantes et les baleineaux qui s'avèrent particulièrement vulnérables.**

### *Masquage*

La baleine à bosse, comme l'ensemble des mysticètes, ne possède pas de système d'écholocation. Ainsi l'espèce est-elle moins sensible au phénomène de masquage. Cependant, comme évoqué ci-dessus, le chant des mâles semble jouer un rôle important au niveau de la reproduction.

En ce qu'elles pourraient entraîner le masquage partiel de ces chants, limitant leur distance de propagation, les nuisances sonores du projet semblent ainsi présenter un risque potentiel de perturbation de cette phase clef du cycle biologique de l'espèce.

Il n'est cependant pas possible de qualifier l'impact à ce niveau, les conséquences d'un phénomène de masquage sur la reproduction de la baleine à bosse n'étant pas documentées. Par ailleurs, la proportion de l'habitat de l'espèce qui serait concernée par les travaux les plus impactants ne peut être définie précisément en l'absence de cartographie du bruit.

**L'impact du projet sur la baleine à bosse en termes de masquage sera temporaire et n'excèdera pas la durée des phases de travaux bruyantes.**

### *Domages physiologiques temporaires*

Selon Southall et al. (2007), le seuil de dommage physiologique temporaire pour la baleine à bosse se situe à 187 dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$ . Ce seuil est susceptible d'être approché voire dépassé lors des phases de travaux les plus bruyantes.

A l'instar du dauphin long bec, l'habitat utilisé par l'espèce et la zone de risque de dommage physiologique temporaire se superposent dans une mesure qu'il n'est pas possible de caractériser. L'espèce, en particulier les couples mère / baleineaux,

fréquente cependant largement les eaux peu profondes, notamment celles au large de la zone du projet.

**Le risque de dommage physiologique temporaire est ainsi considéré comme fort pour la baleine à bosse.**

### *Dommages physiologiques permanents*

Selon Southall et al. (2007), le seuil de dommage physiologique permanent pour la baleine à bosse se situe à 198 dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$ , seuil qui ne devrait pas être atteint pendant la réalisation des travaux.

**L'impact à ce niveau est ainsi considéré comme nul.**

### *A l'échelle régionale*

Les études menées jusqu'à présent, basées sur les méthodes de photo-identification des individus, montrent que les baleines ne sont pas nécessairement fidèles au site de reproduction que constitue La Réunion.

Bien que certaines baleines soient revenues au large de l'île sur plusieurs saisons, la plupart changent de zone de reproduction selon les années (Dulau et al., 2012). Des échanges d'individus ont été montrés entre La Réunion et Madagascar (Dulau et al., 2011) et avec Mayotte (données non publiées).

Ainsi, considérant les zones de nourrissage, de reproduction et les voies migratoires, l'unité fonctionnelle écologique des baleines à bosse fréquentant les eaux côtières de La Réunion est donc très vaste, s'étendant sur l'ensemble de la zone Sud-Ouest de l'Océan Indien jusqu'à la zone Antarctique.

La surface représentée par l'aire d'influence directe du projet est ainsi extrêmement minime eu égard à la surface représentée par l'unité fonctionnelle écologique globale des baleines à bosse.

**Il est peu probable que le projet ait une influence sur l'espèce baleine à bosse à une échelle régionale.**

Cependant, il a été relevé une forte augmentation du nombre de baleines venant hiverner à La Réunion ces dernières années.

Par ailleurs, l'observation de premières « recaptures interannuelles » semble signaler un début de fidélisation au site. Il en va de même de « recaptures régionales » entre Madagascar et La Réunion.

**Ces différents phénomènes nouveaux pourraient suggérer que les baleines élargissent leur aire de répartition en investissant de nouveaux sites (ou d'ancien**

sites) comme La Réunion (Dulau et al., 2011), dans un contexte d'expansion de l'espèce suite à l'arrêt de la chasse commerciale.

Il est donc aujourd'hui primordial de préserver les zones de reproduction de cette espèce au niveau local pour assurer le rétablissement de la population à l'échelle régionale.

## **B- Effets en phase d'exploitation**

### **a- Impact pressenti : augmentation du trafic maritime**

L'augmentation du trafic attendue dans la baie de Saint Leu est liée à l'extension de la capacité d'accueil du port de l'ordre d'une centaine d'emplacements, soit une augmentation de l'offre sur la côte Ouest de l'île d'environ 10% (darse Titan du Port Ouest).

#### *Nature de l'impact engendré*

Les impacts envisagés sur les cétacés sont à ce niveau de deux ordres :

- ✓ D'une part, augmentation du risque de collision ;
- ✓ D'autre part, augmentation du niveau de bruit et du dérangement lié à la circulation des bateaux.

Il est précisé qu'au large, les bateaux en provenance du port de Saint Leu viendront se mêler à ceux venant des autres ports de l'Ouest de l'île. Cependant, les eaux directement à proximité du port de Saint Leu, et notamment la passe d'accès proprement dite, connaîtront une augmentation de la fréquentation en proportion plus importante que les eaux du large.

### **b- Vulnérabilité des espèces aux impacts pressentis**

#### *Grand dauphin de l'indo-pacifique*

La vulnérabilité du grand dauphin de l'indo-pacifique face au trafic maritime est moins bien documentée que celle du grand dauphin commun (*Tursiops truncatus*). Aucune étude n'a par ailleurs été réalisée en ce sens sur la population de grand dauphin de l'indo-pacifique de La Réunion. Il est donc présenté ici les éléments disponibles pour le genre *Tursiops*.

Les grands dauphins vivent fréquemment au sein de secteurs à forte activité nautique. Ils approchent les bateaux régulièrement (notamment le grand dauphin commun), parfois nagent à l'étrave, ou se nourrissent de proies rendues plus accessibles par la pêche humaine (Corkeron et al., 1990).

Au Mexique, les grands dauphins communs sont largement exposés à un trafic maritime important, et montrent peu de réactions à moins que le bateau s'approche à moins de 5 mètres (Acevedo 1991). Bien que cette espèce montre une grande tolérance aux bateaux, ceux-ci peuvent entraîner des modifications comportementales. Shane (1990) montre que ces modifications de comportements sont cependant moins importantes lorsque les animaux sont en phase de socialisation.

Les grands dauphins peuvent ainsi adopter des comportements de fuite face aux navires. Au Pays de Galles, les grands dauphins résidents tendent à éviter un secteur soumis à une activité nautique importante (P.G.H Evans, in Moscrop 1993 : 67).

Il semble ainsi que les grands dauphins adoptent des réactions variées face à l'approche de navires et au trafic maritime, allant de l'évitement à l'approche. Un trafic maritime conséquent semble de nature à entraîner des déplacements temporaires, mais il n'existe aucune preuve que des odontocètes aient abandonné une part significative de leur habitat à cause du trafic maritime (Richardson et al. in Marine mammals and noise, 1995, p°262). Toutefois, certaines études mettent en avant un déclin de l'abondance des grands dauphins sur des secteurs où la population est exposée à un « whale-watching » conséquent (Bejder et al., 2006).

Concernant le risque de collisions, celles-ci semblent peu courantes avec les petits delphinidés. Il peut cependant arriver que des grands dauphins soient blessés ou tués par les hélices des bateaux (Reynolds 1985 - Fertl 1994). L'augmentation du trafic maritime au large du port va donc entraîner une hausse proportionnelle du risque de blessures liées aux hélices.

**L'impact de la hausse du trafic maritime à proximité du port de Saint Leu est ainsi avéré pour le grand dauphin de l'indo-pacifique (dérangement, risque de collisions).**

### *Dauphin long bec*

Les réactions documentées des dauphins du genre *Stenella* face au trafic maritime sont contrastées.

Dans le Pacifique tropical, les *Stenella* spp. ont tendance à éviter les bateaux approchant à une distance comprise entre 5 et 12 mètres, et montrent un évitement marqué quand le bateau s'approche entre 2 et 5 mètres (Norris et al., 1978 ; D Au et Perryman 1982 ; Hewitt 1985). Dans le Golfe du Mexique, la plupart des *Stenella* spp. approchent les bateaux, alors que le dauphin bleu et blanc tend à les éviter (Wursig et Lynn 1998).

A La Réunion, le dauphin long bec est fréquemment observé à proximité des bateaux. A l'image du grand dauphin de l'indo-pacifique, les réactions sont variées, allant de l'évitement à l'approche.

**L'espèce n'est pas représentée de façon significative à proximité du port de Saint Leu. Ainsi elle devrait être moins concernée que le grand dauphin de l'indopacifique par l'augmentation du trafic maritime dans la baie. En conséquence, l'impact en phase exploitation est considéré comme faible pour l'espèce.**

### *Baleine à bosse*

Les réactions des baleines à bosse face à l'approche des navires, notamment face au « whale-watching », sont relativement bien documentées.

Face à un bateau isolé, les individus montrent des réactions variables, allant de l'approche à l'évitement (Payne, 1978, Salden, 1993). A La Réunion, les couples mères / baleineaux semblent plus sensibles à l'approche des bateaux, et adoptent fréquemment un comportement d'évitement lorsqu'un ou plusieurs d'entre eux se trouvent à proximité.

Bauer (1986) et Bauer et Herman (1986) ont étudié les réactions des baleines à bosse en présence de bateaux, majoritairement de petits bateaux. Les mesures de la fréquence des respirations, des plongées, de la vitesse de déplacement, des échanges sociaux et du comportement aérien (sauts...) sont apparus corrélés au nombre de bateaux, à leur vitesse et à leur changement de direction.

Les résultats varient en fonction de la catégorie d'individus (solitaires, mères/baleineaux, etc.). Des comportements démontrant l'évitement (augmentation des remontées à la surface sans souffle et des plongées sans sortie de caudale) sont largement constatés. Ces effets divers apparaissent quand les bateaux se trouvent à une distance comprise entre 500 mètres et 1 km. Ces auteurs concluent que l'approche de petits bateaux est probablement stressante pour les baleines, la conséquence biologique de ce stress étant inconnue.

Les petits groupes ou les groupes contenant un nouveau-né sont par ailleurs plus affectés que les grands groupes (Bauer et al., 1993).

ML Green and Green (1990) mettent également en avant des changements significatifs à plusieurs niveaux pour les baleines à bosse lorsqu'un bateau approche à moins de 0.5 mile. Les individus montrent une réduction du temps passé en surface, des plongées plus longues, des changements brutaux de direction (évitement), et la baisse de la vitesse de déplacement après le départ des bateaux. Les effets persistent 20 minutes après leur départ. Green (1990) montre que les baleines se déplacent vers un secteur plus favorable (rayon de 2km) les jours où le trafic maritime est accru ou plus bruyant (activité de parachute ascensionnel par exemple).

Des études sur le long terme montrent qu'à Hawaï les couples mères/baleineaux deviennent moins fréquents en proportion, à proximité des côtes, lorsque le nombre de bateaux de loisirs augmente (Glockner-Ferrari and Ferrari 1985, 1990 ; Salden 1988). Cependant, le lien de cause à effet avec la présence des navires n'est pas prouvé

(Forestell et al., 1991). Clapham et Mattila (1993) mettent également en avant que les mères/baleineaux se montrent plus sensibles à l'approche des bateaux.

