



PROJET BECOMING 2016

Intensité et impact du blanchissement corallien massif de 2016
sur les récifs coralliens français de l'océan Indien

Février 2017

Partenaire du Projet BECOMING 2016 :

MAREX, ESPACEDEV, ENTROPIE, Université de La Réunion (UR), Institut de Recherche et de Développement (IRD), SEAS-OI, CORDIO, Agence des Aires Marines Protégées (AAMP), Parc Naturel Marin de Mayotte (PNMM), Parc Naturel Marin des Glorieuses (PNMG), Terres Australes et Antarctiques Françaises (TAAF), Réserve Naturelle Marine de La Réunion (RNMR), Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de La Réunion (DEAL), Réserve Naturelle de l'îlot Bouzi (RNB), Initiative Française pour les Récifs Coralliens (IFRECOR), Union Européenne (UE)

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du Programme Investissements d'Avenir pour le projet EQUIPEX GEOSUD portant la référence ANR-10-EQPX-20 et du programme KALIDOS Réunion (CNES).

Contact: Jean Benoit NICET : jbenoit.nicet@gmail.com

Rédaction rapport :

MAREX : J.B. Nicet, Julien Wickel

ESPACE-DEV : Gwenaëlle Pennober, Martin Bucklen

ENTROPIE : Lionel Bigot, Pascale Chabanet

Terrain :

MAREX : J.B. Nicet, J. Wickel

ENTROPIE : L. Bigot, Sophie Bureau

OCEAN OBS : Hendrik Sauvignet

PNMM : Aymeric Bein, Clément Lelabousse, Daphné Vial-Guthrie et Bruno Garel.

RNMR : Bruce Cauvin, Lola Massé, Tévamie Rungassamy

TAAF : Navire Marion Dufresne et équipage, Clément Quétel, Joanna Kolasinski, Sophie Marinesque, Cédric Marteau

TSMOI : Hervé Dulac

Crédit photo :

MAREX/J.B. NICET/J. WICKEL

Acquisition et traitement d'image :

ESPACE-DEV/SEAS-OI : M. Bucklen, G. Pennober, Aurélie Sand, Romain Goeury
Pascal Mouquet

Coordination régionale :

CORDIO : David Obura

Date : 25 février 2017

A citer sous la forme :

NICET J.B., PENNOBER G., BUCKLEEN M., WICKEL J., BIGOT L., CHABANET P., OBURA D., 2016. Intensité et impact du blanchissement corallien massif de 2016 sur les récifs coralliens français de l'océan Indien. Projet BECOMING 2016. Rapport MAREX, ESPACEDEV, ENTROPIE, UR, IRD, SEAS-OI, CORDIO, AAMP, PNMM, PNMG, TAAF, RNMR, DEAL Réunion, RNB, IFRECOR, UE, 89 pages.

SOMMAIRE

1	Contexte et objectifs.....	9
1.1	Contexte	10
1.2	Objectifs.....	12
2	Les methodes mises en place pour le suivi du blanchissement	13
2.1	La caractérisation <i>in situ</i> du blanchissement : une méthode régionale	14
2.2	La cartographie par images satellites du blanchissement : une méthode en cours de développement par Espace-Dev	20
3	La temperature marine de surface durant l'événement El Nino	25
3.1	Situation dans le Sud-Ouest de l'océan Indien	26
3.2	La température de surface aux Iles Eparses durant le phénomène de blanchissement	28
3.3	La température de surface à Mayotte durant le phénomène de blanchissement	30
3.4	La température de surface à La Réunion durant le phénomène de blanchissement.....	32
4	Synthèse du blanchissement de 2016 dans les COM de l'océan Indien	34
4.1	Les Iles Eparses	35
4.2	Mayotte	43
4.3	La Réunion.....	52
4.4	Mise en perspective du blanchissement corallien sur les territoires français et dans l'ensemble du Sud Ouest de l'océan Indien	60
5	La cartographie du blanchissement	62
5.1	Pertinence et limite de la cartographie du blanchissement	63
5.2	La cartographie du blanchissement en 2016	66
5.3	Analyse spatiale de l'ensemble des phénomènes de blanchissement à La Réunion depuis 2003	71
6	Proposition d'une possible stratégie de suivi.....	74
6.1	Le contexte pour les années à venir	75
6.2	Les étapes clefs pour un suivi réussi.....	76
6.3	La désignation d'une personne/organisation référente	78

6.4	Les suivis à mettre en place après l'événement de blanchissement.....	78
7	Exemple de mesures de gestion pouvant être mises en place.....	80
7.1	Quelques mesures générales permettant d'augmenter la résistance et la résilience d'un récif au blanchissement corallien.	81
7.2	Quelques mesures spécifiques aux îles françaises du Sud-Ouest de l'océan Indien	83
8	References.....	86

Figures

<i>Figure 1 : Anomalies de température (en °C) pour le Pacifique et l'océan Indien de 1996 à 2016 (calculées sur la moyenne 1961-1990) à gauche et à droite Index de l'anomalie de température, indicateur des conditions El Nino au centre de l'océan Pacifique (Climate, O. O. P. f., 2016, The state of the ocean climate)</i>	<i>11</i>
<i>Figure 2 : Nombre de contributeurs pour chaque secteurs (CRMN : Coral Reef Monitoring Network, niveau national ou régional) sur le site CORDIO. Le nombre au dessus des histogrammes représente le nombre d'observations (données M. Gudka/CORDIO)</i>	<i>11</i>
<i>Figure 3 : Illustration de la méthode déployée</i>	<i>15</i>
<i>Figure 4 : Plan d'échantillonnage aux Iles Eparses.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 5 : Plan d'échantillonnage à Mayotte</i>	<i>18</i>
<i>Figure 6 : Plan d'échantillonnage de La Réunion</i>	<i>19</i>
<i>Figure 7 : Exemple de segmentation effectuée sur Étang-Salé-les-Bains.....</i>	<i>23</i>
<i>Figure 8 : Classe déferlement sur Étang-Salé-les-Bains (Ecognition.....</i>	<i>23</i>
<i>Figure 9 : Synthèse de la méthode pour cartographier le blanchissement corallien.....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 10 : Risque de blanchissement (accumulation des « Degree Hot Week ») en décembre 2015 (a), janvier (b), février (c), mars (d), avril (e), mai (f), juin (h) 2016 (Données NOAA/Coral Reef Watch).....</i>	<i>27</i>
<i>Figure 11 : Température en °C en 2015 et 2016 (courbe bleu foncée), température critique (ligne bleue claire) et le risque de blanchissement pour Bassas da India et Europa (a), Ouest Madagascar /Juan de Nova (b), les Iles Glorieuses (c) et Tromelin (d) (Données NOAA/Coral Reef Watch)</i>	<i>29</i>
<i>Figure 12 : Position des sondes de température à Mayotte (programme PNMM/CORAILHF).....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 13 : Température en °C en 2015 et 2016 (courbe bleu foncée), température critique (ligne bleue claire) et le risque de blanchissement pour Mayotte (Données NOAA/Coral Reef Watch).....</i>	<i>31</i>
<i>Figure 14 : Température en °C en 2015 et 2016 (courbe bleu foncée), température critique (ligne bleue claire) et le risque de blanchissement pour La Réunion (Données NOAA/Coral Reef Watch)</i>	<i>33</i>
<i>Figure 15 : Mortalité de coraux massifs (à gauche) et de Fungia (à droite) à Europa en sortie de terrasse lagonnaire</i>	<i>36</i>
<i>Figure 16 : Température en °C en 2014 et 2015 (courbe bleu foncée), température critique (ligne bleue claire) et le risque de blanchissement pour l'Ouest de Madagascar/Juan de Nova (Données NOAA/Coral Reef Watch)...</i>	<i>37</i>

<i>Figure 17 : Mortalité due au phénomène de blanchissement de 2016 et mortalité plus ancienne (a), couverture corallienne très faible de la pente externe en mai 2016 (b).....</i>	<i>37</i>
<i>Figure 18 : Prévalence du blanchissement (et mortalité) en mai 2016 (a) et extrapolation de perte potentielle maximale de couverture corallienne en valeur absolue du recouvrement du substrat (ie : la totalité des colonies blanchies sont mortes) (b).....</i>	<i>38</i>
<i>Figure 19 : Prévalence du blanchissement et de la mortalité en mai 2016 pour les genres coralliens dominants le peuplement sur la pente externe de la couronne d'atoll d'Europa (a), la pente externe du banc récifal de Juan de Nova (b), les massifs coralliens de terrasse lagonaire de Juan de Nova (c) et la pente externe de banc récifal des îles Glorieuses.....</i>	<i>40</i>
<i>Figure 20 : Blanchissement et mortalité de Millepora (seule genre où une mortalité liée au phénomène de 2016 a été observée à Europa) (a) et colonies de Pocillopora morte à Juan de Nova antérieurement au phénomène de 2016 (b).....</i>	<i>41</i>
<i>Figure 21 : Colonies en bon état de santé, blanchies, mortes anciennement et récemment sur la pente externe de Juan de Nova (a) et colonies de Pocillopora en bon état de santé, pâle, blanchies et morte récemment aux Glorieuses (b).....</i>	<i>41</i>
<i>Figure 22 : Coraux mous (Coelergorgia palmosa) morts suite au blanchissement de 2016 (a) et anémones blanchies (b) aux îles Glorieuses</i>	<i>41</i>
<i>Figure 23 : Prévalence du blanchissement (et mortalité) en avril 2016 (a), prévalence de la mortalité (et blanchissement résiduel) en juin 2016 et perte de couverture corallienne en valeur absolue du recouvrement du substrat.....</i>	<i>45</i>
<i>Figure 24 : Prévalence du blanchissement et mortalité fin mai/début juin, observée par Belt Transect lors de la campagne IRD/SIREME (données Obura).....</i>	<i>46</i>
<i>Figure 25 : Prévalence du blanchissement (et mortalité) en avril 2016 (C1), prévalence de la mortalité (et blanchissement résiduel) en juin 2016 (C2) pour les genres coralliens dominants le peuplement pour la pente externe du récif barrière (a), du récif frangeant (b, uniquement campagne de juin) et au total (c, uniquement pour mission juin)</i>	<i>47</i>
<i>Figure 26 : Illustration du blanchissement et de la mortalité sur les récifs de Mayotte</i>	<i>48</i>
<i>Figure 27 : Prévalence du blanchissement et de la mortalité en avril 2016 (a) et en juin/juillet 2016 (b) sur les platiers et les pentes externes sur les 4 secteurs récifaux</i>	<i>52</i>
<i>Figure 28 : Prévalence du blanchissement (et mortalité) en avril 2016 (à gauche), prévalence de la mortalité (et blanchissement résiduel) en juin 2016 (au centre) et perte de couverture corallienne en valeur absolue du recouvrement du substrat entre avril et juin suite au blanchissement (à droite)</i>	<i>54</i>
<i>Figure 29 : Acropora abrotanoïdes blanchis en avril 2016 à Saint-Leu (à gauche) et en bon état de santé à Saint-Pierre (à droite).....</i>	<i>55</i>
<i>Figure 30 : Prévalence du blanchissement (et mortalité) en avril 2016 (C1), prévalence de la mortalité (et blanchissement résiduel) en juin 2016 (C2) pour les genres coralliens dominants le peuplement pour la pente externe (a) et le platier du récif frangeant (b).....</i>	<i>56</i>
<i>Figure 31 : Méga colonie de Millepora en haut de pente externe complètement blanchie en avril 2016 (à gauche) et colonies de Sinularia blanchie sur le platier en avril 2016 (à droite).....</i>	<i>57</i>
<i>Figure 32 : Porites pâles et blanchis sur la pente externe en avril 2016 (à gauche) et colonies d'Acropora abrotanoïdes mortes sur la pente externe de Saint-Leu en juin 2016 (à droite)</i>	<i>57</i>
<i>Figure 33 : Acropora digités blanchis sur le platier de Saint-Leu en avril 2016 (à gauche) et même colonie d'Acropora en bon état de santé en juin 2016 (à droite).....</i>	<i>57</i>
<i>Figure 34 : Figure de gauche (données COIC/CORDIO) : pourcentage d'observation selon la prévalence du blanchissement (barre de droite, de janvier à avril) et selon la prévalence de la mortalité (barre de gauche).</i>	

<i>Figure de droite (données Becoming): prévalence de blanchissement et mortalité sur l'ensemble des territoires Français de l'océan Indien</i>	<i>60</i>
<i>Figure 35 : Altération (blanchissement) au 07 avril 2016 sur le récif de Saint-Leu et le 14 avril sur le récif d'Etang Salé</i>	<i>67</i>
<i>Figure 36 : Altération (blanchissement) au 07 avril 2016 sur le récif de Saint-Gilles et le 14 avril sur le récif de Saint-Pierre.....</i>	<i>68</i>
<i>Figure 37 : Chronologie de l'altération (blanchissement) sur la plage de La Saline-les-Bains du 1er mars au 04 mai 2016.....</i>	<i>69</i>
<i>Figure 38 : Altération (blanchissement) au 22 avril 2016 sur le récif de La Surprise (Mayotte).....</i>	<i>70</i>
<i>Figure 39 : Zones les plus sensibles (en rouge) et les plus résistantes (en bleu) au blanchissement sur la période 2003-2016 sur les platiers de Saint Leu et Etang Salé.....</i>	<i>72</i>
<i>Figure 40 : Zones les plus vulnérables (en rouge) et les plus résistantes (en bleu) au blanchissement sur la période 2003-2016 sur les platiers de La Saline et de Saint Pierre.....</i>	<i>73</i>
<i>Figure 41 : Prédiction du nombre d'année (en pourcentage) par décade en 2030 (en haut) et 2050 (en bas) où l'alerte de niveau 2 sera déclenchée dans le cadre du suivi NOAA Coral Reef Watch. Scénario IPCC : A1B ("Business as-usual"). D'après Reef at Risk, 2011 / Donner et al., 2009.....</i>	<i>75</i>
<i>Figure 42 : Enchaînements des étapes et chronogramme.....</i>	<i>77</i>

Tableaux

<i>Tableau 1 : Date d'échantillonnage.....</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 2 : Nombre de stations échantillonnées</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 3 : Images acquises par les différents satellites. Les images acquises sont celles achetées pour l'étude, refusées celles qui ne regroupent pas des conditions optimales pour un bon usage et les images disponibles sont celles qui sont partiellement utilisables mais pas achetées.....</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 4 : DHW et risque de blanchissement calculés à partir des sondes in situ (la couleur des chiffres indique le risque : noir : « no stress », jaune «Bleaching watch », orange « Bleaching warning », rouge « alert level 1 » et violet « alert level 2 »).....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 5 : Température moyenne mensuelle et pour la saison chaude (déc.-avril) mesurée à partir des sondes in situ.....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 6 : DHW et risque de blanchissement calculés à partir des sondes in situ (la couleur des chiffres indique le risque : noir : « no stress », jaune «Bleaching watch », orange « Bleaching warning », rouge « alert level 1 » et violet « alert level 2 »).....</i>	<i>33</i>
<i>Tableau 7 : Température moyenne mensuelle et pour la saison chaude (déc.-avril) mesurée à partir des sondes in situ.....</i>	<i>33</i>
<i>Tableau 8 : Blanchissement plus mortalité par île en mai 2016.....</i>	<i>38</i>
<i>Tableau 9 : Caractérisation (intensité, spatialisation, genres affectés) des précédents événements de blanchissement aux îles Eparses.....</i>	<i>42</i>
<i>Tableau 10 : Mortalité par type géomorphologique et secteur.....</i>	<i>45</i>
<i>Tableau 11 : Paramètres constituant l'indicateur coraux DCE et paramètres analyser dans le cadre de Becoming (entourés en rouge).....</i>	<i>50</i>

<i>Tableau 12 : Moyenne de la couverture corallienne pendant le blanchissement et après le blanchissement</i>	<i>50</i>
<i>Tableau 13 : Mortalité des ACT et ACB sur le récif frangeant (platier externe/bordure tombant) et sur le récif barrière</i>	<i>50</i>
<i>Tableau 14 : Caractérisation (intensité, spatialisation, genres affectée) des précédents événements de blanchissement à Mayotte</i>	<i>51</i>
<i>Tableau 15 : Intensité du blanchissement à La Réunion, quantifié à partir des images satellites et des données in situ</i>	<i>66</i>
<i>Tableau 16 : Actions possibles à mettre en œuvre par la personne référente</i>	<i>79</i>
<i>Tableau 17 : Raisons d'impliquer les différents usagers et mesures de gestion pouvant être mis en place avec les différents acteurs (d'après Obura et Gudka, 2016)</i>	<i>82</i>

Abréviations

AMP_____Aires Marines Protégées	IPCC_____International Panel Climate Change
COI_____Commission de l’Océan Indien	MNHN_____Museum National d’Histoire Naturelle
COP_____Conférence des Parties	NESDIS_____National Environment Data Information System
COM_____Collectivités d’Outre Mer	NOAA_____National Oceanographic and Atmospheric Administration
CORDIO_____Coastal Ocean Research and Development Indian Ocean	SEAS-OI_____Surveillance de l’Environnement Assistée par Satellite – Océan Indien
DCE_____Directive Cadre sur l’Eau	SOOI_____Sud-Ouest de l’Océan Indien
DHW_____Degree Hot Week	TOA_____Top of Atmospher
GCRMN_____Global Coral Reef Monitoring Network	TOC_____Top of Canopy
ENSO_____El Nino Southern Oscillation	UE_____Union Européenne
ICRI_____International Coral Reef Initiative	
IFERMER_____Institut Français de Recherche et d’Exploitation de la Mer	
IRD_____Institut de Recherche et de Développement	



1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

1.1 Contexte

1.1.1 "L'alerte blanchissement en 2015/2016"

Les différents indicateurs pertinents pour prédire un risque de blanchissement corallien, tel que le Degree Hot Week¹ (DHW, Coral Reef Watch/NOAA), le ENSO Diagnostic² (Climate Prediction Center/NOAA) étaient tous au rouge pour les années 2015/2016 (Figure 1). Suite à ces alertes, relayées d'ailleurs par de nombreux acteurs (notamment CORDIO pour l'océan Indien³), il a été décidé de mettre en place un suivi à échelle régionale au niveau des territoires français, selon une méthodologie qui soit suffisamment détaillée pour être utile au niveau local. La mise en place de ce suivi a été discutée en janvier 2016 (même si des discussions plus techniques ont eu lieu en décembre 2015) pour arriver à des signatures de convention en mars 2016. Les différents acteurs ont donc saisi l'importance et l'urgence de la situation pour mettre en place très rapidement ce projet, que ce soit d'un point de vue technique ou administratif.

1.1.2 Les différents suivis mis en place dans l'océan Indien et sur les territoires français de l'océan Indien

Etant donnée la forte intensité pressentie du phénomène de blanchissement en 2015/2016 de par le monde et notamment dans l'océan Indien de nombreuses initiatives ont été mises en place au début de l'année 2016 afin de suivre le phénomène.

Au niveau régional, CORDIO répertorie depuis plusieurs années déjà les observations de blanchissement corallien de la région Sud-Ouest océan Indien et publie périodiquement un bulletin d'alerte. Sous l'égide de la Commission de l'Océan Indien, CORDIO a en outre édité un guide sur les méthodes de suivi du blanchissement corallien se déclinant en plusieurs niveaux selon les objectifs et l'expérience des observateurs. Il est important à ce stade de noter que c'est cette méthode qui a été choisie pour le présent projet et ce afin de pouvoir contribuer à l'analyse régional du phénomène de blanchissement. La COI a en outre organisé des formations des observateurs locaux en partenariat avec MAREX et CORDIO et par la suite financé plusieurs suivis.

D'autres organismes ont également mis en place des suivis au niveau régional, comme la Worldlife Conservation Society, sur la zone océan Indien avec une méthode similaire à la méthode COI/CORDIO. Des suivis plus nationaux ou locaux ont également été mis en place (Blue Ventures à Madagascar, Reef Conservation et Mauritius Oceanographic Institute à Maurice, Nature Seychelles et Seychelles Foundation aux Seychelles, ...). A titre d'exemple, la Figure 2, bien que non exhaustive de l'ensemble des suivis réalisés,

¹ <http://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/index.php>

² http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/

³ http://cordioea.net/bleaching_resilience/io-coral-bleaching-alert/

présente le nombre de contributeurs par secteurs et le nombre d'observations répertoriés sur le site de CORDIO.

Sur le territoire français, outre le projet Becoming, Reef check France a suivi plusieurs stations à La Réunion et Mayotte (Quod et al., 2016) de même que WCS (suivis réalisés par Mireille Guillaume, MNHN) à La

Réunion. Enfin des observations ponctuelles ont été réalisées par les usagers et certaines associations. Ces observations ont pu être relayées via les réseaux participatifs mis en place à Mayotte (Tsiôno) et à La Réunion (Sentinelles du récif).

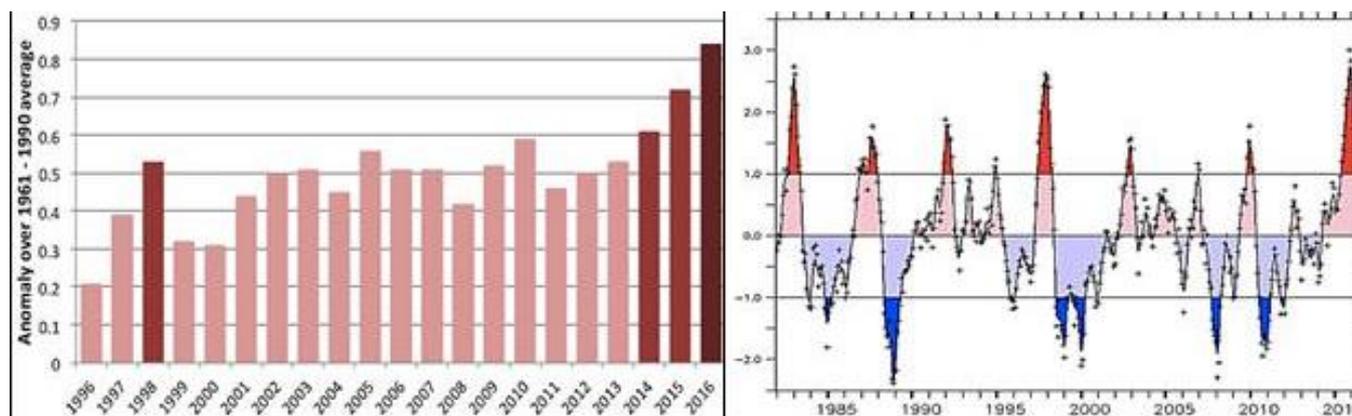


Figure 1 : Anomalies de température (en °C) pour le Pacifique et l'océan Indien de 1996 à 2016 (calculées sur la moyenne 1961-1990) à gauche et à droite Index de l'anomalie de température, indicateur des conditions El Nino au centre de l'océan Pacifique (Climate, O. O. P. f., 2016, The state of the ocean climate)

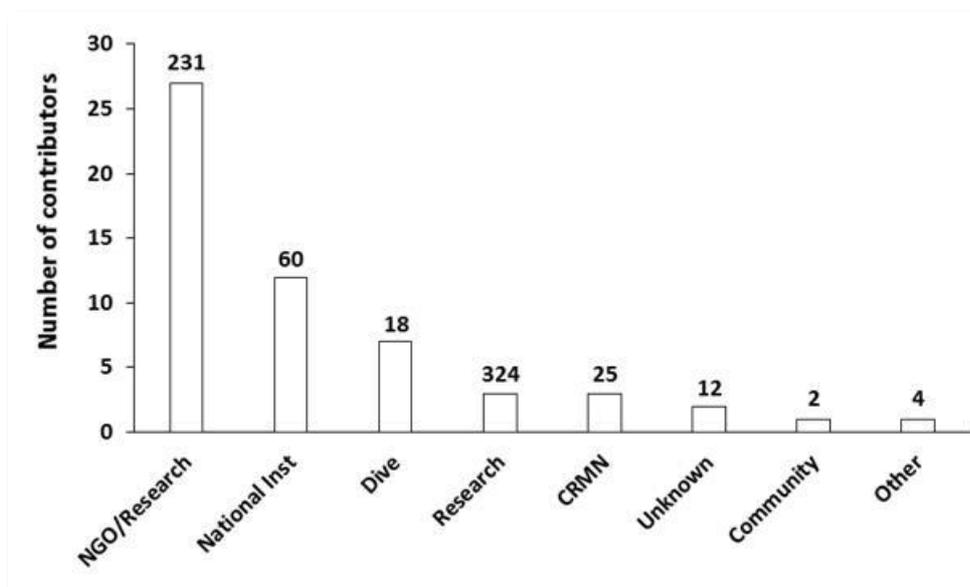


Figure 2 : Nombre de contributeurs pour chaque secteurs (CRMN : Coral Reef Monitoring Network, niveau national ou régional) sur le site CORDIO. Le nombre au dessus des histogrammes représente le nombre d'observations (données M. Gudka/CORDIO)

1.2 Objectifs

L'objectif principal du présent projet est de quantifier le blanchissement corallien massif de 2016 et la mortalité associée dans les COM de l'océan Indien, ainsi que de proposer les suivis et la stratégie à mettre en place dans le futur.

Les objectifs spécifiques du projet sont :

- Acquérir et analyser les images satellites sur l'ensemble des récifs de Mayotte, des îles Eparses et de La Réunion à une fréquence de 15 jours/1 mois pour pouvoir quantifier l'évolution temporelle du phénomène ;
- Procéder à une vérité terrain à Mayotte, îles Eparses et La Réunion, au paroxysme du phénomène pour augmenter (i) la précision des cartes obtenues et (ii) quantifier les principaux genres et formes coralliennes touchés (prévalence et étendue spatiale) ;

- Procéder à une vérité terrain à Mayotte et La Réunion⁴ en juin/juillet soit à la fin de l'épisode de blanchissement, pour quantifier la mortalité associée au phénomène par formes et genres coralliens (prévalence et superficie),
- Réaliser des cartes sur l'étendue spatiale du blanchissement,
- Rédiger un rapport synthétique sur l'évaluation du phénomène de blanchissement 2016, détaillant les principaux secteurs géographiques, genres et formes de coraux touchés (blanchissement et mortalité),
- Evaluer la réponse de l'indicateur DCE substrat dur Mayotte au phénomène de blanchissement. En cas de réponse excessive au phénomène de blanchissement, émettre des propositions d'ajustement et de modification de l'indicateur,
- Définir un suivi du phénomène adapté à chaque COM,
- Proposer des mesures de gestion concrètes pour améliorer la résistance des récifs à l'augmentation de la température marine,
- Contribuer à la rédaction du chapitre dédié au blanchissement dans le rapport GCRMN régional (COI/CORDIO).

⁴ Le second suivi n'a pas été réalisé aux îles Eparses étant donné les difficultés d'accès.



2 LES METHODES MISES EN PLACE POUR LE SUIVI DU BLANCHISSEMENT

2.1 La caractérisation *in situ* du blanchissement : une méthode régionale

2.1.1 La méthode

La méthode utilisée est celle décrite dans le «Guide de suivi du blanchissement des Coraux – Sud Ouest de l’océan Indien – 2016, COI/CORDIO». Pour plus de précision, se référer à ce guide méthodologique.

