



# SYNTHÈSE ET RECOMMANDATIONS SUR LES TECHNOLOGIES DE SURVEILLANCE DES ACTIVITÉS HUMAINES DANS LES AIRES MARINES PROTÉGÉES DU PACIFIQUE

Photo : Nicolas Guillemat (DEXEN)



RAPPORT FINAL | 2018



## RÉALISATION DU DOCUMENT

La présente étude a été commanditée par l'Agence française pour la biodiversité (AFB) et réalisée par un groupement d'experts réunissant trois sociétés : Ginger-Soproner, Bluecham, Dexen (Marché à procédure adaptée AFB n°2017-35).

Ce document a été réalisé avec l'aide financière de l'Union européenne. Le contenu de ce document est la seule responsabilité de l'AFB et ne peut en aucun cas être considéré comme reflétant la position de l'Union européenne.

L'élaboration de ce document, sa mise en forme, et la production d'une version anglaise s'inscrivent dans le cadre du projet Pacific Biodiversity Blue Belt, coordonné par le PROE (Programme régional océanique de l'environnement) en partenariat avec l'Agence française pour la biodiversité.

Antoine GILBERT

Responsable du département pêche et sciences marines  
GINGER SOPRONER | BP 3583 | 98846 Nouméa | Nouvelle-Calédonie  
antoine.gilbert@soproner.nc | www.soproner.nc



Rémi ANDREOLI

Directeur des Applications Spatiales  
BLUECHAM SAS | BP A5 | 98848 Nouméa | Nouvelle-Calédonie  
remi.andreoli@bluecham.com | www.bluecham.net



Nicolas GUILLEMOT

Expert en sciences environnementales marines et halieutique | Gérant  
DEXEN | BP 32401 | 98897 Nouméa | Nouvelle-Calédonie  
nicolas.guillemot@dexen-nc.com | www.dexen-nc.com



### REMERCIEMENTS :

Les auteurs tiennent à remercier l'ensemble des acteurs publics et privés ayant répondu positivement aux sollicitations nécessaires à la bonne conduite de cette étude, et ayant partagé les informations dont ils disposaient lorsque celles-ci étaient susceptibles d'alimenter les synthèses et les réflexions présentées dans ce document.

**CITATION :** Gilbert A, Guillemot N, Andreoli R (2018) Synthèse et recommandations sur les technologies de surveillance des activités humaines dans les aires marines protégées du Pacifique. Rapport AFB & Projet Pacific Biodiversity Blue Belt, 154p.

**CRÉATION GRAPHIQUE, MISE EN PAGE :** Christine Bourgois, Cédille

**TRADUCTION :** Patrick Delhay, Calliope Interpreters



## RÉSUMÉ

Cette étude, réalisée pour le compte de l'Agence française pour la biodiversité (AFB), s'inscrit dans le projet « Pacific Biodiversity Blue Belt ». Elle concerne les quatre Pays et Territoires d'Outre-Mer (PTOM) du Pacifique insulaire : Polynésie française (PF), Nouvelle-Calédonie (NC), Wallis & Futuna (WF) et Pitcairn (Pi).

Ces territoires français (PF, NC et WF) et britanniques (Pi) sont caractérisés par de vastes espaces maritimes et un isolement géographique vis-à-vis de leurs Etats de rattachement. Ces espaces font l'objet de nombreux usages et activités de natures très hétérogènes (trafic maritime, pêche hauturière, pêche récifolagunaire, activités récréatives, tourisme, etc.), et sont associés à d'importants enjeux socio-économiques et de développement durable.

Les moyens dont disposent les PTOM pour surveiller les activités humaines dans les zones placées sous leur juridiction, et en particulier dans leurs Aires Marines Protégées (AMP), apparaissent souvent très limités compte tenu de leurs étendues et de leur fragmentation, appelant à la recherche de solutions technologiques innovantes pour leur surveillance. La connaissance des technologies susceptibles d'être adaptées aux contextes locaux et régionaux apparaît toutefois encore lacunaire pour la plupart des gestionnaires en charge de ces espaces maritimes. Le contenu de cette étude cherche ainsi à répondre autant que possible à ce besoin d'information en proposant, sur la base d'un rapport en 3 volets :

- une **synthèse générale des contextes et activités maritimes (Volet 1)**, des dispositifs actuels de surveillance, et de la place occupée régionalement par les PTOM concernés, permettant de faire ressortir les principaux enjeux de surveillance ;
- une **revue complète des technologies (Volet 2)** adaptées à la surveillance et au suivi des activités humaines en mer, évaluées à travers des critères objectifs et synthétisées en fiches technologiques ;
- un outil d'**aide à la sélection de solutions technologiques (Volet 3)**, fondé sur une approche multicritères répondant aux questionnements des gestionnaires susceptibles d'utiliser ces technologies ;
- l'analyse d'une série de **cas d'étude permettant d'illustrer les possibles besoins de surveillance relatifs aux enjeux identifiés (Volet 3)**, et de les mettre en regard des solutions technologiques via l'utilisation de l'outil proposé.

### ■ VOLET 1

Le volet 1 a nécessité un important recueil d'informations, effectué à travers la consultation des gestionnaires d'espaces maritimes des 4 PTOM (questionnaire électronique), la réalisation d'entretiens avec les acteurs locaux et régionaux de la surveillance et avec les principales organisations régionales, et plus généralement la sollicitation de tout acteur susceptible de disposer d'informations pertinentes dans le cadre de la surveillance maritime.

Comme rappelé précédemment, les PTOM du Pacifique insulaire, à l'instar de nombreux pays et territoires de la région Pacifique, sont caractérisés par des espaces maritimes très vastes, une biodiversité marine exceptionnelle, des aires marines protégées (AMP) nombreuses et aux échelles multiples, avec une dynamique récente de création de très grandes AMP (représentant un cumul de plus de 7 millions de km<sup>2</sup> dont 5 millions de km<sup>2</sup> sont en instance de création). Ces PTOM sont par ailleurs caractérisés par des niveaux de population contrastés et des usages très variés du domaine maritime.

L'utilisation de technologies de surveillance apparaît systématique sur l'ensemble des PTOM dans le cadre des missions qui incombent aux Etats de rattachement et répondent à leurs obligations d'Etat côtier et d'Etat maritime, notamment vis-à-vis du contrôle des activités illégales (narcotrafic et pêche illicite). Les solutions utilisées font appels à la combinaison de dispositifs technologiques de positionnement (VMS<sup>1</sup>, AIS<sup>2</sup>, LRIT<sup>3</sup>) et de données issues d'imageries optiques et/ou radar satellitaire. Cette approche de surveillance est utilisée soit de façon exclusive (Pi) ou, lorsqu'ils existent, en complément des moyens de surveillance maritimes et aéroportés classiques (NC, PF, WF).

Les dispositifs technologiques de surveillance sont également utilisés en routine dans le cadre du suivi de la pêche hauturière, à travers le système réglementaire et obligatoire VMS qui est présent sur les navires des PTOM qui pratiquent cette activité. D'autres solutions technologiques sont depuis très récemment en cours de déploiement dans la région et dans les PTOM du Pacifique (E-Reporting et E-Monitoring System), permettant d'améliorer la fiabilité et la traçabilité des données, de lutter contre les pêches illégales, non-déclarées ou non réglementaires, et donc de contribuer au développement durable de la filière hauturière.

Le recours à la technologie pour la surveillance d'autres catégories d'activités telles que la pêche côtière et récifo-lagonaire, ou les activités touristiques et récréatives reste encore peu développé, bien que certaines technologies soient susceptibles de fournir des solutions aux défis que soulève leur surveillance.

Dans le cas de la pêche côtière et récifo-lagonaire, le suivi des activités reste encore essentiellement déclaratif et le déploiement de technologies dédiées est à l'heure actuelle anecdotique.

Concernant les activités récréatives et touristiques, leur caractère très divers, diffus, le grand nombre et/ou la faible taille des objets à surveiller rendent leur surveillance complexe. Celle-ci constitue toutefois un enjeu d'autant plus important que le niveau de pression par les populations locales et les flux touristiques est élevé. Les différentes formes d'occupation de l'espace et d'exploitation du milieu par l'homme engendrent en effet des interactions complexes pouvant mener à des conflits d'usages et à une dégradation de la qualité des milieux naturels.

## ■ VOLET 2

Ce volet décline une revue technologique détaillée et permettant de parcourir l'ensemble des solutions technologiques actuelles ou en développement pour la surveillance maritime. Cette revue, souhaitée didactique, est présentée de manière originale en reprenant l'architecture fondamentale des systèmes (dispositif de mesure, moyen(s) de transmission de la mesure, segment sol), afin de porter à connaissance et donner une meilleure compréhension des capacités et des limites de chaque technologie. Cette revue parcourt également les caractéristiques des observations à travers les notions de précision (thématique ou de positionnement), de temporalité, et d'emprise géographique. Elle détaille ensuite les technologies existantes et émergentes par grande thématique de surveillance : positionnement des bateaux (VMS, LRIT, AIS), systèmes imageurs (photos/vidéos, imageries géographiques), capteurs de mesures physiques (radar, acoustique), ou encore systèmes participatifs.

<sup>1</sup> *Vessel Monitoring System*

<sup>2</sup> *Automatic Identification System*

<sup>3</sup> *Long-Range Identification and Tracking System*

## ■ VOLET 3

Le croisement des contextes et enjeux avec la revue technologique a permis de produire un outil dédié, sous la forme d'un catalogue interactif susceptible d'être mis en œuvre de manière autonome par les gestionnaires. Cet outil, au format MS Excel©, permet l'identification objective de solutions technologiques optimales via la sélection d'un certain nombre de critères de surveillance.

Dans un second temps, afin de faciliter l'utilisation de l'outil et son appropriation, des cas d'étude correspondant aux problématiques étant apparues intéressantes et porteuses d'enjeux de surveillance représentatifs de la région ou des PTOM ont été proposés. Ces exemples permettent de montrer comment la formulation d'objectifs opérationnels peut conduire à identifier les mesures et observations requises, et donc les solutions technologiques correspondantes. A ce titre, deux exemples ont été approfondis afin d'illustrer le processus d'identification des technologies : le suivi de la fréquentation des espaces maritimes côtiers, et la surveillance des activités de whale watching.

L'ensemble constitué de l'outil et des cas d'étude permet de proposer une vision intégratrice, objective, et didactique susceptible de constituer une aide à l'expression des besoins et une aide à la décision auprès des gestionnaires.

En définitive, il apparaît que l'existence, le développement et l'émergence d'un grand nombre de technologies de surveillance offrent potentiellement de nombreuses réponses aux défis que posent le suivi et la surveillance des activités humaines en mer. Si la faisabilité technico-économique et la recherche d'un optimum vis-à-vis des moyens disponibles doivent être menées au cas par cas des situations, il est à prévoir que le rôle des technologies dans la surveillance maritime se développe rapidement et contribue à une gestion éclairée des espaces et en particulier des AMP.

Il convient parallèlement de rappeler que si les outils technologiques sont susceptibles d'étendre ou d'améliorer la surveillance des activités maritimes, elles ne doivent pas nécessairement occulter les dispositifs de suivi déjà en place sur la base de méthodologies conventionnelles. Concernant par exemple les activités de pêche, les composantes humaines liées à l'encadrement des filières par les services gestionnaires doivent sans nul doute rester le socle du suivi des activités, les technologies de surveillance intervenant alors davantage comme un renfort. C'est le cas également des activités récréatives et touristiques en zones côtières, pour lesquelles certains dispositifs de surveillance existant sont, au-delà de la surveillance au sens strict, des vecteurs de sensibilisation et d'éducation (ex. patrouilles de gardes-natures), et nécessitent d'être développés bien que ne faisant pas directement appel à des technologies avancées de surveillance. Pour d'autres activités (ex. narcotrafic, navigation commerciale), les technologies de surveillance auront davantage vocation à constituer la pièce maîtresse des dispositifs, permettant de satisfaire à des contraintes exigeantes de réactivité ou encore de couverture spatiale. A ce titre, la présente étude a été abordée de sorte à apporter aux gestionnaires les éléments objectifs nécessaires et suffisants pour que la sélection finale de solutions technologiques soit faite à la lumière de leurs propres critères et contraintes, qui apparaissent très variables selon les territoires.

# SOMMAIRE

■ <b>RÉSUMÉ</b>	5	III. <b>LES TECHNOLOGIES DE SUIVI/SURVEILLANCE DU POSITIONNEMENT DES BATEAUX</b>	85
■ <b>AVANT-PROPOS</b>	15	III.1. Principe général	85
I. <b>CONTEXTE DE L'ÉTUDE</b>	16	III.2. Les systèmes VMS	86
II. <b>OBJECTIFS</b>	17	III.3. Le LRIT	88
■ <b>VOLET 1 - CONTEXTE, DISPOSITIFS ACTUELS, ET PROBLÉMATIQUES DE SURVEILLANCE</b>	19	III.4. L'AIS	89
I. <b>APPROCHE DE TRAVAIL : CONSULTATIONS DES GESTIONNAIRES ET DES ACTEURS CONCERNÉS PAR LA SURVEILLANCE MARITIME</b>	20	IV. <b>LES SYSTÈMES IMAGEURS</b>	92
I.1. Consultations des gestionnaires	20	IV.1. Images et vidéos pour l'interprétation visuelle	92
I.2. Démarchage des acteurs et recherches documentaires complémentaires	21	IV.2. Imageries géographiques	95
II. <b>DES ESPACES MARITIMES À SURVEILLER</b>	22	V. <b>LES CAPTEURS DE MESURE DE PARAMÈTRES PHYSIQUES</b>	112
II.1. Un vaste espace maritime et côtier	22	V.1. Capteurs et type de mesures	112
II.2. Un océan de biodiversité	26	V.2. Vecteur utilisés	112
II.3. Des Aires marines protégées	29	V.3. Transmission des données	118
III. <b>ACTIVITÉS HUMAINES ET DISPOSITIFS ACTUELS DE SURVEILLANCE</b>	42	V.4. Traitements et segment sol	118
III.1. Sécurité des populations, géostratégie, activités illégales, sauvetage en mer	42	VI. <b>LES SYSTÈMES PARTICIPATIFS</b>	119
III.2. Les activités de pêche dans les pays et territoires du Pacifique insulaire	51	VI.1. e-Reporting	119
III.3. Le transport maritime	62	VI.2. Téléservice grand public	120
III.4. Tourisme et activités nautiques récréatives	66	VI.3. Coût de développement et d'entretien des systèmes participatifs	121
IV. <b>LES GRANDS ENJEUX DE SURVEILLANCE</b>	70	VII. <b>LES SYSTÈMES INTÉGRÉS</b>	122
■ <b>VOLET 2 - REVUE DES TECHNOLOGIES DE SURVEILLANCE</b>	75	■ <b>VOLET 3 - OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION ET CAS D'ÉTUDE POUR LE CHOIX DE TECHNOLOGIES ADAPTÉES</b>	125
I. <b>ARCHITECTURE DES TECHNOLOGIES DE SURVEILLANCE ET DE SUIVI</b>	76	I. <b>NOTICE D'UTILISATION DE L'OUTIL ISSU DE LA REVUE DES TECHNOLOGIES DE SURVEILLANCE</b>	126
I.1. Le dispositif de mesure	77	II. <b>CAS D'ÉTUDE ET EXEMPLES DE MISE EN ŒUVRE DE L'OUTIL</b>	129
I.2. Le mode de transmission	79	II.1. Identification des grands types de besoins potentiels à travers des cas d'étude	129
I.3. Le segment sol	80	II.2. Détails de mise en œuvre de l'outil pour deux exemples de cas d'étude	134
II. <b>CARACTÉRISTIQUES FONDAMENTALES DES MESURES ET OBSERVATIONS DANS LE CADRE D'UN SUIVI OU D'UNE SURVEILLANCE</b>	82	■ <b>BIBLIOGRAPHIE</b>	143
II.1. Précision des données	82	■ <b>ANNEXE</b>	149
II.2. Temporalité des données dans le cadre du suivi et de la surveillance	83		
II.3. Emprise géographique des mesures et couverture géographique des données	83		

# LISTE DES ILLUSTRATIONS

## FIGURES

Figure 1 : Localisation des 4 PTOM du Pacifique insulaire considérés dans l'étude et visualisation de leurs ZEE.	22	Figure 27 : Répartition géographique des licences de pêche côtière en Polynésie Française en 2016 (source : DRMM PF 2016).	58
Figure 2 : Principes internationaux de délimitation de l'espace maritime (source : Géoconfluences 2017).	24	Figure 28 : Localisation des zones où des actions de suivi technologique par E-Reporting (ER) et E-Monitoring (EM) ont été mise en place (source : SPC 2016).	59
Figure 3 : Limites administratives marines particulières de la Nouvelle-Calédonie (source : Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie).	25	Figure 29 : Capture d'écran de l'application TAILS du Programme des pêches océaniques de la CPS pour la saisie de données de pêche dans la zone de la WCPFC (source : SPC).	60
Figure 4 : Nombre d'espèces inscrites, par groupe taxonomique, sur la liste rouge de l'UICN pour les 22 pays et territoires du Pacifique insulaire (source : d'après Kinch et al. 2010).	27	Figure 30 : Traces AIS du trafic maritime dans le Pacifique Sud (source : www.marinevesseltraffic.com).	62
Figure 5 : Niveau de consommation en poissons (en kg/hab./an) dans les îles et territoires du Pacifique Insulaire (source : Bell et al. 2009). Les données HIES (Household Income and Expenditure Surveys) sont issues d'enquêtes de recensement ; les données SES (Socio Economic Surveys) sont issues d'enquêtes socio-économiques.	28	Figure 31 : Traces du AIS-OPT en 2017 à proximité de la Nouvelle-Calédonie (source : MRCC 2017).	63
Figure 6 : Objectifs du cadre 2014-2020 pour la conservation de la nature et les aires protégées dans la région du Pacifique insulaire, tel que mis en place par le PROE (source : d'après PROE 2015).	29	Figure 32 : Bateau de croisière Caledonian Sky au mouillage dans une réserve en Indonésie (Raja Ampat, mars 2017) et ayant impacté plus de 18 882 m <sup>2</sup> de récifs coralliens (source : www.blueocean.net).	64
Figure 7 : Carte des aires marines protégées de la région (source : SPREP). Lignes grises : limites des ZEE ; bleu clair : grandes aires marines protégées déclarée par l'Australie, le Commonwealth des Mariannes du Nord, les Îles Cook, Kiribati, la Nouvelle-Calédonie, la Nouvelle-Zélande, Palau, Pitcairn (Royaume-Uni) et les États-Unis ; points bleu foncé : présence d'aires marines protégées localisées au sein des différents pays et territoires.	30	Figure 33 : Nature des données potentiellement collectées et transmises par un AIS (source : d'après Serry et Lévêques. 2015).	65
Figure 8 : Carte extraite du projet d'Arrêté du Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie pour le classement des zones récifo-lagonaires du Parc Naturel Marin de la Mer de Corail en réserves intégrales ou en réserves naturelles. (source : Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie).	33	Figure 34 : Répartition du flux touristique aérien en 2016 entre les 17 pays et territoires du Pacifique insulaire (source : d'après South Pacific Tourism Organization).	66
Figure 9 : Typologie et nombre d'aires marines protégées en Nouvelle-Calédonie (la Grande AMP du parc de la mer de corail est incluse ici) (source : d'après ISEE 2016).	35	Figure 35 : Nombre cumulé de touristes en 2016 pour 17 pays et territoires du Pacifique insulaire, selon le mode de transport utilisé (source : d'après South Pacific Tourism Organization).	67
Figure 10 : Nombre d'aires marines protégées et nombre d'habitants par province en Nouvelle-Calédonie (hors zones UNESCO, parcs naturels et province des îles).	35	Figure 36 : Evolution du nombre de croisiéristes et de touchers de paquebots à Nouméa, Nouvelle-Calédonie (source : d'après ISEE).	68
Figure 11 : Typologie et nombre d'aires marines protégées (hors grandes AMP) en Polynésie Française (source : d'après Brugneaux et al. 2010 ; AFB 2018).	40	Figure 37 : Évolution du nombre de croisiéristes entre 1984 et 2009 en Polynésie française (source : d'après Blondy 2011).	68
Figure 12 : Nombre de réserves et nombre d'habitants par secteur en Polynésie.	41	Figure 38 : Evolution par saison du nombre d'engins motorisés par catégorie entre 2005 et 2013 (Gonson et al. 2016). En gris les données en nombre de jours et en blanc les données en nombre de week-end.	69
Figure 13 : Routes maritimes, identification des zones à enjeux de PTOM français du Pacifique insulaire (source : Anon 2015).	42	Figure 39 : Densité du trafic maritime total dans la région Pacifique Sud (source : SPREP 2014).	71
Figure 14 : Moyens de surveillance des Forces Armées en Nouvelle-Calédonie – ajoutons le bâtiment multi-missions (B2M) Entrecasteaux qui manque à l'image (source : FANC).	44	Figure 40 : Illustration de l'interaction des activités humaines en zone côtière (source : Le Tixerant 2004).	73
Figure 15 : Moyens de surveillance et d'intervention des services et administrations autres que celles des FANC disponibles en Nouvelle-Calédonie (source : FANC).	45	Figure 41 : Architecture standard des technologies de surveillance et de suivi.	76
Figure 16 : Interception de « blue boats » vietnamiens en infraction dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie par les Forces Armées (source : www.colsbleus.fr).	46	Figure 42 : à gauche, un satellite (vecteur) embarquant un radiomètre imageur (capteur) (source : d'après DigitalGlobe) ; à droite, drone haute altitude (vecteur) embarquant un appareil photographique (capteur) (source : Aces Flying High).	77
Figure 17 : Centre de fusion de l'information maritime du sein du centre maritime commun de Polynésie Française.	48	Figure 43 : A gauche, antenne de réception VHF du signal AIS (source : Comar SYSTEMS) ; à droite, station de réception directe d'images satellitaires (source : Panem et al. 2012).	79
Figure 18 : Délimitation de la ZEE et donc de la réserve marine des îles Pitcairn (source : The Pew Charitable Trusts).	49	Figure 44 : A gauche, système de réception sol de suivi des pêches sur smartphone (source : Mallalieu and Andrews 2014) ; à droite, centre de contrôle VMS (source : Trackwell VMS).	81
Figure 19 : Drone de surface (Wave glider de Liquid Robotics) utilisant l'énergie des vagues et solaire (source : Liquid Robotics).	50	Figure 45 : Données ponctuelles avec couverture géographique globale, exemple de l'AIS par satellite (source : SpaceNews Magazine).	84
Figure 20 : Photographie issue de la caméra du Wave Glider et transmise par satellite (source : Liquid Robotics).	50	Figure 46 : Exemples de différentes couvertures géographiques d'images satellitaires (source : BLUECHAM SAS).	84
Figure 21 : Diversité des activités de pêche côtière (Coastal fisheries) et hauturières (Oceanic fisheries) dans les pays et territoires du Pacifique insulaire (source : d'après CPS).	51	Figure 47 : Principe général des technologies de suivi des positions des bateaux (source : Seawatch).	85
Figure 22 : Contribution des différents types de pêche au volume total des captures pour les 22 pays et territoires du Pacifique insulaire (source : d'après Gillett 2016).	52	Figure 48 : Organisation du dispositif LRIT (source : Pole Star).	88
Figure 23 : Volume (en tonnes) des captures de pêche des pays et territoires du Pacifique insulaire (source : d'après Gillett 2016).	53	Figure 49 : Principe initial de l'AIS (source : United States Coast Guard Boating Safety).	89
Figure 24 : Illustration de la chaîne de surveillance des navires de pêche par VMS (source : www.fish.wa.gov.au).	54	Figure 50 : Carte de densité des signaux AIS et S-AIS en 2016 (source : OpenWeatherMap).	89
Figure 25 : Volume (tonnes) et valeurs (millions de FCFP) des captures de pêche et de la production aquacole dans les 4 PTOM européens du Pacifique (source : d'après Gillet 2016 avec une conversion sur la base d'un équivalent USD à 100 CFP).	55	Figure 51 : En haut, Gardian de l'AEM (Action de l'Etat en Mer) Nouvelle-Calédonie (source : Marine française) ; en bas à gauche, drone professionnel civil ; en bas à droite, drone militaire (source : Smith 2016).	93
Figure 26 : Illustration du port de pêche de Polynésie Française (gauche) et du quai des pêcheries du Port Autonome de Nouvelle-Calédonie (source : Port Autonome de Papeete et DAM de Nouvelle Calédonie).	57	Figure 52 : Vidéo d'un bateau acquise par la caméra d'un Wave Glider après détection acoustique (© Liquid Robotics).	94
		Figure 53 : Système EMS à bord d'un bateau de pêche (© Traceall Global).	94
		Figure 54 : A gauche, imagerie par radiomètre imageur ; à droite, imagerie par radar à synthèse d'ouverture (© ESA 2017).	95
		Figure 55 : Nombre et résolution spectrale du capteur Sentinel-2 MSI (d'après © ESA).	96
		Figure 56 : A gauche, détection d'un objet "minéral" sur l'eau par radiomètre imageur haute résolution ; au centre, reconnaissance d'un bateau par radiomètre imageur haute résolution (même résolution et même échelle que l'image de gauche) ; à droite, identification d'un catamaran à coque composite par imagerie très haute résolution superspectrale (© ESA 2017, © DigitalGlobe 2017, traitements BLUECHAM SAS).	97
		Figure 57 : A gauche, panache turbide après les fortes pluies de juillet 2013, Baie de Port Boisé (© DigitalGlobe 2013, traitements BLUECHAM SAS) ; à droite, estimation du phytoplancton à partir du radiomètre MODIS (© IRD, Dupouy et al. 2014).	97

## LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 58 : Principes des capteurs radar.	98
Figure 59 : Interaction du signal radar avec les cibles et polarisation du signal.	98
Figure 60 : A gauche, un minéralier détecté par le radar de Sentinel-1 à 25m (© ESA) ; à droite, un cargo observé par RADARSAT-2 Ultra Fine à 3m (© MDA).	99
Figure 61 : A gauche, détection d'une marée noire à partir d'image radar ENVISAT (© ESA) ; à droite détection des trains de vagues par ALOS PALSAR (© JAXA, traitements BLUECHAM SAS).	100
Figure 62 : A gauche, drone professionnel de moyenne endurance ; à droite, drone professionnel de longue endurance (source : Smith 2016).	101
Figure 63 : Le drone Qinetiq Zephyr 7 d'Airbus (source : ARS Technica).	101
Figure 64 : Plan de programmation Sentinel-1 (source : ESA).	104
Figure 65 : Plan de programmation Sentinel-2 (source : ESA).	104
Figure 66 : Landsat-8, première année d'acquisition (source : Ch. Hormann, imagico.de).	105
Figure 67 : Détection de bateaux (à gauche) et carte de fréquentation (à droite) réalisée à partir de la constellation Sentinel-2 (© ESA, Andreoli, Kinne, and Lille 2017).	105
Figure 68 : Mode de transmission des données satellitaires (sources : à gauche, European Space Agency ; au centre, BLUECHAM SAS ; à droite, BLUECHAM SAS).	107
Figure 69 : Exemple de détection automatique des bateaux à partir de données 30cm (© DigitalGlobe 2017, traitements BLUECHAM SAS).	109
Figure 70 : Exemple d'images SkySat traitée (Calibration, orthorectification et rehaussement du signal) © Planet Labs Inc.).	110
Figure 71 : Promotion du lancement de PAZ en mars 2018 (© Airbus).	111
Figure 72 : A gauche, les orbites polaires héliosynchrones des satellites Worldview, à droite les orbites de moyenne latitude des constellations Scout et Legion (source : DigitalGlobe).	111
Figure 73 : Radar de surface pour la surveillance côtière (© Kelvin Hughes).	112
Figure 74 : Principe du HFSWR ou radar HF (© DigiNext).	113
Figure 75 : Exemple de HFSWR Bistatique Stradivarius (© Diginext).	113
Figure 76 : Réseau volumétrique d'hydrophones (source : Marguer et al. 2013).	114
Figure 77 : Réseau d'antennes d'émission d'un radar HFSWR (© DigiNext).	115
Figure 78 : En haut, drone de surface eFolaga (Maguer et al. 2013), en bas Wave Glider Liquid Robotic (Manley 2008).	116
Figure 79 : Emplacement des capteurs sur un Wave Glider (source : Guyonnet 2016).	117
Figure 80 : Pêcheurs des îles Cook utilisant l'application TAILS d'e-Reporting de la CPS (© CPS "Tuna Catch Monitoring Enters the Electronic Age" 2017).	119
Figure 81 : Captures écran de l'application d'e-Reporting TAILS de la CPS pour la collecte de données pour la pêche au thon artisanale pour la WCPFC (© CPS).	120
Figure 82 : A gauche, application Themis (© CLS) ; à droite application web Qëhnelö (© BLUECHAM SAS).	122
Figure 83 : Capture d'écran des technologies identifiées suivant les modalités des paramètres principaux sélectionnés, pour le cas d'étude « suivi de la fréquentation en zone récifo-lagonaire » (objectifs et mesures requises du Tableau 25).	135
Figure 84 : Capture d'écran des modalités des paramètres secondaires des technologies identifiées sur la base des critères principaux : maturité, limites, coût, complexité et disponibilité des archives, pour le cas d'étude « suivi de la fréquentation en zone récifo-lagonaire » (objectifs et mesures requises du Tableau 25).	135
Figure 85 : Capture d'écran des technologies sélectionnées : disponibilité de mesures complémentaires, pour le cas d'étude « suivi de la fréquentation en zone récifo-lagonaire ».	136
Figure 86 : Capture d'écran des technologies identifiées suivant les modalités des paramètres principaux sélectionnés, pour le cas d'étude « whale watching » (objectifs et mesures requises du Tableau 26).	138
Figure 87 : Capture d'écran des modalités des paramètres secondaires des technologies identifiées sur la base des critères principaux : maturité, limites, coût, complexité et disponibilité des archives, pour le cas d'étude « whale watching » (objectifs et mesures requises du Tableau 27).	139
Figure 88 : Capture d'écran des technologies sélectionnées pour le cas d'étude « whale watching ».	140

## TABLEAUX

Tableau 1 : Surface terrestre, superficie de la ZEE et population des 22 pays et territoires du Pacifique insulaire (source : d'après Gillet 2017).	23
Tableau 2 : Découpage des compétences de gestion relatives à la pêche et à l'environnement dans les différents espaces maritimes des PTOM de l'étude.	25
Tableau 3 : Superficies récifales des PTOM européens de la région Pacifique (source : d'après Andréfouët et al. 2008).	26
Tableau 4 : Nombre indicatif d'espèces marines recensées en zones peu profondes (0-100m) (d'après Vendel et al. 2016 ; Churyard et al. 2016 ; Irving & Dawson. 2013). Le niveau de complétude est variable selon le territoire.	28
Tableau 5 : Nature, nombre et superficie des aires marines protégées dans les pays et territoires du Pacifique insulaires (source : d'après PIPA, avril 2018).	30
Tableau 6 : Haut : caractéristiques des grandes AMP des PTOM du Pacifique insulaire ; bas : descriptif des grandes AMP de la région du Pacifique insulaire (source : d'après www.mpatlas.org).	32
Tableau 7 : Recensement des aires de protection marine de Nouvelle-Calédonie (source : d'après ISEE 2016).	36
Tableau 8 : Recensement des aires de protection marine de Polynésie française (source : d'après Brugneaux et al., 2010 – AFB 2017).	38
Tableau 9 : Moyens de surveillance de l'AEM en Polynésie Française.	48
Tableau 10 : Volume (en tonnes) de production halieutique et de production aquacole des 4 PTOM européens du Pacifique (source : d'après Gillett 2016).	55
Tableau 11 : Détail du trafic international en 2017 pour la Nouvelle-Calédonie (source : d'après PANC & MRCC 2017).	63
Tableau 12 : Synthèse indicative des enjeux liés à la surveillance et/ou au suivi des activités humaines sur l'espace maritime des PTOM dans le contexte régional.	70
Tableau 13 : Familles de capteurs et capteurs utilisés pour le suivi et la surveillance maritime.	77
Tableau 14 : Paramètres techniques caractérisant les capteurs.	78
Tableau 15 : Paramètres techniques caractérisant les modes de transmission.	80
Tableau 16 : Paramètres techniques caractérisant le segment sol.	81
Tableau 17 : Relation entre résolution et couverture des images.	97
Tableau 18 : Relation entre résolution et couverture des images pour le capteur RADARSAT.	99
Tableau 19 : Principaux satellites ou constellations à acquisition systématique exploitables pour la surveillance des activités humaines en mer.	103
Tableau 20 : Principaux satellites ou constellations programmables et exploitables pour la surveillance des activités humaines en mer.	106
Tableau 21 : Prix publics des principaux satellites ou constellations programmables et exploitables pour la surveillance des activités humaines en mer.	106
Tableau 22 : Paramètres principaux et modalités relatifs aux besoins des gestionnaires pour l'identification des solutions technologiques.	127
Tableau 23 : Paramètres secondaires et modalités relatifs à l'affinement des besoins des gestionnaires pour l'identification des solutions technologiques.	128
Tableau 24 : Liste de cas d'études reprenant la problématique, les objectifs opérationnels à atteindre pour chaque cas conduisant à identifier les mesures et observations requises ainsi que sur les filtres correspondants à mettre en place au niveau de l'outil Excel de sélection des technologies. Ces éléments sont décrits suivant un triptyque : thématique (quoi), géographique (où), et temporelle (quand, à quelle fréquence, sous quels délais).	130
Tableau 25 : Objectifs, mesures requises et identification des modalités des critères à sélectionner sur la base des principaux paramètres, pour le cas d'étude « suivi de la fréquentation en zone récifo-lagonaire ».	134
Tableau 26 : Objectifs, mesures requises et identification des modalités des critères à sélectionner sur la base des principaux paramètres, pour le cas d'étude « whale watching ».	137



# AVANT-PROPOS

## I CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Cette étude, commanditée par l'Agence française pour la biodiversité (AFB), a été réalisée dans le cadre de l'activité n°2 du projet BEST 2.0 « Pacific Biodiversity Blue Belt ». La région couverte par ce projet comprend les quatre Pays et Territoires d'Outre-Mer (PTOM) européens suivants : la Polynésie française, la Nouvelle-Calédonie, Pitcairn, et Wallis & Futuna.

Les îles du Pacifique sont majoritairement des petits territoires dotés de Zones Economiques Exclusives (ZEE) recouvrant de larges espaces maritimes, et incluant souvent de nombreuses îles, îlots et récifs. Ces régions abritent de plus une biodiversité souvent exceptionnelle à l'échelle mondiale et doivent à ce titre faire l'objet de mesures de protection. C'est par exemple à ce titre qu'a récemment été créé le Parc Naturel de la Mer de Corail dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie, donnant lieu à l'un des plus vastes parcs marins au monde. De nombreux territoires insulaires outre-mer font cependant face à un manque de moyens et de capacités pour le suivi et la gestion de leurs Aires Marines Protégées (AMP, entendues ici comme l'ensemble des espaces maritimes gérés au sens large et pouvant contenir différents usages). Ces territoires ont besoin d'outils spécifiques de gestion, adaptés au contexte des communautés insulaires et aux niveaux de ressources disponibles.

La mise en œuvre d'une stratégie de gestion des AMP adaptée à chacun de ces territoires implique la surveillance et le suivi des activités humaines ayant un impact potentiel sur les écosystèmes marins, selon une approche spatialisée (particulièrement dans le cas des très grandes AMP). Les activités humaines les plus fréquentes dans les AMP de la région Pacifique, et concentrant donc une large part des enjeux de surveillance, sont les activités de pêche et de navigation (commerciale et plaisancière).

Des programmes de surveillance existent déjà actuellement à l'échelle régionale et locale dans la région Pacifique. Néanmoins, la connaissance des technologies de surveillance susceptibles d'être adaptées aux contextes locaux et régionaux apparaissait encore lacunaire et fragmentée pour la plupart des gestionnaires en charge des espaces maritimes. Notamment et à la demande des gestionnaires eux-mêmes, il manquait jusqu'à présent une synthèse des solutions technologiques de suivi et de surveillance qui permette de leur apporter une vision intégrée et détaillée des alternatives techniques dont ils sont susceptibles de disposer. Pour être opérationnelle, cette revue des solutions technologiques devait être mise en perspective des contextes et enjeux de gestion propres aux 4 PTOM ciblés par le projet, et proposer des cas d'étude concrets comme outils d'aide à la décision.

## II OBJECTIFS

Conformément aux attentes exprimées pour cette étude, le présent document est structuré en trois volets complémentaires :

- **Le premier volet** fournit aux échelles régionales et locales une synthèse du contexte, des politiques de surveillance et des activités maritimes pour chacun des 4 PTOM ciblés par l'étude (Polynésie française, Nouvelle-Calédonie, Pitcairn, Wallis & Futuna), permettant d'identifier le principaux enjeux et besoins pour la surveillance des activités humaines.
- **Le second volet** vise à fournir aux décideurs et aux gestionnaires concernés une revue claire et complète des technologies adaptées à la surveillance et au suivi des activités humaines en mer. Chacune des solutions technologiques étudiées est évaluée à l'aide d'une liste de critères appropriés qui sont synthétisés dans une fiche technologique. Ce travail est complété par la présentation d'un outil d'aide à la sélection de solutions technologiques développé sous MS Excel©, fondé sur une approche multicritère. Cet outil, qui a été présenté lors d'un atelier de travail organisé par l'AFB et le PROE en juillet 2018 à Nouméa, fait l'objet d'une description opérationnelle et détaillée dans le rapport.
- **Le troisième volet** se penche sur les principaux enjeux locaux et besoins de surveillance, retranscrits à travers plusieurs cas d'étude concrets. Ces cas d'étude seront mis en regard des solutions technologiques existantes de sorte à formuler un ensemble de recommandations concernant les solutions de surveillance.



# VOLET 1

## CONTEXTE, DISPOSITIFS ACTUELS, ET PROBLÉMATIQUES DE SURVEILLANCE

## I APPROCHE DE TRAVAIL : CONSULTATIONS DES GESTIONNAIRES ET DES ACTEURS CONCERNÉS PAR LA SURVEILLANCE MARITIME

En vue de proposer une vision pertinente et intégrée du contexte et des problématiques de surveillance, à mettre en perspective de la revue technologique présentée en volet 2, il s'est avéré primordial de pouvoir recueillir autant d'informations que possible auprès des acteurs de la surveillance maritime dans la région Pacifique.

Ce recueil d'information, réalisé en concertation avec l'AFB, a été conduit en 3 étapes menées simultanément :

- la consultation de l'ensemble des gestionnaires d'espaces maritimes des 4 PTOM considérés dans la présente étude, par l'intermédiaire d'un questionnaire électronique détaillé ;
- le démarchage et la réalisation d'entretiens avec les services support des gestionnaires (ex. : Action de l'Etat en Mer pour les 3 PTOM français), et avec les principales organisations régionales (ex. : Communauté du Pacifique) afin de recueillir des informations sur les stratégies déployées au niveau régional ;
- la prise de contact et la sollicitation à travers tout moyen utile (téléphonique, email) des autres acteurs et sources d'informations pertinentes dans le cadre de la surveillance maritime dans la région.

La liste des entités et organismes contactés au cours de ces étapes est présentée en Annexe 1. Elle a fait l'objet d'une validation collégiale partagée avec le PROE et l'AFB.

### I.1. CONSULTATIONS DES GESTIONNAIRES

Les services gestionnaires d'espace maritime au sein des 4 PTOM considérés dans cette étude ont été sollicités par le biais d'un questionnaire dédié. Ce questionnaire avait pour objectif de mieux connaître les dispositifs qu'ils opèrent actuellement pour la surveillance des activités humaines dans les eaux sous leur juridiction (et notamment dans leurs AMP), ainsi que leurs priorités et leurs besoins à ce sujet au regard de leurs objectifs de gestion.

Cette approche visait notamment à collecter de façon uniforme les informations nécessaires aux réflexions à mener dans la suite de l'étude.

Le questionnaire adressé aux gestionnaires sous la forme d'un formulaire en ligne (traduit en anglais dans le cas de Pitcairn) a été structuré en 8 sections :

- identité, service et fonction du service enquêté ;
- limite administrative de compétence sur l'espace maritime ;
- domaines techniques de compétence ;
- caractéristiques actuelles et superficies des AMP ;
- moyens de surveillance et de contrôle actuels et passés ;
- priorités et enjeux pour la surveillance des AMP ;
- usage actuel et planifiée des technologies de surveillance ;
- synergies interservices/inter-organismes ou régionales.

Le taux de retour des questionnaires s'est avéré relativement satisfaisant, 53% des services sollicités ayant répondu positivement (11 sur 21). Toutefois, peu de services ont choisi de renseigner le questionnaire dans sa totalité, et une part non-négligeable des retours s'est avérée partielle voire succincte dans quelques cas. En conséquence, il est apparu peu judicieux de chercher à réaliser des statistiques précises des réponses sur la base de retours trop lacunaires pour être représentatifs de l'ensemble des gestionnaires. En revanche, les retours approfondis réalisés par certains gestionnaires ont constitué des informations précieuses dans le cadre des réflexions menées sur les enjeux de surveillance.

Plus généralement, l'un des retours fortement exprimés à l'issue de la consultation par questionnaire a été la volonté de disposer d'un outil objectif, sous la forme d'une revue technologique munie de critères de sélection et pouvant être mise en œuvre de manière autonome par les gestionnaires. Il a été notamment rapporté que cet outil permettrait d'aider à l'expression des besoins spécifiques à chaque gestionnaire.