De manière contradictoire, Bauer et al. (1993) montrent que la population de baleines à bosse d'Hawaï est en augmentation malgré son exposition aux activités humaines, les effets à long terme sur le niveau des populations ne semblant pas apparents. Hawaï a cependant adopté une réglementation cadrant le « whale-watching » en interdisant l'approche des individus à moins de 100 yards (91m), et jusqu'à 300 yards (274m) au sein de zones désignées comme aire favorable aux couples mères / baleineaux.

Selon les individus, les réactions individuelles semblent ainsi variées. Bien que les bateaux entraînent des changements de court terme au niveau du comportement des baleines, incluant l'évitement, certains individus restent des semaines dans des zones fréquentées par les bateaux et reviennent dans le même secteur les années suivantes (Baker et al. 1988, 1992).

Certains individus ne montrent aucune réaction alors que des bateaux se trouvent dans un rayon de quelques kilomètres. Watkins et al. (1981), montre que le passage d'un tanker dans un rayon de 800m n'a pas dérangé le nourrissage d'un groupe de baleines à bosse. Celles-ci semblent plus sensibles lors des phases autres que le nourrissage (repos, reproduction) (Krieger et Wing., 1984, 1986).

Beach et Weinrich (1989) et Clapham et al. (1993) montrent que sur le site de nourrissage de Cape Cod des baleines à bosse reviennent chaque année et restent sur place plusieurs semaines malgré l'exposition à un trafic maritime intense (pêche et « whale-watching »). Des approches conformes au « code de bonne conduite » édicté n'entraînent pas de réaction. Par contre, des approches inadaptées (proximité, vitesse) entraînent des modifications de comportement (Schilling et al. 1989). Watkins (1986) montre que les baleines tendent à devenir moins sensibles à la présence des bateaux au fur et à mesure que cette présence augmente, suggérant ainsi une habitude au trafic maritime. Cependant, les individus tendent à être discrets quand des bateaux se trouvent à proximité immédiate. Certaines baleines, notamment des jeunes, peuvent approcher des bateaux de « whale-watching » se mouvant doucement (Watkins 1986 ; Belt et al. 1989).

Enfin, Norris et Reeves (1978) font le lien entre d'une part la baisse significative de la densité de baleines à bosse hivernant à Hawaï (au large la côte d'Oahu) et passant l'été au large de l'Alaska et d'autre part l'augmentation significative du trafic maritime observé entre les années 1940 et 1950. Bien que le lien direct ne soit pas formellement établi, la cause principale semble être l'impact cumulatif du trafic maritime, des bateaux de touristes et des avions (Shallenberger 1978). De la même manière, la densité de baleines à bosse semble être inversement proportionnelle au trafic quotidien de bateaux et à l'activité humaine (Herman 1979, Kaufman and Wood, 1981).

**En résumé, il semble que les baleines à bosse soient sensibles à l'approche des navires, notamment les couples mères / baleineaux. Une approche respectant des**

lignes de conduites, limitant la distance et la vitesse d'approche ainsi que le nombre de bateaux, semble de nature à diminuer la perturbation.

L'impact de l'augmentation du trafic maritime à proximité du port de Saint Leu est ainsi considéré comme avéré en ce qu'il est de nature à entraîner une modification du comportement des individus, mais sur une surface relativement faible eu égard à l'habitat disponible pour l'espèce à La Réunion.

### 6.2.3.2 Effets du projet sur les tortues marines

#### A- Effets en phase chantier

##### a- Panaches de turbidité

Les matières en suspension liées à la phase de chantier limitent la pénétration de la lumière et freinent ou stoppent la croissance des algues et plantes marines dont se nourrissent les tortues marines.

De plus ces matières en se déposant sur les fonds peuvent être à l'origine de mortalité par recouvrement des espèces fixées (coraux, algues,...).

##### b- Émissions sonores

La plupart des activités humaines dans et aux abords des océans génère des bruits sous-marins.

La sévérité de l'impact dépend des caractéristiques du bruit (intensité, fréquence, durée,...). Certaines caractéristiques océanographiques, comme le relief du plancher océanique, ainsi que la profondeur, la température, la salinité et les différences de densité de l'eau, peuvent influencer sur la transmission du son lorsqu'il se propage dans l'eau. Par exemple, le niveau sonore diminue rapidement en eau peu profonde. À grande profondeur, le son se propage plus loin, en particulier lorsqu'il existe des voies acoustiques pour transmettre et focaliser l'énergie sonore (Pêche et Océans Canada, 2010).

Très peu d'études ont été menées à ce jour pour évaluer l'impact de la pollution sonore sur les tortues marines et les modifications de comportement que cela pourrait engendrer.

Les tortues marines n'ont pas d'oreille externe. Leur tympan se résume à une dépression crânienne recouverte de peau formant l'espace de l'oreille moyenne (Lenhardt et al., 1985). Les vibrations de l'eau sont alors perçues par les os (conduction osseuse) et conduites via un canal auditif rempli de liquide et de graisse jusqu'à leur oreille interne (Lenhardt 1982, Lenhardt et al. 1983, Lenhardt and Harkins 1983, Moein-Bartol et al. 1999). Elles sont capables d'entendre les sons graves (de basse fréquence) avec une sensibilité maximale comprise entre 300 et 500 Hz pour les tortues vertes (Ridgeway et al., 1969). De plus, elles peuvent capter les sons produits par les vagues sur les plages (Lenhardt et al., 1983).

Une étude de mesures de sons de basse fréquence au niveau d'habitats marins côtiers de tortues marines a révélé que la pollution sonore peut affecter le comportement et la santé de ces espèces (Samuel et al., 2005). Elle peut engendrer divers effets allant de la modification du comportement (perturbation légère, interruption d'activité, départ des habitats clés) à une désorientation, des dommages auditifs, la perte de contrôle moteur, ou encore, dans le pire des cas, la mort des individus (Duronslet et al., 1986 ; Slay & Richardson, 1988 ; Lenhardt, 1994 ; Lutcavage et al., 1997).

Les tortues marines réagissent par des mouvements à partir de signaux d'intensité de 55 à 59 dba (Lenhardt et al. 1983). Les blessures et les dommages auditifs permanents des tortues adultes sont susceptibles de se produire à des sons de 240 dba, alors que des modifications du comportement peuvent intervenir à des niveaux inférieurs à 120 dba (plan de gestion des tortues marines (PGTM) ciblé sur l'impact du développement du port de Port Hedland en Australie. 2011).

Il semblerait que les travaux de dragage n'engendrent pas de blessures ou de perte auditive chez les tortues marines. De manière générale, elles montrent dans ces cas-là un comportement d'évitement de ces zones perturbées. Il est également possible qu'elles viennent à s'habituer au bruit et qu'elles restent à proximité pendant une certaine période.

Le bruit de la construction des piles d'une jetée a été considéré comme moyen dans le cadre de l'étude d'impact du développement du port de Port Hedland en Australie, et il a été considéré que la production régulière d'impulsions pour la construction des piles engendrerait un comportement d'évitement (PTGM Port Hedland, 2011).

**En ce qui concerne le projet d'extension du port Saint Leu, les travaux de dragage et de battage de pieux risquent d'engendrer la production d'ondes sonores dérangeantes pour les tortues marines. Elles devraient donc se déplacer et s'éloigner des zones de production de sons.**

**De plus, les sons produits par ces différents travaux ne seront pas d'une intensité mortelle pour ces espèces.**

**En revanche, un brise-roche pourrait produire des sons plus nuisibles pour les tortues s'ils viennent à dépasser 220 à 240 dba et impacter directement les individus en occasionnant des blessures plus ou moins graves.**

### **c- Éclairage**

**L'éclairage a une influence importante sur les tortues en phase de reproduction (phototropisme négatif pour les femelles et positif pour les nouveaux-nés).**

**La reproduction des tortues vertes sur Saint Leu depuis 2004 se situe entre les mois de juillet et octobre pour les pontes et entre septembre et décembre pour les émergences (naissance).**

## **d- Déchets**

Un chantier de ce type génère une quantité importante de déchets divers, dont la gestion rigoureuse doit empêcher leur dissémination dans l'environnement. Les entreprises et l'ensemble du personnel intervenant sur le chantier doivent être sensibilisés au problème.

## **B- Effets en phase d'exploitation**

### **a- Rejet des eaux de carénage**

Lors d'une opération de carénage, la peinture « antifouling » présente sur la coque des bateaux est « décollée » en même temps que les algues et les coquillages grâce à l'utilisation d'un laveur haute pression.

Actuellement, très peu de chantiers de carénage sont équipés d'un système de collecte et de traitement de ces effluents. De ce fait, les composants chimiques constitutifs des peintures « antifouling » se retrouvent dans le milieu naturel. Pris au cas par cas, les petits chantiers de carénage représentent une faible source de pollution du milieu marin. Toutefois, la pollution générée cumulée par plusieurs chantiers devient non négligeable. De plus, les eaux de carénage seront rejetées via le réseau de collecte des eaux pluviales communal dans le lagon.

Ces pollutions seront confinées et feront l'objet d'un traitement spécifique dans le cadre du réaménagement de l'aire de carénage.

### **b- Accroissement du trafic maritime**

Comme présenté pour les cétacés, les risques de collision entre les bateaux et les tortues marines seront accrus suite à l'extension de la capacité d'accueil du port.

### **c- Éclairage public**

Les tortues comme les oiseaux marins sont très sensibles aux éclairages artificiels. Les femelles recherchent pour ponte les zones sombres du littoral. Les nouveaux-nés, au contraire, se dirigent toujours vers la zone de l'horizon la plus lumineuse.

**La mise en lumière du projet présente une incidence avérée sur les populations de tortues marines.**

## 6.3 Synthèse des effets du projet sur l'environnement

		Effets temporaires (phase chantier)	Effets permanents (phase d'exploitation)
<b>Milieu Physique</b>	Niveau d'eau du lagon		Direct
	Dynamique hydro sédimentaire		Direct
	Transport de sable		
	Barrière corallienne		
	Courantologie "gauche de Saint Leu"		
	Qualité de l'eau	Direct	
<b>Milieu naturel</b>	Avifaune	Direct	Direct
	Flore terrestre	Direct	Direct
	Peuplement corallien	Indirect	
	Faune marine	Indirect	Indirect
<b>Paysage</b>	-	Direct	Direct
<b>Milieu humain</b>	Usages	Direct	Direct
	Circulation	Direct	Direct
	Hygiène, santé et salubrité	Direct	Indirect
	Réseaux	Direct	Direct
	Sécurité	Direct	Direct

	Effet positif fort		Effet négatif fort
	Effet positif moyen		Effet négatif moyen
	Effet positif faible		Effet négatif faible
	Pas d'effet		

Tableau 6.5 : Synthèse des effets du projet sur l'environnement

## Mesures réductrices, compensatoires et d'accompagnement

### 7.1 Management environnemental de l'opération

#### 7.1.1 Comité de suivi du Milieu Marin

Au vu des enjeux environnementaux du site sur lequel il est prévu d'implanter le projet, notamment vis-à-vis du milieu marin, il convient de mettre en œuvre une démarche de management environnemental de l'opération, qui débutera pendant la phase de conception du projet et se poursuivra après la mise en service du port réaménagé.