Pour que le suivi d’une phase de blanchissement soit réussi et réponde aux attentes des gestionnaires, il est impérativement nécessaire que (i) les modalités du suivi soient définies à l’avance (objet du présent rapport) et (ii) que les phénomènes de blanchissement majeurs soient anticipés au maximum.

Le suivi a été réalisé selon deux niveaux :

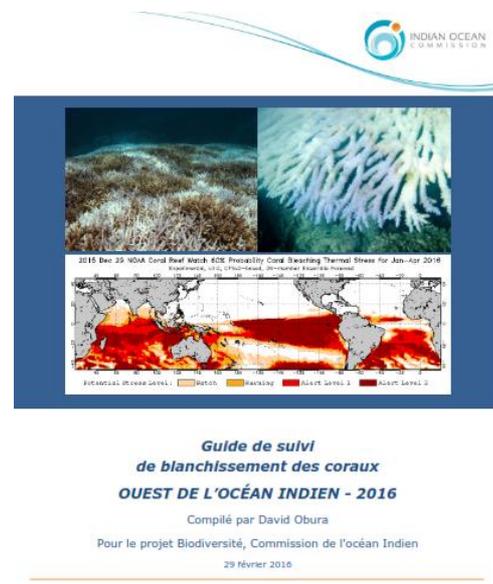
- Le niveau basique, avec une estimation de la prévalence des colonies en bon état de santé, pâles/blanchies et mortes ;
- Le niveau intermédiaire, avec une estimation de la prévalence par genre⁵ des colonies en bon état de santé, pâles, blanchies et mortes. Ce suivi a été complété par la prise de photo-cadrat (10 par stations) d’une superficie d’environ 1m² qui permettra

si nécessaire une quantification *fine* de la prévalence. A noter que les *Acropora* ont été divisés selon leur forme, de même pour les *Porites* et les *Galaxea*.

Au final la méthode déployée permet de caractériser :

- L’intensité du blanchissement ;
- L’étendue spatiale du blanchissement ;
- Les principaux genres touchés ;
- La mortalité induite.

En outre elle a servi de vérité terrain (phase d’apprentissage) pour la réalisation des cartes.



Le projet SIREME à Mayotte

Dans le cadre du projet SIREME, piloté par l’IRD, 18 stations (essentiellement les stations GCRMN/ORC) ont été échantillonnées fin mai selon la méthode COI/CORDIO mais au niveau expert (prise en compte de la taille des colonies). Ces données fourniront un complément aux données relevées dans le cadre de Becoming notamment sur les genres touchés par le blanchissement.

⁵ Uniquement pour les genres dominants.



Figure 3 : Illustration de la méthode déployée

2.1.2 Le plan d'échantillonnage

Le suivi a été réalisé en avril et en juin/juillet à La Réunion et Mayotte et a permis de quantifier le blanchissement à son pic et la mortalité qui a suivi. Il a été réalisé une seule fois aux Iles Eparses, en mai, ce qui permet de quantifier le blanchissement mais laisse des interrogations sur le niveau de mortalité induite. Le Tableau 1 indique les dates précises de l'échantillonnage.

Ce suivi a été réalisé en apnée et en palmes-masque-tuba à deux personnes. Ce moyen d'investigation a été préféré aux plongées en scaphandre autonome pour sa simplicité de mise en œuvre et le nombre important de stations qu'il permet d'échantillonner en une journée. Ainsi, en moyenne entre 10 et 15 stations ont été échantillonnées par jour de terrain.

Au total 182 stations ont été échantillonnées lors de la phase 1, et 109 lors de la phase 2 (Tableau 2, Figure 4, Figure 5 et Figure 6). Pour les Iles Eparses, Bassas Da India et Tromelin n'ont pas été échantillonnées puisque la rotation du Marion Dufresne/TAAF ne prévoyait pas d'arrêt sur ces territoires.

Afin d'éviter un biais dans l'échantillonnage (i.e. suivre les stations avec la couverture corallienne la plus forte ou suivre les zones où l'on sait qu'il y a un fort blanchissement), les points d'échantillonnage ont été positionnés de manière aléatoires. Toutefois, certaines règles ont été édictées pour éviter d'avoir un échantillonnage déséquilibré :

- Pour chaque île, les unités géomorphologiques à suivre ont été choisies (platier, pente externe, récif barrière, récif frangeant, massifs coralliens,...) et le nombre de points d'échantillonnage par unité fixé ;

- Pour les platiers de La Réunion et des îles Eparses, afin d'éviter d'échantillonner des zones sans couverture corallienne, il a été utilisé les cartes d'habitats et les points de vérité terrain associés (Europa, Les Glorieuses, La Réunion) ainsi que les points MSA réalisés dans le cadre des cartes hyperspectrales (IFREMER, Juan De Nova).

A La Réunion, le platier de récif frangeant et la pente externe (profondeur 7-8m) ont été échantillonnés. L'ensemble des plates formes récifales ont été couvertes.

Pour Mayotte, le platier externe (bordure du tombant) du récif frangeant, récif frangeant d'îlot et des récifs internes, ainsi que les pentes externe et interne du récif barrière (bathymétrie 6-10m) ont été échantillonnés.

Enfin, sur les îles Eparses, la pente externe et les platiers des bancs récifaux ou couronne d'atoll (Europa), les massifs coralliens de terrasse lagunaire ont été échantillonnés.

Le cas du récif frangeant à Mayotte

Dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE, étude AAMP/Creocean) 850 stations ont été échantillonnées sur le platier externe du frangeant à un niveau basique (pourcentage de blanchissement sur l'ensemble de la couverture corallienne). Ainsi, dans le cadre de Becoming, il n'y a pas eu d'échantillonnage du récif frangeant en avril. Le frangeant a été échantillonné de nouveau par l'équipe de Becoming en juillet pour estimer la mortalité suite au blanchissement et extrapoler cela à l'ensemble des stations DCE à partir de la création d'une typologie des stations.

Tableau 1 : Date d'échantillonnage

Collectivités	Phase 1 (pic de blanchissement)	Phase 2 (mortalité)
Iles Eparses (TAAF)	Europa : 8-9 mai 2016	Pas de relevé
	Juan de Nova : 11-12 mai 2016	
	Glorieuses : 15 mai 2016	
Mayotte	26-30 avril 2016	27-30 juin 2016
Reunion	1, 11, 14, 15, 17, 18, 19 avril 2016	21, 22 juin ; 6, 7, 22 juillet ; 4 août 2016

Tableau 2 : Nombre de stations échantillonnées

Collectivités	Phase 1 (pic de blanchissement)	Phase 2 (mortalité)
Iles Eparses (TAAF)	Europa : 21	Pas de relevé
	Juan de Nova : 19	
	Glorieuses : 15	
Mayotte	93	50
Reunion	69	59
TOTAL	202	109

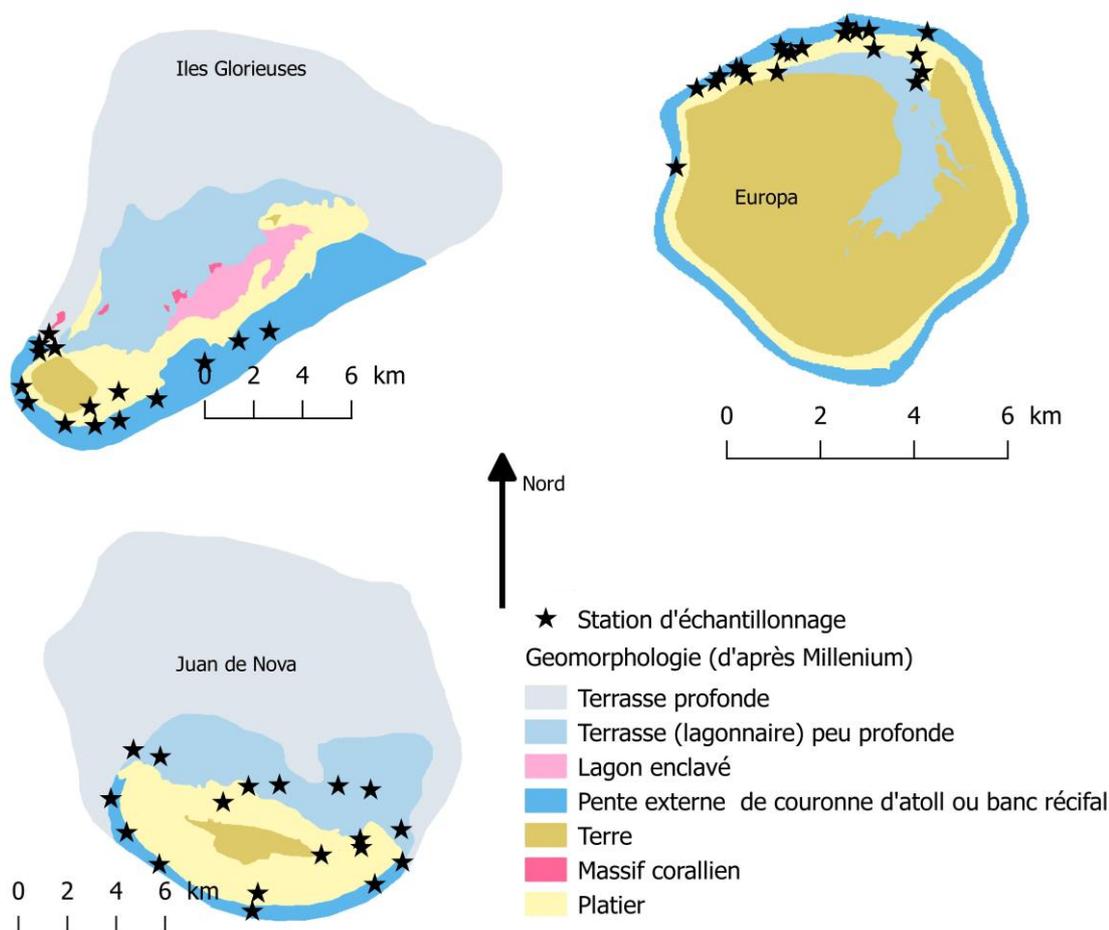


Figure 4 : Plan d'échantillonnage aux Iles Eparses

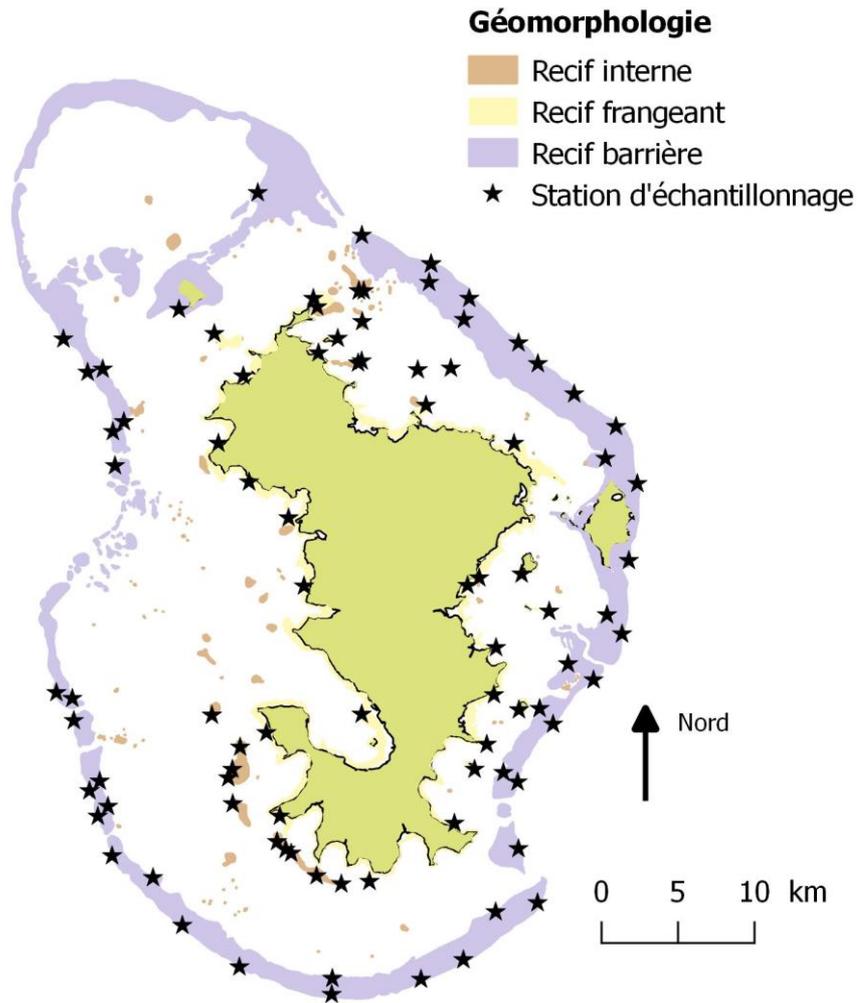


Figure 5 : Plan d'échantillonnage à Mayotte

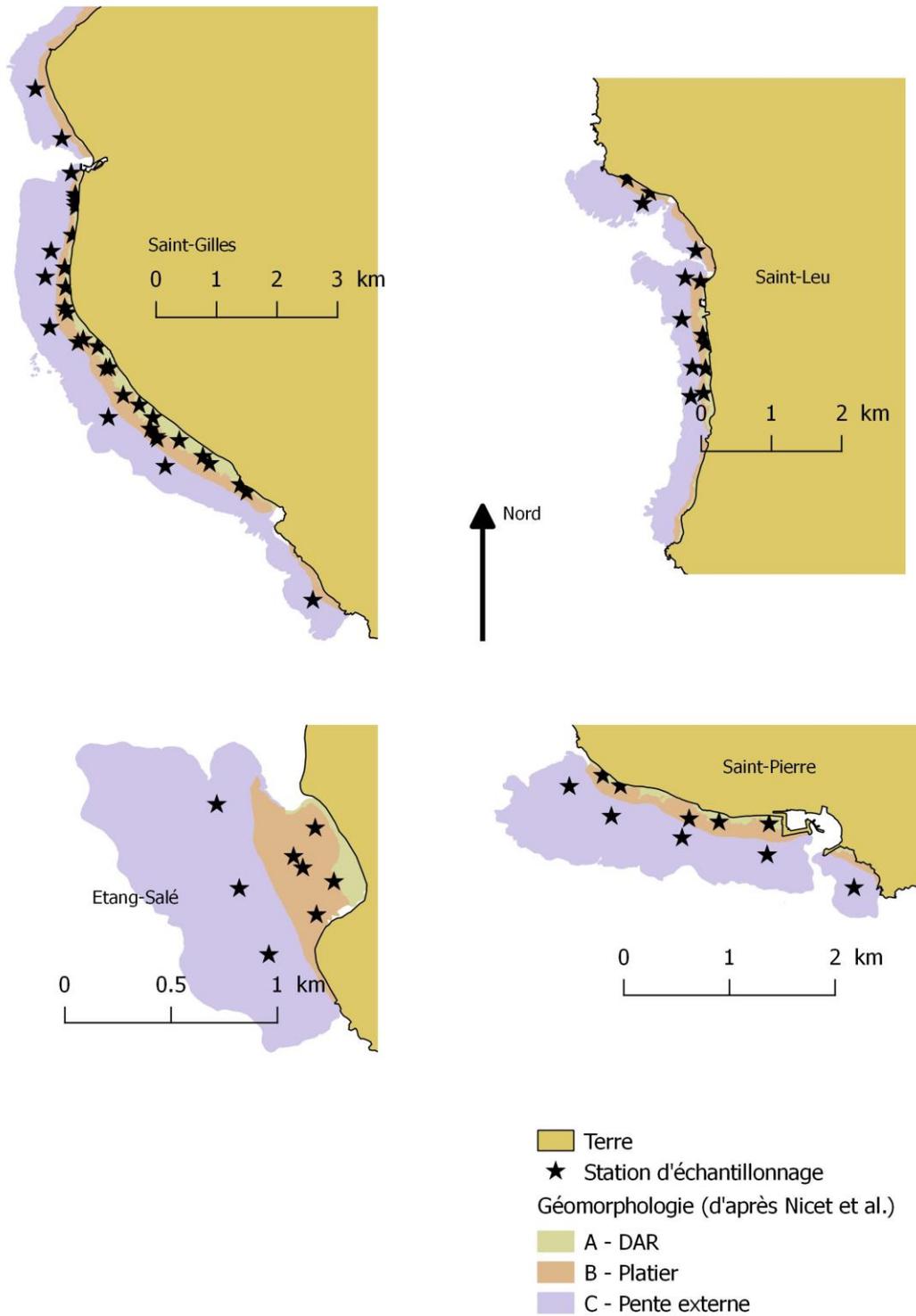


Figure 6 : Plan d'échantillonnage de La Réunion

2.2 La cartographie par images satellites du blanchissement : une méthode en cours de développement par Espace-Dev

Préambule- Les images aériennes (avions ou drones):

L'imagerie aérienne optique peut être un bon vecteur de détection du blanchissement par sa résolution spatiale très fine (pixel entre 0,5 m et 0,10 m). Toutefois, à Mayotte et aux Iles Eparses, cette solution s'avère délicate à mettre en œuvre en raison des contraintes techniques et du coût. Aussi ce vecteur n'a pas été retenu dans le cadre de ce projet.

2.2.1 La possibilité de cartographier le blanchissement

La faisabilité de cartographie du blanchissement par images satellites dépend de la combinaison de 4 principaux facteurs :

- La couverture corallienne ;
- La proportion de colonies coralliennes touchées ;
- L'atténuation du signal par la colonne d'eau ;

- la résolution spatiale de l'image (taille du pixel) en mode multi-bande (couleur).

Ainsi, pour que le blanchissement puisse être facilement détecté, il faut que la couverture corallienne soit importante, la profondeur faible et le blanchissement conséquent pour qu'il impacte la réponse à l'échelle du pixel (2,4 m à 10 m)

En effet, si le blanchissement est trop éparpillé, il reste cantonné à des colonies isolées, la résolution des images ne permettra pas de détecter cette altération du corail.

D'autre part, comme énoncé ci-dessus, la signature spectrale est fortement corrélée à une couverture corallienne, ainsi qu'à l'intensité du phénomène observé et ne peut être assimilée à une prévalence de colonies touchées mais plutôt à un pourcentage de surface du substrat total touché. Ainsi, une carte de blanchissement contribuera à spatialiser le phénomène de blanchissement, mais la mesure de l'intensité du blanchissement et de ses caractéristiques impose de réaliser des observations *in-situ*.

2.2.2 L'acquisition des images

Le Tableau 3 présente la base de données images constituée dans le cadre du projet. Au total, 64 images ont été programmées pour cette étude, en mobilisant Seas-oi, Géosud et Kalideos sur un intervalle de temps allant du 21 février 2016 jusqu'au 24 juin 2016. Les 32 images dont le statut est « Acquisées » entrent dans le lot des images créditées au projet. Les images « Refusées » sont généralement trop nuageuses, les images « Disponibles » peuvent être utilisées pour des études complémentaires sur des portions réduites.

Tableau 3 : Images acquises par les différents satellites. Les images **acquises** sont celles achetées pour l'étude, **refusées** celles qui ne regroupent pas des conditions optimales pour un bon usage et les images **disponibles** sont celles qui sont partiellement utilisables mais pas achetées

Zone géographique	Date d'acquisition et satellite	Statut vis-à-vis de l'étude	Zone géographique	Date d'acquisition et satellite	Statut vis-à-vis de l'étude
PLEIADES			SPOT6/7		
Ermitage – St Leu	2016/02/22_PHR1A	Disponible	Mayotte	2016/03/01_S7	Acquise
	2016/02/29_PHR1A	Disponible		2016/03/20_S7	Refusée
	2016/03/01_PHR1B	Acquise		2016/04/02_S6	Refusée
	2016/03/06_PHR1B	Disponible		2016/04/09_S6	Refusée
	2016/03/07_PHR1A	Disponible		2016/04/15_S7	Refusée
	2016/03/20_PHR1B	Acquise		2016/04/22_S7	Acquise
	2016/04/07_PHR1A	Acquise	Arrêt programme		
	2016/04/09_PHR1A	Refusée	Europa	2016/02/22_S6	Refusée
	2016/04/26_PHR1A	Disponible		2016/02/28_S7	Refusée
	2016/04/28_PHR1A	Disponible		2016/02/29_S6	Acquise
	2016/05/04_PHR1B	Acquise		2016/04/14_S6	Refusée
	2016/06/12_PHR1A	Acquise		2016/04/20_S7	Acquise
	2016/06/24_PHR1A	Acquise		2016/04/21_S6	Acquise
	Arrêt programme			Arrêt programme	
Etang-Salé - St Pierre	2016/02/22_PHR1A	Disponible	Bassas da India	2016/02/21_S7	Refusée
	2016/02/29_PHR1A	Acquise		2016/02/22_S6	Acquise
	2016/03/01_PHR1B	Disponible		2016/02/28_S7	Refusée
	2016/03/06_PHR1B	Disponible		2016/03/25_S7	Refusée
	2016/03/07_PHR1A	Disponible		2016/04/20_S7	Acquise
	2016/03/07_PHR1A	Disponible	Arrêt programme		
	2016/03/07_PHR1A	Disponible	Juan de Nova	2016/02/22_S6	Acquise
	2016/03/07_PHR1A	Disponible		2016/02/23_S7	Refusée
	2016/03/20_PHR1B	Disponible		2016/03/20_S7	Acquise
	2016/03/26_PHR1A	Acquise		2016/04/21_S6	Acquise
	2016/04/09_PHR1A	Refusée	Arrêt programme		
	2016/04/14_PHR1A	Acquise	Glorieuses	2016/02/24_S6	Refusée
	2016/05/04_PHR1B	Acquise		2016/03/08_S7	Refusée
	2016/06/12_PHR1A	Acquise		2016/03/15_S7	Acquise
2016/06/24_PHR1A	Acquise	2016/04/10_S6		Acquise	
2016/06/24_PHR1A	Acquise	2016/04/16_S6		Acquise	
Arrêt programme			Arrêt programme		
Grande Anse	2016/02/22_PHR1A	Disponible	Tromelin	2016/02/22_S7	Acquise
	2016/02/29_PHR1A	Acquise		2016/04/07_S7	Acquise
	2016/03/01_PHR1B	Disponible		2016/04/08_S6	Disponible
	2016/03/06_PHR1B	Disponible	Arrêt programme		
	2016/03/26_PHR1A	Acquise			
	2016/04/09_PHR1A	Refusée			
	2016/04/14_PHR1A	Acquise			
	2016/05/04_PHR1B	Acquise			
	2016/06/26_PHR1A	Acquise			
	Arrêt programme				

2.2.3 Description synthétique de la méthode

Interprétation par Analyse Orientée Objet et analyse multitime

L'analyse multitime permet de faire apparaître le blanchissement par l'altération de la signature spectrale qu'il produit sur les récifs coralliens.

Le principe de base est une analyse temporelle d'au moins 2 images (une image avant le phénomène de blanchissement et une lors du pic) permettant de déceler les changements d'état des colonies coralliennes qui se traduit par un changement dans la signature du corail et en particulier par une augmentation de l'indice de brillance pour des images radiométriquement comparables. Ce qui suppose des données ayant subi des corrections radiométriques et géométriques. Sur certaines îles, une image a été acquise après le phénomène de blanchissement pour tenter de détecter l'altération pérenne de la signature pouvant qualifier la mortalité *in fine*. Cette méthode a été appliquée sur des images multispectrales des satellites Pléiades et SPOT 6-7.

Toutefois cette méthode nécessite plusieurs étapes qui peuvent s'avérer délicates (Figure 9):

- Corrections géométriques (si les produits images ne sont pas livrés en mode ortho) de manière à avoir des images parfaitement superposables ;
- Corrections radiométriques (Top of Canopy, Simoneaux, 2001 ou Top of Atmosphere) ;

- Masquer les zones à ne pas traiter (zones terrestres,...) afin de limiter les temps de traitement (le masque peut être géographique de type couche SIG ou radiométrique);
- Segmentation découpage en groupe de pixel de l'image afin de produire de nouveaux indicateurs tel que la réflectance moyenne, la variance, la forme etc... (Figure 7)
- Calcul d'indicateurs pertinents spécifiques : ici l'indice de brillance dont le calcul varie en fonction du capteur.
Ex $IB = \sqrt{(R_x R + PIR_x PIR)}$ (Pennober, 2010),
- Classification orientée objet : sur la base de la variation de l'indice de brillance sur des segments remarquables (donc ayant une réflectance dans les différentes longueurs d'onde et une localisation compatible avec du corail). Les zones détritiques et de déferlement de la houle sont exclues (Figure 8).

