



Guide à l'attention des gestionnaires des Outre-mer  
Français pour le suivi environnemental des épisodes de  
blanchissement corallien et l'évaluation de leurs impacts  
sur le peuplement corallien

Janvier 2019

### Maître d'ouvrage :

#### Ministère de La Transition Ecologique et Solidaire

92055 Paris-La-Défense Cedex

Contact : Aurélie Thomassin

[aurelie.thomassin@developpement-durable.gouv.fr](mailto:aurelie.thomassin@developpement-durable.gouv.fr)

### Coordination :

#### MAREX

697 Chemin Surprise, 97436 Saint-Leu-La Réunion

Contact: Jean Benoit NICET

[jbenoit.nicet@gmail.com](mailto:jbenoit.nicet@gmail.com)

#### CRIOBE :

Contact: Laetitia Hédouin

[laetitia.hedouin@criobe.pf](mailto:laetitia.hedouin@criobe.pf)

#### Nova Blue Environnement (NBE) :

Contact: Jean-Philippe Maréchal

[marchal.jean@gmail.com](mailto:marchal.jean@gmail.com)

### Rédaction rapport :

**MAREX** : J.B. Nicet, M. Pinault, J. Wickel

**CRIOBE** : L. Hédouin, J. Vii

**NBE** : J.P. Maréchal

**ENTROPIE** : M. Adjeroūd, F. Benzoni, L. Bigot, P. Chabanet, C. Payri, L. Penin.

**ESPACE DEV** : G Pennober

### Comité de pilotage

Aurélie Thomassin, Claire Bissery, Stéphanie Cubier, Francis Staub, Pascal Colin

### Validation

Janvier 2019

### A citer sous la forme :

NICET J.B., HEDOUIN L., MARECHAL J.P., VII J, ADJEROUD M., BENZONI F., BIGOT L., CHABANET P., PAYRI C., L. PENIN, PENNOBER G., PINAULT M., WICKEL J., 2019. Guide à l'attention des gestionnaires des Outre-mer français pour le suivi environnemental des épisodes de blanchissement corallien et l'évaluation de leurs impacts sur le peuplement corallien. Rapport MAREX/CRIOBE/BNE/ENTROPIE/ESPACE-DEV pour le compte de l'IFRECOR, 57 pages.

## Résumé exécutif

Dans le cadre de la programmation 2016-2020 du réseau « Récifs » de l'IFRECOR, plusieurs collectivités ont insisté sur l'importance de définir des protocoles de suivi opérationnels et standardisés ainsi que d'accompagner les gestionnaires sur la conduite à tenir en cas de blanchissement corallien. Ce besoin est renforcé au niveau international par les préconisations de l'ICRI pour mettre en place des suivis du blanchissement pragmatique et inter opérable. L'épisode de blanchissement le plus long jamais enregistré (2014-2017) ne fait que rappeler l'urgence à disposer d'un guide permettant une bonne mise en œuvre d'un suivi des épisodes de blanchissement.

**Ce guide est destiné aux gestionnaires pour la mise en place des suivis du blanchissement corallien afin de répondre aux questions suivantes :**

- ) Comment détecter les événements de blanchissement et la conduite à tenir ;
- ) Quels protocoles standardisés mettre en place lors d'un épisode de blanchissement ?
- ) Quel est le taux moyen de blanchissement ?
- ) Quel est le taux moyen de mortalité ?
- ) Quelle est la répartition géographique des récifs touchés et des récifs ayant résisté ?
- ) Quelle est la sensibilité des coraux au blanchissement en fonction de leur genre taxonomique
- ) Quel est le taux d'habitats dégradés suite au blanchissement ?
- ) Y-a-t-il un effet "réserve" sur le taux de mortalité ?
- ) Y-a-t-il un effet des pressions locales sur le taux de mortalité?

Ce guide décrit la démarche à suivre pour construire une stratégie efficace face à ces épisodes de blanchissement de plus en plus rapprochés dans le temps (cf. figure ci-après). Cette stratégie doit permettre aux gestionnaires de mettre en place *in fine* des actions locales visant à améliorer la résistance ou la résilience des récifs face à ces épisodes de blanchissement.

**Pour évaluer les impacts d'un événement de blanchissement, il est proposé de mesurer non seulement l'intensité du blanchissement mais aussi la mortalité corallienne qui s'ensuit, selon trois méthodes** correspondant à trois niveaux d'expertise, en fonction des besoins humains, financiers et logistiques disponibles :

- ) Méthode 1 : « Collecte opportuniste » : compilation des observations opportunistes et normalisées, récoltées au travers des réseaux de suivis participatifs et de programmes scientifiques ;
- ) Méthode 2 : « Estimation visuelle » : méthode rapide pour évaluer le blanchissement par estimation visuelle, permettant de réaliser un grand nombre de stations et d'avoir une meilleure représentativité spatiale ;
- ) Méthode 3 : « Photo-quadrat » : méthode quantitative permettant une analyse détaillée de l'intensité du blanchissement.

Ces méthodes sont compatibles avec de nombreux suivis régionaux du blanchissement (pour tout ou partie selon les suivis) et comparables au niveau national.

Des méthodes complémentaires sont abordées, comme la cartographie et le suivi *a posteriori* de la résilience après l'épisode de blanchissement. Ce dernier suivi permettra au gestionnaire d'identifier les zones ayant récupérées de l'épisode de blanchissement ou pas, et de mesurer l'impact de ce dernier sur les peuplements associés aux coraux durs (poissons, échinodermes, mollusques, ...).

**Pour aider le gestionnaire dans la mise en œuvre de son suivi, il est proposé plusieurs *scenarii* mettant l'accent sur l'importance de :**

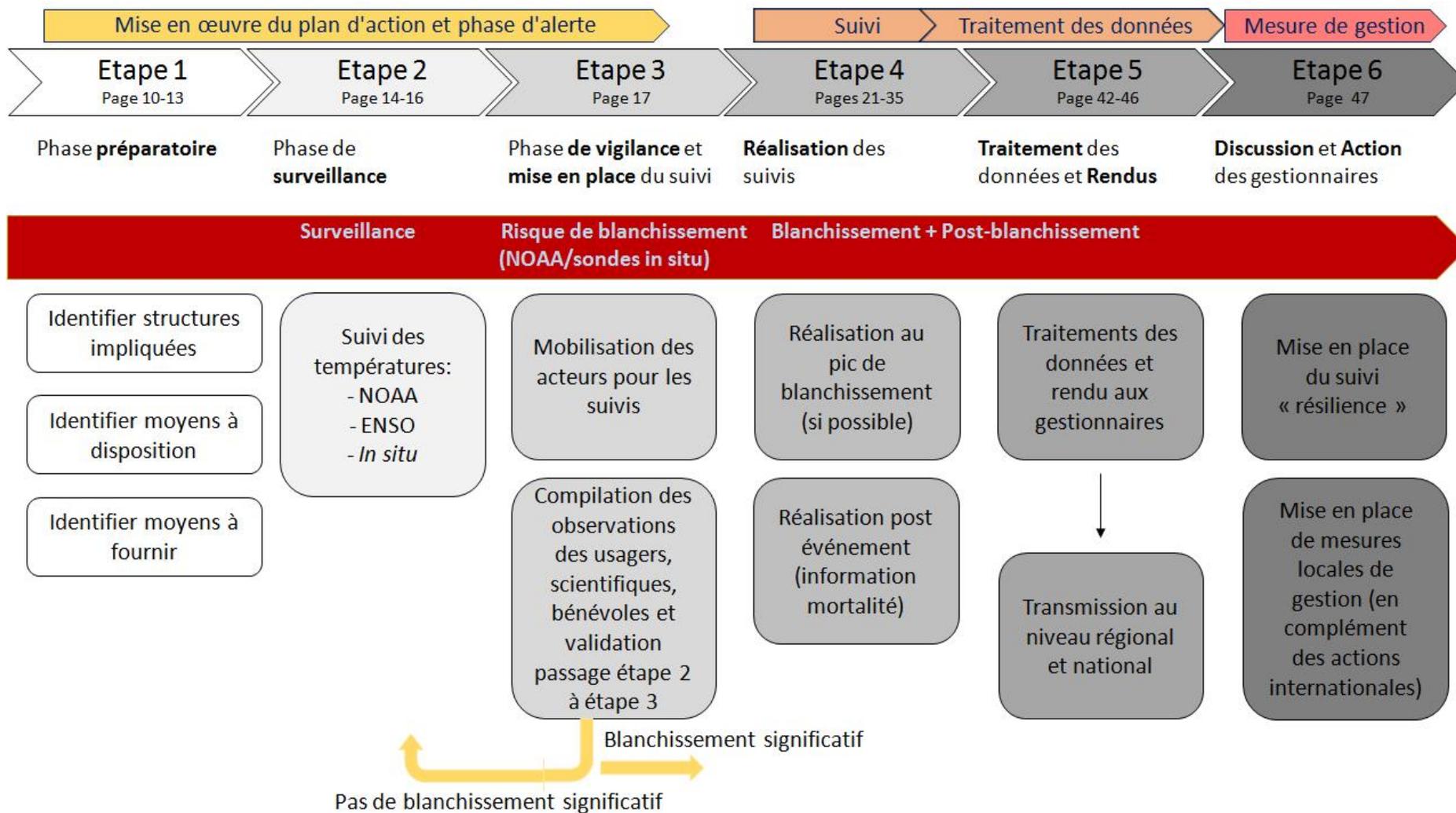
- ) Favoriser les remontées des suivis participatifs et, si possible, de disposer d'observations normalisées ;
- ) Faire en priorité un suivi après la phase de blanchissement pour évaluer la mortalité ;
- ) Faire, si le budget et le temps disponibles le permettent, un suivi lors du pic de blanchissement ;
- ) Prendre comme descripteurs de base la couverture corallienne et la part de la couverture affectée en pourcentage (blanchie ou morte) ;
- ) Rajouter la prévalence totale (% du nombre de colonies blanchies ou mortes par rapport au nombre de colonies totales) pour les méthodes 2 et 3 ;
- ) Suivre en priorité les stations "historiques" ou "sentinelles" (stations GCRMN, DCE, suivi des AMP, ...) ;
- ) Suivre en priorité les stations de pente externe (récif barrière ou frangeant selon les COMs) à une profondeur d'environ 10m ;
- ) Favoriser l'analyse par "photo-quadrats" pour maximiser le nombre de stations échantillonnées *in situ* ;
- ) Favoriser un nombre important de stations (avec la méthode 2 « Estimation visuelle ») pour augmenter au maximum la représentativité spatiale.

Les *scenarii* proposés fournissent le plan d'échantillonnage (nombre de stations) à l'échelle des COMs et les méthodes à utiliser. Le gestionnaire pourra bien entendu ajuster les *scenarii* en modifiant le nombre de stations, le suivi ou non durant le pic de blanchissement et le ratio méthode 2 / méthode 3.

**Pour chaque scénario, l'ensemble des éléments est fourni pour calculer le budget nécessaire et ainsi aider au choix en fonction :**

- ) Du nombre de stations réalisables par jour selon la méthode utilisée et la pratique de l'apnée ou de la plongée sous-marine ;
- ) De la nécessité ou non d'un navire et du nombre de personnes minimum sur le terrain ;
- ) Du nombre de jours nécessaires à la bancarisation des données selon la méthode employée ;
- ) Du nombre de jours nécessaires au traitement des données et à la rédaction d'un rapport selon le scénario retenu.

**Les différentes étapes pour suivre le blanchissement corallien. Chaque étape est décrite plus précisément dans ce guide aux pages indiquées.**



## Executive Summary

In the context of the 2016-2020 programme of the IFRECOR 'Reefs' network, several local authorities stressed the importance of defining standardised operational monitoring protocols, and supporting managers in dealing with coral bleaching. This need is reinforced at the international level by ICRI's recommendations to set up practical and interoperable monitoring of coral bleaching. The longest bleaching episode ever recorded (2014-2017) highlights the urgent need for a guide to ensure the proper implementation of monitoring of bleaching episodes.

**This guide is intended for managers to set up coral bleaching monitoring to answer the following questions:**

- ) How to detect bleaching events and how to proceed?
- ) What standard protocols should be implemented during a bleaching episode?
- ) What is the average bleaching rate?
- ) What is the average mortality rate?
- ) What is the geographical distribution of affected and resistant reefs?
- ) What is the sensitivity of corals to bleaching according to their taxonomic genus?
- ) What proportion of habitats are degraded as a result of bleaching?
- ) Is there a 'reserve' effect on the mortality rate?
- ) Is there an effect from local pressures on the mortality rate?

This guide describes the approach to be followed in order to develop an effective strategy to deal with bleaching episodes, which are becoming increasingly frequent over time (see figure below). This strategy should enable managers to eventually implement local measures to improve the resistance or resilience of reefs to these bleaching episodes.

**To assess the impacts of a bleaching event, it is proposed to measure not only the intensity of bleaching but also the resulting coral mortality, using three methods** corresponding to three levels of expertise, and depending on human needs and financial and logistical resources:

- ) Method 1: Opportunistic data collection: compilation of opportunistic or standardized observations, collected through participatory monitoring networks and scientific programmes;
- ) Method 2: Visual Estimation: Rapid method for evaluating bleaching by visual estimation, allowing measurement at a large number of sites, resulting in a more representative spatial coverage;
- ) Method 3: Photo-quadrat: quantitative method allowing a detailed analysis of the bleaching intensity.

These methods are compatible with many regional bleaching monitoring methods (for all or part of the monitoring) and comparable at the national level.

Complementary methods are discussed, such as mapping and follow-up monitoring of resilience after the bleaching episode. Thus final monitoring surveys will allow the manager to identify which areas

have recovered from the bleaching episode, and measure its impact on the communities associated with hard corals (fish, echinoderms, molluscs, etc.).

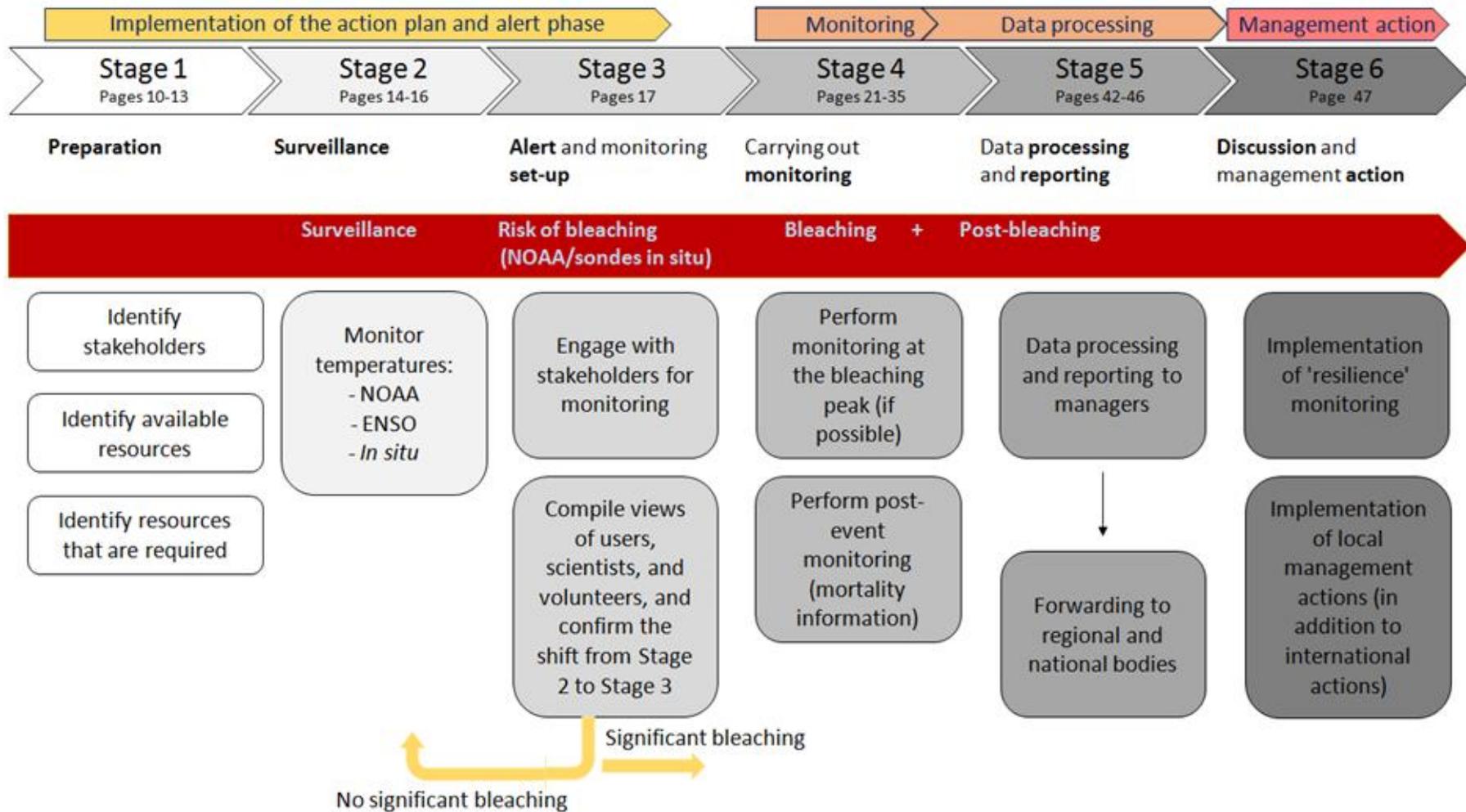
**To help the manager in the implementation of the monitoring, several scenarios are proposed, emphasizing the importance of:**

- ) Encouraging feedback from participatory monitoring and, if possible, standardizing the surveys;
- ) Prioritizing post-bleaching monitoring to assess mortality;
- ) If the budget and time available allow, monitoring through the peak bleaching period;
- ) Using the coral cover and the percentage of the affected cover (bleached or dead) as basic descriptors;
- ) Adding the total bleaching prevalence (% of the total number of colonies that are bleached or dead) for Methods 2 and 3;
- ) Prioritizing the monitoring of 'historical' or 'sentinel' sites (GCRMN or DCE sites, monitoring within MPAs, etc.);
- ) Prioritize monitoring of sites on outer slopes (of barrier reefs or fringing reefs as per COMs) at a depth of about 10m;
- ) Promoting 'photo-quadrat' analysis to maximize the number of sites sampled *in situ*;
- ) Promote the monitoring of a large number of stations (using Method 2 'Visual Estimation') to increase spatial representation as much as possible.

The proposed *scenarios* provide the sampling plan (number of sites) at the scale of COMs, and methodologies to be implemented. The manager will of course be able to adapt the options by modifying the number of stations, monitoring or otherwise during the bleaching peak, or using a combination of Method 2 and Method 3.

**For each scenario, all necessary information is provided to allow the calculation of the required budget** and thus help in the choice, based on:

- ) The number of stations that can be operated per day depending on the method used and whether snorkelling or scuba diving is used;
- ) The need or otherwise for a ship, and the minimum number of people required in the field;
- ) The number of days required to collect the data based on the method used;
- ) The number of days required to process the data and prepare a report based on the chosen scenario.



## Resumen ejecutivo

Como parte del programa de red "Arrecifes" 2016-2020 de IFRECOR, varias colectividades han insistido sobre la importancia de definir protocolos de monitoreo operativos y estandarizados, así como prestar asistencia a los gestores sobre cómo proceder en caso de blanqueamiento de corales. Esta necesidad se ve reforzada a escala internacional por las recomendaciones del ICRI en el marco de la puesta en marcha del monitoreo del blanqueamiento pragmático e interoperable. El episodio de blanqueamiento más largo nunca registrado (2014-2017) solo recuerda la urgencia de disponer de una guía que permita una buena implementación de un monitoreo de los episodios de blanqueamiento.

**Esta guía se dirige a los gestores para configurar un sistema de monitorización del blanqueamiento de corales con objeto de responder a las siguientes preguntas:**

- ) ¿Cómo detectar los casos de blanqueamiento y cómo proceder?
- ) ¿Qué protocolos estandarizados deben ponerse en marcha en un caso de blanqueamiento?
- ) ¿Cuál es el nivel de blanqueamiento?
- ) ¿Cuál es la tasa media de mortalidad?
- ) ¿Cuál es la distribución geográfica de los arrecifes afectados y los arrecifes que han resistido?
- ) ¿Cuál es la sensibilidad de los corales al blanqueamiento según su género taxonómico?
- ) ¿Cuál es el porcentaje de hábitats deteriorados a causa del blanqueamiento?
- ) ¿Existe un efecto de "reserva" en la tasa de mortalidad?
- ) ¿Existe un efecto de las presiones locales sobre la tasa de mortalidad?

Esta guía describe cómo construir una estrategia efectiva para hacer frente a estos episodios de blanqueo cada vez más próximos en el tiempo (cf. ver imagen a continuación). Esta estrategia debería permitir que los gestores pudieran implementar acciones locales dirigidas a mejorar la resistencia o la capacidad de recuperación de los arrecifes frente a estos episodios de blanqueamiento.

**Para evaluar el impacto de un caso de blanqueamiento, se propone medir no solo la intensidad del blanqueo, sino también la mortalidad de corales subsiguiente, según tres métodos** correspondientes a tres niveles de experiencia, en función de las necesidades humanas, financieras y logísticas disponibles:

- ) Método 1: «Recogida oportunista»: compilación de observaciones oportunistas y normalizadas, recogidas a través de redes de monitoreo participativo y programas científicos.
- ) Método 2: «Estimación visual»: método rápido para evaluar el blanqueamiento por estimación visual, que permite mostrar un gran número de estaciones y disponer de una mejor representatividad espacial.
- ) Método 3: «Photo-quadrat»: método cuantitativo que permite un análisis detallado de la intensidad del blanqueamiento.

Estos métodos son compatibles con numerosos monitoreos regionales del blanqueamiento (para la totalidad o una parte según los sistemas) y comparables a escala nacional.

Se abordan igualmente métodos complementarios, como el mapeo y el monitoreo *a posteriori* de la resiliencia tras el episodio de blanqueo. Este último monitoreo permitirá al gestor identificar las zonas que se han recuperado del episodio y las que no, así como evaluar su impacto en las especies asociadas a los corales duros (peces, equinodermos, moluscos...).

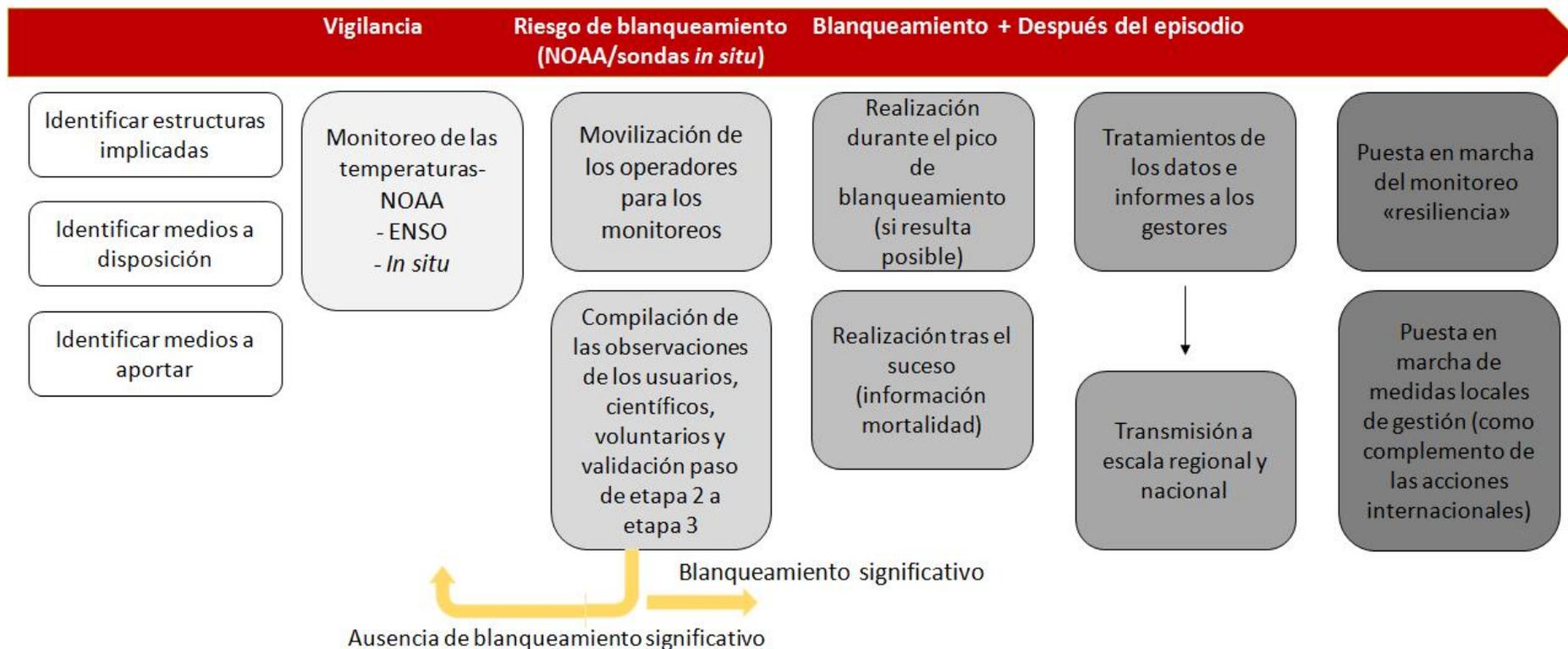
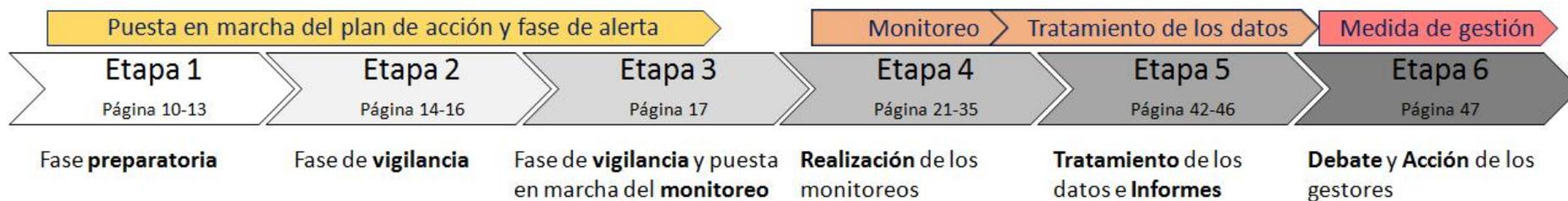
**Para apoyar al gestor a llevar a cabo su monitoreo, se proponen diversos escenarios que destacan la importancia de:**

- ) Promover el intercambio de información de los monitoreos participativos y, si se puede, disponer de observaciones normalizadas.
- ) Realizar un monitoreo al fin de la fase de blanqueamiento para evaluar la mortalidad.
- ) Si el presupuesto y el tiempo disponibles lo permiten, hacer un monitoreo durante el pico de blanqueamiento.
- ) Elegir como descriptores básicos la cobertura coralina y la parte de la cobertura afectada en porcentaje (blanqueada o muerta).
- ) Añadir la prevalencia total (% del número de colonias blanqueadas o muertas con relación al número de colonias totales) respecto a los métodos 2 y 3.
- ) Realizar un monitoreo prioritario de las estaciones "históricas" o "centinelas" (estaciones GCRMN, DCE, Áreas Marinas Protegidas...).
- ) Realizar un monitoreo prioritario de las estaciones de pendiente externa (arrecife barrera o franja según las regiones ultramarinas) a una profundidad de aprox. 10 m.
- ) Favorecer el análisis a través de "photo-quadrats" para maximizar el número de estaciones muestreadas *in situ*.
- ) Favorecer un número importante de estaciones (con el método 2 «Estimación visual») para aumentar al máximo la representatividad espacial.