Les dispositions proposées fixent plusieurs objectifs dont la ligne directrice générale consiste à maîtriser les impacts environnementaux et réduire les nuisances sur l'environnement.

Le pilotage de la démarche de management environnemental de l'opération sera assuré par un Comité de Suivi du Milieu Marin qui sera chargé de :

- ✓ statuer sur les modalités du suivi environnemental du chantier ;
- ✓ s'assurer de la qualité et de la pertinence du protocole de suivi et des mesures d'accompagnement mises en œuvre ;
- ✓ contrôler l'efficacité des mesures réductrices adoptées ;
- ✓ faciliter l'acceptation du projet auprès des autorités et des populations.

Ce Comité sera animé par un coordonnateur environnement spécifiquement mandaté et regroupera le Maître d'ouvrage TCO, la ville de Saint Leu, les services de l'Etat (DEAL, ARS), la RNNMR, des scientifiques associés (Université de La Réunion, Globice, Kelonia...) et des usagers de la mer.

#### 7.1.2 Organisation en phase chantier

Les procédures de contrôle et les mesures d'accompagnement qui seront à la charge du maître d'œuvre du projet et des entreprises de travaux seront contractualisées sous la supervision du coordonnateur environnement et déclinées de façon détaillée dans des Plans d'Assurance Environnement (PAE) afin de s'assurer de l'implication de chacun en matière de réduction des impacts et de la cohérence de la chaîne de contrôle et de décision pendant le déroulement du chantier.

Le coordonnateur environnement procédera à des actions d'information et de sensibilisation du personnel des différentes entreprises intervenant sur le chantier concernant :

- ✓ la sensibilité écologique du lagon et la reconnaissance des espèces sensibles ;
- ✓ les enjeux environnementaux de l'opération ;
- ✓ les bonnes pratiques à adopter au quotidien aussi bien en termes de prévention des risques que de gestion de crise (gestion des déchets, confinement et traitement de la pollution, prise en charge / sauvetage d'animaux tels que les pétrels...).

Chaque entreprise intervenant sur le chantier diligentera un référent environnement qui sera l'interlocuteur du coordonnateur et sera chargé de la mise en application des procédures du PAE et du contrôle interne de l'entreprise.

Chaque PAE devra comporter les éléments suivants :

- ✓ L'engagement de l'entreprise à désigner un référent environnement ;
- ✓ L'identification par l'entreprise des risques de pollutions et de nuisances générés pour chacune des phases de chantier, en fonction des procédés retenus et du phasage des opérations ;
- ✓ La description des moyens proposés (moyens humains, dispositions constructives) en termes de prévention des risques et de réduction des impacts, afin d'atteindre les objectifs de préservation de l'environnement fixés dans le cahier des prescriptions environnementales ;
- ✓ La description détaillée des différentes procédures de suivi et de contrôle interne destinées à s'assurer de l'efficacité des dispositions prises, y compris les documents de suivi nécessaires ;
- ✓ Les mesures de réparation et de compensation à adopter en cas de défaillance du système.

Le SOGED (Schéma Organisationnel de Gestion des Déchets) constitue le document de référence à tous les intervenants (maître d'ouvrage, entreprises, maître d'œuvre,...) dans le domaine de la gestion des déchets de chantier. Il permet de préciser les interventions de chacun dans les thématiques suivantes :

- ✓ Les modalités de tri sur le site des différents déchets de chantier ;
- ✓ Les méthodes envisagées pour réduire à la source la quantité et la nocivité des déchets ;
- ✓ Les centres de stockage et/ou centres de regroupement et/ou unités de recyclage vers lesquels seront acheminés les différents déchets, en fonction de leur typologie et en accord avec le gestionnaire devant les recevoir ;

- ✓ L'information en amont quant à la nature et à la constitution des déchets et aux conditions de dépôt envisagées sur le chantier ;
- ✓ Les modalités retenues pour assurer le contrôle, le suivi et la traçabilité ;
- ✓ Les moyens matériels et humains mis en œuvre pour assurer ces différents éléments de gestion des déchets ;
- ✓ L'établissement d'un diagnostic du gisement des déchets tant qualitatif que quantitatif.

Le maître d'œuvre et le coordonnateur environnement seront chargés de s'assurer de la bonne prise en compte des enjeux environnementaux par les entreprises en charge des travaux et de vérifier la fiabilité des dispositions proposées, aussi bien en termes de procédures que de mise en application sur le chantier.

Une démarche d'amélioration continue basée sur le retour d'expérience sera également mise en œuvre par l'intermédiaire des réunions de chantier et des reportings assurés par chaque intervenant.

### **7.1.3 Mesures de suivi et mesures compensatoires**

L'ensemble des données collectées dans le cadre de l'étude d'impact et des suivis seront mis à disposition de la RNMR et des systèmes d'information nature et paysage terre et mer des services de l'État pour améliorer la connaissance de l'environnement marin.

L'IFREMER, l'ONEM et la DEAL développent depuis plusieurs années les modules sous Quadrigé2 et BD Récif OI d'entrée des données acquises lors d'études d'impact environnemental à La Réunion. Cette bancarisation apporte l'assurance d'une centralisation de l'information et d'une validation des valeurs importées.

Les données issues du suivi du milieu marin présenté ci-après et qui sera mis en œuvre pendant et après le chantier sous le pilotage du coordonnateur environnement pourront être intégrées à la base de données de surveillance du littoral Quadrigé2 de l'IFREMER.

Le cahier des charges de la mission du prestataire en charge explicitera les conditions de restitution des données afin qu'elles respectent le formalisme nécessaire pour faciliter leur bancarisation dans ce système d'information et permettre ainsi leur valorisation. L'opération doit être en effet anticipée afin qu'un filtre d'entrée puisse être mis en place par l'IFREMER, destiné à faciliter l'importation des données, et compte tenu que la procédure est encore expérimentale.

Les données hydrologiques et sédimentologiques sont bancarisées sous Quadrigé2 et les données relatives aux recouvrements coralliens et aux abondances de poissons sous BD Récif OI.

### 7.1.3.1 Mammifères marins et tortues marines

#### A- Description de la mesure

**Les mesures de suivi des impacts résiduels pendant le chantier sont l'occasion au titre des mesures compensatoires d'approfondir et d'améliorer les connaissances liées aux gênes acoustiques des mammifères et tortues qui peuvent être générées sur ce type d'intervention. En effet, il a été relevé lors de l'analyse des effets du bruit sur la faune marine qu'il existait peu de données de référence en la matière.**

Dans l'optique de disposer de données précises quant à la nature et l'ampleur des émissions acoustiques générées, et d'en évaluer concrètement l'impact éventuel sur la faune marine, il est proposé de mettre en place un suivi acoustique des phases de dragage et de battage qui ont été identifiées comme les plus impactantes.

Il est rappelé que ces travaux maritimes se dérouleront hors période de migration des baleines à bosse et de reproduction des tortues vertes (juillet à octobre).

Les modalités précises et les conditions de mise en œuvre de ces études seront définies par le coordonnateur environnement et soumises à l'approbation du Comité de Suivi.

Les niveaux de bruit émis par le chantier ainsi que la description de la propagation de l'onde sonore seront caractérisés à partir d'une étude acoustique préalable mais également de données collectées in situ (enregistrements acoustiques) par l'association GLOBICE et par KELONIA au cours des prospections visuelles et acoustiques réalisées dans le cadre de leur réseau d'observation.

Cette étude acoustique préalable permettra de recueillir un jeu de données acoustiques représentatif des niveaux de bruit émis par le chantier dans des conditions hydrodynamiques précises (vent, houle, pluie...) et permettra de caractériser la zone d'influence acoustique du chantier par saison et ainsi d'en préciser l'incidence sur les espèces patrimoniales identifiées dans le présent dossier.

La modélisation acoustique permet de définir les niveaux d'émission en fonction de la fréquence acoustique et la directivité spatiale du bruit émis (gabarits sonores).

L'étude acoustique permettra également de vérifier le respect des valeurs plafond définies en l'état actuel des connaissances au regard des impacts identifiés sur les cétacés et les tortues, à savoir :

- 145 dB ref  $1\mu\text{Pa}^2/\text{s}$  (SEL) et 180 dB ref  $1\mu\text{Pa}$  (peak-peak), bruit de fond compris, mesuré à l'extérieur du lagon (cétacés)
- 166 dB ref  $1\mu\text{Pa}^2/\text{s}$  (SEL) et 180 dB ref  $1\mu\text{Pa}$  (peak-peak), bruit de fond compris, mesuré à l'intérieur du lagon (tortues marines).

Les mesures seront réalisées sur la plage de fréquence 7Hz – 160kHz.

L'étude acoustique sera complétée par des prospections visuelles (tortues et cétacés) et acoustiques (cétacés uniquement) in situ réalisées pendant le chantier et visant à caractériser l'influence des émissions sonores sur le comportement de ces espèces.

Le long de transects prédéfinis, une prospection visuelle continue, couplée à un échantillonnage acoustique (stations ponctuelles), sera conduite afin de détecter la présence de cétacés et/ou de tortues. Les radiales seront parcourues à vitesse constante (5 noeuds) et dans de bonnes conditions météorologiques (Vent < 3 Beaufort). Les stations acoustiques seront réalisées de manière régulière (toutes les 15 minutes) grâce à un hydrophone tracté à l'arrière du bateau. Une écoute d'une minute sera réalisée. A l'issue de l'écoute, le niveau de bruit ambiant sera noté (faible – moyen -fort) ainsi que le type de vocalises perçues. Lors de la détection de cétacés ou tortues, le transect sera interrompu pour collecter des données de base (identification de l'espèce - nombre d'individus - activité). Tous les enregistrements seront géo-référencés (position GPS).

Les données collectées lors de l'observation seront de plusieurs natures :

- ✓ espèce ;
- ✓ nombre d'individus et de juvéniles ;
- ✓ description comportementale ;
- ✓ structuration sociale du groupe ;
- ✓ photo-identification.

Ces données permettront de caractériser la fréquentation du site par les différentes espèces au cours de la phase de stockage. Une comparaison sera ensuite effectuée avec les données antérieures relatives au même site collectées par GLOBICE et KELONIA.

L'objectif ici est de rechercher une éventuelle modification de la fréquentation de ces espèces patrimoniales et de leur comportement suite aux phases de dragage et de battage.

En cas d'observation de cétacés ou tortues à proximité du port et de la zone de travaux, leur activité et leur comportement de surface seront décrits afin d'évaluer les interactions éventuelles avec les ouvrages.