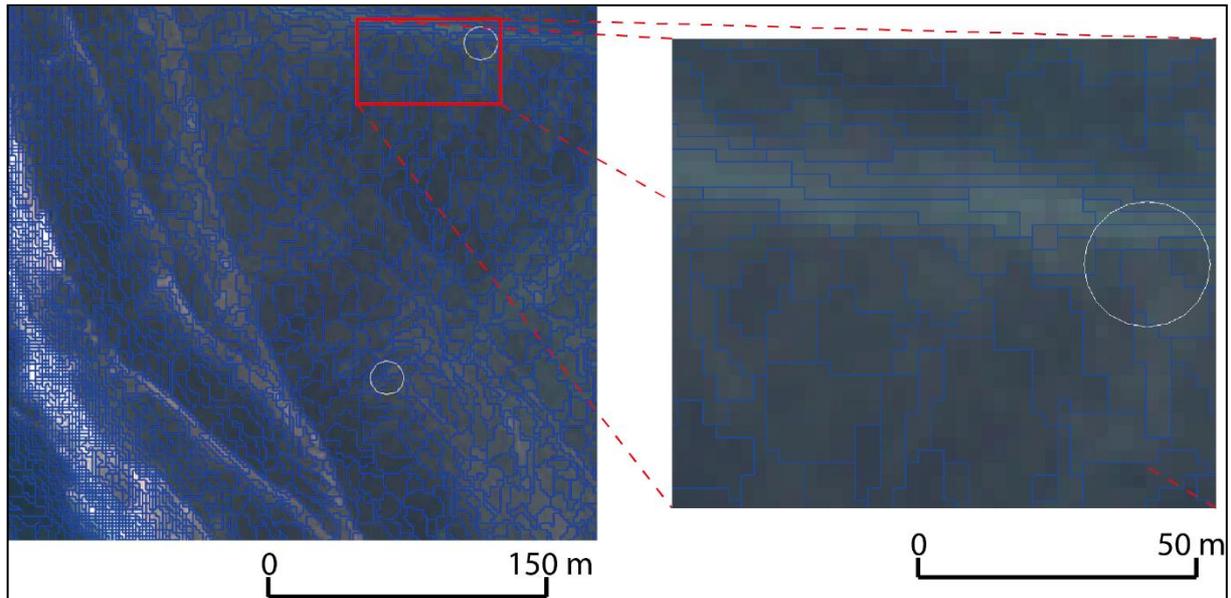


Figure 7 : Exemple de segmentation effectuée sur Étang-Salé-les-Bains

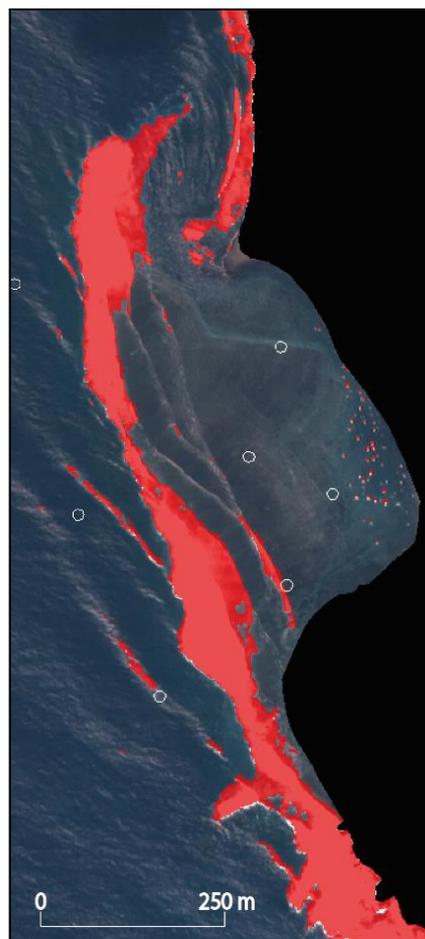


Figure 8 : Classe déferlement sur Étang-Salé-les-Bains (Ecognition)

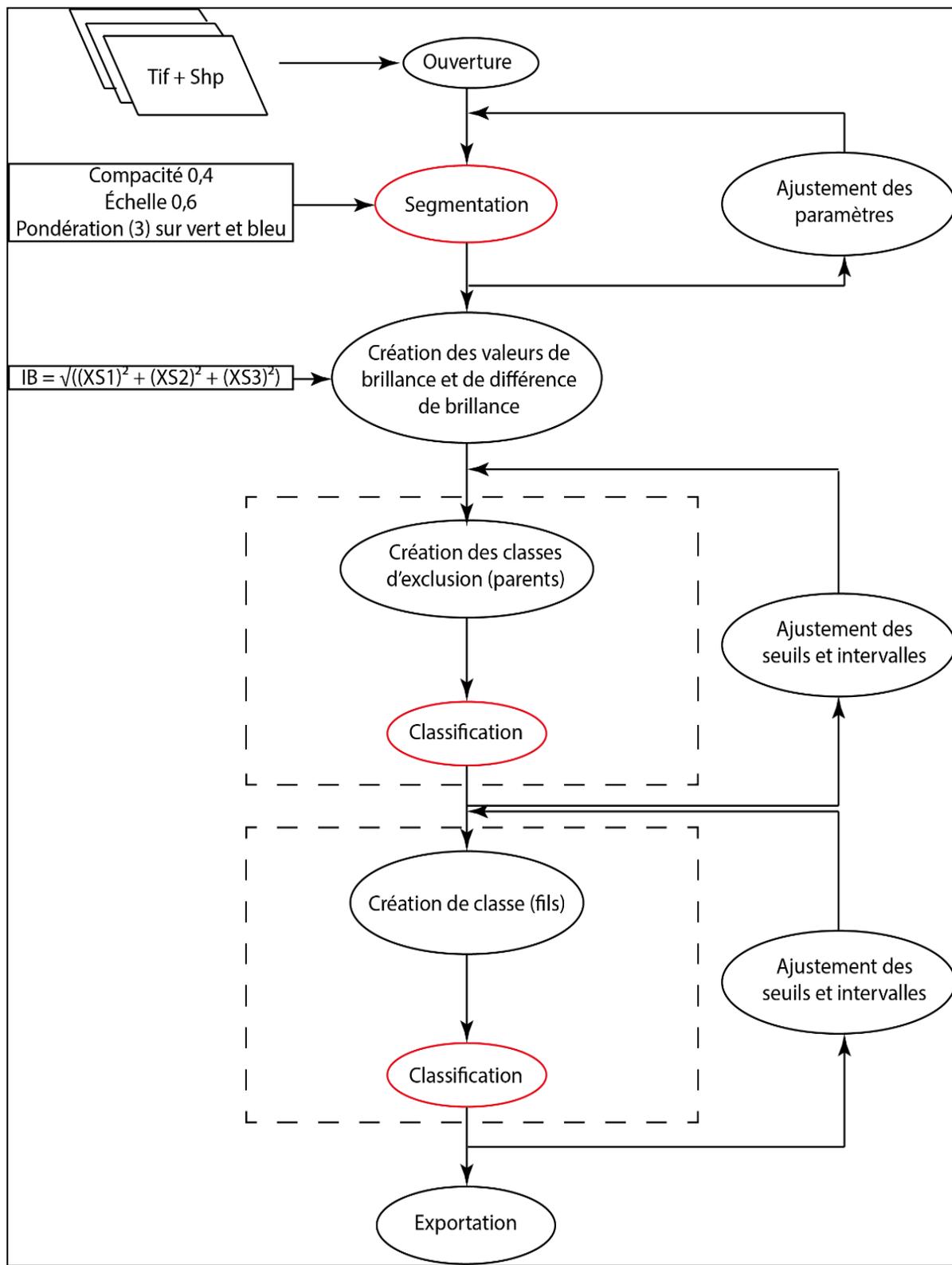


Figure 9 : Synthèse de la méthode pour cartographier le blanchissement corallien



3 LA TEMPERATURE MARINE DE SURFACE DURANT L'ÉVÉNEMENT EL NINO

3.1 Situation dans le Sud-Ouest de l’océan Indien

Les données de température sur le bassin de l’océan Indien montrent (Figure 10, NOAA/ Coral Reef watch) :

- Un risque de blanchissement à partir de janvier 2016 (situation « Watch et Warning », respectivement niveau 1 et 2 du risque de blanchissement),
- Un risque de blanchissement dans le Canal du Mozambique plus faible (niveau 2) qu’à l’Est et au Nord de Madagascar (niveau 3 et 4).

Pour plus d'informations sur la méthode de calcul du risque de blanchissement et autres produits liés de la NOAA/NESDIS, voir la page internet :

<http://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/index.php>

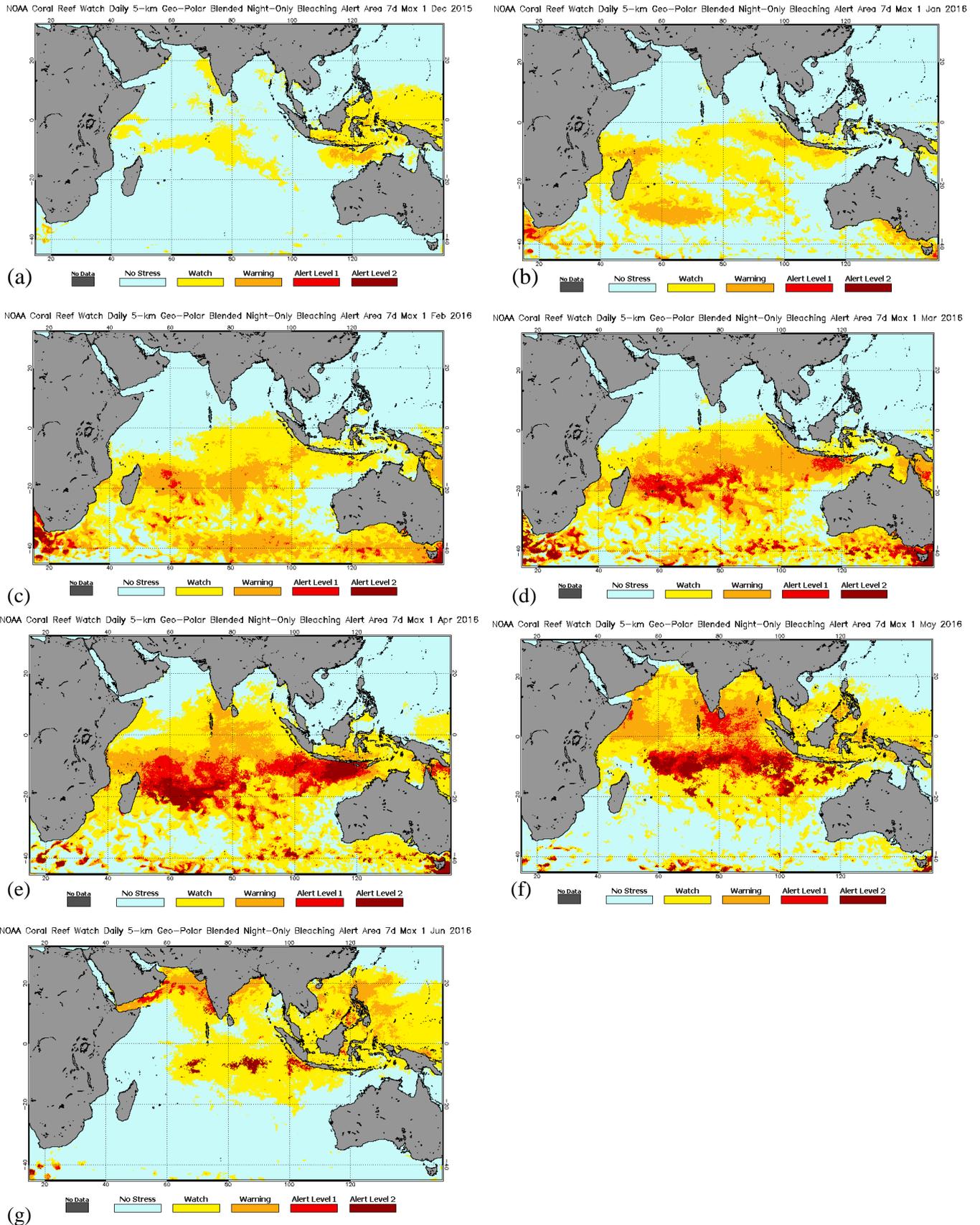


Figure 10 : Risque de blanchissement (accumulation des « Degree Hot Week ») en décembre 2015 (a), janvier (b), février (c), mars (d), avril (e), mai (f), juin (h) 2016 (Données NOAA/Coral Reef Watch)

3.2 La température de surface aux Iles Eparses durant le phénomène de blanchissement

Les données de température sur les îles Eparses montrent des situations contrastés (Figure 10, NOAA/ Coral Reef watch) :

- Bassas Da India et Europa : absence d'anomalie positive de température et de risque de blanchissement ;
- Juan de Nova: des anomalies positives de température à partir de janvier et un risque élevé de blanchissement à partir de février/mars ;
- Les Glorieuses : des anomalies positives de température dès décembre 2015 puis ensuite en mars 2016 et un risque modéré de blanchissement à partir de mars ;
- Tromelin : des fortes anomalies positives de températures dès décembre 2015 et un risque élevé puis très élevé de blanchissement en février puis avril 2016.

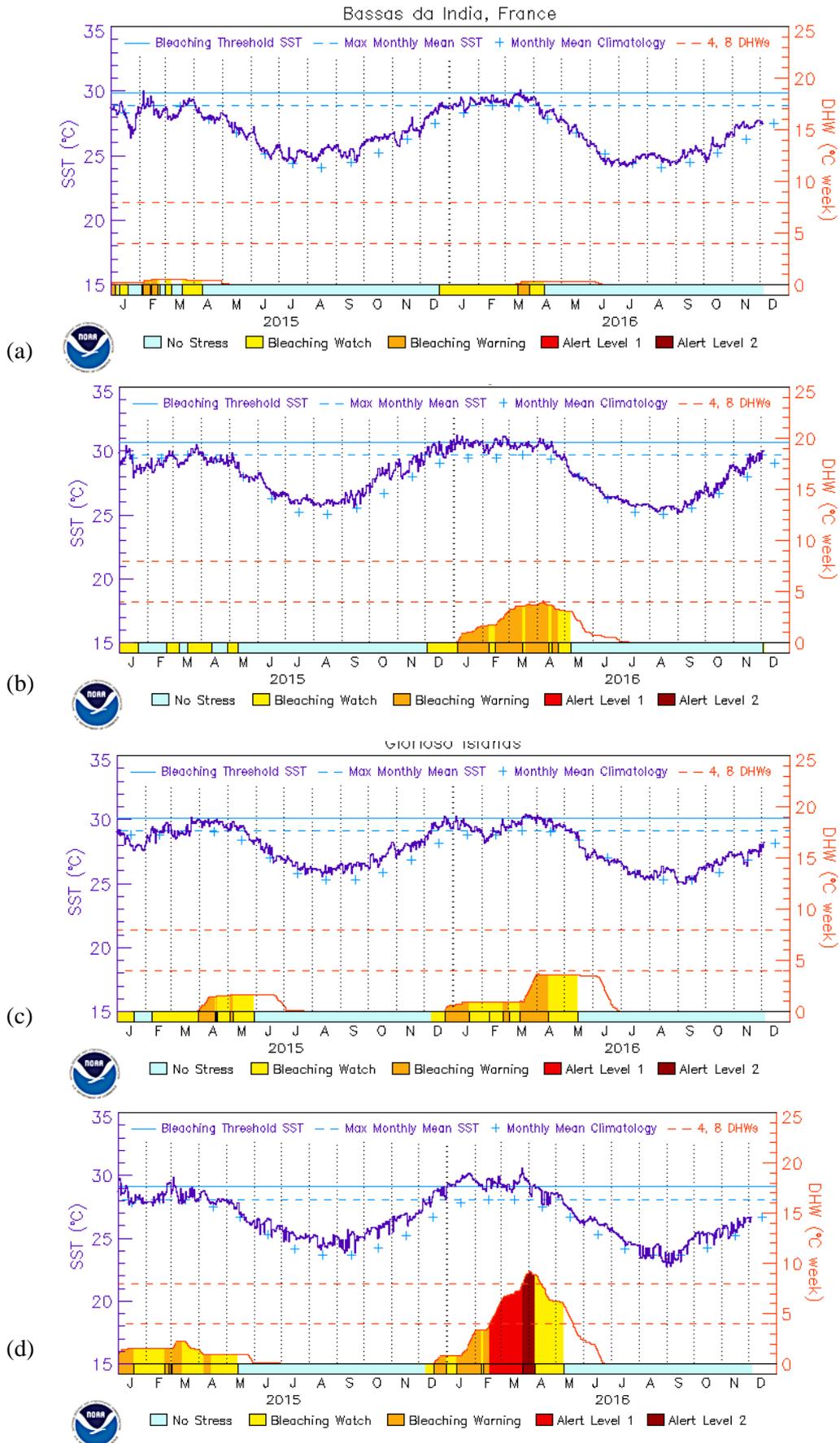


Figure 11 : Température en °C en 2015 et 2016 (courbe bleu foncée), température critique (ligne bleu claire) et le risque de blanchissement pour Bassas da India et Europa (a), Ouest Madagascar /Juan de Nova (b), les Iles Glorieuses (c) et Tromelin (d) (Données NOAA/Coral Reef Watch)

3.3 La température de surface à Mayotte durant le phénomène de blanchissement

Deux types de données sont disponibles à Mayotte : la température mesurée par satellite et la température mesurée *in situ* dans le cadre du programme CORAILHF du PNMM (Figure 12).

Sur les données *in situ*, il a également été calculé le DHW et le risque de blanchissement qui en découle⁶.

L'analyse des sondes *in situ* permet de dresser le constat suivant (Tableau 4 et Tableau 5) :

- Si la température a été élevée au mois de janvier, le mois de février a vu celle-ci sensiblement diminuer pour repartir à la hausse en mars ;
- La température a été plus élevée sur les stations de récif barrière que sur celles des récifs frangeants et récifs internes. Ainsi le niveau d'alerte 1 a été atteint sur les stations de récif barrière alors que les stations de récif frangeant sont restées en « Bleaching warning » ;
- Il ne semble pas y avoir de différence notable Sud/Nord ou Est/Ouest bien que le maillage des sondes ne permette pas de statuer de manière définitive sur

cette répartition spatiale des températures ;

- Seule la station Surprise est restée en « Bleaching watch ». Toutefois, la sonde sur cette station est positionnée à -6m (contre -3m pour les autres stations) ce qui peut expliquer cette température sensiblement plus basse.

Si on compare avec les données et analyses fournies par la NOAA (Figure 13), on remarque un risque plus important mesuré avec les sondes *in situ*. En effet, à partir des mesures satellites de la température, Mayotte est restée en « Bleaching warning » avec un DHW maximum de 1, contre 6,3 sur le récif barrière et 4,5 sur le récif frangeant avec les sondes *in situ*.

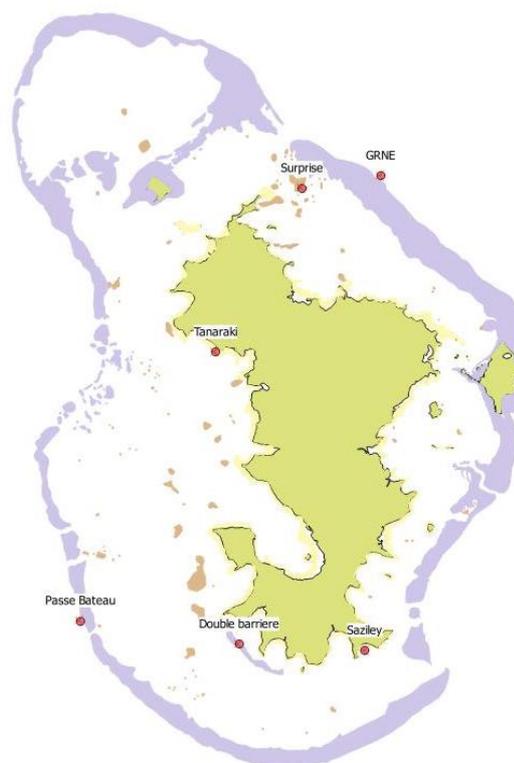


Figure 12 : Position des sondes de température à Mayotte (programme PNMM/CORAILHF)

⁶ Calculé à partir de la température critique fournie par la NOAA

Tableau 4 : DHW et risque de blanchissement calculés à partir des sondes in situ (la couleur des chiffres indique le risque : noir : « no stress », jaune «Bleaching watch », orange « Bleaching warning », rouge « alert level 1 » et violet « alert level 2 »)

Semaine	DHW Tanaraki	DHW Saziley	DHW Double barrière	DHW Surprise	DHW GRNE	DHW Passe Bateau
49 (2015)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
51	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
52	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
53	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1 (2016)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
4	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
5	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
6	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
7	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
8	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
9	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
10	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
11	1,0	1,0	0,0	0,0	2,1	1,2
12	2,1	2,1	1,2	0,0	3,3	2,6
13	3,3	3,3	2,6	0,0	4,6	3,9
14	4,4	4,5	3,7	0,0	5,6	5,1
15	4,0	4,5	4,8	0,0	5,6	6,3
16	4,0	4,5	4,8	0,0	4,6	6,3
17	4,0	4,5	4,8	0,0	4,6	6,3
18	4,0	4,5	4,8	0,0	4,6	6,3
19	4,0	4,5	4,8	0,0	4,6	6,3

Tableau 5 : Température moyenne mensuelle et pour la saison chaude (déc.-avril) mesurée à partir des sondes in situ

Mois	Tanaraki	Saziley	Double barrière	Surprise	GRNE	Passe bateau
déc-15	29,2	29,2	29,3	28,5	29,3	29,4
janv-16	29,9	29,7	29,7	29,4	29,7	29,8
févr-16	29,0	29,0	28,9	28,6	29,1	29,1
mars-16	30,2	30,2	30,3	29,9	30,3	30,4
avr-16	29,8	29,9	29,9	29,6	30,0	29,9
Moyenne déc-avril	29,6	29,6	29,6	29,2	29,7	29,7

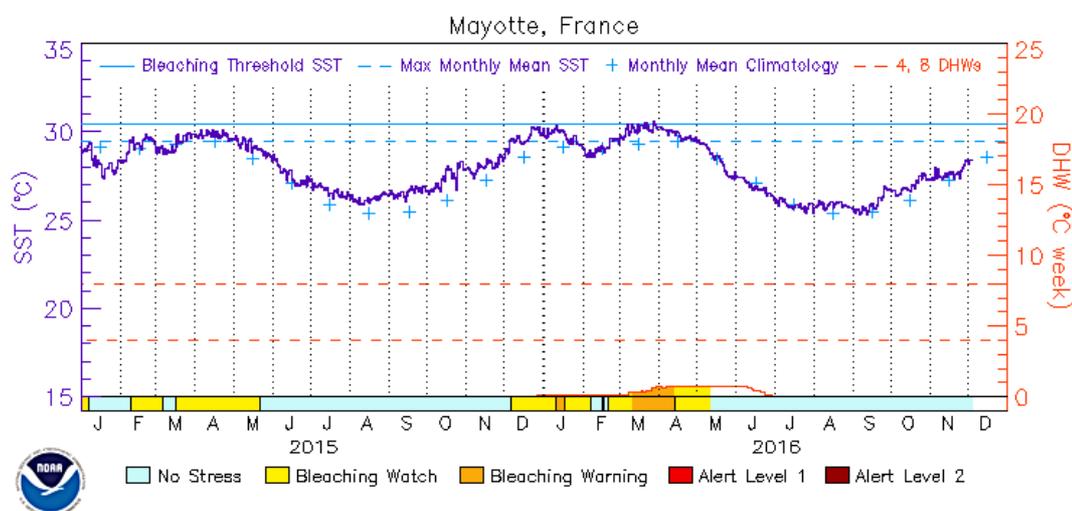


Figure 13 : Température en °C en 2015 et 2016 (courbe bleu foncée), température critique (ligne bleue claire) et le risque de blanchissement pour Mayotte (Données NOAA/Coral Reef Watch)

3.4 La température de surface à La Réunion durant le phénomène de blanchissement

Deux types de données sont disponibles à La Réunion : la température mesurée par satellite et la température mesurée *in situ* dans le cadre des actions de la RNMR (Figure 12). Deux sondes ont été utilisées : la sonde de platier de Saint-Pierre et la sonde de platier de l'Ermitage.

Sur les données *in situ* il a également été calculé le DHW et le risque de blanchissement qui en découle (calculé à partir de la température critique fournie par la NOAA).

L'analyse des sondes *in situ* permet de dresser le constat suivant (Tableau 6 et Tableau 7):

- La température de surface a particulièrement été élevée en décembre 2015 et mars 2016 par rapport aux moyennes mensuelles (Conand *et al.*, 2007) ,
- La température est plus élevée à Saint-Gilles qu'à Saint-Pierre, phénomène déjà observé les années précédentes (Nicet *et al.*, 2015) avec une température plus élevée à Saint-Gilles et Saint-Leu qu'à Etang Salé et Saint-Pierre ;
- Le DHW est resté faible avec 1,2 à Saint-Gilles et 0 à Saint-Pierre.

Si on compare avec les données et analyses fournies par la NOAA (Figure 14) on remarque un risque beaucoup plus important mesuré par la NOAA puisque le DHW atteint 9.

Tableau 6 : DHW et risque de blanchissement calculés à partir des sondes in situ (la couleur des chiffres indique le risque : noir : « no stress », jaune « Bleaching watch », orange « Bleaching warning », rouge « alert level 1 » et violet « alert level 2 »)

Semaine	Saint-Pierre	Ermitage
51 (2015)	0	0
52	0	0
53	0	0
1 (2016)	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	1.2
11	0	1.2
12	0	1.2
13	0	1.2
14	0	1.2
15	0	1.2
16	0	1.2
17	0	1.2
18	0	1.2
19	0	1.2
20	0	1.2
21	0	0.0
22	0	0.0
23	0	0.0
24	0	0.0
25	0	0.0

Tableau 7 : Température moyenne mensuelle et pour la saison chaude (déc.-avril) mesurée à partir des sondes in situ

Mois	Saint-Pierre	Ermitage
12	27.5	28.1
1	27.3	28.0
2	28.5	28.9
3	28.5	29.0
4	27.2	27.9
Moyenne déc-avril	27.8	28.4

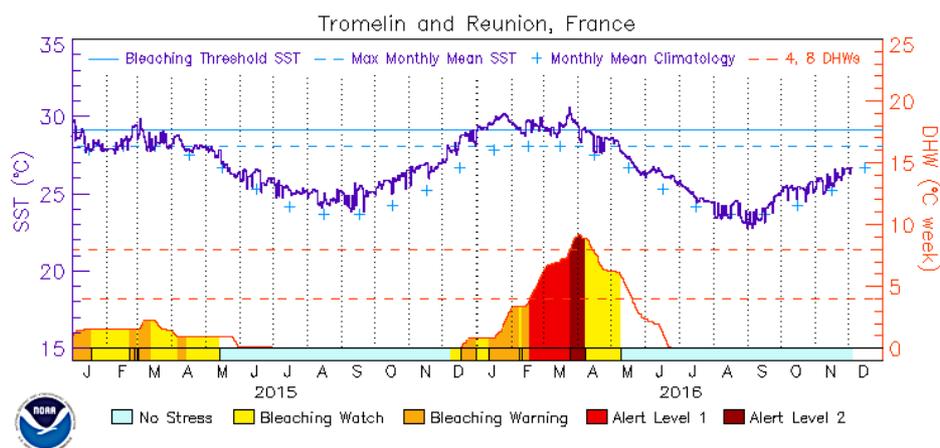


Figure 14 : Température en °C en 2015 et 2016 (courbe bleu foncée), température critique (ligne bleue claire) et le risque de blanchissement pour La Réunion (Données NOAA/Coral Reef Watch)



4 SYNTHÈSE DU BLANCHISSEMENT DE 2016 DANS LES COM DE L'OCEAN INDIEN

4.1 Les Iles Eparses

4.1.1 Etendue et intensité du phénomène

Les suivis réalisés en mai 2016 ont permis de caractériser finement l'étendue et l'intensité du phénomène à Europa, Juan de Nova et aux îles Glorieuses. Les points suivants ressortent alors (Tableau 8, Figure 18) :

- L'impact du blanchissement de 2016 en termes de prévalence est très variable selon les îles : s'il est très faible à Europa (1-10% des colonies touchées), il est élevé à Juan de Nova et aux îles Glorieuses ;
- Concernant Europa, le blanchissement a surtout sévi sur le platier sur des zones où la couverture corallienne est faible même si il reste très modéré (10-29%) et essentiellement lié à des colonies partiellement blanchies. On observe également des zones où la mortalité atteint 100% sur la terrasse lagunaire, mais cette mortalité ne peut être attribuée au phénomène de blanchissement de 2016 (cf. encadré page suivante) ;
- A Juan de Nova, la prévalence est forte puisqu'elle concerne la moitié des colonies. En revanche, la couverture corallienne avant le phénomène était très faible, si bien que la diminution *in fine* de la couverture corallienne en absolu restera modérée (car déjà impactée auparavant). Il apparaît en effet qu'une forte mortalité corallienne soit survenue dans les années

précédentes à Juan de Nova mais ne peut être impliquée au présent phénomène (cf. encadré page suivante) ;

- Enfin, aux îles Glorieuses, la prévalence de blanchissement / mortalité est forte (excepté sur les platiers) et en outre la couverture corallienne était moyenne. Ainsi, l'impact du blanchissement est fort avec une perte potentielle ⁷ de la couverture corallienne comprise la plupart du temps entre 10 et 50% sur la pente externe.