### I.2. DÉMARCHAGE DES ACTEURS ET RECHERCHES DOCUMENTAIRES COMPLÉMENTAIRES

L'ensemble des contacts (hors gestionnaires) identifiés conjointement avec l'AFB et le PROE ont été contactés indépendamment. Les acteurs considérés comme majeurs au sein des 4 PTOM ou à l'échelle régionale ont été rencontrés et consultés via des entretiens directs. Les autres acteurs ressources pertinents ont été sollicités par email ou par téléphone, avec un taux de retour positif significatif, ainsi qu'un volume d'informations recueillies très important et couvrant de nombreuses problématiques de surveillance.

Parallèlement et en complément du démarchage des acteurs de la surveillance, un travail approfondi de recherches documentaires a été réalisé, visant à compiler les principaux travaux pertinents pour la thématique de la surveillance maritime régionale et susceptibles de compléter les ressources déjà transmises par les acteurs contactés. La prospection documentaire a été aussi large que possible : articles scientifiques, rapports d'études, ouvrages, ou tout type de document pressenti comme utile aux réflexions menées.

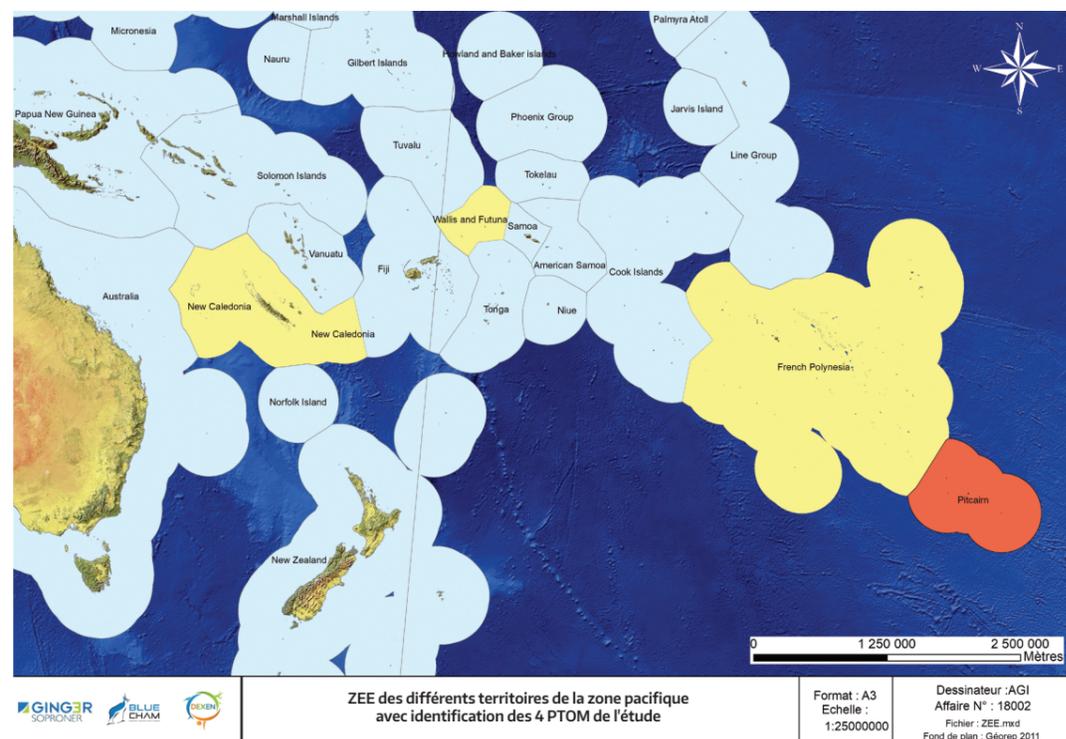
En écho aux retours des gestionnaires privilégiant une analyse objective des contextes et des technologies, et la production d'un outil de sélection multicritères en tant qu'aide à la décision, les résultats et réflexions présentés dans ce volet 1 doivent être compris comme étant la résultante des priorités et enjeux tels qu'exprimés directement par certains gestionnaires, tels que perçus lors des entretiens avec les autres acteurs de la thématique (ex. : Service de la Coopération Régionale et des Relations Extérieures de la Nouvelle-Calédonie, Communauté du Pacifique, Secretariat of the Pacific Regional Environment Programme, etc.), ou tels que déduits par l'intégration de l'ensemble des informations disponibles à l'issue de la phase de recueil de données.

## II DES ESPACES MARITIMES À SURVEILLER

### II.1. UN VASTE ESPACE MARITIME ET CÔTIER

#### II.1.1. Eléments de géographie des PTOM du Pacifique insulaire en Océanie

Parmi les 25 Pays et Territoires d'Outre-Mer (PTOM) que compte l'Union Européenne, la région Pacifique accueille trois territoires français (Polynésie française, Wallis & Futuna, et Nouvelle-Calédonie - en jaune sur la Figure 1) et un territoire britannique (les îles Pitcairn - en rouge sur la Figure 1).



**Figure 1 :** Localisation des 4 PTOM du Pacifique insulaire considérés dans l'étude et visualisation de leurs ZEE.

Ces 4 territoires appartiennent à la région du Pacifique appelée Océanie, constituée de quatre sous-régions : l'Australasie, la Mélanésie, la Polynésie et la Micronésie. Au total, ce sont plus de 16 états indépendants et 15 territoires qui occupent et se partagent ce vaste espace maritime. Ces territoires représentent une très grande diversité géographique, culturelle, socio-politique, et possèdent des niveaux de ressources très différents. La région dite du « Pacifique insulaire » est un sous-ensemble constitué de 14 pays indépendants et 8 territoires dont les caractéristiques en termes de superficie et de démographie sont rappelées au Tableau 1.

Les PTOM européens de l'Océanie présentent de vastes Zone Economiques Exclusives (ZEE) et une superficie cumulée de terres émergées peu importante (Tableau 1). Les contributions des ZEE de ces PTOM à la ZEE cumulée de leurs pays de rattachement respectifs sont significatives, et notamment pour la France où elles représentent plus des deux tiers de la ZEE nationale s'élevant à environ 11 millions de km<sup>2</sup>.

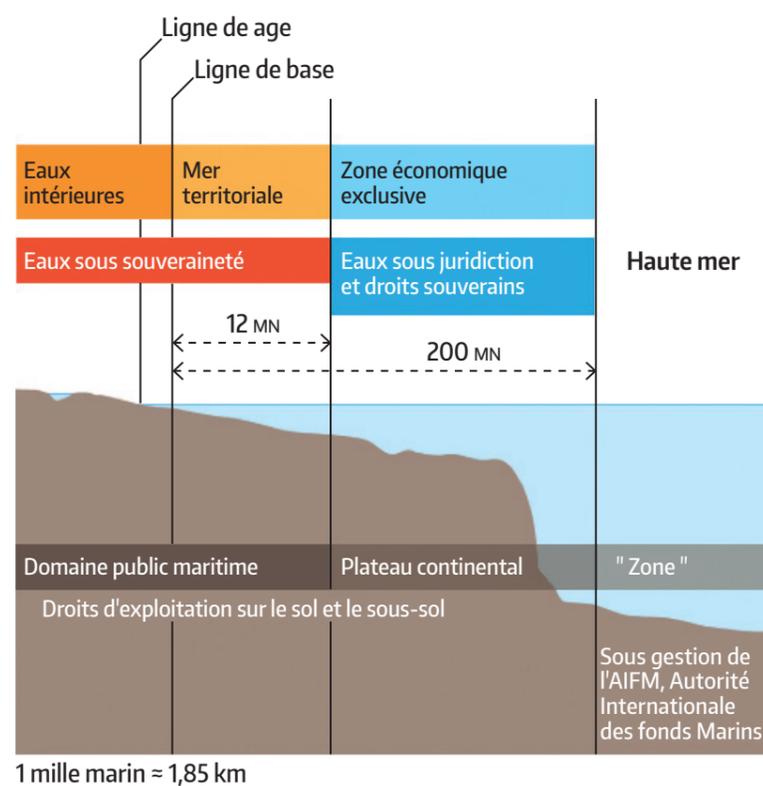
**Tableau 1 :** Surface terrestre, superficie de la ZEE et population des 22 pays et territoires du Pacifique insulaire (source : d'après Gillet 2017).

	Pays/Territoire	Surface terrestre (km <sup>2</sup> )	Surface de la zone des 200 milles (km <sup>2</sup> )	Population estimée (Juillet 2007)
PAYS INSULAIRES INDÉPENDANTS DU PACIFIQUE	Iles Cook	180	1 830 000	15 473
	Etats Fédérés de Micronésie	702	2 978 000	109 999
	Fidji	18 376	1 290 000	834 278
	Kiribati	726	3 550 000	93 707
	Iles Marshall	720	2 131 000	52 701
	Nauru	21	320 000	9 930
	Niue	258	390 000	1 587
	Palau	500	629 000	20 162
	Papouasie Nouvelle-Guinée	461 690	3 120 000	6 332 751
	Samoa	2 934	120 000	179 478
	Iles Salomon	29 785	1 340 000	503 918
	Tonga	696	700 000	102 264
	Tuvalu	26	900 000	9 701
	Vanuatu	12 189	680 000	227 146
TERRITOIRES INSULAIRES DU PACIFIQUE	Samoa Américaines	197	390 000	65 029
	Polynésie française	3 521	5 030 000	260 072
	Guam	549	218 000	173 995
	Nouvelle-Calédonie	19 103	1 740 000	242 561
	Mariannes du Nord	475	1 823 000	64 050
	Iles Pitcairn	5	800 000	54
	Tokelau	12	290 000	1 170
Wallis & Futuna	124	300 000	15 369	

### II.1.2. Répartition des compétences et identification des gestionnaires concernés par la surveillance et le suivi des activités humaines dans des AMP (PTOM européens du Pacifique)

Les ZEE (Figure 2) sont une création juridique récente, déterminée par la troisième conférence de l'Organisation des Nations Unies sur le Droit de la Mer, lors de l'adoption de la convention de Montego Bay (10 décembre 1982). Le contrôle d'une ZEE donne des droits tels que celui d'en exploiter les ressources, mais également des devoirs, parmi lesquels la préservation de l'environnement et les opérations de recherche et de secours en mer.

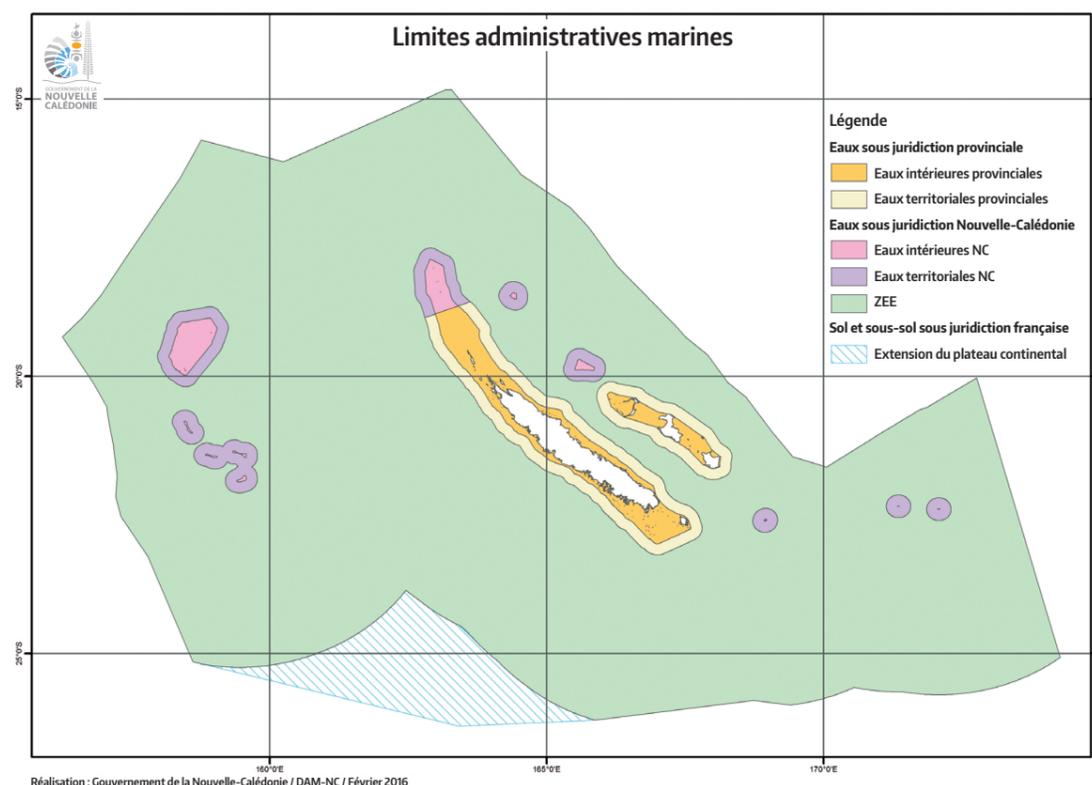
Dans les PTOM, les compétences en matière d'environnement, de ressources marines et de pêche sont gérées à plusieurs échelles : l'Etat (France et Royaume-Uni) exerce les compétences relevant de conventions internationales, de la police des pêches et de la surveillance maritime. Généralement, les gouvernements des PTOM sont en charge de la réglementation et de l'exercice des droits d'exploration, d'exploitation de gestion et conservation des ressources naturelles biologiques et non biologiques sur la totalité de leur espace maritime.



**Figure 2 : Principes internationaux de délimitation de l'espace maritime** (source : Géoconfluences 2017).

En Nouvelle-Calédonie (Figure 3), le partage des compétences sur l'espace maritime présente un niveau de découpage supplémentaire, où les provinces (province Nord, province Sud et province des îles Loyauté) sont chargées des réglementations et de l'exercice des droits d'exploration, d'exploitation, de gestion et de conservation des ressources naturelles biologiques et non-biologiques sur le domaine public maritime provincial qui comprend les eaux intérieures et les eaux surjacentes de la mer territoriale (Figure 2).

Les principaux gestionnaires concernés par la surveillance et le suivi des activités humaines relatives à la pêche et à l'environnement dans les différents espaces maritimes sont rappelés au Tableau 2, en fonction des principaux champs de compétence.



**Figure 3 : Limites administratives marines particulières de la Nouvelle-Calédonie** (source : Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie).

**Tableau 2 : Découpage des compétences de gestion relatives à la pêche et à l'environnement dans les différents espaces maritimes des PTOM de l'étude.**

	Nouvelle-Calédonie			Polynésie française	Wallis & Futuna	Pitcairn	
	Gouvernement	Province Nord	Province Sud	Province des îles Loyauté			
Zone de compétence	ZEE	DPM			ZEE+DPM	ZEE+DPM	ZEE+DPM
Pêche	Direction des affaires maritimes (DAM)	Direction du développement économique et de l'environnement (DDEE)	Direction du développement rural (DDR)	Direction de l'économie intégrée (DEI)	Direction des ressources marines et minières (DRMM)	Service de l'agriculture, de la forêt et de la pêche	Government of Pitcairn Islands, Conservation & Natural Resources Division
Environnement			Direction de l'environnement (DENV)	Direction de l'environnement (DE)			

## II.2. UN OCÉAN DE BIODIVERSITÉ

En parallèle de sa vaste étendue, cette région du Pacifique insulaire contient environ 200 îles hautes et quelques 2 500 îles basses et atolls. La taille des îles augmente globalement d'Est en Ouest, la Papouasie-Nouvelle-Guinée étant la plus occidentale et présentant la superficie terrestre la plus importante (Tableau 1). La plupart de ces îles émergent abruptement de l'océan profond et présentent un plateau continental peu développé.

La géomorphologie des récifs coralliens qui sont le plus souvent associés à ces îles est très variable : récifs frangeants, récifs réticulés, récifs barrière délimitant des zones lagunaires, atolls (restes du récif de barrière d'îles qui se sont par la suite affaissés). Toutefois certaines îles de la région, pour les plus récentes, ne possèdent pas ou peu de formations coralliennes. Similairement, les écosystèmes de mangroves, largement répartis dans la région, jouent un rôle structurant fort au niveau de l'espace marin côtier, en particulier dans le cas des grandes îles et des îles hautes, et constituent un habitat primordial pour de nombreuses espèces marines et notamment les poissons.

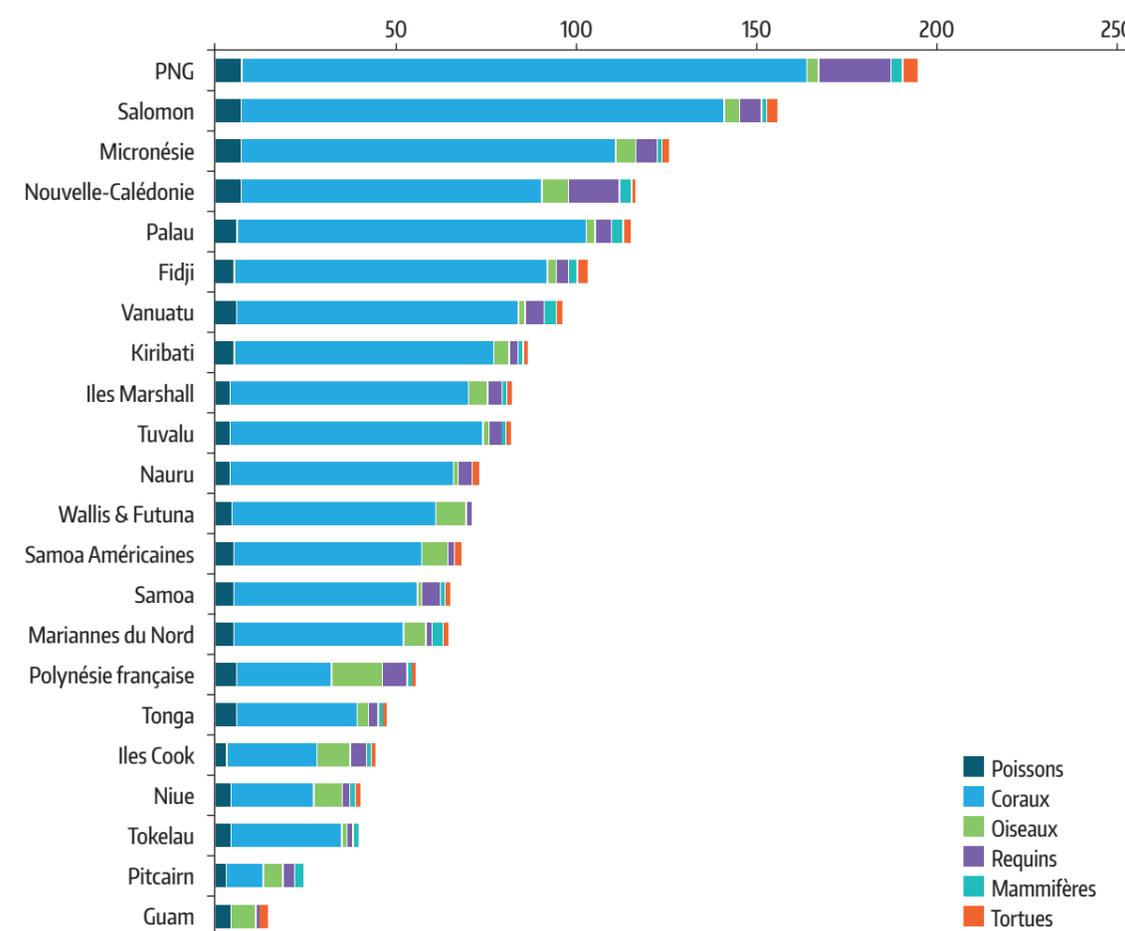
Les PTOM présentent des superficies récifales remarquables, qui constituent un patrimoine naturel à préserver et à gérer vis-à-vis des pressions anthropiques à différentes échelles (des activités locales aux changements climatiques globaux). Le Tableau 3 présente les superficies récifales de chaque PTOM et leurs proportions relatives vis-à-vis des terres émergées.

En lien entre autres avec une omniprésence des écosystèmes coralliens, ces territoires se caractérisent par une biodiversité marine et terrestre exceptionnelle. Le nombre des espèces inscrites sur la liste rouge de l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) par grands groupes reflète le caractère remarquable de cette biodiversité (Figure 4).

**Tableau 3 : Superficies récifales des PTOM européens de la région Pacifique** (source : d'après Andréfouët et al. 2008).

	Pitcairn	Polynésie Française	Nouvelle Calédonie	Wallis & Futuna
Superficie récifale (km <sup>2</sup> )	932	3 000	4 573	425
Terre émergées (km <sup>2</sup> )	47	3 660	18 575	142
Ratio surfacique Récifs/Terre	19,8	0,8	0,2	3,0

**Figure 4 : Nombre d'espèces inscrites, par groupe taxonomique, sur la liste rouge de l'UICN pour les 22 pays et territoires du Pacifique insulaire** (source : d'après Kinch et al. 2010).



Selon les données disponibles (niveaux de complétude variables selon le lieu et le taxa, Tableau 4), la Nouvelle-Calédonie présente la diversité d'organismes marins la plus élevée pour la majorité des taxons. La Polynésie Française possède une diversité également élevée et largement supérieure à celle observée à Wallis & Futuna ou à Pitcairn. Il est cependant probable que ces deux territoires n'aient pas historiquement fait l'objet d'efforts d'inventaires de biodiversité aussi importants qu'en Nouvelle-Calédonie ou en Polynésie Française, comme le montre le niveau de complétude plus faible à Wallis & Futuna.

Pour les populations du Pacifique insulaire, les ressources vivantes marines occupent généralement une place essentielle dans l'alimentation, la culture, l'économie et les loisirs. Cette dépendance forte aux ressources marines est largement illustrée par le niveau élevé de consommation en poissons des îles et territoires du Pacifique Insulaire (Figure 5), par comparaison aux niveaux de consommation observés dans les pays continentaux tels que l'Australie (environ 8 kg/hab./an, FAO 1997).

**Tableau 4 :** Nombre indicatif d'espèces marines recensées en zones peu profondes (0-100m) (source : d'après Vendel et al. 2016 ; Churyard et al. 2016 ; Irving & Dawson. 2013). Le niveau de complétude est variable selon le territoire.

	Wallis & Futuna	Nouvelle Calédonie	Polynésie	Pitcairn
Poissons	700	2 390	1 180	422
Echinodermes	29	293	308	62
Crustacés - Décapodes	137	920	741	95
Crustacés - Autres		615	257	
Mollusques	340	2 500	1 782	609
Scléactiniaires	183	380	213	
Algues	181	507	327	86
Eponges		160	119	15

Niveau de complétude : ■ > 75% ■ 50 - 75% ■ 25 - 50% ■ < 25%

**Figure 5 :** Niveau de consommation en poissons (en kg/hab./an) dans les îles et territoires du Pacifique Insulaire (source : d'après Bell et al. 2009). Les données HIES (Household Income and Expenditure Surveys) sont issues d'enquêtes de recensement ; les données SES (Socio Economic Surveys) sont issues d'enquêtes socio-économiques.

Pays et Territoires Insulaires du Pacifique	HIES			SES
	National	Urbain	Rural	Côtier (± ET)
<b>Mélanésie</b>				
Fidji	20,7	15,0	25,3	113,0 ± 6,18
Nouvelle-Calédonie <sup>a</sup>	25,6	10,7	54,8	43,2 ± 3,16
Papouasie Nouvelle-Guinée	13,0	28,1	10,2	53,3 ± 2,29
Iles Salomon	33,0	45,5	31,2	118,3 ± 3,98
Vanuatu	20,3	19,3	20,6	29,9 ± 3,10
<b>Micronésie</b>				
Etats Fédérés de Micronésie	69,3	67,3	76,8	96,0 ± 6,36
Kiribati	62,2	67,3	58,0	115,3 ± 5,32
Nauru <sup>b</sup>	55,8			62,3 ± 2,78
Palau	33,4	27,8	43,3	78,6 ± 7,91
<b>Polynésie</b>				
Iles Cook	34,9	24,8	60,9	78,5 ± 4,90
Polynésie française	70,3	52,2	90,1	60,9 ± 4,16
Niue <sup>b</sup>	79,3			49,5 ± 2,01
Samoa	87,4	45,6	98,3	94,1 ± 4,35
Tonga <sup>b</sup>	20,3			84,6 n/a
Tuvalu	110,7	68,8	147,4	145,5 ± 5,45
Wallis & Futuna <sup>b</sup>	74,6			56,2 ± 5,13

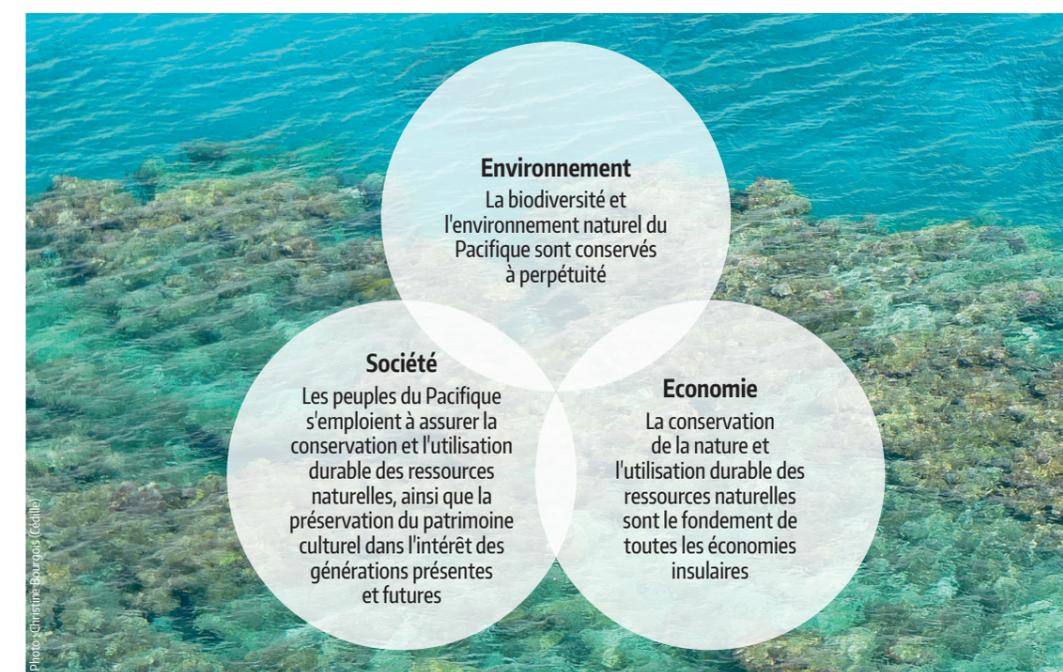
## II.3. DES AIRES MARINES PROTÉGÉES

### II.3.1. Grandes aires marines protégées des pays et territoires du Pacifique Insulaire

La conservation des ressources et milieux marins via les aires protégées dans la région du Pacifique insulaire constitue un enjeu majeur relayé par le Programme Régional Océanien pour l'Environnement (PROE, [www.sprep.org](http://www.sprep.org)), notamment à travers un cadre d'actions sur la période 2014-2020 qui émane de la 9<sup>e</sup> conférence du Pacifique insulaire de décembre 2013. Ses objectifs (Figure 6) s'inspirent des rôles fondamentaux que la biodiversité et des écosystèmes sains et résilients jouent en :

- assurant la sécurité alimentaire des populations insulaires du Pacifique ;
- soutenant leurs aspirations à un développement durable ;
- allant à l'encontre des effets environnementaux négatifs des changements climatiques et anthropiques, de même que des phénomènes extrêmes auxquels le Pacifique est particulièrement vulnérable.

Le PROE reconnaît également la nécessité de renforcer la coordination et la coopération entre les partenaires et acteurs de la conservation dans la région, et encourage les synergies d'action entre les nombreux cadres de conservation internationaux et régionaux mis en œuvre dans le Pacifique.



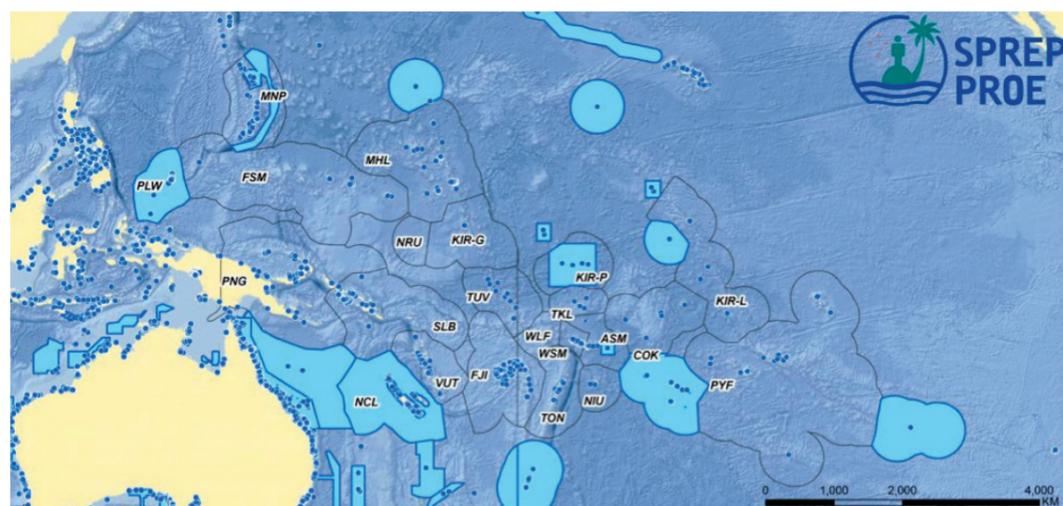
**Figure 6 :** Objectifs du cadre 2014-2020 pour la conservation de la nature et les aires protégées dans la région du Pacifique insulaire, tel que mis en place par le PROE (source : d'après PROE 2015).

Parmi les mesures de gestion possibles, les aires protégées constituent pour les pays et territoires du Pacifique Insulaire des outils majeurs au service de la conservation de la biodiversité. Le plan de travail pour la conservation de la nature et les aires protégées dans la région du Pacifique insulaire prévoit<sup>4</sup> que d'ici à 2020, au moins 17 % des zones terrestres et des eaux intérieures, et 10 % des zones marines et côtières y compris les zones qui sont particulièrement importantes pour la diversité biologique et les services écosystémiques, soient conservées au moyen de réseaux écologiquement représentatifs et interconnectés d'aires protégées gérées efficacement et équitablement (Objectif 11).

<sup>4</sup> [http://www.sprep.org/attachments/Publications/BEM/Framework\\_Nature\\_Cons\\_Prot\\_Areas\\_PIR\\_2014\\_2020.pdf](http://www.sprep.org/attachments/Publications/BEM/Framework_Nature_Cons_Prot_Areas_PIR_2014_2020.pdf)

Le portail des aires protégées du Pacifique insulaire du PROE (PIPAP : [www.pipap.sprep.org](http://www.pipap.sprep.org)) recense l'ensemble des aires protégées marines et terrestres des pays et territoires du Pacifique membres du PROE : Samoa américaines, Commonwealth des Îles Mariannes du Nord, Îles Cook, États fédérés de Micronésie, Fidji, Polynésie française, Guam, Kiribati, République des Îles Marshall, Nauru, Nouvelle-Calédonie, Niue, Palau, Papouasie-Nouvelle-Guinée, Samoa, Îles Salomon, Tokelau, Tonga, Tuvalu, Vanuatu, et Wallis & Futuna. Le PROE compte également cinq états membres : l'Australie, la France, la Nouvelle-Zélande, le Royaume-Uni et les États-Unis d'Amérique.

A l'heure actuelle, 708 aires protégées terrestres et marines (Tableau 5), couvrant environ 2,2 millions de km<sup>2</sup>, sont identifiées sur le portail PIPAP. Notamment, 97% de la superficie protégée correspond à des aires marines (Figure 7). Ce constat est notamment à relier à l'existence d'aires marines protégées de très grandes tailles. En effet, plusieurs pays et territoires tels que l'Australie, le Commonwealth des Mariannes du Nord, les Îles Cook, Kiribati, la Nouvelle-Calédonie, la Nouvelle-Zélande, Palau, Pitcairn (Royaume-Uni) et les États-Unis ont désigné une grande partie des eaux sous leur juridiction comme étant une aire marine protégée (Figure 7).



**Figure 7 :** Carte des aires marines protégées de la région (source : SPREP). Lignes grises : limites des ZEE ; bleu clair : grandes aires marines protégées déclarée par l'Australie, le Commonwealth des Mariannes du Nord, les Îles Cook, Kiribati, la Nouvelle-Calédonie, la Nouvelle-Zélande, Palau, Pitcairn (Royaume-Uni) et les États-Unis ; points bleu foncé : présence d'aires marines protégées localisées au sein des différents pays et territoires.

**Tableau 5 :** Nature, nombre et superficie des aires marines protégées dans les pays et territoires du Pacifique insulaires (source : d'après PIPA, avril 2018).

	Nombre de réserves	Superficie (km <sup>2</sup> ) cumulée
Terrestres	158	27 337 km <sup>2</sup>
Marines et Terrestres	204	35 774 km <sup>2</sup>
Marines	346	2 161 088 km <sup>2</sup>

A l'exception de Wallis & Futuna, tous les PTOM du Pacifique insulaire ont mis en place ou ont en projet de grandes aires marines protégées ou gérées (Tableau 6). Ces grandes zones, dont le statut de protection n'est pas à l'heure actuelle totalement arrêté pour les PTOM rattachés à la France, viennent en supplément des nombreuses aires marines de tailles plus conventionnelles (voir chapitre II.3.2). Ainsi concernant les pays cibles de cette étude :

- En Nouvelle-Calédonie, le Gouvernement a créé en avril 2014 le Parc Naturel de la Mer de Corail (PNMC), correspondant à l'ensemble des espaces maritimes placés sous sa responsabilité, à savoir l'ensemble de la ZEE et des zones récifales éloignées (qui, s'agissant d'eaux intérieures et territoriales, sont enclavées dans la ZEE sans en faire juridiquement partie, cf. Figure 3). Avec 1 291 000 km<sup>2</sup>, il s'agit de la plus grande aire marine protégée française. La mise en place de différents statuts de protection et de gestion au sein du PNMC est en cours, comme l'illustrent plusieurs projets d'Arrêtés qui visent entre autres à classer en réserves naturelles (21 000 km<sup>2</sup>) ou intégrales (7 000 km<sup>2</sup>, Figure 8) la totalité des zones récifo-lagonaires comprises dans le Parc (projets d'Arrêtés soumis à consultations publiques en juin-juillet 2018).
- En Polynésie Française le gouvernement a confirmé, à l'occasion du sommet de l'Océan Pacifique à Hawaii en septembre 2016, puis lors de la conférence des Nations Unies à New York en juin 2017, son souhait de vouloir créer la plus grande Aire Marine Gérée du monde de plus de 5 millions de km<sup>2</sup> sur la ZEE polynésienne d'ici 2020, baptisé Tai Nui Atea ("le vaste océan"). La requalification de la ZEE en périmètre de gestion participe au changement de perspectives amorcé depuis quelques années dans la région océanienne. Cette stratégie semble également mettre en suspend les deux projets de grande AMP qui étaient en cours dans les Marquises (700 000 km<sup>2</sup>) et dans les Australes (1 million de km<sup>2</sup>).
- A Pitcairn, la totalité de la ZEE est classée en réserve intégrale depuis 2016 à l'exception des activités de pêches non-professionnelles qui sont autorisées dans la mer territoriale de Pitcairn (voir chapitre III.1.2).

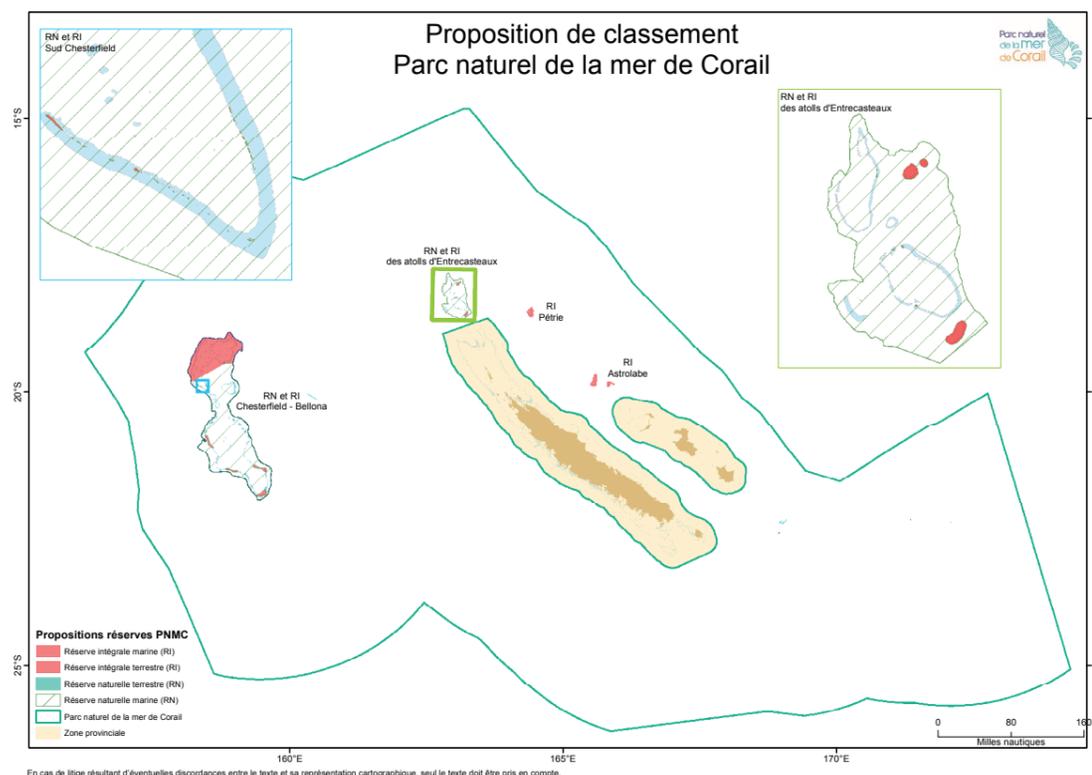
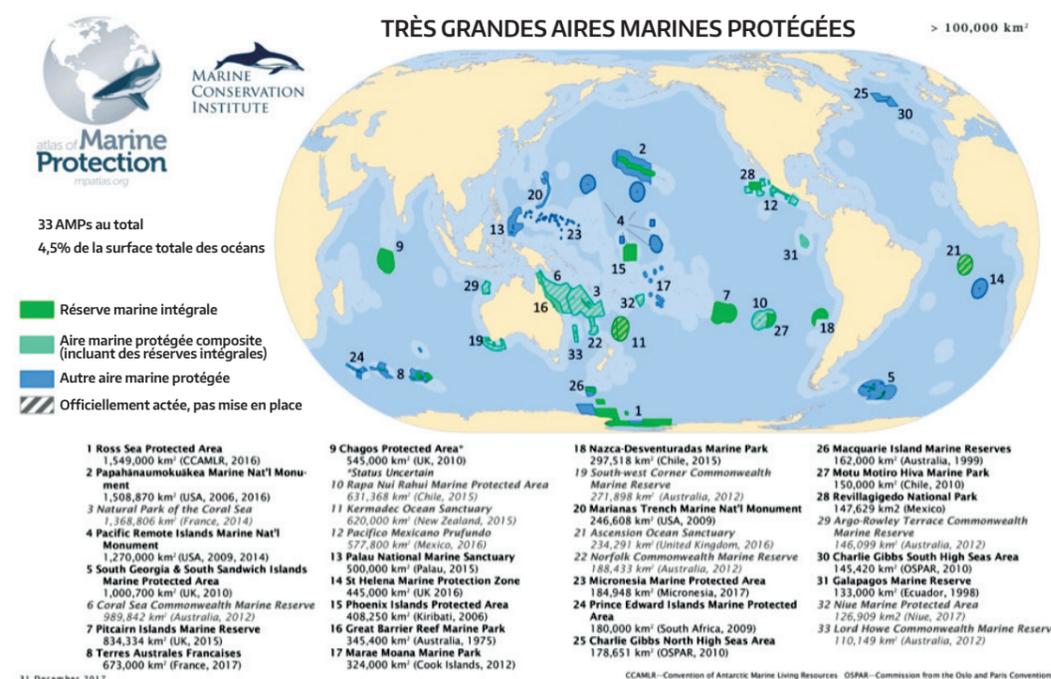
Il convient également de noter l'engagement de la Nouvelle-Calédonie et de la Polynésie Française qui, comme plusieurs pays de la région, ont désigné leurs eaux comme sanctuaire pour la protection des requins respectivement depuis 2013 et 2012 (Ward-Paige 2017).

La surveillance de ces AMP de grande taille (i.e. > 100 000 km<sup>2</sup>) constitue un défi évident de gestion. En effet le maintien d'une présence de terrain régulière apparaît financièrement prohibitif et logistiquement irréaliste. Une approche collaborative qui implique activement l'ensemble des gestionnaires sur la base d'accords bilatéraux, de retours d'expériences partagés, mais également de mise en commun de moyens tant dans la recherche scientifique que dans la surveillance apparaît comme une nécessité (Friedlander et al. 2016). Cette nécessité a notamment conduit à l'émergence d'un réseau fédérant les gestionnaires de 10 pays dont la superficie des AMP cumule environ 11 millions de km<sup>2</sup> (<http://bigocceanmanagers.org>).

L'utilisation de technologies émergentes telles que détaillées dans la synthèse technologique utilisant la télédétection, les satellites ou les drones offrent des solutions potentielles aux défis de surveillance que posent ces grandes réserves. Dès lors que des solutions technologiques auront démontré leur faisabilité technico-économique, leur utilisation en routine dans le cadre d'une surveillance opérationnelle pour la gestion des AMP ne pourra que croître et se développer.

**Tableau 6 :** Haut : caractéristiques des grandes AMP des PTOM du Pacifique insulaire ; bas : descriptif des grandes AMP de la région du Pacifique insulaire (source : d'après www.mpatlas.org).