## **B- Restitution**

La restitution de cette mesure fera l'objet de 2 rapports successifs soumis à l'approbation du Comité de Suivi :

- ✓ La modélisation acoustique de la propagation en mer des bruits les plus impactants du chantier et la définition de l'aire d'influence du chantier ;
- ✓ L'étude comportementale des cétacés et tortues marine, comprenant :

- une cartographie sonore sous-marine décrivant la propagation et le niveau du bruit généré ;
- une cartographie des transects réalisés et des observations et écoutes effectuées ;
- la caractérisation de l'influence acoustique des phases de dragage et battage sur le comportement des populations de cétacés et de tortues.

### ***C- Coût de la mesure***

Le coût de ces mesures de suivi est estimé à 120 k€ HT dont 40 k€ HT pour l'étude acoustique préalable et 80 k€ HT pour 2 périodes de suivi en phase chantier représentant les périodes de dragage et de battage de pieux.

Un hydrophone sera également positionné sur une des stations de suivi du milieu marin pendant les travaux maritimes.

## **7.1.3.2 Qualité de l'eau**

### **A- Description de la mesure**

Les mesures de suivi proposées portent sur :

- ✓ la surveillance de la turbidité avant et pendant les travaux, afin de mettre en œuvre une procédure d'alerte ;
- ✓ un contrôle des contaminants sur la chaîne trophique avant et après travaux.

Les modalités précises et les conditions de mise en œuvre de ce suivi seront définies par le coordonnateur environnement et soumises à l'approbation du Comité de Suivi.

#### **a- Suivi de la turbidité sur la durée des travaux (4 mois)**

**Étant donnée la présence de peuplements coralliens d'un grand intérêt écologique et d'activités de baignade aux abords de la zone de travaux, l'objectif du suivi est de surveiller l'efficacité des mesures réductrices (confinement par rideau filtrant) vis-à-vis du risque de propagation des matières mises en suspension par les activités du chantier et autres contaminations.**

Les rideaux filtrants retenus servent à confiner les panaches afin d'obtenir une re-sédimentation mais ne permettent pas de capter les fines.

La turbidité est un paramètre très variable, fonction de nombreux facteurs tels que les précipitations (apports terrigènes), l'agitation et la courantologie (remise en suspension de sédiments) ainsi que les floraisons phyto-planctoniques.

La campagne de mesures sera engagée préalablement au chantier pour établir un Etat Zéro (identification du bruit de fond et vérification de compatibilité avec les seuils d'alerte retenus) puis pendant l'ensemble des travaux maritimes et comprendra les chaînes de mesures suivantes :

- ✓ MES : 3 mesures par semaine (différence de pesée après séchage à l'étuve) ;
- ✓ Turbidité : mesure en continu par l'intermédiaire d'un turbidimètre (norme ISO 7027) installé sur une bouée.

Les points de mesure seront installés dans le lagon entre la zone de travaux et les zones à enjeux afin de détecter toute panache de pollution qui aurait échappé au confinement mis en place par ailleurs.

Il est proposé la mise en œuvre de 3 stations :

- ✓ l'une au Sud de la zone de chantier pour la surveillance de la plage du centre-ville et de la zone sanctuaire située au Sud de l'exutoire de la ravine du Grand Etang ; ce point de mesure ne devra pas être perturbé par les apports de la ravine ;
- ✓ une 2<sup>ème</sup> aux abords de la passe d'entrée du port ;
- ✓ enfin, une 3<sup>ème</sup> au Nord de la zone de chantier pour la surveillance de la zone d'intérêt écologique majeur située à proximité de la Gauche de Saint Leu.

La détermination précise des sites d'implantation des stations, les différents paliers de la colonne d'eau à mesurer et les seuils d'alerte à retenir pourront être définis en concertation avec le Conseil Scientifique de la RNNMR et les services de la DEAL.

Les procédures d'organisation du chantier prévoient que le dépassement des seuils fixés entraînera de façon immédiate :

- ✓ Dans un 1<sup>er</sup> temps la mise en œuvre de mesures d'atténuation (méthodes de travail, cadencement...)

Le seuil afférent proposé est de 10 NTU.

Dans le cas où ce seuil serait atteint sur une durée supérieure à 24 heures, les travaux maritimes seront interrompus.

- ✓ Dans un second temps un arrêt immédiat du chantier.

Le seuil afférent proposé est de 20 NTU.

La procédure de surveillance proposée suppose la mise en œuvre d'une télétransmission des mesures de turbidité et de la mise en place d'une alerte en temps réel des intervenants du chantier (entreprise, maîtrise d'œuvre).

## **b- Suivi des contaminants**

La matrice cible est constituée d'organismes marins filtreurs de type Modioles ou échantillonneurs passifs.

### Nota :

Les modioles sont actuellement employées pour le suivi expérimental de contaminants divers, dont les ETM et les pesticides, dans le cadre du suivi DCE. Toutefois, cette méthode est encore en phase test et le résultat de la campagne en cours déterminera sa faisabilité comme réseau de surveillance (impact sur le gisement de modioles restant à évaluer notamment).

Le projet PEPS a en revanche permis de valider la faisabilité et la pertinence d'une mise en œuvre d'échantillonneurs passifs (DGT, POCIS, SBSE) pour le suivi DCE à La Réunion. Ces outils permettent de suivre la très grande majorité des substances retenues pour La Réunion, y compris les substances hydrophobes, et répondent 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.

Dans le cadre de la mesure de métaux, l'échantillonneur DGT ou DGT spécial Hg est préconisé dans le guide DCE « Contaminants chimiques », avec des périodes d'immersion de 2 à 5 jours.

Les analyses d'écotoxicité porteront sur les ETM détectés Cu, Ni, Cr, Zn, PCB28, 52, 101 présents dans les sédiments de la zone à draguer.

Les mesures seront réalisées à raison de :

- ✓ 1 campagne en préalable au démarrage des travaux ;
- ✓ 1 campagne à l'issue de la 1<sup>ère</sup> année de travaux ;
- ✓ 1 à la fin des travaux maritimes.

Il est proposé de réaliser ces mesures sur les 2 stations décrites précédemment respectivement au Nord et au Sud de la zone de chantier.

## **B- Coût de la mesure**

Le coût des mesures du compartiment eau (turbidité en continu – MES) est estimé à 45 000 €HT.

Le coût des mesures de contaminants sur organismes filtreurs est évalué à 45 000 €HT pour les 3 campagnes.

### 7.1.3.3 Peuplements coralliens

#### A- Description de la mesure

Il est proposé de procéder au suivi des 4 stations non permanentes retenues pour l'élaboration de l'Etat Zéro présenté dans le présent dossier, à raison d'une reconnaissance conforme aux standards préconisés par la Global Coral Reef Monitoring Network/Commission de l'Océan Indien (GCRMN/COI) - « Suivi de l'état des récifs coralliens des pays sud Ouest de l'Océan Indien » ; Conand & al., 2000).

Le nombre d'inventaires successifs prévu sur chaque station s'établira à 8 (1 inventaire annuel sur chacune des 4 stations pendant 8 ans) :

- ✓ 1 inventaire en préalable au démarrage des travaux ;
- ✓ 1 inventaire au bout de la 1<sup>ère</sup> année de chantier ;
- ✓ 1 inventaire à la fin des travaux maritimes ;
- ✓ 1 inventaire annuel pendant 5 ans après les travaux.

La mise en œuvre du protocole de suivi (GCRMN) et les résultats obtenus seront contrôlés par le Comité de Suivi.

Station	X	Y
Station 1	55,285 E	-21,165 S
Station 2	55,286 E	-21,169 S
Station 3	55,285 E	-21,164 S
Station 4	55,282 E	-21,165 S

Figure 7.1 : Coordonnées géographiques des points centraux des stations de mesures au niveau du récif de Saint-Leu. Référentiel géodésique WGS 84

#### B- Restitution

- ✓ Le rapport d'étude comprendra :
- ✓ une cartographie indiquant l'état de vitalité des peuplements avant, pendant et après les travaux ;
- ✓ la caractérisation de l'influence des travaux sur la vitalité des peuplements.

#### C- Coût de la mesure

Le coût de cette mesure de suivi est estimé à 40 k€HT pour 8 périodes successives.

### **7.1.3.4 Suivi hydro-sédimentaire**

#### **A- Description de la mesure**

Au regard de la complexité d'analyse des phénomènes hydro-sédimentaires en jeu à l'échelle de la zone d'étude en situation aménagée par le biais d'outils de modélisation, il est proposé de mettre en œuvre un suivi de l'évolution hydro-sédimentaire de la zone sur une période de 5 ans ciblé sur les 2 sites suivants :

- ✓ l'embouchure de la ravine du Grand Etang
- ✓ la sortie du port de plaisance

Ce suivi sera effectué suivant la même fréquence annuelle que pour le suivi des peuplements coralliens post travaux, le but étant de vérifier les hypothèses d'étude concluant au non envasement du bassin du port, et de procéder à des mesures correctives si nécessaire.

Un lever bathymétrique détaillé de chaque zone sera réalisé à la fin des travaux dans le cadre des procédures de récolement et constituera l'état de référence.

Dans le cadre du suivi annuel, 2 profils en travers par zone seront réalisés et géo-référencés par rapport à l'état de référence. La comparaison de ces différents levés donnera lieu à un rapport d'intervention annuel qui sera contrôlé par le Comité de Suivi.

Des prélèvements de sédiments pourront être réalisés en présence de dépôts significatifs pour caractérisation de la granulométrie.

#### **B- Coût de la mesure**

Le coût du suivi hydro-sédimentaire est estimé à 60 k€HT.

### **7.1.3.5 Milieu marin – Phase exploitation**

#### **A- Description de la mesure**

Un suivi du milieu effectué par le gestionnaire du bassin portuaire portera sur la qualité des sédiments.

Le programme proposé comprend une station échantillonnée au droit des rejets des réseaux d'assainissement implantés sur l'emprise du projet.

Les paramètres mesurés seront conformes à la circulaire du 14 juin 2000 relative aux « conditions d'utilisation du référentiel de qualité des sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire » complétés par des analyses de HAP, TBT et dérivés.

Les mesures seront effectuées suivant une fréquence annuelle et selon l'échéancier suivant : avant mise en exploitation (année T0) - année T+1 - année T+2 - année T+3 - année T+4 - année T+6 - année T+8 - année T+10.

Les résultats seront consignés au registre d'exploitation du port et transmis au Service de police des eaux littorales.

Les contrôles pourront être mutualisés avec les contrôles de suivi de qualité de sédiments portuaires effectués par la DEAL, après accord du Service de police de l'eau sur la localisation des points et sous réserve que l'ensemble des paramètres suivis soient analysés.

Au vu des résultats d'analyses des 4 premières années, en cas d'impact avéré et significatif sur le milieu récepteur, le gestionnaire des ouvrages devra améliorer les performances épuratoires des systèmes de traitement concernés (traitement des eaux de carénage et des eaux de ruissellement de voirie).

## **B- Coût de la mesure**

Le coût du suivi décennal est évalué à 80 000 €HT.