⁷ En raison qu'il n'y ait eu qu'un suivi en mai 2016, la mortalité liée au blanchissement de 2016 n'a pu être quantifiée. Nous prenons alors l'hypothèse pessimiste que l'ensemble des colonies blanchies soient finalement mortes.

Des signes de dégradations non liés au phénomène de blanchissement de 2016

A Europa, sur la platier en prolongement de la terrasse lagonnaire, une mortalité quasiment totale a été observée et concerne des colonies de *Fungia* qui par endroits pouvaient former une couverture corallienne de 100% et des colonies de coraux massifs et submassifs et d'Acropores (*Figure 15*). En l'absence de suivi régulier, cette mortalité est difficilement explicable mais elle ne saurait, au vu de la dégradation des colonies, être imputable au blanchissement de 2016 (excepté peut être pour les *Fungia* où le doute peut subsister), même si elle est assez récente (probablement environ 1 an). Elle est, quoiqu'il en soit, postérieure à 2012, puisque lors de la phase de vérité terrain de la cartographie des habitats (Grellier et al., 2012), ces zones présentaient une vitalité importante.

A Juan de Nova, là aussi on observe une couverture corallienne très faible suite à un effondrement de celle-ci entre 2013 et 2016, puisque elle était comprise entre 19 et 57% en 2013 (moyenne 28%) et qu'en 2016 elle est comprise entre 0 et 30% (moyenne 15%). Cette forte mortalité (*Figure 17*) qui touche l'ensemble des genres et plus particulièrement les *Pocillopora* est donc survenue entre 2013 et 2015. En analysant les données de température entre 2013 et 2015 on observe alors une anomalie positive de température durant l'été austral en début 2014 (*Figure 16*) avec un DHW cumulé atteignant alors 3 (pour comparaison, durant le présent phénomène le DWH a atteint 4). Toutefois, en l'absence de suivis annuels, la raison de cette forte mortalité ne peut rester qu'à l'état d'hypothèse. En outre, sur de nombreuses colonies coralliennes, la mortalité semble également porter les stigmates de maladies coralliennes ou tout du moins de nécroses majeures.



Figure 15 : Mortalité de coraux massifs (à gauche) et de Fungia (à droite) à Europa en sortie de terrasse lagonnaire

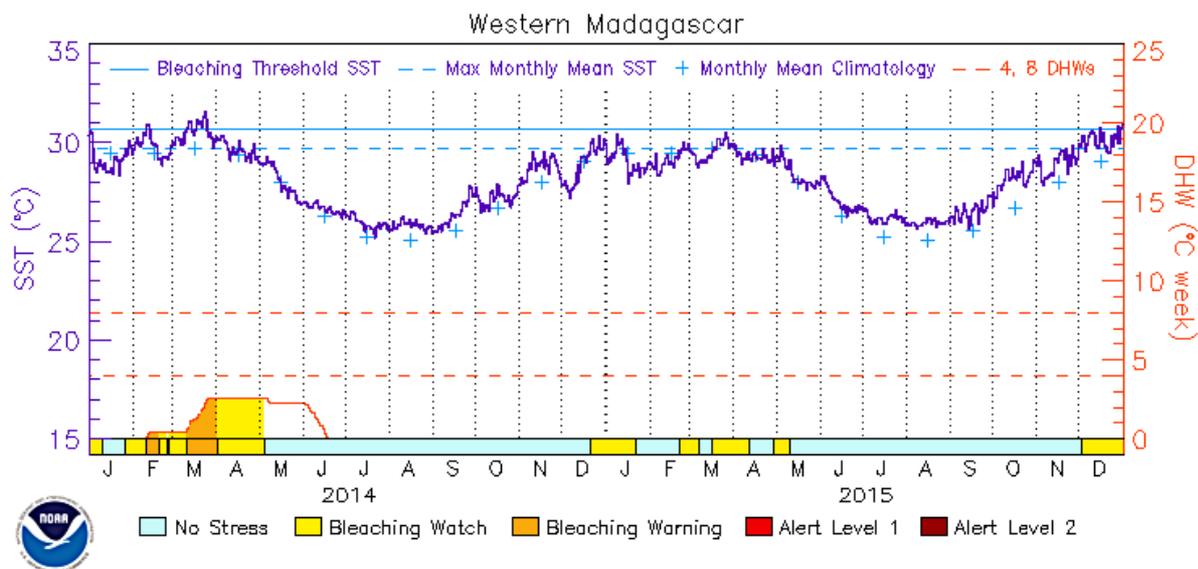


Figure 16 : Température en °C en 2014 et 2015 (courbe bleu foncée), température critique (ligne bleu claire) et le risque de blanchissement pour l'Ouest de Madagascar/Juan de Nova (Données NOAA/Coral Reef Watch)

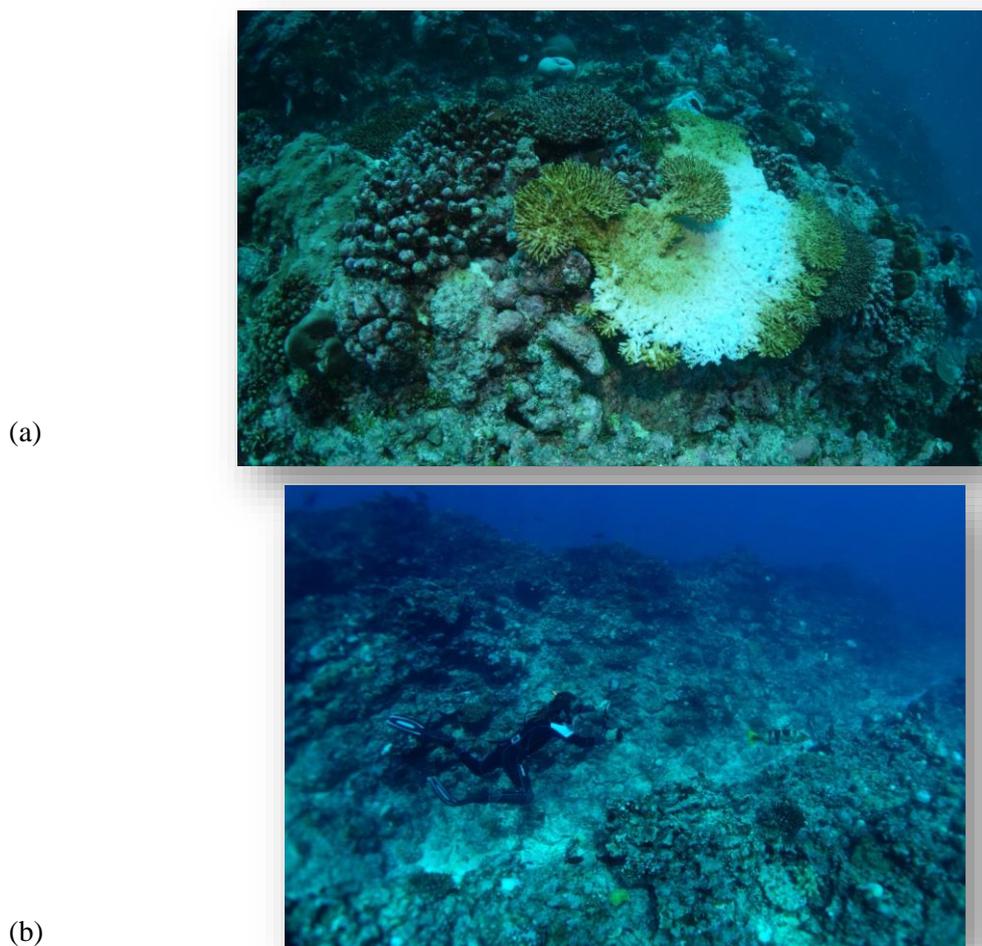


Figure 17 : Mortalité due au phénomène de blanchissement de 2016 et mortalité plus ancienne (a), couverture corallienne très faible de la pente externe en mai 2016 (b)

Tableau 8 : Blanchissement plus mortalité par île en mai 2016

Iles	Pente externe	Platier	Massifs corallien de terrasse lagonnaire
Europa	1-9%	10-29%	Sans objet
Glorieuses	50-89%	1-9%	30-49%
Juan De Nova	50-89%	50-89%	30-49%

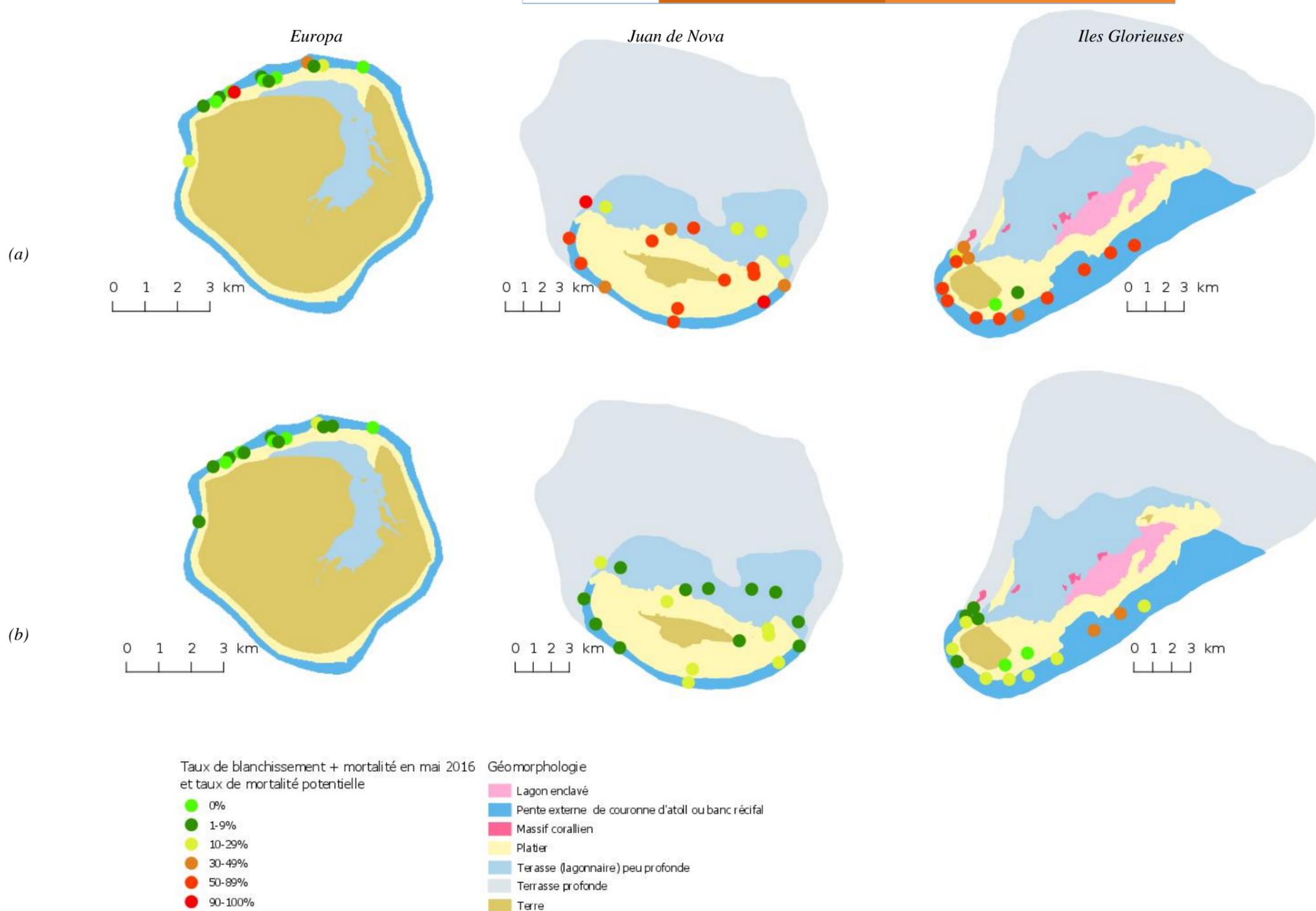


Figure 18 : Prévalence du blanchissement (et mortalité) en mai 2016 (a) et extrapolation de perte potentielle maximale de couverture corallienne en valeur absolue du recouvrement du substrat (ie : la totalité des colonies blanchies sont mortes) (b)

4.1.2 Les réponses au phénomène de blanchissement en fonction des genres coralliens

Suivant les îles, les genres ont été impactés différemment par cet épisode de blanchissement. On note ainsi :

- A Europa, les *Acropora* tabulaires, les *Porites* sub massifs et les *Montipora* sont les genres les plus touchés. Les *Goniastrea* et les *Platygyra* ont quant à eux majoritairement pâli ;
- A Juan de Nova, sur la pente externe, seul les *Astreopora*, *Acropora* encroûtants, les *Echinopora* et dans une moindre mesure les *Porites*

massifs ont résisté au blanchissement. Sur les massifs coralliens de terrasse lagonnaire, l'ensemble des genres sont touchés, mais les *Acropora* digités, les *Goniastrea* et les *Porites* massifs ont mieux résisté. Les *Seriatopora* ont, au contraire, subi une mortalité précoce liée à cet épisode de blanchissement ;

- Enfin, aux Glorieuses, comme à Juan de Nova, ce sont les *Astreopora*, les *Echinopora* et dans une moindre mesure les *Porites* massifs qui ont le mieux résisté. Notons également que nombre de coraux mous, peuplement structurant aux Glorieuses, sont morts des suites de l'épisode de blanchissement.

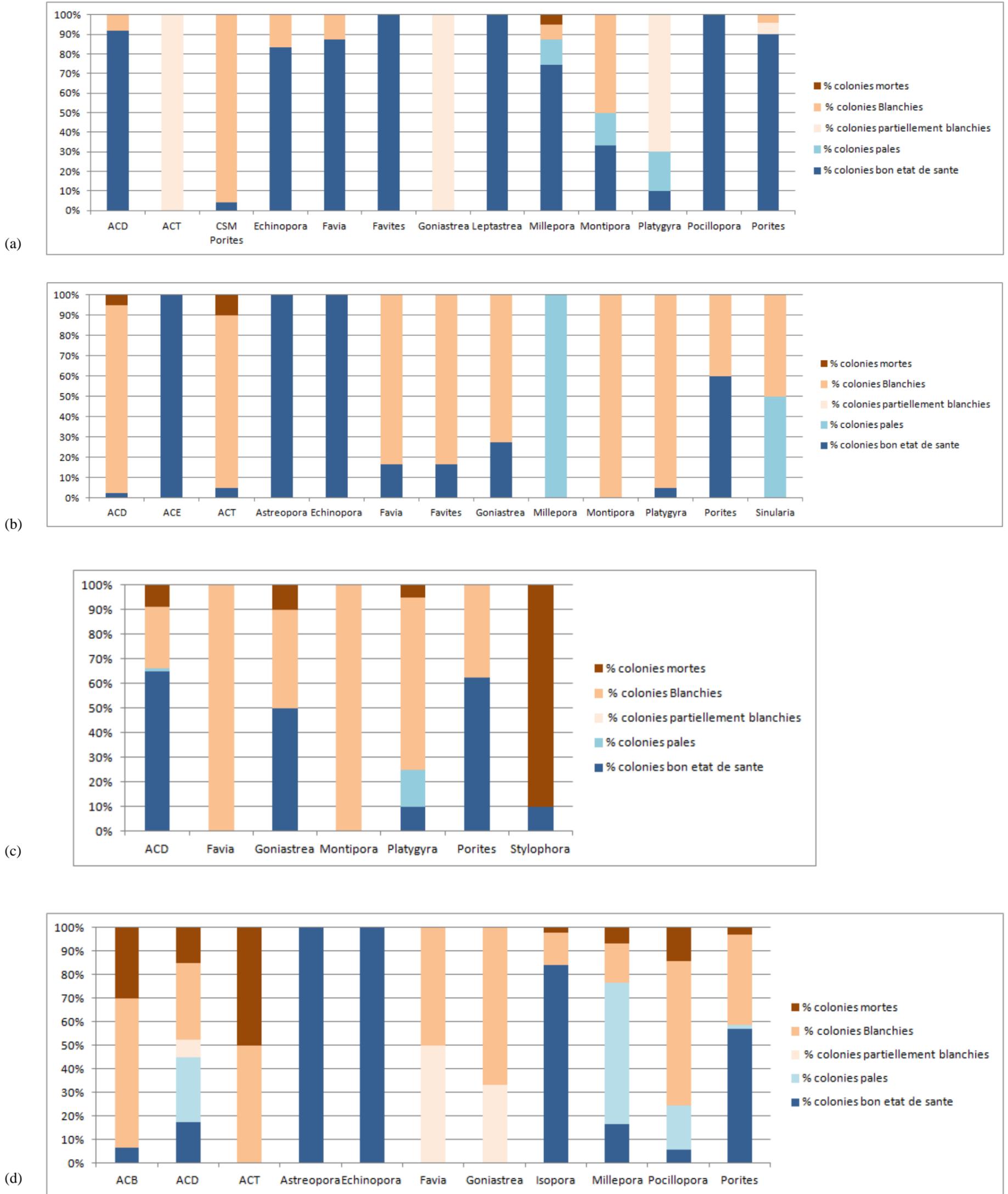


Figure 19 : Prévalence du blanchissement et de la mortalité en mai 2016 pour les genres coralliens dominants le peuplement sur la pente externe de la couronne d'atoll d'Europa (a), la pente externe du banc récifal de Juan de Nova (b), les massifs coralliens de terrasse lagunaire de Juan de Nova (c) et la pente externe de banc récifal des îles Glorieuses

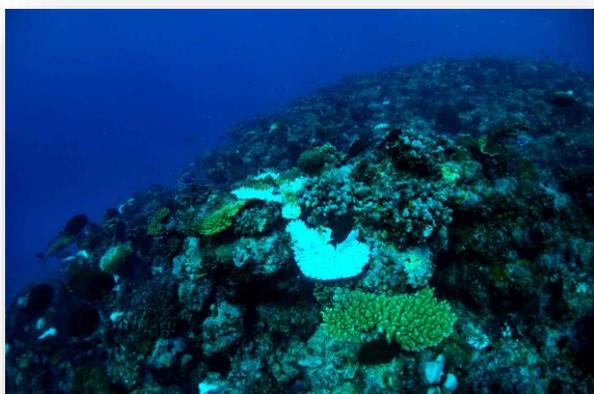


(a)



(b)

Figure 20 : Blanchissement et mortalité de *Millepora* (seule genre où une mortalité liée au phénomène de 2016 a été observée à Europa) (a) et colonies de *Pocillopora* morte à Juan de Nova antérieurement au phénomène de 2016 (b)



(a)



(b)

Figure 21 : Colonies en bon état de santé, blanchies, mortes anciennement et récemment sur la pente externe de Juan de Nova (a) et colonies de *Pocillopora* en bon état de santé, pâle, blanchies et morte récemment aux Glorieuses (b)



(a)



(b)

Figure 22 : Coraux mous (*Coelergorgia palmosa*) morts suite au blanchissement de 2016 (a) et anémones blanchies (b) aux îles Glorieuses

4.1.3 Mise en perspective du phénomène de blanchissement 2016 avec les phénomènes antérieurs

Du fait de la difficulté d'accès des îles Eparses, peu de références documentent les épisodes successifs de blanchissement. Deux épisodes passés sont toutefois relatés, le blanchissement de 1998 et celui de 2010 :

- Le phénomène de 1998 semble avoir été le plus impactant parmi les phénomènes récents. Juan de Nova a été en particulier fortement touché. Ainsi, en 2004 la couverture corallienne était évaluée entre 5 et 15% alors qu'elle était "florissante" dans les années 1990 (Chabanet et Durville, 2005). Le suivi du recrutement corallien et de la couverture corallienne aux Iles Glorieuses laissait suggérer un impact important du blanchissement de 1998 sur ces îles (ARVAM, 2003), mais ces interprétations, au regard des suivis réalisés depuis sont à prendre avec la plus grande précaution. Enfin, à Europa, les Acropores branchus au Nord-Est ont subi une forte mortalité

suite au phénomène de 1998 (Quod et *al.*, 2002) ;

- Concernant le blanchissement de 2010, les différents suivis réalisés avant ou après ne mettent pas en évidence d'impact significatif sur les îles Glorieuses et Europa (programmes COSURECO, INTERFACE, BIORIECIE en particulier). En revanche, une mortalité, notamment des coraux du genre *Pocillopora* a été observée à Juan de Nova lors de la vérité terrain de la mission Hyperspectral (Mouquet et *al.*, 2010). Cet impact est confirmé mais reste modéré au regard des niveaux de couvertures coralliennes à Juan de Nova en 2011 (Chabanet et *al.*, 2014). On note en outre une forte résilience de la couverture corallienne à Juan de Nova entre 2011 et 2013.

Même si des données existent, il est difficile en l'état actuel de quantifier l'impact de chaque épisode de blanchissements sur l'ensemble des îles du fait du caractère irrégulier des suivis et du nombre de stations restreint.

Tableau 9 : Caractérisation (intensité, spatialisation, genres affectés) des précédents événements de blanchissement aux îles Eparses

Année de blanchissement	Assiette géographique des références	Impact blanchissement	Zones affectées	Référence
1983	Pas de données			
1998	Juan de Nova Glorieuses Europa	Juan de Nova : Fort Glorieuses : difficilement quantifiable, de faible à modéré Europa : faible	Juan de Nova : Ensemble des récifs Europa : Zone Nord-Est de la terrasse lagonnaire	Quod et Garnier, 2002 ; ARVAM, 2004 ; Chabanet et Durville, 2005
2010	Juan de Nova Glorieuses Europa	Juan de Nova : Modéré, touche essentiellement les coraux du genre <i>Pocillopora</i> Glorieuses : Faible Europa : Non quantifiable. Au maximum faible impact	Juan de Nova : Ensemble des récifs	Chabanet et al., 2014 ; Mouquet et al., 2010

4.2 Mayotte

4.2.1 Etendue et intensité du phénomène

Les suivis réalisés en avril et juin/juillet ont permis de caractériser finement l'étendue et l'intensité du phénomène à Mayotte. Les points suivants ressortent alors (Figure 23, Tableau 10) :

- Au total entre 10 et 29% des colonies sont mortes suite au blanchissement corallien ;
- Le blanchissement est globalement plus élevé sur la pente externe du récif barrière que sur le récif frangeant. Sur les récifs internes, comme souvent, la situation est plus contrastée et varie en fonction des récifs, probablement du fait (i) des peuplements présents et (ii) de l'hydrodynamisme de la zone entourant les récifs internes ;
- Sur les récifs frangeants le blanchissement est élevé au Nord (zone de Mtsamboro) dans la partie Nord de la baie de Bouéni, à Majicavo et Longoni. En juin, la mortalité associée était élevée. Les autres zones du récif frangeant ont été faiblement touchées ;
- Sur les récifs internes, le récif de La Surprise, de La Prévoyante et de Pietro ont fortement blanchis, mais si la mortalité est élevée sur La Surprise, la mortalité est plus faible sur les récifs de Prévoyante et Pietro. A noter que sur le double récif barrière le blanchissement a été globalement faible ;
- Enfin, sur le récif barrière, si les zones Nord-Est (GRNE) et Sud Est ont été assez peu touchées, le récif barrière Sud et Nord-Ouest ont été fortement touchés avec un blanchissement et une mortalité associée élevés.

Les différences d'intensité du blanchissement selon les zones

A priori les différences de réponses des secteurs de Mayotte pourraient venir : (i) de peuplements coralliens (espèces) différents selon les endroits, (ii) de différence de température.

Concernant la première hypothèse, si pour le récif barrière, les peuplements sont légèrement différents sur la partie GRNE, ce n'est pas le cas pour la partie Sud-Est du récif barrière (Passe en S, Bandrélé) où les peuplements sont similaires au récif barrière Sud et Nord-Ouest. Il en est de même pour les récifs internes (où par exemple le récif de La Surprise présente des Acropores tabulaires, comme la double barrière) et les récifs frangeants. Ce sont bien les mêmes genres (et les mêmes espèces) qui ont été différemment touchés selon les secteurs comme le montre le tableau ci-dessous.

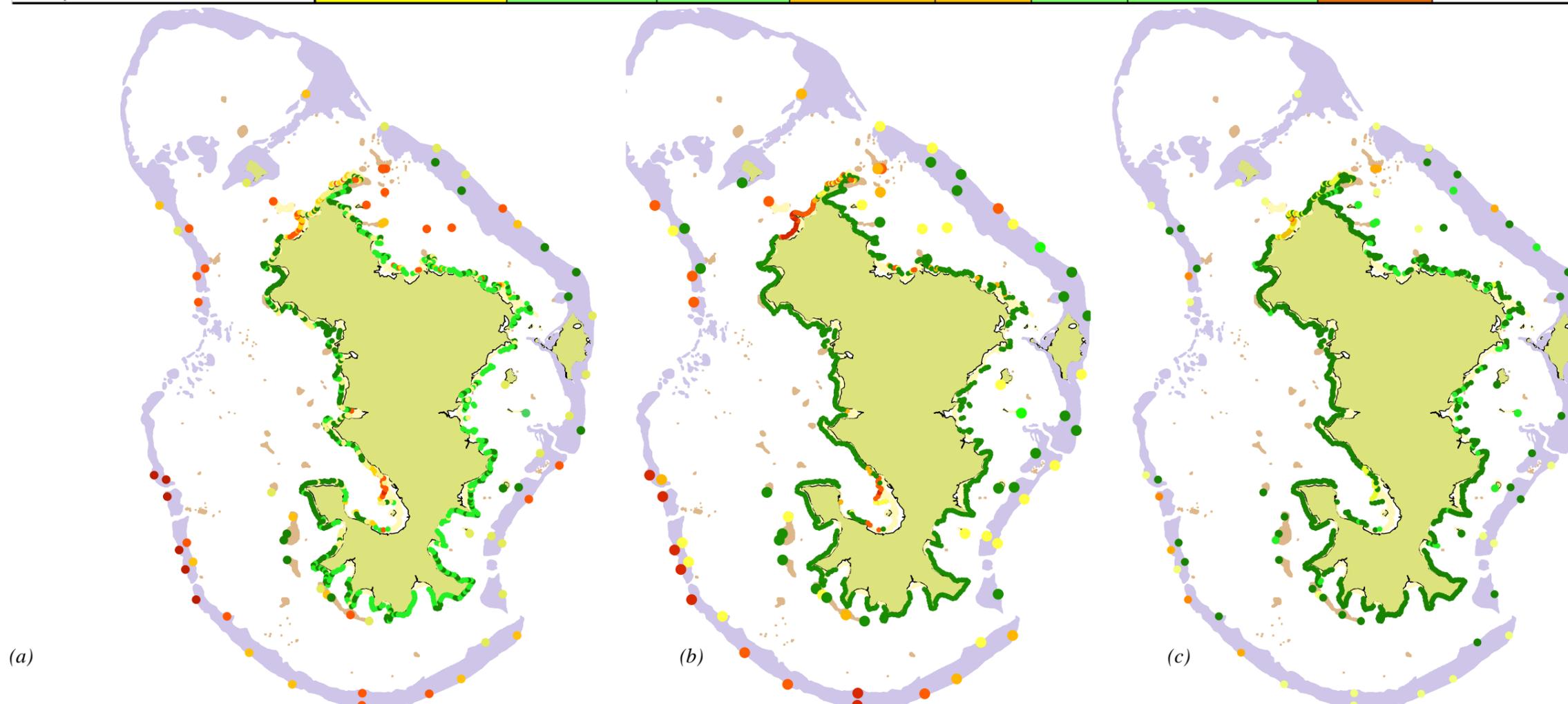
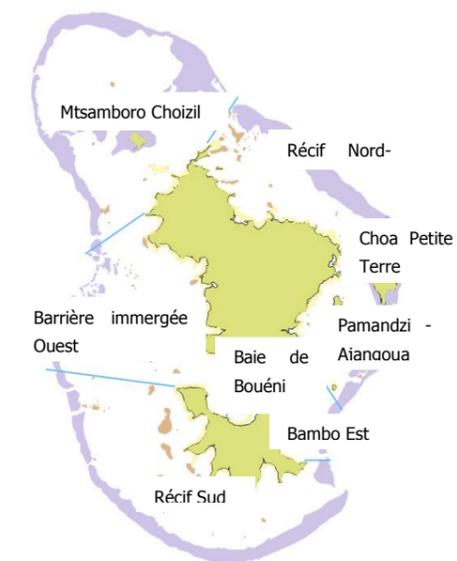
Tableau : Exemple de prévalence de mortalité pour certains genres selon les secteurs (ACT : Acropore tabulaire ; ACB : Acropore branchu ; ACD : Acropore digité)

Secteur	ACT	ACB	ACD	Pocillopora
Pente externe RB Est et Nord-Est	11%	5%	14%	97%
Pente externe RB Sud et Ouest	96%	65%	81%	96%
Platier RI Surprise	93%			
Platier RI Double barrière	8%			

Pour la température, l'analyse pratiquée sur les données de température dans le chapitre précédent n'a pas mis, en évidence de différence notable selon les secteurs (mais des différences selon les types de récifs). Ainsi, nous ne pouvons apporter en l'état actuel d'élément probant sur les raisons de ces différences de réponses.