Année	PTOM	Nom grande AMP	Superficie (km <sup>2</sup> )	Remarque	% protégé	Rang mondial
2017	Polynésie française	Te Tai Nui Atea	5 000 000	Pas légalement créée	A définir	1/33
2016	Pitcairn	Pitcairn Islands Marine Reserve	834 334	Décret gouvernemental septembre 2016	100	8/33
2014	Nouvelle-Calédonie	Parc naturel de la mer de Corail	1 291 000	Arrêté gouvernement mars 2018	En cours de définition	4/33



**Figure 8 :** Carte extraite du projet d'Arrêté du Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie pour le classement des zones récifo-lagonaires du Parc Naturel Marin de la Mer de Corail en réserves intégrales ou en réserves naturelles (source : Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie).

### II.3.2. Une large gamme d'aires marines protégées de dimensions plus restreintes

#### II.3.2.1. Nouvelle-Calédonie

##### II.3.2.1.1. Typologie des AMP

Il existe en Nouvelle-Calédonie 5 types d'aires de protection marines (hors province des îles Loyauté qui jouit du statut de « Réserve foncière intégrale »), complétés par une zone inscrite au patrimoine mondial de l'UNESCO (Tableau 7 et Figure 9).

##### ■ Les réserves naturelles intégrales ou réserves de nature sauvage

Elles sont au nombre de 7 et ont été implantées en vue d'empêcher tout impact lié aux activités humaines. L'accès à ces réserves est strictement interdit. Les objectifs de gestion poursuivis dans une réserve intégrale sont, selon les termes de la province Sud :

- la préservation des écosystèmes, des biotopes et des espèces dans leur état naturel ;
- le maintien des ressources génétiques dans un état dynamique et évolutif ;
- le maintien des processus écologiques établis ;
- la sauvegarde des éléments structurels du paysage et des formations géologiques ou géomorphologiques ;
- la conservation des milieux naturels exemplaires à des fins d'études, de recherches scientifiques et de surveillance continue de l'environnement.

### ■ Les réserves naturelles

Elles sont au nombre de 12 et ont été implantées afin de permettre le maintien, la conservation, la réhabilitation d'espèces menacées, endémiques ou emblématiques, et la restauration, voire la reconstitution d'habitats. Elles sont accessibles au public et des aménagements légers peuvent y être réalisés à des fins de sensibilisation ou d'éducation.

### ■ Les aires de gestion durable des ressources (AGDR)

Elles sont au nombre de 10 et ont été implantées afin de permettre de concilier la protection durable de certains caractères écologiques et de la diversité biologique avec le développement d'activités compatibles avec cet objectif de protection durable. Elles sont dotées d'un plan de gestion déterminant les mesures de protection, de sensibilisation, de mise en valeur et de développement durable à mettre en œuvre dans l'aire.

Les objectifs de gestion poursuivis dans une aire de gestion durable des ressources sont les suivants, selon les termes de la province Sud :

- assurer la protection et le maintien à long terme de la diversité biologique et des autres valeurs naturelles, culturelles ou paysagères des espaces considérés ;
- promouvoir des modes de gestion durables, notamment traditionnels ;
- protéger le capital de ressources naturelles contre toute forme d'aliénation engendrée par d'autres formes d'utilisations de l'espace susceptibles de porter préjudice à la diversité biologique de la région ;
- contribuer au développement économique local et aux activités de découvertes durables et de tourisme adaptées.

### ■ Les Parcs Provinciaux

Ils sont au nombre de 2 et ont été implantés :

- pour la préservation des espèces végétales ou animales, des biotopes ou des sites, des écosystèmes ou des processus et fonctions écologiques qu'ils abritent ;
- dans un objectif éducatif, récréatif ou culturel.

Les objectifs de gestion de ces parcs sont de maintenir toutes les fonctions écologiques, la diversité, les communautés biologiques et d'encadrer les activités sur le site afin de préserver les processus et l'intérêt écologiques en prenant en compte les besoins des populations locales.

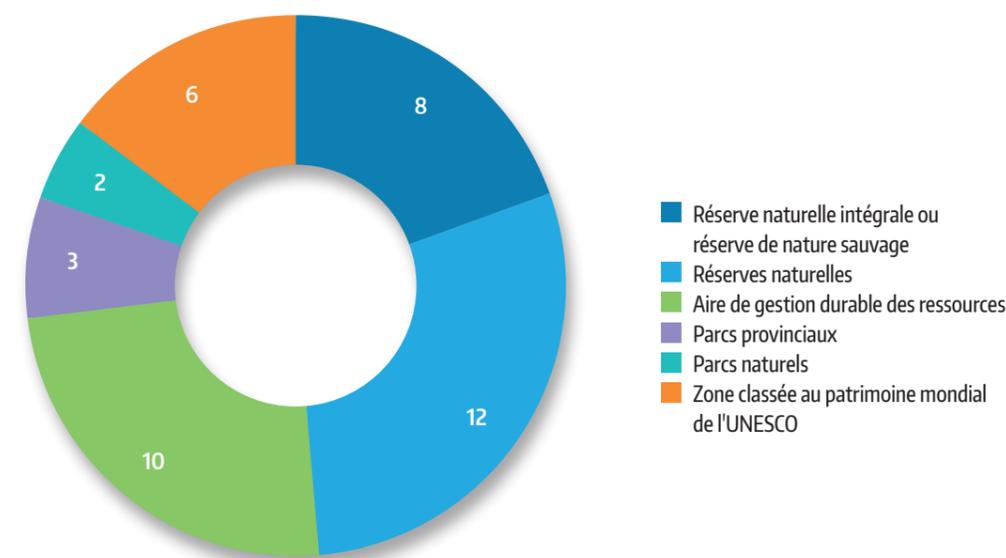
Ils sont dotés d'un plan de gestion déterminant les mesures de protection, de sensibilisation et de mise en valeur à y mettre en œuvre.

### ■ Les Parcs Naturels

Ils sont au nombre de 2 et ont été créés par le gouvernement Calédonien afin de protéger la biodiversité exceptionnelle de l'espace maritime Calédonien, tout en permettant un développement économique responsable et durable. Cette rubrique intègre ici la grande AMP constituée par le parc de la mer de corail ainsi que le parc des atolls d'Entrecasteaux. Ces parcs contribuent à l'atteinte de l'objectif n° 11 du Plan stratégique pour la diversité biologique signé en 2010 à Aichi, qui est de protéger, d'ici à 2020, au moins 10% des zones marines.

### ■ Les zones inscrites au patrimoine mondial de l'UNESCO

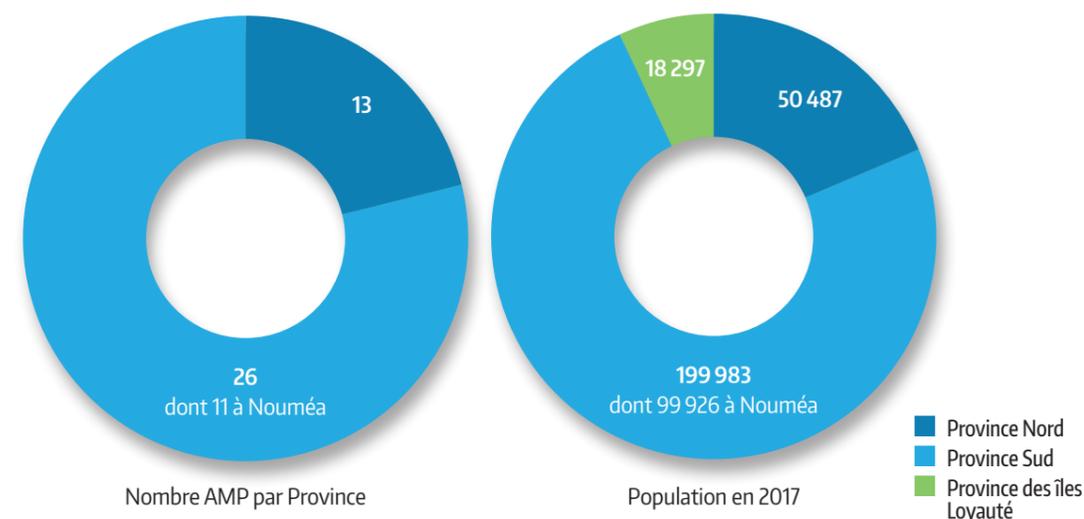
En 2008, 1,57 millions d'hectare de récifs Calédoniens ont été inscrits au patrimoine mondial par l'UNESCO. Cette surface est décomposée en six zones réparties sur l'ensemble du territoire. Des comités de gestion participative ont été instaurés afin de préserver l'intégrité du bien sur le long terme. Ils réunissent populations, professionnels (pêcheurs, opérateurs touristiques, agriculteurs, etc.), associations, instances coutumières et communes.



**Figure 9 :** Typologie et nombre d'aires marines protégées en Nouvelle-Calédonie - la Grande AMP du parc de la mer de corail est incluse ici - (source : d'après ISEE 2016).

#### II.3.2.1.2. Répartition géographique des AMP et populations

Plus des trois-quarts des aires de protection marines (hors parcs naturels, îles Loyauté et zones UNESCO) sont réparties en province Sud avec quasiment 50% de ces dernières situées à proximité de Nouméa (Figure 10). Globalement, ces données sont équitablement reliées au niveau de population, cette dernière étant concentrée aux trois-quarts en province Sud en 2014 (dont 50% à Nouméa).



**Figure 10 :** Nombre d'aires marines protégées et nombre d'habitants par province en Nouvelle-Calédonie (hors zones UNESCO, parcs naturels et province des îles).

**Tableau 7 : Recensement des aires de protection marine de Nouvelle-Calédonie** (source : d'après ISEE 2016).

Type d'aire de protection	Date de création	Province	Surface (ha)
<b>Réserve naturelle intégrée ou réserve de nature sauvage</b>			<b>23 482</b>
Dohimen	2009	Nord	3 712
Etang de Koumac	1989	Nord	54
Hwanga Lédane, Péwhane et Whan-Denece-Pourape	2009	Nord	1 306
Ilot Goéland	1995	Sud	1
N'Digoro	2004	Sud	16
Nekoroo	2000	Nord	1 260
Récif Sèche-Croissant	1994	Sud	45
Yves Merlet	1970	Sud	17 089
<b>Réserves naturelles</b>			<b>24 487</b>
Aiguille de la Baie de Prony	1993	Sud	3
Epave du Humbolt	1996	Sud	3
Grand Port	2006	Sud	1 311
Grand Récif Arboré et passe de Boulari	1981	Sud	14 490
Île Verte	1993	Sud	206
Ilot Bailly	1989	Sud	297
Ilot Larégnère	1989	Sud	663
Ilot Signal	1989	Sud	236
Ouano	2014	Sud	3 498
Passe de Dumbéa	2005	Sud	545
Poé	1993	Sud	3 099
Roche percée et Baie des tortues	1993	Sud	136
<b>Aires de gestion durable des ressources</b>			<b>16 333</b>
Baie de Port Bouquet	2010	Sud	323
Hyabé-Lé-Jao	2009	Nord	10 082
Ilot Amédée	1981	Sud	36
Ilot Canard	1989	Sud	149
Ilot Casy	1993	Sud	152
Ilot Maître	1981	Sud	762
Ilot Moindé-Ouémé	2010	Sud	52
Ilot Ténia	1998	Sud	1 153
Kan-Gunu	2014	Nord	3 579
Pointe Kuendu	1988	Sud	47
<b>Parcs provinciaux</b>			<b>928 686</b>
Parc de la Zone Côtière Ouest	2009	Sud	255 268
Parc du Grand Lagon Sud	2009	Sud	672 762
Parc Provincial de Yeega	2009	Nord	656
<b>Parcs naturels</b>			<b>129 520 306</b>
Parc naturel des Atolls d'Entrecasteaux	2013	Gouvernement de NC	323 590
Parc naturel de la mer de Corail	2014	Gouvernement de NC	129 196 716
<b>Zone classée au patrimoine mondial de l'UNESCO</b>			<b>1 570 000</b>
Zone du Grand Lagon Sud	2008	Sud	
Zone Côtière Ouest	2008	Sud/Nord	
Zone d'Ouvéa/Beautemps-Beaupré	2008	Îles	
Zone Côtière Nord et Est	2008	Nord	
Zone du Grand Lagon Nord	2008	Nord	
Zone des récifs d'Entrecasteaux	2008	Gouvernement de NC	

### II.3.2.2. Polynésie Française

#### II.3.2.2.1. Typologie des AMP

Au total, une cinquantaine (Tableau 8 et Figure 11) de zones marines protégées existent en Polynésie Française et sont réparties entre les îles Australes, les îles de la société, les Tuamotu et les Marquises. Elles présentent des niveaux de protection variables, qui se décomposent en cinq catégories d'espaces protégés.

##### ■ Les sites classés au titre du code de l'environnement (article D111-2 du code de l'environnement)

Ils comportent 6 catégories d'espaces protégés dont les dispositions générales sont inspirées de la classification établie par l'IUCN en 1994 :

- Type I : Réserve naturelle intégrale / Zone de nature sauvage ;
- Type II : Parc territorial ;
- Type III : Monument naturel ;
- Type IV : Aire de gestion des habitats ou des espèces ;
- Type V : Paysage protégé ;
- Type VI : Aire protégée de ressources naturelles gérées.

Les dispositions et caractéristiques de chacun de ces types d'aires protégées ont été formalisées par l'IUCN et peuvent être retrouvées sur leur plateforme en ligne .

##### ■ Les sites classés au titre du code de l'aménagement

Il s'agit des PGEM (Plan de Gestion de l'Espace Maritime). Les PGEM ont été mis en place dès 1992 par le gouvernement et fixent les règles d'occupation et d'utilisation des espaces maritimes sur une commune, en vue de régler des conflits d'usages entre les partenaires.

On distingue par exemple le PGEM de Moorea ou la réserve de Biosphère de la commune de Fakarava, qui bénéficie d'un plan de gestion particulièrement détaillé. On note également à Moorea la reconnaissance de 5000 ha par la convention RAMSAR sur les milieux humides depuis 2008.

##### ■ Les ZPR (Zones de Pêche Réglementées)

Elles sont délimitées par arrêté ministériel afin d'assurer la protection et la pérennité des ressources marines et de l'aquaculture en prenant des mesures pour régler des conflits chroniques liés à leur exploitation et en mettant des réserves de pêche en place.

##### ■ Les sanctuaires marins

La totalité de la ZEE de Polynésie Française représente un sanctuaire pour la protection des requins, mammifères marins et tortues. Ils sont intégralement protégés sur les 5,5 millions de km<sup>2</sup> de la ZEE.

##### ■ Les aires gérées à l'initiative des populations locales

Elles reposent sur la coutume et ne sont soumises à aucune réglementation. Elles concernent notamment les zones de Rahui (îles Australes) et les aires marines éducatives de l'archipel des Marquises.

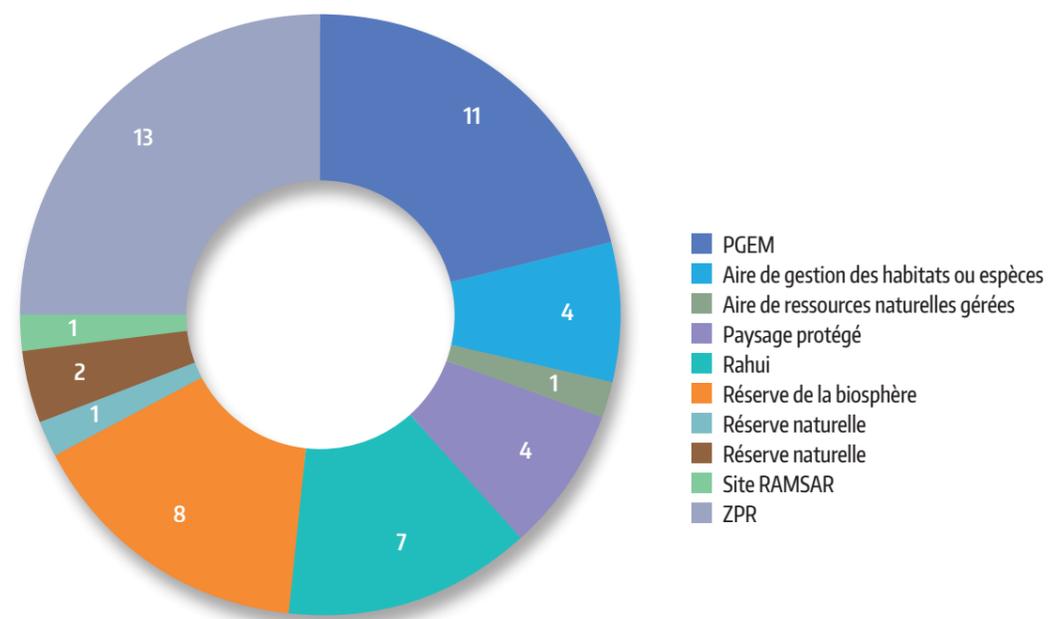
##### ■ Les zones en voie d'inscription au patrimoine mondial de l'UNESCO

L'archipel des Marquises est en voie d'inscription sur la liste du patrimoine mondial de l'UNESCO. Le dossier de demande d'inscription a été déposé le 10 Avril 2018 pour 9 sites répartis sur les 5 principales îles Marquisiennes.

La liste détaillée des aires protégées de Polynésie par archipel est rappelée au Tableau 8.

**Tableau 8 : Recensement des aires de protection marine de Polynésie française** (source : d'après Brugneaux et al., 2010 – AFB 2017).

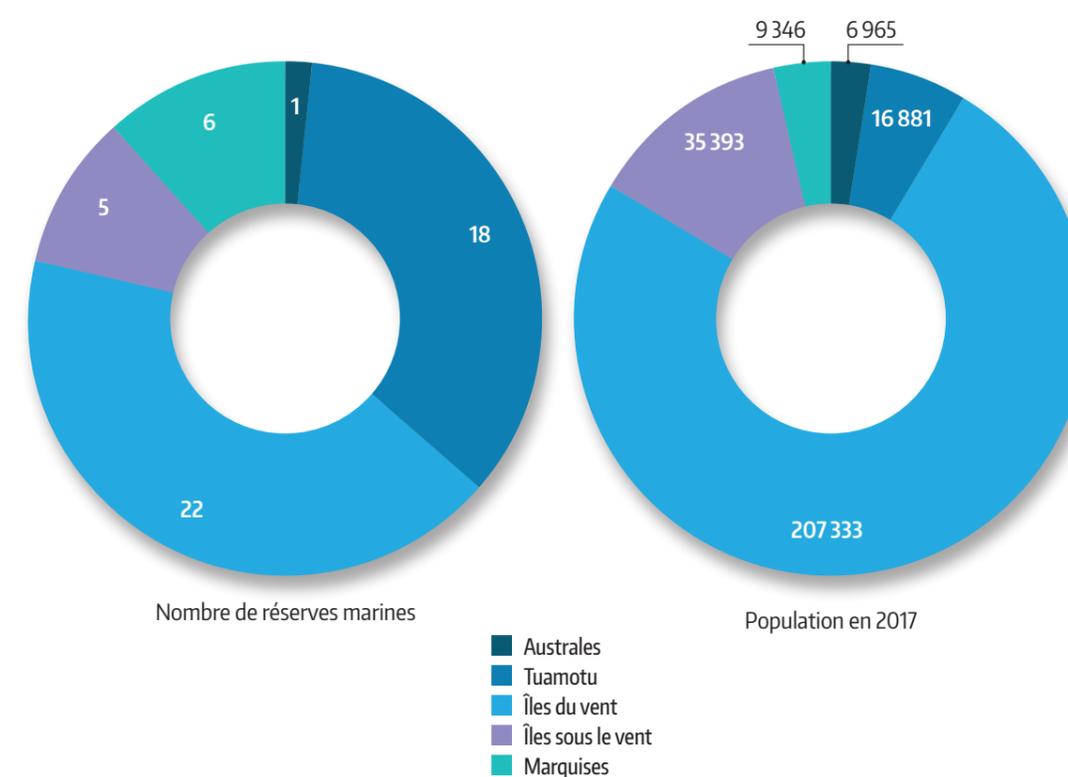
Nom	Archipel	Île	Date de création	Statut	IUCN	Surface marine (ha)
Rapa	Australes	Rapa		Rahui local		
Scilly	Société	Maupiti	1972 (lagon) / 1977 (atoll)	Réserve naturelle	I	12 041
Bellinghausen	Société	Maupiti	1971 (lagon) / 1992 (atoll)	Réserve naturelle	I	1403
Lagune de Faauna Rahi	Société	Huahine	1970	ZPR		
Motu Ahi	Société	Moorea	2004	PGEM	II et IV	99
Maatea	Société	Moorea	2004	PGEM	II et IV	171
Taotaha	Société	Moorea	2004	PGEM	II et IV	206
Tiahura	Société	Moorea	2004	PGEM	II et IV	240
Tetaiuo	Société	Moorea	2004	PGEM	II et IV	98
Pihaena	Société	Moorea	2004	PGEM	II et IV	58
Aroa	Société	Moorea	2004	PGEM	II et IV	31
Nuarei	Société	Moorea	2004	PGEM	II et IV	65
Lagon de Moorea	Société	Moorea	2008	Site RAMSAR		5000
Papetoai	Société	Moorea	2004	PGEM	II et IV	
Maharepa	Société	Moorea	2004	PGEM	II et IV	
Motu Tapu	Société	Bora Bora	1963	Paysage protégé	V	
Matavai	Société	Tahiti	2007	ZPR		140
Muriavai	Société	Tahiti	1997	ZPR		777
Taaone	Société	Tahiti	2003	ZPR		60
Moana Nainai	Société	Tahiti	2006	ZPR		60
Lagune	Société	Huahine	1970	ZPR		
Maiao	Société	Maiao		Rahui local		
Hotu Ora	Société	Tahiti	2015	ZPR		
Punaauia	Société	Tahiti	2016	ZPR		
Teva I Uta	Société	Tahiti	2015	ZPR		
Tetiaora	Société	Tahiti	2014	ZPR		
Pari	Société	Tahiti	1962 modifié 2011	Paysage protégé	V	
Teahupoo	Société	Tahiti	2014	Aire de ressources naturelles gérées	VI	768
Aratika	Tuamotu	Aratika	2007 modifié 2016	Réserve de la biosphère	IV et IV	14 500
Fakarava	Tuamotu	Fakarava	2007 modifié 2016	Réserve de la biosphère	III, IV, VI, V	115 300
Espace inter-communal	Tuamotu	Fakarava	2016	Réserve de la biosphère	IV	1 594 828
Kauehi	Tuamotu	Kauehi	2007 modifié 2016	Réserve de la biosphère	IV et IV	31 995
Niau	Tuamotu	Niau	2007 modifié 2016	Réserve de la biosphère	I et IV	3 300
Raraka	Tuamotu	Raraka	2007 modifié 2016	Réserve de la biosphère	IV et IV	34 270
Taiaro	Tuamotu	Taiaro	2007	PGEM	II et IV	923
Toau	Tuamotu	Toau	2007 modifié 2016	Réserve de la biosphère	IV et IV	56 100
Hopue	Tuamotu	Tatakoto	2004	AMP pour bénéficiers /ZPR		62
Tatakoto	Tuamotu	Tatakoto	2014	ZPR		
Napuka	Tuamotu	Napuka		Rahui local pêche et bénéficiers		tout le lagon
Arutua	Tuamotu	Arutua		Rahui local pêche		tout le lagon
Fakahina	Tuamotu	Fakahina		Rahui local pêche		tout le lagon
Puka Puka	Tuamotu	Puka Puka		Rahui local		
Fangatau	Tuamotu	Fangatau		Rahui local bénéficiers arrêté municipal pêche		tout le lagon
Te Roto Uri Fa'ahotu	Tuamotu	Rangiroa	2015	ZPR		
Reao	Tuamotu	Reao	2016	ZPR		5200
Taiaro	Tuamotu	Fakarava	1972/1977 modifié 2007/2016	Réserve de la biosphère	VI et I	
Eiao	Marquises	Nuku Hiva	1971 modifié 2011	Aire de gestion des habitats ou espèces	IV	
Hatutaa	Marquises	Nuku Hiva	1971 modifié 2011	Aire de gestion des habitats ou espèces	IV	
Motu one	Marquises	Nuku Hiva	1971 modifié 2011	Aire de gestion des habitats ou espèces	IV	1
Mohotani	Marquises	Hiva Oa	1971 modifié 2011	Aire de gestion des habitats ou espèces	IV	194
Hohoi	Marquises	Ua Pou	1952 modifié 2011	Paysage protégé	V	
Baie des vierges	Marquises	Fatu Hiva	1952 modifié 2011	Paysage protégé	V	



**Figure 11 :** Typologie et nombre d'aires marines protégées (hors grandes AMP) en Polynésie Française (source : d'après Brugneaux et al. 2010 ; AFB 2018).

#### II.3.2.2. Répartition géographique des AMP et populations

Plus des trois quarts des aires marines protégées de Polynésie Française sont concentrées à proportion égale dans les îles du Vent et les Tuamotu (Figure 12). Les Australes, les Marquises et les îles sous le Vent comptent respectivement une, six et cinq aires marines protégées. En comparaison, trois quarts de la population polynésienne est concentrée dans les îles du Vent et les Australes, le quart restant étant dispersé dans les autres îles avec une dominance pour les îles sous le Vent.



**Figure 12 :** Nombre de réserves (gauche) et nombre d'habitants (droite) par secteur en Polynésie française.

#### II.3.3. Wallis & Futuna

Ce PTOM ne bénéficie aujourd'hui d'aucune AMP, bien que leur mise en place soit en discussion.

#### II.3.4. Les îles Pitcairn

En dehors du classement de la ZEE, en réserve intégrale, aucun autre type d'AMP n'existe dans ce pays.

### III ACTIVITÉS HUMAINES ET DISPOSITIFS ACTUELS DE SURVEILLANCE

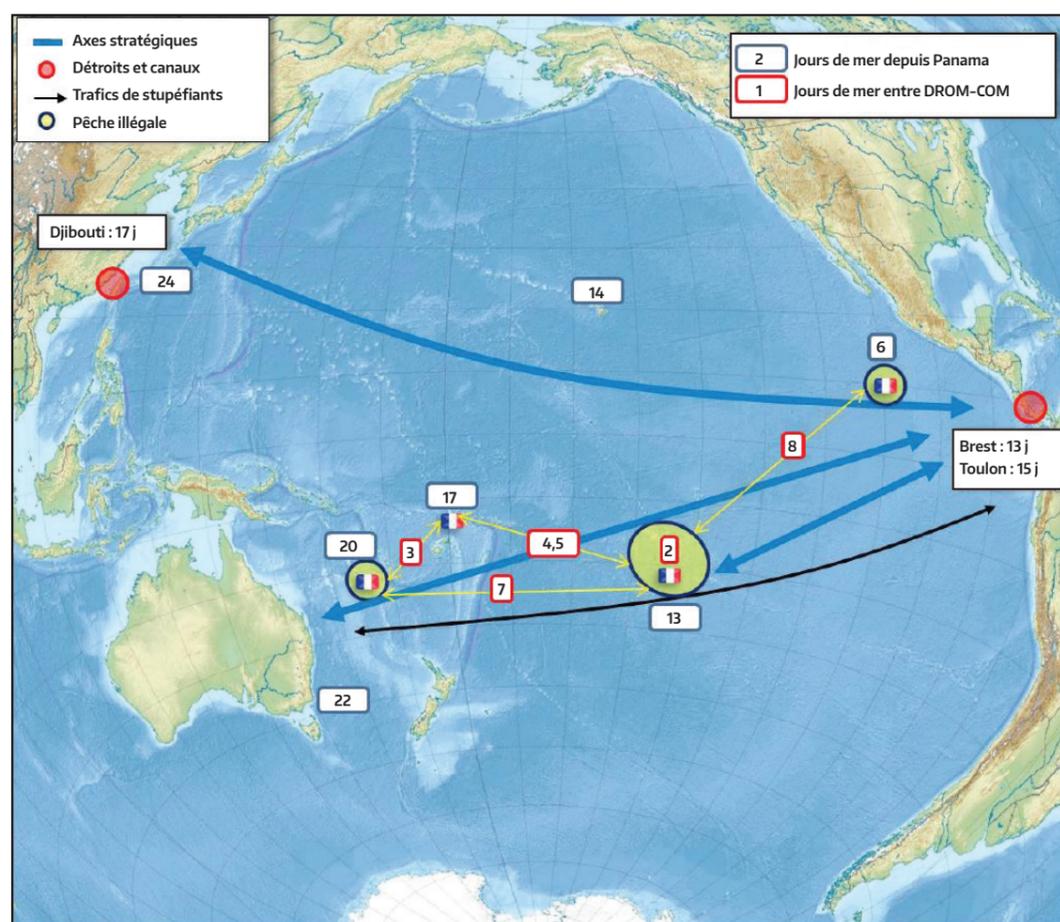
#### III.1. SÉCURITÉ DES POPULATIONS, GÉOSTRATÉGIE, ACTIVITÉS ILLÉGALES, SAUVETAGE EN MER

##### III.1.1. PTOM Français

A l'échelle de l'océan Pacifique, les principales routes maritimes se situent au Nord de l'équateur tandis que les intérêts français se trouvent au Sud (Figure 13).

La pêche illicite et l'exploitation illégale des ressources représentent les principales menaces maritimes régionales. Par ailleurs, la région du Pacifique insulaire apparaît comme une zone de transit pour de nombreux réseaux de trafics de stupéfiants opérant entre l'Amérique du Sud et l'Australie. Ce phénomène affecte entre autres la Polynésie Française et, dans une moindre mesure, la Nouvelle-Calédonie.

Plus généralement, la surveillance des aires marines protégées pour la préservation des ressources des ZEE ultramarines françaises est un enjeu majeur dans cette région du globe.



**Figure 13 :** Routes maritimes, identification des zones à enjeux de PTOM français du Pacifique insulaire (source : Anon 2015).

##### III.1.1.1. Missions de l'action de l'État en mer (AEM)

L'Action de l'État en Mer (AEM) est l'organisation administrative et opérationnelle dont s'est dotée la France pour répondre à ses obligations d'État côtier et d'État maritime. Les zones maritimes relevant de l'AEM comprennent les espaces placés sous juridiction française ainsi que ceux relevant du statut de la haute-mer sur lesquels la France peut exercer certaines attributions, soit à l'encontre de ses propres navires, soit à l'égard des navires étrangers ou sans pavillon en vertu des Conventions internationales auxquelles la France fait partie.

Les administrations disposant de moyens d'intervention en mer agissent dans le cadre de la fonction garde-côtes. Celle-ci comprend notamment la marine nationale, la gendarmerie maritime et la douane. Ces administrations mettent au besoin à la disposition du représentant de l'État en mer, au titre de son pouvoir de coordination, leurs moyens pour lui permettre de réaliser les missions qui lui sont confiées. Cette organisation repose également sur la polyvalence des différents moyens navals et aériens des administrations de la fonction garde-côtes dans un souci d'efficacité et d'efficience.

Pour les PTOM français, l'Action de l'Etat en Mer (AEM) regroupe ainsi les actions de coordination des administrations compétentes en mer afin d'assurer une réponse efficace aux situations problématiques susceptibles de survenir. Les missions de ce service sont nombreuses et incluent :

- la recherche et le sauvetage en mer coordonnés par le MRCC (acronyme anglais de *Maritime Rescue Coordination Center*) ;
- la surveillance et la protection des intérêts nationaux ;
- la sécurité de la navigation ;
- la lutte contre les activités illicites, et notamment la police des pêches et le contrôle sur narcotrafic ;
- l'assistance aux navires en difficulté et la lutte contre les pollutions marines.

##### III.1.1.2. Nouvelle-Calédonie et Wallis & Futuna

Les missions de l'antenne calédonienne de l'AEM s'inscrivent donc pleinement dans la problématique de surveillance des activités humaines dans l'espace maritime de la ZEE de Nouvelle-Calédonie mais également de la ZEE de Wallis & Futuna.

Notons qu'en Nouvelle-Calédonie, la zone de responsabilité du MRCC pour la mission de recherche et de sauvetage, appelée Search and Rescue Region (SRR) est particulièrement vaste puisqu'elle s'étend au-delà de la Nouvelle-Calédonie sur les eaux sous juridiction du Vanuatu en vertu d'un accord bilatéral signé en 2004.

Les missions de l'AEM répondent à des enjeux nécessitant une stratégie de surveillance de long terme sur un vaste espace maritime avec des moyens importants (Figure 14).

Les services de l'Etat, notamment les Forces Armées de la Nouvelle-Calédonie (FANC), possèdent des moyens de surveillance associant des patrouilles en mer et du survol aérien. En revanche, le territoire ne dispose d'aucun moyen radar.



**2 P 400**  
*La Glorieuse & La Moqueuse*



**Vedette côtière de Surveillance maritime**  
*Dumbéa*



**SNSM**  
1 vedette - 3 semi-rigides



**Gendarmerie**  
2 Ecoureils / 1 vedette  
*La Calédonienne*



**Frégate de surveillance**  
*Le Vendémiaire*



**Unités Garde-nature**  
7 de la Province Sud et  
2 de la Province Nord



**2 avions GARDIAN**



**Hélicoptère**  
*Alouette III*



**2 avions CASA**



**3 hélicoptères PUMA**



**Direction des Affaires Maritimes**  
*Amborella*



**Phares et balises NC**  
*Eugène Morignat*  
*Louis Hénin*



**Figure 14 :** Moyens de surveillance des Forces Armées en Nouvelle-Calédonie – ajoutons le bâtiment multi-missions (B2M) Entrecasteaux qui manque à l'image (source : FANC).

**Figure 15 :** Moyens de surveillance et d'intervention des services et administrations autres que celles des FANC disponibles en Nouvelle-Calédonie<sup>6</sup> (source : FANC).

<sup>6</sup> Certains de ces moyens ne réalisent pas à proprement parler de surveillance (SNSM, baliseur, etc.) et ne participent pas à cette mission, ils peuvent cependant représenter des sources de renseignements accessoires.

Malgré l'immense surface à surveiller et des moyens mobiles de surveillance relativement limités, la Nouvelle-Calédonie rayonne par son efficacité au niveau régional.

Les services de l'Etat travaillent étroitement avec les services de la Nouvelle-Calédonie, notamment de la Direction des Affaires Maritimes (DAM), dans le cadre du partage et de la valorisation de ses moyens de surveillance. Le renforcement et l'optimisation de cette synergie a été mentionné comme étant aujourd'hui en suspend du fait des échéances imminentes concernant le contexte institutionnel du pays (référendum d'autodétermination prévu en 2018).

Comme mentionné par l'AEM, l'actuelle dynamique de création d'Aires marine protégées dans le Parc naturel de la Mer de Corail augmente encore l'enjeu de la surveillance, mais peut également en modifier les conditions. Par exemple, la surveillance dans une réserve intégrale n'appelle pas nécessairement un besoin de moyens d'identification (la présence seule étant interdite), tandis que la surveillance d'une réserve naturelle où seuls certains usages sont autorisés nécessite de disposer de beaucoup plus d'informations.

Pour mener à bien ses missions de surveillance des activités humaines sur la zone, les dispositifs technologiques dont dispose le service de l'Etat recourent :

- les données VMS<sup>7</sup> de la flotte de pêche hauturière calédonienne collectées par la Direction des Affaires Maritimes de la Nouvelle-Calédonie
- les données des systèmes VMS mis en place au niveau de organisations régionales (FFA<sup>8</sup>, WCPFC<sup>9</sup>) pour la surveillance dans les poches de haute mer ;
- les données AIS<sup>10</sup> publiques, veillées par le MRCC et par le central opérations (Armées) ;
- les données de déclaration d'entrées/sorties de la ZEE reçues le Centre National de Surveillance des Pêches et/ou par la Direction des Affaires Maritimes de la Nouvelle-Calédonie ;
- l'utilisation ponctuelle à la demande d'imagerie satellitaire très haute résolution (70 cm) sur des emprises de 40 km x 40 km pour approfondir ou conforter une situation suspicieuse (prestation réalisée par le système de surveillance satellitaire TRIMARAN avec un délai opérationnel de 36 heures). Actuellement le système de suivi SPATIONAV V3 est à l'essai en métropole et devrait prochainement bénéficier à l'outre-mer.
- l'utilisation du radar de surface installé sur un avion GARDIAN.

En termes de surveillance, la Nouvelle-Calédonie présente un profil particulier avec globalement peu d'activités illégales jusqu'en 2016, puis une augmentation de constats de pêche illégale par des navires vietnamiens (blue boats), ainsi que quelques cas de narcotrafic.



**Figure 16 : Interception de « blue boats » vietnamiens en infraction dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie par les Forces Armées** (source : www.colsbleus.fr).

<sup>7</sup> Vessel Monitoring Systems, cf. chapitre III.2.1

<sup>8</sup> Fisheries Forum Agency, cf. chapitre III.2.1

<sup>9</sup> Western and Central Pacific Fisheries Commission

<sup>10</sup> Automatic Identification System, cf. chapitre III.3

La réponse de l'AEM, qui travaille en coopération avec la FFA et AFMA (*Australian Fishery Management Authority*), a conduit entre le 1<sup>er</sup> juin 2016 et décembre 2017 à l'interception de 20 blue boats (9 ont été déroutés et 11 ont été saisis) qui pêchaient illégalement les holothuries dans les zones de récifs éloignés (notamment Chesterfield et récifs d'Entrecasteaux). Le cumul des prises saisies est de 35,7 tonnes d'holothuries au cours de 10 opérations. Ces actions de terrains ont fait l'objet d'une réponse diplomatique croisée forte :

- un carton jaune de la Commission Européenne (10/2017) au Vietnam qui menace, en l'absence de réaction positive, l'exportation de ses produits de la pêche vers l'UE ;
- la signature d'un mémorandum (08/2017) entre le Vietnam et l'Australie afin de mettre en place une coopération sur le long terme pour combattre les pêches illégales.

Ces réponses diplomatiques associées à une coopération efficace dans la surveillance des activités illégales semblent jusqu'à présent avoir fonctionné puisqu'aucun bateau vietnamien illégal n'a été identifié depuis décembre 2017.

### III.1.1.3. Polynésie Française

En Polynésie Française, L'AEM s'appuie également sur les moyens et compétences de plusieurs administrations, en particulier : les forces armées, la gendarmerie, les affaires maritimes et les douanes.

L'exercice de ses missions bénéficie depuis septembre 2011 d'un dispositif de surveillance rénové et amélioré. Au sein du centre maritime commun de Polynésie Française (CMC-PF), les services de l'état exploitent pleinement les outils à leur disposition et mettent en œuvre la stratégie de surveillance conçue autour de l'analyse des signaux électroniques émis par les navires et des images d'origine satellitaire. La surveillance est conduite à partir du centre de fusion de l'information maritime (CFIM - Figure 17) qui, avec le MRCC, constitue le CMC-PF. Celui-ci s'appuie notamment sur :

- un accès aux données VMS qui correspondent aux signaux que les navires de pêche polynésiens et étrangers ont l'obligation d'émettre. Ces émissions permettent un suivi précis et aident à la détection de comportements suspects (extinction par intermittence du signal, routes de pêche caractéristique d'une activité de pêche illégale, etc.) ;
- l'analyse concomitante des émissions AIS, qui ne sont pas systématiquement obligatoires<sup>11</sup> mais sont utilisées par la plupart des navires de commerce, de croisière ou de pêche et environ deux tiers des plaisanciers ;
- l'imagerie satellite, expérimentée depuis 2014, qui complète au besoin le dispositif en permettant l'obtention d'images radars ou optiques ciblées et assurant la détection de tous les bateaux dans un espace maritime donné. Ce service appelé TRIMARAN est réalisé par *Telespazio France et Airbus Defence and Space*<sup>12</sup>.

Ce travail de surveillance permanent permet d'avoir une connaissance approfondie des flux de navigation et permet également de mieux orienter les outils de surveillance et de contrôle traditionnels dont dispose l'AEM en Polynésie Française (Tableau 9). L'utilisation en routine de ces ressources à terre permet notamment de mieux cibler les missions de l'avion Gardian ou des bâtiments de la marine nationale. A cet égard, les avions Gardian effectuent, en moyenne, un vol de surveillance et d'intervention maritime

<sup>11</sup> Voir chapitre III.3

<sup>12</sup> <https://www.intelligence-airbusds.com/fr/7169-airbus-defence-et-telespazio-france-selectionnes-pour-fournir-un-service-de-surveillance-maritime-par-satellite-a-la-marine-nationale-franca>

toutes les semaines. Ces unités sont orientées prioritairement dans les espaces à forte concentration de navires étrangers, bien souvent aux abords immédiats de la ZEE (ces navires ayant interdiction de pêcher à l'intérieur de la ZEE). Ce dispositif est efficace, visible et non prévisible ce qui le rend ostensible et dissuasif, les flottilles de pêche étrangères se sachant surveillées. Les contrôles s'exercent ainsi donc souvent en haute mer, en dehors de la ZEE, afin de dissuader toute tentative d'incursion. Ces contrôles effectués en respect des règlements internationaux applicables (en particulier les résolutions de la Western and Central Pacific Fisheries Commission, WCPFC) aboutissent régulièrement à l'établissement de procédures adressées aux Etats d'origine des navires de pêche pris en faute. De telles opérations de surveillance maritime en coopération avec les Etats voisins et les principaux partenaires de la France dans le Pacifique sont régulièrement menées dans la zone maritime de Polynésie française, mais également de Nouvelle-Calédonie.