## **7.2 Mesures réductrices**

### **7.2.1 Mesures réductrices vis-à-vis du milieu physique**

#### **7.2.1.1 Qualité des eaux**

##### **A- En phase chantier**

Les mesures proposées pour prévenir la dégradation de la qualité des eaux seront contractualisées dans les marchés de travaux et placées sous le contrôle du maître d'oeuvre :

- ✓ Utilisation d'engins de chantier (engins terrestres et moyens nautiques) en bon état de marche et contrôlés régulièrement ;
- ✓ Mise en place de rétentions ou de cuves double paroi (stationnement des engins, stockage et utilisation de matières dangereuses) ;
- ✓ Mise à disposition de kits absorbants et de matériel de confinement (barrages flottants), en cas de pollution accidentelle par hydrocarbure ;
- ✓ Stockage des terres souillées sur aire étanche avant évacuation en centre agréé ;
- ✓ Phasage des travaux de terrassement en dehors de la période cyclonique afin d'éviter le ravinement des sols et la dispersion des fines ;

- ✓ Traitement (décantation – déshuilage) des eaux de ruissellement issues des emprises de chantier avant rejet en mer.

Tout aménagement provisoire de collecte et évacuation des eaux de ruissellement dans l'emprise du chantier (fossé, canalisation...) devra être raccordé à une installation de traitement ;

- ✓ Stockage des déblais avant réemploi ou valorisation extérieure sur des zones de dépôts préalablement identifiées et situées hors zone inondable - collecte et traitement des eaux de ruissellement sur ces dépôts – mise en œuvre de géomembrane de stabilisation des talus dans le cas de stockage prolongé ;
- ✓ Implantation des installations de chantier et des zones de dépôt et stockage en dehors des zones inondables ;
- ✓ Récupération des eaux usées de chantier (concerne les sanitaires de chantier et les eaux souillées telles que les eaux de rinçage des toupies) ;
- ✓ Confinement des panaches de turbidité dans le milieu marin pour éviter toute dégradation de la qualité des eaux du lagon.

## **B- En phase exploitation**

### **a- Aire de carénage**

L'aire de carénage (environ 500 m<sup>2</sup>) sera entièrement imperméabilisée et équipée d'un système de récupération des eaux par grille avaloir permettant d'effectuer un traitement, voire un confinement, avant restitution au réseau urbain.

**L'unité de traitement des eaux de carénage est un appareil destiné à piéger toutes les matières décantables contenues dans les eaux de ruissellement, boues, sable, matières en suspension (MES) ainsi que les hydrocarbures.**

Une fraction importante de la pollution Zinc, Plomb, Hydrocarbures est fixée sur les MES.

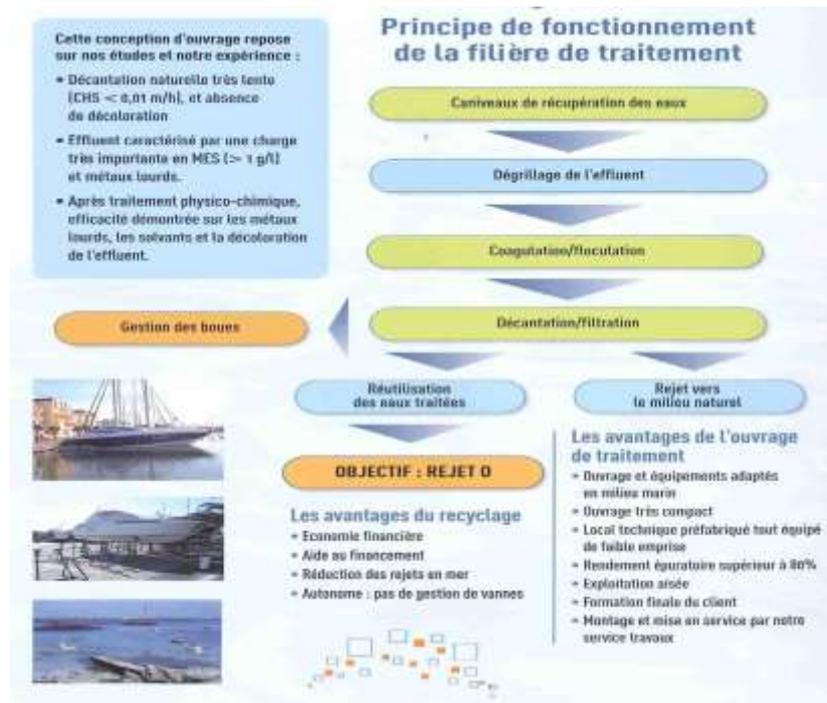


Figure 7.2 : Principe de fonctionnement de l'unité de traitement

Un dispositif d'obturation automatique interdit tout rejet d'hydrocarbures en cas de déversement accidentel.

L'entretien se fait périodiquement (curage des boues et évacuation en décharge).

Les ouvrages de traitement feront l'objet d'un entretien régulier de sorte que l'activité de carénage ne génère aucune pollution du milieu naturel environnant.

Le gestionnaire du port transmettra, avant le démarrage des travaux, au Service de police des eaux littorales les principales caractéristiques techniques des équipements retenus (principe de dépollution de chaque unité, dimension, volumes, taux d'abattement constructeur,...).

Le système sera équipé d'un dispositif de régulation des débits d'entrée permettant de by passer l'installation au-delà de sa capacité de traitement.

Les eaux by-passées devront être préalablement débarrassées de leurs macro-déchets éventuels (dégrillage).

Un suivi de la qualité de l'eau sera réalisé par le gestionnaire du port 2 fois par an en entrée et en sortie de l'unité de traitement dans les conditions suivantes :

- ✓ une série de prélèvements en période de forte activité de carénage sur l'aire concernée ;

- ✓ une série de prélèvements annuels par temps de pluie.

Les prélèvements en sortie de l'unité seront effectués sur les premiers flots de rejet de l'unité de traitement.

Les analyses effectuées par un laboratoire agréé porteront sur les MES, la DCO, les hydrocarbures, les HAP, les PCB, les éléments traces métalliques (ETM), le TBT.

Les taux de pollution en sortie devront correspondre aux seuils définis par l'exploitant des réseaux d'assainissement sanitaire communaux.

#### **b- Réseau d'assainissement pluvial**

Un réseau d'assainissement pluvial assurera la collecte des eaux de toiture des bâtiments du projet et des eaux de ruissellement issues des surfaces imperméabilisées (voiries, trottoirs, parvis, parkings).

**Les eaux de ruissellement feront l'objet d'un traitement préalable par séparateur à hydrocarbures afin de prélever les éventuelles fractions huileuses.**

#### **C- Coût de la mesure**

Le dispositif de traitement des eaux issues de l'aire de carénage est estimé à 50 k€HT.

Le séparateur à hydrocarbures destiné aux eaux pluviales est estimé à 25 k€HT.

### **7.2.1.2 Qualité de l'air**

#### **A- Équilibre déblais-remblais**

Le chantier du projet entraînera des déblais (19 000 m<sup>3</sup>) et des remblais (7500 m<sup>3</sup>).

Dans la mesure du possible (compatibilité des matériaux, phasage des opérations), l'équilibre entre les déblais et les remblais sera optimisé afin de limiter les circulations d'engins à travers le centre-ville de Saint Leu et ainsi réduire les impacts en termes de nuisances aux riverains et pollution (envols de poussière).

Les recherches d'optimisation porteront sur l'adaptation des bâtiments et ouvrages à la topographie du site et sur la réutilisation sur place des matériaux déblayés, éventuellement après criblage et traitement.

#### **B- Mesures contre l'envol de poussière**

Les travaux terrestres sont susceptibles d'induire des envols de poussières en période sèche. Selon la période et les conditions climatiques, il conviendra éventuellement de prendre des mesures pour limiter ces éventuels envols de poussières, à savoir :

- ✓ L'arrosage des pistes et des aires de chantier, lors des périodes de terrassement importantes.

Il sera préférentiellement effectué avec les eaux pluviales afin de limiter la consommation d'eau potable ;

- ✓ Le bâchage des camions et des bennes ;
- ✓ La limitation de la vitesse des véhicules sur le chantier à 20 km/h.

## **C- Les risques naturels**

Le risque d'incendie sera limité par le respect des consignes de sécurité sur le chantier et par l'interdiction absolue des brûlages de matériau.

Toutefois, la zone de chantier sera équipée du matériel de protection incendie réglementaire (sable, réserve d'eau, extincteurs) et sera en permanence accessible aux services de secours et d'incendie.

## **7.2.2 Mesures réductrices vis-à-vis du milieu naturel**

### **7.2.2.1 Milieu marin**

L'impact du projet sur l'environnement marin, et plus particulièrement les grands mammifères marins, les tortues marines et les écosystèmes coralliens, peut être atténué par la mise en œuvre des mesures suivantes :

- ✓ diminuer la perturbation acoustique des cétacés et tortues marines ;
- ✓ limiter la dispersion dans le lagon des matériaux mis en suspension ;
- ✓ promouvoir une navigation respectueuse de la présence des cétacés et tortues marines dans la passe d'entrée et plus généralement dans la baie de Saint Leu ;
- ✓ mettre en place des éclairages respectueux des activités vitales des tortues marines et de l'avifaune.

Ces mesures sont détaillées ci-après.

## **A- Mesures de confinement des matières en suspension**

### **a- Description de la mesure**

Les travaux maritimes liés à l'extension du bassin portuaire (construction d'une nouvelle digue de protection, démolition partielle de la digue existante, prolongement du quai actuel) et de dragage du bassin génèrent des remises en suspension de particules fines qui sont susceptibles de se disperser dans le lagon.

Il est donc nécessaire de mettre en œuvre en permanence pendant ces travaux des mesures de confinement des panaches de turbidité afin de faciliter la re-sédimentation des fines dans les zones de chantier qui ne présentent pas d'enjeu écologique.

Il est à noter que les investigations réalisées au droit de l'emprise de l'extension du bassin mais également à l'intérieur du port actuel ont permis de conclure sur la présence d'une fraction très faible, de l'ordre de 2 à 4%, de vases sur les fonds marins.

Par ailleurs, le phasage de l'opération permet de réaliser certains travaux hors d'eau afin d'éviter toute mise en suspension de matériaux fins ; c'est notamment le cas du dragage de l'extension qui sera réalisé après construction de la digue de protection (qui assurera le confinement de la zone), ainsi que de la nouvelle cale de mise à l'eau qui sera construite à l'intérieur d'un batardeau de palplanches.

**La mesure réductrice proposée pour le confinement des matières en suspension consiste en la réalisation de tous les travaux maritimes sous la protection d'un rideau filtrant couvrant toute la colonne d'eau afin d'éviter la propagation des matières en suspension.**

**Des rideaux constitués de mailles de quelques dizaines de microns (60 microns environ) sont commercialisés. La mise en place de rideaux multi-couches permet par ailleurs d'augmenter le pouvoir de rétention de ces géotextiles, alors même que les sédiments présents sur les fonds au droit de la zone de chantier présentent des diamètres moyens compris supérieurs à 300 microns.**

Par ailleurs, les méthodologies de réalisation des travaux de construction d'ouvrages, de battage de pieux pour les appontements ou de dragage excluent l'évolution d'engins de chantier dans le milieu marin ; tous les travaux seront réalisés à partir de barges ou des ouvrages existants.