Tableau 10 : Mortalité par type géomorphologique et secteur

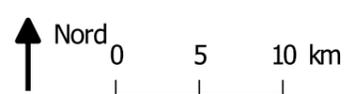
Géomorphologie	Nord-Est	Pamandzi-Ajangoua	Choa Petite Terre	Mtsamboro-Choizil	Récif Sud	Bambo Est	Barriere immergee Ouest	Baie de Boueni	Total géomorphologie
Pente externe Recif barriere	10-29	10-29	1-09	30-49	50-89	10-29	Sans objet	Sans objet	30-49
Pente interne Recif barriere	1-09	1-09	1-09	1-09	30-49	10-29	Sans objet	Sans objet	30-49
Platier récif frangeant ilot	1-09	1-09	Sans objet	30-49	Sans objet	10-29	Sans objet	Sans objet	10-29
Platier Recif interne	30-49	Sans objet	Sans objet	Sans objet	1-09	SO	Sans objet	Sans objet	10-29
Platier récif frangeant	1-09	1-09	Sans objet	50-89	1-09	1-09	1-09	50-89	10-29
TOTAL par secteur	10-29	1-09	1-09	30-49	30-49	1-09	1-09	50-89	



(a)

(b)

(c)



Taux de blanchissement en avril 2016, taux de mortalité en juillet 2016 et perte de couverture corallienne

- 0 %
- 1-9%
- 10-29%
- 30-49%
- 50-89%
- 90-100%

Géomorphologie

- Récif interne
- Récif frangeant
- Récif barrière

Figure 23 : Prévalence du blanchissement (et mortalité) en avril 2016 (a), prévalence de la mortalité (et blanchissement résiduel) en juin 2016 et perte de couverture corallienne en valeur absolue du recouvrement du substrat

4.2.1 Les réponses au phénomène de blanchissement en fonction des genres coralliens

Les genres ont été impactés différemment par cet épisode de blanchissement, on note ainsi :

- Des genres fortement impactés (i.e. avec une mortalité élevée) : *Pocillopora*, *Acropora*, *Echinopora*, *Porites* submassifs et *Millepora* ;
- Des genres faiblement touchés : *Astreopora*, *Isopora*, *Diploastrea*, *Galaxea* (espèce *astrea*), *Leptoria*, *Porites* (formes massives), *Platygyra*, *Plerogyra*.

4.2.2 Analyse détaillée par genre : le programme SIREME

Dans le cadre du programme SIREME piloté par l'IRD, une mission s'est déroulée à Mayotte du 23 mai au 2 juin 2016. La méthode COO/CORDIO a été appliquée au niveau

expert (Belt Transect) pour évaluer le blanchissement.

Il en ressort qu'au total 48% des colonies était en bonne santé, 28% pâles ou blanches et 24% mortes ou partiellement mortes.

Ces chiffres sont intermédiaires avec ceux des deux campagnes de BECOMING où respectivement 64% des colonies étaient affectées en avril (non compris le récif frangeant) et entre 25 et 30% en juin.

Les principaux genres touchés confirment les observations de BECOMING avec les *Acropora* et les *Pocillopora* comme genres principalement affectés parmi les genres dominants le peuplement corallien. Toutefois le Belt transect permet de mettre en avant certains genres moins fréquents (en termes de nombre de colonies) qui ont été fortement affectés, notamment les *Seriatopora*.

La comparaison par type de récif frangeant ou zone géographique n'est pas possible du fait du trop faible nombre de stations réalisées dans le cadre de SIREME.

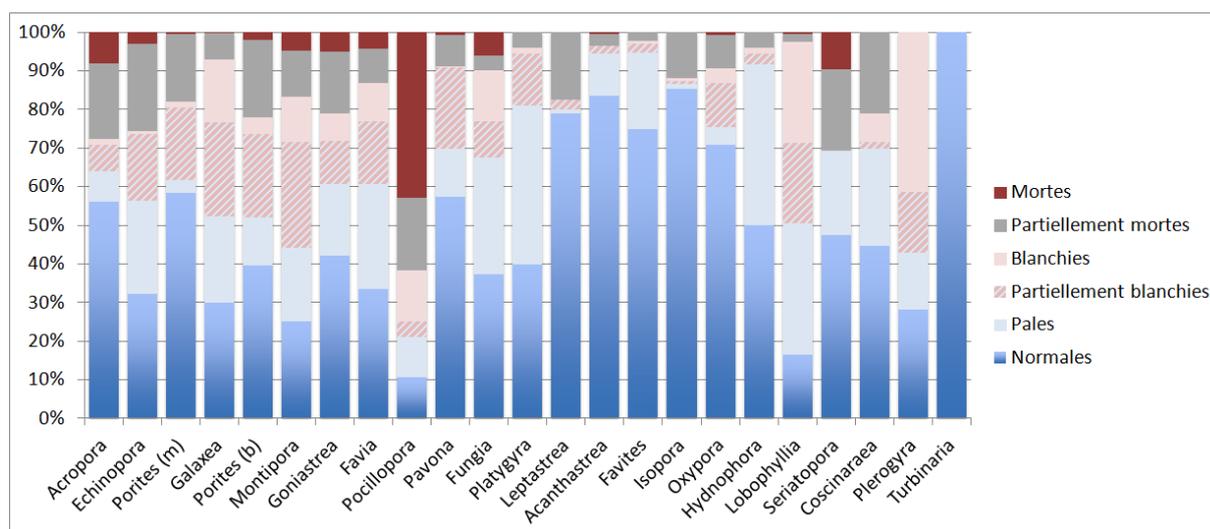
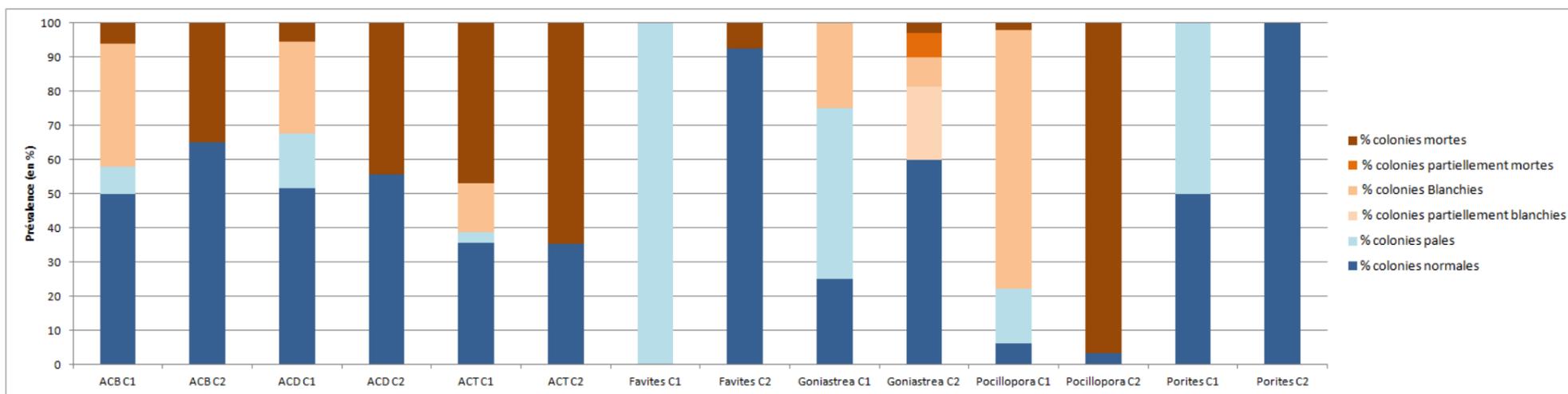
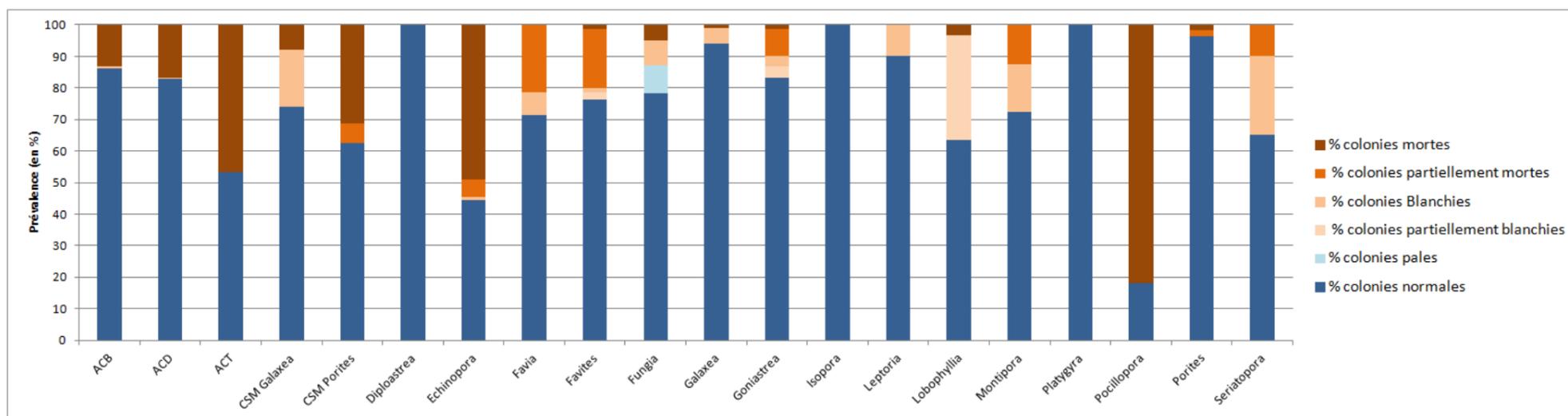


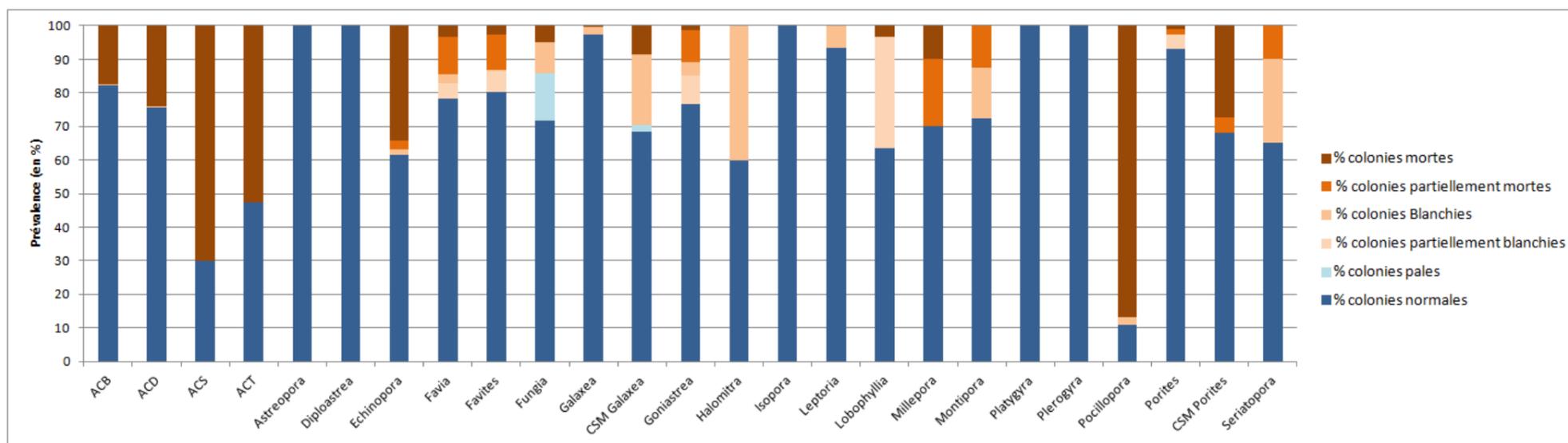
Figure 24 : Prévalence du blanchissement et mortalité fin mai/début juin, observée par Belt Transect lors de la campagne IRD/SIREME (données Obura)



(a)



(b)



(c)

Figure 25 : Prévalence du blanchissement (et mortalité) en avril 2016 (C1), prévalence de la mortalité (et blanchissement résiduel) en juin 2016 (C2) pour les genres coralliens dominants le peuplement pour la pente externe du récif barrière (a), du récif frangeant (b, uniquement campagne de juin) et au total (c, uniquement pour mission juin)



(a)



(b)

Fort blanchissement/mortalité sur le récif interne de La Surprise (a) et blanchissement quasi nul sur la double barrière (b)



(c)



(d)

Fort blanchissement/mortalité sur la pente externe du récif barrière du Nord ouest (c) et du récif Sud (d)



(e)



(f)

Blanchissement faible sur la pente externe du récif de Pamandzi (e) et Acropora tabulaires morts, digités blanchis et Pocillopora mort (f)

Figure 26 : Illustration du blanchissement et de la mortalité sur les récifs de Mayotte

4.2.3 L'indicateur DCE et sa réponse face au blanchissement corallien

L'indicateur DCE récifal doit permettre de relier un état de santé et les pressions locales auxquelles sont soumis les récifs de Mayotte. Ainsi, il doit être le moins possible affecté par les pressions globales dont en premier lieu les épisodes de blanchissement. Trois paramètres ont été analysés dans le cadre de BECOMING : le peuplement corallien total, la part d'ACT et la part d'ACB (Tableau 11).

Il en ressort les points suivants :

- Le choix du récif frangeant comme récif à suivre s'avère pertinent puisque

l'impact du blanchissement y a été plus faible que sur le récif barrière. Les ACT et ACB ont notamment moins souffert sur le récif frangeant que sur le récif barrière (Tableau 13) ;

- Dans l'ensemble, le récif frangeant a peu souffert du blanchissement corallien, l'indicateur pour l'ensemble de Mayotte ne devrait donc pas être trop impacté ;
- Toutefois, 2 masses d'eau ont été fortement impactées (Tableau 12) : il s'agit de M'Tsamboro-Choizil et de la baie de Bouéni.

Tableau 11 : Paramètres constituant l'indicateur coraux DCE et paramètres à analyser dans le cadre de Becoming (entourés en rouge)

Métrique	Classe 1 : Très bon état [0,1]	Classe 2 : Bon état [1,2]	Classe 3 : Etat moyen [2,3]	Classe 4 : Etat médiocre [3,4]	Classe 5 : Mauvais état [4,5]
Couverture corallienne (%) sur le substrat colonisable (substrat dur)	[100,65]	[65,50]	[50,30]	[30,10]	[10,0]
Part d'Acropores (%) dans la couverture corallienne (corail dur)	[90,60]	[60,50] ou [90,95]	[50,30] ou [95,100]	[30,10]	[10,0]
Part des Acropores tabulaires (%) dans la couverture en coraux Acropores	[50,20]	[20,15] ou [50,80]	[15,10] ou [80,100]	[10,5]	[5,0]
Part des Acropores branchus (%) dans la couverture en coraux Acropores	[50,20]	[20,15] ou [50,80]	[15,10] ou [80,100]	[10,5]	[5,0]
Couverture en coraux mous (%) sur le substrat dur non colonisé par les coraux durs	[0,10]	[10,20]	[20,30]	[30,50]	[50,100]
Couverture en algues dressées (%) sur les débris, sable et substrat dur non colonisé par les coraux durs	[0,5]	[5,20]	[20,30]	[30,50]	[50,100]
Couverture en algues calcaires encroûtantes (%) sur les débris et substrat dur non colonisé par les coraux durs	[100,50]	[50,30]	[30,10]	[10,5]	[5,0]

Tableau 12 : Moyenne de la couverture corallienne pendant le blanchissement et après le blanchissement

Secteur	Couverture coraux durs mars 2016	Couverture coraux durs post blanchissement 2016
Baie de Boueni	19	10
Bambo-Est	38	36
Barriere Submergee Ouest	48	45
Choa-Petite Terre	18	17
Mzamboro-Choizil	39	22
Nord-Est	20	18
Pamandzi-Ajangoua-Bandrele	18	17
Recif Sud	37	35
Total Mayotte	33	29

Tableau 13 : Mortalité des ACT et ACB sur le récif frangeant (platier externe/bordure tombant) et sur le récif barrière

Paramètres	Récif frangeant de Grande Terre	Pente externe récif barrière
ACB	13 (17)	35 (4)
ACT	47 (11)	65 (9)

4.2.4 Mise en perspective du phénomène de blanchissement 2016 avec les phénomènes antérieurs

Trois événements majeurs de blanchissement à Mayotte ont été précédemment documentés : les blanchissements de 1983, 1998 et 2010. Un phénomène de blanchissement est également évoqué dans Bigot et *al.*, 2000 mais non documenté. Malheureusement, pour l'ensemble de ces phénomènes, ce sont des suivis opportunistes ou des suivis non dédiés au blanchissement et ainsi ils ne couvraient pas l'ensemble des récifs et/ou n'ont pas fait l'objet de suivi au niveau du genre. En complément certains suivis (ORC - station LIT, suivi MSA, suivi frangeant), bien que non spécifiquement dédiés au blanchissement, ont permis de préciser les impacts de ces événements.

Il en ressort les points suivants (Tableau 14) :

- Le phénomène le plus intense, documenté, qu'ait subi Mayotte reste l'événement de 1998, avec une mortalité atteignant 80 % et l'ensemble des récifs touchés ;
- Il est plus difficile de comparer les autres événements du fait de données

disparates, mais le blanchissement de 2010 et 2016 semble assez comparables en termes d'intensité ;

- Le blanchissement de 1983 est différent, non pas par son intensité mais plutôt par le type de récif touché. En effet, en 1998, 2010 et 2016 le récif barrière est le récif le plus touché. En revanche, il semblerait que ce soit le récif frangeant qui ait été le plus impacté en 1983 ;
- Pour 2010 et 2016 la partie Est du récif barrière semble avoir globalement une meilleure résistance que le récif barrière Sud et Nord ouest (même si plus localement cela peut légèrement différer) ;
- Les genres les plus affectés sont les *Acropora* et les *Pocillopora* ;
- Les récifs internes réagissent différemment à la succession d'épisodes de blanchissement : fort impact du blanchissement de 1998, impact faible du blanchissement de 2010 et réponse différente selon les récifs internes en 2016.

Tableau 14 : Caractérisation (intensité, spatialisation, genres affectée) des précédents événements de blanchissement à Mayotte

Année de blanchissement	Taux de blanchissement	Principaux genres affectés	Zones affectées	Remarque	Référence
1983	Frangeant (platier externe/tombant) : 30-45% Massifs coralliens : 30-45% Pente externe récif barrière : Très faible (ACT partiellement blanchis)	ACT, ACD, ACS, <i>Isopora</i> , <i>Pachyseris</i> , <i>Goniopora</i> , <i>Porites</i> massifs, <i>Favites</i> , <i>Favia</i> , <i>Mantipora</i> , <i>Platygyra</i> , <i>Leptoseris</i> , <i>Millepora</i> , <i>Pocillopora</i> , <i>Seriopora</i> , <i>Stylophora</i>	Pas de donnée	Blanchissement et mortalité plus importante sur le récif frangeant que sur les récifs internes et le récif barrière	Faure et al., 1984
1987/1988	Pas de donnée	Pas de donnée	Pas de donnée	Juste mentionné dans Bigot et Quod, 2000	Bigot et Quod, 2000
1998	80%	Ensemble du peuplement mais en priorité les <i>Acropora</i>	Pas de données particulière mais ensemble du récif affecté. Dans le lagon, les zones plus profondes ont mieux résisté : tombant du récif frangeant et des récifs internes	La couverture corallienne suite aux blanchissement est globalement inférieure à 20% sur la pente externe du récif barrière et les platiers externes du récif frangeant et des récifs internes. Pour les tombants de frangeant et récifs internes la couverture corallienne post blanchissement est plus variable mais tourne autour de 20-40%.	Descamps et al. 1998; Bigot et Quod, 2000; Dahalani et al., 2000; Wendling et al., 2000
2010	50 % des colonies blanchies ou mortes.	<i>Acropora</i> , <i>Pocillopora</i>	Récif barrière Sud et Nord-Ouest, partie centrale du GRNE et récif barrière d'Hajangoua	Fort blanchissement sur le récif frangeant mais mortalité faible à modérée.	Erikson et al., 2010; PARETO, 2013; Obura, 2010

4.3 La Réunion

4.3.1 Etendue et intensité du phénomène

Les suivis réalisés en avril et juin/juillet 2016 ont permis de caractériser finement l'étendue et l'intensité du phénomène à La Réunion sur les récifs coralliens. Les points suivants ressortent alors (Figure 27, Figure 28) :

- De manière générale, le blanchissement a été assez important en mars-avril mais la mortalité associée faible ;
- D'autre part, le blanchissement a été plus marqué sur les secteurs de Saint-Gilles et Saint-Leu qu'à l'Etang Salé et Saint-Pierre (notamment sur la pente

externe). Ceci pourrait être lié aux températures légèrement plus faibles dans le Sud de l'île (3.4) ;

- Sur les platiers : Saint-Leu est le secteur le plus touché en avril avec plus de 60 % de colonies blanchies/pâles. Mais au final, la mortalité pour l'ensemble des platiers peut être considérée comme faible puisque inférieure à 10% ;
- Sur la pente externe : les secteurs les plus touchés sont Saint-Leu et Saint-Gilles avec respectivement 65% et 50% de colonies blanchies/pâles en avril 2016 et une mortalité en juillet de 25% pour Saint-Leu. En revanche, Saint-Gilles, comme Etang Salé et Saint Pierre, présente une mortalité faible en juillet (inférieur à 10%).

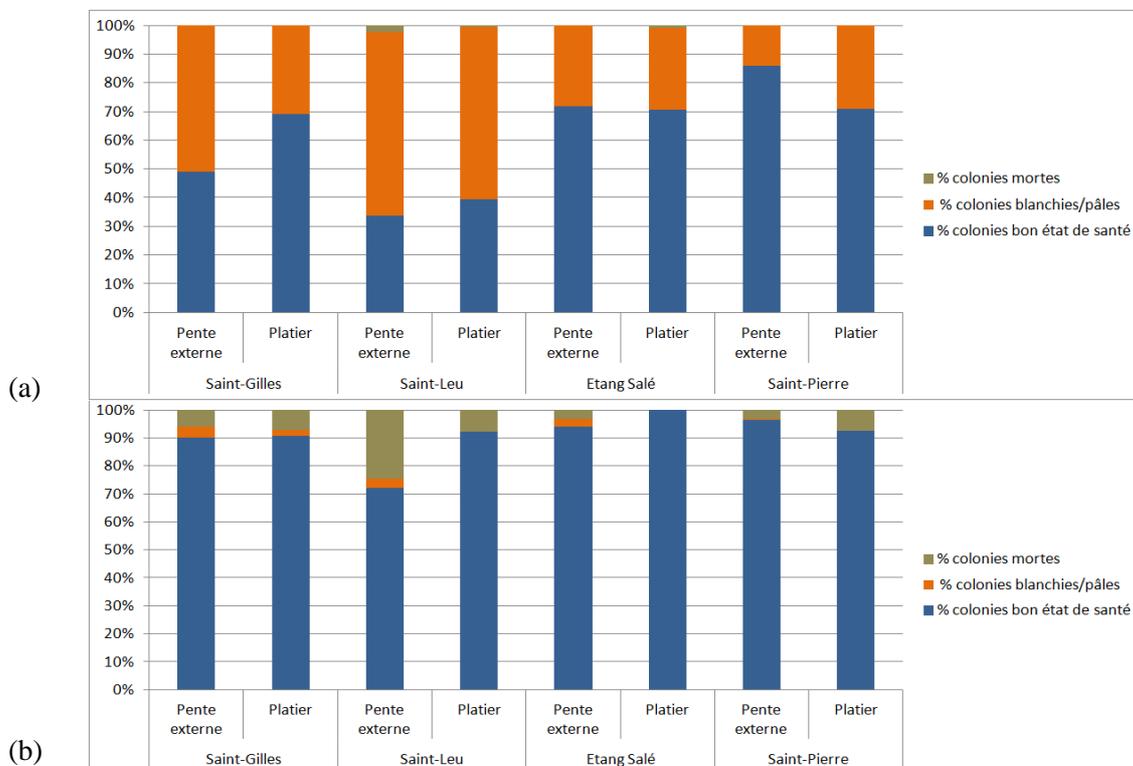
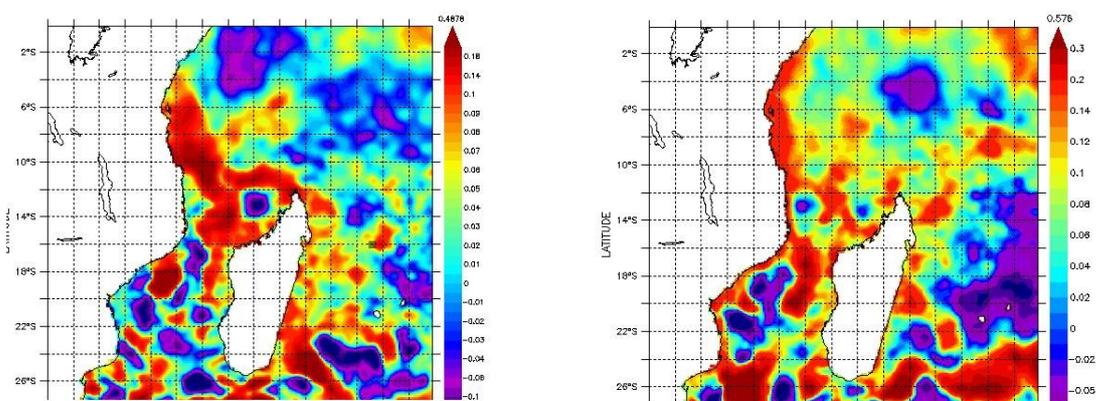


Figure 27 : Prévalence du blanchissement et de la mortalité en avril 2016 (a) et en juin/juillet 2016 (b) sur les platiers et les pentes externes sur les 4 secteurs récifaux

La mortalité liée aux anomalies de hauteur d'eau

Comme lors de l'hiver austral de 2015, une anomalie négative de hauteur d'eau (liée au courant géostrophique) a provoqué en 2016 un exondement inhabituel des coraux. Cet exondement, d'une durée plus longue et d'une hauteur plus importante que lors des événements classiques des basses mers a provoqué alors la mortalité des parties supérieures des coraux sur les DAR (pour les coraux branchus) et sur les platiers (pour l'ensemble des peuplements). Cette mortalité n'a pas fait l'objet d'un suivi spécifique. Mais, en lien avec les données de vérité terrain réalisée lors de la cartographie des récifs de La Réunion (Nicet et *al.*, 2016) et des relevés de juin 2016, il apparaît que cette mortalité est significative. Cette mortalité n'a pas été prise en compte dans le cadre de cette présente étude mais il conviendrait de réaliser des suivis spécifiques sur ce phénomène.