Los escenarios propuestos proporcionan el plan de muestreo (número de estaciones) a escala de las regiones ultramarinas y los métodos a utilizar. El gestor puede, por supuesto, ajustar los escenarios modificando el número de estaciones, con o sin monitoreo durante el pico de blanqueamiento y la proporción método 2 / método 3.

**Respecto a cada escenario, se aporta un conjunto de elementos para calcular el presupuesto necesario** y ayudar así en función:

- ) Del número de estaciones realizables al día según el método utilizado y la práctica de la apnea o el buceo submarino.
- ) De la necesidad o no de un barco y del número mínimo de personas *in situ*.
- ) Del número de días necesarios para el almacenamiento de los datos según el método empleado.
- ) Del número de días necesarios para el tratamiento de los datos y la redacción de un informe según el escenario elegido.



# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>Contexte et objectifs.....</b>	<b>5</b>
1.1	Contexte .....	6
1.2	Pourquoi suivre spécifiquement les impacts d'un épisode de blanchissement corallien .....	8
1.3	Objectifs.....	9
<b>2</b>	<b>La stratégie et sa mise en oeuvre.....</b>	<b>10</b>
2.1	Etape 1 : la phase préparatoire .....	11
<b>3</b>	<b>Etapes 2-3 : Phases de surveillance et de Vigilance .....</b>	<b>14</b>
3.1	Etape 2 - Phase de surveillance : suivi de la température .....	15
3.2	Etape 3 – Phase de vigilance, relai au niveau national/régional et préparation du suivi .....	17
<b>4</b>	<b>Etape 4 : les méthodes de suivi.....</b>	<b>18</b>
4.1	Des COMs présentant une grande variété de récifs .....	19
4.2	Le plan d'échantillonnage spatio-temporel .....	21
4.3	Quelques points clés pour la mise en application des méthodes.....	24
4.4	Les méthodes .....	27
4.5	Suivi complémentaire : la cartographie du blanchissement .....	36
4.6	Suivi complémentaire : la caractérisation de la résilience.....	39
<b>5</b>	<b>Etapes 5 et 6 : traitement des données et mesures de gestion .....</b>	<b>41</b>
5.1	Etape 5 : Analyse des données et rendus des résultats .....	42
5.2	Etape 6 : Discussion et actions des gestionnaires.....	47
<b>6</b>	<b>Aide au choix du scénario de suivi et au Dimensionnement du budget.....</b>	<b>48</b>
6.1	Aide au choix de la méthode et du plan d'échantillonnage : la construction de scénario de suivi .....	49
6.2	Le dimensionnement du budget .....	53

<b>7</b>	<b>References.....</b>	<b>55</b>
<b>8</b>	<b>Annexes .....</b>	<b>58</b>
	Annexe 1 : les besoins des gestionnaires (résultats de l'enquête).....	
	Annexe 2 : Exemple de plan d'échantillonnage en fonction des <i>scenarii</i> : Caraïbes .....	
	Annexe 3 : Exemple de plan d'échantillonnage en fonction des <i>scenarii</i> : océan Indien...	
	Annexe 4 : Exemple de plan d'échantillonnage en fonction des <i>scenarii</i> : océan Pacifique	

# Figures

Figure 1 : Processus général du phénomène de blanchissement corallien.....	7
Figure 2 : Evolution de l'anomalie de température océanique de surface depuis 1979 pour les tropiques (10°S-10°N). La courbe fine est une moyenne sur 3 mois et la courbe épaisse une moyenne sur 37 mois. NOAA/CPC. Les flèches rouges représentent les 3 derniers blanchissements massifs au niveau mondial .....	7
Figure 3 : Maximum du risque de blanchissement atteint entre juin 2014 et mai 2017 (pixel de 5km de côté). NOAA Coral Reef Watch.....	7
Figure 4 : Enchaînements des étapes et chronogramme de la stratégie.....	13
Figure 5 : Vue d'ensemble des récifs coralliens français .....	20
Figure 6 : Trajectoire possible à court terme des peuplements coralliens en cas de blanchissements massifs.....	21
Figure 7 : Photographie (paysage et quadrat) (© J. Wickel).....	23
Figure 8 : Illustration de la colonisation par les algues (turf) des colonies coralliennes récemment mortes après un épisode de blanchissement (d'après Turquet et al, 2001) .....	25
Figure 9 : Illustration de la différence entre prévalence et couverture du substrat .....	26
Figure 10 : Exemple de site internet où les observations de blanchissement peuvent être déposées par les usagers et scientifiques (réseau Tsiôno de Mayotte à gauche et site IRD en Nouvelle Calédonie à droite) .....	28
Figure 11 : Photographies des zones de blanchissement en 2016 en Nouvelle-Calédonie (en bas) et image Google Earth permettant de localiser ces prises de vues aériennes (en haut) (Benzoni et al., 2017).....	38
Figure 12 : Cartographie chronologique du blanchissement corallien en 2016 (avec notion d'intensité) à La Réunion à partir d'une analyse multi date d'images Pléiades (Nicet et al., 2016) .....	38
Figure 13 : Méthode pour l'évaluation de la vulnérabilité (IPCC, Turner et al., 2003) .....	40
Figure 14 : Exemple de guides pour le suivi de la résilience des récifs coralliens .....	40
Figure 15 : Exemple de rendu possible avec méthode 1 "données participatives" (Nouvelle-Calédonie, Benzoni et al., 2017).....	43
Figure 16 : Exemple de rendu possible selon méthode 1 en agglomérant différents types d'observations : "participatives" et "suivi scientifiques parallèles" (méthode 1)(Polynésie française, Chancerelle 2017) .....	44
Figure 17 : Exemple de rendu possible avec méthode 2 "Estimation visuelle semi quantitative" (Mayotte, Nicet et al., 2017) .....	45
Figure 18 : Exemple de rendu possible avec méthode 3 (Mayotte, Chabanet et al., 2017, programme SIREME) : prévalence de colonies blanchies/mortes en mai 2017 par genre.....	46
Figure 19 : Arbre de décision pour aider le gestionnaire à calibrer le plan d'échantillonnage et choisir la méthode de suivi.....	52
Figure 20 : Aide à l'élaboration du budget d'un suivi environnemental d'un blanchissement corallien en fonction de la méthode retenue.....	54

## Tableaux

Tableau 1 : Mission de l'institution référente pour chacune des étapes .....	12
Tableau 2: Métadonnées aux stations d'échantillonnage .....	24
Tableau 3: Compatibilité des méthodes proposées avec les suivi régionaux (descripteurs et unités). 24	
Tableau 4: Méthode1 : Evaluation générale du blanchissement corallien & mortalité : Suivi participatif et observations opportunistes.....	29
Tableau 5: Méthode 2 – Estimation visuelle du blanchissement et de la mortalité totale (couverture corallienne) et par genre dominant (prévalence).....	31
Tableau 6: Méthode 3 –Quantification (quadrat ou belt transect) du blanchissement & de la mortalité total (couverture corallienne) et pour l'ensemble des genres (prévalence) .....	34
Tableau 7 : Avantage et inconvénients de chaque vecteur d'image.....	36

## Abréviations

AGGRA_____Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment	NOAA_____National Oceanographic and Atmospheric Administration
AIMS_____Australian Institut Marin Science	WCS_____World Conservation Society
AMP_____Aires Marines Protégées	
COM_____Collectivités d'Outre-mer	
CORDIO_____Coastal Ocean Research and Development Indian Ocean	
CNRS_____Centre National de la Recherche et des Sciences	
CPC_____Climate Prediction Center	
DHW_____Degree Heating Week	
GCRMN_____Global Coral Reef Monitoring Network	
DCE_____Directive Cadre sur l'Eau	
DOM_____Département d'Outre Mer	
ENSO_____El Nino Southern Oscillation	
ICRI_____International Coral Reef Initiative	
IFRECOR_____Initiative Française pour les Récifs CORalliens	
IRD_____Institut de la Recherche et du Développement	
NESDIS_____National Environment Data Information System	



# 1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

## 1.1 Contexte

### 1.1.1 Au niveau national

L'événement de blanchissement corallien (Figure 1) massif de 2014-2017 a touché la plupart des territoires ultra-marins français de l'Indo Pacifique. Pour suivre les impacts de cet épisode, les experts français ultra-marins se sont organisés dans l'urgence, le plus souvent à l'échelle de leur territoire, avec un appui exceptionnel des ministères en charge de l'Ecologie et des Outre-mer, apporté au titre de l'IFRECOR. Plusieurs programmes ont été déployés (océan Indien, Nouvelle-Calédonie et Polynésie française) permettant de disposer d'un diagnostic local, mais sans réelle concertation inter régions, rendant difficile l'appréhension des impacts de l'épisode de blanchissement à une échelle plus large. Certains programmes ont favorisé la caractérisation de l'événement sur une grande étendue spatiale, d'autres ont préféré réduire l'emprise pour mieux comprendre le processus physiologique lié au blanchissement chez les coraux et leur capacité de résilience.

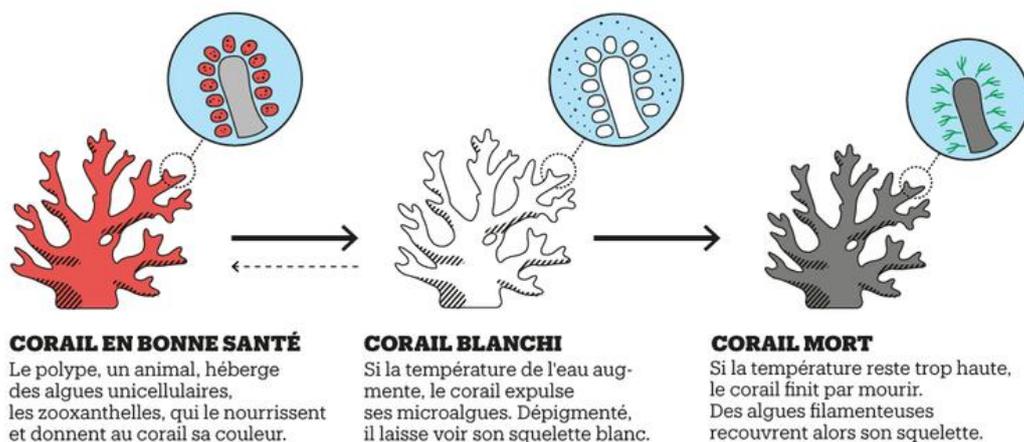
En outre, dans le cadre de la programmation 2016-2020 du réseau « Récifs » de l'Initiative Française pour les Récifs CORalliens (IFRECOR), plusieurs collectivités ont insisté sur l'importance de développer une action dédiée au suivi des événements de blanchissement corallien.

Plus spécifiquement, il s'agit de définir des protocoles de suivi opérationnels et d'accompagner les gestionnaires sur la conduite à tenir en cas de blanchissement.

### 1.1.1 Au niveau international

Au vu de l'ampleur du blanchissement corallien massif de 2014-2017, le plus étendu et le plus long jamais enregistré (NOAA Coral Reef Watch, 2018) et qui a touché 70% des récifs de la planète, l'Initiative Internationale pour les Récifs Coralliens (ICRI) s'est également mobilisée lors de l'Assemblée Générale à Paris (novembre 2016). Elle a ainsi adopté une recommandation demandant notamment aux pays « d'adopter des méthodes de terrain pragmatiques et interopérables, garantissant l'accessibilité des utilisateurs aux différentes expertises techniques, permettant un recueil décentralisé des données, et une coordination et une gestion centralisées de ces données par l'intermédiaire de réseaux régionaux » ou encore d'« intégrer le suivi du blanchissement dans des programmes de contrôle, des stratégies et des politiques à long terme au niveau mondial, régional et national, afin de garantir une gestion adaptée et la protection des récifs coralliens ».

**C'est dans ce double cadre national et international que s'inscrit le présent guide.**



Sources : NOAA ; IUCN Climate Council ; InsideClimate News ; Coral reef Studies

Figure 1 : Processus général du phénomène de blanchissement corallien

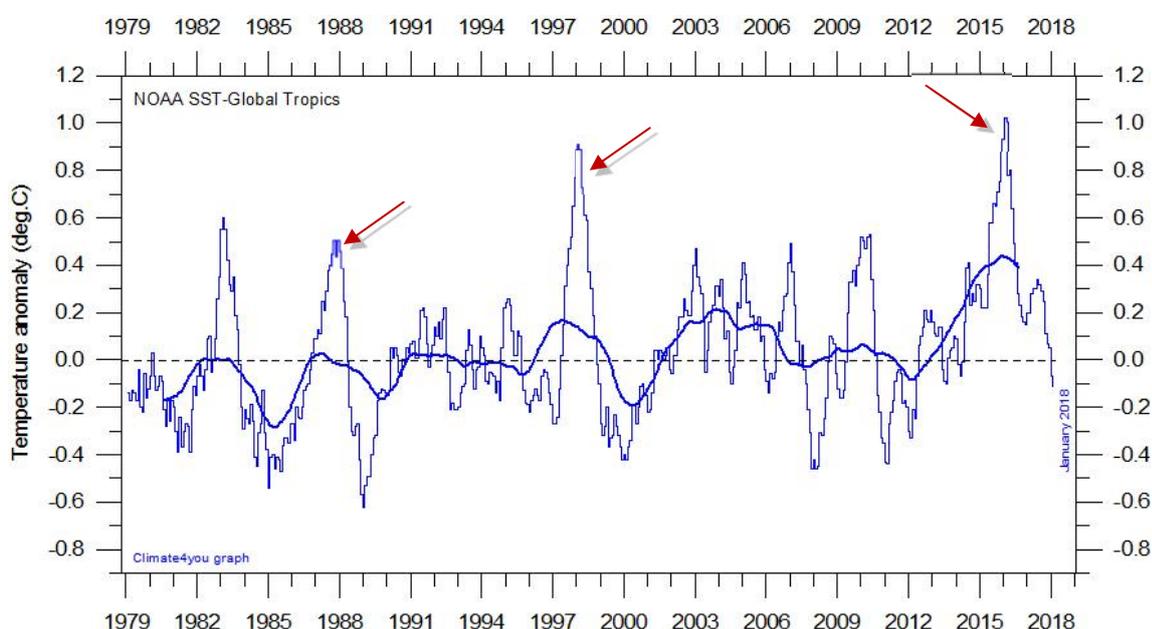


Figure 2 : Evolution de l'anomalie de température océanique de surface depuis 1979 pour les tropiques (10°S-10°N). La courbe fine est une moyenne sur 3 mois et la courbe épaisse une moyenne sur 37 mois. NOAA/CPC. Les flèches rouges représentent les 3 derniers blanchissements massifs au niveau mondial

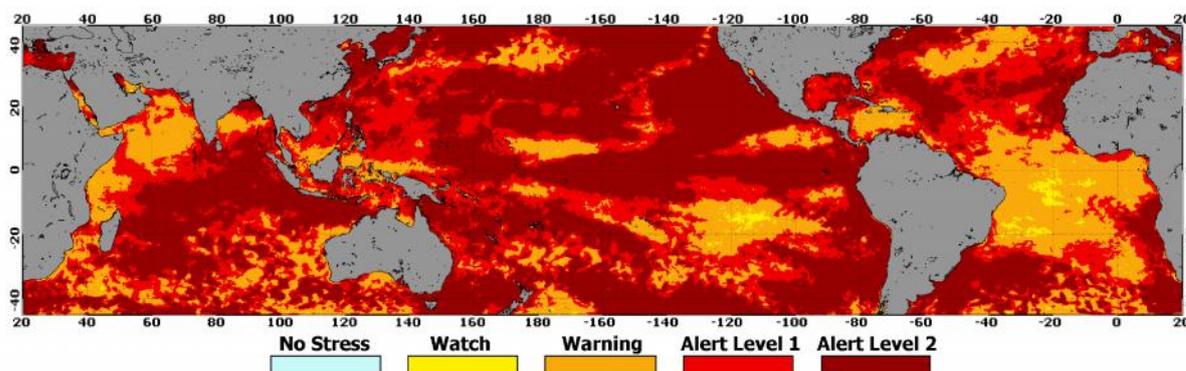


Figure 3 : Maximum du risque de blanchissement atteint entre juin 2014 et mai 2017 (pixel de 5km de côté). NOAA Coral Reef Watch

## 1.2 Pourquoi suivre spécifiquement les impacts d'un épisode de blanchissement corallien

Lors d'un épisode de blanchissement corallien massif, les gestionnaires chercheront entre autres à avoir les réponses aux questions suivantes :

- ) Quel est le taux moyen de blanchissement ?
- ) Quel est le taux moyen de mortalité ?
- ) Quelle est la répartition géographique des récifs détériorés et des récifs ayant résisté ?
- ) Quelle est la sensibilité des différents genres de coraux au blanchissement
- ) Quelle est le taux d'habitats détruit suite au blanchissement ?
- ) Y-at-il un effet "Réserve" sur le taux de mortalité ?
- ) Y-a-t-il un effet des pressions locales sur le taux de mortalité ?

En outre, le suivi des épisodes de blanchissement permet de mieux comprendre et appréhender, l'évolution des récifs coralliens sur le long terme (Pratchett et al. 2011, Guest et al. 2016).

**Or, les suivis annuels de l'état de santé (type GCRMN) ne permettent pas de répondre à certaines de ces questions :**

- ) Il ne permet pas d'évaluer le taux de blanchissement, à moins que le suivi ne se fasse au pic de blanchissement ;
- ) Les méthodes appliquées ne sont pas forcément les plus pertinentes pour quantifier le blanchissement ;
- ) En raison du faible nombre de stations historiques à l'échelle des COMs, il ne sera pas forcément possible d'évaluer un taux moyen de blanchissement/mortalité et de mettre en avant les secteurs qui ont résisté ou pas.

**Ainsi, pour avoir une meilleure évaluation spatiale des épisodes de blanchissement il est nécessaire d'augmenter le nombre de stations de suivi** (en mettant notamment en œuvre des méthodes plus simples et rapides).

**Si aucun suivi spécifique n'est mis en place, il devient alors très difficile aux gestionnaires de répondre aux précédentes questions et de mettre en œuvre des mesures de gestion** pour améliorer la résistance et la résilience des récifs, et ainsi lutter localement contre les impacts du réchauffement climatique. Or, il est admis que la protection des récifs coralliens face aux changements climatiques passe par des actions au niveau international (COP), mais également au niveau local.

**Ce guide fournit l'ensemble des outils pour répondre aux principales questions posées par les gestionnaires.**

## 1.3 Objectifs

---

L'objectif principal de ce guide est de fournir aux gestionnaires les clefs pour définir leur stratégie de suivi environnemental face à un épisode de blanchissement corallien et de la mettre en application en régie ou au travers de collaborations externes.

---

---

### Les objectifs spécifiques sont :

---

- ) De permettre aux gestionnaires de construire leur stratégie globale face à ces épisodes de blanchissement : de la veille du risque de blanchissement à l'évaluation de la résistance et des impacts environnementaux du blanchissement (*page 10-13*) ;
- ) De proposer des méthodes et les descripteurs associés pour le suivi des épisodes de blanchissement (*page 21-35*). Ces méthodes permettent de caractériser l'intensité du blanchissement et de la mortalité associée, de mettre en avant les zones résistantes ou non et de caractériser la sensibilité au blanchissement/mortalité selon les genres coralliens. Ces méthodes permettront également des comparaisons entre les différentes COMs et les suivis régionaux d'autres pays/institutions ;
- ) D'aider les gestionnaires à choisir leur méthode de suivi et le plan d'échantillonnage associé (*pages 49-52*) en fonction des moyens humains, techniques et du temps disponibles.
- ) D'évaluer les moyens financiers nécessaires (*pages 53-54*).



# 2 LA STRATEGIE ET SA MISE EN OEUVRE

## **L'ensemble des étapes d'une stratégie intégrée du suivi environnemental des phénomènes de blanchissement est synthétisé dans la Figure 4**

Ci dessous quelques points clefs sont proposés afin de dresser une stratégie et de réaliser les suivis dans les meilleures conditions.

## 2.1 Etape 1 : la phase préparatoire

### 2.1.1 L'anticipation et la coordination

Pour que le suivi d'un épisode de blanchissement soit réussi et réponde aux attentes des gestionnaires, il est nécessaire que :

- ) Les phénomènes de blanchissement majeurs soient anticipés au maximum ;
- ) Les institutions/personnes impliquées dans le suivi soit clairement identifiées et mobilisables ;
- ) Les méthodes et stations de suivi soient définies à l'avance ;
- ) Les fonds soient facilement accessibles et prévus à l'avance.

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 institution de référence qui coordonnera l'ensemble des actions.

Si pour le suivi au sein d'une AMP le coordinateur sera en général le gestionnaire, il peut en être autrement pour un suivi mené à l'échelle d'une COM. Dans ce cas, le coordinateur de la stratégie devra piloter la stratégie et coordonner les différentes actions des différents acteurs (Tableau 1).

Les financeurs ayant un droit de regard et de contrôle sur la stratégie mise en place, il est essentiel qu'un coordinateur unique puisse simplifier les démarches, notamment dans le cadre de plan de financement multipartites.

### 2.1.2 L'implication des différents acteurs

L'implication des différents acteurs est directement corrélée à l'anticipation du suivi et à la coordination. C'est pourquoi, il est primordial, au moins pour les suivis à l'échelle d'une COM ou d'une région, d'avoir préalablement identifié l'ensemble des acteurs susceptibles d'intervenir et d'avoir défini les rôles de chacun. En parallèle, les moyens techniques et logistiques disponibles devront être recensés, notamment pour les suivis terrain. Le gestionnaire ou le coordinateur pourra alors mettre en œuvre les différentes étapes plus facilement et plus rapidement.

### 2.1.3 La mobilisation des moyens financiers

Afin de pouvoir déployer les suivis rapidement et en toute sérénité, l'idéal serait qu'un fond spécifique dédié au suivi des événements exceptionnels, dont le blanchissement corallien (mais cela est également valable pour les coulées de

boue, les cyclones, les mortalités massives d'organismes, etc), soit disponible chaque année.

Dans le cas contraire, la pré-identification des financeurs potentiels et leur sollicitation devra être anticipée dès le début de l'étape 3.