#### **b- Coût de la mesure**

La mise en œuvre de rideaux filtrants sur chacun des postes de travail des travaux maritimes en relation avec le milieu marin est estimé à 45 k€ HT.

### **B- Mesures vis-à-vis de la mise en lumière**

#### **a- Description de la mesure**

**L'impact potentiel de l'éclairement sur l'avifaune marine est pris en compte dans le cadre du projet par la mise en application des recommandations de la SEOR (Société d'Études Ornithologiques de La Réunion) :**

- ✓ Éviter toute diffusion de lumière vers le ciel : par l'utilisation d'optiques orientées vers le sol et évitant les flux perdus vers le ciel (ULOR < 3%) ;
- ✓ Utiliser des lampes dont la chromaticité est peu attirante pour les jeunes pétrels et puffins en préférant les lampes Sodium Haute Pression ou Sodium Basse Pression aux lampes Iodures Métalliques ou à Vapeur de Mercure (lumières blanches) ;

- ✓ Adapter l'intensité lumineuse aux besoins réels : en jouant sur la puissance installée et sur les systèmes de commande qui permettent de moduler l'éclairage en fonction des périodes où il est nécessaire d'éclairer ;
- ✓ Eviter d'éclairer les surfaces réfléchissantes (revêtements clairs, plan d'eau, ...).

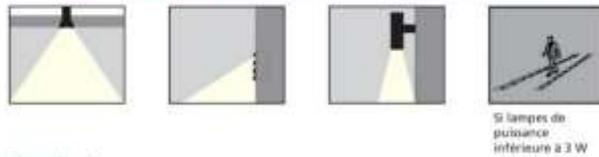
On veillera donc tout particulièrement à n'éclairer que les surfaces fonctionnelles du projet, à l'exclusion de la surface du plan d'eau.

**Au vu de la proximité de zones de reproduction et de ponte des tortues marines, les mesures réductrices suivantes sont également retenues :**

- ✓ Eviter toute diffusion de lumière vers le large ;
- ✓ Veiller à n'éclairer que les surfaces fonctionnelles du projet, à l'exclusion de la surface du plan d'eau ;
- ✓ Privilégier du matériel de mise en lumière disposant du label « Turtle Safe Lighting ».

### Les types de luminaires et leur adéquation avec la proximité d'un site de ponte

#### Convient tout à fait



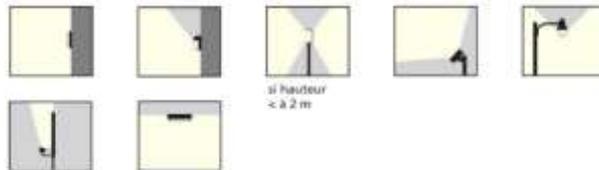
#### Convient



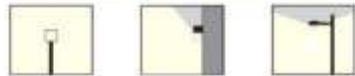
#### Considéré passable



#### Ne convient pas



#### Ne convient pas du tout



Les dispositions ci-avant en matière d'éclairage directionnel seront mises en œuvre également en phase chantier pour ce qui concerne l'éclairage provisoire des postes de travail.

#### b- Coût de la mesure

Le remplacement des installations d'éclairage public existantes représente un coût évalué à 130 k€HT.

#### C- Mesures d'atténuation des émissions acoustiques

Les sources majeures d'émissions acoustiques pouvant générer des nuisances sur l'environnement et en particulier sur les mammifères marins sont les travaux de dragage (notamment de déroçtage), de battage de pieux et dans une moindre mesure de mise en œuvre d'enrochements dans le cadre de la construction de digues.

L'incidence acoustique est dépendante des dispositions constructives retenues qui à ce stade des études ne sont pas totalement définies.

Toutefois, plusieurs mesures peuvent être mises en place lors des travaux pour atténuer cet impact acoustique.

### a- Mise en place de rideaux de bulles d'air

#### *Description de la mesure*

📖 *Éléments techniques et descriptifs fournis par le bureau d'étude IN VIVO*

La mise en place de rideaux de bulles d'air autour de l'engin de dragage ou de battage de pieux permet de réduire l'énergie acoustique transmise vers le milieu marin. Ce procédé est notamment efficace dans les eaux peu profondes, et bénéficiant d'un courant faible (Würsig, et. al., 2000).

L'utilisation d'un rideau de bulles est une disposition de plus en plus retenue comme moyen d'atténuer les ondes de choc lors des travaux maritimes.



Figure 7.3 : Illustration du principe de fonctionnement d'un rideau de bulles

A titre d'exemple, l'Etat de Californie s'est doté d'une procédure standard, depuis février 2009, qui intègre, entre autres, l'utilisation de rideaux de bulles pour limiter l'impact des ondes de choc sur les poissons. L'Etat de Washington a effectué des battages de piles confinés dans des rideaux de bulles entre les années 2000 et 2005 pour la maintenance des terminaux de navires à passagers, principalement pour préserver l'intégrité des poissons. En Europe, le Ministère allemand de l'Environnement travaille à l'élaboration d'une procédure standard de détermination et d'estimation de l'impact des bruits d'éoliennes sur la vie marine, notamment lors de la phase de construction des fondations monopiles et jackets (projet MinosPlus). La technique des rideaux de bulles comme moyen de limiter les impacts est une nouvelle fois avancée.

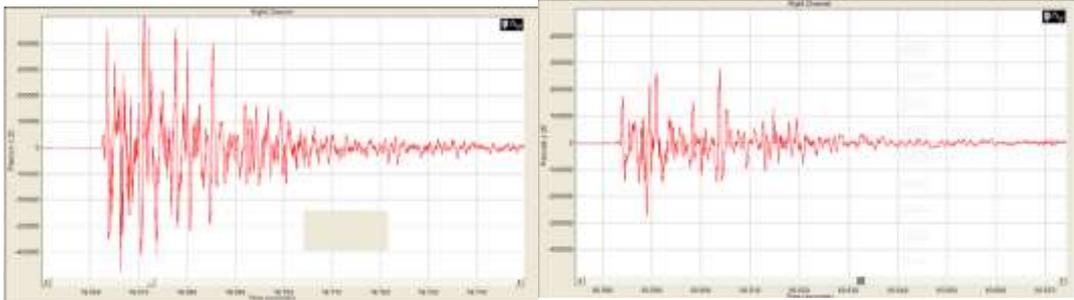


Figure 7.4 : Mesures acoustiques à proximité d'un pieu battu avec ou sans utilisation du rideau de bulles (source KPFF)

Le principe est basé sur l'atténuation de l'onde sonore par l'interaction avec un milieu différent à savoir les bulles d'air (barrière diphasique).

La mise en œuvre peut être réalisée principalement de deux manières :

- ✓ En encerclant la source sonore (cas du battage de pieux) par le rideau à bulles ;
- ✓ En créant une barrière pour confiner la source sonore à l'intérieur d'un bassin.

Dans le cas d'espèce, un rideau à bulles pourra être installé au droit de la passe d'entrée du port (linéaire de 15 mètres) afin d'assurer une barrière vis-à-vis des travaux de dragage et de battage de pieux réalisés à l'intérieur du bassin. Cette barrière ne perturbe pas la circulation des bateaux.

### Coût de la mesure

Le coût de mise en œuvre d'un rideau à bulle au droit de la passe d'entrée incluant tous les frais d'amenée / repli / consommables est estimé à 30 k€HT.

### **b- Montée progressive des émissions sonores**

La montée en puissance progressive des nuisances sonores, ou « ramp up », est une procédure qui a montré son efficacité pour effaroucher les mammifères ou tortues potentiellement présents dans la zone, afin de ne pas les exposer à un niveau sonore susceptible de causer des dommages physiques (Richardson, W.J, et. al., 1995. Marine Mammals and Noise. - Academic Press, San Diego, 576 pp.).

Cette disposition sera intégrée dans les procédures d'exécution des travaux.

Son coût, qui est lié à une réduction provisoire des cadences, est marginal à l'échelle du chantier.

## D- Mesures en Phase Exploitation

### a- Description de la mesure

L'extension de la capacité d'accueil du port de Saint Leu a vocation à générer une augmentation de la fréquentation du port et du trafic nautique dans la baie dont les effets indirects sont :

- ✓ Une augmentation de la production de déchets, en particulier de déchets plastiques ;
- ✓ Un accroissement des risques de collisions entre bateaux et grands mammifères marins ou tortues.

La mesure réductrice proposée consiste à installer sur le site (à l'entrée de la zone piétonne) des panneaux d'information pédagogique ayant pour objectif de sensibiliser la population et les usagers de la mer sur :

- ✓ les habitats et espèces remarquables présents sur la zone d'étude ainsi que leurs activités, déplacements... ;
- ✓ les dangers inhérents à la dispersion des déchets ;
- ✓ les bonnes pratiques à adopter en termes de navigation (charte d'approche des baleines, vitesse aux abords des récifs et dans la passe d'entrée...).

### b- Coût de la mesure

Le coût de la mise en place de 3 panneaux pédagogiques est estimé à 10.5 k€ HT.

## E- Phasage des travaux

**Les travaux maritimes les plus impactants du point de vue des nuisances sonores (à savoir les travaux de dragage et de battage des pieux) seront réalisés en dehors de la période de présence des baleines à bosse et de reproduction des tortues vertes, c'est-à-dire en dehors de la période courant de juillet à octobre.**

Ces dispositions seront contractualisées dans les marchés de travaux.

## F- Impact résiduel

L'impact résiduel présente le niveau d'impact après la mise en œuvre des mesures d'accompagnement présentées ci-dessus.

Pour les impacts acoustiques et liés à la turbidité, cet impact résiduel n'apparaît pas quantifiable de façon précise en l'état actuel des connaissances et des outils techniques d'appréciation.

Cependant, il semble que le niveau général de l'impact résiduel du projet soit conciliable avec la préservation des populations de mammifères marins et de tortues

marines concernés, sous réserve d'une mise en place efficace des procédures d'alerte et de gestion de crise décrites dans le document.

Les mesures proposées permettent en effet :

- ✓ d'éviter la présence de ces espèces dans la zone la plus fortement concernée (suivi visuel et acoustique, « ramp up ») ;
- ✓ de diminuer le niveau de bruit (mise en place de rideaux de bulles d'air) ;
- ✓ d'éviter la dispersion des particules fines (mise en place de rideaux filtrants couvrant toute la colonne d'eau) ;
- ✓ de réduire drastiquement les impacts sur la baleine à bosse (interdiction des travaux maritimes bruyants de juillet à octobre).

L'effort de sensibilisation sur les bonnes pratiques en matière de préservation des populations de mammifères marins et tortues marines qui sera mis en œuvre en phase exploitation semble par ailleurs à même de contribuer à la réduction des impacts permanents indirects envisagés.