Anomalie de la hauteur d'eau le 15 juin 2015 (à gauche) et le 15 juin 2016 (à droite) données AVISO+



Mortalité récente (quelques jours) sur la partie supérieure des coraux branchus (le 6 juillet 2016) sur le platier du récif frangeant de Saint-Pierre

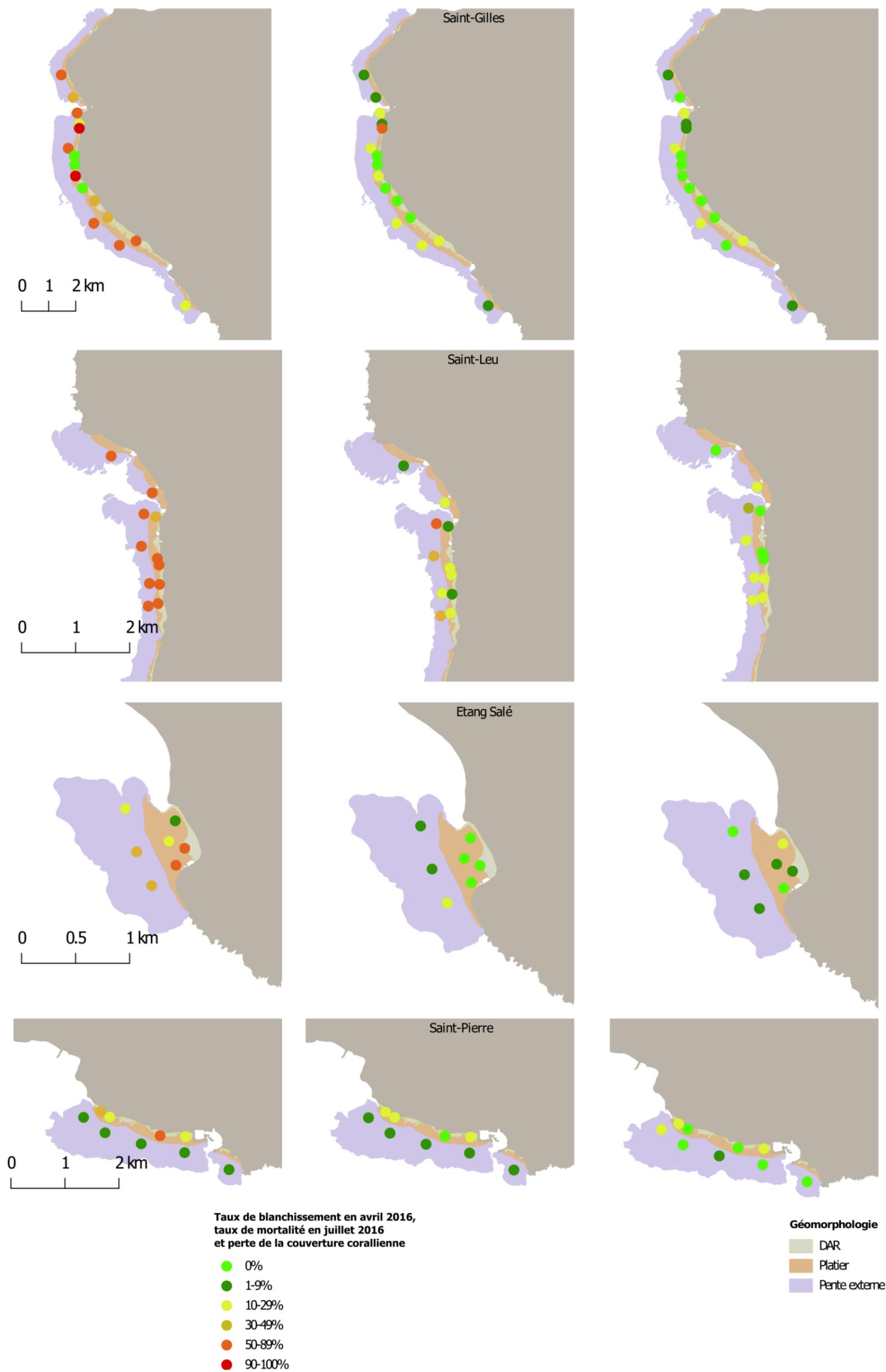


Figure 28 : Prévalence du blanchissement (et mortalité) en avril 2016 (à gauche), prévalence de la mortalité (et blanchissement résiduel) en juin 2016 (au centre) et perte de couverture corallienne en valeur absolue du recouvrement du substrat entre avril et juin suite au blanchissement (à droite)

4.3.2 Les réponses au phénomène de blanchissement en fonction des genres coralliens

Les genres ont été impactés différemment par cet épisode de blanchissement, on note ainsi (Figure 30) :

- Platier : les genres les plus affectés sont les *Acropora* digités et branchus et les coraux mous *Sinularia*. Les *Acropora* tabulaires qui ont fortement blanchi en avril (plus de 50% pâles et blanchis) ont finalement bien récupéré puisque l'on n'observe que très peu de mortalité. Les *Pocillopora*, *Pavona* et *Porites* ne sont que peu touchés ;
- Pente externe : les genres les plus affectés (prévalence de mortalité en

juillet) sont les *Millepora*, les *Acropora* submassifs (*Acropora* abrotanoïdes), les *Porites* et les *Acropora* digités. Concernant particulièrement les *Acropora abrotanoïdes*, ils ont blanchi à Saint-Leu et sont responsables pour ce secteur d'une bonne part de la mortalité, au contraire de Saint-Pierre où cette même espèce n'a pas blanchie (Figure 29). Parmi les genres dominants, il est à noter que les *Pocillopora* et les *Astreopora* n'ont quasiment pas blanchi.



Figure 29 : *Acropora abrotanoïdes* blanchis en avril 2016 à Saint-Leu (à gauche) et en bon état de santé à Saint-Pierre (à droite)

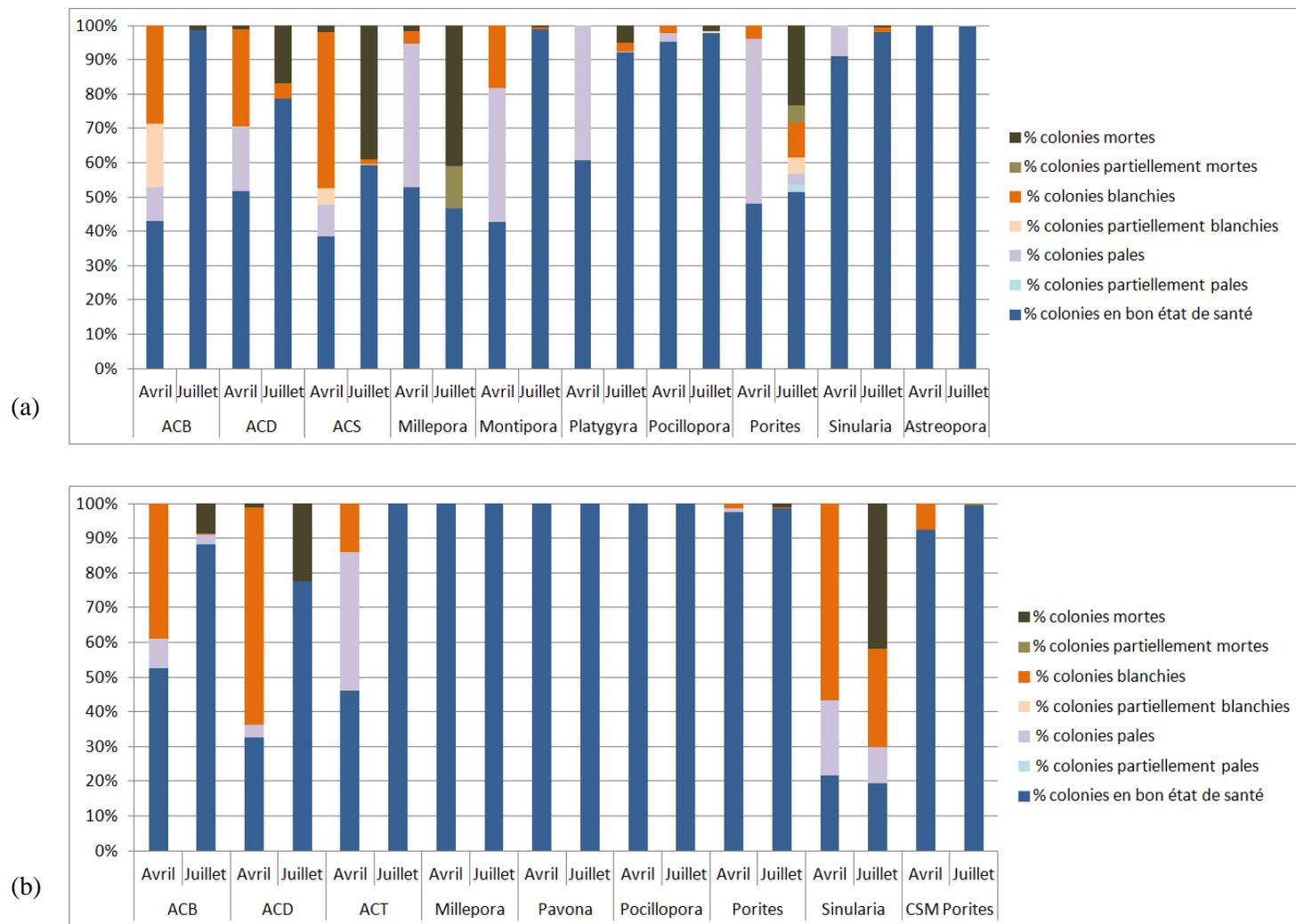


Figure 30 : Prévalence du blanchissement (et mortalité) en avril 2016 (C1), prévalence de la mortalité (et blanchissement résiduel) en juin 2016 (C2) pour les genres coralliens dominants le peuplement pour la pente externe (a) et le platier du récif frangeant (b)



Figure 31 : Méga colonie de Millepora en haut de pente externe complètement blanchie en avril 2016 (à gauche) et colonies de Sinularia blanchie sur le platier en avril 2016 (à droite)



Figure 32 : Porites pâles et blanchis sur la pente externe en avril 2016 (à gauche) et colonies d'Acropora abrotanoïdes mortes sur la pente externe de Saint-Leu en juin 2016 (à droite)



Figure 33 : Acropora digités blanchis sur le platier de Saint-Leu en avril 2016 (à gauche) et même colonie d'Acropora en bon état de santé en juin 2016 (à droite)

4.3.3 Mise en perspective du phénomène de blanchissement 2016 avec les phénomènes antérieurs

Depuis 1998, chaque phénomène de blanchissement a été suivi la plupart du temps à l'échelle de l'ensemble des récifs (survol aérien) et sur quelques stations *in situ*. Ainsi, ont été relevés les impacts suivants pour les blanchissements précédents (à partir de 1998) :

- Blanchissement de 1998 (Conand et al., 2000) : blanchissement faible à modéré et localisé principalement sur les platiers récifaux ;
- Blanchissement de 2001 (Turquet et al., 2001) : le blanchissement a affecté tous les secteurs récifaux avec des intensités variables. Ainsi, le secteur le plus touché est constitué par la dépression d'arrière récif et les platiers récifaux de La Saline Sud. Les espèces de coraux les plus touchées sont essentiellement les coraux branchus, *Acropora muricata*, espèce dominante de ces zones et dans une moindre mesure le genre *Montipora* surtout sur le site de Planch Alizé. Mis à part sur Livingstone, les mortalités coralliennes consécutives au blanchissement peuvent être datées de début avril. La récupération des coraux a globalement été assez rapide, 2 à 3 mois, bien que le blanchissement ait parfois persisté pendant 4 mois ;
- Blanchissement de 2002 : ce blanchissement est dû aux apports d'eau douce et de fines terrigènes suites aux précipitations liées au

passage du cyclone Dina. Le blanchissement induit est variable selon les endroits (Quod et al., 2002) ;

- Blanchissement de 2003 (Turquet et al., 2003) : les secteurs les plus touchés sont situés dans les dépressions d'arrière récif et les platiers récifaux de La Saline Nord et Sud, la Souris Chaude, la Pointe des Châteaux, les Colimaçons et Saint-Pierre. Les espèces de coraux les plus touchées sont essentiellement les coraux branchus, *Acropora formosa*, espèce dominante de ces zones et dans une moindre mesure les genres *Millepora* et *Montipora* ;
- Blanchissement de 2004 (Nicet et al., 2004). Le blanchissement a affecté tous les secteurs récifaux avec des intensités variables. En effet, les secteurs les plus touchés sont situés dans les dépressions d'arrière récif et les platiers récifaux de Grand Fond, la Souris Chaude, la Pointe des Châteaux, les Colimaçons, Saint-Pierre, Grand Bois et Grand Anse Corne Nord. Sur les stations de platier du GCRMN (n=7), une moyenne de 37% de la couverture corallienne était blanche ;
- Blanchissement de 2005 (Guillaume et al., 2005) : comparativement au banc des Lataniers et au Cap La Houssaye; les récifs ont été moyennement affectés, sauf les dépressions d'arrière-récif et les platiers récifaux de Grand Fond, la Pointe des Châteaux, la corne Nord de St-Leu qui ont été fortement touchés. Enfin la partie méridionale des récifs a été très affectée (Saint-

Pierre, Grand Bois, Grande Anse). L'index de blanchissement (McClanahan, 2004) calculé sur 3 stations de platiers/bancs était de 14.7 et de 22.5 sur deux stations de pente externe ;

- Blanchissement 2009 (Guillaume et al., 2010) : le survol réalisé le 6 mars a mis en évidence de nombreuses taches de colonies coralliennes blanches mais le blanchissement est resté limité, hormis à l'Etang-Salé où il a concerné la totalité de la pente externe. Globalement, le blanchissement 2009 aura été peu sévère et limité spatialement par rapport aux évènements de blanchissement passés, probablement grâce à la baisse de température induite par le passage du cyclone Gaël. L'absence de vérité

terrain post-blanchissement n'aura pas permis pas de quantifier la mortalité corallienne qu'il aura induite. Sur les stations platier du GCRMN (n=7), une moyenne de 27% de la couverture corallienne était blanchie. Cette proportion de couverture blanchie était seulement de 2% sur les 7 stations de pente externe. L'index de blanchissement calculé sur 3 stations de platiers était de 23.4 (Guillaume et al., 2010).

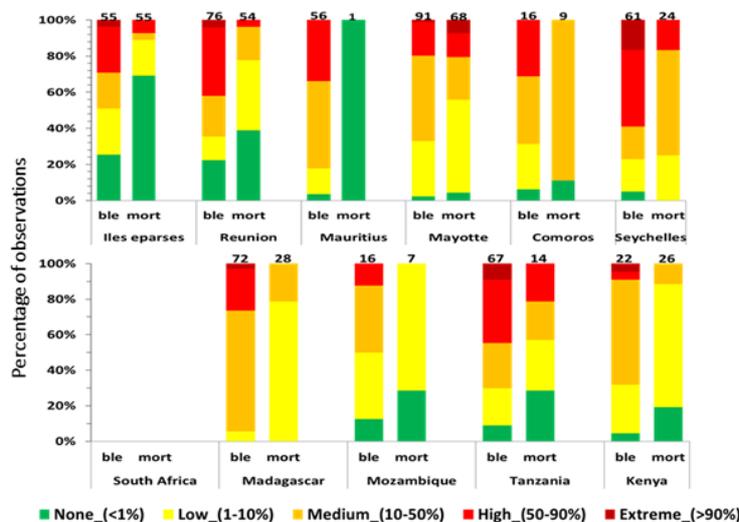
Les zones les plus touchées par les différents événements de blanchissement

Le chapitre suivant (chap. 5), portant sur la cartographie, permettra de mettre en avant les zones qui ont blanchi en 2016 et également les zones les plus impactées par l'ensemble des blanchissements précédents.

4.4 Mise en perspective du blanchissement corallien sur les territoires français et dans l'ensemble du Sud Ouest de l'océan Indien

Par de la compilation de données réalisée par la COI/CORDIO et des données Becomong il est d'ores et déjà possible de dresser un premier bilan de l'impact du phénomène 2016 de blanchissement corallien dans le Sud-Ouest de l'océan Indien (d'après Obura et Miska, 2016).

Ainsi, il apparaît qu'au niveau régional, les Seychelles et la Tanzanie sont les deux pays ayant été le plus sévèrement touchés par le blanchissement. Comme pour La Réunion et Mayotte, la mortalité pour l'ensemble des pays a été au final plus faible que pouvait le laisser croire l'intensité du blanchissement (



■ None (<1%) ■ Low_(1-10%) ■ Medium_(10-50%) ■ High_(50-90%) ■ Extreme_(>90%)

Figure 34 : Figure de gauche (données COIC/CORDIO) : pourcentage d'observation selon la prévalence du blanchissement (barre de droite, de janvier à avril) et selon la prévalence de la mortalité (barre de gauche).

Figure 34).

Plusieurs hypothèses peuvent expliquer cette mortalité plus faible que prévue :

- Un refroidissement des eaux de surface tôt dans la saison (en avril 2016) ;
- une acclimatation progressive des colonies coralliennes soumises à trois années consécutives de plus en plus chaudes ;
- une adaptation et sélection des colonies coralliennes les plus résistantes depuis le blanchissement massif de 1998 ;
- Une disparition des espèces les plus sensibles conduisant à des peuplements coralliens plus résistants mais moins diversifiés.

Au final, il apparaît que dans la région, même si l'intensité du blanchissement 2016 a été élevée, la mortalité qui en résulte est modérée (mais non négligeable).

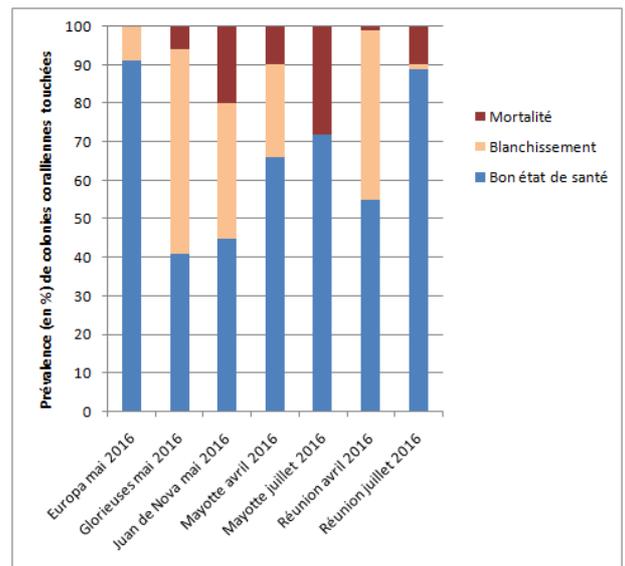


Figure de droite (données Becoming): prévalence de blanchissement et mortalité sur l'ensemble des territoires Français de l'océan Indien



5 LA CARTOGRAPHIE DU BLANCHISSEMENT

5.1 Pertinence et limite de la cartographie du blanchissement

5.1.1 Pertinence du protocole

Un jeu de données d'images satellites optiques a été mis à disposition, mais malgré son importance et l'effort de programmation, il ne couvre pas l'intégralité de l'épisode de blanchissement corallien. En effet, la mise en route relativement tardive du programme pose le problème de l'acquisition d'une image de référence.

Le jeu de données conséquent de la vérité terrain permet, en principe, de donner de la robustesse aux résultats. Toutefois, du fait de la rapidité du processus de blanchissement (passage d'une colonie saine à une colonie blanchie et d'une colonie blanchie à une colonie saine ou morte) un décalage entre les dates d'acquisition des images et celles de la vérité-terrain suffit parfois à avoir une inadéquation entre la signature spectrale et la vérité terrain.

Europa faiblement blanchie, Juan de Nova dont les couvertures coralliennes n'excèdent pas 15%, les autres îles Éparses sans vérité-terrain (Tromelin et Bassas da India) ont été écartées de l'analyse. Au contraire, les îles glorieuses possèdent des coraux à assez faible profondeur (3m à 12m) et des taux de blanchissement observables mais sans aucune image de référence, les trois acquisitions

disponibles affectées par le blanchissement ne permettent pas d'obtenir de résultat pertinent.

La méthode donne des résultats similaires sur les images SPOT et Pléiades alors que le traitement est différent. Des corrections ont été appliquées aux images : une correction Top of Canopy (TOC) pour les images Pléiades, et une correction Top of Atmospher (TOA) pour les images SPOT. Dans les deux cas, les résultats semblent correspondre, la correction TOA semble être une bonne solution palliative à la correction TOC.

Le repérage de l'altération est lié au seuil défini arbitrairement en fonction des réponses de réflectance. Un réajustement des seuils à la hausse (seuils sur le vert et le bleu) et de la limite significative (actuellement de 5) de la réponse sur la différence de brillance entre deux dates permet de ne pas prendre en compte de trop légères altérations non liées au phénomène étudié.

5.1.2 Pertinence de l'OBIA multi-dates

La méthode permet, dès lors que les degrés d'altération sont caractérisés, un suivi de l'épisode au cours du temps sur des zones importantes par l'analyse d'objet sur des images multi-dates. Cette méthode est toutefois très contraignante vis-à-vis des conditions d'acquisition des images et principalement pour l'image de référence. Les conditions d'acquisition optimales sont : aucune turbidité, pas de nuages ni d'ombres portées, un angle d'incidence faible, peu de houle et des conditions de marées similaires.

5.1.3 Pertinence de l'indice de brillance

Une différence de brillance entre deux dates dont une image de référence sur laquelle les coraux ne sont pas blanchis permet donc de faire ressortir une altération du signal qui se traduit par un degré d'altération chez les coraux (Hochberg, 2000). La vérité-terrain comparée aux résultats montre que l'analyse spatiale multi-dates du blanchissement permet une caractérisation en degrés d'altération ainsi qu'un suivi de l'épisode de blanchissement corallien via les images Pléiades et Spot 6/7. Les résultats obtenus sur le secteur de La Saline-les-Bains sont généralisables à l'ensemble des zones étudiées de La Réunion (Annexe 1, 2, 3), il en est de même pour les zooms de Mayotte (Annexe 4).

5.1.4 Limite de la carte

La méthode a ses limites de détection :

- La profondeur maximale de détection est d'environ - 5m ;
- Lorsque la couverture corallienne est très faible, à hauteur de 10%, et ce même si le blanchissement est important, l'altération est trop faible pour la percevoir avec cette méthode ;
- Tout comme la couverture corallienne, les faibles taux de blanchissement corallien (avoisinant les 5%) sont difficilement observables ;
- Enfin, sans la couverture corallienne, il est impossible d'estimer le pourcentage de coraux touchés, nous ne disposons ainsi que de la superficie blanchie en valeur absolue.

5.1.5 Perspectives

L'analyse permet d'observer le phénomène avec des valeurs allant d'un mètre à cinq mètres de profondeur. Pour les prochains épisodes, il serait donc pertinent d'essayer d'appliquer après adaptation le correcteur de la colonne d'eau développé dans le cadre du projet Hyperspectrale de l'océan Indien, permettant peut être d'atteindre des profondeurs de l'ordre de 10m.

Les vérités-terrain faites, de manière logique, en fonction des couvertures coralliennes et non de la profondeur, limitent donc le nombre d'analyses à quelques portions d'images. L'inexistence ou le nombre insuffisant de points d'analyse à faible profondeur sur Mayotte et les îles Éparses induit au niveau de l'analyse d'image multi-dates une faible robustesse. Il faut également envisager de resserrer la maille d'échantillonnage afin de ne pas passer à côté d'informations.

Afin d'approfondir les résultats, une cartographie précise des différentes colonies coralliennes permettrait comme pour la portion Saint-Gilles-les-Bains – Saint-Leu, d'estimer le pourcentage de surfaces altérées par degré d'altération.

L'obtention de résultats par cette nouvelle méthode engendre des contraintes. Il faut en effet envisager l'acquisition d'une image en début d'année (avant le lancement du programme de suivi proprement dit), qui servira d'image de référence en cas d'épisode de blanchissement corallien. Cette image doit être prise dans les meilleures conditions climatiques possibles, c'est-à-dire avec une faible turbidité, peu de houle et déferlement et peu de nébulosité. Des images en cours d'épisode sont également à acquérir permettant l'étude de la progression du phénomène

d'altération et une image, à adapter, 1 mois après l'épisode pour l'étude de la mortalité et de la résilience des coraux.

Le cas de Mayotte

La complexité récifale et l'étendue des récifs à Mayotte n'ont pas permis de cartographier l'ensemble des récifs. En outre, certaines altérations étant sans doute dues à un changement de signature spectrale non lié au blanchissement il a été décidé si cela s'avère possible de poursuivre en collaboration avec Espace-Dev en 2017 l'analyse des images de Mayotte dans le cadre d'un stage.

5.2 La cartographie du blanchissement en 2016

5.2.1 La spatialisation et la temporalité du phénomène

Le blanchissement est divisé en 3 niveaux d'intensité du blanchissement. Comme déjà mentionné, cette intensité est non seulement fonction du taux de blanchissement et de la "couleur" du blanchissement (de pâle à blanc éclatant) mais également de la couverture corallienne.

Les Figure 35 à Figure 38 illustrent la spatialisation du blanchissement à Mayotte et à La Réunion.

5.2.2 Les chiffres clefs à La Réunion

Au total, 0.18 km² (18 ha) ont blanchi sur le platier lors du pic de blanchissement en avril. Ramené à la superficie du substrat recouvert par des coraux (61 ha, valeur approximative obtenue à partir de la carte des habitats -Nicet et *al.*, 2016-), environ 30% de la superficie corallienne des platiers à blanchi en 2016. La zone ayant le plus blanchi est le platier de Saint-Leu (50-60% de la couverture corallienne), tandis que le platier d'Etang Salé a été plus faiblement touché (10-20% de blanchissement, Tableau 15). Ces observations surfaciques étudiées à partir d'images satellites sont remarquablement concordantes avec les données *in situ*⁸ (§4.3.1).