Tableau 1 : Mission de l'institution référente pour chacune des étapes

Etape	Action	Acteurs à impliquer
Etape 1 : Etape préliminaire	Choix de l'institution référente	Acteurs techniques locaux Gestionnaires
Etape 2 : Phase de surveillance : suivi de la température	<u>Surveillance :</u> Surveillance de la température	Gestionnaires et scientifiques
Etape 3 : Phase de vigilance, relai au niveau national/régional et préparation du suivi	<u>Relai niveau local/national/régional :</u> La personne référente doit relayer la phase de vigilance (Coral Reef Watch, suivi de la température in situ, niveau de précipitation élevé) au niveau local <u>Mise en place du suivi :</u> La personne référente doit réunir les différents partenaires pour décider du type de suivi à mettre en place, s'assurer de la normalisation des suivis et constituer les équipes et rôle de chaque acteur. <u>Aide financière :</u> La personne doit recenser les acteurs pour faire les éventuelles demandes aux niveaux local et national <u>Passage de l'étape 2 à l'étape 3 :</u> Elle doit valider avec l'ensemble des acteurs concernés le passage de l'étape 2 à l'étape 3 en fonction du niveau de blanchissement avéré <i>in situ</i>	Acteurs techniques locaux + gestionnaires Appui technique niveau régional si nécessaire Financeurs locaux, nationaux et régionaux
Etape 4 : Phase de suivi proprement dite	<u>Relai niveau local/national/régional :</u> La personne référente doit valider la phase de suivi en concertation avec les acteurs techniques et gestionnaires locaux <u>Réalisation du suivi :</u> La personne doit veiller à la bonne réalisation des suivis elle pourra également y participer au besoin	Acteurs techniques locaux, nationaux et régionaux
Etape 5 : 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 (appui régional si nécessaire). Elle devra ensuite consolider les résultats aux niveaux national et régional. Elle fournira les formats de rendu normalisés au niveau national et compatible au niveau régional	Acteurs techniques locaux, nationaux et régionaux Financeurs nationaux et régionaux
Etape 6 : Discussion et action des gestionnaires	<u>Mise en place de mesures de gestion :</u> Le rapport et différentes présentations de rendu pourront (si demandé) proposer des mesures de gestion locales pour améliorer la résistance/résilience des récifs à l'épisode de blanchissement. L'institution référente devra coordonner et consolider les différentes propositions	Acteurs techniques locaux, nationaux et régionaux Gestionnaires Décideurs Financeurs nationaux et régionaux

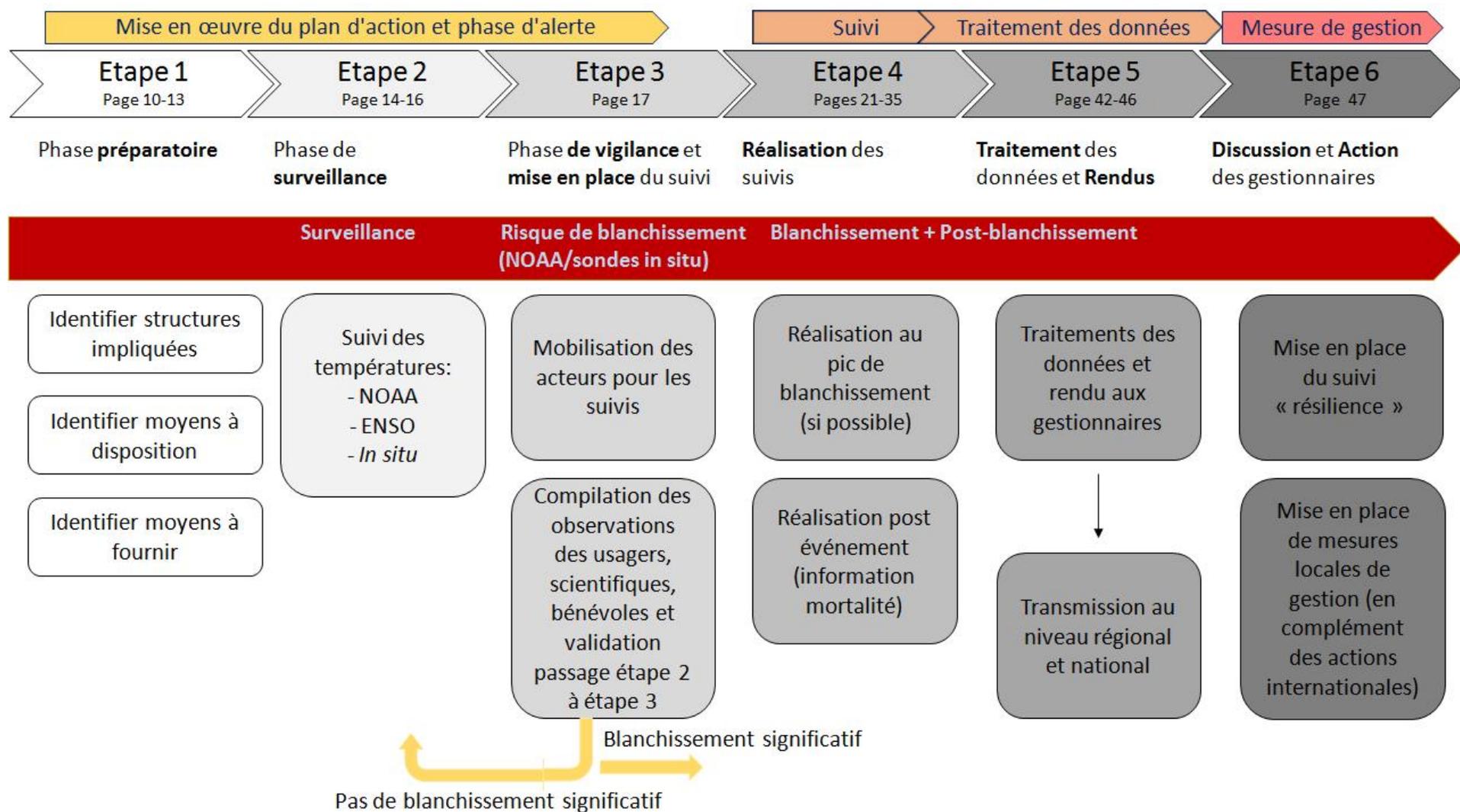


Figure 4 : Enchaînements des étapes de la stratégie et chronogramme



# 3 ETAPES 2-3 : PHASES DE SURVEILLANCE ET DE VIGILANCE

### 3.1 Etape 2 - Phase de surveillance : suivi de la température

**De manière générale, les phénomènes de blanchissement corallien massifs à l'échelle d'une COM sont liés à une anomalie positive de la température des eaux de surface en saison chaude.**

D'autres paramètres influent également sur l'intensité et l'étendue des phénomènes de blanchissement, comme l'ensoleillement, la couverture nuageuse, la pluviométrie.

Le suivi des anomalies de température des eaux de surface peut se faire de deux manières :

- ) Par les mesures satellites (NOAA/NESDIS) ;
- ) Par les mesures *in situ*.

#### Le suivi des températures des eaux de surface via les données satellitaires

Les données fournies par la NOAA/NESDIS sont la plupart du temps pertinentes et suffisantes pour évaluer le risque d'un blanchissement massif. L'ensemble des données et des méthodes utilisées sont disponible sur le site internet « Coral Reef Watch » (<http://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/index.php>). Elles comprennent notamment :

- ) Les anomalies de températures en temps réel ;

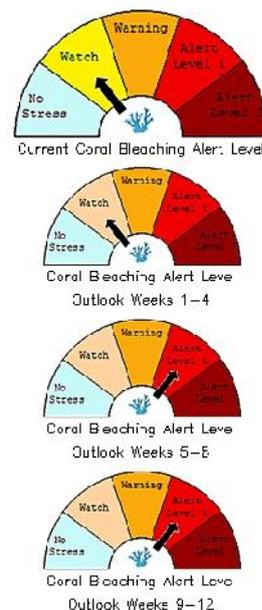
- ) Le Degree Heating Week <sup>1</sup> en temps réel ;
- ) Des stations virtuelles regroupant ces deux informations et également la « jauge » du risque de blanchissement (cf. encadré).

Toutefois, pour certains COM (notamment la Polynésie Française) le DHW n'est pas toujours adapté et nous conseillons donc au gestionnaire de se renseigner sur d'éventuels seuils applicables dans sa région.

#### **La station virtuelle**

La station virtuelle permet rapidement de voir chaque COM le risque de blanchissement et de le prédire pour les 12 semaines à venir. Les données brutes de la station virtuelle sont également disponibles.

*Illustration du risque de blanchissement en temps réel et pour les 12 semaines à venir (date janvier 2016) Nouvelle-Calédonie*



<sup>1</sup> DHW : accumulation de l'anomalie positive de température sur 12 semaines. C'est une métrique largement utilisée pour évaluer le risque de blanchissement corallien

En outre, des bulletins d'information sur l'évolution du phénomène ENSO sont également disponibles via le Climate Prediction Center

([http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_advisory/](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/)).

Enfin pour le Sud-Ouest de l'Océan Indien, CORDIO propose toutes les deux semaines en saison chaude une synthèse du risque et des observations de blanchissement pour la région (<http://cordioea.net/coral-bleaching/io-coral-bleaching-alert/>).

#### Le suivi des températures marines *in situ*

A l'échelle locale il est possible de suivre la température de l'eau de mer en installant des enregistreurs automatiques (sondes de température). Elles permettent d'acquérir à haute fréquence la température à la profondeur où la sonde est installée. Cette profondeur doit être identique sur les différents sites pour permettre des comparaisons. Elles peuvent alors être relevées régulièrement et leurs données téléchargées sur ordinateur. Leur mise en place est simple et leur coût relativement peu élevé (environ 400 euros par sonde avec câble de transfert des données et logiciel). L'installation peut se faire en apnée à des profondeurs peu importantes. Un traitement des données similaire à celui de la NOAA sur les données satellites peut être appliqué. Toutefois, une bonne prévision du risque de blanchissement implique de disposer de séries temporelles conséquentes (env. 10 ans) et de relever les données fréquemment, idéalement toutes les quatre semaines en période de risque (saison chaude), notamment si

« Coral Reef Watch » émet un risque de blanchissement pour la zone concernée.

#### **Données *in situ* ou satellites (NOAA) ?**

Pour l'évaluation du risque de blanchissement (étape 3), les données satellites suffiront la plupart du temps même si les données *in situ* fourniront une meilleure prévision du risque mais surtout de l'intensité du blanchissement (Van Wynsberge et al. 2017).

Pour des analyses croisées *a posteriori* entre la répartition spatiale de l'intensité du blanchissement et les anomalies de température, les données *in situ* seront les plus pertinentes.

### 3.2 Etape 3 – Phase de vigilance, relai au niveau national/régional et préparation du suivi

Lorsque l'anomalie positive de température est supérieure à 1°C (phase "warning" sur le site internet Coral Reef Watch ou analyse des sondes *in situ*), ou que des colonies coralliennes blanchies sont observées à plusieurs endroits par

les usagers et/ou scientifiques, la phase de vigilance est alors enclenchée.

Tous les acteurs concernés doivent alors être avertis par le gestionnaire ou l'institution de référence afin de préparer les suivis terrains. La séquence doit être la suivante :

- ) Information du passage en phase de vigilance aux acteurs impliqués localement ;
- ) Confirmation des fonds disponibles et si nécessaire recherche de fonds supplémentaires ;
- ) Constitution des équipes de suivi, zones de suivi, méthodes de suivi (cf. chapitre 4).

#### **Le passage de l'étape 3 "Vigilance" à l'étape 4 "Réalisation des suivis"**

En phase de vigilance, il convient de rassembler les observations rapportées par le biais des usagers (via un réseau d'observation le cas échéant) et/ou de programmes scientifiques et de les considérer spatialement et temporellement.

#### **Les informations à collecter sont :**

- La date, le lieu, la profondeur et le type d'habitat (récif frangeant/barrière et platier, pente externe, etc.) où est effectuée l'observation ;
- La part de la couverture corallienne affectée par le blanchissement corallien ou la prévalence (% du nombre de colonies affectées) avec si possible les classes suivantes (méthodes 1) : <10% ; 10-50%, >50%. Cette première quantification de l'intensité n'est pas obligatoire mais elle permettra plus facilement de décider d'un passage en phase de suivi.

Des observations complémentaires *in situ* peuvent également être planifiées si les observations rapportées ne concernent qu'un trop faible nombre de secteurs.

**A partir de ces observations *in situ*, il convient de fixer un seuil de déclenchement du suivi opérationnel (tableau ci contre pour exemple).**

Intensité du blanchissement (% couverture corallienne ou prévalence) et localisation	Réalisation de l'étape 4 : Suivi du blanchissement
<10%	Scénario 1
Entre 10% et 50% sur quelques secteurs	Scénario 2 ou 3 avec possibilité de mettre en place scénario 4 sur les secteurs touchés
Entre 10% et 50% sur de nombreux secteurs	Scénario 4 ou 5
>50% sur de nombreux secteurs	Scénario 4 ou 5 (ou 6 pour NC et PF)



# 4 ETAPE 4 : LES METHODES DE SUIVI

## 4.1 Des COMs présentant une grande variété de récifs

### 4.1.1 Des récifs aux caractéristiques différents:

La superficie des récifs coralliens au sens strict (c'est à dire bio-construits<sup>2</sup>) varie de 7,9 km<sup>2</sup> pour Saint-Martin à 4 573 km<sup>2</sup> pour la Nouvelle Calédonie (Andréfouët, 2008, Figure 5). Cette gamme très large ne sera pas sans incidence sur les plans d'échantillonnage qui devront être mis en place dans les COMs et sur les précautions d'usage à avoir vis-à-vis de ceux-ci.

La distance des récifs à la côte est également très variable en fonction des COMs. Ainsi, si à La Réunion l'ensemble des récifs sont accolés à la côte (récifs frangeants) et à proximité immédiate des ports, il en est différemment pour la Nouvelle Calédonie, les îles Eparses, la Polynésie française ou Clipperton, où certains récifs sont éloignés de plusieurs centaines de kilomètres de la première infrastructure portuaire (même légère).

Par ailleurs, si pour certaines COMs, la plupart des récifs sont peu profonds (Réunion, Saint-Martin ou Saint Barthélémy par exemple) il en est d'autres avec des récifs plus profond (> 20m), rendant leur échantillonnage plus difficile

(Mayotte, Nouvelle Calédonie, Polynésie Française).

Enfin, outre les récifs coralliens *stricto sensu*, il existe pour l'ensemble des collectivités des Antilles Françaises et pour la Réunion des substrats rocheux colonisés par des colonies coralliennes. Ces milieux peuvent présenter un caractère remarquable avec une couverture corallienne élevée et une forte richesse spécifique. Il conviendrait alors de les intégrer au suivi.

### 4.1.2 Un plan d'échantillonnage à adapter à chaque collectivité mais des descripteurs communs

Ces fortes diversités de récifs coralliens contraignent les plans d'échantillonnage. Ainsi, s'il sera plus facilement possible d'échantillonner l'ensemble des récifs coralliens de La Réunion ou de Saint-Martin, que les récifs de Mayotte ou Wallis et Futuna et à fortiori ceux de Nouvelle-Calédonie et de Polynésie française. D'autre part, le suivi des milieux rocheux colonisés par les coraux peut alors singulièrement augmenter le nombre de stations nécessaires. Toutefois, au vu des caractéristiques des récifs (structure et forme des peuplements coralliens), **l'important est d'harmoniser les descripteurs collectés (et métriques associées) lors d'un épisode de blanchissement corallien dans l'ensemble des COMs. Les méthodes peuvent être différentes en fonction des budgets, du niveau d'expertise et des caractéristiques des récifs (superficie, éloignement, etc) (cf. § 4.4).**

---

<sup>2</sup> Structures sous marines construites par les coraux : récif barrière, frangeant, massif corallien, ...

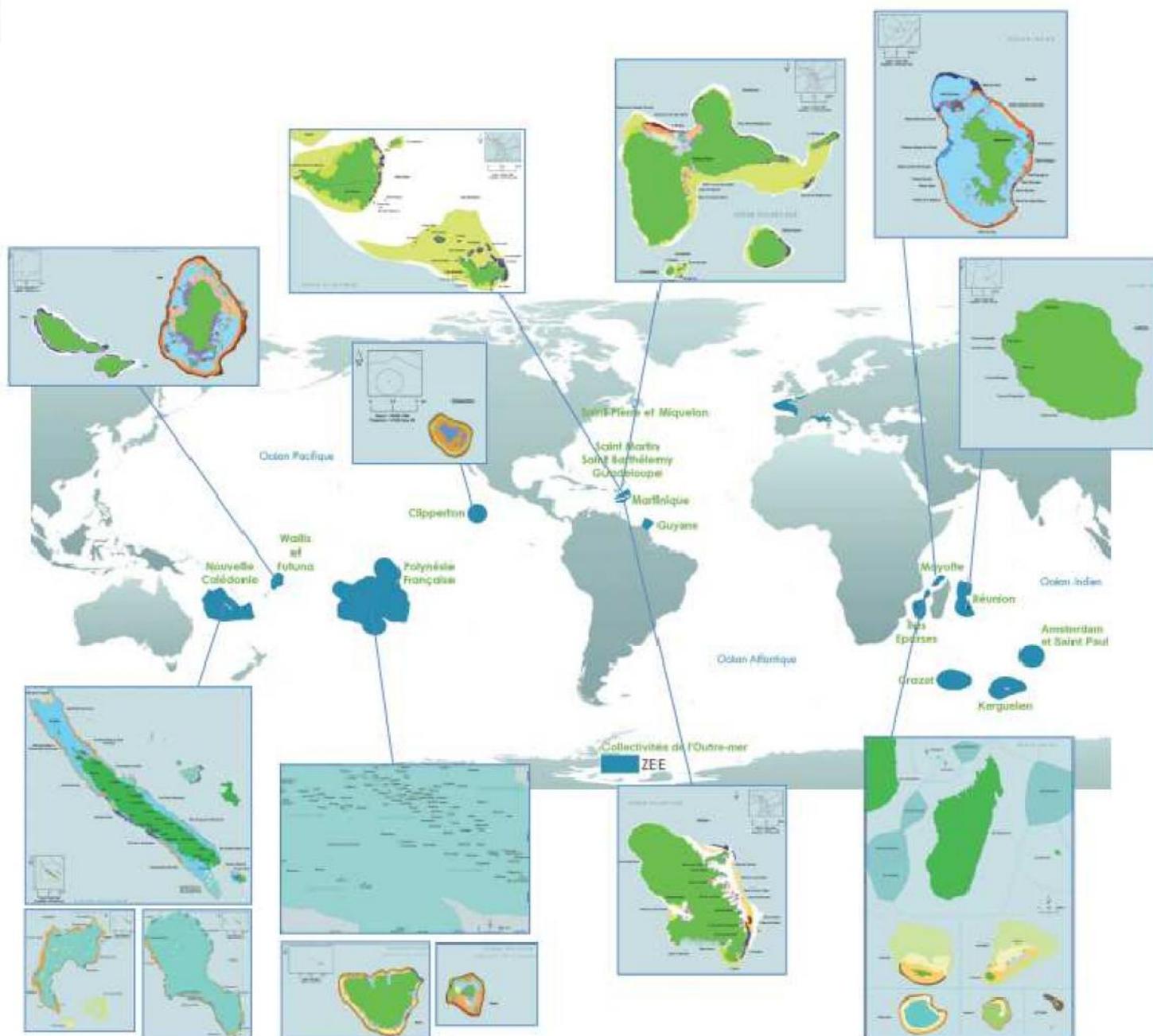


Figure 5 : Vue d'ensemble des récifs coralliens français

## 4.2 Le plan d'échantillonnage spatio-temporel

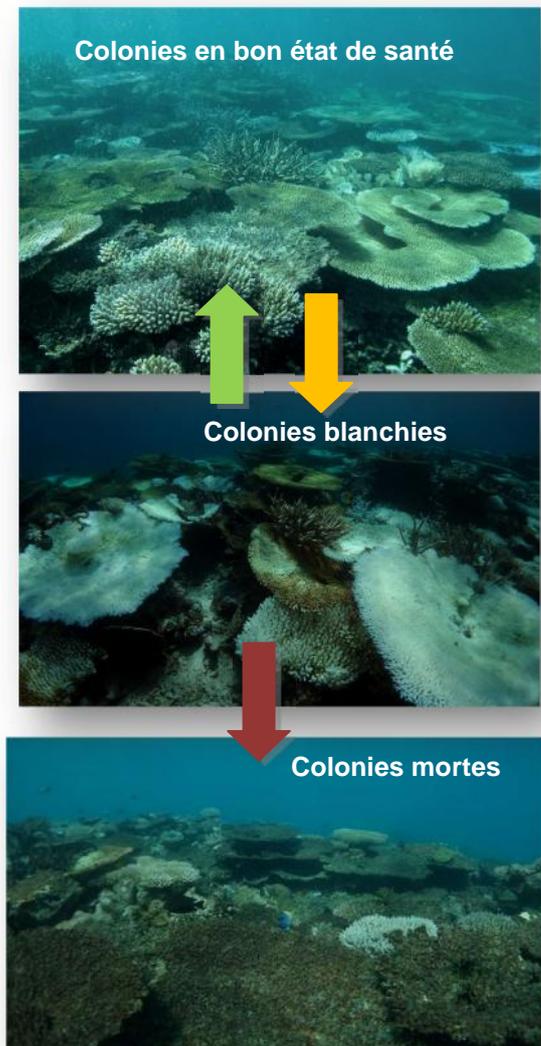
### 4.2.1 Dimension temporelle :

De manière optimale les stations devront être échantillonnées deux fois :

- ) lors du pic de blanchissement ;
- ) environ un mois après la fin de l'épisode de blanchissement pour quantifier la mortalité.

La mesure du blanchissement et de la mortalité permet de quantifier le pourcentage de colonies (ou de couverture corallienne) ayant blanchi et étant *in fine* soit mortes soit toujours vivantes (Figure 6).

**Toutefois si le budget est limité et qu'une seule campagne de terrain est possible, le suivi de la mortalité doit être privilégié.** En effet, cette donnée permet aux gestionnaires de connaître l'impact du blanchissement sur les récifs coralliens et de préciser les zones ayant résisté ou pas.



*Figure 6 : Trajectoire possible à court terme des peuplements coralliens en cas de blanchissements massifs*

#### 4.2.2 Dimension spatiale :

Trois niveaux d'échantillonnage spatial peuvent être envisagés :

- )] **Des observations opportunistes** par le biais d'autres programmes scientifiques ou d'observations d'usagers, ces dernières pouvant être transmises grâce aux réseaux participatifs mis en place dans certaines COMs ;
- )] **Le suivi des stations historiques** (suivi GCRMN, suivi DCE, suivi AMP, ...) qui existent sur l'ensemble des COMs ;
- )] **Le suivi sur les stations historiques et sur des stations complémentaires** pour augmenter la représentativité spatiale.

En fonction des COMs, il est opportun d'échantillonner les différents types de récifs (typiquement les récifs frangeants, les récifs barrières et massifs coralliens de lagon).

Nous recommandons de favoriser **en priorité l'étude des pentes externes à -10m de profondeur**<sup>3</sup>. Néanmoins en fonction des moyens logistiques et techniques, budgets, expertises, d'autres géomorphologies (platier, pente interne, massifs coralliens de lagon) ou profondeurs pourront être envisagées et venir compléter l'information recueillie sur les sites privilégiés.

---

<sup>3</sup> Et pour les frangeants de lagon le platier externe ou bordure du tombant

#### 4.2.3 Bien positionner les stations :

Le bon positionnement des stations dans la zone d'étude est un élément primordial pour la réussite du suivi. Quelques règles générales sont à prendre en compte :

- )] Les stations doivent être positionnées dans un site représentatif de l'habitat que l'on souhaite échantillonner ;
- )] Les stations doivent être homogènes. La profondeur, doit être constante et l'habitat identique ;
- )] Privilégier le suivi de stations déjà existantes. Cela permettra d'avoir un recul non négligeable sur l'historique du récif suivi et ainsi avoir une meilleure représentation de son évolution.

En fonction des objectifs du gestionnaire, le plan d'échantillonnage pourra être agencé différemment, en mettant l'accent sur :

- )] Les habitats rares, menacés, aux services écosystémiques importants ou stratégiques, à forte biodiversité ;
- )] Les habitats identifiés comme sensibles ou résistants lors des précédents épisodes de blanchissement ;
- )] Les habitats soumis à de fortes pressions locales ou au contraire sans pression ce qui permettra de mettre en évidence d'éventuelles réponses différentes face à l'épisode de blanchissement ;
- )] Les zones protégées *versus* les zones sans réglementation

particulière ce qui permettra là aussi de mettre en évidence d'éventuelles réponses différentes face à l'épisode de blanchissement.

Afin de positionner au mieux les stations, quelques outils peuvent être utilisés :

- ) Positionnement des stations à l'aide d'un globe virtuel type Google Earth ;
- ) Carte de la bathymétrie ;
- ) Carte des habitats (malheureusement rarement disponible) et, à plus large échelle, les cartes de géomorphologie du Millenium (Andréfouët et *al.*, 2006) disponibles pour l'ensemble des COMs.

Remarque : Dans le cas où l'on réalise un suivi du blanchissement, la stratégie d'échantillonnage du suivi de la mortalité pourra être affinée, et l'accent mis sur les stations où le blanchissement a été le plus important, sans toutefois délaissé complètement les zones où le blanchissement a été faible. En revanche, les stations où aucun blanchissement n'a été observé ne seront pas échantillonnées lors du second suivi.



#### 4.2.4 La possibilité de travailler en apnée

Pour les échantillonnages des récifs peu profonds (maximum 10 m) il est possible de réaliser les estimations visuelles et les photos-quadrats en apnée (Figure 10). Cela permet d'augmenter considérablement le nombre de stations effectuées par jour (entre 5 et 10). Toutefois, cette technique nécessite une bonne maîtrise de l'apnée et une équipe entraînée pour réaliser un échantillonnage en toute sécurité.



Figure 7 : Photographie (paysage et quadrat) (© J. Wickel)

## 4.3 Quelques points clefs pour la mise en application des méthodes

### Les métadonnées associées aux stations

Pour chaque station échantillonnée, des métadonnées obligatoires ou facultatives doivent être annotées (Tableau 2).

Tableau 2: Métadonnées associées aux stations d'échantillonnage

Métadonnées	Caractère obligatoire	Modalités
Nom de la station	Obligatoire	Nom
Date	Obligatoire	JJ/MM/AAAA
Heure	Facultatif	hh:mm
Longitude/Latitude	Obligatoire	Degré décimal WGS84
Personnes relevant des données	Obligatoire	Nom + organisme
Méthode utilisée	Obligatoire	Méthode 1, 2 ou 3
Profondeur	Obligatoire	en m
Habitat (platier/pente externe)	Obligatoire	Niveau 1 : Récif frangeant, interne (massif coralliens), barrière Niveau 2 : pente interne, platier ou pente externe
Rugosité/Architecture	Facultatif	Echelle 1 à 5 (cf. guide IFRECOR cartographie des habitats)
Description de l'habitat	Facultatif	Niveau typologique détaillé (cf. guide IFRECOR cartographie des habitats)
Méthode de sélection du point	Facultatif	Aléatoire, GCRMN, AMP, site de plongée...
Turbidité	Facultatif	Faible, moyenne, forte ou quantifié (NTU/FNU)
Température	Facultatif	en °C
Courant	Facultatif	Faible, moyen, fort
Statut (protection ou non)	Facultatif	Niveau de protection
Niveau de pression locale	Facultatif	1/ Précision de la pression : apports bassin versant, pêche, tourisme, ... 2/ Intensité : Faible, moyenne, élevée

### Les prises de photographies

Nous conseillons de prendre des photographies obliques de paysages et des photographies verticales (quadrat ou pseudo-quadrat) pour l'ensemble des méthodes afin de garder une trace des observations permettant de revenir sur les données si nécessaires.