## **7.2.3 Mesures réductrices vis-à-vis de la santé**

### **7.2.3.1 Gestion des déchets de l'enceinte portuaire**

#### **A- Description de la mesure**

Un local spécifique dédié à la récupération des déchets portuaires sera aménagé dans l'enceinte portuaire.

Ce local propre sera composé d'un poste de récupération des produits toxiques, d'une cuve de récupération des huiles, d'un conteneur pour les bidons d'huile, d'une colonne pour les piles, d'un bac pour les batteries, d'un conteneur pour les fusées de détresse usagées, d'une caisse pour les palettes, d'un fût avec couvercle pour le stockage des filtres, d'un bac de stockage des cartons, d'une armoire de récupération des fûts, d'une benne ouverte pour le tout-venant, d'une benne fermée étanche pour la récupération des déchets souillés (pots de peinture, pinceaux etc.), d'équipements de sécurité et des équipements pour la gestion des pollutions portuaires accidentelles.

Par ailleurs, la collecte des déchets sera renforcée par la mise en place de 12 poubelles publiques, notamment sur les quais, afin de faire face à l'augmentation de la fréquentation du site.

#### **B- Coût de la mesure**

Le coût d'équipement du local est estimé à 45 k€HT et l'installation de poubelles est estimé à 12 k€HT.

### **7.2.3.2 Gestion des eaux grises de l'enceinte portuaire**

#### **A- Description de la mesure**

La vidange des eaux de fond de cale des navires sera effectuée par une entreprise spécialisée et évacuée vers une destination conforme à la réglementation en vigueur. Les macro-déchets issus des activités de carénage (coquillages, algues...) et piégés par le dégrillage seront éliminés en centre d'enfouissement technique. Les boues recueillies dans les unités de traitement seront évacuées par une entreprise spécialisée, dans un centre de stockage de déchets agréé.

Le gestionnaire du port au Service de police des eaux les procès-verbaux de prise en charge de ces déchets et effluents.

Les opérations d'entretien et de surveillance du système de traitement des eaux de carénage et de ruissellement, la périodicité des vidanges des unités, le volume et la destination des boues seront reportées dans un registre d'exploitation.

### **7.2.3.3 Gestion du bruit**

#### **A- En phase exploitation**

Les dispositions retenues en matière d'atténuation acoustique des bâtiments sont les suivantes :

- ✓ Effet de coupure acoustique des sols et murs par un renforcement d'épaisseur, la mise en œuvre d'isolants, voire l'installation de doubles parois ;
- ✓ Désolidarisation des éléments techniques et de l'escalier du reste de la structure ;
- ✓ Atténuation des bruits extérieurs par la mise en œuvre d'isolants en façade ou de murs rideaux.

#### **B- En phase travaux**

Les entreprises en charge de la réalisation des travaux seront tenues de respecter la réglementation en vigueur en matière de bruit et devront respecter les horaires de chantier suivants : 7h – 18h. Les travaux seront également interdits les jours fériés et le week-end.

Le niveau maximum admissible aux limites du chantier est fixé à 70 dB(A).

Les engins utilisés par l'entreprise devront respecter l'arrêté du 18 mars 2002, dont les valeurs admissibles sont rappelées ci-dessous.

TYPE DE MATÉRIEL	PUISSANCE NETTE INSTALLÉE P, en kW Puissance électrique P <sub>e</sub> (1), en kW Masse m de l'appareil, en kg Largeur de coupe L, en cm	NIVEAU ADMISSIBLE de puissance acoustique, en dB/1 pW (2)	
		Phase 1 à compter du 3 janvier 2002	Phase 2 à compter du 3 janvier 2008 (3)
Engins de compactage (rouleaux compacteurs vibrants et plaques et pilonneuses vibrantes).	$P \leq 8$	108	105
	$8 < P \leq 70$	109	106
	$P > 70$	$89 + 11 \lg P$	$86 + 11 \lg P$
Bouteurs sur chenilles, chargeuses sur chenilles, chargeuses-pelleteuses sur chenilles.	$P \leq 55$	106	103
	$P > 55$	$87 + 11 \lg P$	$84 + 11 \lg P$
Bouteurs, chargeuses, chargeuses-pelleteuses sur roues, tombereaux, niveleuses, compacteurs de remblais et de déchets, de type chargeuse, chariots élévateurs en porte-à-faux à moteur à combustion interne, grues mobiles (4), engins de compactage (rouleaux compacteurs non vibrants), finisseurs, groupes de puissance hydraulique.	$P \leq 55$	104	101
	$P > 55$	$85 + 11 \lg P$	$82 + 11 \lg P$
Pelles, monta-matériaux, treuils de chantier, motobineuses.	$P \leq 15$	96	93
	$P > 15$	$83 + 11 \lg P$	$80 + 11 \lg P$
Brise-béton, marteaux-piqueurs à main.	$m \leq 15$	107	105
	$15 < m < 30$	$94 + 11 \lg m$	$92 + 11 \lg m$
	$m \geq 30$	$96 + 11 \lg m$	$94 + 11 \lg m$
Grues à tour.		$98 + \lg P$	$96 + \lg P$
Groupes électrogènes de soudage, groupes électrogènes de puissance.	$P_e \leq 2$	$97 + \lg P_e$	$95 + \lg P_e$
	$2 < P_e \leq 10$	$98 + \lg P_e$	$96 + \lg P_e$
	$P_e > 10$	$97 + \lg P_e$	$95 + \lg P_e$
Motocompresseurs.	$P \leq 15$	99	97
	$P > 15$	$97 + 2 \lg P$	$95 + 2 \lg P$
Tondeuses à gazon, coupe-gazon, coupe-bordures.	$L \leq 50$	96	94
	$50 < L \leq 70$	100	98
	$70 < L \leq 120$	100	98
	$L > 120$	105	103

(1) La puissance électrique P<sub>e</sub> est égale :  
- pour les groupes électrogènes de soudage, au courant de soudage conventionnel multiplié par le voltage de charge conventionnel pour la plus faible valeur du taux de travail donnée par le fabricant ;  
- pour les groupes électrogènes de puissance, à l'énergie primaire selon la norme NF ISO 8528-1, septembre 1994, point 13.3.2.

(2) Le niveau de puissance acoustique admissible est arrondi au nombre entier le plus proche (pour moins de 0,5, à l'entier inférieur ; pour 0,5 ou plus, à l'entier supérieur).

(3) Les niveaux de puissance acoustique admissibles prévus pour la phase 2 ne sont pas applicables aux types de matériels suivants :  
- rouleaux compacteurs à conducteur à pied ;  
- plaques vibrantes (> 3 kW) ;  
- pilonneuses vibrantes ;  
- bouteurs (sur chenilles d'acier) ;  
- chargeuses (sur chenilles d'acier > 55 kW) ;  
- chariots élévateurs en porte-à-faux à moteur à combustion interne ;  
- finisseurs équipés d'une poutre lisseuse comportant un dispositif de compactage ;  
- brise-béton et marteaux-piqueurs à main à moteur à combustion interne (15 < m < 30) ;  
- tondeuses à gazon, coupe-gazon/coupe-bordures, à l'exception des matériels dont la largeur de coupe est comprise entre 50 cm et 70 cm (50 < L ≤ 70).

Les niveaux de puissance acoustique admissibles prévus pour la phase 1 restent applicables à ces types de matériels.

(4) Les niveaux de puissance acoustique admissibles des grues mobiles monomoteurs prévus pour la phase 2 sont applicables à compter du 3 janvier 2008.  
Les niveaux de puissance acoustique admissibles prévus pour la phase 1 restent applicables à ce type de matériels jusqu'à cette date.

Tableau 7.1 : Valeurs admissibles de puissances acoustiques (Arrêté du 18 mars 2002)

L'entreprise devra être en possession des certificats de conformité acoustique de l'ensemble des engins et matériels présents sur le chantier. L'entretien des organes silencieux des engins et matériels devra être régulier et sera susceptible d'être contrôlé.

## 7.3 Mesures d'accompagnement

### 7.3.1 Biodiversité marine

#### 7.3.1.1 Objectifs de la démarche

Au vu des enjeux environnementaux que présente l'emprise du port de Saint Leu situé dans le lagon et au sein de la RNNMR, le TCO et la commune se sont engagés à mettre en œuvre une stratégie dite d'éco-conception portuaire destinée à faciliter la recolonisation du site par la biodiversité marine et la restauration des écosystèmes.

Cette stratégie se base sur l'idée novatrice d'utiliser tout ouvrage côtier immergé comme un outil pour préserver la biodiversité et en particulier les juvéniles. Cette nouvelle fonction n'altère en rien la fonctionnalité technique initiale de l'ouvrage support qui peut être une digue, un quai ou un appontement.

Cette association est possible grâce à une méthodologie spécifique de conception et un catalogue d'habitats artificiels intégrés aux différentes structures portuaires et adaptés à des espèces cibles (intérêt pour la biodiversité et les services rendus à l'écosystème).

La mangrove est un écosystème qui n'existe pas à La Réunion et employer ce terme peut être considéré comme inapproprié. L'absence de cet écosystème sur l'île n'empêche toutefois en rien le fait qu'il puisse inspirer la conception d'habitats artificiels qui pourront, même à petite échelle, générer un impact bénéfique sur le milieu naturel via les espèces de juvéniles qui s'y abriteront puis repeupleront les fonds coralliens.

Le concept recherché par la mise en œuvre d'habitats artificiels de type mangrove est de stimuler le potentiel de nourricerie des ouvrages du port. L'objectif est de tirer parti de certaines conditions environnementales propices au développement de poissons au stade juvénile (eaux calmes, ressources trophiques...).

L'ajout de modules de type mangrove vise à intégrer directement aux ouvrages portuaires une structure qui stimule la fonction de nourricerie de l'espace pour des espèces démersales et récifales.

Entre autres techniques, seront mis en place :

- ✓ des nurseries pour juvéniles à l'intérieur du bassin portuaire ;
- ✓ des micro-habitats ;
- ✓ des éléments de béton écologique destinés à accélérer la colonisation de la faune et de la flore (corail et algues) ;

- ✓ des éco-blocs constitutifs du corps de digue pour juvéniles récifaux (langoustes).

📖 Étude éco-conception portuaire Egis – 2012 (annexe 5 de l'étude d'impact)

### **7.3.1.2 Zonation des équipements pour juvéniles**

Les sites d'installation optimaux sont les zones dites de « captage ». Les larves sont transparentes et invisibles lors de leur phase pélagique c'est-à-dire de transport au gré des courants portées par les flots, puis elles se métamorphosent (elles se colorent) au moment où elles entrent en contact avec un substrat dur (roches, quai en béton, pieux de bois, coraux, algues...).

En général, cette métamorphose se poursuit par une descente sur le fond où la phase juvénile débute. Cette phase est benthique et/ou démersale car les juvéniles posés au fond doivent chercher immédiatement un abri pour survivre. Ce stade juvénile est à haut risque en raison de leur visibilité pour les prédateurs qui les consomment à hauteur d'environ 95% (taux de mortalité entre larves invisibles et juvéniles visibles, en moyenne).