**Figure 17 :** Centre de fusion de l'information maritime du sein du centre maritime commun de Polynésie Française.

**Tableau 9 :** Moyens de surveillance de l'AEM en Polynésie Française.

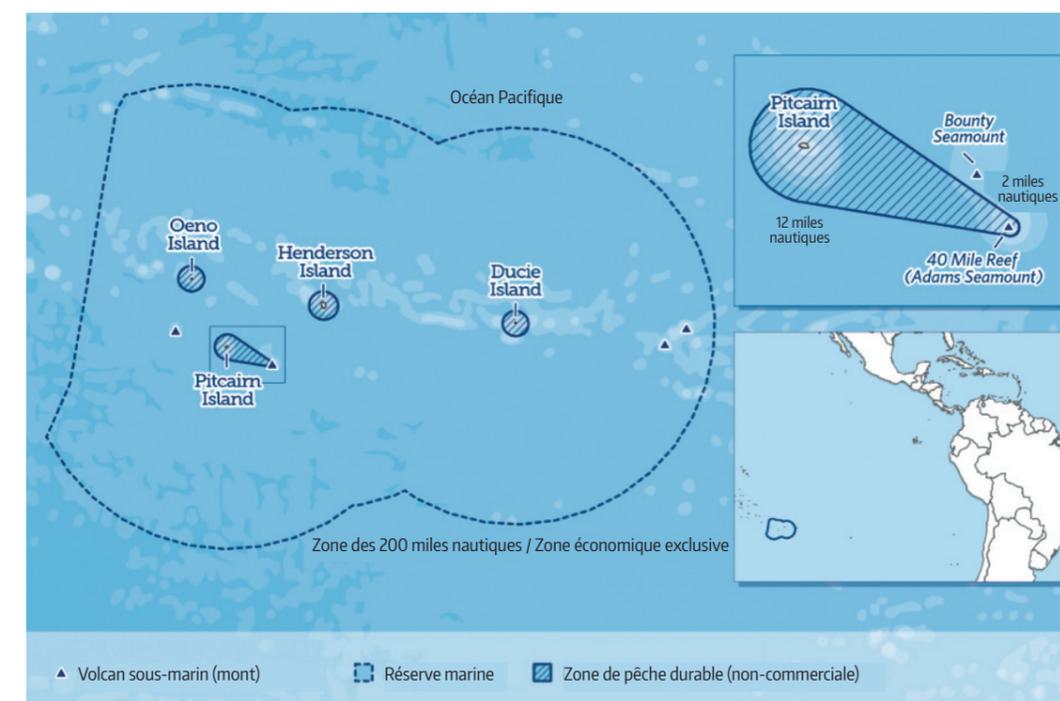
Moyens Maritimes	Moyens aériens
1 frégate de surveillance, <i>Prairial</i> , et son hélicoptère embarqué <i>Alouette III</i>	2 avions de surveillance maritime type <i>Gardian</i> (flottille 25F)
1 patrouilleur de haute mer, <i>Arago</i>	2 hélicoptères interministériels <i>Dauphin N3+</i> (flottille 35F)
1 bâtiment multi-missions (B2M), <i>Bougainville</i>	2 avions de transport <i>Casa</i> de l'armée de l'air (ET 82)
2 remorqueurs portuaires et côtiers, <i>Manini</i> et <i>Maroa</i>	
1 patrouilleur de la Gendarmerie maritime, <i>Jasmin</i>	

### III.1.2. PTOM Britannique – les îles Pitcairn

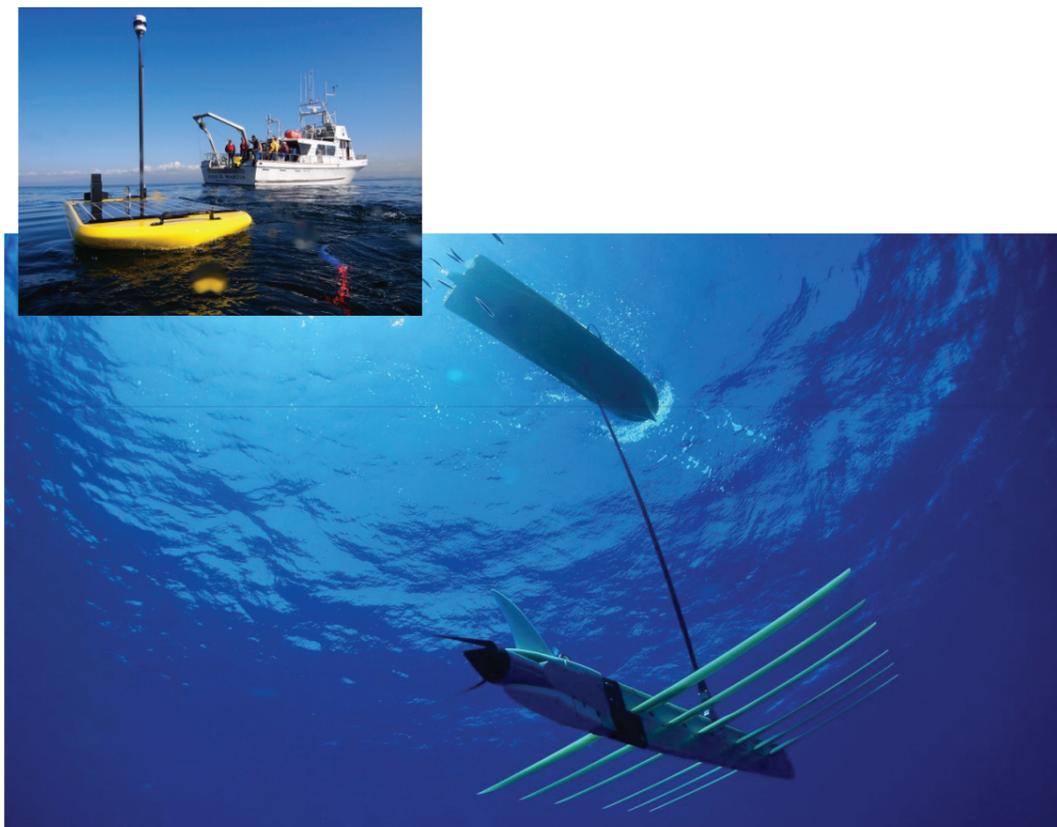
Les îles Pitcairn sont le seul territoire britannique dans l'océan Pacifique. C'est un ensemble de quatre îles (Pitcairn, Henderson, Ducie et Oeno), d'une superficie terrestre totale de 47 km<sup>2</sup>. Sa ZEE constitue officiellement depuis 2016 une réserve marine intégrale où la pêche est interdite. Les activités de pêches non-professionnelles restent toutefois autorisées dans les mers territoriales des îles Pitcairn, parmi lesquelles la seule île habitée est Pitcairn Island avec 52 habitants (Figure 18). En l'absence de moyens aériens et maritimes dédiés à la surveillance, le gouvernement anglais a fait le choix de mettre en place un suivi de la réserve en utilisant les services de l'application satellitaire CATAPULT après une période de test de plus d'un an appelée « *Project Eyes on the Seas* ».

Dans le cadre de cette approche expérimentale, l'utilisation d'un drone de surface vient également compléter le panel technologique utilisé (Figure 19). Ce *Wave Glider* a été équipé de capteurs clés (récepteur AIS, capteur acoustique, appareil photo) afin de permettre la détection et l'identification des éventuels navires présents sur la zone (y compris ceux qui n'émettent pas). Cette technique d'identification photographique *in situ* permet désormais de faire le lien avec le nom ou le pavillon d'un navire, contrairement aux seules images satellitaires (Figure 20).

Plus généralement, ce programme pilote a permis d'évaluer l'efficacité du projet *Eyes on the Seas* et des technologies utilisées pour suivre de grandes aires marines protégées isolées. Il a à ce titre démontré la capacité de cette combinaison technologique à déterminer les navires pratiquant des activités de pêche dans des zones où celles-ci sont interdites, et a permis le développement d'un modèle de programme de surveillance pérenne et efficace pour la Réserve marine des îles Pitcairn.



**Figure 18 :** Délimitation de la ZEE et donc de la réserve marine des îles Pitcairn (source : The Pew Charitable Trusts).



**Figure 19 :** Drone de surface (*Wave Glider de Liquid Robotics*) utilisant l'énergie des vagues et solaire (source : Liquid Robotics).



Photographie d'un navire prise par le capteur du *Wave Glider* et envoyée par satellite Iridium. Les images en haute résolution sont disponibles quand la bande passante le permet.

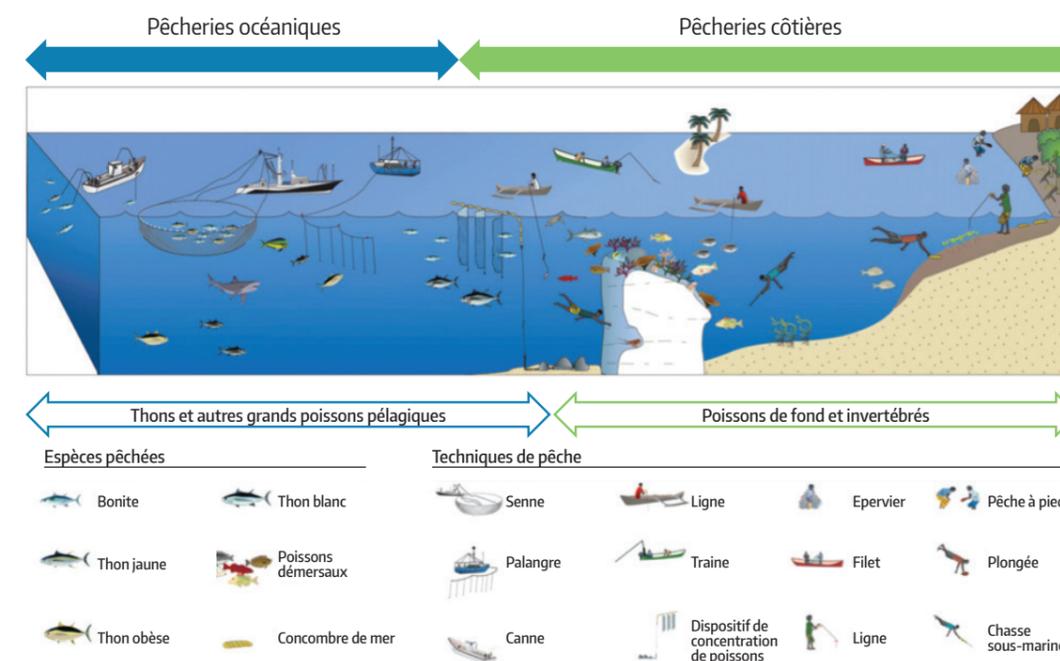
**Figure 20 :** Photographie issue de la caméra du *Wave Glider* et transmise par satellite (source : Liquid Robotics).

## III.2. LES ACTIVITÉS DE PÊCHE DANS LES PAYS ET TERRITOIRES DU PACIFIQUE INSULAIRE

### III.2.1. Contexte des activités de pêche des pays et territoires du Pacifique insulaire

Dans le Pacifique insulaire, l'exploitation durable des ressources marines représente un enjeu essentiel, la pêche constituant une activité vivrière et commerciale de premier ordre dans cette région. Il convient de différencier (Figure 21) :

- La **pêche hauturière** : activité qui se pratique au large et majoritairement dans la ZEE en dehors des eaux territoriales, et qui nécessite des bateaux de taille supérieure à 15 mètres. On dénombre environ 1 500 bateaux de cette catégorie dans le Pacifique insulaire concernant principalement la pêche à la seine, à la palangre ou à la canne, et ciblant en très grande majorité les Thonidés.
- La **pêche côtière** : activité qui cible un très large spectre de ressources en poissons, invertébrés, et algues. Cette appellation englobe :
  - la pêche côtière *stricto sensu*, qui est pratiquée au large des îles notamment autour des Dispositifs de Concentration de Poissons (DCP) ou au niveau des hauts fonds.
  - la pêche récifo-lagonaire, qui se pratique généralement dans les habitats peu profonds en zone lagonaire, récifale ou sur les pentes externes des récifs. Les méthodes de pêche lagonaire sont nombreuses et reflètent la diversité des espèces ciblées. Sans être exhaustif, elles comprennent la pêche à pied ou en apnée depuis un bateau (non nécessairement motorisé), la chasse sous-marine, la collecte de coquillages, la pose de casiers, l'utilisation de filets maillants, la pêche à la ligne et à la traine.



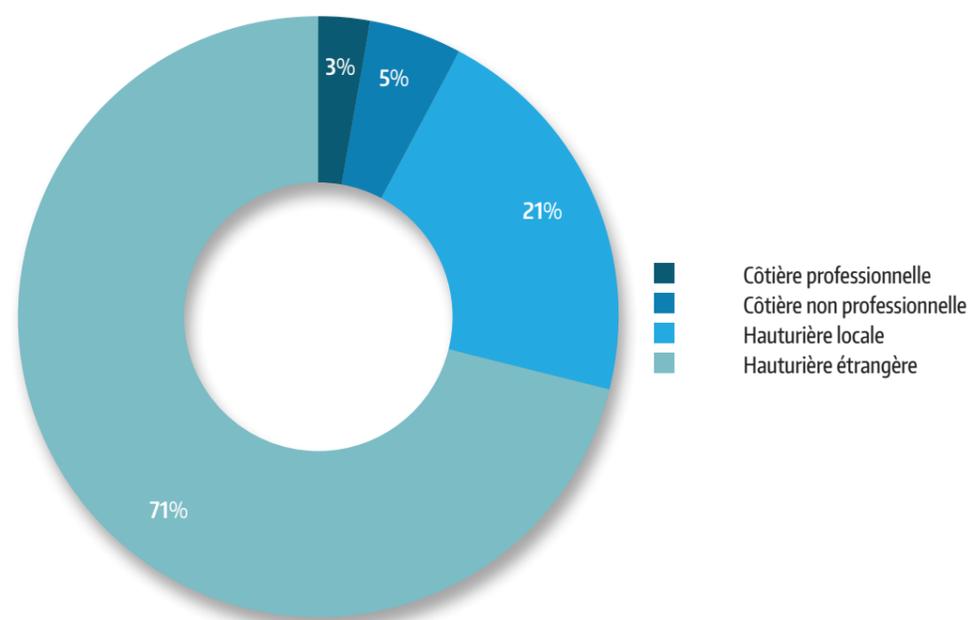
**Figure 21 :** Diversité des activités de pêche côtière et hauturières (dans les pays et territoires du Pacifique insulaire (source : d'après CPS).

Dans une optique de surveillance, les pêcheries côtières et hauturières apparaissent fondamentalement différentes tant s'agissant de la taille des bateaux impliqués, du nombre d'opérateurs, des ressources ciblées et des zones de pêche (localisations et superficies).

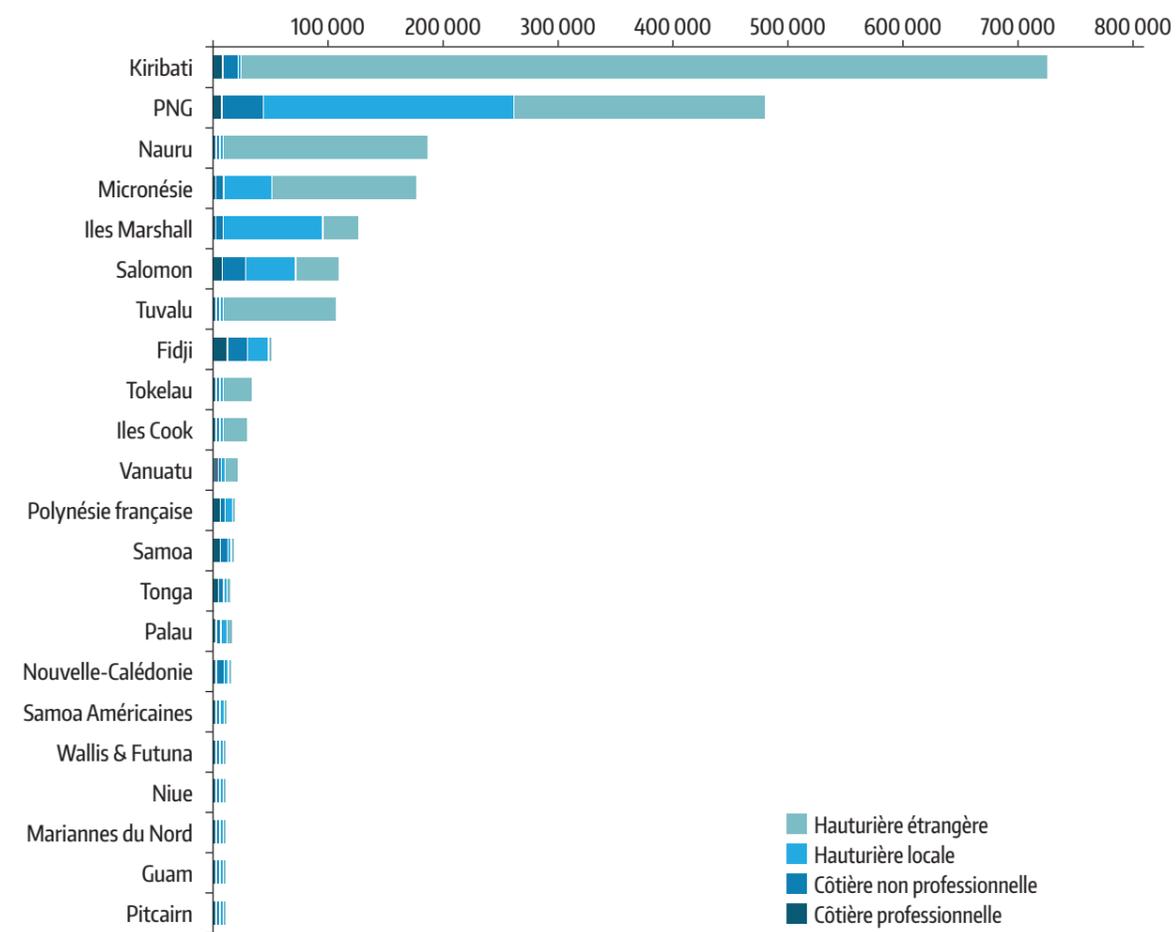
Le rapport intitulé « Economie des pêcheries du Pacifique insulaire » (Gillett 2016) distingue pour la pêche côtière : la *pêche côtière professionnelle* et la *pêche côtière non-professionnelle*. Cette dernière catégorie est intitulée « pêche vivrière » dans Gillett 2016 mais inclut en réalité également la pêche de plaisance (en plus de la pêche vivrière *sensu stricto*). Pour ce rapport, cette terminologie a donc été adaptée à des fins de cohérence avec celle utilisée dans la plupart des PTOM, mais aussi avec des enjeux de surveillance qui apparaissent différents selon que l'on considère une pêche professionnelle régulée et accompagnée par un service des pêches ou une activité informelle pratiquée par les populations.

Au niveau hauturier, une distinction est faite entre la *pêche industrielle thonière locale*, dont les bateaux sont rattachés à un port du pays où l'activité est pratiquée, et la *pêche industrielle thonière étrangère* où le port de rattachement est extérieur au pays et dont l'exploitation découle de la vente de droits de pêche. A ce titre et contrairement à certains pays et territoires du Pacifique insulaire (Figure 22 et Figure 23), on peut noter la politique protectionniste cohérente entre les 4 PTOM européens du Pacifique insulaire (NC, PF, WF, PTC) qui ne délivrent plus aucune licence de pêche aux navires étrangers. Cette particularité facilite de fait l'identification et le suivi des activités illégales dans leurs ZEE respectives.

A l'échelle des 22 pays et territoires du Pacifique insulaire, le volume produit par la pêche hauturière est environ 8 fois supérieur au volume produit par les pêcheries côtières. On constate cependant que les pays et territoire de la région présentent des niveaux de production halieutique très différents (tant en volumes qu'en valeurs, Figure 23), du fait de facteurs de contexte naturel influençant la taille des stocks (taille de leurs ZEE, présence d'habitats plus ou moins favorables aux espèces cibles) ou de facteurs humains (pratiques de pêche privilégiées, niveau de développement des filières, taille des flottilles de pêche, etc.).



**Figure 22 : Contribution des différents types de pêche au volume total des captures pour les 22 pays et territoires du Pacifique insulaire** (source : d'après Gillett 2016).



**Figure 23 : Volume (en tonnes) des captures de pêche des pays et territoires du Pacifique insulaire** (source : d'après Gillett 2016).

La gestion des stocks d'espèces hautement migratoires comme les Thonidés, partagés entre plusieurs pays et territoires du Pacifique, ne peut être efficace que si elle est abordée à une échelle régionale cohérente avec la dynamique de ces stocks et effectuée conjointement entre les pays et territoires concernés. A ce titre, la présence de vastes étendues sous juridiction internationale (zone de haute mer à la Figure 2) entrecoupant les ZEE de la région, mais également les comportements variables des pays et territoire en matière de politique des pêches, compliquent considérablement les efforts de gestion de l'exploitation des stocks à l'échelle régionale. Les pays insulaires du Pacifique disposent de deux organisations régionales ayant une implication majeure en appui à la gestion et au suivi des activités de pêche :

- la Communauté du Pacifique (CPS : [www.spc.int](http://www.spc.int)), basée à Nouméa en Nouvelle-Calédonie, aide les pays et territoires membres en matière de gestion et de développement des pêches côtières et hauturières ;
- L'agence des pêches du Forum des îles du Pacifique (FFA : [www.ffa.int](http://www.ffa.int)), basé à Honiara aux Salomon, assiste les pays membre en matière de gestion de la ressource en thons, tant concernant les aspects économiques que de surveillance.

Au niveau technologique, le système VMS, réglementaire et obligatoire dans la plupart des pêcheries professionnelles nationales et des pêcheries en haute mer, fournit aux pays et territoires de Pacifique un dispositif de surveillance des navires de pêche qui transmet à intervalles réguliers aux autorités de pêche des données sur la position, la route et la vitesse des navires (Figure 24). Par ailleurs, les navires de pêche étrangers doivent être équipés d'un dispositif de repérage par satellite en état de fonctionnement lorsqu'ils se trouvent dans l'espace maritime d'un autre état pavillon.

La FFA réalise également une surveillance du respect des règlements de pêche de ses pays membres<sup>13</sup>.

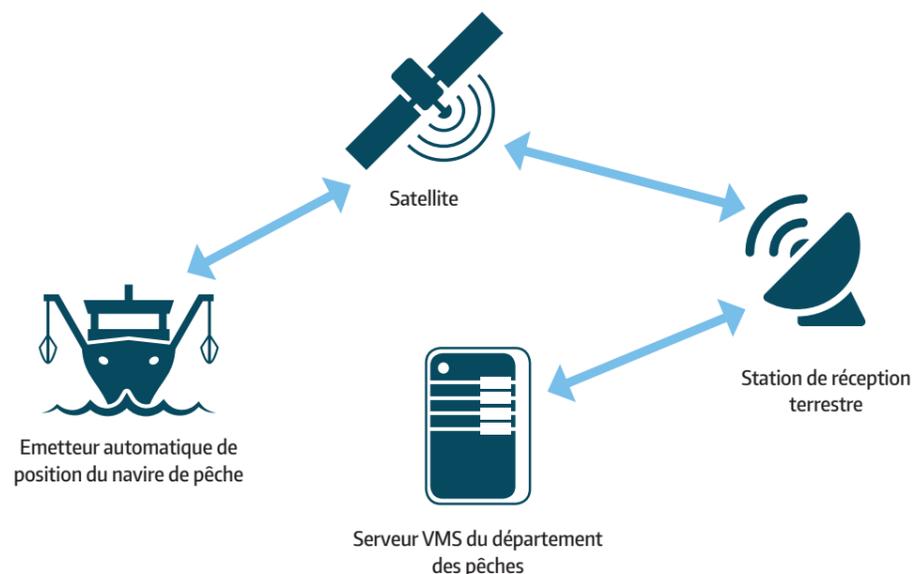


Figure 24 : Illustration de la chaîne de surveillance des navires de pêche par VMS.

### III.2.2. Poids de la pêche et de l'aquaculture dans les PTOM du Pacifique

#### III.2.2.1. Données comparées de la production des pêches et de l'aquaculture des 4 PTOM étudiés

L'économie de la plupart des îles du Pacifique est fondée sur l'exploitation des ressources naturelles notamment les ressources halieutiques issues de la pêche et de l'aquaculture. Ce constat reste toutefois à nuancer pour les 4 PTOM du Pacifique qui présentent sur ce point des productions contrastées, en volume et en valeurs<sup>14</sup> (Figure 25 et Tableau 10).

<sup>13</sup> <http://www.fao.org/fishery/topic/18074/en>

<sup>14</sup> Ces chiffres sont issus du rapport de Gillet 2016 sur l'économie des pêches dans les pays et territoires du Pacifique Insulaire. Certains écarts vis-à-vis des statistiques officielles les plus récentes de chaque PTOM sont donc possibles, et trouveront leur justification dans les méthodes d'évaluation détaillées dans le document de référence : Gillet, R. (2016). *Fisheries in the Economies of Pacific Island Countries and Territories*. Secretariat of the Pacific Community, Noumea, 664 pages. L'utilisation de ces chiffres a été privilégiée dans le cadre d'une présentation du contexte général de la pêche à échelle régionale, afin de disposer d'ordres de grandeur comparables entre les PTOM (les statistiques de pêche détaillée des différents PTOM utilisant des catégories hétérogènes et des modes d'évaluation variables, peu favorables à des comparaisons directes)

Tableau 10 : Volume (en tonnes) de production halieutique et de production aquacole des 4 PTOM européens du Pacifique (source : d'après Gillet 2016).

	Pitcairn	Polynésie Française	Nouvelle Calédonie	Wallis & Futuna
Côtier professionnel	3	5 666	1 350	150
Côtier non-professionnel*	6	2 350	3 500	675
Hauturier	-	5 390	2 876	-
Aquaculture	-	101	1 733	-

\*intitulé « pêche vivrière » dans Gillet 2016 mais y incluant également la pêche de plaisance

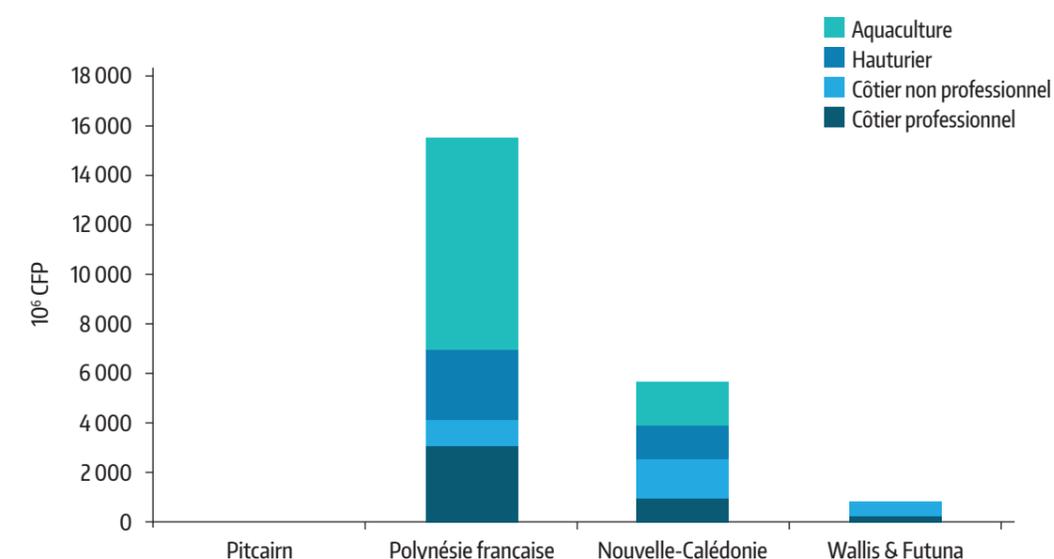
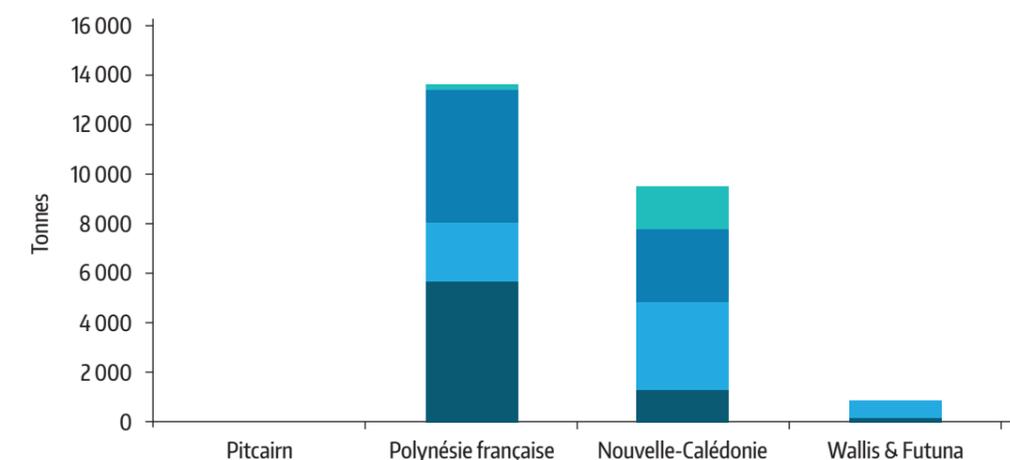


Figure 25 : Volume (tonnes) et valeurs (millions de FCFP) des captures de pêche et de la production aquacole dans les 4 PTOM européens du Pacifique (source : d'après Gillet 2016 avec une conversion sur la base d'un équivalent USD à 100 FCFP).

### III.2.2.2. Les îles Pitcairn

Les îles Pitcairn montrent une production halieutique totale exclusivement côtière et inférieure à 10 tonnes/an, principalement tournée vers l'autoconsommation. Le tiers de la production annuelle est commercialisée aux quelques centaines de touristes débarquant des bateaux de croisières (616 touristes en 2016). L'absence de production hauturière est en cohérence avec la mise en réserve intégrale récente de la ZEE.

### III.2.2.3. Wallis & Futuna

La situation de la pêche à Wallis & Futuna est proche de celle de Pitcairn. L'économie y reste encore aujourd'hui majoritairement traditionnelle et peu monétarisée. Plus de 80% de la production est destinée à l'autoconsommation et les échanges à finalité commerciale restent limités. Malgré un potentiel halieutique certain, l'absence de production hauturière (depuis 2012) s'explique par l'absence de flottille locale et d'une politique protectionniste vis-à-vis de la vente de droits de pêche aux bateaux étrangers dans la ZEE.

### III.2.2.4. Nouvelle-Calédonie

En Nouvelle-Calédonie, la production halieutique est plus élevée que sur les deux précédents PTOM mais contribue toutefois pour moins de 0,4% au PIB de ce territoire (Gillett 2016) dont l'économie est majoritairement tournée vers l'exploitation des ressources minérales, et notamment le nickel.

La pêche côtière contribue en volume pour plus de la moitié de la production totale en produits de la mer (aquaculture et pêche) avec un cumul estimé par Gillett (2016) de 4 850 tonnes. Cette production côtière et récifo-lagonaire est principalement tournée vers l'autoconsommation. La production côtière issue du secteur professionnel est assurée par des bateaux de petite taille dont le nombre s'élevait en 2015 à 167 unités.

L'activité hauturière est depuis 2001 exclusivement assurée par la flottille locale de 17 palangriers de taille comprise entre 20 et 30 mètres (Figure 26), ciblant les Thonidés et engagés sous la certification calédonienne de Pêche Responsable. Près de 70% des captures, qui s'élèvent en 2016 à 2 483 tonnes, sont écoulées sur le marché local tandis que les 30% restants sont expédiées vers le Japon, les conserveries du Pacifique et le marché européen.

Cette production halieutique totale évoquée pour la Nouvelle-Calédonie ne considère pas l'activité de pêche à la coquille Saint-Jacques (*Amusium ballotti*), qui a repris depuis 2015 dans le Grand Lagon Nord au large des Îles Bélep (province Nord).

La production aquacole est significative et fondée principalement sur la filière de la crevette bleue (bassin à terre en zone littorale). Sous l'impulsion d'une volonté politique et de programmes de développement locaux (notamment via l'ADECAL-Technopole<sup>15</sup>), la filière aquacole tend néanmoins à se diversifier via de nouvelles productions aux volumes relativement modestes telles que l'ostréiculture et l'élevage d'holothuries



**Figure 26 :** Illustration du port de pêche de Polynésie Française (gauche) et du quai des pêcheries du Port Autonome de Nouvelle-Calédonie (source : Port Autonome de Papeete et DAM de Nouvelle Calédonie).

### III.2.2.5. Polynésie Française

Troisième ressource propre de Polynésie Française, la pêche représente 11% des recettes d'exportation des produits polynésiens (1,2 milliard de F CFP en 2016). La production exportée est essentiellement issue de la filière hauturière, composée d'une flottille de 59 thoniers (entre 16 et plus de 20 mètres) et engagée dans un processus de labellisation qualité MSC (*Marine Stewardship Council*).

Sur les dix dernières années, les volumes pêchés sont relativement stables et autour de 6 000 tonnes (5 930 tonnes en moyenne de 2007 à 2016). Un schéma directeur de la filière pour les dix prochaines années a été adopté par le gouvernement avec pour ambition de doubler la production en dix ans.

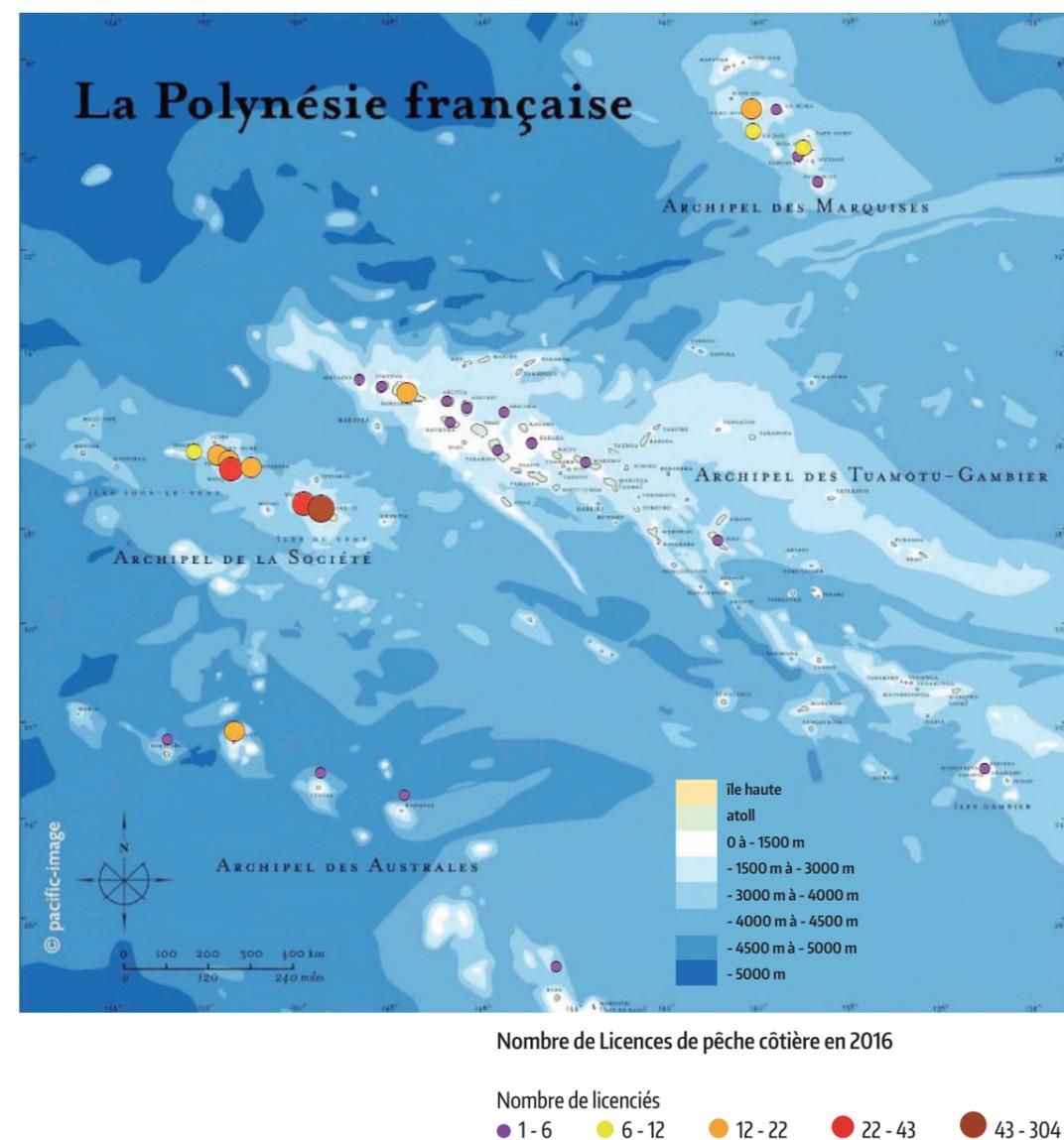
La pêche non-professionnelle est estimée par Gillett (2016) à 2 350 tonnes, et reste officiellement inférieure aux volumes de la pêche professionnelle (5 666 tonnes). Ce volume se décompose en 3 516 tonnes issues de la pêche côtière hors-lagon, et environ 2 150 tonnes issues de la pêche professionnelle lagonaire. La pêche professionnelle côtière en Polynésie Française est particulièrement développée : elle est constituée en 2016 de 40 bonitiers (taille comprise entre 10 et 12 mètres) et 384 bateaux typiquement polynésiens, les *Poti marara*<sup>16</sup> (taille comprise entre 6 et 8 mètres). La flottille de pêche côtière professionnelle est majoritairement localisée aux îles du Vent (Tahiti et Moorea - Figure 27).

La Polynésie Française a réussi à diversifier son économie en développant le tourisme, la pêche, l'aquaculture, et la culture de perles noires. Marginale par rapport aux revenus de la perliculture, l'aquaculture est essentiellement issue de la crevetticulture (89 tonnes) et de la pisciculture marine (12 tonnes - *Platax orbicularis*). Ce secteur devrait se développer avec une potentielle augmentation de la production de crevettes en mer dont la consommation annuelle (> 500 tonnes) conduits à des importations. Elle pourrait également bénéficier de l'arrivée d'investissements chinois pour développer la filière, via notamment la mise en place d'un centre aquacole (*Tahiti Nui Ocean Foods*) dans les Tuamotu dont l'ambition est d'atteindre à terme une production de 50 000 tonnes. Un schéma directeur de l'aquaculture cofinancé par l'Agence Française du Développement est par ailleurs attendu en 2018.

<sup>15</sup> ADECAL Agence de Développement Economique de la Nouvelle-Calédonie <http://www.technopole.nc>

<sup>16</sup> Un *poti marara* est un bateau à coque en V dont la forme est adaptée aux vagues de haute-mer. Il dispose d'un poste de pilotage à l'avant, équipé d'un manche à balai.

Si la contribution en tonnage de la production de la perliculture est négligeable, elle contribue significativement en valeur (Figure 25). Cette production, réalisée par 581 perliculteurs sur une surface autorisée cumulée de 7 752 ha, est principalement située aux Tuamotu et Gambier (SPE). Les revenus cumulés provenant de l'aquaculture dans la région du Pacifique insulaire sont dominés par la Polynésie Française (US\$ 1,56 milliard, perles noires principalement) et par la Nouvelle-Calédonie (US\$ 250 millions, crevettes principalement), représentant 95,5% de la valeur de l'aquaculture dans les 22 pays et territoire du Pacifique insulaire.



**Figure 27 :** Répartition géographique des licences de pêche côtière en Polynésie Française en 2016 (source : DRMM PF 2016).

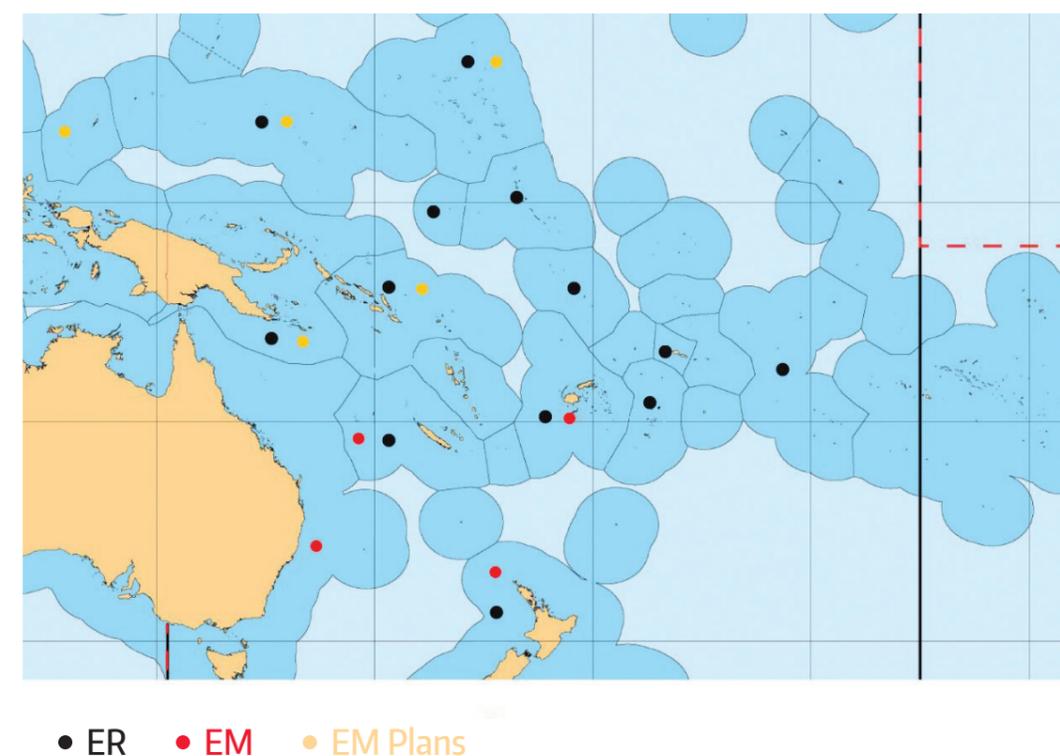
### III.2.3. Les technologies existantes au service de la pêche hauturière

En parallèle du système VMS (Figure 24), réglementaire et obligatoire dans la plupart des pêcheries professionnelles nationales et des pêcheries en haute mer, d'autres solutions technologiques sont en cours de déploiement dans la région et dans les PTOM du Pacifique concernant la surveillance des navires de pêche.