Il est alors recommandé de disposer d'un appareil photographique de résolution suffisante (5 ou 10 méga pixels minimum, les appareils photographiques compacts actuels ayant une définition comprise entre 15 et 20 Mpx) avec un flash déporté, nécessaire quand il s'agit d'identifier les coraux au genre et ne pas avoir de doute sur l'état de santé de la colonie.

### Compatibilité des méthodes avec les suivis régionaux

Les méthodes utilisées sont compatibles avec les principaux suivis régionaux du blanchissement (Tableau 3).

Tableau 3: Compatibilité des méthodes proposées avec les suivi régionaux (descripteurs et unités)

Méthode proposée dans le présent guide	Compatibilité avec les suivis régionaux (paramètres mesurés)	Références bibliographiques
Méthode 1 (suivi participatif)	1/ Suivi Grande Barrière Australienne 2/ Suivi CORDIO/COI méthode 1	<b>Suivi Grande Barrière Australienne</b> : Hughes, T. P., Kerry, J. T., & Simpson, T. (2018). Large-scale bleaching of corals on the Great Barrier Reef. <i>Ecology</i> , 99(2), 501-501. <b>Suivi CORDIO/COI</b> : 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.
Méthode 2 (estimation visuelle)	1/ Suivi Grande Barrière Australienne 2/ Suivi CORDIO/COI (méthode 2 et 3) 3/ Suivi WCS	<b>Suivi WCS</b> : McClanahan TR, Ateweberhan M, Graham NAJ, Wilson SK, Ruiz Sebastián C, Guillaume MMM, Bruggemann JH (2007a) Western Indian Ocean coral communities: bleaching responses and susceptibility to extinction. <i>Mar Ecol Prog Ser</i> 337: 1–13
Méthode 3 (quantitatif)	1/ Suivi Grande Barrière Australienne 2/ Suivi CORDIO/COI (méthode 2 et 3) 3/ Suivi WCS	McClanahan TR, Ateweberhan M, Muhando CA, Maina J, Mohammed MS (2007b) Effects of climate and seawater temperature variation on coral bleaching and mortality. <i>Ecological Monographs</i> 77: 503–525.

La difficulté de classification de la mortalité

Si l'observation des colonies blanchies est relativement aisée, l'identification des colonies récemment mortes est plus complexe. En effet, l'évaluation de la chronologie de la mortalité dépend de l'habitat et de la dynamique de

colonisation par d'autres organismes du substrat corallien récemment mort. Les colonies coralliennes récemment mortes sont plus ou moins recouvertes de turf algal selon l'ancienneté de leur mort (Figure 8). L'estimation de la mortalité peut s'avérer délicate et nécessiter un entraînement pour distinguer les différentes catégories de classification.

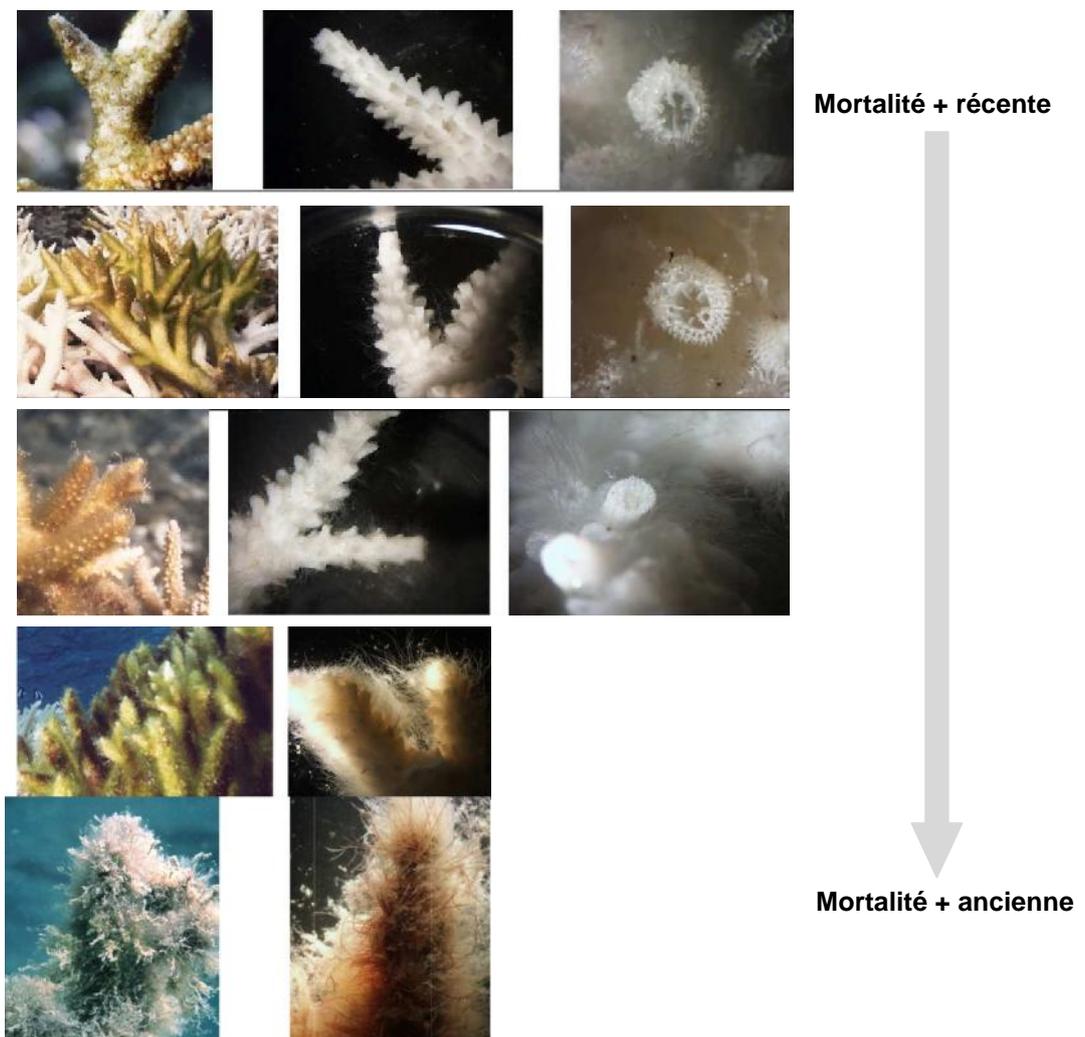


Figure 8 : Illustration de la colonisation par les algues (turf) des colonies coralliennes récemment mortes après un épisode de blanchissement (d'après Turquet et al, 2001)

La couverture corallienne blanchie et morte ou la prévalence de blanchissement et mortalité : quelle différence ?

Deux descripteurs permettent de mesurer l'intensité d'un épisode de blanchissement et de la mortalité associée : le % de couverture corallienne affectée et le % du nombre de colonies affectées par rapport au nombre de colonies totales (appelé prévalence).

La Figure 9 illustre les différences entre couverture corallienne et prévalence.

Afin d'évaluer la perte nette en habitat, il est préférable d'utiliser la donnée de couverture corallienne. En effet, une

prévalence de mortalité de 50% ne permet pas, à elle seule de quantifier la perte de couverture corallienne et d'en déduire le taux d'habitat détruit. Or, ce paramètre est essentiel au gestionnaire, la destruction de l'habitat ayant des conséquences significatives sur les peuplements récifaux. En revanche, la prévalence par genre est la donnée la plus pertinente pour quantifier les genres de coraux les plus affectés par le blanchissement. L'analyse par genre permet, après croisement avec la perte de couverture corallienne, d'évaluer plus en détail la perte d'habitabilité au travers notamment de la rugosité/architecture déduite des genres coralliens.

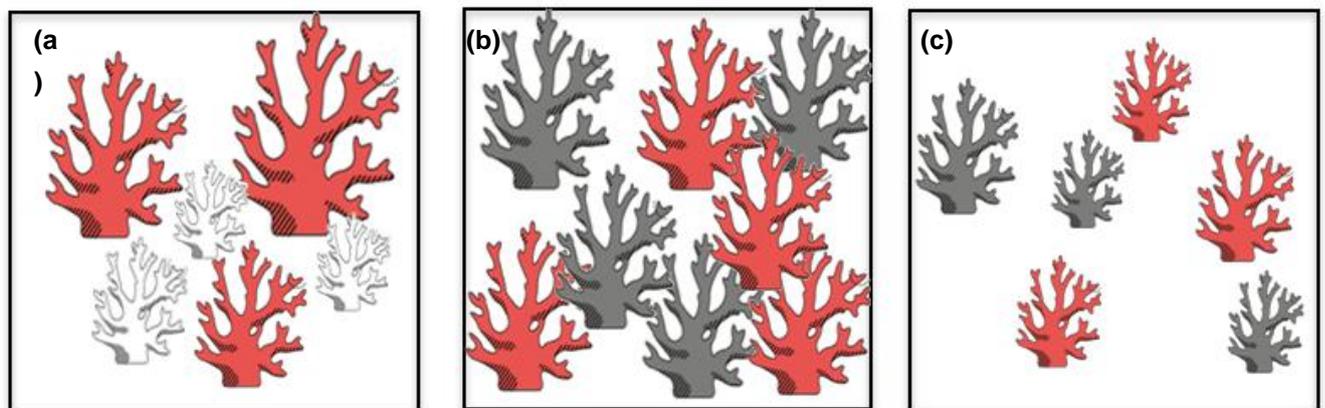


Figure 9 : Illustration de la différence entre prévalence et couverture du substrat : (a) prévalence de blanchissement de 50% et part de la couverture corallienne blanchie de 25% environ. (b) et (c) 50% de prévalence de colonies mortes et 50 % de la couverture corallienne morte mais perte absolue de la couverture corallienne plus importante dans le cas b (35%) que dans le cas c (20%).

Rouge : coraux vivants ; blanc : coraux blanchis ; gris : coraux morts

## 4.4 Les méthodes

Au-delà des méthodes, l'important est de normaliser les descripteurs collectés et les métriques associés lors d'un épisode de blanchissement corallien dans l'ensemble des COMs. Les méthodes peuvent alors être différentes en fonction de l'intensité du blanchissement, des budgets, des expertises et des types de récifs.

Trois méthodes sont proposées, correspondant à trois niveaux d'expertise et fonction du temps nécessaire à leur mise en œuvre. Pour chacune des méthodes, des variantes et options sont possibles afin que le gestionnaire puisse ajuster les protocoles en fonction de ces objectifs.

Les méthodes proposées ont été construites à partir :

- ) Des trois programmes français de suivi du blanchissement massif de 2016 ("Becoming" - Nicet et *al.*, 2016 ; "Blanco" - Benzoni et *al.*, 2018 ; et "Suivi Polynésien" - Chancerelle, 2016) ;
- ) Du suivi du blanchissement de 2005 dans les Caraïbes (Eakin et *al.*, 2006) ;
- ) Des programmes régionaux CORDIO, WCS et suivi de la Grande Barrière de Corail en Australie ;
- ) D'un questionnaire envoyé aux gestionnaires des COMs (annexe 1).

Les trois méthodes proposées sont :

- ) **Méthode 1 « Collectes opportunistes »** : Elle consiste à réaliser une compilation des observations opportunistes récoltées au travers des réseaux de suivi participatifs et des programmes scientifiques. Il est proposé dans le cadre d'un épisode de blanchissement de normaliser les observations pour pouvoir plus facilement les comparer ;
- ) **Méthode 2 « Estimation visuelle »** : C'est une méthode rapide pour évaluer le blanchissement par estimation visuelle, permettant de réaliser un grand nombre de stations et d'avoir une bonne représentativité spatiale du phénomène ;
- ) **Méthode 3 « Photo-quadrats »** : C'est une méthode quantitative permettant une analyse détaillée de l'intensité du blanchissement pour le peuplement total et en fonction des genres coralliens.

**Ainsi, la donnée de base à collecter correspond au taux de couverture corallienne affectée (blanchissement et mortalité), tandis que la prévalence permettra d'évaluer plus précisément l'impact sur les genres coralliens.**

#### 4.4.1 Méthode 1 "Collecte opportuniste" (cf. tableau page suivante)

Un suivi participatif déjà structuré et actif dans les COMs sera un atout précieux pour disposer d'observations sur le blanchissement et la mortalité (Figure 10).

**D'autre part, nous préconisons de normaliser la méthode d'observation pour disposer de données comparables en utilisant des classes de pourcentages de blanchissement ou de mortalité le cas échéant.** Si l'application de cette méthode s'avère trop lourde pour les usagers ou source de biais trop important dû à l'inexpérience des usagers dans ce type de collecte, les données collectées permettront tout de même de fournir des informations sur l'étendue spatiale du blanchissement même si cela s'avérera en revanche plus compliqué pour estimer l'intensité du blanchissement.

Un biais important réside dans le fait que les usagers rapporteront

préférentiellement les observations de blanchissement par rapport à des observations de non blanchissement, ce qui conduira à surestimer le phénomène. Pour limiter ce biais, il faudra préciser aux usagers qu'une observation de non blanchissement est tout aussi utile (en période de blanchissement avéré).

Enfin, il conviendra d'avertir de la démarche les institutions scientifiques, associations et bureaux d'études environnementaux susceptibles de rapporter des observations.

**Toutefois, s'il n'existe pas de suivi participatif, des réunions d'informations avec les usagers, scientifiques et gestionnaires pourront être organisées afin de mobiliser l'ensemble des acteurs. Un site internet pourra être créé pour que les acteurs y consignent leurs observations.**



Figure 10 : Exemple de site internet où les observations de blanchissement peuvent être déposées par les usagers et scientifiques (réseau Tsiôno de Mayotte à gauche et site IRD en Nouvelle Calédonie à droite)

Tableau 4: Méthode 1 : Evaluation générale du blanchissement corallien & mortalité : Suivi participatif et observations opportunistes

Composante	Niveau Basique
<b>Plan d'échantillonnage</b>	) Pas de plan d'échantillonnage établi, fonction de la localisation des observations des usagers, gestionnaires, scientifiques ...
<b>Echelle spatiale</b>	) Vue d'une large zone de récif, s'étendant entre 10 et 50 m de long et 10-20 m de large
<b>Descripteurs Coraux</b>	) % couverture corallienne (corail dur) ) % couverture corallienne blanchie/morte
<b>Descripteurs blanchissement &amp; mortalité</b>	) Classification des colonies : normales, blanchies, mortes (mortalité récente seulement) ) Intensité pour chacune des catégories ci-dessus : faible (<10%), moyen (10-50%), élevée (50-100%) ) S'il est trop compliqué de mettre en place les classes de blanchissement et de mortalité ci-dessus, l'observation présence/absence de blanchissement peut être utilisée
<b>Méthode – in situ</b>	) Estimation visuelle de la couverture corallienne ) Estimation visuelle du pourcentage de couverture corallienne blanchie et morte.
<b>Méthode - photographique</b>	) Si possible prendre 2 ou 3 vues sous-marines générales de la zone étudiée. Ces photos permettront aux scientifiques de revenir sur les estimations réalisées <i>in situ</i> en cas de doutes. ) En complément et si possible prendre 10 images verticales (ou plus) 1m au-dessus du substrat, séparées chacune de 2-3m environ.
<b>Temps nécessaire</b>	) Sur le terrain : 5 minutes par station ) Bancarisation des données : 5 minutes par station (bancaisation et classement des photos sur ordinateur)
<b>Nombre de personnes nécessaires</b>	) 1 personne ) 2 personnes si observations faites en plongée sous-marine
<b>Matériel nécessaire</b>	) PMT ou scaphandre autonome si profondeur importante et prise de photographies ) Appareil photo (le cas échéant)
<b>Les avantages</b>	) Accessible pour les utilisateurs peu habitués à l'identification du corail, ceux qui ont peu de temps ou pour qui cette méthode de suivi est nouvelle. ) Rapide, cette méthode peut être appliquée sur de nombreux sites d'échantillonnage en peu de temps. ) Elle peut être intégrée à un réseau de suivi participatif
<b>Les inconvénients</b>	) Biais lié à l'estimation visuelle concernant la couverture corallienne et le pourcentage de coraux impactés. Ceci est particulièrement vrai pour les personnes étant peu familiarisées avec ce type de suivi. ) Pas d'identification taxonomique. ) Dans le cadre d'un suivi participatif, les usagers auront tendance à répertorier les zones blanchies/mortes et non les zones peu ou pas impactées. ) L'échantillonnage sera concentré sur les zones fréquentées par les usagers ou sur les stations des différents programmes scientifiques.
<b>Personnes impliquées</b>	) Les personnes qui sont déjà sur le terrain : les plongeurs en scaphandre autonome (dont les moniteurs de plongées), les opérateurs de plongée PMT, les agents d'Aires Marines Protégées ou autre personnel faisant des patrouilles de routine - Les bénévoles avec une expérience limitée. Enfin, les scientifiques faisant des suivis durant la période de blanchissement/mortalité pour d'autres programmes.
<b>Qu'obtient-on ?</b>	) Des données de base sur l'étendue globale du blanchissement et la proportion grossière de la couverture corallienne blanchie ou morte.

4.4.1 Méthode 2 "Estimation visuelle semi quantitative" (cf. tableau page suivante)

**Cette méthode**, qui nécessite une importante expérience de terrain pour estimer correctement les pourcentages de coraux blanchis et morts au niveau des genres dominants, **permet de disposer de nombreuses données et d'avoir ainsi une bonne représentation spatiale**. Les descripteurs et unités sont les mêmes que ceux quantifiés dans la méthode 3 (% de la couverture corallienne affectée et prévalence). Toutefois, il convient de garder à l'esprit que **cette méthode est basée sur une estimation visuelle et donc soumise à un biais pouvant être important**.



*Prise de vue verticale en apnée*



*Estimation visuelle du blanchissement*

Tableau 5: Méthode 2 – Estimation visuelle du blanchissement et de la mortalité totale (couverture corallienne) et par genre dominant (prévalence)

Composante	Niveau Intermédiaire
<b>Plan d'échantillonnage</b>	) Stations historiques ou
	) Stations historiques + stations complémentaires
<b>Echelle spatiale</b>	) Environ 100-200m <sup>2</sup> par station. Choisir pour l'estimation visuelle des zones homogènes et représentatives de l'habitat environnant
<b>Descripteurs coraux</b>	) Couverture corallienne (corail dur)
	) Couverture corallienne impactée par le blanchissement/mortalité
	) Prévalence peuplement corallien total impacté
	) Prévalence genres dominants sur peuplement total
	) Prévalence genres dominants impactés
	) Ne prendre en compte que les colonies supérieures à 10 cm de diamètre.
	) Pour l'Indo-Pacifique : différencier les formes pour le genre <i>Acropora</i> . Il peut être également distingué les Porites massifs des Porites submassifs et les <i>Galaxea astreata</i> des <i>G. fascicularis</i> .
<b>Descripteurs blanchissement &amp; mortalité</b>	) Classification des colonies : normales, blanchies (dont pâles), mortes (mortalité récente seulement).
	) Intensité pour chacune des catégories ci-dessus : aucun (<1%), très faible = (1-10%), faible (11-30%), moyenne (31-50%), élevée (51-75%), extrême= (>75%).
<b>Méthode – in situ</b>	) Estimation visuelle de la couverture corallienne (sur une surface de 100-200m <sup>2</sup> )
	) Pour les genres dominants : estimation visuelle de la prévalence des genres dominants (en % du nombre de colonies)
	) Estimation visuelle du pourcentage de couverture corallienne blanchie et morte
	) Estimation visuelle du % du nombre de colonies (prévalence) blanchies et mortes pour l'ensemble du peuplement et pour les genres dominants
<b>Méthode - photographique</b>	) Prendre 4 ou 5 vues sous-marines générales de la zone étudiée,
	) Si possible, prendre 10 à 20 images à la verticale de quadrat d'1m <sup>2</sup> (on peut utiliser soit un quadrat soit un tube PVC d'1m posé sur un des côté du quadrats) et à intervalle de 2 mètres ou plus pour possible traitement ultérieur.
<b>Temps nécessaire</b>	) Sur le terrain : 15/20 minutes par station
	) Bancarisation : environ 10 minutes par station
<b>Nombre de personne nécessaire</b>	) 1 personne si PMT et profondeur faible
	) 2 personne si scaphandre autonome ou apnée
<b>Matériel nécessaire</b>	) PMT, apnée ou scaphandre autonome (selon profondeur)
	) Appareil photo et si nécessaire quadrat ou tube PVC d'1m
<b>Les avantages</b>	) Méthode rapide qui permet de couvrir de grandes superficies de récifs.
	) Peut être entrepris plus facilement tout en faisant d'autres travaux
	) Possibilité de traiter les photos <i>a posteriori</i> et de migrer vers la méthode 3
<b>Les inconvénients</b>	) Biais lié à la sélection de points d'échantillonnages
	) Biais lié à l'estimation visuelle et à la complexité des peuplements coralliens présents

	)	Possibilité de surestimation du blanchissement (les colonies blanches se démarquant largement par rapport aux colonies en bonne santé ou mortes)
	)	Les catégories normale/blanchie/morte ne prennent pas en considération les interactions complexes entre les classes, notamment entre blanchissement partiel et partiellement mort.
	)	Ne concerne que les genres dominants
<b>Option</b>	)	Ajout possible sur la complexité rugosité/structurale permettant par la suite de quantifier la déstructuration/destruction d'habitat
	)	Les photographies pourront être analysées pour obtenir des résultats quantitatifs (cf. méthode 3).
	)	Cette méthode peut être réalisée en apnée sur les récifs dont la profondeur est inférieure à -10 m (profondeur plus faible si prise de photo-quadrats)
	)	Possibilité de rajouter d'autres taxons sensibles au blanchissement (coraux mous, anémones, etc.).
<b>Personnes impliquées</b>	)	Scientifiques, agents des AMP ayant un entraînement minimum sur la reconnaissance des genres coralliens dominants et l'évaluation de la couverture corallienne et de la prévalence.
<b>Qu'obtient-on ?</b>	)	Des données sur l'étendue globale du blanchissement et la proportion de la couverture corallienne blanchie ou morte.
	)	Des données sur la prévalence du blanchissement/mortalité par genre dominants

#### 4.4.2 Méthode 3 : données quantitatives (photo-quadrat)

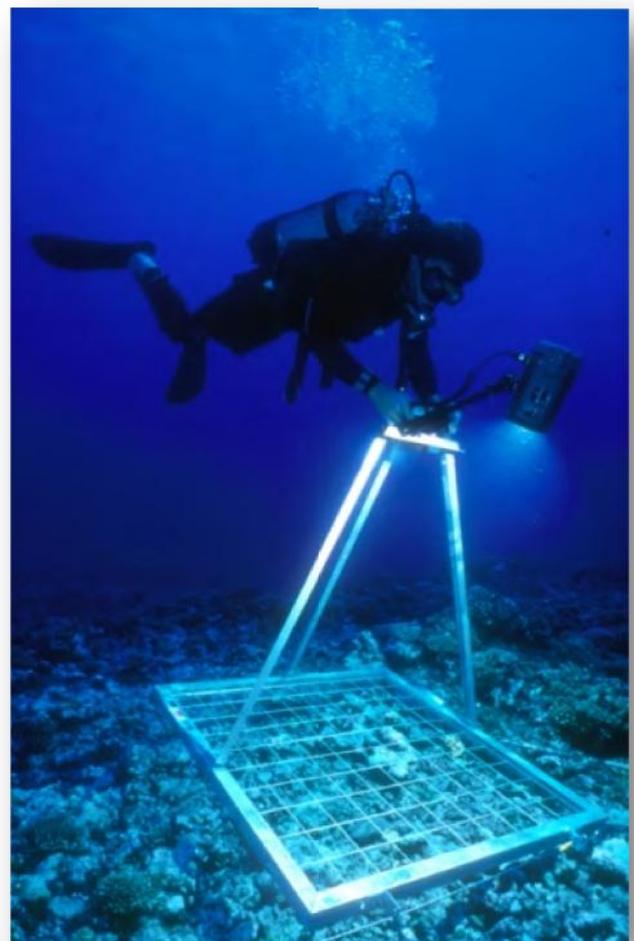
**Cette méthode est basée sur des données quantitatives.** L'analyse des photo-quadrats *a posteriori* permet :

- ) De quantifier la couverture corallienne impactée (blanchissement/mortalité) via des logiciels comme CPCe © ;
- ) De mesurer la prévalence de blanchissement/mortalité par genre corallien, la taille des colonies.