Tableau 15 : Intensité du blanchissement à La Réunion, quantifié à partir des images satellites et des données *in situ*.

Intensité du blanchissement	Saint-Gilles	Saint-Leu	Etang Salé	Saint-Pierre
% superficie couverture corallienne blanchie/pâle (traitement image satellite)	30-40%	50-60%	10-20%	20-30%
% colonies blanchies pâle (données <i>in situ</i>)	env. 30%	env. 60%	env. 30%	env. 30%

⁸ En prenant comme première approximation que la prévalence de colonies touchées correspond à peu près à un même niveau de surface affectée (par exemple, si 40 % des colonies sont touchées, alors 40% de la superficie corallienne est affectée).

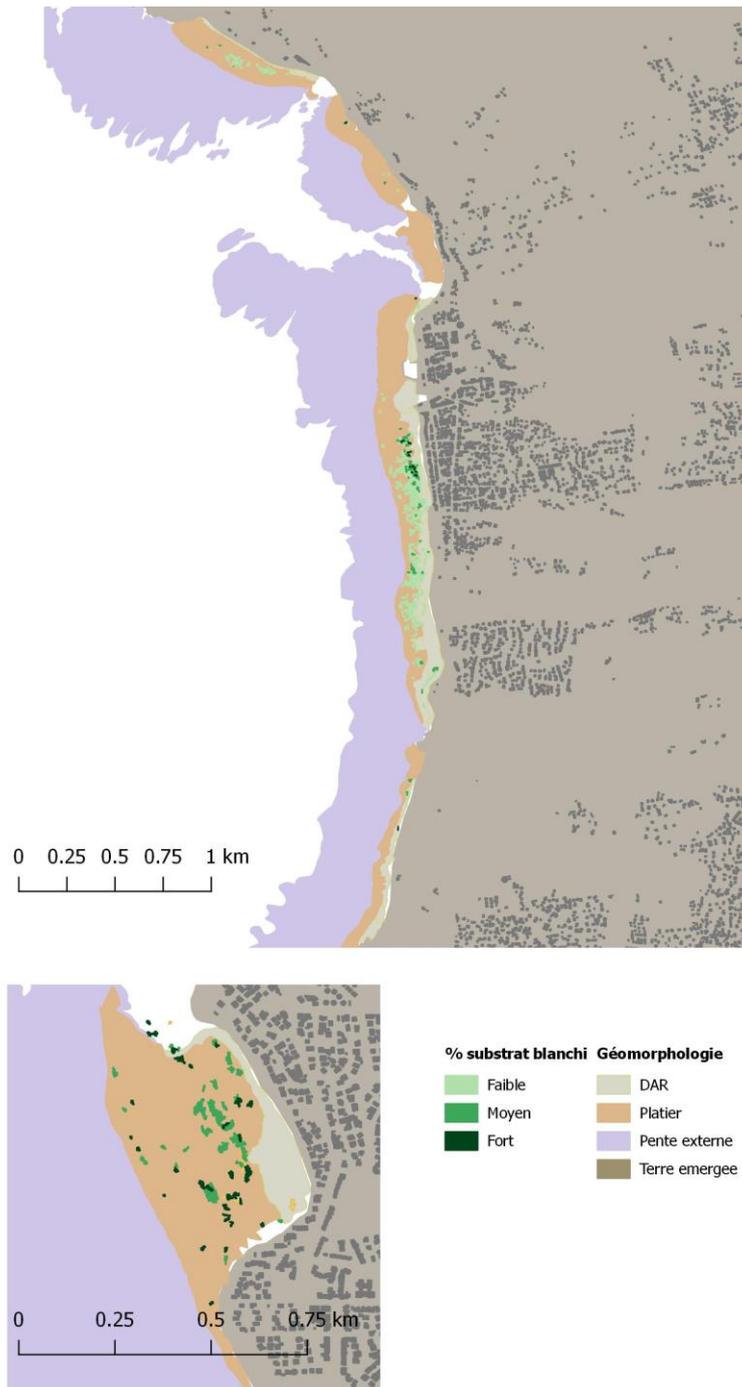


Figure 35 : Altération (blanchissement) au 07 avril 2016 sur le récif de Saint-Leu et le 14 avril sur le récif d'Etang Salé

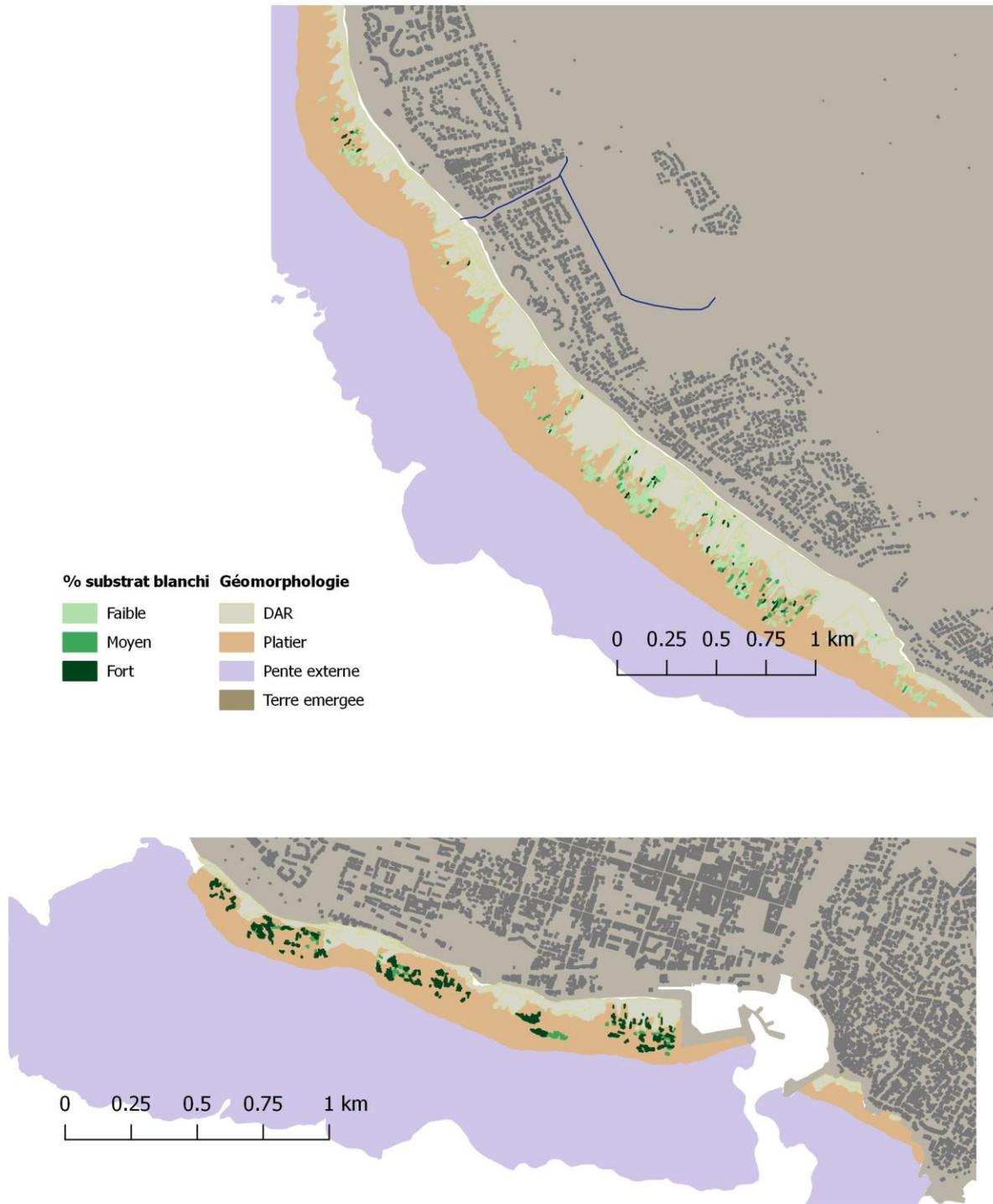


Figure 36 : Altération (blanchissement) au 07 avril 2016 sur le récif de Saint-Gilles et le 14 avril sur le récif de Saint-Pierre

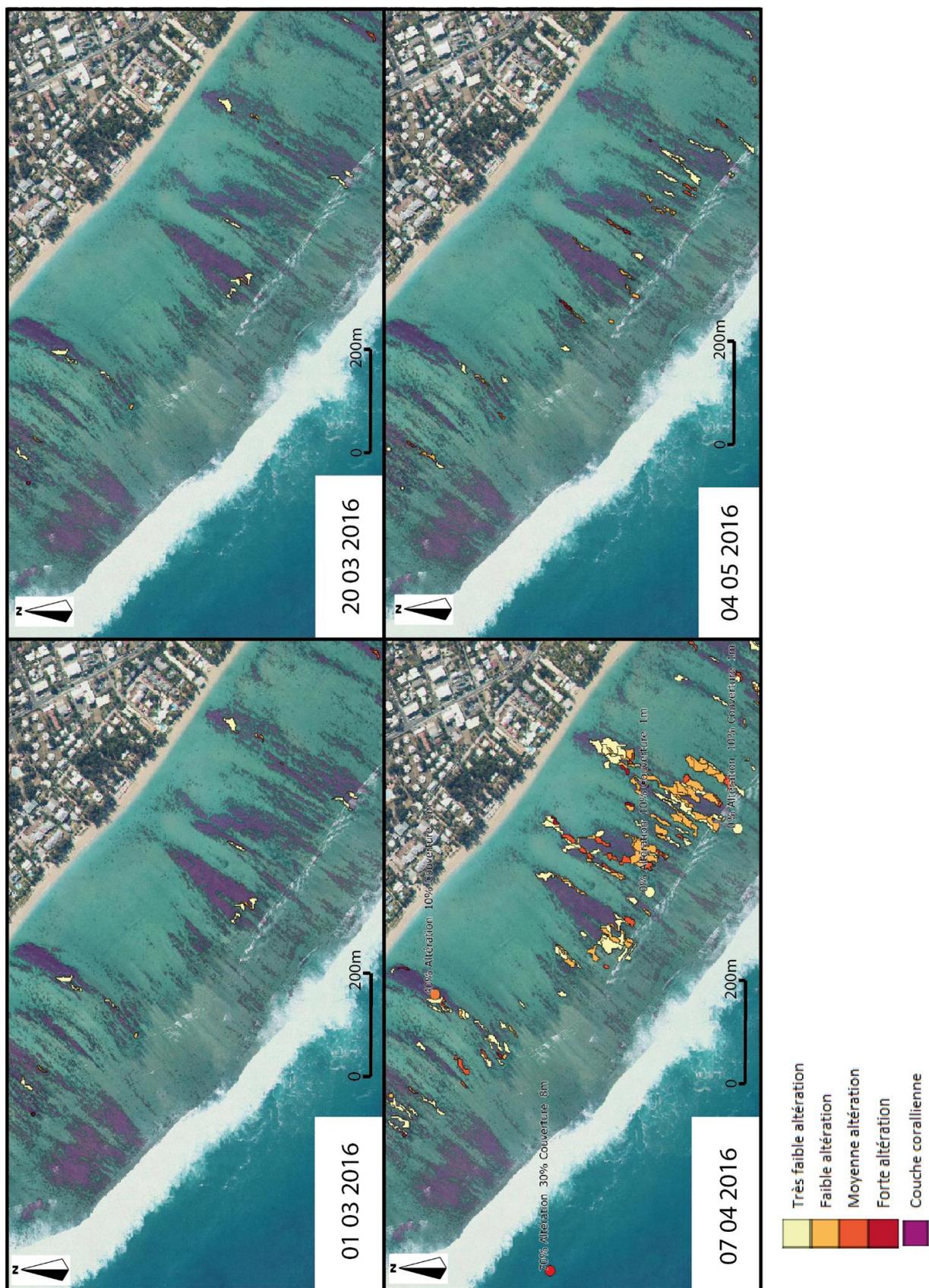


Figure 37 : Chronologie de l'altération (blanchissement) sur la plage de La Saline-les-Bains du 1er mars au 04 mai 2016

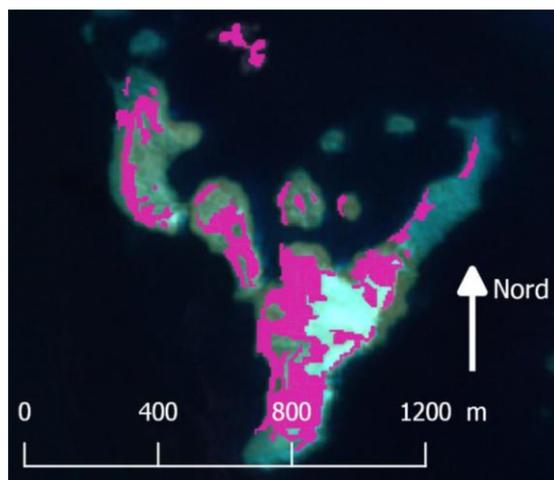


Figure 38 : Altération (blanchissement) au 22 avril 2016 sur le récif de La Surprise (Mayotte)

5.3 Analyse spatiale de l'ensemble des phénomènes de blanchissement à La Réunion depuis 2003

Depuis l'événement de blanchissement de 2003, un survol aérien (observation aériennes avec prises de vues obliques non géoréférencées) a été réalisé lors des événements suivants. Ces survols, bien que ne permettant pas de quantifier l'intensité du blanchissement permettent en revanche de localiser les zones de blanchissement. En superposant toutes ces zones de blanchissement, y compris les zones de blanchissement de 2016, il est possible de dresser les zones les plus sensibles aux blanchissements. Il est également possible, en superposant ces couches avec la couverture corallienne de 2015 (et en supposant que la couverture corallienne, si elle n'est pas constante, à tout au moins conserver le même patron depuis 2003) de spatialiser les zones les plus résistantes au blanchissement.

Les zones les plus sensibles (dans notre cas qui blanchissent sans forcément provoquer de mortalité) sont définies de la façon suivante :

- Platier ou DAR (la pente externe n'étant pas suivie de façon systématique) et où la couverture corallienne est moyenne à élevée (lorsque la couverture corallienne est faible le blanchissement n'est pas toujours observable) ;

- Et où trois blanchissements minimum (sur 5 : 2003, 2004, 2005, 2009, 2016) ont sévi.

Les zones les plus résistantes (dans notre cas qui ne blanchissent pas) sont définies de la façon suivante :

- Platier ou DAR (la pente externe n'étant pas suivie de façon systématique) et où la couverture corallienne est élevée,
- Et où aucun blanchissement depuis 2003 n'a sévi.

Les résultats montrent ainsi (Figure 39 et Figure 40) :

- Globalement une assez bonne résistance des zones de platier où la couverture corallienne est élevée en 2015, ce qui peut d'ailleurs être une des raisons de cette forte couverture corallienne,
- Des zones beaucoup plus sensibles au blanchissement corallien notamment à Saint-Leu et Saint-Pierre.

Avertissement

La sensibilité au blanchissement n'augure ici en rien à l'impact de ce blanchissement, c'est à dire le taux de mortalité *in fine*. Pour produire cette information il eut fallu pourvoir suivre par image satellite la mortalité induite par le blanchissement, or les conditions de houles sur les différents sites ne l'ont n'ont pas permis.

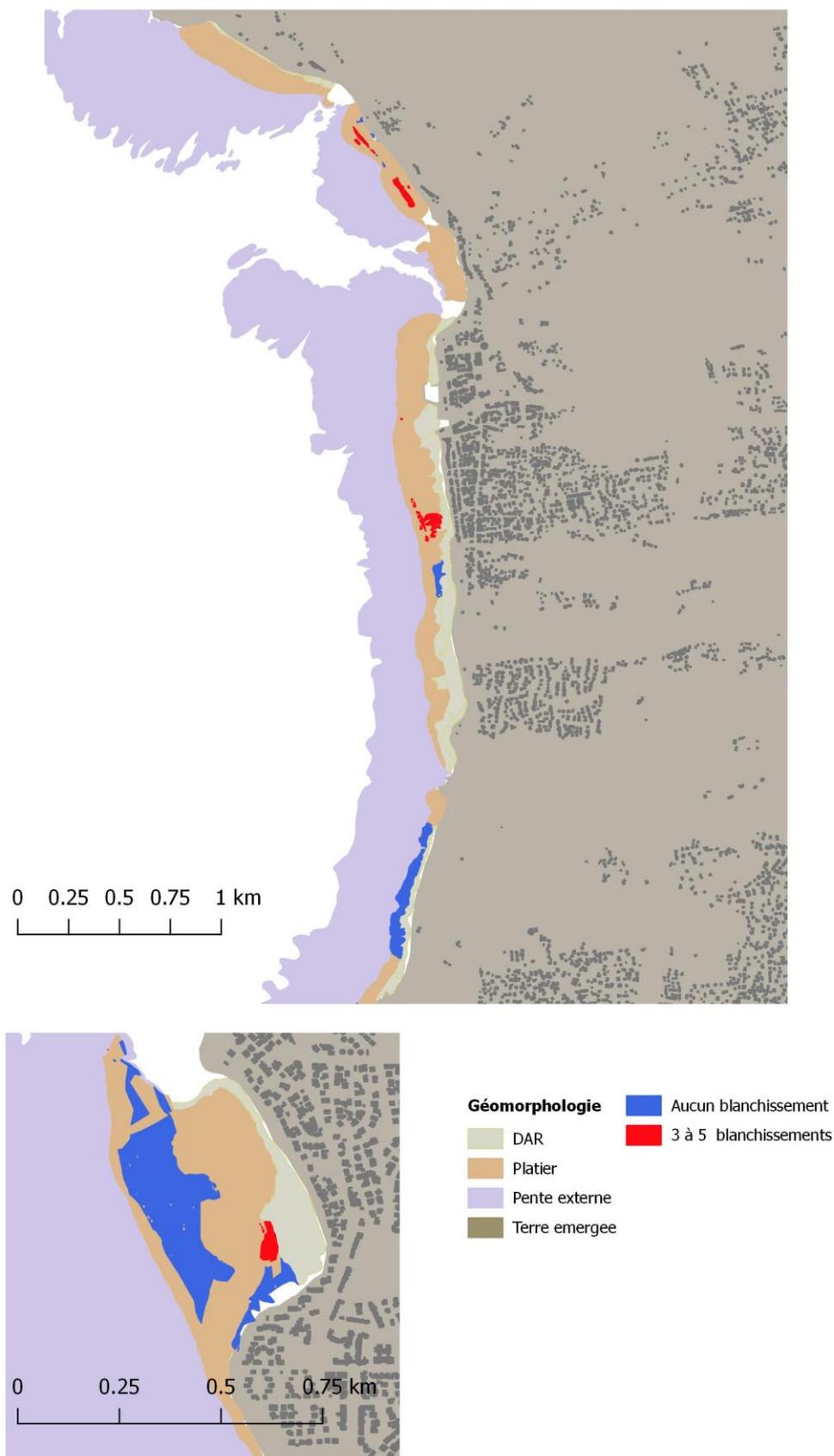


Figure 39 : Zones les plus sensibles (en rouge) et les plus résistantes (en bleu) au blanchissement sur la période 2003-2016 sur les platiers de Saint Leu et Etang Salé

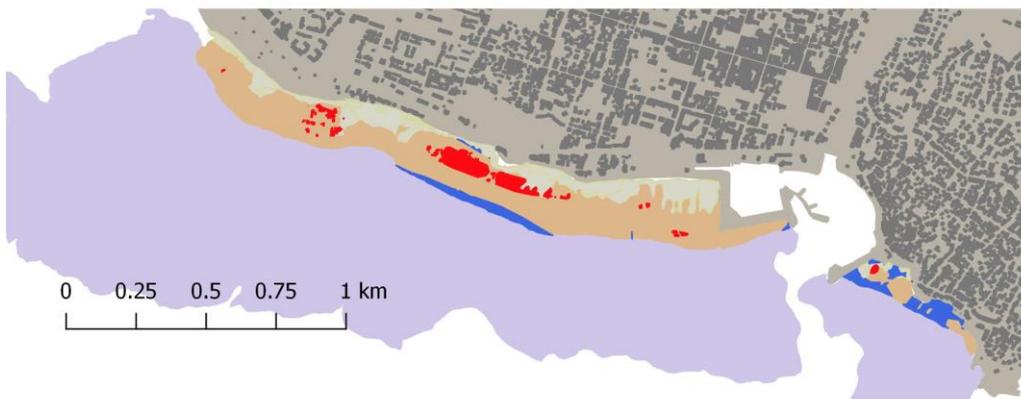
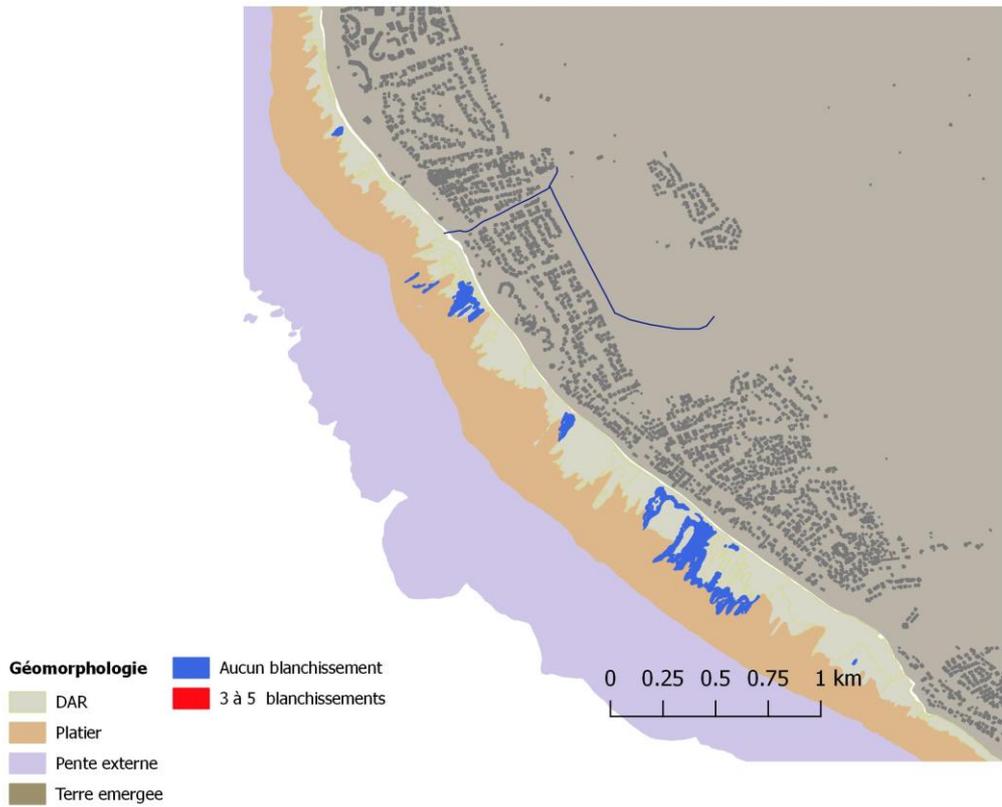


Figure 40 : Zones les plus vulnérables (en rouge) et les plus résistantes (en bleu) au blanchissement sur la période 2003-2016 sur les platiers de La Saline et de Saint Pierre



6 PROPOSITION D'UNE POSSIBLE STRATEGIE DE SUIVI

6.1 Le contexte pour les années à venir

Le phénomène de changement climatique aura un effet sur l'occurrence des événements de blanchissements massifs avec une augmentation de leur nombre (et de leur intensité). L'étude menée par Donner et *al.*

2009, indique des probabilités d'occurrence d'alerte niveau 2 (NOAA coral Reef watch) pour la zone Sud-Ouest de l'océan Indien de tous les 2-3 ans pour 2030 et tous les 1-2 ans vers 2050. Dans ce contexte il est impératif de prendre en compte ces phénomènes dans la gestion des récifs coralliens.

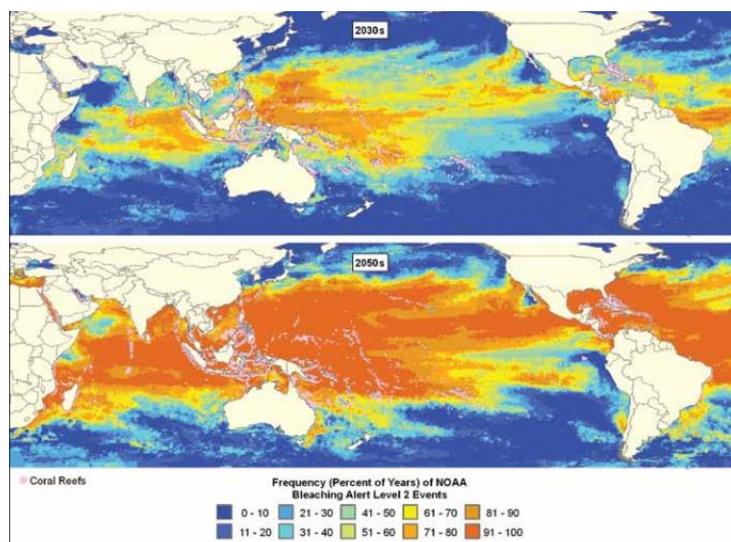


Figure 41 : Prédiction du nombre d'année (en pourcentage) par décennie en 2030 (en haut) et 2050 (en bas) où l'alerte de niveau 2 sera déclenchée dans le cadre du suivi NOAA Coral Reef Watch. Scénario IPCC : A1B ("Business as-usual"). D'après Reef at Risk, 2011 / Donner et *al.*, 2009

6.2 Les étapes clés pour un suivi réussi

L'ensemble des étapes à suivre (et le chronogramme) est synthétisé dans la Figure 42.

Etape 1

Pour que le suivi d'une phase de blanchissement soit réussi et réponde aux attentes des gestionnaires, il est impératif que (i) les modalités du suivi soient définies à l'avance et (ii) que les phénomènes de blanchissement majeurs soient anticipés au maximum. Cela passe alors par les prédictions de la NOAA, relayées au niveau de l'océan indien par CORDIO et également quand disponibles les températures de sonde placées *in situ*.

Etape 2

Il convient ensuite de relayer cette phase d'alerte aux niveaux local, ce qui permet de :

- Définir les sites de suivi ;
- Mettre en place les équipes de suivi ;
- Faire l'acquisition d'images satellites si nécessaire ;
- Mobiliser les fonds nécessaires au suivi.

Une fois les premiers signes de blanchissement observés sur le terrain et relayés, il convient alors de consolider et finaliser les processus engagés lors de l'étape 2. La surveillance doit être optimale et le relais parfait entre les observateurs *in situ* et les décideurs pour que l'étape suivante s'enchaîne sans accroc.

Etape 3

L'étape 3.1 est le suivi proprement dit, suivi qui doit être réalisé lors de 2 campagnes :

- Lors du pic de blanchissement (généralement fin avril) afin de caractériser précisément le phénomène de blanchissement ;
- A la fin de l'événement de blanchissement (environ 2 mois après le pic de blanchissement soit généralement vers fin juin) afin d'évaluer l'impact du blanchissement (i.e. la mortalité associée *in fine*).