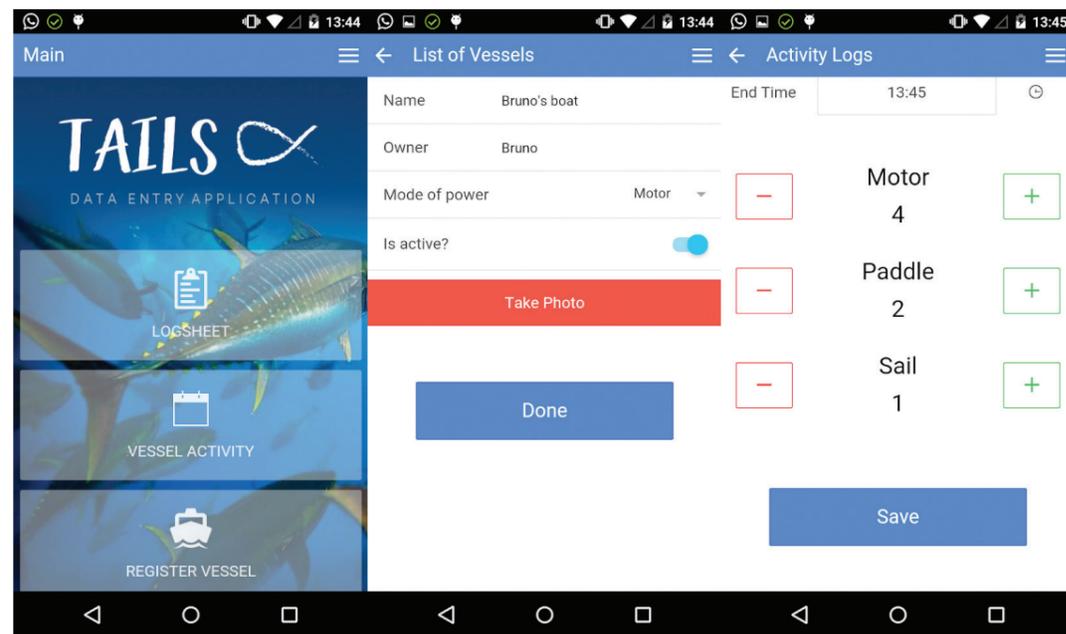
Une analyse réalisée en 2016 par la FFA a montré que la non-déclaration, la déclaration erronée et la sous-déclaration représentaient la plus grande part de la pêche dite illégale, entraînant une perte estimée à 600 millions de dollars pour la région. La fiabilité et la traçabilité des données sont cruciales pour une bonne gestion des pêches, et différentes technologies permettent aujourd'hui de lutter contre les pêches illégales, non-déclarées ou non réglementaires tout en assurant un développement durable des filières.

Au cours des cinq dernières années, la Communauté du Pacifique (SPC) a collaboré avec ses pays membres, les agences de gestion des pêches, l'industrie de la pêche, les fournisseurs de technologies et les organisations non gouvernementales pour concevoir, construire et tester de nouveaux outils de surveillance.

Notamment, les systèmes d'E-Reporting (Figure 29) permettent la collecte de données électroniques en routine dans le cadre de la gestion des stocks de poissons pélagiques. L'objectif affiché à terme est de remplacer progressivement les carnets de pêche (*logbooks*) et ceux des observateurs (embarqués ou au port) par les technologies de E-reporting (Figure 28). La technologie offre de nombreux avantages en permettant une transmission plus fiable et plus rapide, directement en mer si les navires sont équipés d'une connexion satellite ou dès qu'un réseau mobile ou wifi devient accessible. La technologie permet aussi de relier les informations du journal de bord du navire, du rapport de l'observateur des pêches et de celui de l'inspecteur du port de sorte à mettre en place un contrôle qualité des données et gagner en efficacité dans leur valorisation pour la gestion des pêches. Un financement important a été apporté par les organisations non gouvernementales telles que WWF, PEW Charitable Trusts, The Nature Conservancy, Seafood Sustainability Foundation, pour permettre le développement de cette technologie, essentiellement réalisé par la CPS en collaboration avec des fournisseurs indépendants de technologies (SPC, 2017). Ce soutien a permis aux pays membres de la CPS de créer des emplois dédiés à la recherche et au développement de ces nouveaux outils et aux systèmes de bases de données associés, à l'achat de matériel (tablettes et les dispositifs de transmission par satellite), et à la facilitation de formations régionales et d'ateliers.



**Figure 28 :** Localisation des zones où des actions de suivi technologique par E-Reporting (ER) et E-Monitoring (EM) ont été mises en place (source : SPC 2016).



**Figure 29 :** Capture d'écran de l'application TAILS du Programme des pêches océaniques de la CPS pour la saisie de données de pêche dans la zone de la WCPFC (source : SPC).

La surveillance électronique (E-Monitoring System, EMS) est un système de caméras vidéo et de capteurs permettant de surveiller et d'enregistrer les activités de pêche *in situ* (Figure 28). La confrontation ultérieure des informations acquises avec les données de pêche effectivement déclarées permet d'en évaluer la qualité et la fiabilité. Ce type de surveillance électronique contribue à améliorer la qualité globale des données de pêche, et donc des évaluations scientifiques et de la prise de décision.

La technologie EMS est utilisée aujourd'hui en routine notamment pour la surveillance de la pêche des thonidés en Australie (*Eastern and Western Tuna and Billfish fisheries*). Elle a fait l'objet d'évaluations par la CPS dans divers pays et territoires du Pacifique insulaire, ainsi que de deux ateliers de travail régionaux avec la FFA. L'objectif poursuivi est de définir des procédures standardisées pour la mise en place de cette technologie, désormais considérée comme éprouvée pour la collecte des données requises par la commission thonière WCPFC. A ce jour, l'analyse et l'interprétation des enregistrements restent majoritairement manuelles, et la mise en place de procédures automatisées par intelligence artificielle devrait bientôt devenir un outil au service du E-monitoring (source : 2<sup>nd</sup> MCS Emerging Technologies Workshop<sup>17</sup>)

<sup>17</sup> Lien vers les documents issus de l'atelier : 2016 MCS Emerging Technologies Workshop

### III.2.4. Les technologies existantes au service de la pêche côtière

Les activités de pêche professionnelle récifo-lagonaire et côtière sont assujetties au suivi, à la gestion et au contrôle par les entités gestionnaires propres à chaque PTOM. Ces activités font généralement l'objet d'un suivi déclaratif imposé par les services des pêches compétents (Tableau 2) dans le cadre de leurs réglementations respectives.

Ces suivis déclaratifs prennent la forme de fiches de pêche ou de *logbooks*, renseignés par les pêcheurs pour décrire leurs activités de pêche (efforts et captures, paramètres économiques, localisation des activités, etc.), et collectées sur des bases mensuelles ou annuelles (le plus souvent reliées au renouvellement des autorisations de pêche). Bien qu'elles soient primordiales à la gestion des activités et des stocks halieutiques, le niveau de détail des données enregistrées par les pêcheurs et le taux de retour des fiches/logbooks auprès des services des pêches apparaissent extrêmement variables selon les pays, territoires, ou provinces. Les modalités de saisie, d'archivage, et de traitement des données collectées au sein des services gestionnaires (ex. existence d'une base de données dédiée et sécurisée, existence de protocoles de traitements visant à produire des indicateurs d'activité ou d'exploitation des ressources) apparaissent également très variables.

Sous réserve d'un bon dimensionnement et d'un accompagnement réussi de la part des services des pêches, ce type de système déclaratif peut apporter satisfaction dans le cadre de la gestion routinière et de long terme des ressources ou des flottilles de pêche. Toutefois, il ne constitue pas réellement un système de surveillance notamment en regard de sa réactivité (données compilées annuellement) ou de sa précision spatiale (spatialisation inexistante ou grossière des informations), et les solutions technologiques visant la surveillance des navires de pêche côtière apparaissent aujourd'hui inexistantes dans les PTOM du Pacifique insulaire.

Dans l'optique d'améliorer cette composante de la surveillance en zone côtière, il convient de mentionner plusieurs initiatives émergentes dans la région Pacifique et rapportées par la CPS :

- des tests d'utilisation du VMS pour la surveillance des navires de pêche côtiers à Tonga (sans limite minimale de taille) ;
- des tests d'utilisation du VMS sur les 4 navires de pêche de poissons d'aquarium à Fiji ;
- des tests de surveillance des petits navires de pêche côtière à partir d'un observatoire muni d'un télescope à Palau.

En attendant les retours d'expérience sur ces projets pilotes, ces exemples applicatifs montrent l'existence d'opportunités pour soutenir le développement et la gestion des pêches côtières par l'utilisation de technologies de surveillance simples.

Bien que les capacités humaines et financières disponibles entre les secteurs hauturiers et côtiers soient difficilement comparables, les progrès réalisés récemment dans la surveillance des pêches hauturières devraient pouvoir bénéficier au secteur côtier, par le biais d'un transfert progressif et d'une adaptation de technologies désormais éprouvées et maîtrisées.

### III.3. LE TRANSPORT MARITIME

L'océan Pacifique occupe une place centrale à l'échelle mondiale pour le transport international et domestique. Stimulée par les échanges commerciaux mondiaux, la navigation internationale a augmenté de manière significative au cours des 20 dernières années, avec près de quatre fois plus de navires en mer. L'Océan Pacifique a vu son trafic maritime augmenter significativement depuis 2008, particulièrement près de la Chine, avec l'augmentation des échanges de fret qui supportent en grande partie la croissance de cette région (Tournadre 2014, Kinch et al. 2010).

A titre d'exemple, en Nouvelle-Calédonie, le transport maritime représente 50% du trafic ultramarin national, notamment du fait de l'activité industrielle (Figure 31). Comme ailleurs dans le monde, ce trafic est en progression, particulièrement concernant les porte-conteneurs et les paquebots. Cependant, selon un rapport du Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie en 2015<sup>18</sup>, les trois quarts des navires repérés au cours des cinq dernières années dans l'espace maritime calédonien battaient pavillon étranger.

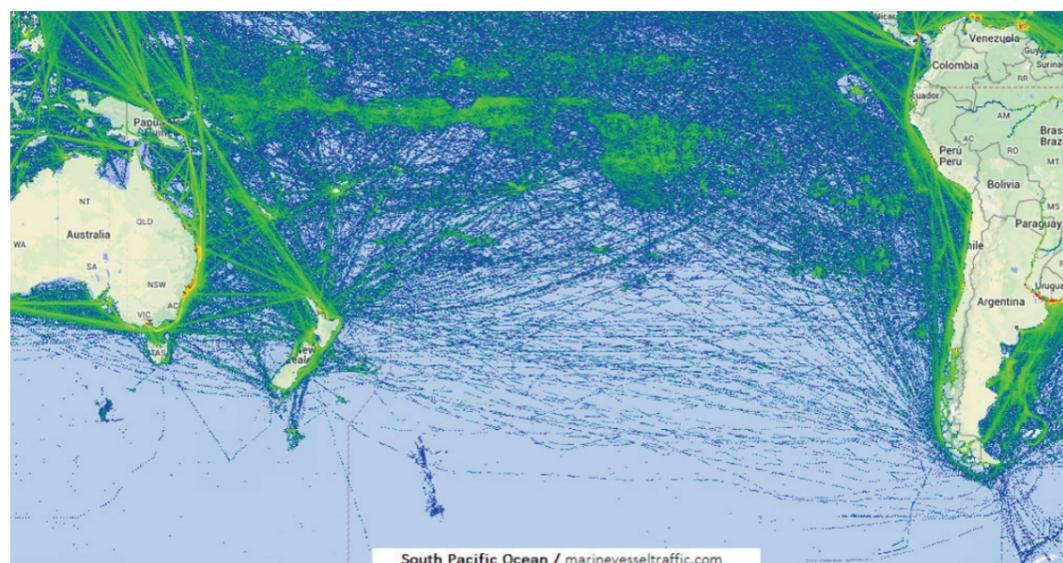


Figure 30 : Traces AIS du trafic maritime dans le Pacifique Sud (source : www.marinevesseltraffic.com).

Tableau 11 : Détail du trafic international en 2017 pour la Nouvelle-Calédonie (source : d'après PANC & MRCC 2017).

	Navire à passagers	Roulier	Porte conteneurs	Minéralier	Général cargo	Autre	Pétrolier	Chimiquier	Gazier	Pêche	Total
Janvier	97	8	55	29	7	0	11	0	6	0	213
Février	77	7	47	21	7	1	13	0	6	2	181
Mars	79	8	55	31	9	1	5	0	3	9	200
Avril	68	6	62	48	9	1	14	0	4	2	214
Mai	40	5	68	45	3	1	14	0	3	4	183
Juin	37	10	64	25	0	7	6	0	10	26	185
Juillet	43	8	67	29	1	0	14	1	4	0	167
Août	35	8	60	32	2	0	11	0	4	3	155
Sept	36	10	79	29	1	0	10	0	4	4	170
Oct	67	6	61	50	1	0	10	0	4	2	201
Nov	62	5	60	45	1	0	10	0	2	0	185
Déc	89	5	54	36	0	0	14	0	4	0	202
<b>Total</b>	<b>730</b>	<b>85</b>	<b>730</b>	<b>416</b>	<b>41</b>	<b>131</b>	<b>131</b>	<b>1</b>	<b>55</b>	<b>52</b>	<b>2 241</b>

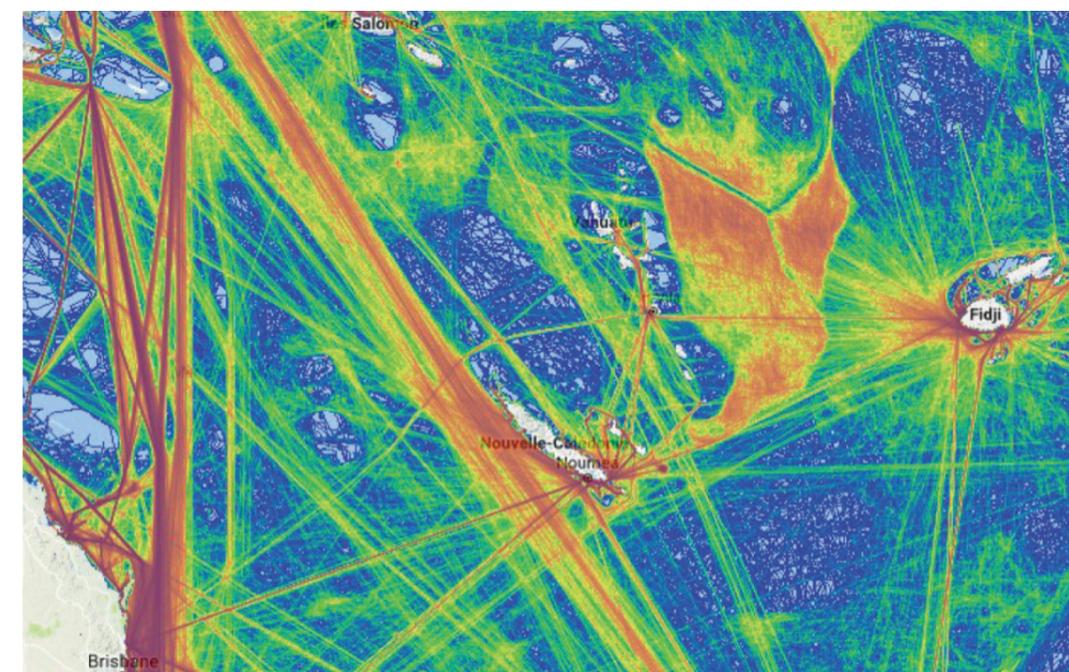


Figure 31 : Traces du AIS-OPT en 2017 à proximité de la Nouvelle-Calédonie (source : MRCC 2017).

<sup>18</sup> Le Parc Naturel Marin de la Mer de Corail. Rapport du Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, 2015, 90p.

Cette forte densité d'activités de navigation, de pêche et de transit maritime (Figure 30) devrait continuer à augmenter à l'échelle régionale, en raison notamment de la dépendance de plus en plus élevée des pays insulaires aux importations de produits alimentaires et biens manufacturés.

Plusieurs grandes catégories de trafic maritime peuvent être distinguées (PACPOL Strategy and Work Plans 2015–2020) :

- le trafic de transit : navires passant par la région, sans escale ;
- le trafic international (distinct du trafic de transit) : navires rattachés à un port majeur de la région et provenant/à destination d'un pays situé à l'extérieur de la région Pacifique ;
- trafic régional : navires circulant entre des pays ou territoires de la zone Pacifique ;
- trafic domestique : navires circulant au sein d'un pays ou territoire de la région Pacifique ;
- flottille de pêche étrangère : navires de pêche rattachés à des nations extérieures à la région Pacifique ;
- flottille de pêche domestique : navires de pêche rattachés à un pays ou territoire de la région Pacifique ;
- trafic divers : navires à mission spéciale (ex. : navires militaires, navires de recherche, yachts privés ou navires de tourisme hors industrie de croisière).

La croissance des flux de navires de croisière est également élevée dans la région du Pacifique Sud, en hausse de 18,7% en 2014 par rapport à 2013, et plus que doublée depuis 2010 (World Bank 2016). En 2014, les navires de croisière ont transporté plus de 400 000 passagers de croisière en provenance des deux principaux marchés émetteurs de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande vers la région (Govan 2017). En Nouvelle-Calédonie, où le trafic de croisière est devenu une activité majeure (500 escales en 2017 dont 200 à Nouméa), les prévisions pour les années 2019 et 2020 indiquent toutefois une stabilisation voire une légère régression du nombre annuelle d'escales pour des raisons conjoncturelles et structurelles (capacité d'accueil des navires à Nouméa et dans les Îles Loyauté). En l'absence d'installations portuaires adaptées, l'ancrage constaté des navires de croisière au sein de zones récifo-lagonaires peut également engendrer des impacts significatifs sur les habitats benthiques sensibles (Léopold et al. 2009).



**Figure 32 :** Bateau de croisière *Caledonian Sky* au mouillage dans une réserve en Indonésie (Raja Ampat, mars 2017) et ayant impacté plus de 18 882 m<sup>2</sup> de récifs coralliens (source : [www.blueocean.net](http://www.blueocean.net)).

Deux principales organisations interviennent au niveau international dans le secteur maritime :

- le CMI (Comité Maritime International, [www.comitemaritime.org](http://www.comitemaritime.org)) qui est une organisation internationale non-gouvernementale ayant pour objectif de contribuer à l'uniformisation et à l'harmonisation des différentes législations maritimes au niveau mondial ;
- l'OMI (Organisation Maritime Internationale, [www.imo.org](http://www.imo.org)) qui est une organisation internationale dont l'une des principales tâches est d'élaborer des dispositions relatives à la sécurité en mer.

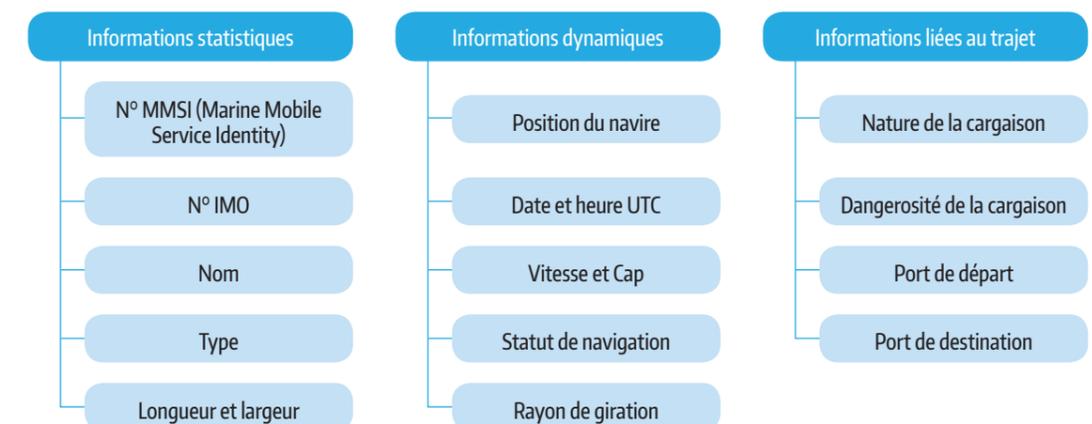
L'OMI a adopté une quarantaine de conventions et de protocoles, et produit plus de 800 recueils de règles, codes et recommandations. Tous ces textes ont exclusivement trait à la sécurité maritime, à la prévention de la pollution et à d'autres questions connexes. L'organisation est également dotée d'une procédure de désignation des zones maritimes particulièrement vulnérables qui font l'objet de mesures de protection, comme les systèmes obligatoires d'organisation du trafic maritime. Actuellement 14 zones (et deux extensions) sont protégées, y compris celles couvrant les sites marins du patrimoine mondial de l'UNESCO.

Afin d'accroître la sécurité maritime, l'OMI a adopté des règlements obligatoires concernant l'installation de systèmes automatiques d'identification capables de fournir des informations d'un navire à un autre ainsi qu'aux autorités côtières. Ces règlements font partie du chapitre V de la convention SOLAS<sup>19</sup> (Safety Of Life At Sea). La réglementation, adoptée par la majeure partie de la flotte de commerce mondiale, concerne tous les navires à passagers quelles que soient leurs dimensions, ainsi que les navires d'une jauge brute égale ou supérieure à 300 tonneaux (tjb) qui effectuent des trajets internationaux.

Parmi les systèmes de surveillance les plus communément utilisés pour le trafic maritime, on peut noter l'AIS (Automatic Identification System), qui peut gérer l'envoi et la réception des positions GPS, vitesse, cap, type, lieu et heure d'arrivée des navires, vers et depuis les navires environnants (Figure 33). Ces systèmes embarqués ou à terre sont d'autant plus importants que le trafic maritime est dense et augmente, comme dans les zones de passages obligés que sont les détroits et canaux, ou dans les zones de portuaire denses. Ce système présente des avantages pour les acteurs du transport maritime, tels que l'amélioration de la sécurité, l'amélioration de la gestion des flottes et de la navigation, ou la gestion de la voie maritime. Cependant, la généralisation de l'AIS pose également des problèmes de confidentialité pour les armateurs, voire de sécurité, les données transmises par l'AIS sont en effet accessibles sans restriction.

L'AIS est souvent confondu avec le système international d'identification à longue portée des navires LRIT (*Long-Range Identification and Tracking System*) établi en 2006 par l'OMI. Les données LRIT transmises par voie satellitaire, ne sont pas accessibles librement, contrairement aux données AIS. En effet, elles ne sont communiquées, sur demande, qu'aux administrations autorisées à recevoir ces informations ainsi qu'aux services de recherche et de sauvetage.

Les dispositifs AIS et LRIT présentent un intérêt primordial pour la sécurité et pour la sûreté maritime. Ils permettent un suivi des navires en quasi-temps réel et contribuent donc à l'application des politiques nationales, régionales et internationales dans tous les secteurs maritimes.



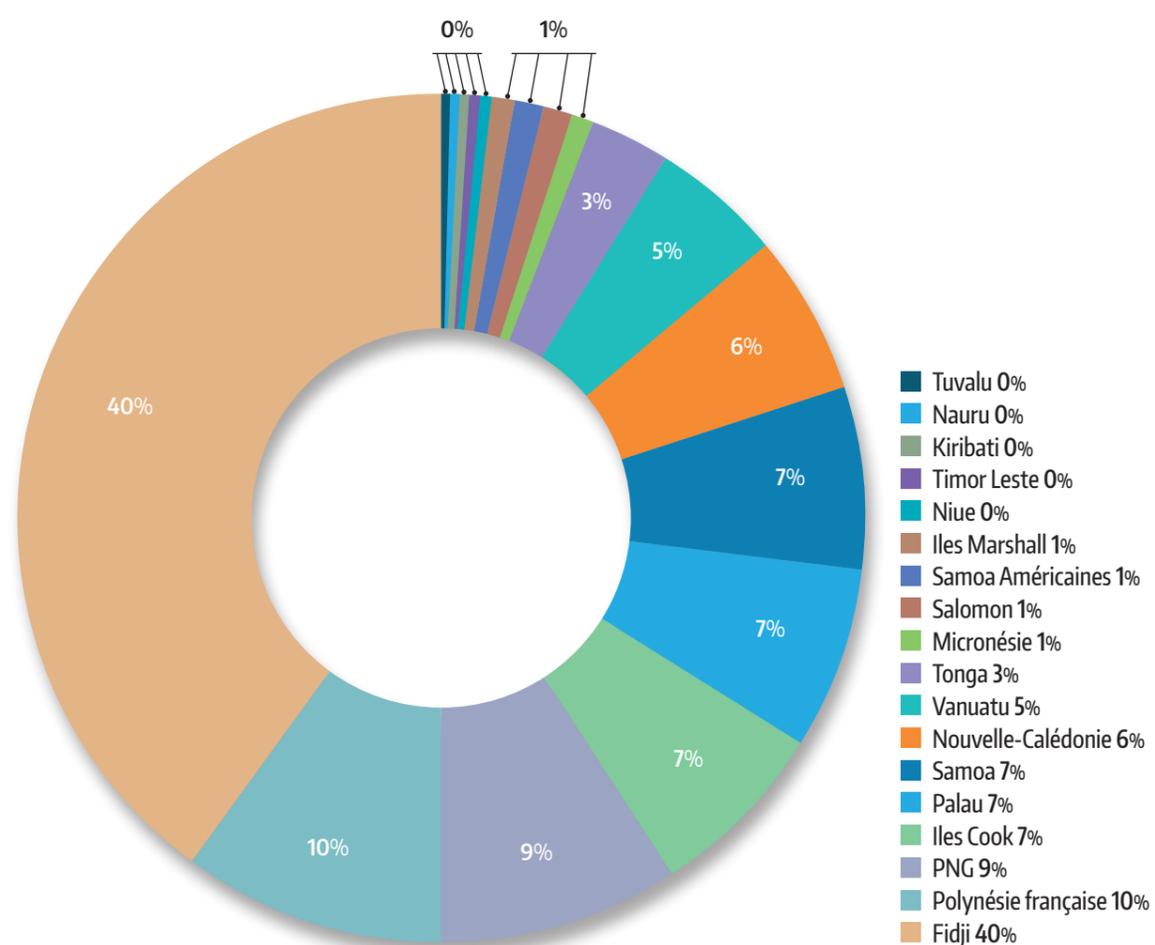
**Figure 33 :** Nature des données potentiellement collectées et transmises par un AIS (source : d'après Serry et Lévêques. 2015).

<sup>19</sup> *Safety Of Life At Sea* [<http://www.imo.org/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-%28SOLAS%29,-1974.aspx>].

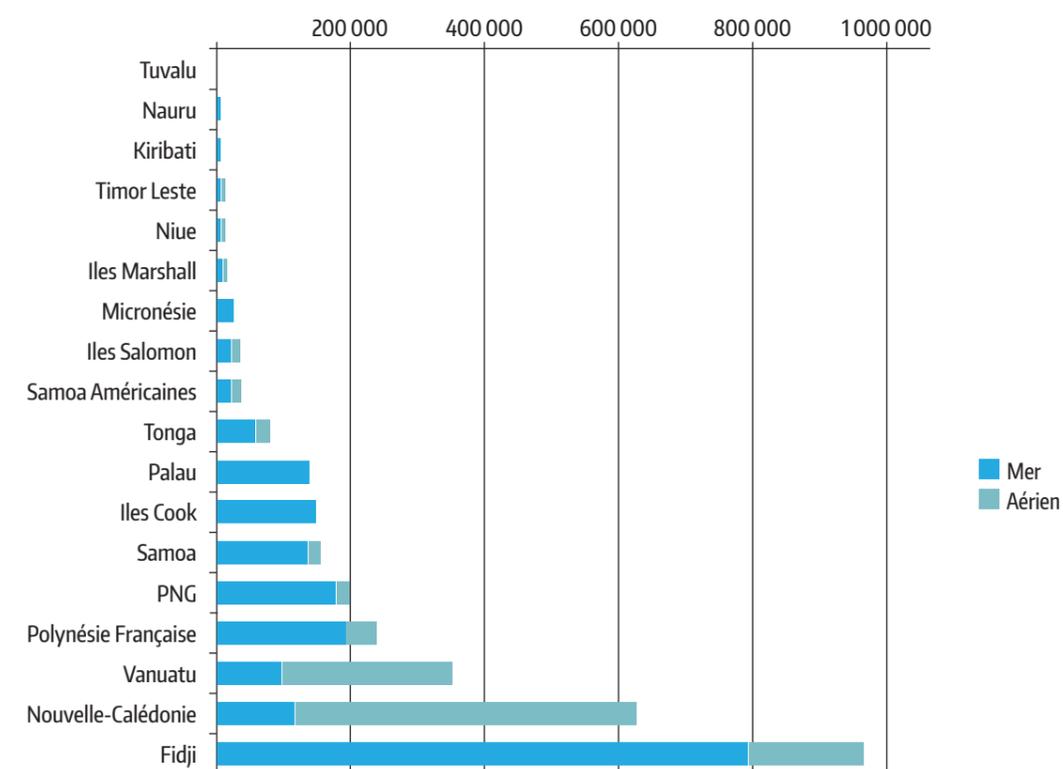
### III.4. TOURISME ET ACTIVITÉS NAUTIQUES RÉCRÉATIVES

Le tourisme constitue un secteur de croissance essentiel à l'économie des pays et territoires du Pacifique insulaire. Il convient de différencier :

- le tourisme aérien, qui en 2016 s'élevait à 2 millions de passagers et générait un afflux d'environ 3 milliards \$US : Fidji étant de loin la destination touristique phare (Figure 34), suivi de la Polynésie française, la Papouasie-Nouvelle-Guinée, les îles Cook, les Samoa et Palau. La Nouvelle-Calédonie, avec 115 676 touristes aériens en 2016, cumule environ 6% du flux touristique aérien de la région.
- le tourisme de croisière, qui totalisait environ 1 million de visiteurs en 2016 dans la région. Ce flux par voie maritime montre une répartition différente des flux aériens avec plus de 90% du flux concentré sur 4 destinations : Nouvelle-Calédonie (47%), Vanuatu (24%), Fidji (16%) et Polynésie française (5%) (Figure 35).



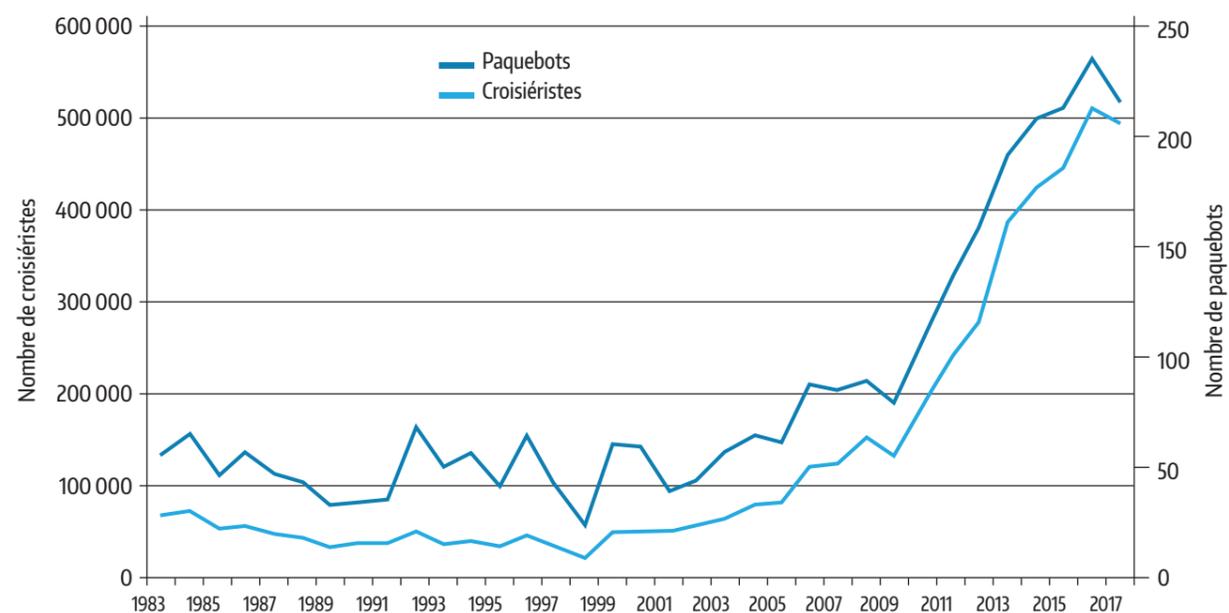
**Figure 34 :** Répartition du flux touristique aérien en 2016 entre les 17 pays et territoires du Pacifique insulaire (source : d'après South Pacific Tourism Organization).



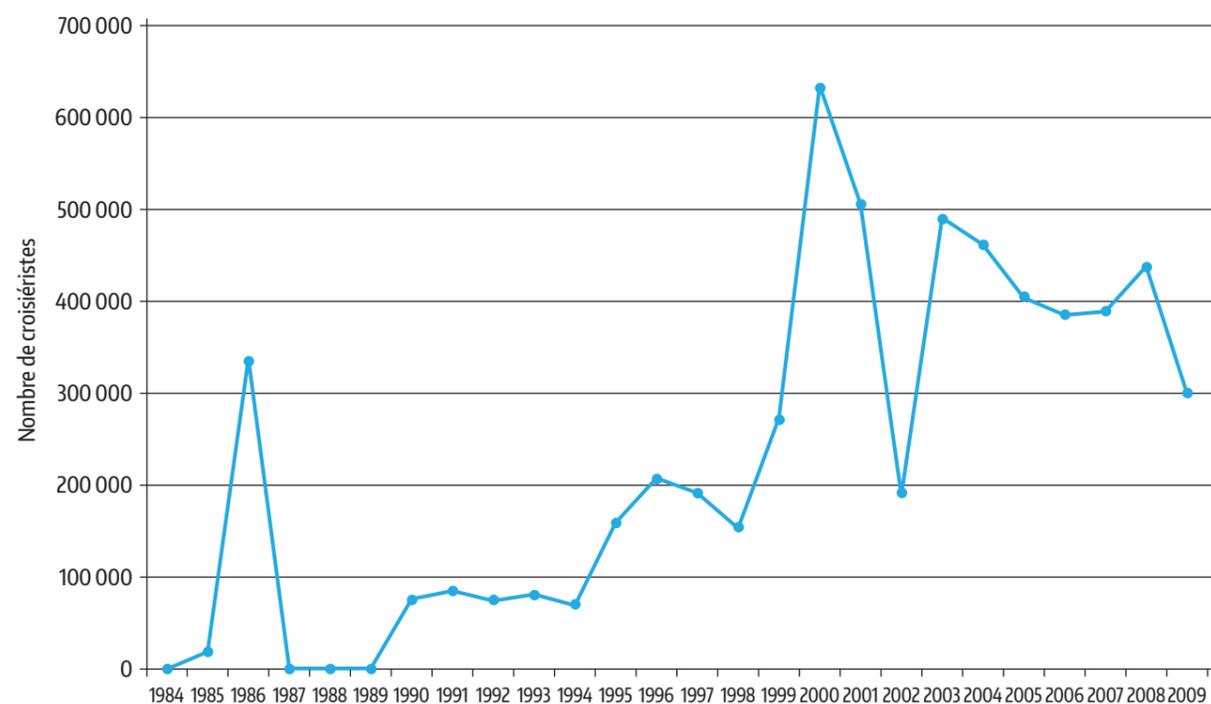
**Figure 35 :** Nombre cumulé de touristes en 2016 pour 17 pays et territoires du Pacifique insulaire, selon le mode de transport utilisé (source : d'après South Pacific Tourism Organization).

De manière générale, les activités tournées vers la mer présentent une forte attractivité touristique. Une étude réalisée à Fidji en 2012 montrait que nager était une des premières raisons de voyager (pour 75% des touristes enquêtés) et que les activités aquatiques ou de plage l'étaient pour 50% d'entre eux (Verdone et al. 2012).

Dans un contexte de croissance du tourisme, et particulièrement de l'industrie de la croisière ces dernières années comme c'est le cas en Nouvelle-Calédonie (Figure 36, mais également Figure 37 pour la Polynésie française), la mise en place d'un tourisme durable apparaît progressivement comme une priorité. En plus des problématiques liées aux mouillages de ces grands navires, l'afflux massif de touristes et la pression consécutive exercées sur la frange littorale et les ressources naturelles marines est une source potentielle d'impacts environnementaux. La conciliation du respect de l'environnement et de ces activités touristiques grandissantes constitue un enjeu majeur et appelle une nécessité de démocratiser les pratiques écotouristiques.



**Figure 36 :** Evolution du nombre de croisiéristes et de touchers de paquebots à Nouméa, Nouvelle-Calédonie (source : d'après ISEE).

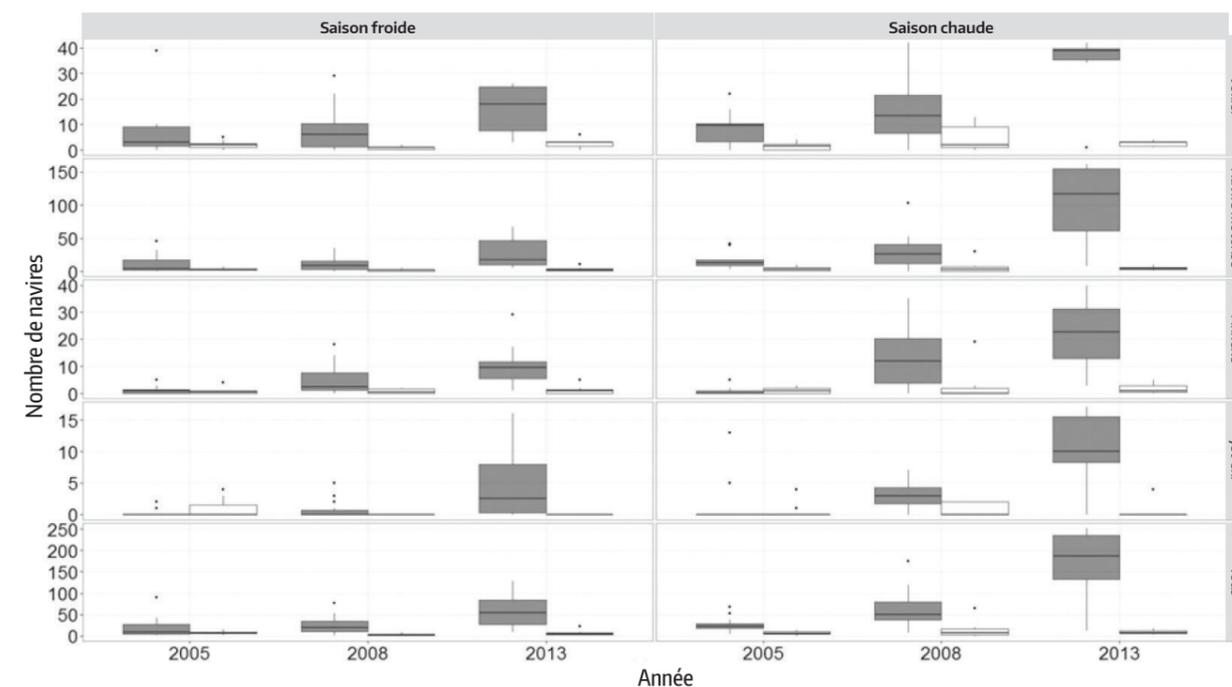


**Figure 37 :** Évolution du nombre de croisiéristes entre 1984 et 2009 en Polynésie française (source : d'après Blondy 2011).

Cette situation nécessite également la mise en place d'une gestion spatialisée et d'une zonation des usages, notamment dans les zones à forte valeur écologique. A titre d'exemple, les projets actuels d'arrêtés du Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie concernant la gestion du PNMC récemment créé prévoient, outre le classement de 100% des zones récifales en réserves naturelles ou intégrales donc l'accès sera interdit sauf autorisation gouvernementale, une réglementation des activités touristiques sur l'ensemble du Parc (source : Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie) :

- Autorisation obligatoire pour exercer une activité touristique professionnelle ;
- Interdiction de pénétrer dans les réserves naturelles pour tous navires d'une capacité supérieure à 200 passagers ;
- Débarquements organisés par groupes de 12 personnes maximum ;
- Interdiction des animaux domestiques, des sports nautiques motorisés, de la pêche, de la chasse, des foils et des activités aériennes, motorisées ou non ;
- Encadrement de toutes les autres activités (nombre de personnes autorisées, zones dédiées...);
- Obligation d'avoir à bord du personnel formé aux bonnes pratiques et à la réglementation ;
- Suivi des activités grâce à l'embarquement à bord des navires d'un observateur, le suivi satellite des navires et l'obligation de fournir un rapport annuel des activités.

Plus généralement et au même titre que l'afflux généré par certains types de tourisme, la croissance démographique notamment sur les zones littorales constitue une pression humaine grandissante sur le milieu marin, qui s'exerce à travers les usages récréatifs (baignade, fréquentation des plages et îlots, localisation des zones de mouillage, etc.) et extractifs (pêche de plaisance).



**Figure 38 :** Evolution par saison du nombre d'engins motorisés par catégorie entre 2005 et 2013 (source : Gonson et al. 2016). En gris les données en nombre de jours et en blanc les données en nombre de week-end.

En Nouvelle-Calédonie, une étude récente (Gonson et al. 2016) montre que sur la période 2005/2013 le nombre de bateaux a drastiquement augmenté sur les îlots du lagon situés à proximité directe de Nouméa (Figure 38). Elle met en évidence une augmentation de la fréquentation des réserves naturelles, une faible utilisation des mouillages écologiques mis en place entre 2008 et 2013, et un besoin de renforcement d'actions de sensibilisation concernant la protection de l'environnement au sens large.