Toutefois, le temps nécessaire au traitement des photos est long et variable selon la couverture corallienne de la station (environ une journée pour 60 photo-quadrats de 1m<sup>2</sup>). **Cet aspect du traitement des données doit être anticipé lors du choix des méthodologies d'évaluation.**



*Exemple de photo quadrat pouvant ensuite être traité sous logiciel type CPCe (© CRIOBE)*



*Prise de photo quadrat en plongée sous-marine (© Chancerelle)*

Tableau 6: Méthode 3 –Quantification (quadrat ou belt transect) du blanchissement & de la mortalité total (couverture corallienne) et pour l'ensemble des genres (prévalence)

Composante	Niveau élevé
<b>Emplacement de l'échantillonnage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>) Stations historiques</li> <li>ou</li> <li>) Stations historiques + stations complémentaires</li> </ul>
<b>Echelle spatiale/nombre de répliqués</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>) Une vingtaine de quadrats aléatoires d'1m<sup>2</sup>. matérialisés par un cadre en PVC d'1m de côté ou une tige PVC d'1m. Pour les nouvelles stations les positionner sur des zones homogènes et représentatives de l'habitat environnant</li> <li>ou</li> <li>) 3 transects couloirs (par exemple 20m de long par 1m de large)</li> </ul> <p><b>Pour plus de rapidité sur le terrain nous conseillons de faire des quadrats</b></p>
<b>Coraux</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>) Couverture corallienne (corail dur)</li> <li>) Couverture corallienne impactée par le blanchissement/mortalité</li> <li>) Prévalence peuplement corallien total impacté</li> <li>) Prévalence genres dominants par rapport au peuplement total</li> <li>) Prévalence genres dominants impactés</li> <li>) Ne prendre en compte que les colonies supérieures à 10 cm de diamètre.</li> <li>) Pour l'Indo-Pacifique : différencier les formes pour le genre <i>Acropora</i>. Il peut être également distingué les Porites massifs des Porites submassifs et les <i>Galaxea astreata</i> des <i>G. fascicularis</i>.</li> </ul>
<b>Descripteurs blanchissement &amp; mortalité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>) Classification des colonies : normales, partiellement pâles (moins de 50% de la colonie), pâles, partiellement blanchies (moins de 50% de la colonie), blanchies, partiellement mortes (moins de 50% de la colonie), mortes (mortalité récente seulement). Dans le cas où une colonie peut être classée dans deux catégories (par exemple blanche et partiellement morte, choisir le stade de dégradation le plus avancé (dans l'exemple choisir "partiellement morte")</li> <li>) Intensité : quantitative (en %) pour chacune des classes ci-dessus</li> </ul>
<b>Méthode – in situ</b>	<p>Prévalence blanchissement/mortalité par genre :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>) Quadrat : enregistrez toutes les colonies de coraux de plus de 10 cm de diamètre dont au moins une partie se trouve dans le quadrat d'1m<sup>2</sup>.</li> <li>) Transect couloir : enregistrez toutes les colonies de coraux de plus de 10 cm de diamètre dont le centre se trouve dans le transect couloir.</li> <li>) Notez leur genre et leur catégorie de blanchissement.</li> </ul> <p>Ce travail peut être réalisé soit au laboratoire à partir des photos soit directement sur le terrain.</p> <p>Couverture corallienne, part de la couverture blanchis/mortes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>) Prendre des points aléatoires sur la photo-quadrat (exemple : 20 points). Notez la catégorie corail dur (permet de calculer la couverture corallienne) et la catégorie de blanchissement (permet de calculer la couverture corallienne impactée).</li> </ul>
<b>Méthode - photographique (ou vidéo)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>) Prendre 4 ou 5 vues sous-marines générales de la zone étudiée,</li> <li>) Dans le cas de transect couloir : prendre des images à la verticale du transect couloir. Assurez-vous que les images se chevauchent suffisamment pour montrer la continuité du transect.</li> <li>) Dans le cas de quadrat : prendre une photo de chaque quadrat.</li> </ul>
<b>Temps nécessaire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>) Sur le terrain : 15-20 minutes par station pour prise de photo-quadrats ou 60-90 min pour belt transect</li> <li>) Bancarisation : 3-4 heures pour photo quadrats et 1-1,5 heures pour belt transect</li> </ul>

<b>Nombre de personne nécessaire</b>	) 1 personne si PMT et profondeur faible ) 2 personnes si apnée ou scaphandre autonome
<b>Matériel nécessaire</b>	) PMT, apnée ou scaphandre autonome (selon profondeur) ) Appareil photo ) Quadrat ou transect
<b>Avantages</b>	) Méthode quantitative ) Méthode la plus impartiale pour empêcher une surestimation des colonies de grande taille et des coraux blanchis ) Cette méthode permet de prendre en compte les nuances entre coraux totalement et partiellement affectés.
<b>Inconvénients</b>	) Chronophage ) Problème de représentativité spatiale du fait du faible nombre de stations ) L'échantillonnage est limité à de plus petites zones de récifs car les relevés sont plus détaillés, de sorte que le risque de partialité provient de la sélection des petites zones choisies ) Méthode susceptible d'être trop détaillée pour être facilement appliquée. Plus applicable aux programmes de recherche
<b>Option</b>	) Echantillonnage plus fréquent (un suivi par mois par exemple) ) Augmenter le nombre de belt transect ou de quadrat par station pour une meilleure robustesse statistique ) Prise en compte des maladies coralliennes ) Analyse au niveau spécifique ) Possibilité de rajouter d'autres taxons sensibles au blanchissement (coraux mous, anémones, etc.). ) Prise en compte de la rugosité/complexité architecturale (photogrammétrie, chaîne avec différentes tailles de maillon). ) Prise en compte de la taille des colonies : classes de taille (UICN) de 11-20 cm; 21-40; 41-80; 81-160; 161-320; et> 320 cm. ) Suivi de certaines colonies individualisées
<b>Personnes impliquées</b>	) Les instituts de recherche et/ou les organismes de gestion avec un personnel fixe, dédié, ayant la capacité et le temps d'analyser les informations détaillées.
<b>Qu'obtient-on ?</b>	) Des données quantitatives sur l'étendue globale du blanchissement et la proportion de la couverture corallienne blanchie ou morte. ) Des données quantitatives sur la prévalence du blanchissement/mortalité pour l'ensemble du peuplement corallien et pour tous les genres

## 4.5 Suivi complémentaire : la cartographie du blanchissement

### Localisation ou cartographie ?

Deux approches sont proposées en fonction des objectifs du gestionnaire et du territoire :

- ) Localiser les récifs où le blanchissement a eu lieu : ce travail ne nécessite pas d'avoir une image géoréférencée acquise lors de la phase de blanchissement. Il est possible d'utiliser des images satellites ou aériennes historiques

géoréférencées (raster dans des SIG ou globe virtuel type Google Earth) pour localiser les zones où le blanchissement est le plus important ;

- ) Cartographier le blanchissement (détourer les zones blanchies en créant des polygones grâce à un logiciel de SIG ou par traitement d'image): cette approche surfacique nécessite de disposer d'une ou plusieurs images géoréférencées acquises durant la phase de blanchissement souvent par le biais de la programmation d'acquisition d'image(s) auprès d'un opérateur (ex : Airbus, ESA, Géosud,...)

### Images aériennes (avions ou drones) et images satellites

Tableau 7 : *Avantage et inconvénients de chaque vecteur d'image*

	Avantages	Inconvénients	Synthèse
Drône	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Economique</li> <li>- Résolution spatiale très élevée</li> <li>- Disponibilité</li> <li>- Géoréférencement possible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Convient uniquement pour petite superficie (&lt;10 km<sup>2</sup>) et récifs proches</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Convient pour petite superficie, résolution spatiale très élevée =&gt; cartographie surfacique sur petite zone</li> </ul>
Avion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disponibilité</li> <li>- Résolution spatiale très élevée</li> <li>- Géoréférencement difficile en local (installation sur vecteur)</li> <li>- Nécessite compétence locale pour disposer d'une image géoréférencée et orthorectifiée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ne convient pas pour superficie importante et récif éloigné (Clipperton, Nouvelle Calédonie, Polynésie Française et Iles Eparses)</li> <li>- Peut s'avérer coûteux pour les et grandes superficie</li> <li>- Convient pour la localisation mais pas pour la cartographie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Convient pour superficie faible à moyenne, résolution spatiale très élevée =&gt; Idéal pour localisation</li> </ul>
Satellite	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disponibilité</li> <li>- Couvre de très grandes superficies et les récifs éloignés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessite compétence locale pour analyse image</li> <li>- Nécessite acquisition d'une image durant l'épisode de blanchissement et donc une certaine anticipation</li> <li>- Nécessite une image de résolution spatial 1-4m</li> <li>- Peut s'avérer coûteux pour les grandes superficies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Convient pour superficie faible à élevée, résolution élevée =&gt; convient pour cartographie surfacique mais nécessite compétence en traitement d'image et fonctionne pour un blanchissement et une couverture corallienne assez importants</li> </ul>

### Les limites de la cartographie du blanchissement :

La faisabilité des cartes de blanchissement dépend de la combinaison de quatre principaux facteurs :

- )] La couverture corallienne ;
- )] La proportion de colonies coralliennes touchées ;
- )] L'atténuation du signal par la colonne d'eau (profondeur) ;
- )] La résolution spatiale de l'image (taille du pixel) en mode multi-bande (couleur) ;
- )] Des paramètres environnementaux au moment de la prise de vue (turbidité, reflet du soleil, déferlement, etc.).

Pour que le blanchissement soit plus facilement détecté il faut que la couverture corallienne soit importante, la profondeur faible et le blanchissement conséquent.

Si le blanchissement est trop épars et cantonné à des colonies isolées, la résolution des images même à très haute résolution spatiale (type Pléiade) ne permettra une détection significative du blanchissement.

Pour augmenter les chances de détecter et cartographier le blanchissement, il convient d'utiliser des satellites à résolution métriques : Ikonos, GeoEye, Quickbird, WorldView 2 et 3, et Pléiades. Selon la superficie des récifs, l'acquisition des images peut alors s'avérer coûteuse.

Enfin, plusieurs méthodes de traitement des images sont possibles. L'identification de secteurs de blanchissement peut être optimisée en comparant avec des images antérieures, après corrections radiométriques.

Une carte de blanchissement contribue à spatialiser le phénomène de blanchissement. Cependant la mesure de l'intensité et des caractéristiques de l'événement impose des mesures *in situ*.

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 une couverture absolue touchée.

**En conclusion, même si la cartographie du blanchissement est possible en optimisant chacun des paramètres (taille du pixel, comparaison avec des images antérieures) elle est dépendante de la couverture corallienne et de l'intensité du blanchissement. Cette cartographie contribue à la mesure du phénomène que si elle peut être confrontée à une cartographie du recouvrement corallien. Si non c'est une cartographie illustrative.**

### La (très) difficile localisation ou cartographie de la mortalité corallienne par l'imagerie aérienne ou satellites :

La détection des zones coralliennes récemment mortes s'avère à l'heure actuelle très difficile du fait de la proximité spectrale avec les algues et de l'hétérogénéité de l'habitat. Ainsi une vérité terrain est obligatoire, surtout pour les zones hétérogènes, ce qui alourdi alors le travail de cartographie de la mortalité notamment si les superficies sont importantes. **A l'heure actuelle, la cartographie de la mortalité corallienne suite à un blanchissement corallien est difficile et ne doit être envisagée que dans un cadre d'activité de recherche.**



Figure 11 : Photographies des zones de blanchissement en 2016 en Nouvelle-Calédonie (en bas) et image Google Earth permettant de localiser ces prises de vues aériennes (en haut) (Benzoni et al., 2017)



Figure 12 : Cartographie chronologique du blanchissement corallien en 2016 (avec notion d'intensité) à La Réunion à partir d'une analyse multi date d'images Pléiades (Nicet et al., 2016)

## 4.6 Suivi complémentaire : la caractérisation de la résilience

Le suivi de la résilience est un suivi indispensable suite à un épisode de blanchissement (Figure 13). Il permet en effet de répondre à deux questions que se posent fréquemment les gestionnaires :

- )] Quel est, à moyen terme, le taux de résilience des peuplements benthiques ?
- )] Quel est, à moyen terme, l'impact de l'épisode de blanchissement sur les peuplements associés aux coraux durs (poissons, échinodermes, etc.) ?

Les suivis adaptés pour répondre à ces questions ne sont pas abordés dans ce guide. En effet, l'évaluation de la résilience ou de l'impact sur les peuplements non benthiques sessiles nécessite un temps de latence de deux ans au moins après le phénomène de blanchissement massif.

**Toutefois, il est important de rappeler l'importance du suivi de la résilience pour les raisons suivantes :**

- )] Caractérisation de l'impact du blanchissement massif sur les peuplements de poissons (perte d'habitat). Les peuplements de poissons sont en outre un élément clef pour augmenter la résilience des récifs suite à un

blanchissement (fonction d'herbivorie dans la régulation des turfs et algues dressées) ;

- )] Quantification de la dégradation puis de la restauration de l'habitabilité (rugosité, genre et tailles des colonies coralliennes), qui constitue bon indicateur de la biodiversité des récifs ;
- )] Identification des zones résilientes pour aider les gestionnaires à la mise en place d'un réseau d'AMP destiné à limiter les impacts des phénomènes de blanchissement ;
- )] Evaluation *in fine* de la vulnérabilité des récifs d'un territoire donné face au changement climatique.

Le suivi de la résilience sera d'autant plus pertinent que :

- )] L'évaluation de l'impact du blanchissement sera aboutie ;
- )] Des données antérieures au blanchissement seront disponibles sur les mêmes descripteurs que ceux suivis lors de la résilience.

Trois guides parmi ceux existants encadrent ces évaluations (Figure 14) : deux guides UICN relatifs à la résilience (i) des peuplements benthiques (Obura et al., 2009) et (ii) des peuplements ichtyologiques (Green et al., 2009) et le guide des Nations Unies (Maynard et al., 2017). Ces différents guides aident les gestionnaires à mettre en place leur suivi de résilience et à traiter les données en fonction de leurs.

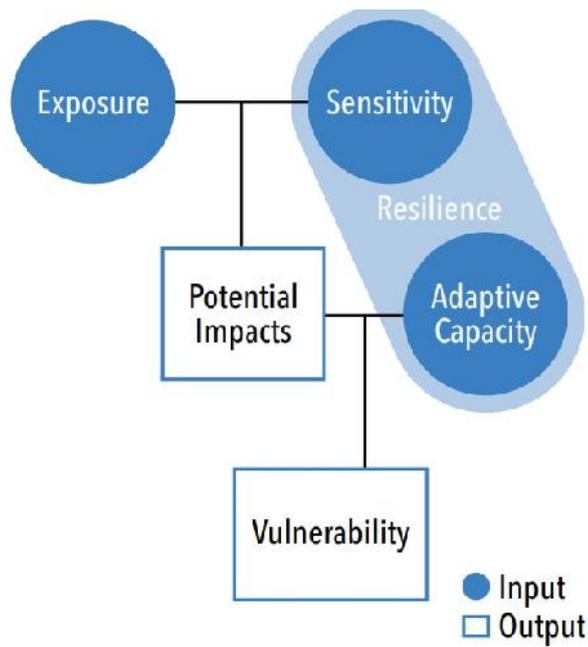


Figure 13 : Méthode pour l'évaluation de la vulnérabilité (IPCC, Turner et al., 2003)



Figure 14 : Exemple de guides pour le suivi de la résilience des récifs coralliens



# 5 ETAPES 5 ET 6 : TRAITEMENT DES DONNEES ET MESURES DE GESTION

## 5.1 Etape 5 : Analyse des données et rendus des résultats

### 5.1.1 L'analyse des données

L'analyse des données doit permettre aux gestionnaires, quelle que soit l'échelle considérée (locale, nationale ou régionale), de répondre à leurs objectifs et aux questions posées initialement (exemple de rendu : Figure 15 à Figure 18).

L'intensité et l'impact de l'épisode seront évalués en comparaison des événements de blanchissement antérieurs et des secteurs géographiques. Ces deux critères seront à corrélés avec l'intensité des pressions globales (températures, précipitations, ensoleillement, ...). D'autres liens pourront être mis en évidence (pressions anthropiques locales, habitats, profondeurs, etc.) selon le plan d'échantillonnage élaboré.

L'historique des zones résistantes ou sensibles au blanchissement permettra de mettre en avant les zones à enjeux. Dans ce contexte la cartographie du blanchissement pourra alors montrer tout son intérêt.

Enfin, pour contribuer à la quantification de l'impact, l'analyse des genres coralliens principalement touchés apportera un éclairage sur la déstructuration du peuplement et sa capacité ou non de résilience.

### 5.1.2 Le format de rendu

**Les données devront être bancarisées dans un logiciel permettant un archivage rigoureux et une bonne transmission des données (nous conseillons l'outil BD récifs, utilisé actuellement pour stocker les données du GCRMN sur plusieurs COMs).** En effet, la bancarisation dans une application dédiée permettra d'assurer la pérennisation des données qui, sinon, se retrouvent altérées au fil des transferts de poste à poste et des modifications par les utilisateurs (exemple : fichier Excel ©).

Les photographies (notamment les photo-quadrats) seront ordonnées et codifiées par date, station et n° de réplicat pour faciliter leurs bancarisations et utilisations.

**Les métadonnées seront adjointes aux données pour des exploitations ultérieures.**

Pour les cartes elles seront fournies avec un habillage cartographique et une sémiologie graphique adaptée. Les couches d'information géographique (SIG), support à cette cartographie, constituées d'un modèle graphique, d'une table attributaire renseignée, et des métadonnées seront transmises avec les cartes.

**Il est enfin essentiel de prévoir des restitutions selon des formats de rendus adaptés au public cible :** décideurs, gestionnaires, scientifiques, usagers ou autres groupes cibles concernés.

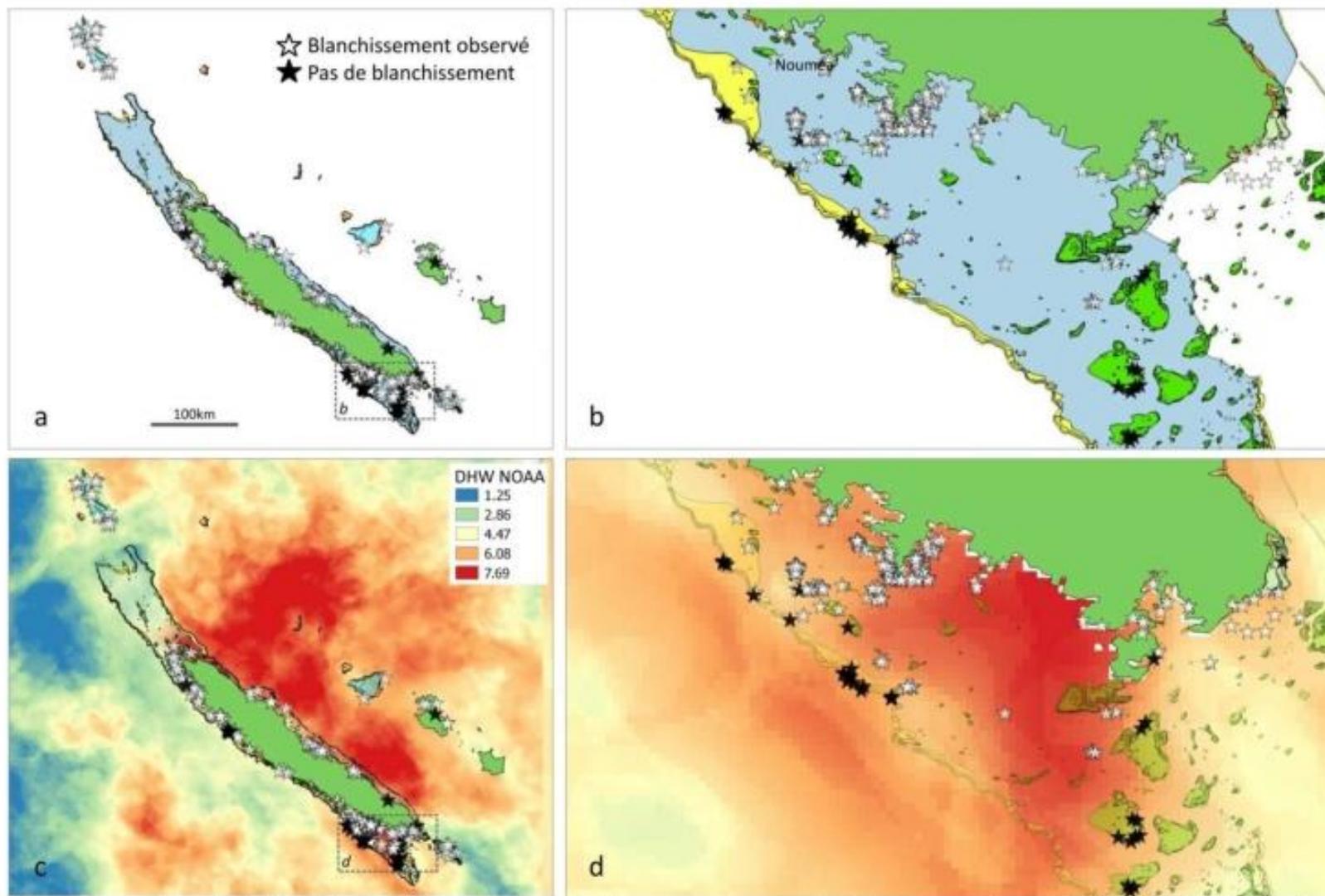


Figure 15 : Exemple de rendu possible avec méthode "données participatives" (Nouvelle-Calédonie, Benzoni et al., 2017) : étoile noire : pas de blanchissement ; étoile blanche : blanchissement observé

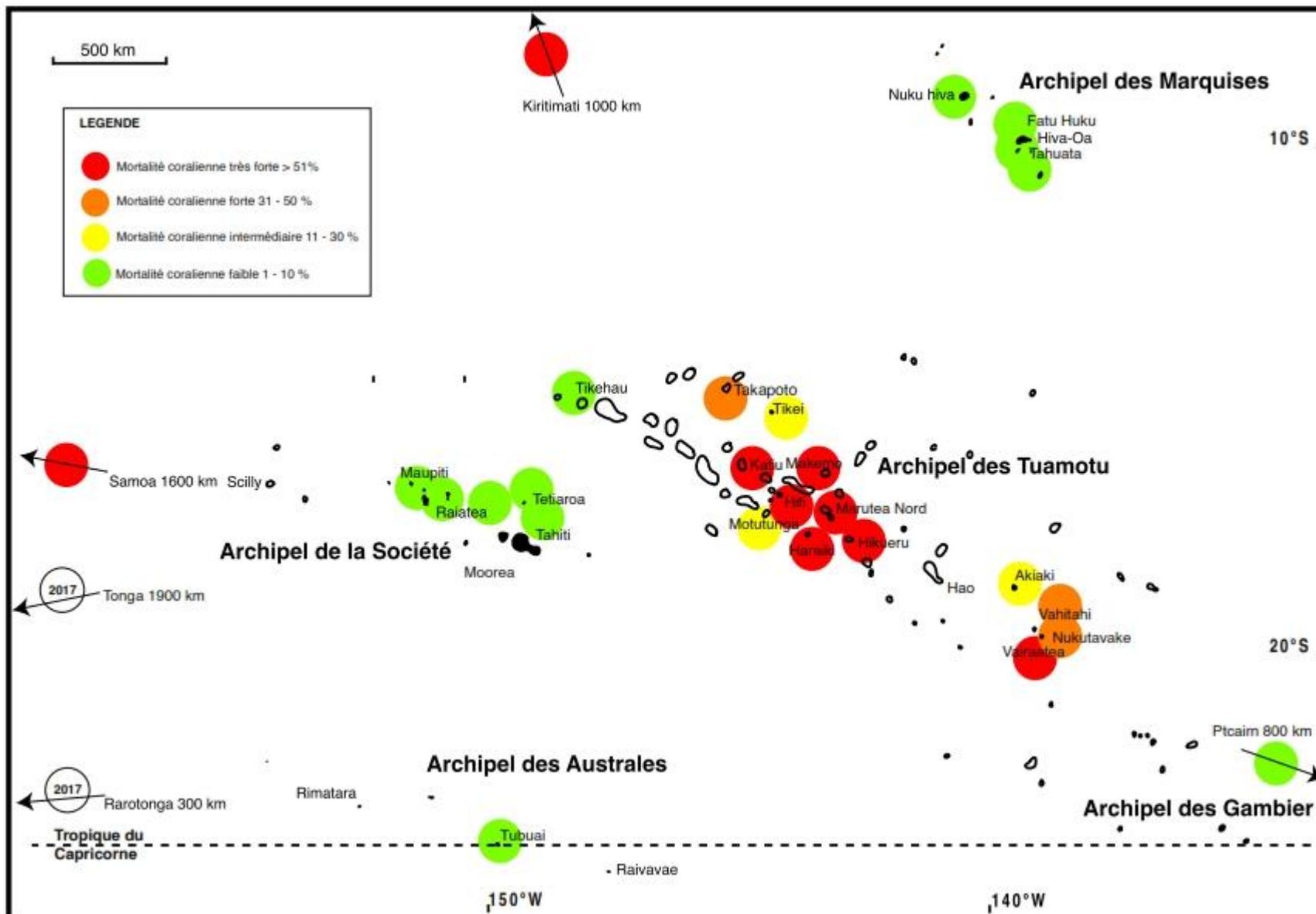


Figure 16 : Exemple de rendu possible selon méthode 1 en agglomérant différents types d'observations : "participatives" et "suivi scientifiques parallèles" (méthode 1)(Polynésie française, Chancerelle 2017)