Les zones les plus intéressantes dans un port sont caractérisées par des « zones d'arrivée » exposées aux courants porteurs du large, connectées à des « zones d'installation » constituées d'eaux calmes. L'objectif est de croiser ces données écologiques avec des données physiques et chimiques de l'environnement portuaire, notamment 3 types de zones dénommées A, B et C :

- ✓ Zone A : chercher à éloigner ces zones des sources de pollution ;
- ✓ Zone B : s'approcher des quais disposés à proximité des passes d'entrée exposées aux flux de larves ou aux entrées de juvéniles captés par la digue ou le récif corallien tout proche ;
- ✓ Zone C : protéger et assurer la croissance des juvéniles dans des zones d'eaux calmes.

### **7.3.1.3 Présentation des outils**

Les outils utilisés sont issus de travaux de recherche et de développement menés par EGIS EAU depuis 5 ans avec des partenariats au sein de laboratoires japonais (TUMSAT, Tokyo) et américains (NOVA SE, Florida) aussi bien qu'avec des industriels à même de réaliser des ouvrages proactifs pour l'environnement :

▪ **Eco-digue** : diversifier les cavités pour diversifier l'accueil d'espèces ou de stades d'espèces différents

**Amenagement de micro-habitats à l'extérieur de la zone portuaire sur l'ouvrage de protection**

Les fonds rocheux en eau peu profonde à proximité de la côte sont attractifs pour les poissons juvéniles et adultes. Les enrochements de protection n'offrent qu'un type d'habitat «standard» correspondant au diamètre des cavités inter-blocs, souvent trop important pour protéger les poissons de la prédation. Le but de ce type d'aménagement est de recréer des micro cavités adaptées au développement et à la protection des juvéniles sur l'ouvrage de protection.

Il s'agit de reproduire artificiellement l'habitat naturel des

▪ **- M.H. : Micro-habitat pour juvéniles (Egis Eau)**

Exemple de maille PEHD    Fabric prêt à recevoir le remplissage    Matériau servant au remplissage gabot 05 à 10cm

▪ **- M.A.J. : Mangroves Artificielles pour Juvéniles (Egis Eau)**

**Amenagement de micro-habitats pour juvéniles à l'intérieur de la zone portuaire**

Les fonds rocheux en eau peu profonde à proximité de la côte sont attractifs pour les poissons juvéniles et adultes. Les enrochements de protection n'offrent qu'un type d'habitat «standard» correspondant au diamètre des cavités inter-blocs, souvent trop important pour protéger les poissons de la prédation. Le but de ce type d'aménagement est de recréer des micro cavités adaptées au développement et à la protection des juvéniles dans l'enceinte portuaire.

Il s'agit de reproduire artificiellement l'habitat naturel de mangrove en reproduisant l'abri créé par les racines de palétuviers.

▪ **- Becoq : Eco-béton coquillier (BEC)**

**Valorisation écologique du port de Saint-Leu : Infrastructures en béton coquillier**

Granulats issus de coquilles concassées

Dans les milieux riches en matière organique, le béton biogène (mélange de coquilles concassées et de béton) favorise la fixation et la colonisation d'algues et d'animaux filtreurs (hydrans, spongiaires, annélides, mollusques, etc...). Ces espèces jouent le rôle de "bio-filtre" naturel en recyclant la matière organique. Cette dégradation biologique participe, en fonction des surfaces aménagées, à l'amélioration de la qualité des eaux portuaires.

La mise en oeuvre du béton reste classique et ne modifie pas les qualités intrinsèques du béton. Il s'agit d'intégrer dans certaines proportions des produits coquilliers ayant préalablement subi un traitement permettant d'accélérer la colonisation naturelle.

(Modèles et brevets Egis Eau)

### 7.3.1.4 Organisation et mise en place des équipements

#### A- Nurseries pour juvéniles

Les nurseries pour juvéniles sont appelées Mangroves Artificielles pour Juvéniles (MAJ) en raison de la technique développée par EGIS EAU.

L'objectif de ces MAJ est de créer des nurseries pour les juvéniles sur le même principe que les mangroves. Dans notre cas, aucune mangrove ne sera implantée sur site mais la dénomination MAJ sera cependant employée de par la technique mise en œuvre.

Densité de pose : dans les zones de captage, les MAJ seront en forte densité ; dans les zones calmes, elles pourront être plus espacées.

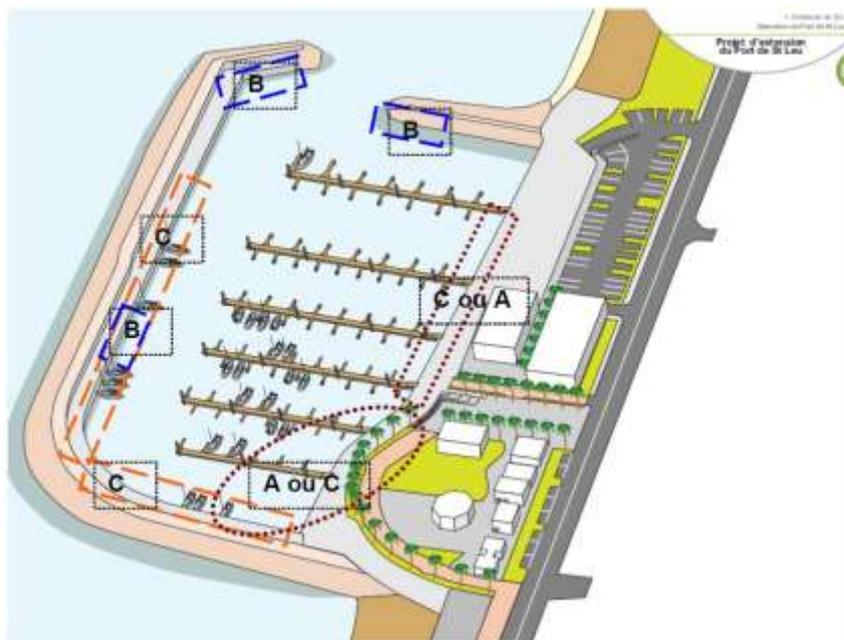


Figure 7.5 : Zone d'installation des mangroves artificielles pour juvéniles

#### B- Micro-habitats

Les micro-habitats seront implantés en respectant les mêmes principes qu'exposés précédemment.

Densité de pose : dans les zones de captage les micro-habitats seront installés en forte densité ; dans les zones calmes ils pourront être plus espacés.



Figure 7.6 : Zone d'installation des micro-habitats (MH) sur les quais (en complément des MAJ) et sur les pieux et pontons pour l'accueil des juvéniles benthiques.

### 7.3.1.5 Béton écologique destiné à accélérer la colonisation de la faune et de la flore (corail et algues)

Ce béton pourrait être utilisé pour la réalisation des parements bétonnés en contact avec le milieu sous-marin, en particulier pour l'aménagement du quai de l'extension du bassin.

Si un gisement de coquilles utilisable n'est pas identifié à La Réunion, cette option sera abandonnée.

En alternative, un traitement sera proposé sur le béton pour le rendre rugueux et favoriser la fixation des espèces.

### 7.3.1.6 Eco-digue en éco-blocs pour juvéniles récifaux (langoustes)

Le concept est basé sur la recherche d'une solution à la faible disponibilité d'habitats sur les fonds côtiers et la faible diversité des cavités offertes par une digue en enrochements classique.



### Organisation et mise en place dans le port :

En insertion dans la future digue Sud (extension du bassin portuaire) et le nouveau musoir (réduction de la passe d'entrée actuelle).

Voir figure page suivante.



Figure 7.7 : Zone d'installation des éco-blocs sur les musoirs et épis pour l'accueil des juvéniles (notamment langoustes)

### 7.3.1.7 Coût de la mesure

Les différentes mesures d'éco-conception retenues représentent un coût global de 50 k€HT.

### 7.3.2 Synthèse des mesures réductrices, compensatoires et d'accompagnement

<b>Management environnemental</b>			
<b>Dénomination</b>	<b>Milieu concerné</b>	<b>Coûts (€HT)</b>	<b>Commentaires</b>
Intervention d'un coordonnateur environnement	Milieu marin	50 000.00	Consultation externe
Suivi des cétacés et tortues marines pendant les travaux maritimes	Milieu marin	80 000.00	Consultation externe
Suivi des peuplements coralliens	Milieu marin	40 000.00	Consultation externe
Mesure en continu de la turbidité	Milieu marin	45 000.00	Intégré dans le marché de travaux
Suivi des contaminants sur organismes filtreurs	Milieu marin	45 000.00	Intégré dans le marché de travaux
Suivi hydro-sédimentaire	Milieu marin	60 000.00	Consultation externe
Suivi des rejets au milieu marin	Milieu marin	80 000.00	Consultation externe
<b>Sous total Management environnemental</b>		<b>400 000.00</b>	
<b>Mesures compensatoires</b>			
<b>Dénomination</b>	<b>Milieu concerné</b>	<b>Coûts (€HT)</b>	<b>Commentaires</b>
Etude acoustique cétacés	Milieu marin	40 000.00	Consultation externe
<b>Sous total Mesures compensatoires</b>		<b>40 000.00</b>	
<b>Mesures réductrices</b>			
<b>Dénomination</b>	<b>Milieu concerné</b>	<b>Coûts (€HT)</b>	<b>Commentaires</b>
Traitement des eaux pluviales	Milieu marin	25 000.00	Intégré dans le marché de travaux
Traitement des eaux de carénage	Milieu marin	50 000.00	Intégré dans le marché de travaux
Rideaux filtrants des matières en suspension	Milieu marin	45 000.00	Intégré dans le marché de travaux
Mise en place d'un rideau à bulle d'air	Milieu marin	30 000.00	Intégré dans le marché de travaux
Respect des conditions d'éclairage de la SEOR pour l'avifaune (remplacement des candélabres existants)	Milieu terrestre	130 000.00	Intégré dans le marché de travaux
Intégration paysagère	Milieu terrestre	350 000.00	Intégré dans le marché de travaux
Intégration architecturale	Milieu terrestre	190 000.00	Intégré dans le marché de travaux
Mise en place d'un point propre et de poubelles de collecte	Milieu terrestre et marin	57 000.00	Intégré dans le marché de travaux
Mise en place de 3 panneaux de sensibilisation	Milieu marin	10 500.00	Consultation externe
<b>Sous total mesures réductrices</b>		<b>887 500.00</b>	
<b>Mesures d'accompagnement</b>			
Eco conception du port	Milieu marin	50 000.00	Intégré dans le marché de travaux
<b>Sous total mesures d'accompagnement</b>		<b>50 000.00</b>	
<b>TOTAL MANAGEMENT + MESURES</b>			<b>1 377 500.00</b>
<b>TOTAL INTEGRE DANS MARCHÉ TRAVAUX</b>			<b>1 017 000.00</b>

Tableau 7.2 : Synthèse des mesures réductrices, compensatoires et d'accompagnement