La surveillance des activités récréatives et l'étude de leur distribution spatio-temporelle apporte la possibilité au gestionnaire, en caractérisant les évolutions, d'anticiper les impacts potentiels et de mettre en place des réponses adaptées. A ce titre, la mise en place de systèmes de suivi des activités récréatives, touristiques, et plus généralement de la fréquentation des zones maritimes côtières apparaît comme une priorité, notamment dans un contexte de multiplication des aires marines protégées.

## IV LES GRANDS ENJEUX DE SURVEILLANCE

Comme mentionné en début de rapport, la réalisation d'un panorama des grands enjeux de surveillance pour les 4 PTOM ciblés ne correspond pas ici à la finalité de la présente étude mais à une volonté de mise en contexte et à une phase introductive vis-à-vis du cœur de l'étude que constituent la revue des technologies de surveillance et son outil de sélection. A ce titre, la synthèse des enjeux de surveillance présentée ici reste indicative. Etant la résultante de plusieurs informations et réflexions, elle est notamment fondée sur :

- les éléments de contexte propres aux 4 PTOM européens, détaillés précédemment ;
- les priorités formulées de manière plus ou moins approfondies par certains gestionnaires dans le cadre des questionnaires ;
- les enjeux exprimés et/ou perçus par les auteurs à travers les rencontres menées auprès de nombreux acteurs clés concernés ou impliqués dans la surveillance maritime (ex. CPS, SCRRE, AEM-NC, AEM-PF, etc.) ;
- l'expertise et l'expérience thématique des différents intervenants du projet (auteurs du présent document en concertation avec l'AFB).

Cette partie constitue donc une réflexion synthétique combinant et mettant en cohérence ces différentes sources d'information afin de proposer une vision globale des enjeux de surveillance, dont certains se concrétiseront dans les cas d'étude présentés plus loin.

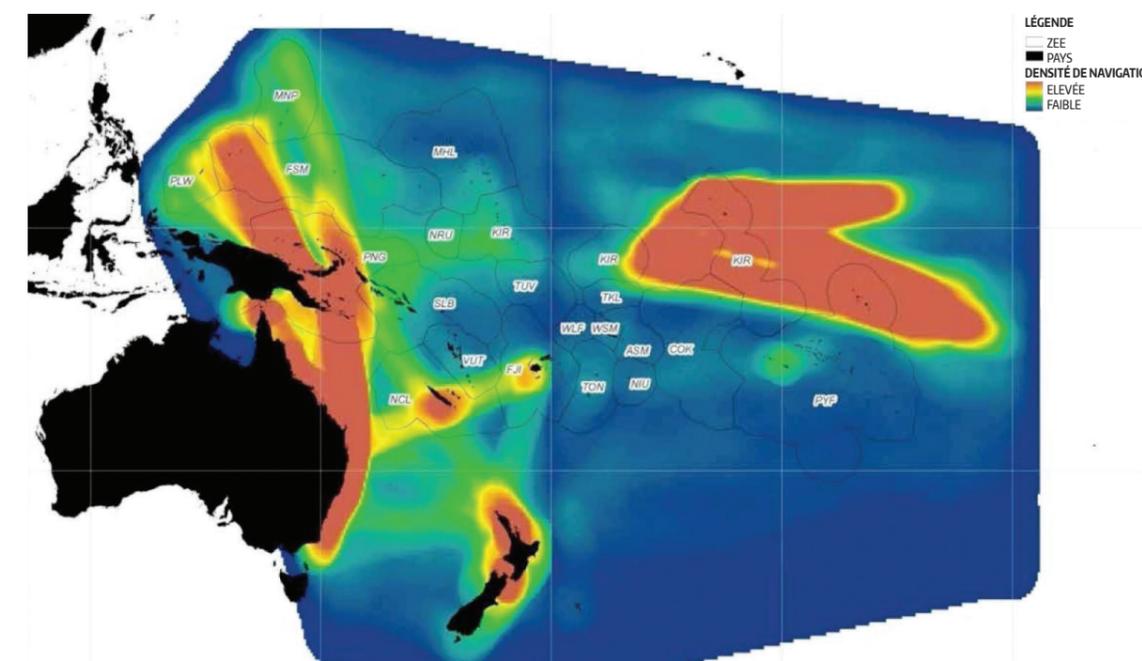
Dans le cadre de cette synthèse, les niveaux d'enjeux ont été caractérisés de façon semi-quantitative (4 classes) pour 7 catégories d'activités humaines considérées comme majeures dans une optique de surveillance. Cette catégorisation reste essentiellement sectorielle afin de pouvoir être mis en correspondance avec les solutions technologiques présentées en volets 2 et 3, dont la sélection est fortement dépendante du type d'activité et des objets à surveiller. Ces catégories sont de plus présentes sur la majorité des espaces maritimes des PTOM (Tableau 12). Dans ce tableau, on notera que les valeurs d'enjeux sont indépendantes entre les catégories d'activités humaines : pour un même PTOM il ne convient pas de comparer les niveaux d'enjeux entre catégories.

**Tableau 12 : Synthèse indicative des enjeux liés à la surveillance et/ou au suivi des activités humaines sur l'espace maritime des PTOM dans le contexte régional.**

	Wallis & Futuna	Nouvelle Calédonie	Polynésie	Pitcairn
Trafic maritime	1	3	3	1
Tourisme de croisière	1	3	2	1
Pêche côtière commerciale	1	2	3	0
Pêche hauturière commerciale	0	2	3	0
Pêche de subsistance et non commerciale	2	3	3	2
Activités illégales	2	2	2	3
Activités et usages récréatifs	1	3	3	0

0 : enjeux faibles à nuls    1 : enjeux faibles à moyens    2 : enjeux moyens à forts    3 : enjeux forts à extrêmes

Le niveau d'enjeu inhérent au trafic maritime, notamment le risque de pollution, peut être abordé de façon simplifiée en l'associant directement à la densité du trafic constaté dans la ZEE et dans sa périphérie (Figure 39). Aussi les niveaux élevés de densité de trafic maritime en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie Française place les enjeux liés à la surveillance et au suivi de cette activité comme forts. Ce constat est cohérent avec les résultats du rapport réalisé pour le PROE<sup>20</sup> et PACPOL<sup>21</sup> en 2003 et qui identifiait ces 2 PTOM comme présentant un potentiel de collision relativement élevé (Anderson et al. 2003). En Nouvelle-Calédonie où le trafic maritime lié à la croisière est particulièrement important, une étude sur la fréquentation des paquebots au niveau du parc marin des atolls d'Entrecasteaux, couplant les données déclaratives et analyses d'imageries optiques satellitaires, est en cours de finalisation à la Direction des Affaires Maritimes de la Nouvelle-Calédonie, démontrant les enjeux forts représentés par le transit de grands navires dans des zones sensibles.



**Figure 39 : Densité du trafic maritime total dans la région Pacifique Sud (source : SPREP 2014).**

La fréquentation touristique (incluant les croisiéristes) constitue un enjeu de développement certain pour les 4 PTOM. Toutefois le niveau de pression associé est directement lié au niveau de développement et aux flux de touristes, qui est peu important sur Wallis & Futuna et Pitcairn. En Polynésie Française avec environ 31 000 croisiéristes en 2017, le trafic de croisière est plus de 15 fois inférieur à celui constaté en Nouvelle-Calédonie, qui pour la même année cumule environ 493 000 croisiéristes. Si l'ensemble de la fréquentation humaine constitue un enjeu (cf. activités et usages récréatifs ci-dessous), le secteur touristique de la croisière, qui impose des arrêts fréquents et massifs sur des sites dépourvus des infrastructures nécessaires (quai, coffre ou zone de mouillage adaptées) constitue un enjeu majeur et en forte croissance pour la Polynésie Française mais surtout pour la Nouvelle-Calédonie (Figure 36).

<sup>20</sup> Programme régional océanien de l'environnement

<sup>21</sup> Pacific Ocean Pollution Prevention Programme

La **pêche côtière professionnelle**<sup>22</sup> fait apparaître des différences marquées dans son niveau de développement entre le 4 PTOM. On peut globalement différencier Pitcairn et Wallis & Futuna où le secteur de la pêche conserve un caractère largement vivrier avec une production tournée vers l'autoconsommation. La surveillance de ces activités, au-delà des modalités de suivi classiques (ex. carnet de pêche), constitue un enjeu considéré comme faible pour ces 2 PTOM. A l'inverse les deux autres PTOM présentent des pêcheries côtières professionnelles plus développées, avec respectivement 424 et 167 licences de pêche délivrées en Polynésie Française et en Nouvelle-Calédonie par les services en charge du secteur de la pêche. Les enjeux pour la mise en place d'une surveillance et d'un suivi faisant usage de technologies dédiées apparaissent plus importants. A ce titre, la Polynésie Française est engagée dans une démarche de développement technologique pour assurer un meilleur contrôle de l'utilisation faites des aides au carburant, avec la récente décision de rendre obligatoire l'équipement d'un système de déclaration automatique de leur position pour toute la flotte de pêche côtière.

Du fait d'enjeux économiques forts et de stocks halieutiques partagés régionalement, la **pêche hauturière professionnelle** dans les PTOM, lorsqu'elle existe, s'inscrit dans un cadre de gestion tant régional que local, nécessitant la mise en place d'une surveillance et d'un suivi dont les modalités ont été détaillées précédemment. Ce secteur de la pêche est celui qui fait actuellement le plus appel en routine à de nombreuses solutions technologiques. L'absence de flotte hauturière sur Wallis & Futuna ainsi qu'aux îles Pitcairn conduit à considérer que, excepté pour les activités illégales considérées indépendamment ci-dessous, l'enjeu du suivi et/ou de la surveillance de l'activité n'est de fait pas nécessaire. Ces enjeux restent importants en Nouvelle-Calédonie et très importants en Polynésie Française qui a l'ambition de doubler sa production hauturière d'ici dix ans. L'émergence de technologies au service de ces activités, telles que le *E-reporting* des données de pêche ou la surveillance électronique (cf. ci-dessus) démontre que la recherche d'appui technologique de la part des gestionnaires des pêche est réelle et que ces solutions devraient se démocratiser dans les années à venir. A ce titre, la Polynésie Française a récemment lancé le déploiement du *e-reporting* sur l'intégralité de sa flotte palangrière.

La **pêche non-professionnelle** regroupe un très large panel d'activités informelles : pêche vivrière, pêche de plaisance, pêche sportive, etc. Malgré son importance socio-économique et culturelle dans les PTOM, et l'enjeu fort de durabilité qu'elle renferme, il n'existe actuellement aucun suivi quantitatif de cette activité, notamment à large échelle géographique. Ceci peut être relié à la complexité de ce secteur : grande variété des pratiques et techniques de pêche, grande diversité des ressources pêchées et des typologies de pêcheurs, zones de pêche et de débarquements étendues et parfois isolées, devenir divers des captures et traçabilité complexe des produits de la mer une fois débarqués, ou encore existence d'une large gamme de circuits informels de commercialisation. En raison des liens forts entre populations et activités de pêche dans l'ensemble des PTOM, illustrés par le niveau élevé de consommation en produit de la mer (Figure 5), la pression de pêche issue des activités non-professionnelles apparaît fortement liée au couple démographie/surface exploitable (essentiellement des zones récifo-lagonaires). Ce critère a conduit à distinguer d'une part Pitcairn et Wallis & Futuna, et d'autre part la Nouvelle-Calédonie et la Polynésie française. Ainsi la surveillance et le suivi des activités de pêche non-professionnelles apparaissent comme un enjeu particulièrement fort en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie française, notamment au niveau des zones où se concentrent la population et donc l'effort de pêche.

La surveillance et le suivi des **activités illégales**, et notamment de la pêche, constitue un enjeu important pour la région et les PTOM du Pacifique insulaire. Ceci est d'autant plus important dans les cas comme Pitcairn où la ZEE est classée en réserve intégrale. L'Agence des pêches du Forum des îles du Pacifique (FFA) a montré que la pêche dite illégale entraînait une perte annuelle d'environ 600 millions \$US dans la

région. On notera que les enjeux de surveillance des activités de pêche illégales se traduisent localement de manière variable selon les PTOM. Bien que concernant l'ensemble de la ZEE, ils sont par exemple concentrés sur les zones récifo-lagonaires éloignées en Nouvelle-Calédonie où les activités illégales principales sont la pêche d'holothuries en zone peu profonde par les *blue boats* ou encore la pêche de requins proche des zones récifales. Ces considérations locales et propres à chaque PTOM appellent des priorités et des moyens de surveillance différents. Comme nous l'avons vu, et cela dans chacun des PTOM sans exception, il existe aujourd'hui des outils technologiques qui permettent de lutter contre les pêches illégales, non-déclarées, et non-réglementaires tout en assurant une sécurisation de la pêche durable. Notons que seuls les PTOM français sont dotés de moyens complémentaires maritimes et aériens de l'Etat qui participent à l'efficacité du dispositif.

En termes perspectives, la Nouvelle-Calédonie a par exemple engagé une étude technico-économique concernant l'utilisation d'un Wave Glider (drone de surface, Figure 19) équipé de capteurs clés (récepteur AIS, capteur acoustique et appareil photo, tel que déjà déployé à Pitcairn) afin de permettre la détection et l'identification d'éventuels bateaux de pêche en infraction dans la ZEE (ex. *blue boats*). D'autres dispositifs de surveillance des activités (notamment en regard du futur classement en réserves naturelles et/ou intégrales des récifs éloignés) sont en projet ou en cours de tests mais les informations correspondantes n'ont pas été transmises.

Enfin, les **activités et usages récréatifs** regroupent les nombreuses d'activités pratiquées par les populations locales ou les touristes sur l'espace maritime (Figure 40). On peut citer les activités de loisirs (baignade, plaisance, etc.) et sportives (planche à voile, kite surf, kayak, plongée sous-marine etc.), mais également les activités touristiques liées à la mer telles que le *whale watching*, la randonnée palmée ou encore le *sharkfeeding*. Les différentes formes d'occupation de l'espace et d'exploitation du milieu par l'homme créent un jeu complexe d'interactions qui peuvent mener à des conflits entre usagers et conduire à des dégradations environnementales. La connaissance de la dynamique des activités humaines constitue ainsi un enjeu de surveillance et/ou de suivi important pour les PTOM. Cela est particulièrement le cas en Polynésie française et en Nouvelle-Calédonie, qui présentent des populations équivalentes (respectivement 275 918 et 268 767 habitants), un taux de croissance positif, et un tourisme en croissance. A l'inverse, Wallis & Futuna et Pitcairn présentent un taux de croissance négatif, une population peu importante (respectivement 12 197 et 52 habitants) et un tourisme peu développé, correspondant donc à des enjeux bien moindres en termes de surveillance maritime dans ce secteur.

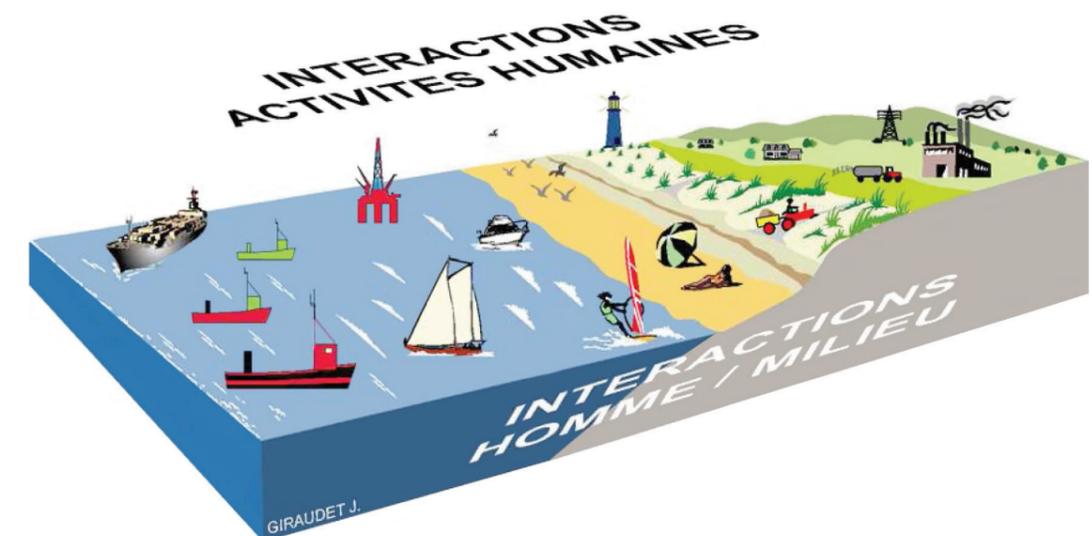


Figure 40 : Illustration de l'interaction des activités humaines en zone côtière (source : Le Tixerant 2004).

<sup>22</sup> Cette appellation englobe les pêches côtière et récifo-lagonaire qui font l'objet d'échanges commerciaux



# VOLET 2

## REVUE DES TECHNOLOGIES DE SURVEILLANCE

## I ARCHITECTURE DES TECHNOLOGIES DE SURVEILLANCE ET DE SUIVI

Les technologies de surveillance et de suivi de l'espace maritime comprennent systématiquement trois composants (Figure 41) :

- 1 le dispositif de mesure ;
- 2 le ou les moyens de transmission de la mesure ;
- 3 le segment sol.

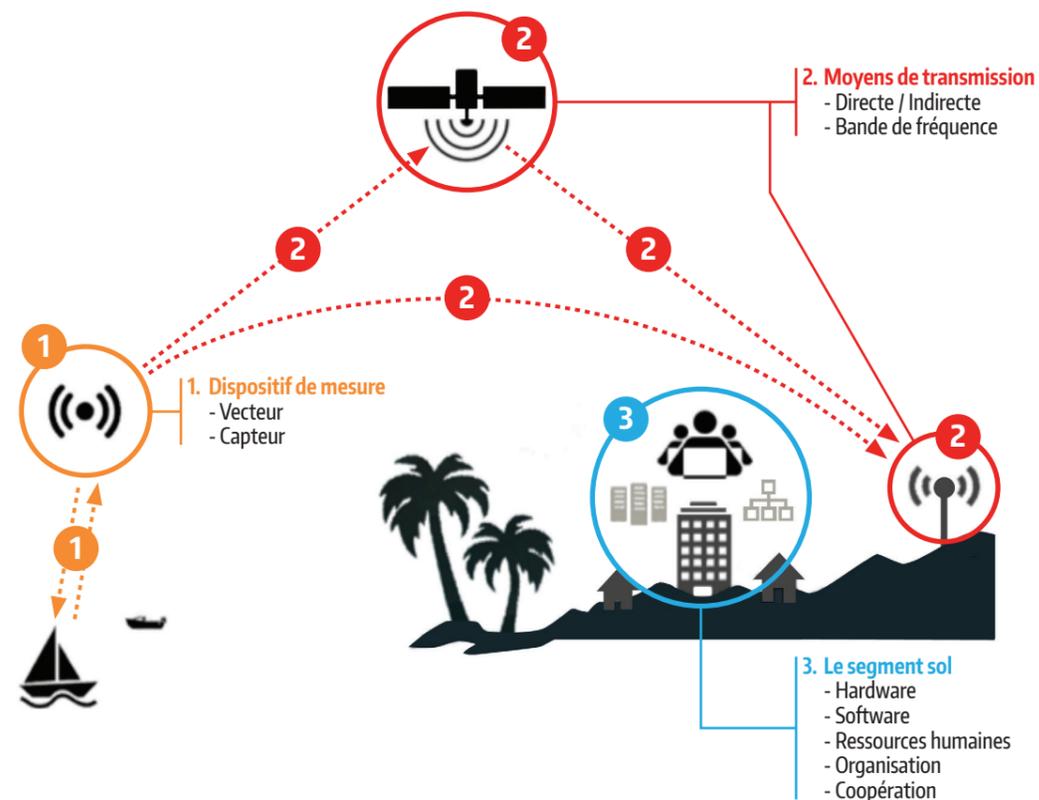


Figure 41 : Architecture standard des technologies de surveillance et de suivi.

Les caractéristiques techniques de chacun de ces composants déterminent les possibilités et les applications de surveillance ou de suivi en termes :

- d'applications et de précision ;
- de fréquence d'observation ;
- de délais d'accès aux mesures ;
- de limites techniques.

### I.1. LE DISPOSITIF DE MESURE

**Dispositif de mesure = vecteur + capteur**

Le dispositif de mesure se compose d'un vecteur et d'un ou plusieurs capteurs.

Le vecteur est le support sur lequel le capteur est embarqué. Ce support peut être fixe (antenne, mât) ou mobile (satellite, drone, avion, bateau). Les vecteurs utilisés par les technologies de surveillance et de suivi du milieu marin sont :

- les bouées, les mâts ou les antennes (plus particulièrement en zone portuaire et côtière) ;
- les bateaux ;
- les aéronefs (avions, hélicoptères) ;
- les drones aériens ou marins (de surface ou sous-marin) ;
- les satellites.

Les capteurs embarqués sont hétérogènes mais peuvent être regroupés en trois grandes familles : les capteurs d'identification et de localisation, les capteurs imageurs, les capteurs de signaux physiques. Bien que la mesure effectuée par des radiomètres ou les radars imageurs embarqués sur les satellites, drones ou aéronefs soit une mesure physique, ces mesures sont spatialisées afin de fournir des images de l'espace observé. De ce fait, ces capteurs sont classés parmi les capteurs imageurs.



Figure 42 : à gauche, un satellite (vecteur) embarquant un radiomètre imageur (capteur) (source : DigitalGlobe) ; à droite, drone haute altitude (vecteur) embarquant un appareil photographique (capteur) (source : Aces Flying High).

Tableau 13 : Familles de capteurs et capteurs utilisés pour le suivi et la surveillance maritime.

Capteurs d'identification et de localisation	Capteurs Imageurs	Capteurs de signaux physiques
Antennes GNSS (Global Navigation Satellite System)	Appareil photographique Caméra vidéo Radiomètre imageur Radar à synthèse d'ouverture	Radar Hydrophones Sonar (actif/passif)
Format des données : Texte	Format des données : Grille raster numérique Image	Format des données : Tableau numérique Listing numérique

Les paramètres techniques caractéristiques définissant leurs domaines d'application, leurs précisions et les limites des capteurs sont synthétisés dans le Tableau 14.

**Tableau 14 : Paramètres techniques caractérisant les capteurs.**

Paramètres techniques	Description
Type de technologie	Coopérative ou Non coopérative
Type de capteur	Description du type de capteur
Domaine d'application du capteur	Domaine physique ou thématique d'application du capteur
Vecteur	Vecteur sur lequel le capteur peut être embarqué
Type de données	Format et complexité des données transmises
Infrastructure	Infrastructures en termes d'équipement nécessaires au bon fonctionnement du capteur
Couverture spatiale	Emprise spatiale de la mesure (ponctuelle à globale)
Précision spatiale	Précision spatiale du positionnement de la mesure (Exprimée en mètre)
Précision thématique	Degré de précision de la mesure par rapport à la thématique (Détection, reconnaissance et identification, cf § 2.2.2.1.)
Résolution spatiale	Echelle d'échantillonnage spatial de la mesure (Très haute, haute à moyenne résolution)
Résolution temporelle	Fréquence d'acquisition de la mesure par le capteur (La résolution temporelle est dépendante du capteur, de la couverture spatiale du capteur et du type de vecteur)
Nombre d'opérateurs nécessaires	Indique le nombre de personnes nécessaires afin de faire fonctionner le capteur pour que celui-ci réalise une mesure (pour les capteurs satellitaires ou l'AIS, par exemple, l'acquisition par le capteur est totalement gérée par le fournisseur et ne nécessite pas d'opérateur in situ).
Limites techniques	Limites du capteur entraînant une perte significative de : - la précision thématique de la mesure ; - la précision spatiale de la mesure ; - la résolution temporelle de la mesure.
Evolutions programmées	Les évolutions d'ores et déjà programmées ou annoncées par les fabricants
Potentiel d'innovation	Potentiel d'applications innovantes découlant de l'exploitation des mesures réalisées par le capteur.

A titre d'exemple, les dispositifs de mesures comprennent les satellites imageurs, les transpondeurs de positionnement GPS, les systèmes de surveillance électronique, les sonars embarqués, etc.

## I.2. LE MODE DE TRANSMISSION

Le mode de transmission correspond aux moyens techniques mis en œuvre afin d'acheminer la mesure réalisée par le capteur aux opérateurs sur terre (segment sol). Le mode de transmission peut être :

- Manuel, c'est-à-dire qu'il nécessite l'intervention humaine afin d'être réalisé (exemple : transfert à partir d'un espace de stockage portatif tel qu'une clé USB ou l'unité mémoire d'un drone, déclenchement manuel de la transmission) ;
- Automatique, le transfert est réalisé sans intervention humaine entre le capteur et les moyens à terre. Dans ce cadre, nous distinguons :
  - Les modes de transmission directs : les données sont transmises directement à l'infrastructure du segment sol ;
  - Les modes de transmission indirects : les données sont transmises à l'infrastructure du segment sol via un ou plusieurs répéteurs. Dans le cas du mode de transmission indirect, le type de répéteur pourra engendrer des limitations liées à la technologie et/ou au type de vecteur du répéteur employé.



**Figure 43** : à gauche, antenne de réception VHF du signal AIS (source : Comar SYSTEMS) ; à droite, station de réception directe d'images satellitaires (source : Panem et al. 2012\*).

L'apparition de Services Web introduit un nouveau type de transmission de l'information dans le champ des modes automatiques indirects. Ce type de transmission permet de s'affranchir de certaines infrastructures initialement lourdes à mettre en place tout en conservant une haute qualité de service et en réduisant les coûts.

Le mode de transmission introduit essentiellement des limitations impactant :

- le délai de transmission des données vers le segment sol ;
- la couverture géographique disponible pour la transmission du signal ;
- la quantité et la qualité des données transmises.

Les paramètres techniques caractéristiques à considérer pour le mode de transmission sont synthétisés dans le Tableau 15.

\* Panem CF, Bignalet-Cazalet, Baillarin S (2012) "Pleiades-HR system products performance after in-orbit commissioning phase. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIX-B1(July): 567-572.

**Tableau 15 : Paramètres techniques caractérisant les modes de transmission.**

Paramètres techniques	Description
Type de transmission	Manuelle Automatique directe Automatique indirecte
Domaine d'émission des transmissions	Bande de fréquence des transmissions Web services Ce paramètre introduit des limitations sur la qualité/intégrité des données transmises
Délais de transmission	Temps entre l'acquisition de la mesure et la réception de celle-ci par le segment sol
Infrastructures	Antenne de réception et répéteurs Certaines infrastructures de transmission sont fournies par le service ou doivent être installées localement
Couverture géographique	Zone de couverture des antennes de réception et des répéteurs. La couverture géographique peut être globale ou limitée à un cône de visibilité.
Complexité de mise en œuvre	Degré de complexité et d'expertise nécessaire à la mise en œuvre et au maintien des modes de transmission.
Limites techniques	Limitations techniques liées au type de transmission, au domaine d'émission, au délai de transmission et de couvertures géographiques.

A titre d'exemple, les stations de réception satellitaire directes, les systèmes de télécommunication par satellite Inmarsat, les antennes de réception AIS font partie des dispositifs permettant la transmission des mesures réalisées par les capteurs vers le segment sol.

### I.3. LE SEGMENT SOL

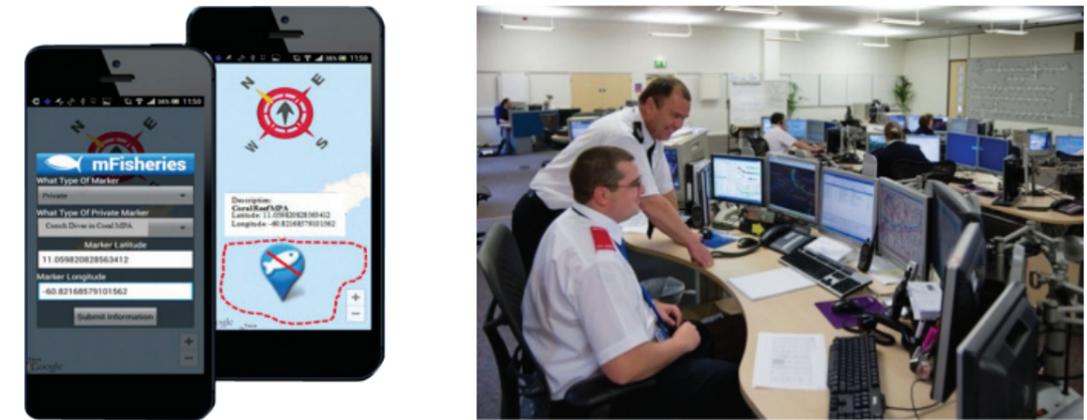
**Segment sol = Hardware + Software + Ressources humaines + Organisation + Coopération**

Le segment sol correspond à l'infrastructure d'exploitation des mesures réalisées par les capteurs. Le segment sol comprend les infrastructures matérielles, logicielles et humaines permettant de dériver les informations et les indicateurs nécessaires à la surveillance ou au suivi des activités ciblées.

Le segment sol comprend également les dispositifs organisationnels, le cadre de coopération et le cadre réglementaire le cas échéant.

Le segment sol est extrêmement variable tant dans son dimensionnement que dans les solutions techniques proposées : d'un simple smartphone muni d'un abonnement 4G au centre d'opération intégré.

Les paramètres techniques caractéristiques à considérer pour le segment sol sont synthétisés dans le Tableau 16.



**Figure 44** : à gauche, système de réception sol de suivi des pêches sur smartphone (source : Mallalieu and Andrews 2014) ; à droite, centre de contrôle VMS (source : Trackwell VMS).

**Tableau 16 : Paramètres techniques caractérisant le segment sol.**

Paramètres techniques	Description
Hardware	Matériel informatique requis pour opérer le système
Software	Logiciels requis pour opérer le système
Complexité de mise en œuvre	Nombre de manipulations nécessaires et leur degré de complexité
Ressources humaines et compétences requises	Nombre d'opérateurs nécessaires et degré de qualification pour opérer le système
Traitements de données	Traitements et analyse des données afin de transformer les mesures reçues en information de suivi/surveillance
Objectifs atteignables	Objectifs de suivi/surveillance visés par le dispositif
Efficacité	Contraintes impactant l'efficacité du suivi ou de la surveillance
Limites structurelles ou réglementaires	Contraintes liées à l'organisation ou à la réglementation
Coopération et échanges	Degré de confidentialité des informations

## II CARACTÉRISTIQUES FONDAMENTALES DES MESURES ET OBSERVATIONS DANS LE CADRE D'UN SUIVI OU D'UNE SURVEILLANCE

### II.1. PRÉCISION DES DONNÉES

Dans le cadre du suivi/surveillance des activités humaines en mer, c'est-à-dire l'identification d'objet dans un espace géographique, la précision englobe deux acceptions précises : la précision thématique et la précision de positionnement.

#### II.1.1. Précision thématique : capacité de détection, reconnaissance et identification

La précision thématique des mesures correspond à la finesse de la mesure par rapport aux objectifs d'utilisation définis. Dans le cadre du suivi ou de la surveillance des activités humaines en mer, l'objectif des mesures vise à l'identification de ces activités de manière régulière ou ciblée afin d'en dériver des indicateurs d'action.

En fonction des capteurs et des activités ciblées, le degré d'identification obtenu à partir des mesures est variable. On distingue communément :

- La détection : la capacité de distinguer un objet d'intérêt sans être en mesure de le caractériser (ex : détection d'un bateau) ;
- La reconnaissance : la capacité de renseigner la nature de l'objet (ex : c'est un bateau de pêche) ;
- L'identification : la capacité d'individualiser l'objet (Igilan - MMSI: 540002100, longueur 21m, largeur 7m).

La précision thématique est donc étroitement liée aux objectifs du suivi/de la surveillance, au type de mesure mais également au format de l'information et de la fréquence des mesures.

#### II.1.2. Précision de positionnement

La précision de positionnement correspond au degré d'exactitude de la localisation géographique des objets identifiés. Cette précision est dépendante du capteur mais également du vecteur sur lequel le capteur est embarqué. En effet, prenons l'exemple d'un capteur ayant une capacité de précision de positionnement géographique des objets de l'ordre de quelques centimètres. Si ce capteur est embarqué sur un vecteur dont la précision de positionnement géographique est métrique, la mesure réalisée aura une précision métrique.

La précision de positionnement ne doit pas être confondue avec la précision spatiale qui correspond à la taille du plus petit objet mesuré. Par exemple, la précision spatiale d'une image satellitaire est la résolution des pixels et sa précision de positionnement correspond à la qualité du géoréférencement de l'image.

### II.2. TEMPORALITÉ DES DONNÉES DANS LE CADRE DU SUIVI ET DE LA SURVEILLANCE

La notion de temps des données dans le cadre d'un suivi ou d'une surveillance est de première importance. Elle dépend de l'objectif, notamment selon s'il s'agit de suivi ou de surveillance :

- le suivi requiert la mesure ou l'observation régulière ou continue afin de caractériser des phénomènes ;
- la surveillance requiert des observations dont le type et la précision permet le contrôle du respect de la réglementation.

Ainsi, les technologies permettant de collecter régulièrement ou en continu seront les plus adaptées aux suivis. Dans le cadre de la surveillance, les technologies doivent acquérir la bonne information au bon moment.

Cette distinction suivi/surveillance introduit également une différence dans le temps d'accès à l'information utilisable (ou temps de latence). En effet, la surveillance permet le contrôle et donc l'action. La livraison de l'information doit donc être acheminée dans des délais en accordance avec le besoin opérationnel de contrôle.

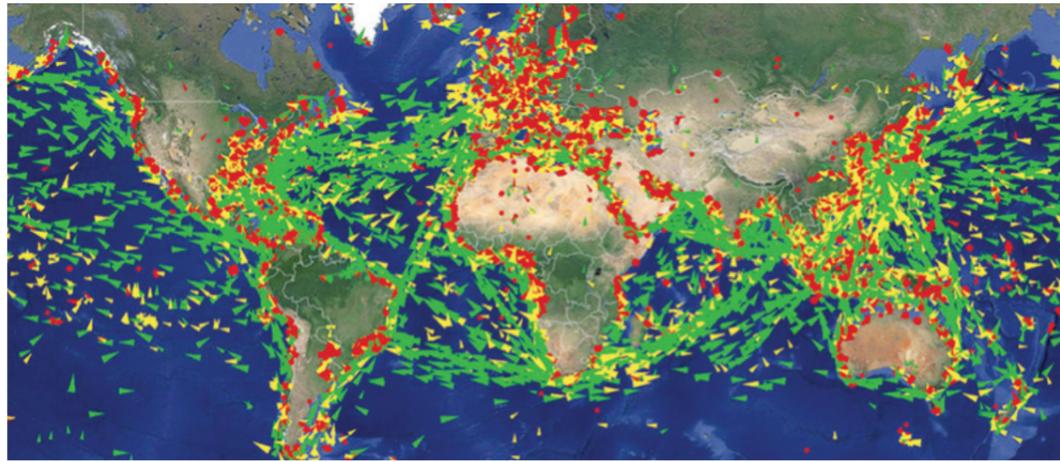
Ces contraintes nécessitent de prendre en considération les caractéristiques suivantes pour qualifier chaque technologie :

- La résolution temporelle du capteur : elle définit la fréquence d'acquisition des mesures ou sa capacité à mesurer en temps voulu. La résolution temporelle dépend du couple "capteur + vecteur" et de la couverture géographique du capteur ;
- Le temps de latence : ce délai est contraint par la fréquence d'acquisition du capteur, la revisite du vecteur, la couverture géographique du couple capteur-vecteur, le mode de transmission et les traitements nécessaires pour transformer les mesures en information.

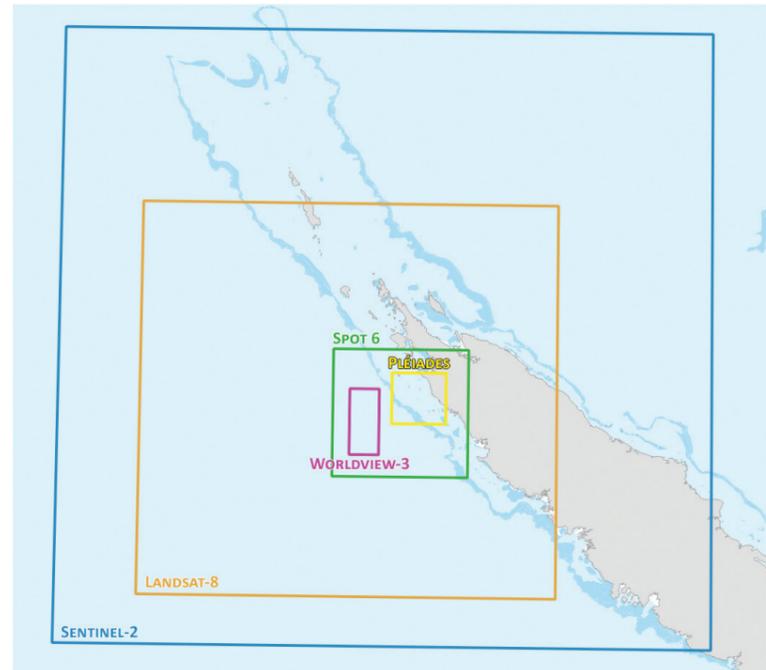
### II.3. EMPRISE GÉOGRAPHIQUE DES MESURES ET COUVERTURE GÉOGRAPHIQUE DES DONNÉES

L'emprise géographique des mesures et la couverture géographique des données sont à dissocier. L'emprise géographique de la mesure correspond à l'unité mesurée. Pour les dispositifs de suivi des bateaux, l'emprise de la mesure est un point localisé selon ses coordonnées géographiques et la marge d'erreur sur la localisation. Selon les technologies, la couverture géographique des systèmes de localisation des bateaux peut être locale (la zone portuaire), régionale (la zone côtière) ou globale (AIS par satellite, VMS, LRIT).

Pour les systèmes imageurs (par drones, satellites ou par avion), l'emprise géographique des mesures correspond à la résolution des images (la taille des pixels) ; la couverture géographique des données est déterminée par la fauchée de l'appareil imageur. Ces deux grandeurs sont liées puisqu'elles dépendent, outre des caractéristiques techniques du capteur, de l'altitude à laquelle l'acquisition est réalisée. De ce fait, plus l'emprise géographique de la mesure (ou résolution) est grande, plus la couverture géographique des données est réduite.



**Figure 45:** Données ponctuelles avec couverture géographique globale, exemple de l'AIS par satellite (source : SpaceNews Magazine).



**Figure 46:** Exemples de différentes couvertures géographiques d'images satellitaires (source : BLUECHAM SAS).

### III LES TECHNOLOGIES DE SUIVI/SURVEILLANCE DU POSITIONNEMENT DES BATEAUX

Ces technologies permettent l'identification et le suivi du positionnement des bateaux à très haute fréquence temporelle. Ce sont des technologies coopératives puisque les instruments de mesure sont installés sur les bateaux soit de manière volontaire, soit par obligation réglementaire.

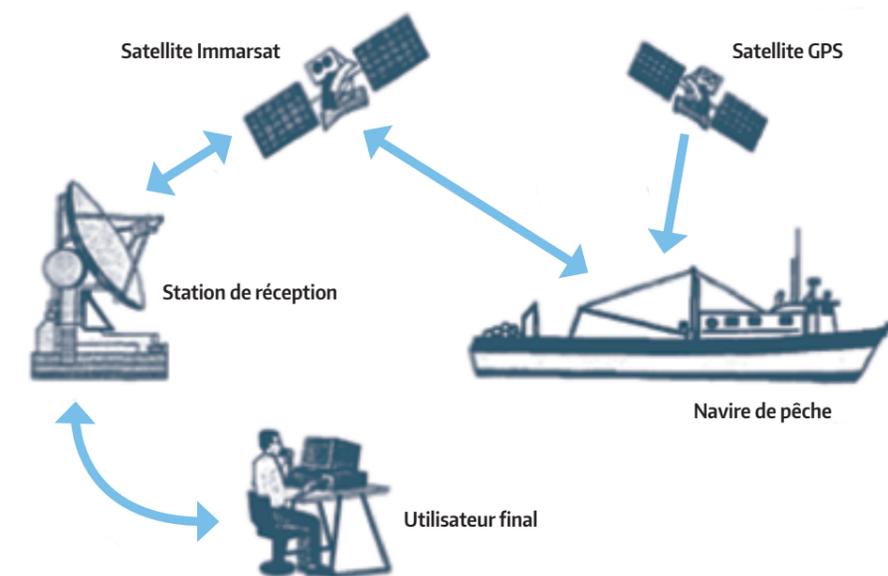
#### III.1. PRINCIPE GÉNÉRAL

Ces technologies fonctionnent sur le principe général suivant :

- le bateau envoie sa localisation et son identifiant à intervalles réguliers ;
- l'information est transmise sous forme de texte sécurisé par satellite ou ondes radio ;
- le segment sol réceptionne et intègre l'information sous forme de point sur un fond de carte.

Ces technologies nécessitent :

- un récepteur GNSS (*Global Navigation Satellite System*) de type GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, etc. branché sur un transpondeur à bord du bateau ;
- le transpondeur transmet via l'allocation de ressources sur les satellites de télécommunication de type Inmarsat, Iridium, Argos, ORBCOMM ou par ondes radio de type VHF ;
- un segment sol de réception des mesures comprenant les outils de décodage des signaux texte et des outils de positionnement géographique dynamique de chaque localisation de bateau et de leur mise à jour.



**Figure 47:** Principe général des technologies de suivi des positions des bateaux (source : Seawatch).

De nombreux systèmes opérationnels de ce type existent : VMS, LRIT ou AIS. Les différences entre ces dispositifs sont :

- technologique : la transmission est effectuée par satellite dans les domaines UHF ou SHF pour le VMS ou le LRIT, par onde radio VHF pour l'AIS (terrestre et satellite) ;
- organisationnelle : le type d'organisation, de réglementation, d'intégration régionale du segment sol.