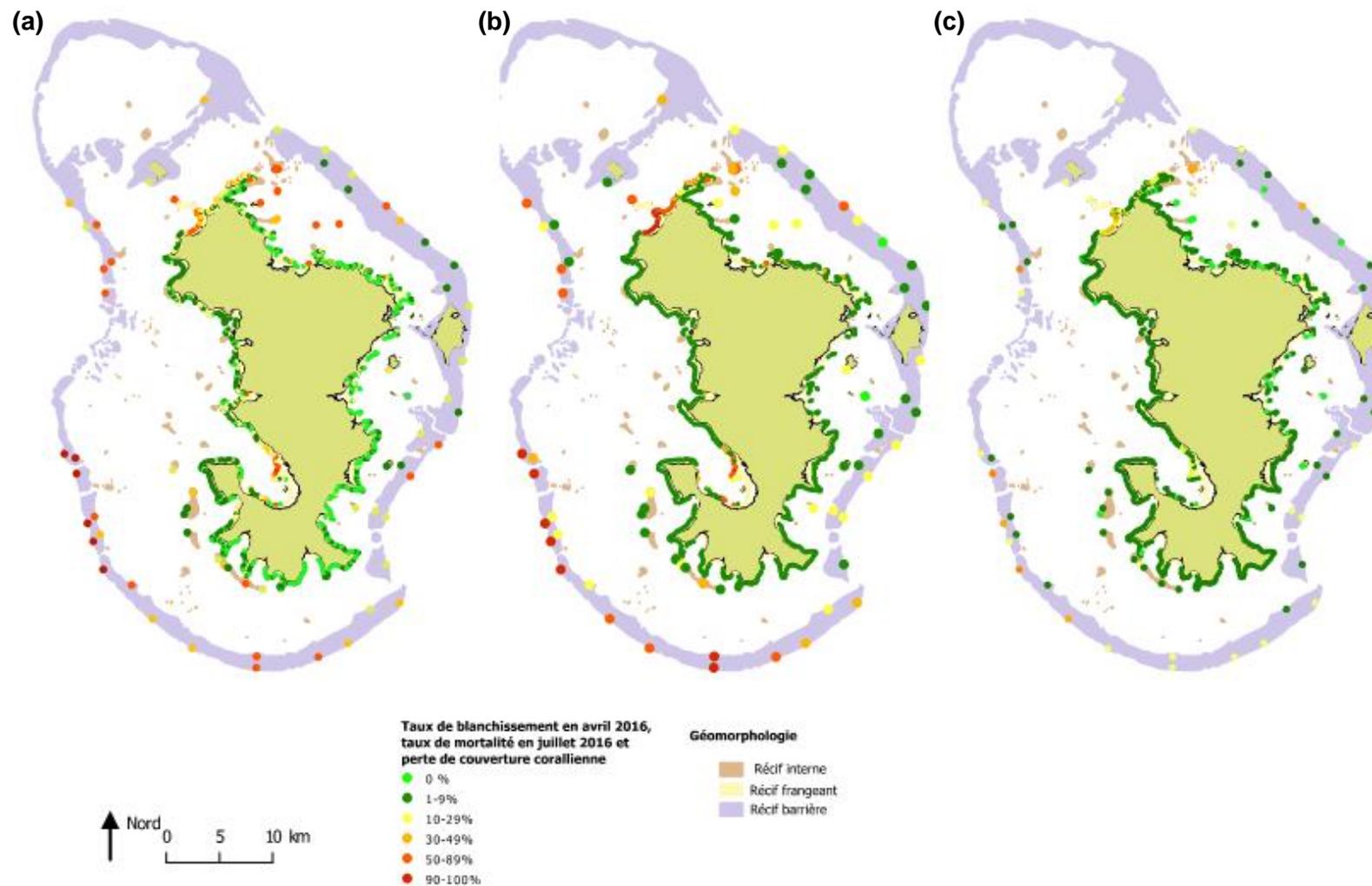


Figure 17 : Exemple de rendu possible avec méthode 2 "Estimation visuelle semi quantitative" (Mayotte, Nicet et al., 2017) : Taux de blanchissement en avril 2016 (a), taux de mortalité en juillet 2016 (b) et perte absolue de couverture corallienne en juillet 2016 (c)

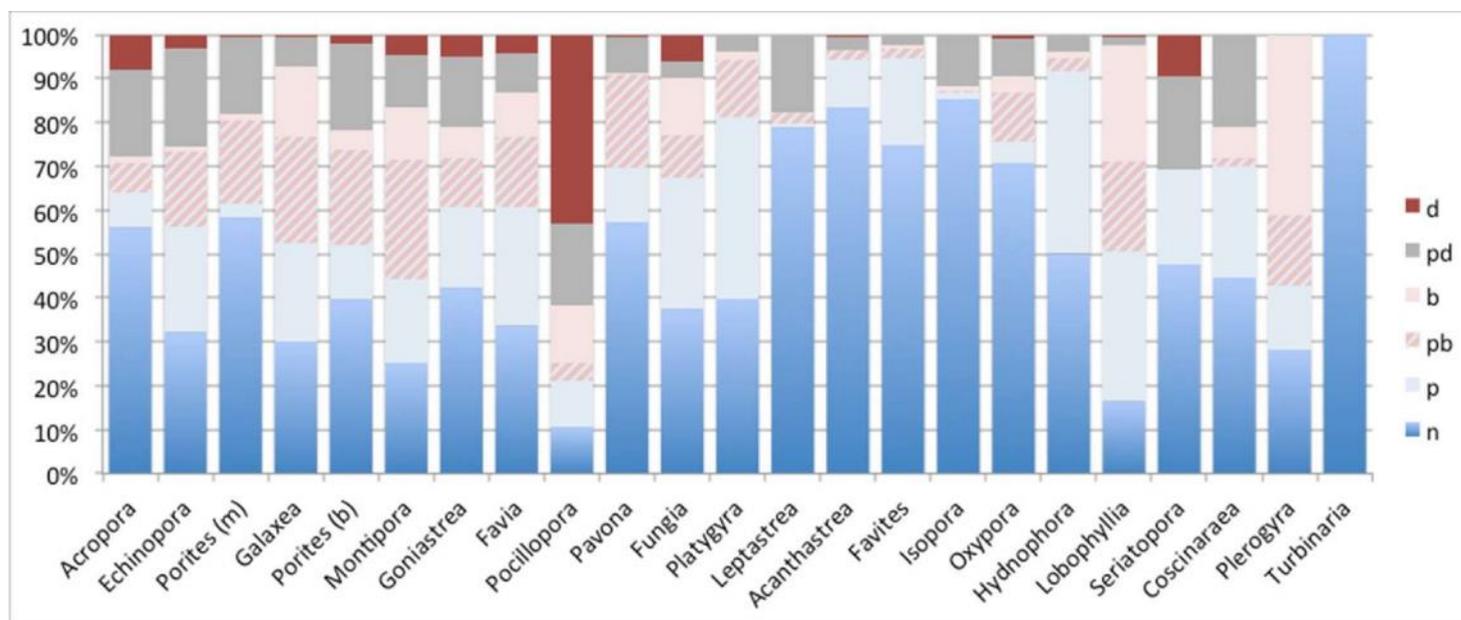
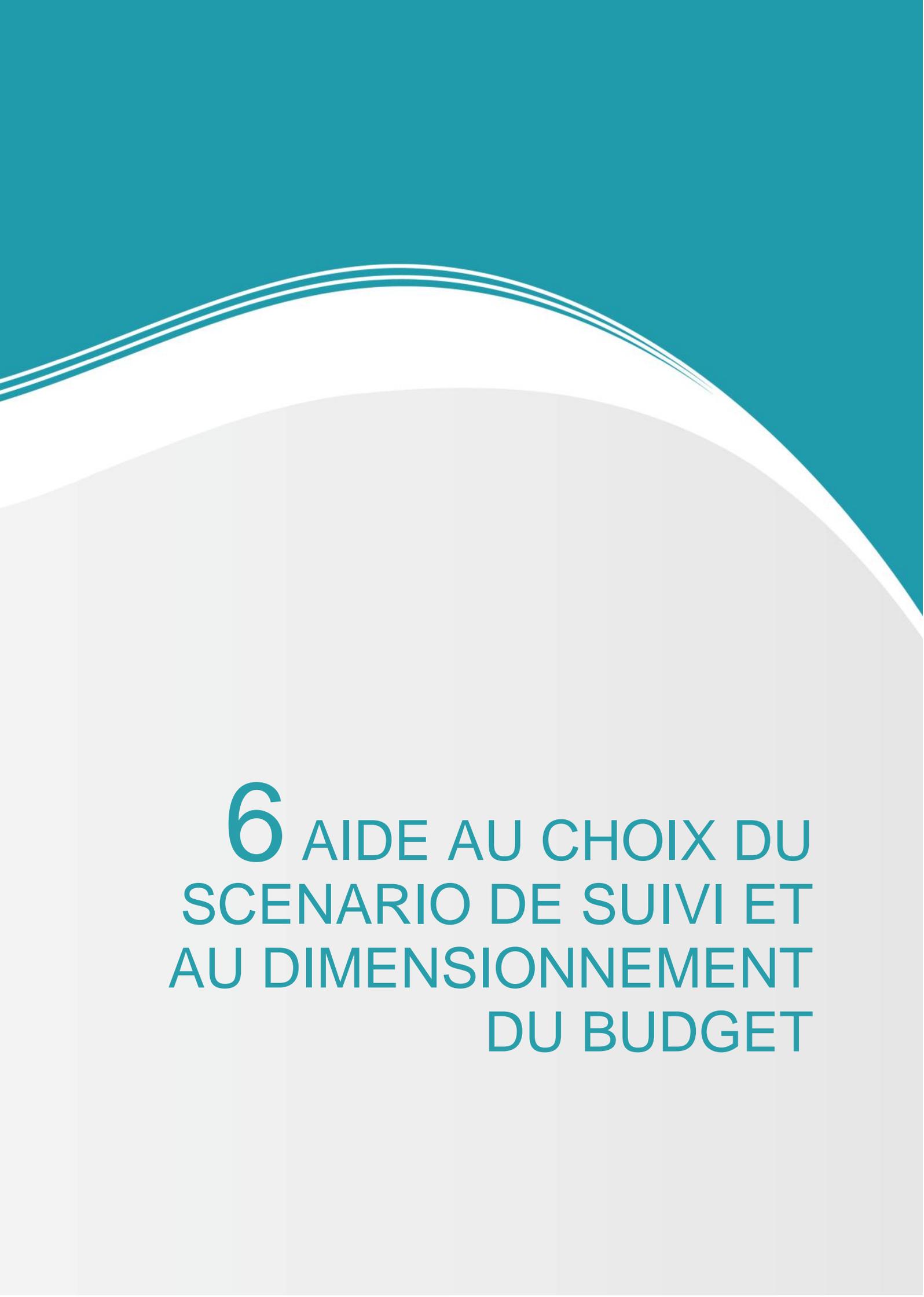


Figure 18 : Exemple de rendu possible avec méthode 3 (Mayotte, Chabanet et al., 2017, programme SIREME) : prévalence de colonies blanchies/mortes en mai 2017 par genre (d = morte ; pd = partiellement morte ; b = blanchie ; pb = partiellement blanchie ; p = pale ; n = normale)

## 5.2 Etape 6 : Discussion et actions des gestionnaires

Cette dernière étape n'est pas l'objet de ce guide et ne sera donc pas traitée. Cependant les propositions de suivi de ce guide permettent aux gestionnaires d'avoir les données pertinentes pour prendre les décisions et mesures de gestion adéquates. Ces mesures concernent aussi bien l'amélioration de la résistance que de la résilience des récifs. Elles peuvent se traduire par des mesures ponctuelles (exemple : interdiction temporaire de pêche d'espèces herbivores cibles) ou des mesures pérennes (exemple : mise en AMP de récifs coralliens résistants au blanchissement).



# 6 AIDE AU CHOIX DU SCENARIO DE SUIVI ET AU DIMENSIONNEMENT DU BUDGET

## 6.1 Aide au choix de la méthode et du plan d'échantillonnage : la construction de scénario de suivi

**Pour recueillir l'information commune de quantification du blanchissement corallien et de la mortalité associée, il est proposé 5 *scenarii* qui pourront servir de trame aux questionnaires.**

Le choix de la méthode et du nombre de stations de suivi dépend (Figure 19) :

- ) Des moyens nautiques et techniques (apnée/plongée sous-marine) disponibles ;
- ) Du temps disponible en régie et/ou des fonds alloués pour le terrain et le traitement des données ;
- ) Des compétences pouvant être impliquées.

Les *scenarii* ainsi proposés permettent de répondre pour tout ou partie aux interrogations les plus fréquentes des questionnaires :

- ) Quel est l'impact final du phénomène (cf. taux de mortalité) ?
- ) Quelles sont les zones résistantes ou au contraire sensibles (cf. spatialisation du phénomène) ?
- ) Quels sont les genres coralliens principalement touchés et par extension, quel est l'impact du blanchissement sur ces peuplements récifaux (notion de

niveau de dégradation de l'habitat en fonction des genres touchés) ?

### 6.1.1 Quand faire un suivi ?

Dans la plupart des suivis antérieurs, un seul suivi était réalisé lors du pic de blanchissement. Or, si ce suivi permet de répondre à la question : "Quelle a été l'intensité du phénomène de blanchissement (taux de blanchissement) ?", il ne permet pas en revanche de répondre à la question " Quel est l'impact final du phénomène (cf. taux de mortalité) ?".

Il semble pourtant que cette dernière question intéresse au plus haut point les gestionnaires.

**De ce fait nous proposons, de réaliser à minima un suivi après l'épisode de blanchissement pour évaluer le taux de mortalité corallienne.**

Si le budget et le temps disponible le permettent, il est alors possible de réaliser un suivi lors du pic de blanchissement, pour évaluer le taux des colonies blanchies.

### 6.1.2 Faire un suivi sur les stations historiques en priorité ?

Ces stations revêtent une importance particulière du fait de l'existence de données historiques permettant de contextualiser l'événement de blanchissement dans une série temporelle plus large. En outre, d'autres peuplements que les coraux sont généralement suivis sur ces stations, ce qui permet une analyse intégrée de l'impact du

blanchissement sur plusieurs taxons (notamment les poissons).

Enfin, les suivis *a posteriori* de l'épisode de blanchissement sur ces stations seront un atout pour quantifier la résilience des récifs.

Afin de faire des économies d'échelle il devra être envisagé pour ces stations de réaliser en même temps le suivi de l'état de santé "classique" et le suivi "blanchissement" en calant bien sûr les dates d'échantillonnage en fonction de l'événement de blanchissement.

### 6.1.3 Quelles méthodes utiliser ?

**Nous préconisons de mettre en œuvre deux actions complémentaires :**

- )] **Adopter dans tous les cas la méthode normalisée dans le cadre des observations opportunistes (méthode 1).** Cela permettra à moindre frais d'avoir des données sur la répartition spatiale du blanchissement/mortalité et sur son intensité ;
- )] **Réaliser des suivis terrain** qui combinent la méthode 2 sur un grand nombre de stations pour avoir une bonne représentativité spatiale du phénomène, et la méthode 3 pour avoir des données plus détaillées et quantitatives sur l'intensité du blanchissement et de la mortalité en fonction des genres coralliens.

#### **Préconisations pour le choix des scenarii :**

- Pour tous les *scenarii* : favoriser les remontées de suivis participatifs et, si possible, disposer d'observations normalisées (c'est à dire réaliser le scénario 1 dans tous les cas) ;
- Faire en priorité un suivi après la phase de blanchissement pour évaluer la mortalité ;
- Faire, si le budget et le temps disponible le permettent, un suivi lors du pic de blanchissement ;
- Prendre comme descripteur de base la couverture corallienne et la part de la couverture affectée en pourcentage (blanchie ou morte) ;
- Noter la prévalence totale et par genre (% du nb de colonies sur le nb de colonies totales) blanchies ou mortes pour les méthodes 2 et 3 ;
- Suivre en priorité les stations "historiques" en essayant de réaliser en même temps le suivi état de santé et le suivi blanchissement pour mutualiser les frais logistiques ;
- Suivre en priorité les stations de pente externe à une profondeur d'environ 10 m ;
- Favoriser l'analyse par photo-quadrats pour maximiser le nombre de stations échantillonnées *in situ* ;
- Favoriser un nombre important de stations (avec la méthode 2) pour augmenter au maximum la représentativité spatiale.

#### 6.1.4 Les *scenarii* proposés et les ajustements possibles

**Le croisement entre méthodes et plan d'échantillonnage induit une large gamme de *scenarii*, du plus simple au plus abouti.**

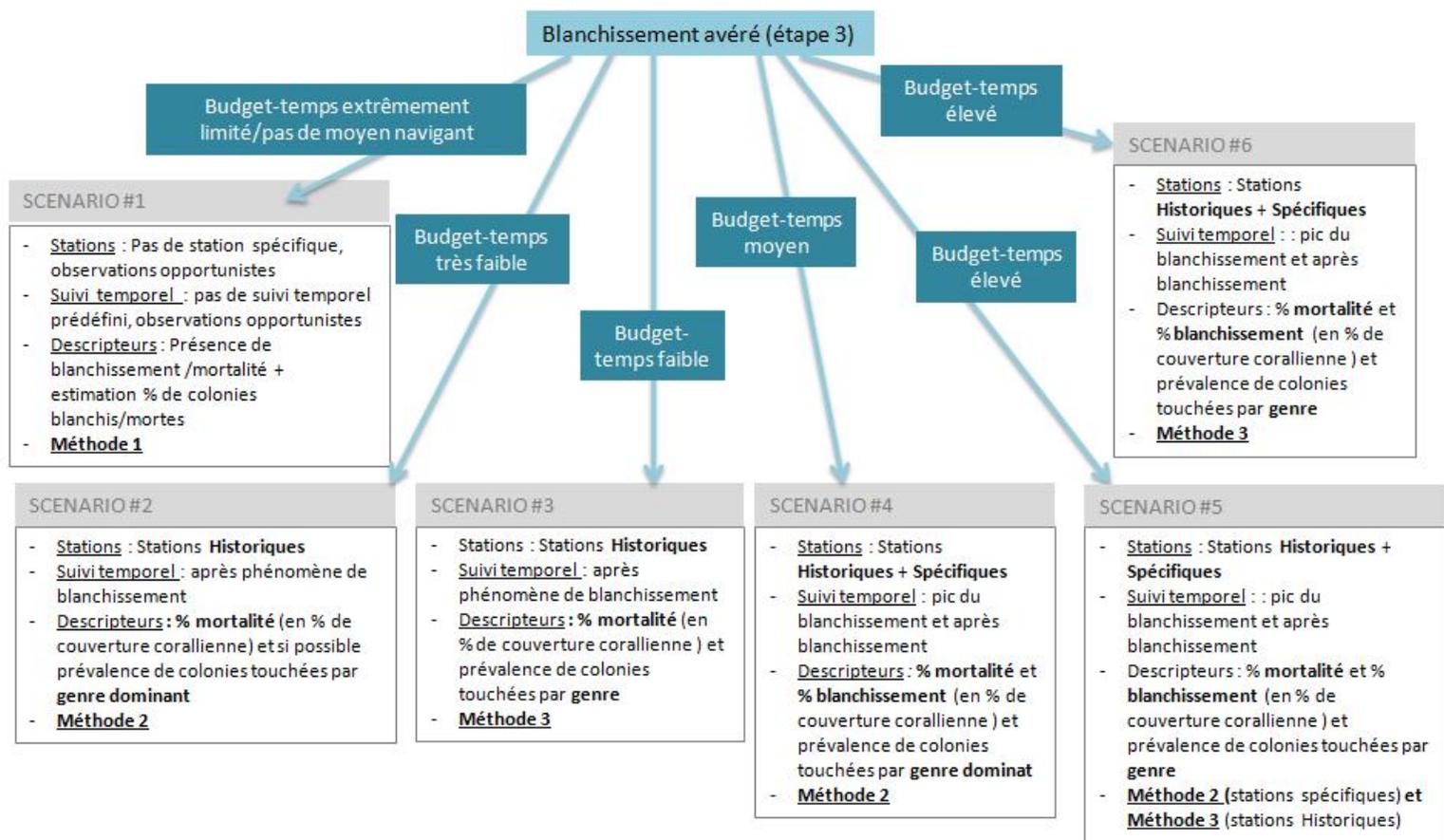
**Cinq *scenarii* sont proposés** (Figure 19), **avec les propositions de plan d'échantillonnage qui y sont liés (annexe 2 à annexe 4). Tous les *scenarii* sont développés à l'échelle d'une COMs.** Si l'échelle s'avère autre (exemple : une AMP au sein d'une COM) il faudra alors adapter ces *scenarii* même si la démarche restera la même. Il est entendu que ces *scenarii* ne sont pas figés. Ainsi, en fonction de la sévérité du blanchissement, du temps et des moyens financiers disponibles, **le gestionnaire pourra s'inspirer de ces *scenarii* et notamment ajuster :**

- )] L'échantillonnage ou non lors du pic de blanchissement ;
- )] L'échantillonnage de récifs proches ou éloignés (nécessité d'un navire) ;
- )] L'échantillonnage en apnée ou scaphandre autonome (selon la profondeur) ;
- )] Le nombre de stations suivies avec la méthode 2 ;
- )] Le nombre de stations suivies avec la méthode 3 ;
- )] La réalisation ou non de prises de vue obliques aériennes ;
- )] Le traitement ou non d'images satellites.

**Par exemple, le gestionnaire pourra :**

- )] Rajouter un suivi du blanchissement dans le cadre des *scenarii* 2 et 3 ou inversement de supprimer ce suivi dans le cadre du scénario 5 ;
- )] Ajuster le ratio du nombre de stations suivi avec la méthode 2 et la méthode 3 en fonction par exemple des suivis de l'état de santé réalisés par ailleurs ;
- )] Diminuer ou augmenter le nombre de stations de suivi ;
- )] Compléter ou non les mesures *in situ* par des données aéroportées ou satellites.

**Il est ainsi conseillé pour chaque COM de réaliser un atelier technique réunissant l'ensemble des acteurs locaux pour ajuster les *scenarii* proposés en fonction des spécificités locales (moyens logistiques, compétences, temps disponibles, budget, ...).**



Le budget conditionnera le scénario réalisable sur les COMs, et pour un budget équivalent, chaque COM ne pourra pas réaliser le même suivi en fonction de l'étendue de son territoire (voir figure 20).

**Rappel des méthodes et descripteurs associés:**

Méthode #1: « Collectes opportunistes » (% couverture blanchie/morte)  
 Méthode #2: « Estimation visuelle » (% couverture corallienne blanchie/morte + prévalence colonies blanchies/mortes par genre dominant)  
 Méthode #3: « Photo-quadrat » (% couverture corallienne blanchie/morte + prévalence colonies blanchies/mortes par genre)

**Variante possible pour chaque scénario:**

Variante #1: pas de moyens navigants ou accès limité, limitations aux stations localisées en frangeant  
 Variante #2: Ajout de survol aérien  
 Variante #3: Ajout de traitements d'images satellites

Figure 19 : Arbre de décision pour aider le gestionnaire à calibrer le plan d'échantillonnage et choisir la méthode de suivi

## 6.2 Le dimensionnement du budget

La Figure 20 permet aux gestionnaires de construire une première estimation du budget nécessaire en fonction du scénario retenu. Il convient néanmoins d'affiner certains volets:

- ) En fonction des ajustements que feront les gestionnaires sur les *scenarii*, le budget pourra considérablement varier ;
- ) Le budget variera également en fonction des moyens logistiques déployés (apnée, plongée en scaphandre autonome, type d'embarcation, nombre de personnes sur le terrain, etc.) ;
- ) Il n'est pas traité ici la partie survol aérien ou images stellites. Se référer au guide IFRECOR sur la cartographie des habitats (Nicet et *al.*, 2015) ;
- ) Enfin, selon qui sera impliqué dans le suivi terrain, la bancarisation, le traitement des données et le rapport, le budget pourra considérablement varier.

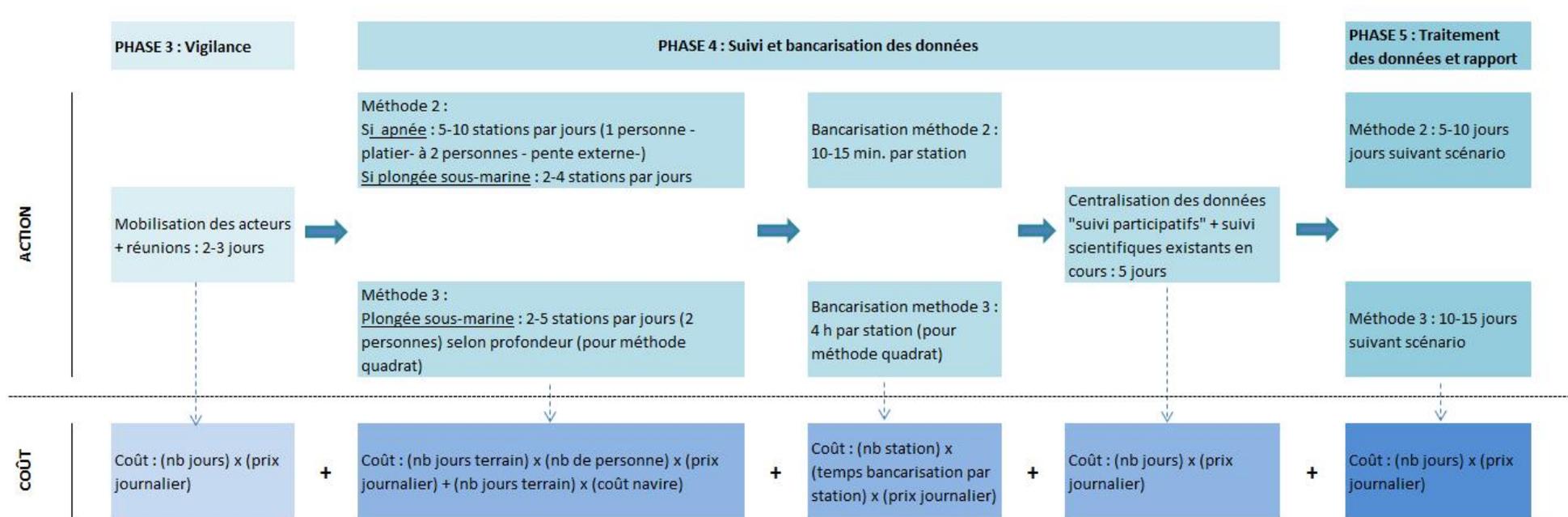


Figure 20 : Aide à l'élaboration du budget d'un suivi environnemental d'un blanchissement corallien en fonction de la méthode retenue



# 7 REFERENCES

**Andréfouët S., Chagnaud N., Chauvin C., Kranenburg C.J., (2008)** Atlas des récifs coralliens de France Outre-Mer, Centre IRD de Nouméa, Décembre 2008, 153 pages

**Benzoni F., Houlbrèque F., André L., Payri, C.E. (2017).** Plan d'action rapide et adaptatif, en cas de blanchissement corallien : Le cas de la Nouvelle-Calédonie, épisode 2016, synthèse. 90 pages.

**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.

**Chancerelle Y. (2017).** Le phénomène de blanchissement corallien sur la zone Pacifique central sud en 2016. Bilan des observations, 17 p.