Ce suivi, réalisé selon la méthode COI/CORDIO sera fait au niveau d'expertise le plus adapté, en fonction :

- De l'expérience et des compétences des échantillonneurs ;
- Des moyens logistiques, humains et financiers mis à dispositions ;
- Des objectifs des gestionnaires.

Parallèlement, une série d'images satellites pourra être acquise afin de contribuer à évaluer l'étendue du phénomène de blanchissement (étape 3.2).

Etape 4

La dernière étape consiste en une restitution cartographique du phénomène de blanchissement. Elle résulte de l'extraction des surfaces blanchies des images associées aux informations de terrain produites. Ce traitement devra répondre aux attentes des gestionnaires et les objectifs précis du suivi doivent donc être discutés avant sa mise en œuvre.

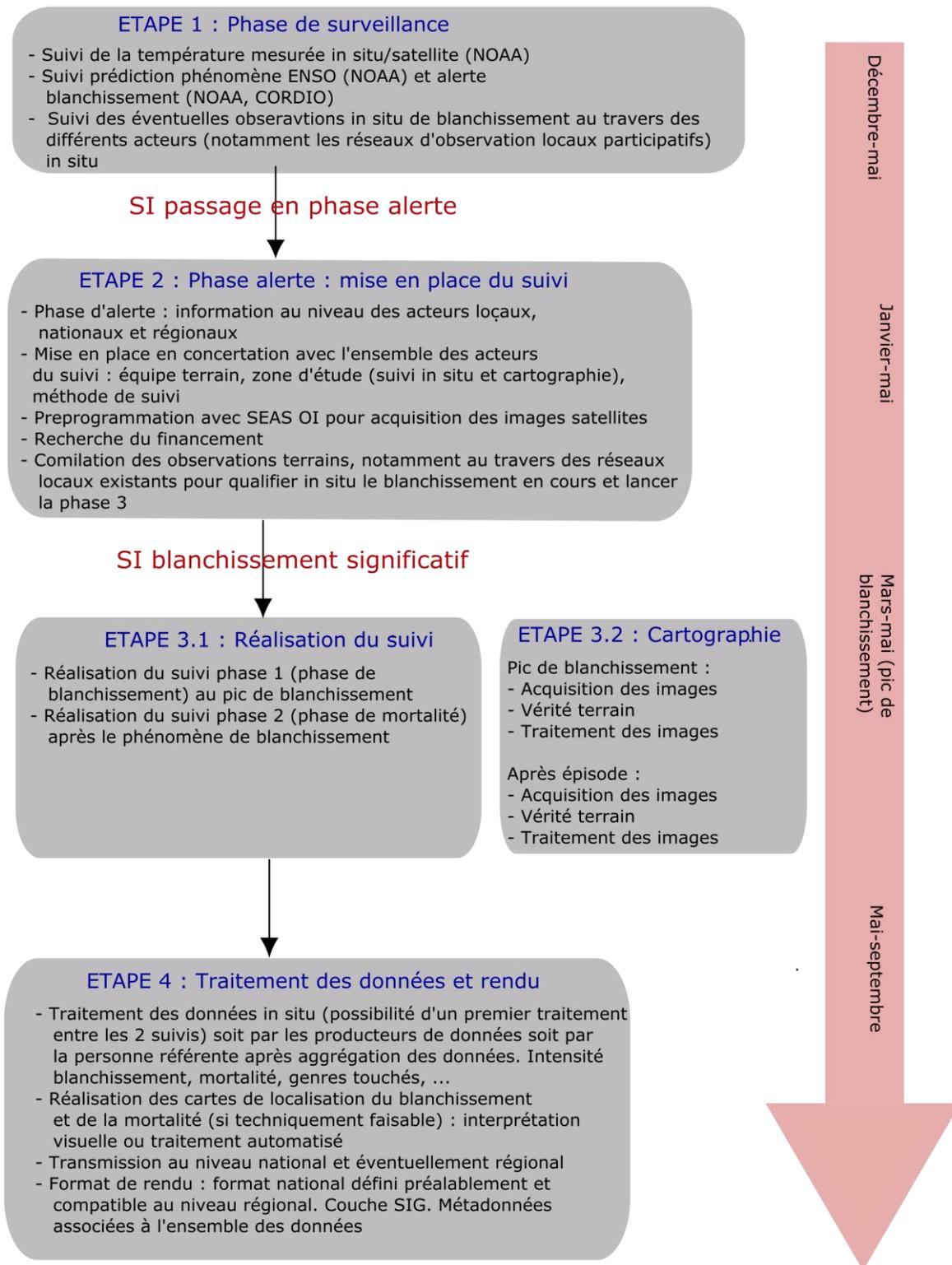


Figure 42 : Enchaînements des étapes et chronogramme

6.3 La désignation d'une personne/organisation référente

Afin que l'ensemble des étapes s'enchaîne de manière cohérente et que la relation entre les différentes institutions et acteurs impliqués aux différentes échelles et sur les différentes thématiques soit le plus fluide possible, il convient d'avoir une personne référente pour chacune des trois collectivités (cela pourra être la même pour les trois ou non).

Cette personne pourrait remplir les critères suivants :

- faire partie d'une institution scientifique publique ;
- travailler essentiellement sur la thématique récif corallien ;
- avoir un degré de reconnaissance national et si possible également régional ;
- connaître aussi bien le tissu des acteurs locaux que les acteurs nationaux et régionaux.

D'autre part, sa désignation devra se faire par large consensus et l'ensemble des acteurs nationaux devront être impliqués dans ce processus. Il convient également de bien cadrer les prérogatives et responsabilités de la

personne référente et que l'ensemble des personnes et institutions en soit clairement informé.

Le Tableau 16 détaille l'ensemble des actions et mesures que pourrait engager le référent pour chaque étape.

6.4 Les suivis à mettre en place après l'événement de blanchissement

Il est important de prendre conscience que la dégradation des colonies coralliennes qui découle des épisodes de blanchissement, va entraîner, notamment si elle se reproduit régulièrement, une modification profonde de l'habitat et, de fait, des organismes qui y trouvent refuge et nourriture.

Un suivi de l'impact des phénomènes de blanchissement sur ces organismes est crucial pour appréhender quelle est la réponse des communautés associées aux coraux. La priorité doit être accordée aux peuplements coralliens (pour caractériser la résilience) et aux peuplements ichtyologiques, les poissons représentant un enjeu fondamental au niveau économique (pêche et éco-tourisme) mais également au niveau écologique (rôle des poissons dans la résilience des récifs).

Tableau 16 : Actions possibles à mettre en œuvre par la personne référente

Etape	Action	Acteurs à impliquer
Etape 1 : Phase de surveillance : suivi de la température et des précipitations	<u>Surveillance :</u> Surveillance de la température	Organismes ayant placé des sondes <i>in situ</i>
Etape 2 : Phase d'alerte, relai au niveau national/régional et préparation du suivi	<u>Relai niveau local/national/régional :</u> La personne référente doit relayer la phase d'alerte au niveau local/national <u>Mise en place du suivi :</u> La personne référente doit conseiller les différents partenaires, normaliser les suivis et gérer conjointement les demandes d'images satellites. Elle peut le faire en relation avec les partenaires techniques local. Elle doit au final agréger et consolider les suivis au niveau national.	Acteurs locaux, nationaux et régionaux Appui technique niveau locale et régional
Etape 3.1 et 3.2 : Phase de suivi proprement dite et cartographie du blanchissement	<u>Réalisation du suivi :</u> La personne doit veiller à la bonne réalisation des suivis et des traitements d'image, elle pourra également y participer au besoin (appui régional si nécessaire)	Acteurs locaux, nationaux et régionaux Appui technique niveau régional
Etape 4 : Traitement des données et rendu des résultats	<u>Traitement des données et rendu :</u> La personne doit veiller à la bonne réalisation du traitement et à l'interprétation des données, elle pourra également y participer au besoin. Elle devra ensuite consolider les résultats aux niveaux national et régional le cas échéant. Elle veillera que les formats de rendu soit normalisés au niveau national et compatible au niveau régional <u>Relai niveau national/régional :</u> La personne référente pourra transmettre les rendus aux niveaux national et régional	Acteurs locaux, nationaux et régionaux Appui technique niveau régional



7 EXEMPLE DE MESURES DE GESTION POUVANT ETRE MISES EN PLACE

7.1 Quelques mesures générales permettant d'augmenter la résistance et la résilience d'un récif au blanchissement corallien.

Devant l'augmentation probable des phénomènes de blanchissements (en lien avec le changement climatique) il est important de prendre toutes les mesures nécessaires permettant d'augmenter la capacité de résistance/résilience d'un récif.

Ainsi pour augmenter la résistance d'un récif (capacité d'un récif à résister au blanchissement et avoir une mortalité *in fine* faible), les actions suivantes peuvent être mises en place (d'après Obura et Gudka, 2016) :

- Durant l'épisode de blanchissement renforcer la protection des zones les plus touchées ;
- Gérer la pêche côtière récifale. En effet, une pêche trop importante aura comme effet de déstructurer les communautés de poissons et, indirectement, par effet cascade, les peuplements coralliens ;
- Avoir une eau de mer de bonne qualité (nutriments, matière organique,

turbidité). A titre d'exemple, limiter les travaux de dragage ou susceptibles d'entraîner une augmentation significative de la turbidité de l'eau en période de blanchissement et ainsi aggraver la mortalité des coraux déjà fragilisés par le blanchissement.

D'un autre côté, pour augmenter la résilience d'un récif (capacité d'un récif à retrouver des peuplements coralliens en bonne santé après une forte mortalité liée au blanchissement), les actions suivantes peuvent être mises en place :

- Protéger les sites qui ont résisté au blanchissement pour qu'ils puissent être des zones sources en termes de larve des organismes coralliens ;
- Limiter les pressions sur les récifs (qualité de l'eau, pêche, espèces invasives, ...);
- Dans certains cas bien spécifiques envisager de la transplantation corallienne ;
- Construire le réseau d'AMP en prenant en compte la connectivité des zones.

Quoi qu'il en soit, il est impératif d'impliquer tous les acteurs et usagers concernés afin que l'intérêt des mesures prises soit bien compris et celles-ci acceptées. Le tableau ci-dessous résume les raisons d'impliquer les différents types d'acteurs, les mesures pouvant être prises et les moyens de communication avec les différents usagers (d'après Obura et Gudka, 2016).

Tableau 17 : Raisons d'impliquer les différents usagers et mesures de gestion pouvant être mis en place avec les différents acteurs (d'après Obura et Gudka, 2016)

Stakeholder (s)	Reasons to engage	Management actions	Communication methods
Fishermen	Explain new management measures/regulations e.g. closure of fishing around reefs, ban on certain key herbivore fish species	<ul style="list-style-type: none"> • Development of alternative livelihoods • Compensation • Educating communities as to why new measures need to be implemented 	<ul style="list-style-type: none"> • Community stakeholder meetings pre-implementation • Posters/videos
Tourist operators	Explain new management measures/regulations e.g. temporary closure of reefs, stricter regulations on tourist numbers	<ul style="list-style-type: none"> • Alternate businesses and livelihoods • Compensation • Educating businesses as to why stricter measures need to be implemented 	<ul style="list-style-type: none"> • Community stakeholder meetings
Local NGOs + Researchers	<ul style="list-style-type: none"> • Exchange of bleaching data • Discuss ideas for management strategies • Discuss possible monitoring collaborations 	<ul style="list-style-type: none"> • Joint efforts with managers to perform monitoring • Sharing expertise and data • Joint interventions with stakeholders 	<ul style="list-style-type: none"> • Emails • Meetings
Local government + decision makers	Implement stricter regulations on: <ul style="list-style-type: none"> • Fisheries • Coastal development • Pollution levels 	<ul style="list-style-type: none"> • Foster multi-sectoral approaches to limit compounding stresses • Formulate new guidelines and regulations based on situation • Enforce new regulations 	<ul style="list-style-type: none"> • Inter-sectoral committees • Meetings (Stakeholder) • Email/social media • Reports & factsheets
General Public	Raise public awareness of the issues	<ul style="list-style-type: none"> • Contact local media • Events, e.g. school competitions 	<ul style="list-style-type: none"> • Social media • Local media

7.2 Quelques mesures spécifiques aux îles françaises du Sud-Ouest de l'océan Indien

7.2.1 Les îles Eparses

Au vu de la réglementation appliquée aux îles Eparses (interdiction de pénétrer dans les eaux territoriales sans autorisation, pêche interdite et encadrement de l'écotourisme) et de l'absence d'activité humaine notable sur les îles, il apparaît que la mise en place de mesures de gestion (autre que le suivi) est sans objet.

Toutefois, comme nous avons pu le voir pour Juan de Nova notamment, le manque de suivi régulier peut favoriser l'inobservation d'événements majeurs (blanchissement, maladies, cyclones ?) affectant fortement les récifs.

Ainsi, il est préconisé, d'avoir sur les îles où il y a déjà une présence humaine (militaires, météorologues) une personne pouvant réaliser des observations mensuelles simples des événements suivants : blanchissement, casse de colonies coralliennes après un cyclone, mortalité corallienne importante, déstructuration des communautés coralliennes,...

Il est clair que l'installation de cet observateur devra s'accompagner de la mise en place de la logistique inhérente à l'observation en milieu marin.

Il n'en reste pas moins qu'au vu de l'éloignement et la difficulté d'accès des îles, l'observation pas satellite reste à développer

prioritairement dans l'observation des phénomènes majeurs tels que le blanchissement⁹ où l'évolution plus générale des habitats (par l'intermédiaire des cartes d'habitats).

7.2.2 Mayotte

Concernant le suivi des événements il conviendrait de :

- Pérenniser le réseau de sondes de température,
- Installer à une profondeur moindre la sonde de la Surprise pour que les données soient comparables avec celles des autres sondes,
- Faire un travail de synthèse sur l'ensemble des suivis du blanchissement 2016 pouvant avoir eu lieu sur le territoire,
- Suivre les prochains phénomènes et notamment leur patron spatial avec la même méthode, ce qui pourra aboutir à des mesures de gestion efficaces (quelles zones à protéger en priorité). Du manque de suivi spatial sur les précédents phénomènes de blanchissement il est en effet à l'heure actuelle trop tôt pour se prononcer sur les zones particulièrement vulnérables ou résistantes.
- Inter-calibrer à terme les zones vulnérables avec le maillage des sondes

⁹ Avec le perfectionnement de la méthode utilisée pour pouvoir observer les pentes externes et massifs coralliens immergés, zones où la couverture corallienne est la plus importante sur ces îles

- Mettre en place dès à présent un suivi spécial "blanchissement" de la faune ichtyologique et des peuplements coralliens afin de mesurer l'impact à moyen terme du blanchissement sur les peuplements de poissons (dont la baisse des stocks est bien souvent attribuée de manière intuitive à la surpêche, ce qui n'entraîne pas les mêmes mesures de gestion). Le suivi post-blanchissement des peuplements coralliens est également important pour comprendre la résilience des récifs à court terme.

En outre, concernant les avis sur les études d'impacts et les préconisations d'aménagement, ainsi que sur les documents de planification (plan de gestion du Parc marin, Schéma de Mise en Valeur de la Mer,...) il convient de prendre en compte le phénomène de blanchissement de 2016 et de porter une attention particulière dans les années à venir sur les zones fortement impactées par le blanchissement (mortalité élevée) pour favoriser au maximum la résilience de ces zones.

Certaines préconisations/réglementations spécifiques pourraient ainsi être émises sur ces zones.

Enfin, dans le cadre des suivis DCE, il conviendra de prendre en compte l'impact de ce phénomène de blanchissement dans les suivis futurs et dans l'interprétation des résultats.

7.2.3 La Réunion

Concernant le suivi des événements, il conviendrait de :

- Pérenniser le réseau de sondes température disposé à l'heure actuelle sur l'ensemble des récifs frangeants de La Réunion, quitte à l'alléger si nécessaire ;
- Faire un travail de synthèse sur l'ensemble des suivis du blanchissement 2016 pouvant avoir eu lieu sur le territoire ;
- Suivre les prochains phénomènes avec la même méthode, ce qui permettra de quantifier leur intensité et de les spatialiser et, en outre, de mettre à jour/affiner le patron des zones les plus résistantes ou vulnérables ;
- Mettre en place dès à présent sur les zones les plus impactées un suivi de la faune ichtyologique et des peuplements coralliens spécial "blanchissement" pour arriver à déterminer l'impact de celui-ci sur les coraux et les poissons et de quantifier *in fine* leur résilience. Cela permettra en outre de mettre en parallèle l'impact de ce blanchissement avec l'effet réserve.

L'historique de suivi des phénomènes de blanchissement antérieurs à La Réunion permet de mettre en avant les zones de fortes vulnérabilité ou de résistances élevées. Il convient de prendre en considération ce zonage dans le plan de gestion de La Réunion et de porter une attention particulière sur les zones les plus vulnérables. Il convient notamment

d'analyser finement les zones de protection renforcée et le patron de la résistance/vulnérabilité des zones coralliennes.

L'historique de suivi des phénomènes de blanchissement antérieurs à La Réunion permet de mettre en avant les zones de fortes sensibilités ou de résistances élevées.

Ainsi ce zonage des zones les plus sensibles et résistantes, ajouté au zonage spatiale de l'intensité (et des impacts) du blanchissement 2016, sont à prendre en considération lors des

études d'impacts et les préconisations d'aménagement, ainsi que sur les documents de planification (plan de gestion, Schéma de Mise en Valeur de la Mer, Trame verte, trame bleu, trame bleu marine, ...).

Enfin, dans le cadre des suivis DCE, il conviendra de prendre en compte l'impact de ce phénomène de blanchissement dans les suivis futurs et dans l'interprétation des résultats.

Quelques remarques générales sur le présent suivi

La mise en place de ce suivi a permis pour la première fois de suivre l'ensemble des récifs français de l'océan indien. En outre, c'est le premier suivi "blanchissement" sur les îles Eparse.

La méthode de recensement visuel déployée *in situ* a permis de confirmer la robustesse des données acquises sur le terrain et le très bon rapport nombre de stations échantillonnées/temps passé sur le terrain. Il permet d'avoir une prévalence totale des colonies blanchies, une prévalence par genre tout en étant représentatif de l'ensemble des habitats récifaux des îles.

Les résultats montrent une très bonne complémentarité entre les données acquises *in situ* et les données satellitaires.

Le traitement des images satellitaires et notamment l'approche multi dates à permis de spatialiser finement le blanchissement à La Réunion. Toutefois, pour qu'il soit plus facilement extrapolables à l'ensemble des récifs de l'océan Indien, il reste à affiner la méthode pour traiter le signal plus profondément (jusqu'à environ 15m de profondeur) afin de traiter la pente externe sur l'ensemble des îles.

Ainsi, dans le cadre de ce projet il n'a pas été possible de cartographier l'ensemble du blanchissement. Ces améliorations sont possibles techniquement et l'équipe constituée lors de ce suivi continue à travailler dans ce sens.

Enfin, le signal de blanchissement par image satellite étant fortement dépendant de la couverture corallienne, pour exploitée de manière optimale les traitements des images satellitaires il est nécessaire de disposer de la couverture corallienne sur l'ensemble des récifs.



8 REFERENCES

Andréfouët, S., Muller-Karger, F. E., Robinson, J. A., Kranenburg, C. J., Torres-Pulliza, D., Spraggins, S. A., & Murch, B. (2006, June). Global assessment of modern coral reef extent and diversity for regional science and management applications: a view from space. In Proceedings of the 10th International Coral Reef Symposium (Vol. 2, pp. 1732-1745).

ARVAM, 2003. Connaissance et suivi des Récifs Coralliens des îles françaises de l'Océan Indien - Plan d'action Iles Eparses (2002-2006). Rapport intermédiaire de la phase une (2002-2003).

Bigot, L., & Quod, J. P. (2000). Coral bleaching in the Indian Ocean islands: Ecological consequences and recovery in Madagascar, Comoros, Mayotte and Reunion.

Burke, L., Reyntar, K., Spalding, M., & Perry, A. (2011). Reefs at risk revisited.

Chabanet, P., & Durville, P. (2005). Reef fish inventory of Juan de Nova's natural park (western Indian Ocean). *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 4(2), 145-162.

Chabanet P., S. Andréfouët, L. Bigot, C. Bourmaud, G. Cavailles, C. Conand, P. Durville, R. Fricke, N. Gravier-Bonnet, H., O. Le Pape, H. Magalon, L. Massé, T. Mulochau, L. Mattio, J-B. Nicet, D. Obura, J. Poupin, C. Russo, E. Tessier, M. Zubia, 2014. Programme BIORECIE, synthèse Europa 2011, Juan de Nova 2012 et Glorieuses 2013. Rapport pour le compte des TAAF.

Commission de l'océan Indien (2016) Guide de suivi du blanchissement des coraux Ouest de l'océan Indien - 2016 Compilé par David Obura. Projet Biodiversité, Commission de l'océan Indien. 12 pages.

Conand C., Lame M., Quod J.P., Conand F. et Turquet J., 2000. Proceedings 9th International Coral Reef Symposium, Bali, Indonesia 23-27 October 2000. Vol. 2 pp1155-1159.

Conand, F., Marsac, F., Tessier, E., & Conand, C. (2007). A ten-year period of daily sea surface temperature at a coastal station in Reunion Island, Indian Ocean (July 1993–April 2004): patterns of variability and biological responses. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 6(1).

Dahalani Y., Nicet J.B., Wendling B., Bigot L., Chabanet P., Ousseni I., 2001. Résultats du point 2 de l'Observatoire des récifs coralliens de Mayotte (ORC). Rapport DAF/SPEM, 38p.

Descamps, P., Fray, D., Thomassin, B., Castellani, S., & Layssac, J. (1998, September). Massive mortality following a huge bleaching of corals at Mayotte I. In SW Indian ocean) at the end of the 1998 austral summer. ISRS European meeting, Perpignan (pp. 1-4).

Donner, S. 2009. "Coping with Commitment: Projected Thermal Stress on Coral Reefs under Different Future Scenarios." *PLoS ONE* 4: e5712.

Faure, G., Guillaume, M., Payri, C., & Vasseur, P. (1983). Massive bleaching and death of scleractinian corals in the Mayotte coral reef ecosystem (Mozambique Channel, W. Indian Ocean)[abstr.]. In Univ. of Nice, France, International Society for Reef Studies Meeting (p. 25).

Green, A. L., & Bellwood, D. R. (Eds.). (2009). Monitoring functional groups of herbivorous reef fishes as indicators of coral reef resilience: a practical guide for coral reef managers in the Asia Pacific Region (No. 7). IUCN.

Guillaume M., Turquet J., Bruggemann H., Cauvin, B., 2005, Cambert H., Nicet J.B., 2005. Le blanchissement des coraux à La Réunion en 2005. Réseau récifs. 30 pages.

Guillaume M., Cambert H., Pribat B., Cauvin, B., Nicet J.B., Bruggemann H, 2010. Le blanchissement des coraux à La Réunion en 2009. Réseau récifs, pour le compte de la RNMR 41 pages.

Grellier, M., Nicet, J. B., & Ringelstein, J. (2012). Étude d'identification des zones de conservation prioritaires dans le cadre de la mise en place d'une Réserve Naturelle Nationale dans les îles Éparses: cas de l'île Europa.

Hochberg, E.J. and Atkinson, M.J., 2000, Spectral discrimination of coral reef benthic communities. *Coral Reefs*, 19, pp. 164–171.

Bourjeaé J. Mouquet M., Quod J.P., Ciccione S., 2010. Expédition pluridisciplinaire "Iles Eparses" 2010 - Europa & Juan de Nova, 14 mai - 7 juin. Rapport IFERMER, 47 pages.

Nicet J.B., M.Porcher. G. Pennober, P. Mouquet, N. Alloncle, Y. Denis, G.Dirberg, C. Gabrie, G. Malfait, A. Nicolas, B. Pribat, J.Ringelstein, J.P. Quod, S. Andrefouet (2015). Aide pour la commande et la réalisation de cartes d'habitats normalisées en milieu récifal sur les territoires français. Guide de mise en œuvre à l'attention des gestionnaires. Pour le compte de l'IFRECOR.

Nicet J.B., Wickel J., Pothin, K, Turquet J., 2015. Suivi de la température marine sur les platiers et pentes externes des récifs frangeants de La Réunion. MAREX, RNMN, Hydrô Réunion, 23 pages +annexes.

Nicet J.B. & Turquet J., 2004. Réponse à un phénomène de blanchissement corallien observé en 2004 à La Réunion. Rapport ARVAM pour le compte de la DIREN. 27 pp.

Obura, D., & Grimsditch, G. (2009). Resilience assessment of coral reefs: assessment protocol for coral reefs, focusing on coral bleaching and thermal stress. Gland: IUCN.

Quod J.P., Garnier R., Facon M., Urbina-Barreto I., Daydé A., Massac C., Elise S. Denis Y., Séré M; Faure G., Bouchard J.M., 2016. Monitoring La Réunion & Mayotte coral reefs (western Indian ocean) during expected El Nino event. Poster ICRS, Hawaï, 2016.

Obura D., Gudka M., 2016. Overview of the 2016 WIO Bleaching Event & Discussion on Bleaching Management Planning. Webinar, 28 septembre 2016. <http://www.reefresilience.org/overview-of-the-2016-wio-bleaching-event-discussion-on-bleaching-management-planning/>

Pennober G. et Borius A. (2010). Coral bleaching alert and mapping in Reunion Island (SWIO): a remote sensing contribution. Geomatic solutions for coastal environment. Nova Publisher .sous la direction de M. Robin et M. Maanan In Geomatic solutions for Coastal Environments, Manaana, Robin (ed), series: Environmental Science, Engineering and Technology, Nova Science Publishers, New York, ISBN 978-1-61668-140-, pp40-55

Quod, J. P., Dahalani, Y., Bigot, L., Nicet, J. B., Ahamada, S., & Maharavo, J. (2002). Status of coral reefs at Reunion, Mayotte and Madagascar. Coral Reef Degradation in the Indian Ocean, 185.

Simonneaux J, Bois C, Sholte K, Delaitre E. Détection d'invariants dans une série temporelle d'images satellitaires en zone aride : application à l'intercalibration des images et à la correction radiométrique d'images. Proc Int Symp Marrakech (Maroc). 2001.

Turquet J., Garnier R., Quod J.P., Bigot L., Moyne-Picard M., Naim O., Cauvin B., 2003. Réponse au phénomène de blanchissement corallien observé en 2003 à La Réunion. Rapport pour le compte de la DIREN Réunion. 35 pages.

Turquet J., Mirault E., Conand C., Coannd F., Rard M., Cambert H., Quod J.P., 2001. Réponse au phénomène de blanchissement corallien observé en mars-avril 2001 à La Réunion. Rapport pour le compte du Parc Marin de La Réunion. 35 pages.

Wendling, B., Dahalani, Y., Descamp, P., Priess, K., & Thomassin, B. (2000). Coral communities recovery at Mayotte Island (SW Indian Ocean) following the 1998 bleaching event and/or recent *Acanthaster* plagues. In 9th International Coral Reef Symposium, Bali.