La première différence est donc technologique et différencie les technologies basées sur la transmission des messages par satellites de télécommunication (UHF, SHF) de la technologie AIS qui transmet en VHF. Cette différence entraîne des contraintes sur la quantité et la qualité de l'information transmise. En effet, les domaines de fréquences UHF et SHF supportent une plus grande quantité de données et sont sécurisés afin de garantir l'intégrité des données transmises. Les domaines de fréquence VHF, utilisés tant pour la téléphonie, la télévision que la transmission de message, sont beaucoup plus sensibles aux brouillages et aux mélanges avec les autres signaux du fait de la saturation de ce domaine de fréquence.

Le mode d'organisation du segment sol distingue généralement les systèmes de type VMS et LRIT. Ces deux systèmes pouvant employer de manière combinée des technologies de positionnement par satellite de communication et l'AIS.

Le mode d'organisation du segment sol entraîne, lui, des contraintes :

- liées aux données réglementaires à transmettre par les bateaux et de leur degré de précision nécessitant certains équipements GPS-Transpondeurs ;
- de structuration du segment sol en termes de hardware/software et de ressources humaines pour gérer les données fournies ;
- relatives à la coopération régionale et internationale pour l'échange d'information.

### III.2. LES SYSTÈMES VMS

Les systèmes VMS (*Vessel Monitoring System*) sont des systèmes de suivi et de surveillance de la localisation des bateaux de pêche commerciale afin de gérer et contrôler cette activité, et prévenir les actions de pêche illégale. Aujourd'hui, les systèmes VMS sont des dispositifs à la fois technologiques et de coopération standardisée par les services de pêche nationaux et partagés au sein de centre régionaux.

Les équipements VMS varient en fonction des préconisations des réglementations nationales. Pour les territoires français, le dispositif VMS est réglementé par le Centre de Surveillance des pêches du CROSS à Etel (France). Il est régi par le *Règlement (CE) n° 2244/2003 de la Commission du 18 décembre 2003 établissant les modalités d'application du système de surveillance des navires par satellite 2003*:

- Tous les navires de pêche professionnelle de plus de 15m doivent être équipés ;
- Sont exclus les bateaux de pêche utilisés exclusivement aux fins d'aquaculture et opérant exclusivement à l'intérieur des lignes de base des états membres ;
- les dispositifs de repérage installés à bord des navires assurent :
  - la transmission automatique par satellite de télécommunication (Emsat, Iridium, Inmarsat, Argos, EutelTracs) de l'identification du navire de pêche ;
  - la position géographique de celui-ci avec une marge d'erreur inférieure à 500m et un intervalle de confiance de 99% ;
  - la date et l'heure UTC de la détermination de la position ;
  - la vitesse et la route du navire ;
  - la transmission est effectuée une fois par heure, cependant la transmission de ces informations peut être demandée à une plus haute fréquence ;

- Les bateaux de pêche ont interdiction de couper leur VMS en cours de pêche ;
- les états membres assurent les mesures nécessaires afin que les dispositifs de repérage ne puissent ni recevoir ni transmettre des positions erronées et soient protégés contre tout dérèglement manuel. Ainsi, le système de positionnement fourni par Argos est un système de positionnement automatique non falsifiable contrairement au GPS.

Les capitaines de navire doivent assurer que le dispositif à bord de leur bateau est constamment opérationnel.

Dans le Pacifique Sud, la FFA (*Pacific Islands Forum Fisheries Agency*) réglemente les spécifications du système VMS pour 17 pays de la région (Australie, Îles Cook, Etat Fédéré de Micronésie, Fidji, Kiribati, Îles Marshall, Nauru, Nouvelle-Zélande, Niue, Palau, Papouasie Nouvelle-Guinée, Samoa, Salomon, Tokelau, Tonga, Tuvalu, Vanuatu). La FFA fournit une liste d'unités VMS approuvées et autorisées<sup>23</sup>. La FFA autorise uniquement des transpondeurs de type E-MTU (*Enhanced Mobile Transceiver Unit*) permettant également de fournir des informations sur l'activité du bateau de pêche et de rapporter les prises effectuées, selon une fréquence d'émission toutes les 4 heures. ("Type Approval of Units Used with VMS and Authorised Installers | Pacific Islands Forum Fisheries Agency (FFA)" 2018).

D'un point de vue fonctionnel, l'émetteur VMS du bateau envoie, à un temps précis et de manière régulière, sa localisation ainsi que l'ensemble des informations requises par le pays dont le bateau de pêche possède la licence. Cette information est envoyée par satellite de télécommunication au centre national du suivi des pêches (segment sol) dont le bateau bat pavillon (*Flag Ship State*). Aujourd'hui, les télécommunications par Iridium sont les plus utilisées puisqu'elles permettent le transit d'une plus grande quantité d'information à plus haute fréquence comparée à des systèmes de type Argos.

Le centre national du suivi des pêches dont le bateau bat pavillon renvoie ensuite automatiquement le message au centre national du suivi des pêches du pays ou de l'instance régionale qui administre la zone où se situe le bateau. (Suhendar 2013 ; European Commission and JRC 2008).

Au sol, les équipements et logiciels comprennent des outils de suivi géographique des bateaux indiquant *a minima* leurs positions ainsi que leurs numéros d'identification. En fonction des réglementations, les équipements matériels et logiciels varient afin de produire l'ensemble des informations requises et d'assurer les échanges d'information entre les stations sols (Selbe 2014).

Ainsi, le coût du système VMS comprend le coût du transpondeur, de l'allocation de capacité de transmission auprès des opérateurs de télécommunication par satellite et de l'infrastructure sol. Plus la précision et le degré de complexité de l'information à fournir sont élevés, plus le coût augmente (Kelleher 2002).

La FFA en 2016 estime à 1 150 000 \$ US par an le coût du dispositif VMS pour une flotte de 1227 bateaux enregistrés. Le coût du récepteur GNSS et du transpondeur à bord du bateau varie entre 1700 \$ US et 2 300 \$ US pour les équipements approuvés par la FFA (Banks, Muldoon, and Fernandes 2016; Graham, Peter 2016). Aux USA, le coût de l'équipement VMS est de l'ordre de 4 000 \$ US auxquels s'ajoutent les coûts de communication par satellite (environ 500 \$ US, Selbe 2014).

L'échange des données VMS est effectué dans le cadre régional (FFA). Etant relatives à un secteur d'activité stratégique et à forte valeur ajoutée, les services des pêches tendent à garder ces informations confidentielles (European Commission and JRC 2008; Fournier 2012).

CLS développe actuellement une solution de balise ARGOS miniaturisée à faible coût pour équiper les bateaux de pêche traditionnels et artisanaux. Cette solution devrait être opérationnelle en 2022.

<sup>23</sup> [http://ffa.int/system/files/REG17\\_Type%20Approved%20MTU%20List%202017-a\\_0.pdf](http://ffa.int/system/files/REG17_Type%20Approved%20MTU%20List%202017-a_0.pdf)

### III.3. LE LRIT

Le LRIT (*Long Range Identification and Tracking*) est un système de messagerie pour la sécurité et le sauvetage en mer. D'un point de vue technologique, le système requiert les mêmes technologies que le système VMS et se différencie de ce dernier par son application et sa réglementation spécifique définie par l'amendement 19-1 du Chapitre V de la convention de l'Organisation Maritime Internationale SOLAS (*International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)*, 1974; Organisation Maritime Internationale 2013) :

- le LRIT est obligatoire pour :
  - tous les bateaux de voyageurs, y compris les bateaux de voyageurs à grande vitesse ;
  - tous les cargos et navires de charge, y compris les bateaux à grande vitesse, d'une jauge brute de 300 tonnes et plus ;
  - toutes les unités de forage offshore mobiles.
- ces bateaux transmettent automatiquement leur identifiant, leur position (latitude, longitude) et la date et l'heure de la position fournie ;
- les équipements utilisés doivent être conformes à la réglementation en terme de performance et de standards adoptés par l'Organisation Maritime Internationale ;
- le message est envoyé toutes les 6 heures et cette fréquence peut être augmentée à la demande d'un centre LRIT ;
- l'envoi du message est effectué de manière intentionnelle de la part de l'équipage du navire.

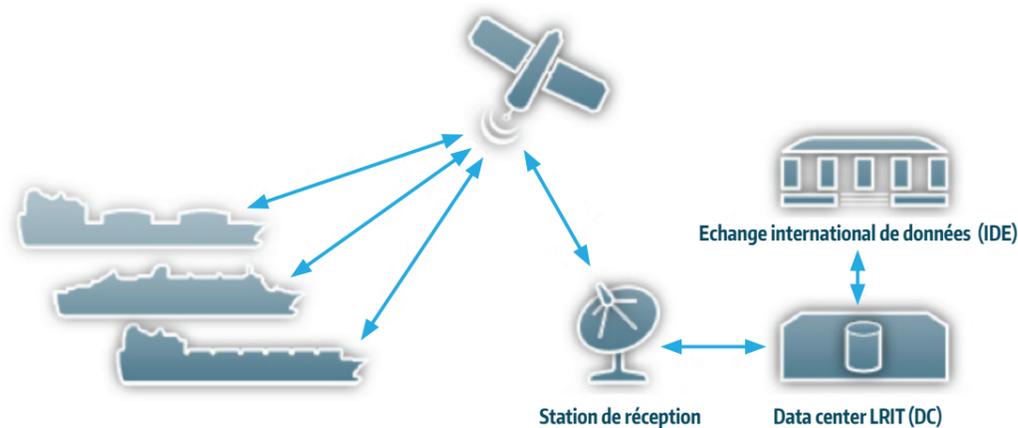


Figure 48 : Organisation du dispositif LRIT (source : Pole Star).

Le système LRIT est ainsi un outil complet de suivi coopératif de la navigation de certains bateaux comprenant : un équipement GNSS, l'équipement de communication par satellite du bateau de type GMDSS via Inmarsat, un fournisseur de service désigné, un centre national LRIT et un centre LRIT international d'échange d'informations (LRIT IDE).

Le centre national LRIT identifie et suit les bateaux sous son pavillon dans le monde entier et transmet ces informations au centre LRIT IDE. Le LRIT IDE est le module central du réseau LRIT qui interconnecte tous les centres LRIT nationaux. Ce dernier permet ainsi aux utilisateurs autorisés du réseau LRIT de demander et de recevoir les rapports de positionnement des bateaux.

Dans le réseau LRIT, les données collectées sont la propriété de l'Etat du pavillon du navire et l'ensemble des informations du réseau LRIT sont confidentielles. Les données LRIT sont chiffrées et envoyées uniquement au travers du réseau LRIT pour en garantir la confidentialité.

### III.4. L'AIS

L'AIS (*Automatic Identification System*) a été conçu à l'origine comme un outil d'aide à la navigation et d'aide à l'évitement à courte distance. En effet, l'AIS comprend un récepteur GNSS couplé avec un transpondeur émettant en VHF et recevant les messages AIS des navires avoisinant dans un cône de visibilité de 40 miles nautiques environ. En zone côtière, une antenne VHF permet également de recevoir et relayer les messages AIS dans un cône de visibilité de 40 miles nautiques (Ball 2013; Fournier 2012; European Commission and JRC 2008).

Ainsi, l'AIS est une technologie et non une organisation particulière et réglementée telles que le VMS ou le LRIT (Chen 2014).

Durant la première décennie des années 2000, ORBCOMM, ExactEarth ou Luxspace ont lancé les premiers satellites permettant de capter et retransmettre les messages AIS, rendant ainsi possible la récupération des messages AIS en haute mer. Aujourd'hui, ORBCOMM possède une constellation de 18 satellites et 16 stations sols permettant une couverture globale de l'AIS. ExactEarth possède également 18 satellites pour couvrir la surface du globe et a créé un partenariat avec Iridium afin d'équiper de nouveaux satellites de répéteur AIS (ORBCOMM 2010; ExactEarth 2014). On parle maintenant de S-AIS (*Satellite - AIS*).



Figure 49 : Principe initial de l'AIS (source : United States Coast Guard Boating Safety).

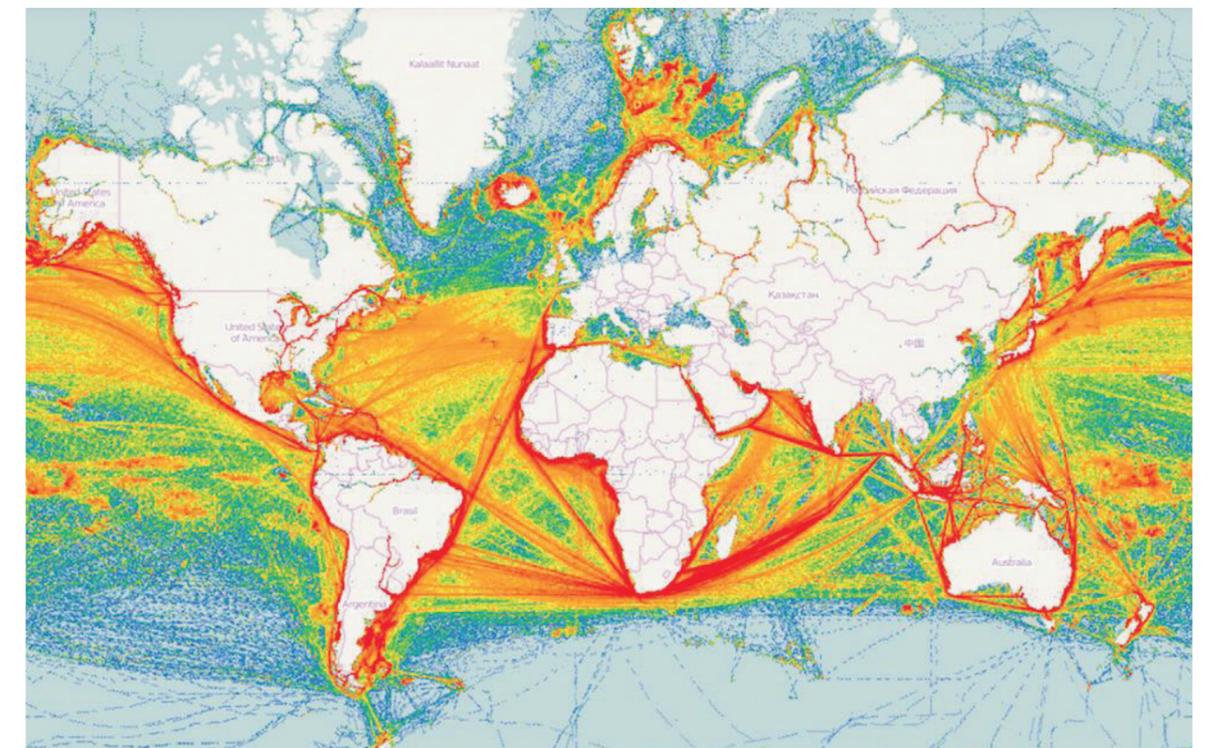


Figure 50 : Carte de densité des signaux AIS et S-AIS en 2016 (source : OpenWeatherMap).

L'AIS envoie un message texte à intervalle régulier dont l'intervalle de transmission dépend de la vitesse et du cap (de quelques minutes lorsque le bateau est au mouillage à quelques secondes pendant un changement de cap).

Les informations transmises comprennent le Numéro d'identification du bateau (MMSI), la position géographique, la vitesse, la direction. L'utilisateur peut également indiquer des informations complémentaires : sa provenance, sa destination, le type de bateau et ses dimensions (<https://www.navcen.uscg.gov/?pageName=AISMessages>). Le délai de transmission de l'information varie selon le mode de réception du signal AIS : à partir d'une antenne VHF au sol la réception est instantanée ; par satellite, le délai varie de quelques minutes à 6 heures.

Toutefois, l'AIS présente plusieurs limitations (Chen 2014; Robards et al. 2016 ; Dujardin 2004) :

#### ■ technologiques :

- La technologie est vulnérable au brouillage car les caractéristiques techniques sont publiques (Dujardin, 2004) ;
- En zone de fort trafic et du fait de la transmission dans le domaine VHF, le S-AIS n'arrive pas toujours à découpler les signaux voisins et concomitants et présente un début de saturation dans les zones à fort trafic ;
- L'efficacité de la transmission est invérifiable, donc la réception du message est imprévisible (cela entraîne des absences de données aléatoires) ;
- Géré par un mini-ordinateur, l'AIS est vulnérable aux virus informatiques ;

#### ■ réglementaires :

- Selon le Chapitre V de la convention SOLAS, l'AIS est obligatoire pour :
  - les cargos d'une jauge brute de 500 tonnes et plus,
  - tous les navires en transit d'une jauge brute de 300 tonnes et plus,
  - les bateaux de voyageurs de toutes tailles,
  - les tankers en transit international,
- Pour les navires de pêche, les navires traditionnels, les bateaux de plaisance de moins de 40m et les bateaux de moins de 5000 tonnes, l'équipement d'un AIS est une démarche volontaire ;
- Les informations fournies par le système AIS sont préalablement renseignées par l'utilisateur de l'AIS qui peut fournir des informations erronées.

L'emploi du domaine VHF permet de réduire les coûts des composants de l'AIS, tant pour les transpondeurs à bord des bateaux que pour la transmission des informations qui s'effectue dans un domaine de fréquence libre. Ainsi, le coût des transpondeurs varie autour de 1000€ ou plus (Selbe 2014) et le coût d'une antenne de réception AIS en VHF est de l'ordre de 2000€.

Avec le développement du S-AIS, les principaux fournisseurs (ExactEarth, ORBCOMM) fournissent aujourd'hui directement leurs données par le biais de services web standardisés : soit par récupération automatique de tables au format texte, soit par le biais de services web géographiques permettant de visualiser directement les données AIS sur fond cartographique. Dans ce cas, l'accès aux données S-AIS est proposé par les principaux fournisseurs ou des fournisseurs tiers sous forme d'abonnements mensuels ou annuels à partir de 25 \$ US. Le prix varie en fonction de la couverture géographique, de la précision des données, de la quantité de données consommées et du délai d'accès aux données (différé ou temps réel).

Les données AIS sont aujourd'hui largement partagées et constituent également une source de données historiques sur le transit des bateaux et leur comportement (traces des navires). Cette base de données historiques et l'ouverture de l'accès aux données ont permis le développement de méthodes d'analyse basées sur le *deep learning* afin de déterminer des signatures des comportements des bateaux. L'analyse automatisée des traces AIS permet ainsi de déterminer des cibles suspectes afin de focaliser la surveillance ou le suivi à l'aide d'autres moyens (reconnaissance aérienne, imagerie).

## IV LES SYSTÈMES IMAGEURS

Par systèmes imageurs, nous regroupons les technologies permettant la saisie de données au format image. Les capteurs sont variés (appareil photographique, caméra vidéo, radiomètre imageur, radar à synthèse d'ouverture) et peuvent être embarqués sur différents vecteurs (bateaux, drones aériens / marins / sous-marin, satellites). Deux groupes de technologies peuvent être distingués :

- Les technologies permettant la collecte d'images ou de vidéos exploitées par l'interprétation visuelle d'un opérateur humain. Ces technologies font intervenir des appareils vidéo ou photographiques qui capturent les preuves visuelles des activités ciblées. L'EMS (*Electronic Monitoring System*) ou la prise de photographies à des fins d'identification (obliques par avion, ou de surface par drone marin) font parties de cette catégorie ;
- Les technologies permettant l'acquisition d'images (photographies ou imageries) à large couverture permettant une vision synoptique d'un espace géographique donné à un temps donné (photographie aérienne ou par drone, ou imageries satellitaires). Ces technologies impliquent l'emploi de méthodes de traitements plus ou moins automatisées pour préparer et analyser le contenu des données.

### IV.1. IMAGES ET VIDÉOS POUR L'INTERPRÉTATION VISUELLE

Les capteurs employés sont des appareils photographiques classiques ou des systèmes de vidéosurveillance. Deux catégories peuvent être différenciées en fonction du vecteur support sur lequel le capteur est embarqué :

- A bord d'avions ou de drones aériens (surveillance aérienne) ;
- A bord de drones marins (surveillance de surface) ;

Un cas particulier de capteurs vidéo concerne les dispositifs de vidéosurveillance installés directement sur les bateaux. On parle alors d'EMS (Electronic Monitoring System).

#### IV.1.1. Surveillance aérienne

Cette section traite de la surveillance aérienne classique qui peut être opérée par un opérateur embarqué sur un avion de surveillance ou à l'aide de drones. La surveillance consiste en l'observation et la collecte de preuves (photos, film) des activités ciblées. La surveillance aérienne trouve un spectre large d'application de surveillance et de suivi des activités humaines en mer puisqu'elle peut être utilisée pour évaluer le nombre de personnes présentes lors d'un rassemblement (ilot, événement nautique) jusqu'à la recherche d'activité illégale.

De ce fait, les options technologiques sont variées :

- de l'avion de tourisme à l'avion militaire ;
- du drone professionnel au drone militaire.



**Figure 51 :** En haut, Gardian de l'AEM (Action de l'Etat en Mer) Nouvelle-Calédonie (source : Marine française) ; en bas à gauche, drone professionnel civil ; en bas à droite, drone militaire (source : Smith 2016\*).

Les données collectées sont des photographies ou des vidéos géolocalisées. De plus, ces avions sont souvent équipés d'un système radar afin de détecter les cibles. Ces données doivent être traitées par interprétation visuelle humaine afin d'en extraire l'information : comptages, identification de navire, identification de l'activité observée.

La couverture géographique de la surveillance est limitée par l'autonomie en vol du vecteur employé. Par exemple, en employant un avion Gardian possède un rayon d'action de près de 1 800 nm alors qu'un Cessna 172 possède un rayon d'action de 690 nm (Selbe 2014).

Les drones professionnels civils ont une autonomie variant de moins d'1h à 2h30 (le record est détenu par un drone russe à plus de 3 heures) ; les distances couvertes sont également variables allant du vol à vue (le drone ne peut être perdu de vue par son opérateur) jusqu'à des distances de plus de 100km. Aussi, beaucoup de drones sont fragiles vis-à-vis de l'eau (étanchéité, capteurs) et ne peuvent être utilisés sans risque au-dessus des étendues d'eau (Aerosonde and AAI Textron Systems 2014; Bryson and Williams 2015; Smith 2016).

Enfin, les drones moyenne altitude ou stratosphériques (souvent militaires) à longue endurance peuvent rester en vol plusieurs dizaines d'heures et parcourir plusieurs milliers de kilomètres (Ilčev 2018). Le record est détenu par le prototype de drone solaire léger d'Airbus (≈10kg), Qinetiq Zephyr, avec plus de 336 heures de vol.

Le coût de ce type de surveillance est variable en fonction du vecteur :

- La FFA en 2016 indique que le coût de l'heure de vol en avion pour des missions de surveillance varie de 700 \$ US (Cessna) à plus de 30 000 \$ US par avion militaire (Banks, Muldoon, and Fernandes 2016; Graham, Peter 2016; Lawery et al. 2016) ;
- A l'achat, un Cessna 172 coûte environ 30 000 \$ US alors que les avions classiques de surveillance se situent dans les prix de 100 000 \$ US et plus (Selbe 2014) ;
- le coût des drones professionnels civils varie de 2 000 \$ US à plus de 10 000 \$ US (incluant la caméra et la station au sol) auxquels s'ajoutent le coût des opérations de surveillance (de 1 à 2 personnes nécessaires pour la réalisation d'un vol) et le post-traitement des informations (Smith 2016; de Miguel Molina and Segarra Oña 2018).

\* Smith P (2016) A Survey of Advances in MCS & Related Applications of UAS, presented at the MCS Emerging Technologies Workshop, Auckland, New Zealand.

### IV.1.2. Surveillance de surface

La surveillance par bateau de patrouille constitue le cas typique de surveillance de surface. Ce type de surveillance est typiquement effectué par un bateau et un équipage effectuant des patrouilles. Ce dispositif, bien connu, ne sera pas traité dans cette revue technologique.

Des capteurs photographiques ou vidéo peuvent être installés sur les drones marins de surface. Toutefois, ceux-ci sont généralement couplés à des capteurs de mesures physiques (sonar, capteurs acoustiques ou radar). Le capteur physique détecte les cibles suspectes ; le capteur photographique ou vidéo permet alors l'identification de la cible (Liquid Robotics 2018; Liquid Robotics 2017a; Liquid Robotics 2017b).

Les photographies ou les vidéos peuvent être envoyées par le drone via télécommunication par satellite lorsque la bande passante le permet.

Les drones marins sont détaillés dans le § Volet 2.V concernant les capteurs physiques.



**Figure 52 :** Vidéo d'un bateau acquise par la caméra d'un *Wave Glider* après détection acoustique (© Liquid Robotics).

### IV.1.3. L'EMS (Electronic Monitoring System)

Les systèmes EMS consistent en l'installation de caméra de surveillance à bord des bateaux dans le but de surveiller et contrôler les activités (pêche notamment) réalisées à bord lors de la navigation. La collecte de données est donc limitée au bateau et à son environnement proche.



**Figure 53 :** Système EMS à bord d'un bateau de pêche (© Traceall Global).

Le système de caméra est généralement couplé au système de positionnement du bateau (VMS, AIS, etc.) afin de lier l'activité à la localisation. Les dispositifs sont optimisables afin d'être également couplé aux logbooks (carnet de relevés d'activité) ou de se déclencher selon certaines conditions (présences, proximité, etc.) (Bartholomew et al. 2018 ; Batty 2014 ; McElderry 2016 ; Hosken et al. 2014).

La transmission des données est limitée par le volume de données générées par ce dispositif. Classiquement, les données sont déchargées du système lorsque le bateau retourne au port. Des innovations sont expérimentées afin d'être en mesure de transférer automatiquement ces données par le réseau Wifi ou la 3G vers le segment sol (Middleton and Systems 2016). Actuellement, la transmission des vidéos par satellite de télécommunication n'est pas rentable (Banks, Muldoon, and Fernandes 2016).

Les données collectées consistent en des heures de vidéos de l'activité du bateau. Ces données sont classiquement revues par des opérateurs afin d'en extraire les informations souhaitées comme le comptage des prises (Munro 2016). Cette étape est longue et coûteuse. Lors d'essais réalisés par la FFA, 3 mois de pêche nécessitent 1 mois d'analyse des vidéos (Banks, Muldoon, and Fernandes 2016).

Des innovations sont proposées afin d'appliquer des procédures de traitement des images des vidéos afin d'extraire automatiquement les informations. Pour le suivi des pêches, ces logiciels permettent d'extraire, d'individualiser et d'identifier entre 80 et 95% des poissons pêchés (Hwang 2016).

En 2016, la FFA estime le coût global du système EMS à 4 000 000 \$ US, soit environ 3 800 \$ US par bateau équipé (Banks, Muldoon, and Fernandes 2016). En Colombie britannique, le coût du système EMS est estimé à 150 \$ US par jour de mer, soit environ 10 000 \$ US par bateau (Selbe 2014).

## IV.2. IMAGERIES GÉOGRAPHIQUES

L'imagerie consiste en la restitution sous forme d'image de la surface de la Terre à partir de différents phénomènes physiques tels que la réflexion de l'énergie solaire à la surface de la Terre ou la rétrodiffusion d'ondes radar. Contrairement aux photographies, l'imagerie contient des mesures physiques permettant le traitement numérique semi-automatisé ou automatisé afin d'extraire l'information recherchée.

Les capteurs employés sont généralement :

- des radiomètres imageurs convertissant l'énergie reçue en signal électrique numérisé tels que les capteurs satellitaires optiques ;
- des radars à synthèse d'ouverture (ou SAR, *Synthetic Aperture Radar*) ou à visée latérale (SLAR, *Side Looking airborne radar*) qui enregistrent la rétrodiffusion du signal que le capteur envoie sur la surface du sol dans le domaine de fréquence des micro-ondes UHF et SHF (Bandes X à P).



**Figure 54 :** A gauche, imagerie par radiomètre imageur ; à droite, imagerie par radar à synthèse d'ouverture (© ESA 2017).

## IV.2.1. Les types de capteurs imageurs

### IV.2.1.1. Les radiomètres imageurs

Les radiomètres imageurs exploitent l'illumination du soleil et enregistrent l'énergie réfléchie par les objets de la surface de la Terre en la convertissant en valeur numérique de réflectance. Ce sont donc des capteurs passifs qui opèrent durant la journée (Baghdadi and Zribi 2016a).

Les principales caractéristiques de ces capteurs sont :

- le nombre de bandes spectrales enregistrées qui correspond aux domaines de sensibilité des détecteurs (exemples : bande bleue, bande rouge, bande infrarouge, etc.). Pour des radiomètres à 4 bandes incluant le proche infrarouge, on parle de capteur multispectral ; pour les capteurs entre 4 et 32 bandes, incluant le proche infrarouge et le moyen infrarouge, on parle de capteurs superspectraux ; pour les capteurs possédant plus de 32 bandes, on parle de capteurs hyperspectraux.
- la résolution radiométrique qui caractérise l'aptitude des détecteurs à distinguer et séparer les différents spectres (séparation du bleu, du vert et du rouge en bandes différentes et distinctes).

Plus le nombre de bandes est élevé et la résolution radiométrique fine, plus les images produites auront une capacité de reconnaissance accrue par traitements mathématiques :

- les capteurs multispectraux permettent de distinguer l'eau des objets minéraux à sa surface ;
- les capteurs superspectraux et hyperspectraux permettent de reconnaître le type de matériaux des objets à la surface de l'eau.

Les images produites sont souvent confondues avec des photographies car la visualisation simultanée des bandes bleue, verte et rouge (dite fausses couleurs naturelles) donne l'illusion d'une photographie.

Les vecteurs employés sont essentiellement les vecteurs aériens (avions, drones) ou les satellites. Le type de vecteur employé a une incidence sur :

- la couverture géographique imagée qui est fonction de l'altitude et du déplacement du vecteur ;
- la résolution spatiale des images qui est fonction du type de capteur et de l'altitude du vecteur (pour un capteur donné, plus l'altitude du vecteur est élevée, plus la résolution spatiale des images diminue) ;
- la revisite du vecteur et donc la fréquence et la régularité des observations.

De manière générale, plus le capteur possède une résolution élevée et plus la couverture géographique de la donnée sera restreinte.

En plus de la résolution radiométrique, la résolution spatiale permet de définir le degré d'identification que le couple capteur + vecteur permet d'atteindre (Figure 55).

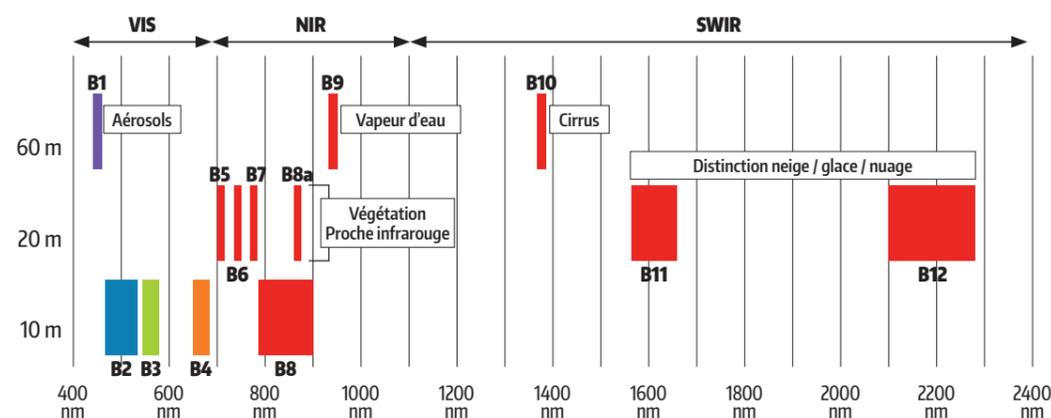


Figure 55 : Nombre et résolution spectrale du capteur Sentinel-2 MSI (d'après © ESA).

Tableau 17 : Relation entre résolution et couverture des images.

Capteur et vecteur	Résolution	Couverture géographique
Radiomètre des satellites météorologiques géostationnaires	3 km	1/3 du globe terrestre
Sentinel-2 MSI	10 m	290 km (Est-Ouest) x 15000 km (Nord-Sud)
SPOT-6	3.00 m	60 km (Est-Ouest) x 600 km (Nord-Sud)
Pléiades	0.70 m	20 km (Est-Ouest) x 600 km (Nord-Sud)
Worldview-3	0.30 m	11.5 km (Est-Ouest) x 112 km (Nord-Sud)



Figure 56 : A gauche, détection d'un objet "minéral" sur l'eau par radiomètre imageur haute résolution ; au centre, reconnaissance d'un bateau par radiomètre imageur haute résolution (même résolution et même échelle que l'image de gauche) ; à droite, identification d'un catamaran à coque composite par imagerie très haute résolution superspectrale (© ESA 2017, © DigitalGlobe 2017, traitements BLUECHAM SAS).

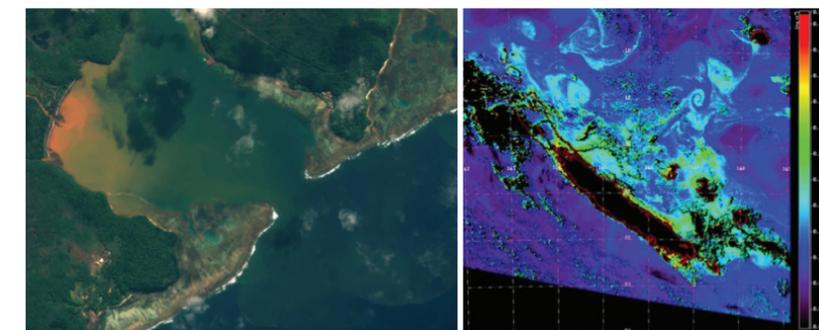


Figure 57 : A gauche, panache turbide après les fortes pluies de juillet 2013, Baie de Port Boisé (© DigitalGlobe 2013, traitements BLUECHAM SAS) ; à droite, estimation du phytoplancton à partir du radiomètre MODIS (© IRD, Dupouy et al. 2014).

Les images collectées par les radiomètres imageurs trouvent de nombreuses applications en milieu marin :

- Estimation de la turbidité (qualité de l'eau) ;
- Estimation de la Chlorophylle-a (paramètre indispensable pour la détermination des zones de concentration en phytoplancton) ;
- Température de surface de l'eau ;
- Analyse du littoral (trait de côte) ;
- Etat de la végétation littorale, des mangroves et des herbiers ;
- Erosion.

La couverture nuageuse est une limite importante des radiomètres imageurs puisque ceux-ci ne permettent pas de voir la surface du sol au travers des nuages.

### IV.2.1.2. Les capteurs radar

Les capteurs imageurs radar sont des capteurs actifs. Ils génèrent leur propre source d'illumination dans le domaine des micro-ondes. Ils enregistrent ainsi la part de rayonnement micro-onde qui est réfléchi par les cibles qu'ils ont illuminées. Ces capteurs présentent ainsi deux avantages majeurs : ils sont capables de réaliser des images de nuit et les micro-ondes pénètrent le couvert nuageux. Par contre, ces capteurs nécessitent une grande quantité d'énergie afin de réaliser les mesures (Baghdadi and Zribi 2016b).

On distingue les radars imageurs à synthèse d'ouverture (SAR) et les radars imageurs à visée latérale (SLAR) :

- les radars à synthèse d'ouverture utilisent le déplacement du vecteur pour effectuer plusieurs mesures successives afin d'améliorer la résolution du signal ;
- les radars à visée latérale effectuent leurs mesures latéralement au déplacement du vecteur. Leur résolution est directement liée à l'ouverture de l'antenne (sa taille) et à l'altitude du capteur.

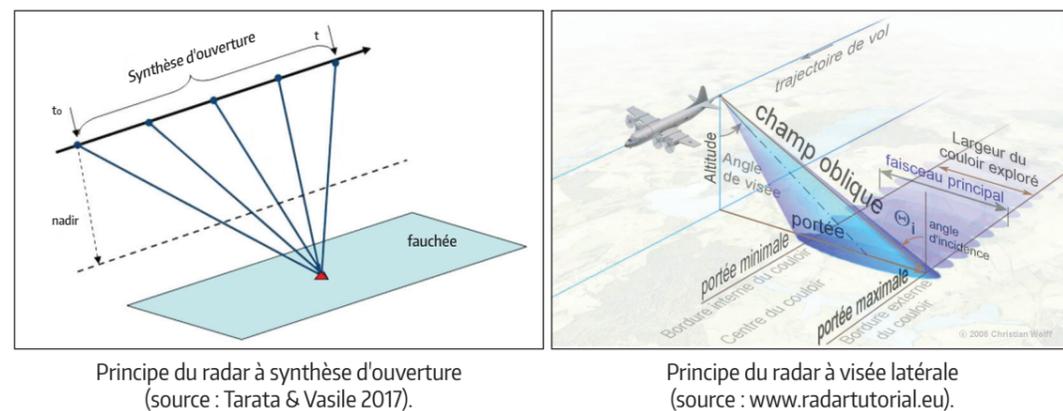


Figure 58 : Principes des capteurs radar.

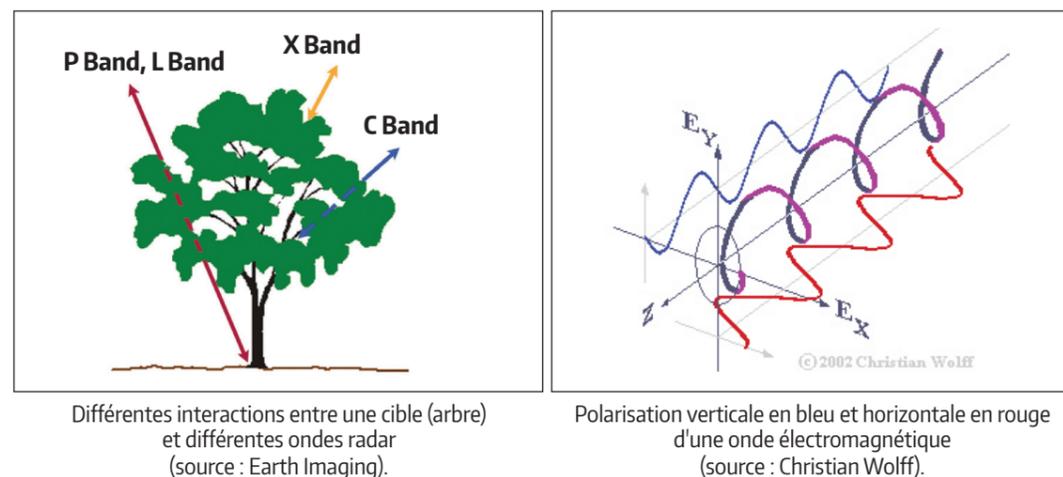


Figure 59 : Interaction du signal radar avec les cibles et polarisation du signal.

Les principales caractéristiques de ces capteurs sont :

- la bande radar utilisée qui sera plus ou moins sensible aux perturbations atmosphériques et adaptée aux cibles recherchées ;
- la polarisation verticale ou horizontale de l'onde radar (en envoi ou en réception) qui sera plus ou moins rétrodiffusée en fonction des cibles.

Contrairement aux radiomètres imageurs, les radars imageurs enregistrent l'intensité (ou quantité de signal) et la phase du signal reçu (angle de l'oscillation du signal). Afin d'être exploitable, ce type d'image nécessite des prétraitements spécialisés. Pour le suivi et la surveillance des activités humaines en mer, la mesure de l'intensité est la plus utilisée. Elle correspond à l'intensité de rayonnement rétrodiffusé et dépend de la longueur d'onde, de la surface de la cible et de sa rugosité.

Ainsi, les données radar sont souvent exploitées pour détecter des objets d'intérêt ou suspect. La reconnaissance ou l'identification des objets nécessite ensuite l'apport de données complémentaires comme l' AIS, le VMS ou des données de radiomètre imageur.

Les images radar permettent également de détecter et suivre les pollutions et marées noires ainsi que l'estimation de paramètres océanographiques tels que les trains de vague.

Comme pour les radiomètres imageurs, plus le radar possède une résolution élevée et plus la couverture géographique de la donnée sera restreinte.

Les vecteurs employés sont essentiellement les vecteurs aériens (avions, drones) ou les satellites. Le type de vecteur employé a une incidence sur :

- la couverture géographique imagée qui est fonction de l'altitude et du déplacement du vecteur ;
- la résolution spatiale des images qui est fonction du type de capteur et de l'altitude du vecteur (pour un capteur donné, plus l'altitude du vecteur est élevée, plus la résolution spatiale des images diminue) ;
- la revisite du vecteur.

Tableau 18 : Relation entre résolution et couverture des images pour le capteur RADARSAT.