**Eakin, C. M., Morgan, J. A., Heron, S. F., Smith, T. B., Liu, G., Alvarez-Filip, L., ... & Brandt, M. (2010).** Caribbean corals in crisis: record thermal stress, bleaching, and mortality in 2005. *PloS one*, 5(11), e13969.

**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.

**Guest et al. (2016).** Coral community response to bleaching on a highly disturbed reef. Scientific reports

**Hughes, T. P., Kerry, J. T., & Simpson, T. (2018).** Large-scale bleaching of corals on the Great Barrier Reef. *Ecology*, 99(2), 501-501

**McClanahan TR, Ateweberhan M, Graham NAJ, Wilson SK, Ruiz Sebastián C, Guillaume MMM, Bruggemann JH (2007a).** Western Indian Ocean coral communities: bleaching responses and susceptibility to extinction. *Mar Ecol Prog Ser* 337: 1–13.

**McClanahan TR, Ateweberhan M, Muhando CA, Maina J, Mohammed MS (2007b).** Effects of climate and seawater temperature variation on coral bleaching and mortality. *Ecological Monographs* 77: 503–525.

**Maynard, J.A., Marshall, P.A., Parker, B., Mcleod, E., Ahmadi, G., van Hooidek, R., Planes, S., Williams, G.J., Raymundo, L., Beeden, R., Tamelander, J. (2017).** A Guide to Assessing Coral Reef Resilience for Decision Support. Nairobi, Kenya: UN Environment. ISBN No: 978-92-807-3650-2

**Nicet J.B., Porcher M., Pennober G., Mouquet P., Alloncle N., Denis Y., Gabrié C., Dirberg G., Malfait G., Nicolas A., Pribat B., Ringelstein J., Tollis S., Quod J., Andréfouët S. (2015).** Aide pour la réalisation et la commande de cartes d'habitats normalisées par télédétection en milieu récifal sur les

territoires français. Guide de mise en œuvre à l'attention des gestionnaires. IFRECOR, 73 pages + annexes, août 2015.

**Nicet J.B., Pennober G., Burcklen 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, ESPACE-DEV, ENTROPIE, UR, IRD, SEAS-OI, CORDIO, AAMP, PNMM, PNMG, TAAF, RNMR, DEAL Réunion, RNB, IFRECOR, UE, 89 pages.

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

**Pratchett et al. (2011).** Changes in biodiversity and functioning of reef fish assemblages following coral bleaching and coral loss. Diversity

**Turner, B. L., Kasperson, r. e., Matson, p. A., Mccarthy, J. J., corell, r. W., christensen, L., ... & polsky, c. (2003).** A framework for vulnerability analysis in sustainability science. Proceedings of the National Academy of Sciences, 100(14), 8074-8079.

**Turquet J., Mirault E., Conand C., Conand 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 de l'association Parc Marin de La Réunion, 35 pages.

**Van Wynsberge et al. (2017).** Are sea surface temperature satellite measurements reliable proxies of lagoon temperature in the South Pacific ? Estuarine, Coastal and Shelf Science



# 8 ANNEXES

## Annexe 1 : les besoins des gestionnaires (résultats de l'enquête)

Questions classées par ordre d'importance par les gestionnaires avec en italique le groupe de questions les plus importantes	Réponse du guide
<i>Quelle perte de la couverture corallienne (blanchissement/mortalité) ?</i>	Oui
<i>Quels sont les secteurs blanchis/morts : résistance ?</i>	Oui
<i>Y-a-t-il un "effet réserve" sur l'impact du blanchissement : comparaison blanchissement/mortalité dans une AMP et à l'extérieur</i>	Oui
<i>Quels sont les secteurs qui récupèrent : résilience ?</i>	Non : faire le suivi de la résilience
<i>Quels impacts sur les peuplements de poissons</i>	Non : faire le suivi de la résilience
<i>Y-a-t-il un effet des pressions locales sur l'impact du blanchissement : comparaison blanchissement/mortalité dans un site fortement soumis aux pressions locales et un site peu ou pas soumis</i>	Oui (en fonction du plan d'échantillonnage)
<i>Quelle perte des habitats (structure des peuplements, architecture)</i>	De manière indirecte avec les genres
Quelle perte écosystémiques	De manière indirecte avec la perte de couverture corallienne suivant les secteurs et la géomorphologie
<i>Quels impacts sur les peuplements d'échinodermes</i>	Non : faire le suivi de la résilience
<i>Quels impacts sur les peuplements de mollusques</i>	Non : faire le suivi de la résilience
<i>Quels impacts par rapport à d'autres secteurs du territoire ou d'autres régions/océans</i>	Oui

➡ Les suivis tel que conseillés dans le guide permettront de répondre aux questions qui apparaissent comme les plus importantes pour des gestionnaires. En outre, le suivi de la résilience est un aspect essentiel du suivi du blanchissement corallien et de ses impacts à plus long terme et sur la faune et flore associées.

Nécessité de l'édition d'un guide pour les gestionnaires :	oui (en %)	non (en %)
Avez-vous déjà dû faire face à un épisode de blanchissement en tant que gestionnaire ?	64	36
Avez-vous déjà mis en œuvre un suivi spécifique au blanchissement ?	36	64
Utilisez vous déjà un protocole de suivi du blanchissement ?	36	64
Pensez vous que l'édition d'un guide vous soit utile ?	85	15

➡ Alors que deux tiers des gestionnaires ont déjà eu à faire face à un épisode de blanchissement, seul un tiers ont un suivi spécifique du blanchissement. L'édition d'un guide apparaît utile pour 85% des gestionnaires.

Autonomie des gestionnaires pour le suivi :	oui (en %)	non (en %)
Disposez-vous de moyens nautiques ?	64	36
Avez-vous en internes des plongeurs sous-marins ?	57	43
Avez-vous en internes des personnes formées à la reconnaissance des formes coralliennes ?	43	57
Avez-vous en internes des personnes formées à la reconnaissance des genres coralliens ?	36	64
Travaillez-vous avec des structures externes qui peuvent vous appuyer ?	93	7

 Pour les gestionnaires il s'avère le plus souvent nécessaire de faire appel à des intervenants extérieurs pour le suivi du blanchissement lorsqu'on utilise les méthodes 2 et 3.

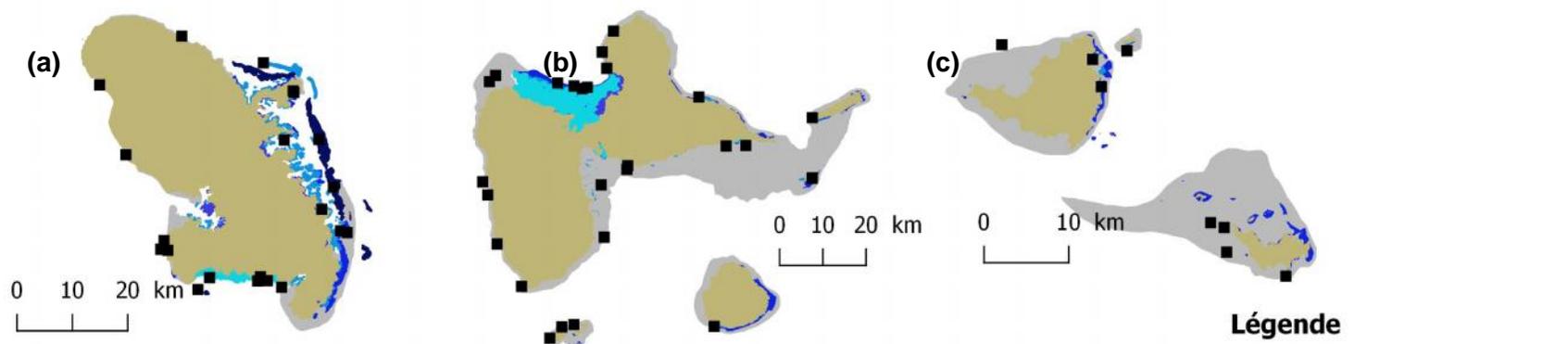
Au total 15 organismes ont répondu, incluant des gestionnaires et/ou décideurs de chacune des 10 COM contenant des récifs coralliens.

Afin de s'assurer de la compatibilité avec les suivis régionaux/internationaux les responsables de ces suivis ont été contactés :

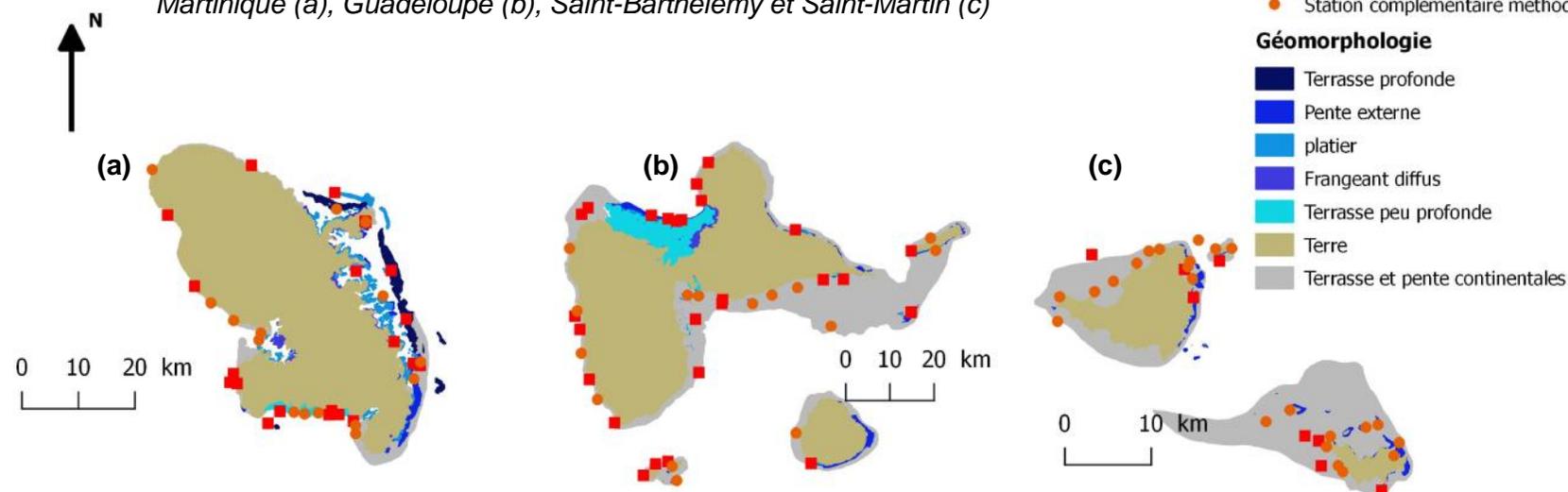
- ) Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA) ;
- ) Australian Institut Marine Science (AIMS) ;
- ) CORDIO ;
- ) National Oceanographic and Atmospheric Administration ;
- ) Reef Check France ;
- ) UMR Espace-Dev ;
- ) UMR Entropie ;
- ) Wildlife conservation Society.

***Nous remercions sincèrement l'ensemble des gestionnaires et scientifiques qui ont bien voulu répondre à notre enquête et nos questions.***

## Annexe 2 : Exemple de plan d'échantillonnage en fonction des scénarii : Caraïbes



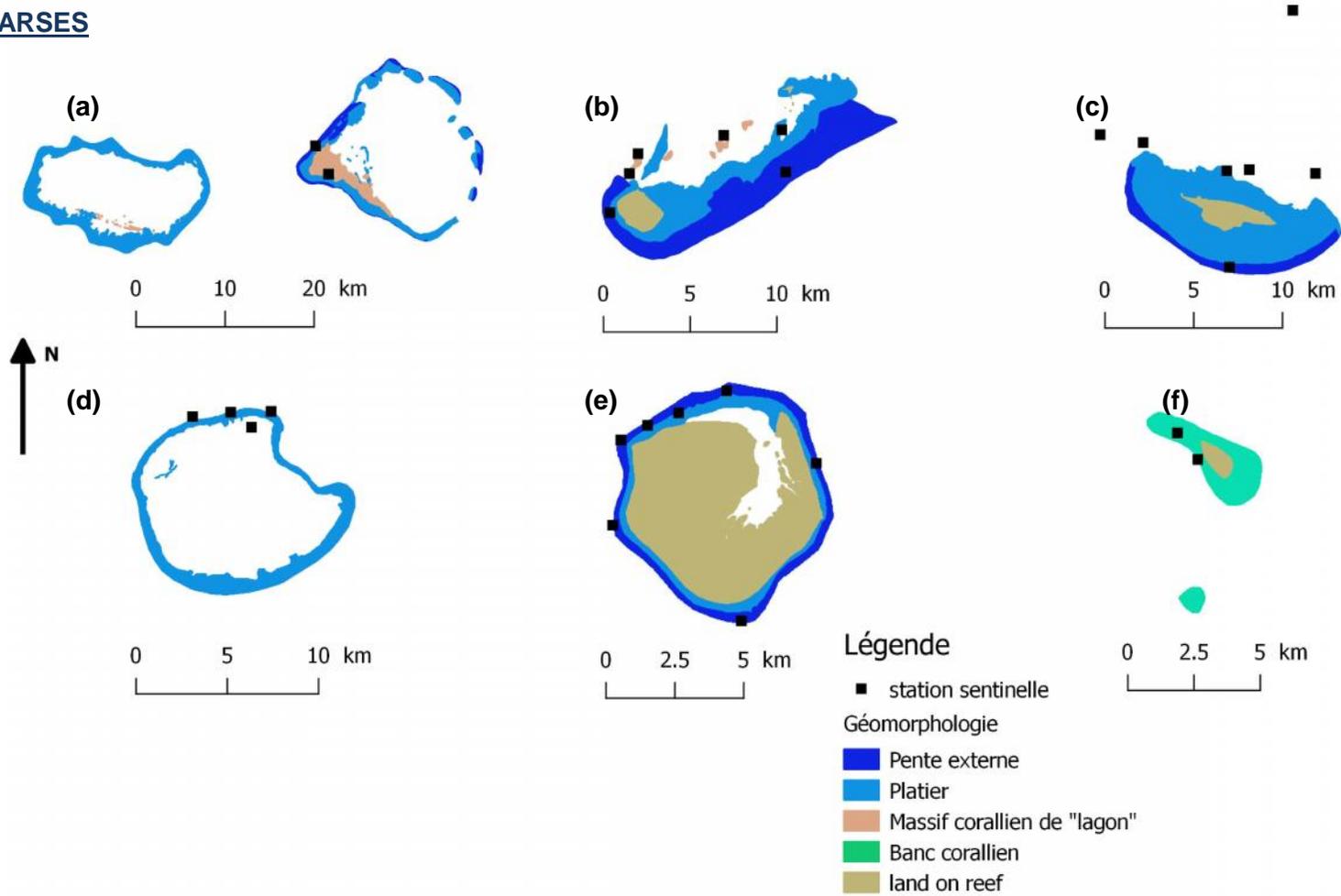
*Exemple de plan d'échantillonnage pour les scénarii 2 et (application des méthodes 2 ou 3) en Martinique (a), Guadeloupe (b), Saint-Barthélemy et Saint-Martin (c)*



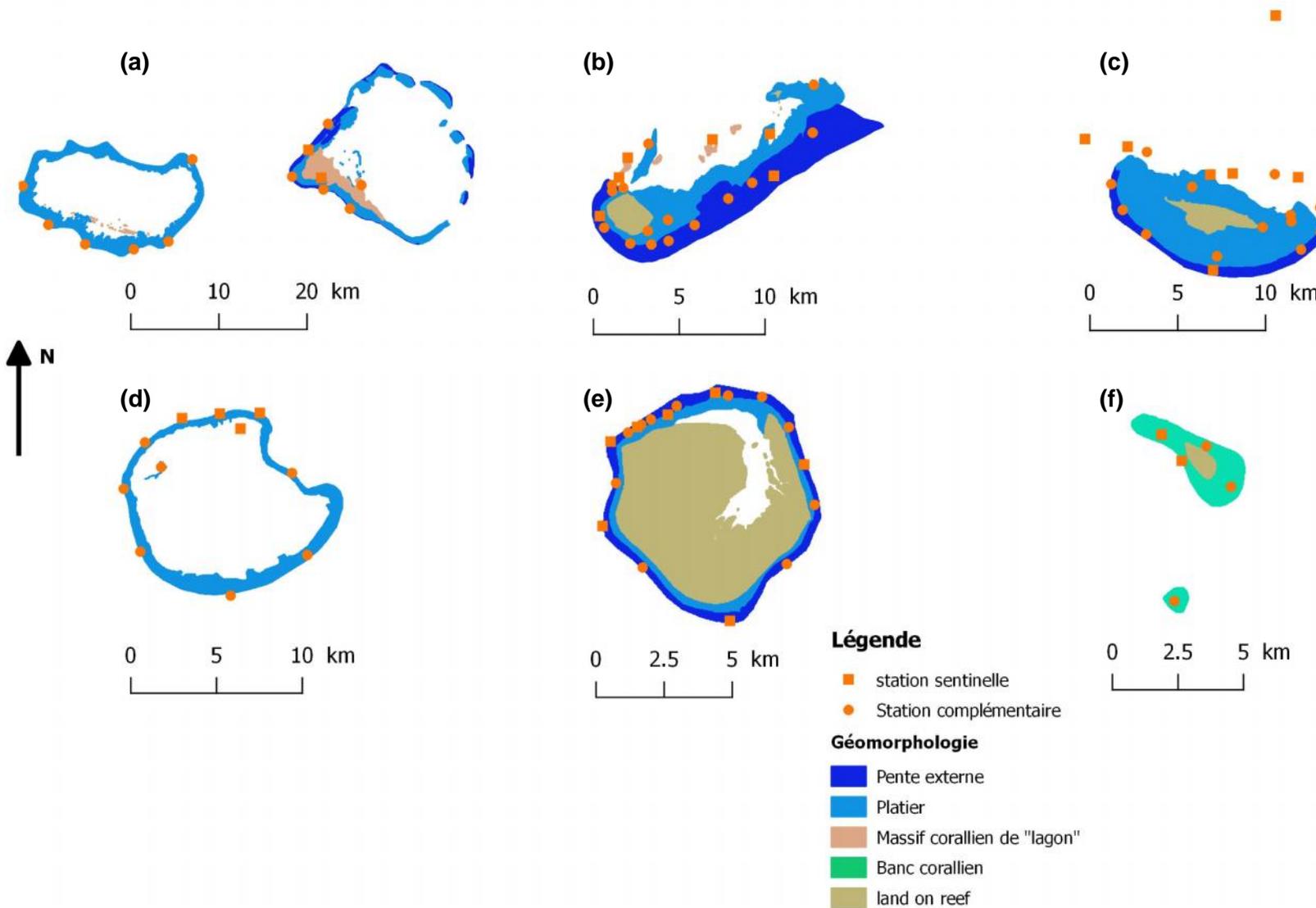
*Exemple de plan d'échantillonnage pour scénario 5 en Martinique (a), Guadeloupe (b), Saint-Barthélemy et Saint-Martin (c)*

## Annexe 3 : Exemple de plan d'échantillonnage en fonction des *scenarii* : océan Indien

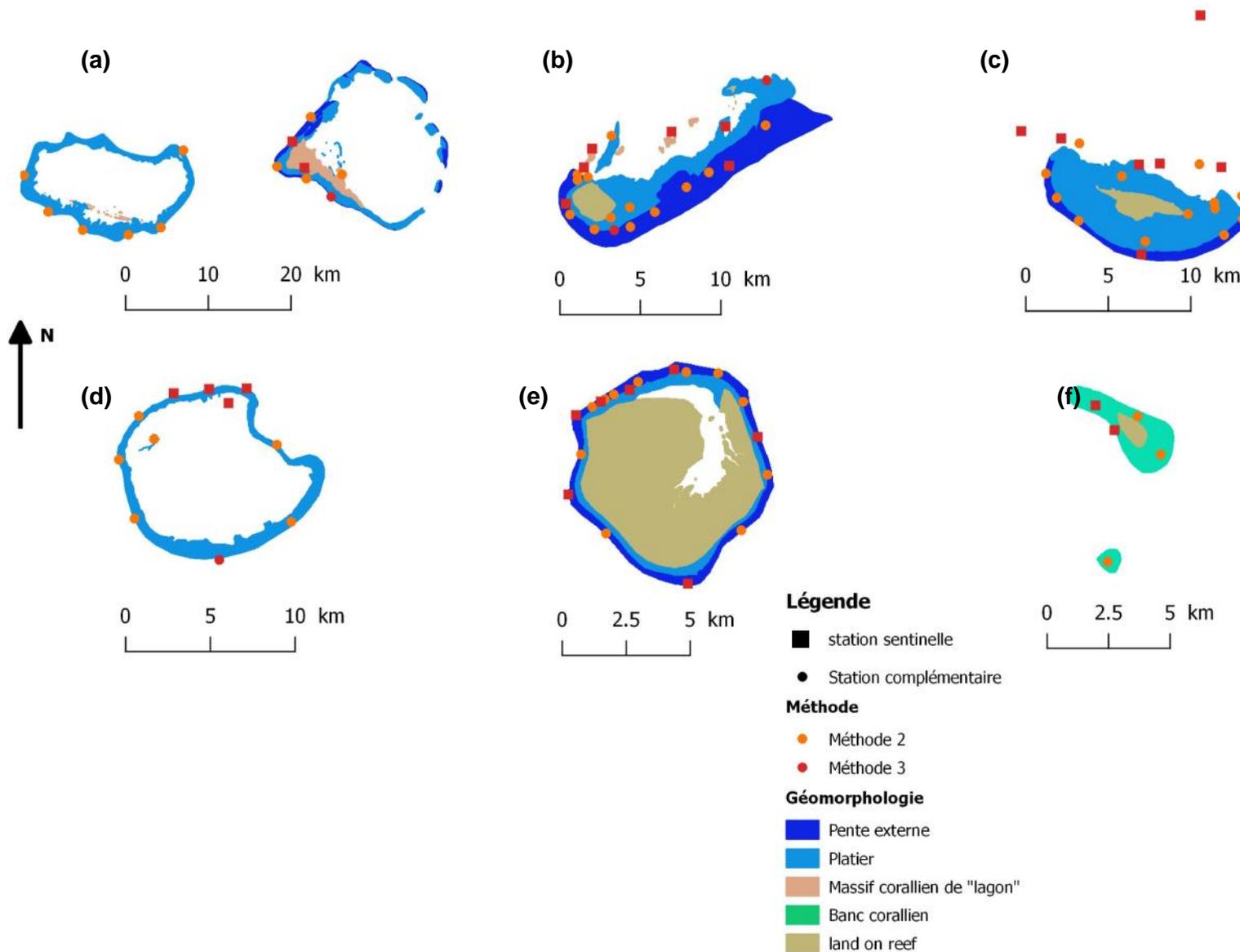
### ILES EPARSEES



Exemple de plan d'échantillonnage pour les scenarii 2 et 3 (application des méthodes 2 ou 3) à Geyser/Zélée (a), Glorieuses (b), Juan de Nova (c), Bassas da India (e), Europa (d) et Tromelin (f)

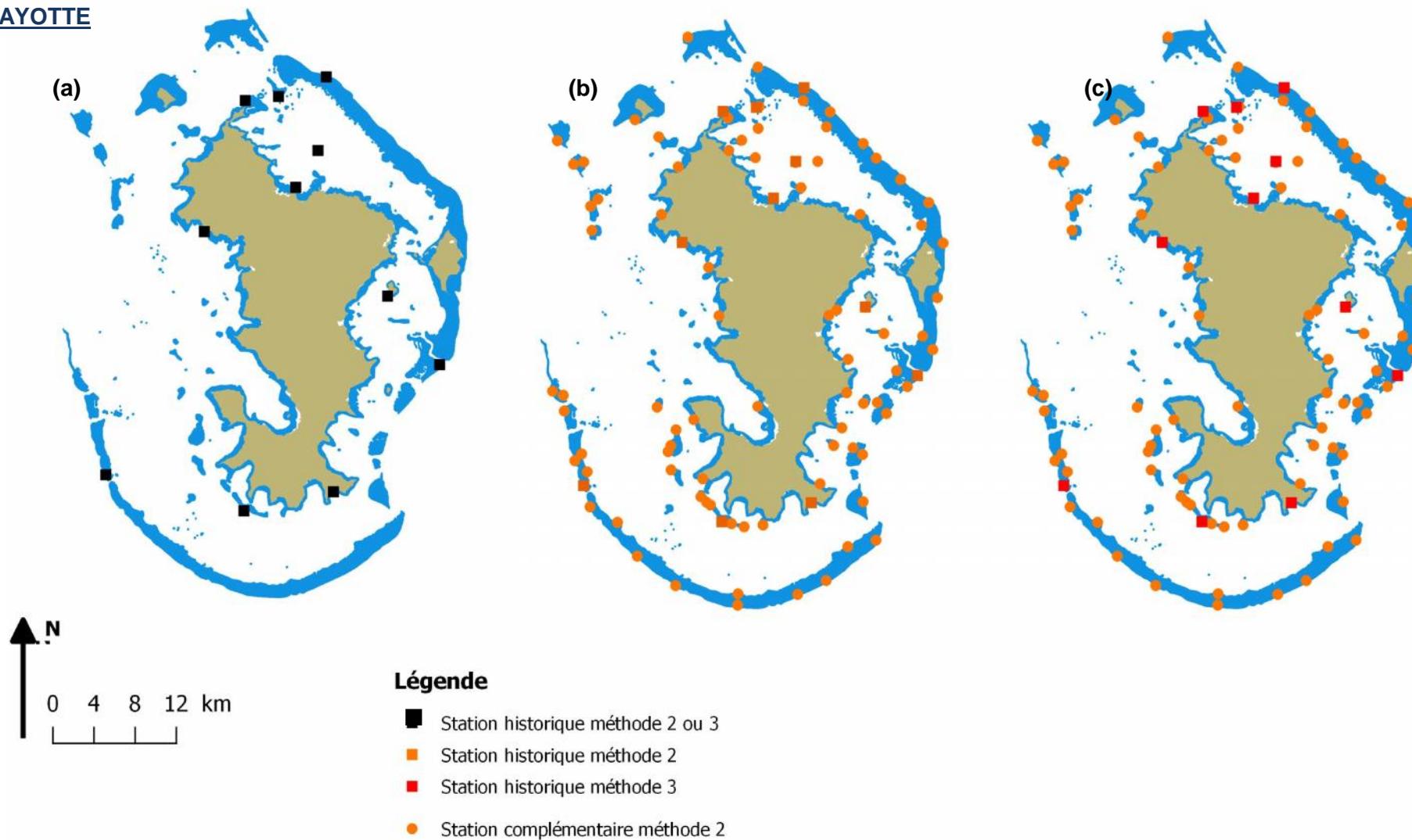


Exemple de plan d'échantillonnage pour le scénario 4 à Geyser/Zélée (a), Glorieuses (b), Juan de Nova (c), Bassas da India (e), Europa (d) et Tromelin (f)



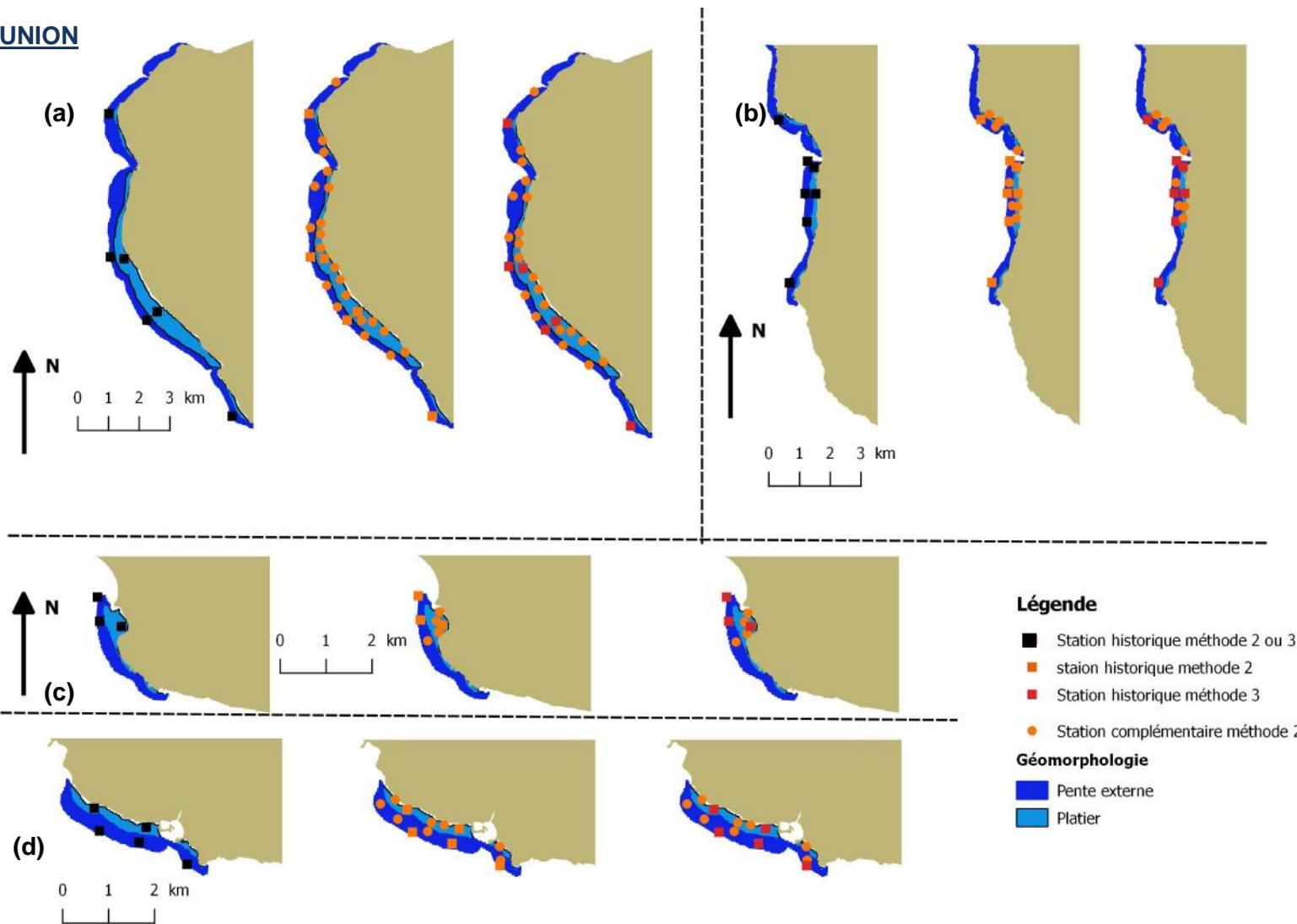
Exemple de plan d'échantillonnage pour le scénario 5 à Geyser/Zélée (a), Glorieuses (b), Juan de Nova (c), Bassas da India (e), Europa (d) et Tromelin (f)

## MAYOTTE



Exemple de plan d'échantillonnage pour le scénario 2 (méthode 3) et scénario 3 (méthode3) (a), le scénario 4 (b) et le scénario 5 (c) à Mayotte

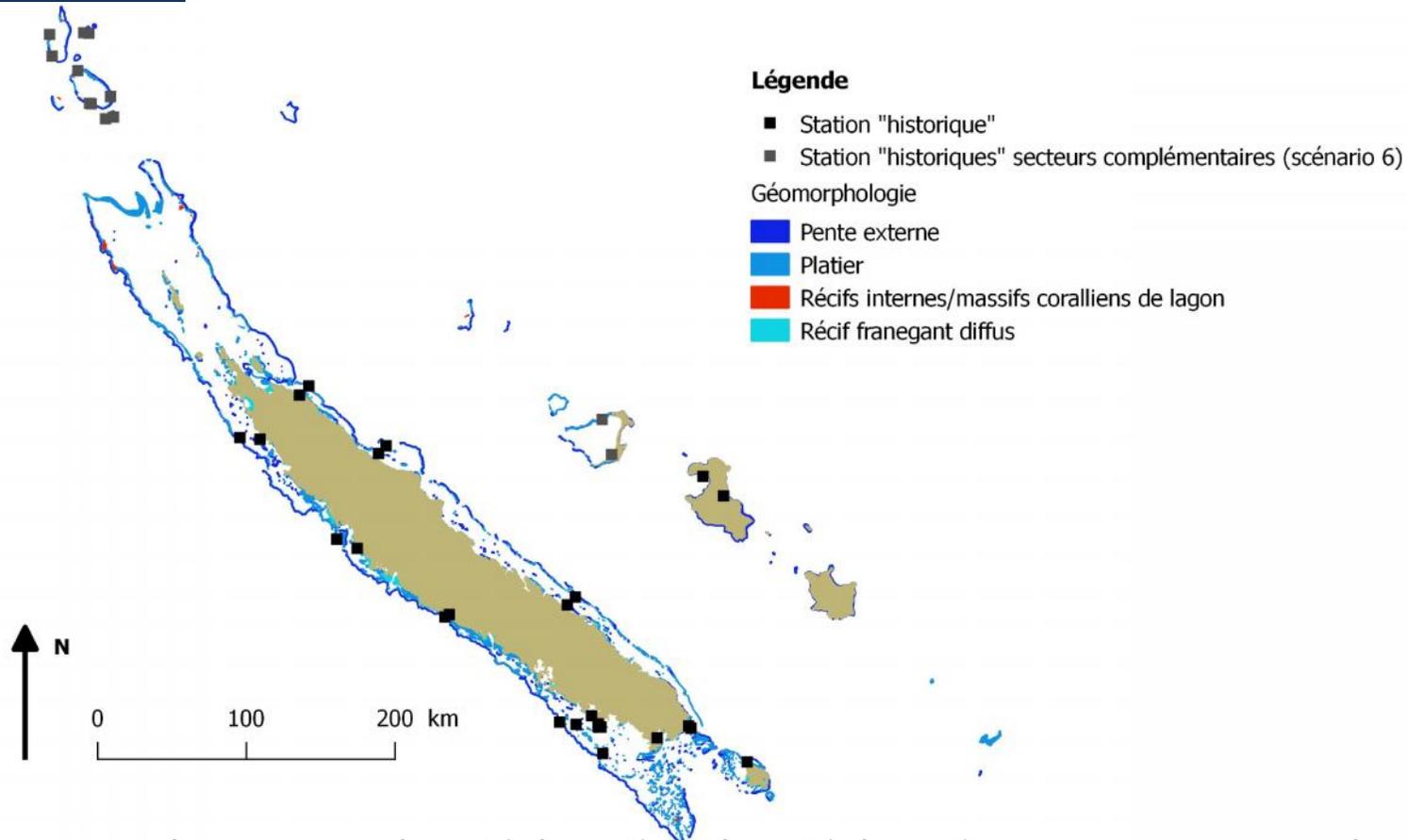
## REUNION



Exemple de plan d'échantillonnage pour le scénario 2 (méthode 2) et le scénario 3 (méthode 3), le scénario 4 et le scénario 5 (de gauche à droite) sur les complexes de Saint-Gilles (a), Sain-Leu (b), Etang Salé (c) et Saint-Pierre (d)

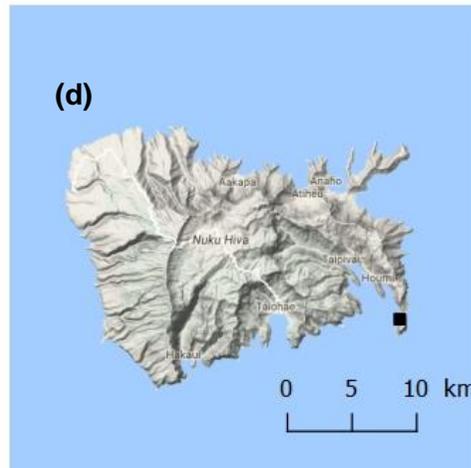
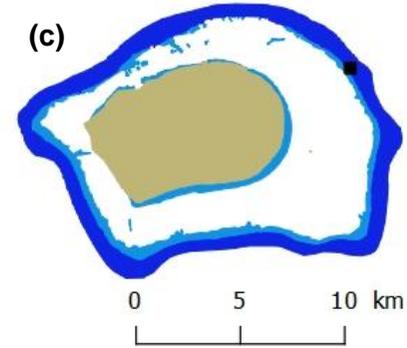
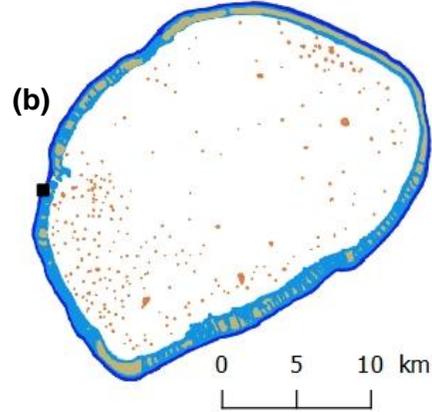
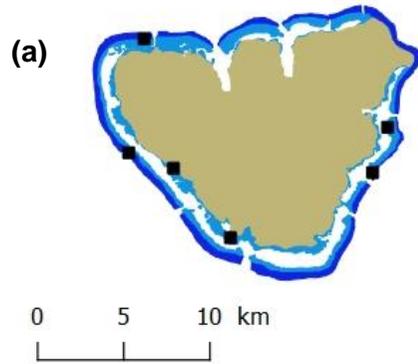
## Annexe 4 : Exemple de plan d'échantillonnage en fonction des *scenarii* : océan Pacifique

### NOUVELLE-CALEDONIE



*Exemple de plans d'échantillonnage scénario 2 (méthode 2) et scénario 3 (méthode 3) et exemple de secteurs complémentaires pour le scénario 6*

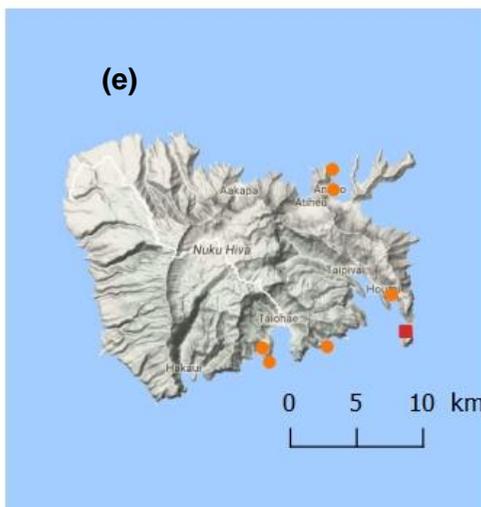
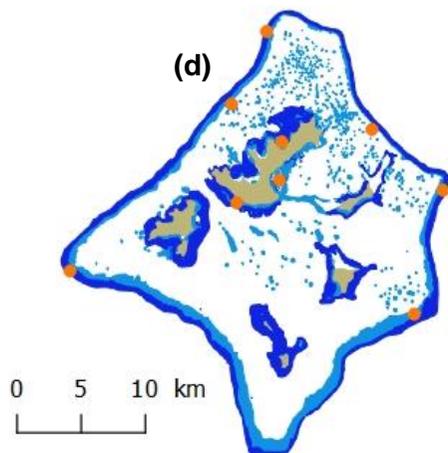
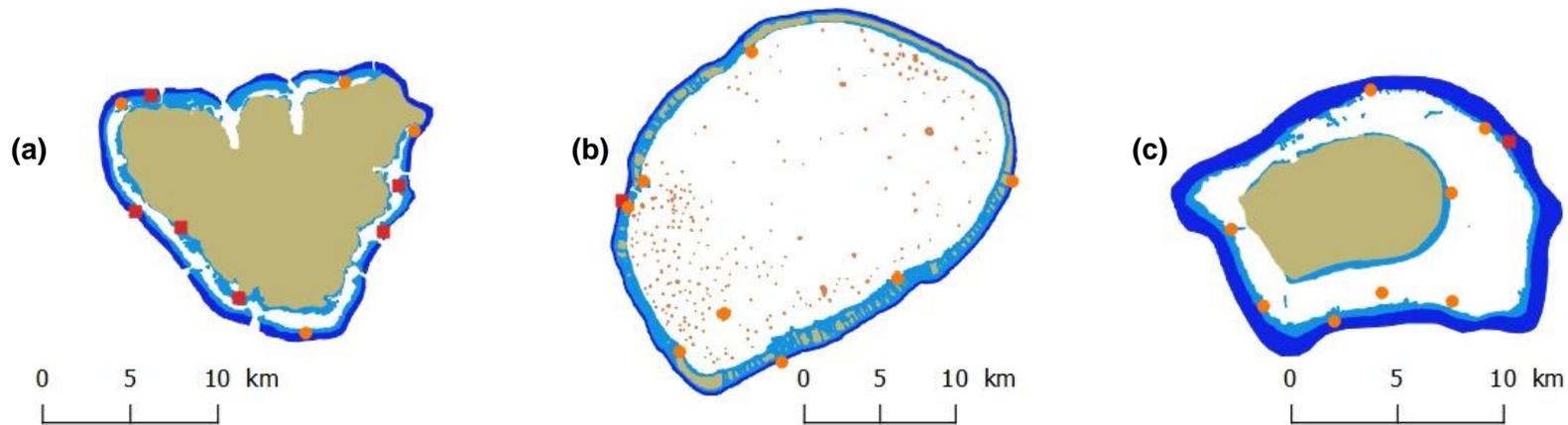
**POLYNESIE FRANCAISE**



**Légende**

- Station
- Station historique méthode 2 ou 3
- Géomorphologie
- Pente externe
  - Platier
  - Masisif corallien de lagon
  - Terre

*Exemple des plans d'échantillonnage pour le scénario 2 (méthode 2) et le scénario 3 (méthode 3) à Moorea (Société) (a), Tikehau (Tuamoto) (b), Tubuai (Australes)(c), et Nuku Hiva (Marquises) (e)*



### Légende

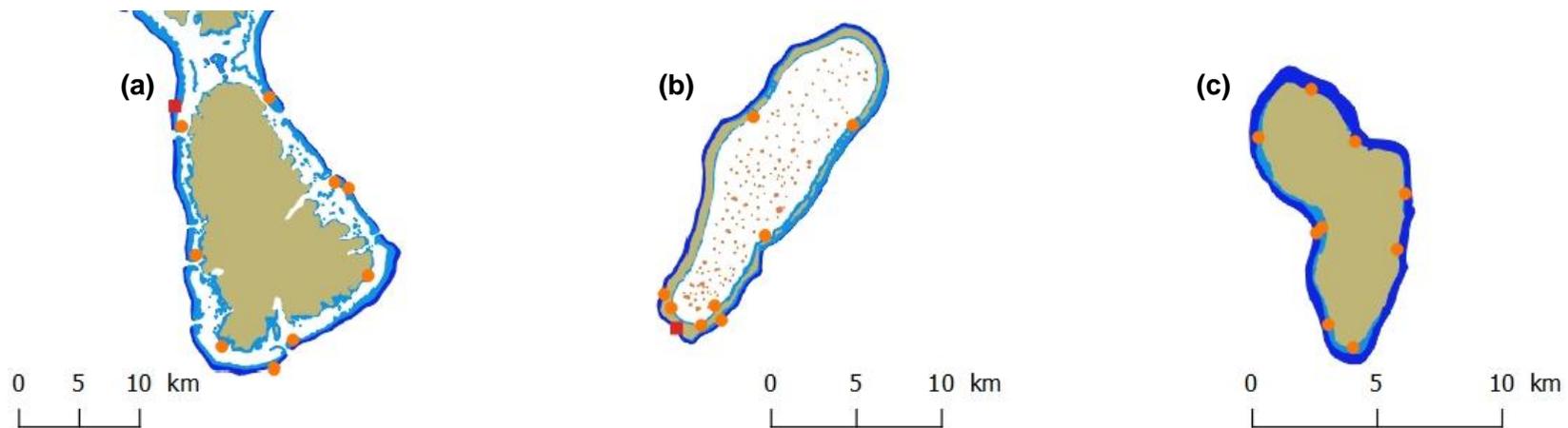
#### Station

- Station sentinelle méthode 3
- Station complémentaire méthode 2

#### Géomorphologie

- Pente externe
- Platier
- Masisif corallien de lagon
- Terre

Exemple de plan d'échantillonnage pour le scénario 5 à Moorea (Société) (a), Tikehau (Tuamoto) (b), Tubuai (Australes)(c), Mangareva (Gambier) (d) et Nuku Hiva (Marquises) (e)



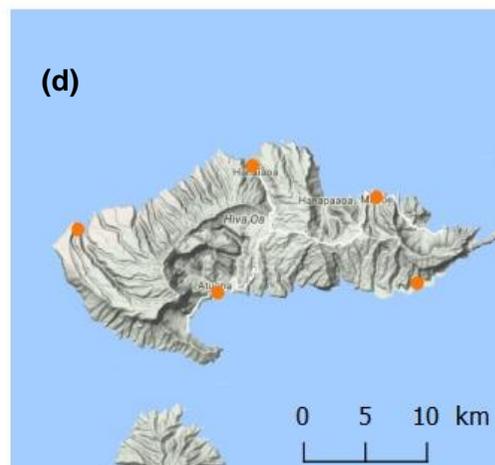
### Légende

#### Station

- Station sentinelle méthode 3
- Station complémentaire méthode 2

#### Géomorphologie

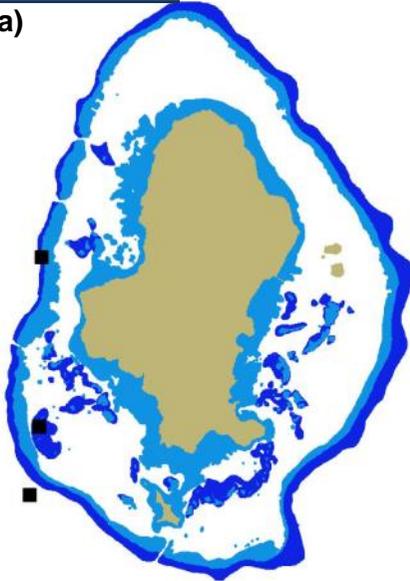
- Pente externe
- Platier
- Masisif corallien de lagon
- Terre



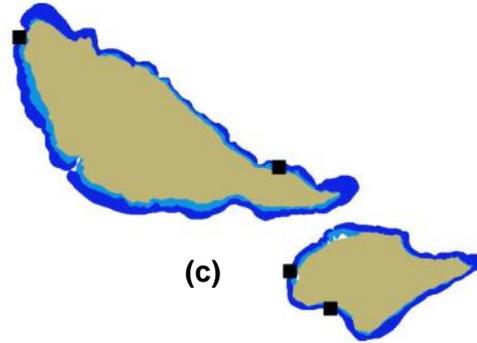
Exemple de plan d'échantillonnage des secteurs complémentaires (scénario 6) à Raiatea (Société) (a), Takapoto (Tuamoto) (b), Rurutu (Australes)(c), et Hiva Oa (Marquises) (d)

**WALLIS ET FUTUNA**

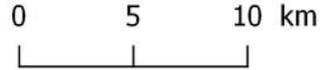
(a)



(b)



(c)



**Légende**

Station

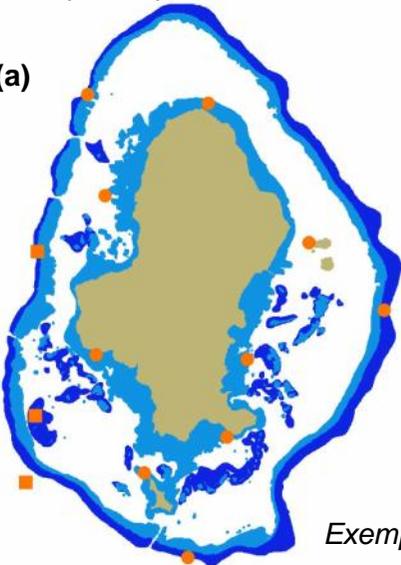
- Station historique méthode 2 ou méthode 3

Géomorphologie

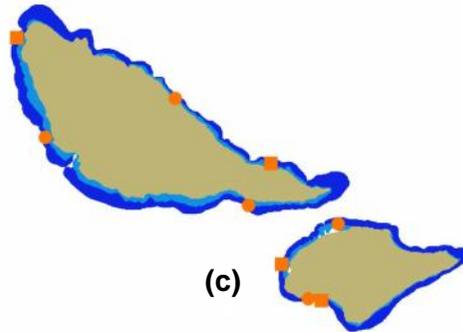
- Pente externe
- Platier
- Terre

*Exemple de plan d'échantillonnage pour le scénario 2 (méthode 2) et le scénario 3 (méthode 3) à Wallis (a), Futuna (b) et Alofi (c)*

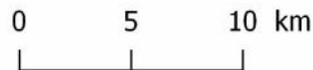
(a)



(b)



(c)



**Légende**

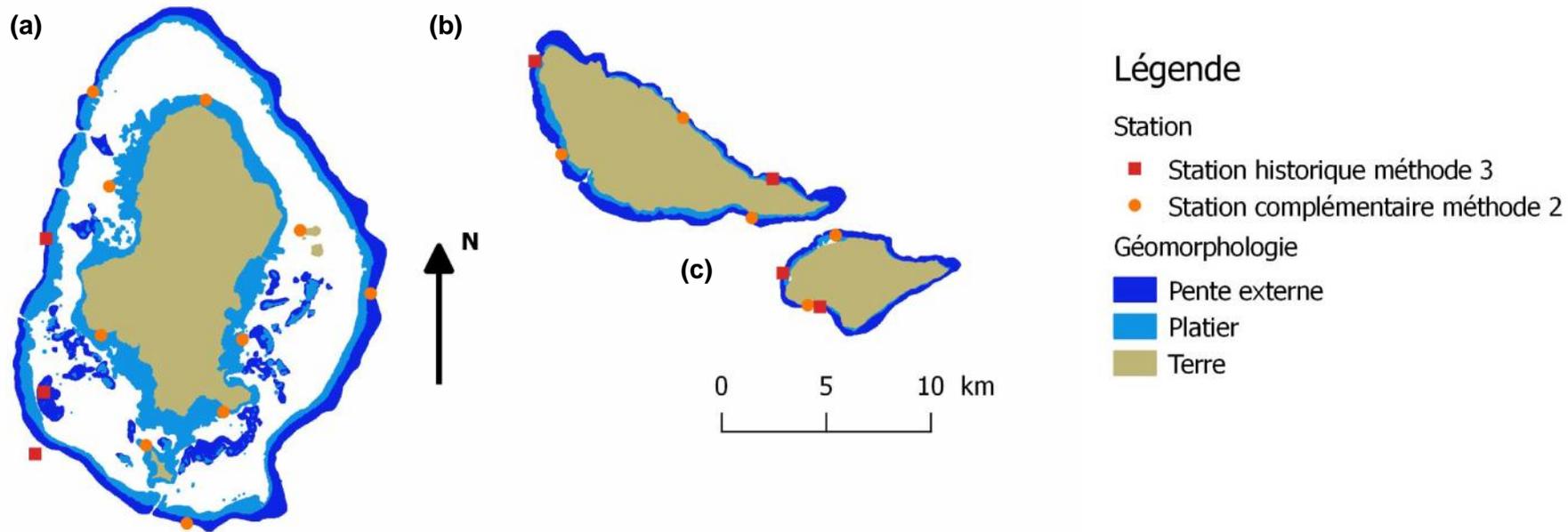
Station

- Station historique méthode 2
- Station complémentaire méthode 2

Géomorphologie

- Pente externe
- Platier
- Terre

*Exemple de plan d'échantillonnage pour le scénario 4 à Wallis (a), Futuna (b) et Alofi (c)*



*Exemple de plan d'échantillonnage pour le scénario 5 à Wallis (a), Futuna (b) et Alofi (c)*