Type de mesure radar	Résolution	Largeur de l'image
SpotLight	1.5 m	18 km x 8 km
Ultra-Fine	3 m	20 km x 20 km
Fine	5 m	50 km x 50 km
Wide	12.5 m	150 km x 150 km
ScanSAR	25 m	300 km x 300 km

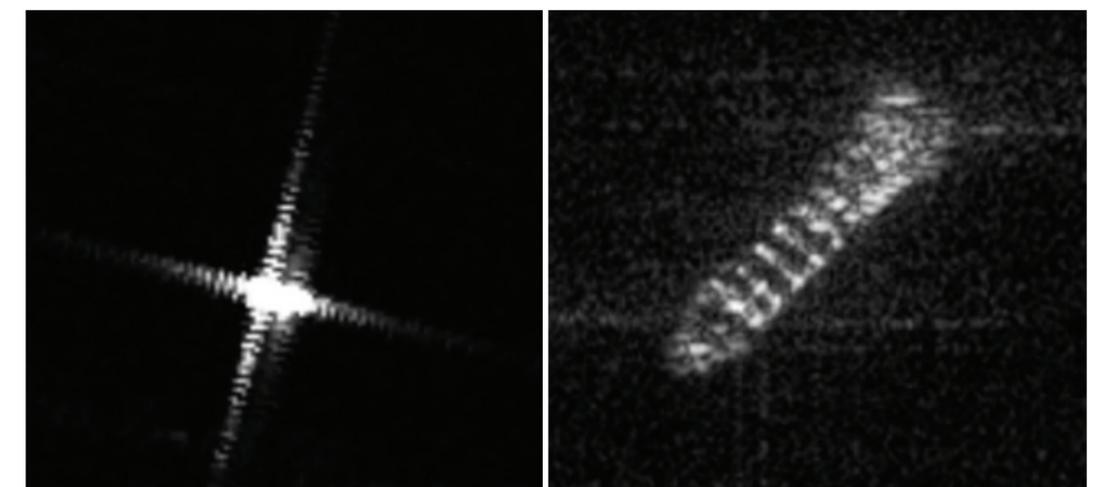
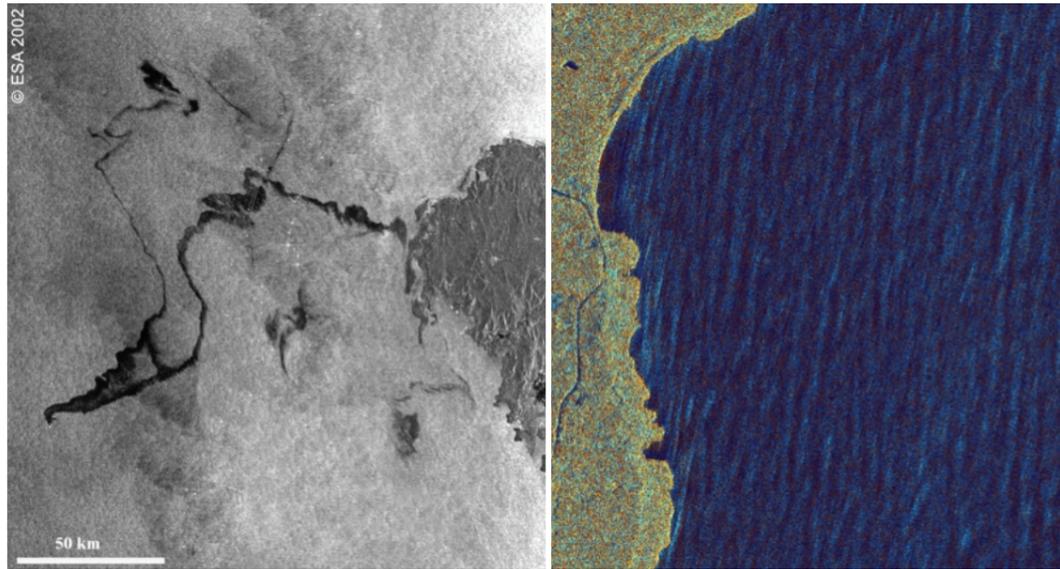


Figure 60 : A gauche, un minéralier détecté par le radar de Sentinel-1 à 25m (© ESA) ; à droite, un cargo observé par RADARSAT-2 Ultra Fine à 3m (© MDA).



**Figure 61** : A gauche, détection d'une marée noire à partir d'image radar ENVISAT (© ESA) ; à droite détection des trains de vagues par ALOS PALSAR (© JAXA, traitements BLUECHAM SAS).

## IV.2.2. Les moyens aéroportés

### IV.2.2.1. Imagerie aéroportée par avion ou hélicoptère

Par avion ou hélicoptère, les capteurs pouvant être embarqués sont :

- Un radiomètre imageur multispectral ou hyperspectral ;
- Un radar à synthèse d'ouverture ;
- Un radar à visée latérale.

La résolution dépend de l'altitude de vol du vecteur (entre 100m et 1km pour les hélicoptères et de 5 à 15km pour les avions) ; classiquement, les images produites présentent des résolutions de quelques mètres jusqu'à 10cm.

La résolution spatiale des images obtenues est métrique à décimétrique en fonction de l'altitude et du capteur. La couverture géographique réalisée en un seul vol est variable puisqu'elle dépend du capteur utilisé, de l'altitude et du type de vecteur employé (autonomie). De la même manière, la revisite régulière des sites par ce type de procédé est incertaine et imprévisible sauf à planifier des missions à l'avance. Les données collectées sont déchargées du capteur au retour de la mission afin d'être traitées. Le traitement comprend les corrections géométriques et radiométriques qui peuvent être complexes du fait de la variabilité des prises de vue et de l'exposition solaire par rapport au capteur.

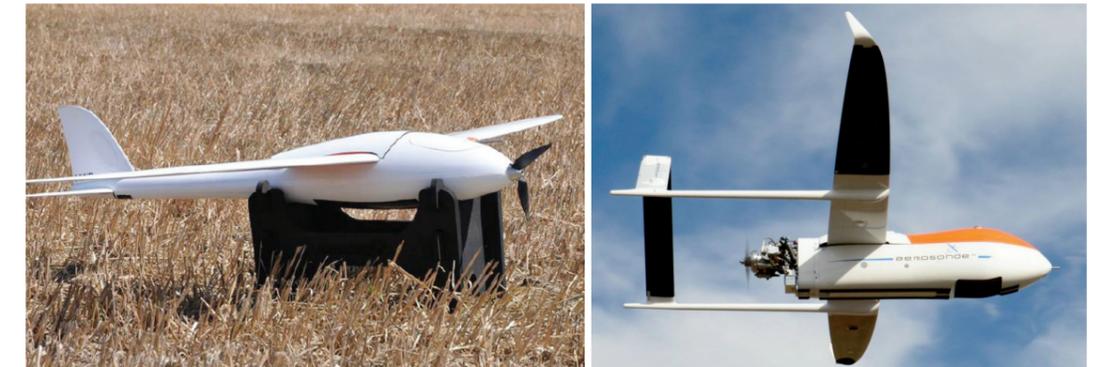
Les coûts pour ce type de dispositif comprennent le coût de la campagne aérienne (avion et équipage + capteur) ainsi que le coût de prétraitement et d'analyse des données qui requiert des équipements informatiques et logiciels spécifiques (traitement d'image) et des compétences en traitement du signal et/ou en photogrammétrie. Le coût d'acquisition et de traitement varie entre 400 \$ US et 800 \$ US par km<sup>2</sup> (Selbe 2014).

### IV.2.2.2. Imagerie aéroportée par drone

Les drones aériens embarquent quant à eux essentiellement des radiomètres imageurs multispectraux à 4 ou 5 bandes. Les radars imageurs, du fait de la taille de l'antenne et de leur poids (env. 10kg), sont actuellement embarqués sur des drones lourds (militaires) de moyenne à longue portée.

Le fonctionnement est similaire à l'acquisition d'imagerie par avion. Les capteurs embarqués sur drones sont actuellement des radiomètres multispectraux à 4 ou 5 bandes dont la résolution spatiale peut atteindre 2cm. Les données collectées peuvent être transmises directement au centre de pilotage du drone durant la collecte des données. L'emploi de drones professionnels de moyenne endurance permet de réaliser des vols de près de 2 heures et jusqu'à 50 km de sa base. Toutefois, les drones de ce type sont sensibles aux conditions climatiques (vent, pluie). Les drones professionnels de longue endurance ou les drones militaires possèdent une plus grande autonomie (8-10 heures à plus de 20 heures), un plus grand rayon d'action et sont moins sensibles aux conditions climatiques.

Cependant, les drones de grosse taille nécessitent une infrastructure plus importante et dépendent souvent de l'accessibilité d'une piste d'atterrissage/décollage et sont soumis à des contraintes réglementaires plus importantes.



**Figure 62** : A gauche, drone professionnel de moyenne endurance ; à droite, drone professionnel de longue endurance (source : Smith 2016).



**Figure 63** : Le drone Qinetiq Zephyr 7 d'Airbus (source : ARS Technica).

L'imagerie par drone aérien est aujourd'hui un secteur en forte progression et les drones de haute altitude et large endurance présentent des capacités intéressantes pour la collecte d'image en milieu marin.

Par exemple, le drone Triton de très grande endurance développé par la NASA possède une endurance de plus de 24 heures et permet la collecte de près de 2000 km<sup>2</sup> de données. Il est optimisé pour les missions au-dessus de l'océan. Ce type de drone sera disponible à l'horizon 2020 (Smith 2016). Le drone TEKEVER AR5 du service REACT de CLS dédié aux opérations civiles de l'Agence Européenne de sécurité en mer possède quant à lui une autonomie de 8 à 10h.

Les drones stratosphériques (ou SPS), positionnés à la limite de l'espace, ont d'abord été pensés pour servir de relais de télécommunication. Ils ont ainsi été configurés pour rester longtemps en vol stationnaire au-dessus d'un secteur donné. Plusieurs types de drones stratosphériques existent : les zeppelins ou drones avions. La société Thalès développe actuellement le Stratobus. Ce drone stratosphérique de type zeppelin est long de 110m et il est capable de transporter 250kg de charge utile à 20km d'altitude pendant une année en position géostationnaire. Le rayon de couverture du Stratobus est de l'ordre de 400km sous le drone.

Encore en phase de recherche et développement, le prototype Airbus Qinetiq Zephyr a démontré son endurance avec un vol de plus de 330 heures. Toutefois, sa capacité d'emport de 50kg (poids total pouvant être embarqué par le drone en vol, ou nombre et types d'instruments) est moindre que pour le Stratobus. Le Qinetiq Zephyr n'est pas stationnaire, mais il a la capacité à réduire sa vitesse de vol afin d'augmenter son temps de présence sur certaines zones.

Le coût d'achat des drones pour ce type d'application dépend d'abord du type de drone (Banks, Muldoon, and Fernandes 2016; Graham, Peter 2016; Selbe 2014):

- Le coût des drones professionnels à moyenne endurance varie entre 20 000 \$ US et 100 000 \$ US ;
- Le coût des drones de longue endurance varie entre 300 000 \$ US et 600 000 \$ US ;
- Le coût des drones militaires est estimé à plus de 10 000 000 \$ US.

La variabilité des prix s'explique par la variabilité des offres proposées. Les fournisseurs de drones proposent ainsi différentes options :

- Drone et capteur seulement ;
- Drone, capteur et logiciel associé sous forme de licence annuelle ;
- Drone, capteur et sous-traitance pour le traitement et la production de valeur ajoutée ;
- Offre de services à partir du drone pour des applications spécifiques ;

Pour les options où le drone, le capteur (voire le logiciel) sont acquis, le coût global doit intégrer également la formation et l'emploi de 2 opérateurs ou plus pour les missions d'acquisition et le coût de traitement comprenant l'investissement matériel et logiciel et la main-d'œuvre qualifiée.

### IV.2.3. Les moyens satellitaires

En 2018, plus de 100 satellites orbitent autour de la Terre ayant pour mission d'observer et mesurer la surface de la planète. Depuis le lancement en 1972 de la mission Landsat, le nombre, la précision et la qualité des capteurs satellitaires n'ont cessé d'augmenter. Aujourd'hui, le capteur le plus précis atteint une résolution de 30cm et afin d'assurer une revisite régulière, les agences spatiales lancent des constellations de plusieurs satellites.

Pour la surveillance des activités humaines en mer, les satellites possédant les capacités de produire de la donnée exploitable sont les satellites à orbite basse. L'orbite basse permet en effet de réaliser des images dont la résolution varie de 30m à 30cm avec des radiomètres imageurs et de 100 à 1m avec des radars à synthèse d'ouverture. Ces satellites sont actuellement positionnés sur deux orbites basses spécifiques :

- Les orbites polaires héliosynchrones pour les satellites embarquant un radiomètre imageur. Pour un satellite donné :
  - il passe systématiquement à la même heure en un point donné. Les conditions d'acquisition les plus favorables pour les radiomètres imageurs se situent entre 10h et 14h ;
  - chaque site est survolé selon les mêmes conditions à intervalle régulier de quelques jours à plusieurs jours ;
  - lorsque le satellite est dit "agile", l'observation avec un angle d'incidence permet de diminuer la revisite à 1 jour.
- les orbites polaires crépusculaires pour les satellites embarquant un radar à synthèse d'ouverture. Pour un satellite donné :
  - il passe systématiquement à l'aurore et au crépuscule en un point donné (vers 4-6h le matin et vers 16-18h le soir) ;
  - chaque site est survolé selon les mêmes conditions à intervalle régulier de quelques jours à plusieurs jours.

Un seul satellite ne permet pas d'assurer une revisite quotidienne systématique, il faut actuellement une constellation de 4 à 5 satellites.

La fréquence d'acquisition permet de distinguer deux grandes classes de satellites : les satellites à acquisition systématique et les satellites à programmation.

#### IV.2.3.1. Les satellites à acquisition systématique

Les satellites à acquisition systématique réalisent systématiquement des acquisitions en fonction d'un plan de programmation établi par avance. Ce plan de programmation peut couvrir le monde entier (comme par exemple pour les satellites Aqua et Terra), les terres émergées et le littoral (satellite Landsat-8 et constellation Sentinel) ou des secteurs d'intérêt spécifiques (satellite Venus). Le plan de programmation du satellite définit également si le capteur réalise une acquisition à chaque passage (Landsat-8) ou à des fréquences définies selon les zones (cas de Sentinel-2).

**Tableau 19 : Principaux satellites ou constellations à acquisition systématique exploitables pour la surveillance des activités humaines en mer.**

Satellite ou constellation	Nombre de satellites	Capteur	Résolution	Fauchée	Revisite
Landsat-8	1	Radiomètre	14.75m	190 km	16 jours
Sentinel-2	2	Radiomètre	10 à 60m	290 km	5 à 10 jours
Sentinel-1	2	Radar	20m	290 km	3 à 12 jours

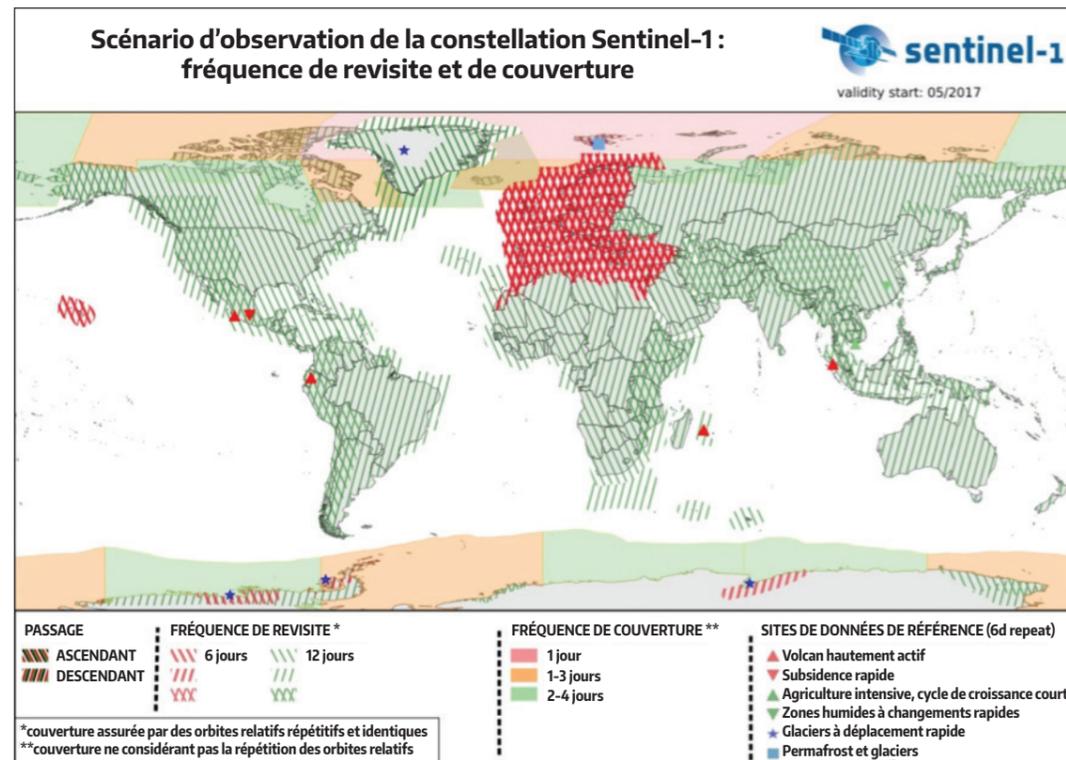


Figure 64 : Plan de programmation Sentinel-1 (source : ESA).

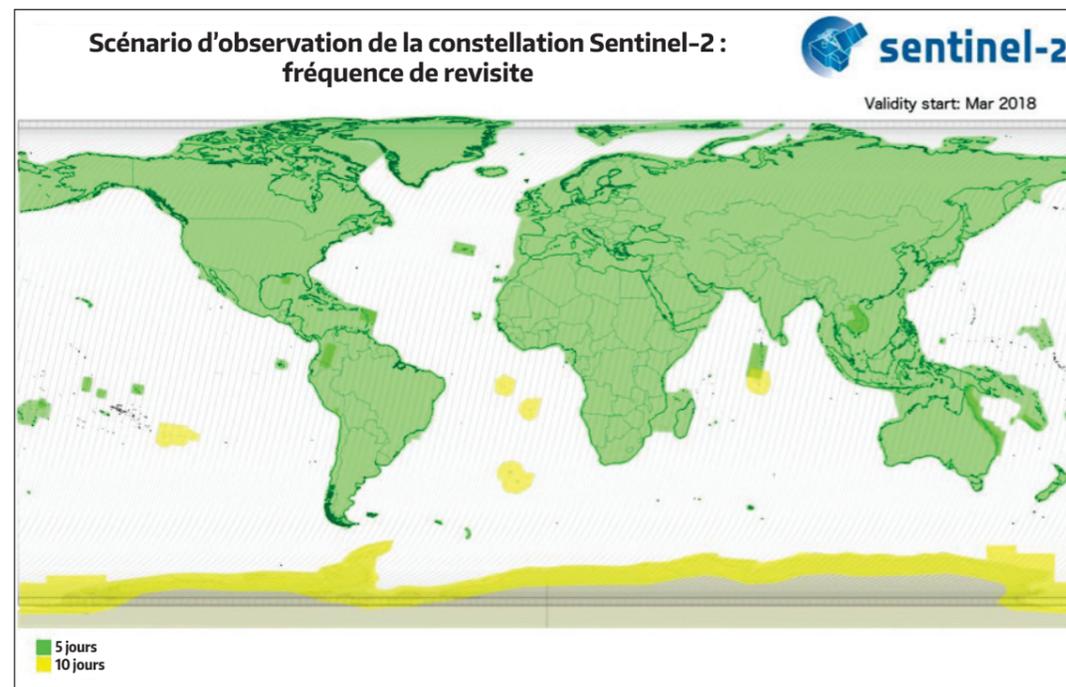


Figure 65 : Plan de programmation Sentinel-2 (source : ESA).

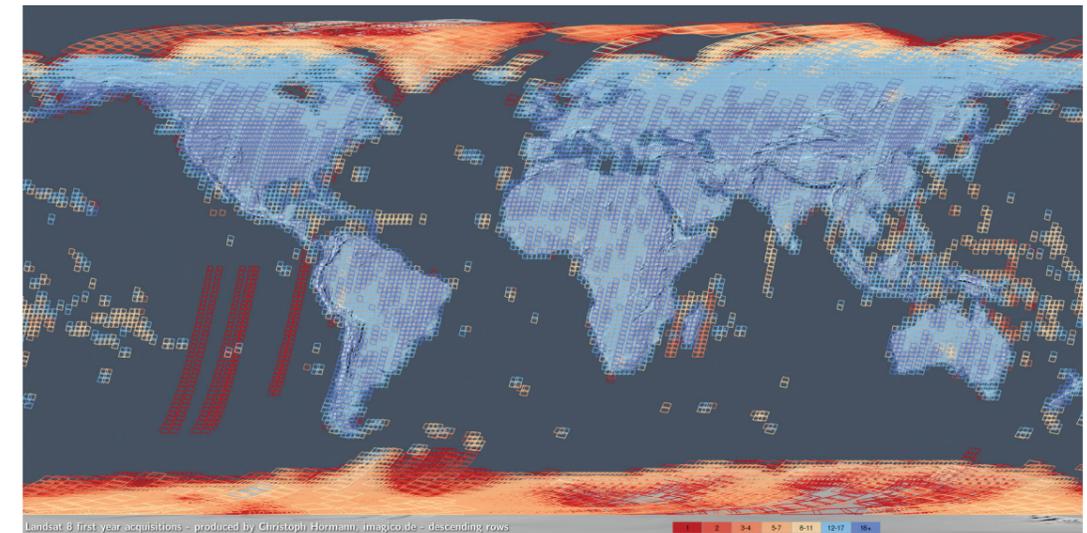


Figure 66 : Landsat-8, première année d'acquisition (source : Ch. Hormann, imagico.de).

Les plans de programmation ne couvrent pas en intégralité les ZEE de Nouvelle-Calédonie, Wallis-et-Futuna, Polynésie Française et Pitcairn.

Les avantages des satellites/constellations à revisite systématique résident dans :

- l'acquisition régulière de données sur les secteurs couverts ;
- une fréquence prévisible ;
- un accès libre aux licences de ces données depuis 2011 auprès de l'USGS/NASA et de l'ESA.

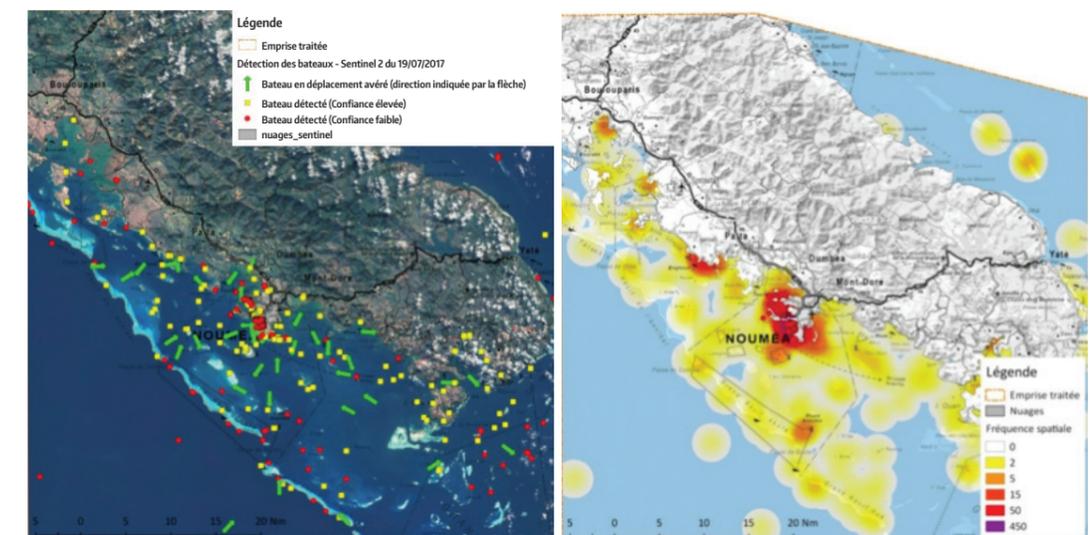


Figure 67 : Détection de bateaux (à gauche) et carte de fréquentation (à droite) réalisée à partir de la constellation Sentinel-2 (© ESA, Andreoli, Kinne, and Lille 2017).

Si les accès aux licences des données Landsat et Sentinel sont libres, les coûts associés à l'exploitation de ces données comprennent le traitement afin d'en extraire les informations désirées associées au volume de données analysées. Par exemple, le satellite landsat-8 produit 500 Go de données brutes par an et la constellation Sentinel-2 produit 1,4To de données par an sur la Nouvelle-Calédonie uniquement.

Les Affaires Maritimes de Nouvelle-Calédonie réalisent actuellement des essais d'estimation de la fréquentation des îles et îlots éloignés à partir de données Sentinel-2 avec la société Telespazio.

### IV.2.3.2. Les satellites à programmation

Les satellites à programmation constituent la grande majorité des satellites et constellations actuellement en exploitation. Le ou les satellites sont programmés pour réaliser des acquisitions sur les zones demandées. Ces satellites présentent ainsi la capacité de focaliser les observations sur des territoires ciblés durant 1 à plusieurs jours en fonction des opérateurs.

**Tableau 20 : Principaux satellites ou constellations programmables et exploitables pour la surveillance des activités humaines en mer.**

Satellite ou constellation	Nombre de satellites	Capteur	Résolution	Fauchée	Revisite
Deimos-1	1	Radiomètre	22m	650 km	1 jour
RapidEye	5	Radiomètre	6,5m	77 km	1 jour
SPOT 6-7	2	Radiomètre	3m	60 km	1 à 3 jours
Pléiades	2	Radiomètre	70cm	20 km	1 à 3 jours
DigitalGlobe	5	Radiomètre	50cm - 30cm	15 à 11 km	1 jour
TerraSAR-X TanDEM-X	2	Radar	1m	4 à 27 km	11 à 2,5 jours
Cosmo-Skymed	4	Radar	1m	10 à 200 km	12h à 2,5 jours (1 sat.) 3 à 12 h (4 sat.)
RADARSAT	1	Radar	1,5m	20 à 300 km	3 à 12 jours

La programmation nécessite de connaître a priori les secteurs d'intérêt à surveiller. La programmation des satellites doit également être anticipée, les agences spatiales proposent des délais de programmation compris entre 6 et 12h avant l'acquisition effective. Dans la pratique, les agences spatiales telles qu'Airbus ou DigitalGlobe peuvent, sous certaines conditions, programmer leurs constellations en moins de 6 heures.

Les images satellitaires de ce groupe sont proposées habituellement selon une tarification au km<sup>2</sup>. Le prix varie en fonction de la résolution. En fonction d'options additionnelles telles qu'une restriction du couvert nuageux à moins de 5% pour les radiomètres imageurs ou une programmation prioritaire, des coûts additionnels s'ajoutent au prix de base. Dans le cadre de missions spécifiques telles que la surveillance ou le suivi de certains sites nécessitant l'acquisition régulière de données sur une période définie, les principales agences spatiales proposent des solutions *ad hoc*.

**Tableau 21 : Prix publics des principaux satellites ou constellations programmables et exploitables pour la surveillance des activités humaines en mer.**

Satellite ou constellation	Prix au km <sup>2</sup>	Taille minimale de collecte
Deimos-1	0,25 \$/km <sup>2</sup>	10 000 km <sup>2</sup>
RapidEye	1,28 \$/km <sup>2</sup>	3 500 km <sup>2</sup>
SPOT 6-7	5,75 \$/km <sup>2</sup>	500 km <sup>2</sup>
Pléiades	21,25 \$/km <sup>2</sup>	100 km <sup>2</sup>
DigitalGlobe	24 \$/km <sup>2</sup> à 29 \$/km <sup>2</sup>	100 km <sup>2</sup>
TanDEM-X	0,25 \$/km <sup>2</sup> à 135 \$/km <sup>2</sup>	15 000 km <sup>2</sup> à 50 km <sup>2</sup>
Cosmo-Skymed	0,20 \$/km <sup>2</sup> à 120 \$/km <sup>2</sup>	10 000 km <sup>2</sup> à 100 km <sup>2</sup>
RADARSAT	0,04 \$/km <sup>2</sup> à 50 \$/km <sup>2</sup>	90 000 km <sup>2</sup> à 144 km <sup>2</sup>

### IV.2.4. La transmission des données vers le segment sol

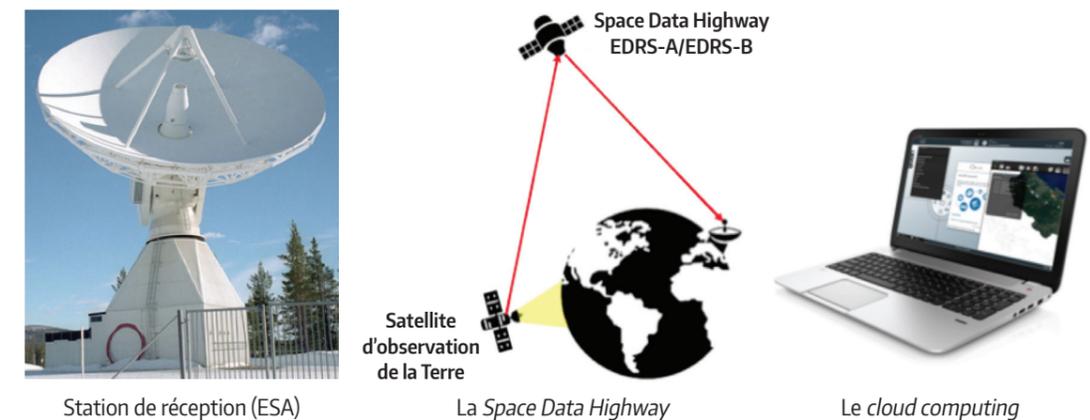
La transmission des données vers le segment sol comprend :

- le déchargement des données vers une station de réception au sol ;
- le transfert de la donnée de la station de réception vers le segment sol.

En routine, le transfert des données satellitaires depuis le satellite jusqu'à l'utilisateur prend plusieurs jours. Dans le cas de la surveillance, l'accès rapide aux données collectées par les satellites est un paramètre prépondérant. Aujourd'hui, plusieurs solutions permettent d'améliorer le transfert des données vers le segment sol :

- l'implantation d'une station de réception directement au segment sol ;
- l'exploitation de la *Space Data Highway* ;
- l'utilisation de l'interopérabilité et du *cloud computing*.

Quel que soit le mode de transmission, la fréquence d'obtention d'une image satellitaire sur un site donné dépend aujourd'hui essentiellement de la capacité de revisite du satellite ou de la constellation de satellite.



**Figure 68 : mode de transmission des données satellitaires** (sources : à gauche, European Space Agency ; au centre, BLUECHAM SAS ; à droite, BLUECHAM SAS).

#### IV.2.4.1. Station de réception

L'implantation d'une station de réception satellitaire permet de programmer rapidement les satellites et de décharger les données directement après leur acquisition lorsque les satellites sont en visibilité de l'antenne de réception. Une station de réception peut ainsi interagir avec les satellites dans une zone s'étendant à 3000 km de part et d'autre de la station. Ainsi, la programmation et le déchargement des données peuvent être effectués en quelques minutes lors du passage du satellite. Les coûts d'implantation d'une station de réception varient entre 20 millions \$ et 50 millions de \$ (Loubersac, Galletout, and Péré 2018). Les coûts sont variables en fonction des constellations couvertes par la station (simple mission avec une agence spatiale ou multi-missions avec plusieurs agences spatiales), de sa capacité de transfert et des capacités de traitement associées (décompression des données, rehaussement du signal et calibration des capteurs). La société CLS opère par exemple la station Vigisat de Brest et SEAS-OI à la Réunion pour le compte de L'Agence Européenne de Sécurité Maritime (EMSA) pour la détection des navires et la détection et la surveillance des pollutions aux hydrocarbures en Europe.

#### IV.2.4.2. Space Data Highway

La *Space Data Highway* est un système de deux satellites géostationnaires, déployé par Airbus, permettant de récupérer les données des satellites d'observation de la Terre en orbite basse et de les renvoyer directement vers une station de réception. Le transfert est effectué par laser avec une capacité de 1,8 Go/s. Les constellations Sentinel 1 et 2 déchargent leurs données via le Space Data Highway ; les données sont ainsi disponibles entre 2 et 4 heures après leur acquisition. Ce service est fourni par Airbus directement aux agences spatiales.

#### IV.2.4.3. Cloud computing

L'utilisation de l'interopérabilité et du *Cloud Computing* permet d'optimiser les temps de transfert et de traitements associés aux stations de réception sol en exploitant directement le réseau de stations de réception existant des agences spatiales. Les données ne sont plus directement récupérées mais un flux de service par internet (ou service web) est connecté aux applications permettant de visualiser et analyser les données au segment sol. Cela permet de réduire le temps d'acheminement de l'information en utilisant la donnée directement à la réception au sol et par la diminution de la quantité de donnée transférée. Un démonstrateur réalisé par la société BLUECHAM avec l'agence spatiale DigitalGlobe, à la demande du Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie pour les forces armées, les Affaires Maritimes, le CEPPOL et le CGE-ORSEC a démontré la capacité de ce type de dispositif à délivrer tous les jours (Andreoli, Kinne, and Lille, 2017) :

- des images à 50cm et 30cm de résolution ;
- entre 40 minutes et 150 minutes après leur acquisition par le satellite ;
- directement exploitables par les opérateurs.

Cette solution présente l'avantage d'optimiser les coûts de transfert et d'achat de licence des images puisque ce sont les produits à valeur ajoutée qui sont livrés aux utilisateurs et pas les images brutes.

#### IV.2.5. Le traitement segment-sol

Le traitement des images satellitaires, qu'elles soient radars ou optiques, nécessite des traitements spécialisés qui comprennent : la calibration des mesures, le géoréférencement des données et l'analyse du signal afin d'extraire l'information de base pour les suivis. Les étapes de calibration et de géoréférencement sont aujourd'hui standardisées et peuvent, sur le domaine marin, être automatisées avec la garantie de résultat robuste. L'analyse du signal aboutissant à la création d'information thématique est plus complexe à mettre en œuvre puisqu'elle dépend des objectifs de suivi/surveillance souhaité. L'obtention d'informations physiques (classifications) ou la détection d'objets sont actuellement automatisées et présente d'excellent taux de détection.



**Figure 69 :** Exemple de détection automatique des bateaux à partir de données 30cm (© DigitalGlobe 2017, traitements BLUECHAM SAS).

Le traitement des images satellitaires doit être effectué sur des postes spécialisés. Ces postes sont dimensionnés au niveau physique (hardware) afin de supporter le traitement de plusieurs Go de données et être équipés de logiciels professionnels. De plus, les algorithmes de traitements sont généralement à créer dans le logiciel puisque les logiciels comprennent uniquement des tâches de traitement génériques.

Le coût d'un poste de traitement d'image est estimé entre 25 000 et 30 000 \$ US (ordinateur et logiciel), auquel s'ajoute la maintenance logicielle annuelle qui est en moyenne de 5000 \$ US par an. Des logiciels libres ont vu le jour au début des années 2000 (ORFEO Toolbox ou SNAP). Toutefois, ceux-ci sont soit spécialisés sur un type ou une famille d'image (exemple de SNAP pour les données Sentinel de l'ESA) ou présentent encore des fonctionnalités limitées.

A cela s'ajoute le coût d'un ou plusieurs opérateurs hautement qualifiés pour réaliser les traitements.

Avec le développement de l'interopérabilité des systèmes et du *Cloud Computing*, des entreprises spécialisées dans le traitement de ce type de données proposent maintenant l'abonnement à des services d'accès à l'information. Ainsi, tous les traitements sont réalisés par le fournisseur soit dans son infrastructure, soit dans le Cloud. Le segment sol s'abonne alors à un service (plateforme sur le web, web services) afin de ne consommer que l'information dont il a besoin. Ainsi, le coût de l'infrastructure et des moyens de traitements sont mutualisés entre plusieurs clients qui accèdent à ces services sous forme d'abonnement. Le coût de l'abonnement varie en fonction de la taille de la zone d'intérêt, des types et de la fréquence des traitements demandés (DigitalGlobe 2016).

#### IV.2.6. Missions futures

Les capacités des satellites d'observation de la Terre croissent actuellement de manière exponentielle avec le lancement de plus en plus de satellites avec des résolutions inframétriques et le déploiement de constellations de micro et nano satellites. D'abord réservé aux pays historiques de la conquête spatiale (USA, Europe, Russie), des pays comme l'Inde, la Chine, le Japon, l'Argentine ou les pays du Golfe Persique ont également lancé dernièrement des constellations de satellites optiques et radars. Dans ce contexte de forte évolution des capacités, la prise en compte des innovations et des nouvelles missions à venir est un paramètre déterminant dans le choix de l'équipement et de la solution d'observation par satellite. Cette section présente les principales futures missions et innovations dans ce domaine.

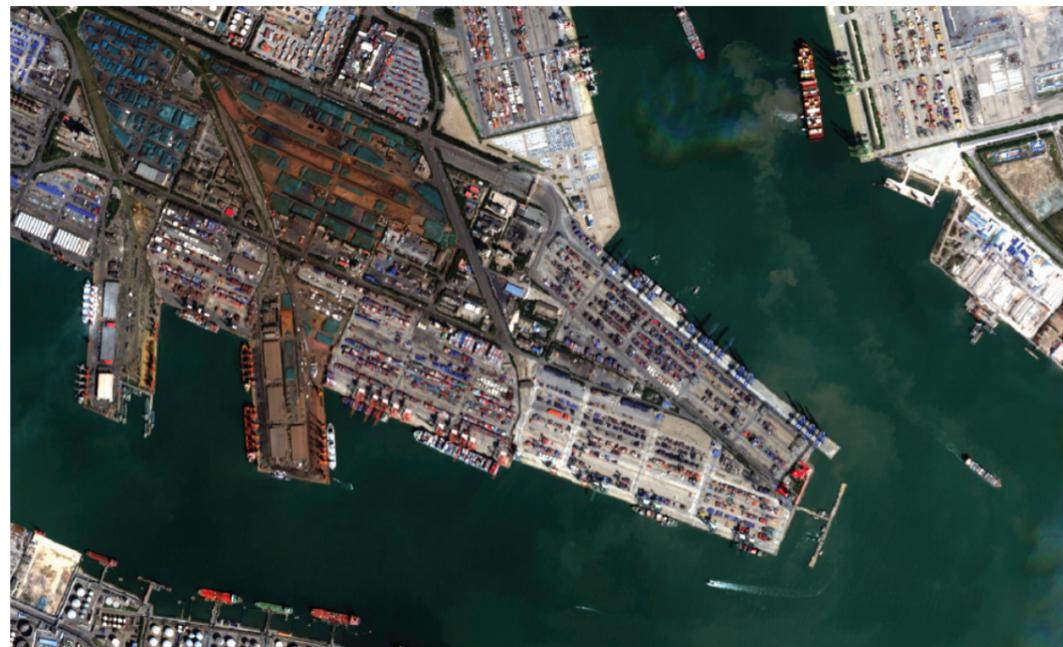
#### IV.2.6.1. Les constellations de micro satellites

Depuis le début de la décennie 2010, plusieurs sociétés opératrices de micro et nano satellites ont été créées : Planet Labs Inc., Urthecast, Spire Global. Le principe consiste à déployer de nombreux satellites de petite taille (de l'ordre de la taille d'une boîte à chaussures), à bas coût et à courte durée de vie (CubeSat, Doves, SkySat), afin de constituer de grandes constellations de satellites (24 SkySat, entre 100 et 200 CubeSat, 149 Doves).

Du fait de la taille des satellites, ceux-ci sont équipés de radiomètres de petite taille permettant d'acquérir des images de résolution métrique. Cependant, la taille des constellations permet une revisite accrue. Ainsi Planet Labs Inc. opère 149 Doves, complétés par des constellations de satellites à moyenne et très haute résolution. Ce type de constellation permet des revisites horaires de certains sites.

Les tests de performances et de qualité (d'Angelo, Mátyus, and Reinartz 2016) montrent que la qualité radiométrique des données est plus faible, et le traitement des images nécessite plus d'effort comparé aux données issues de satellites classiques.

Des essais concluants d'acquisition de vidéos de 90 secondes d'une cible spécifique à partir de satellite SkySat ont également été réalisés.



**Figure 70 :** Exemple d'images SkySat traitée (Calibration, orthorectification et rehaussement du signal) (© Planet Labs Inc.).

#### IV.2.6.2. La future mission Pléiades Néo et PAZ/TerraSAR-X

La constellation Pléiades Neo est une constellation de 4 satellites équipés d'un radiomètre imageur multispectral à 30cm de résolution. Le lancement de cette constellation est prévu par Airbus à l'horizon 2020 et viendrait compléter la constellation Pléiades existante. L'ajout de ces 4 satellites permettrait de ramener la revisite actuelle comprise entre 1 et 3 jours à une revisite journalière.

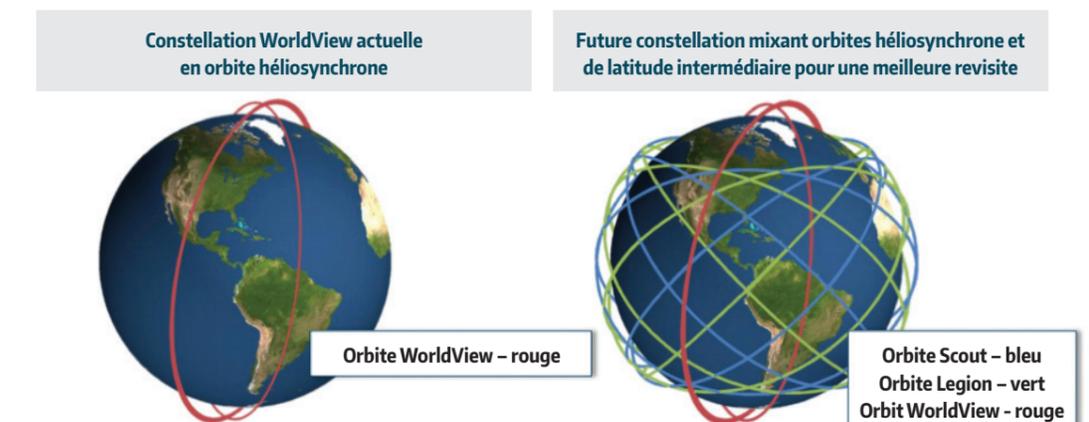
Depuis février 2018, le satellite radar espagnol PAZ a rejoint la constellation radar TerraSAR-X et tanDEM-X et améliore ainsi la revisite de la constellation.



**Figure 71 :** promotion du lancement de PAZ en mars 2018 (© Airbus).

#### IV.2.6.3. Les constellations WorldView Legion & Scout

En 2017, MacDonald, Dettwiler and Associates (MDA) et DigitalGlobe ont annoncé le lancement dès 2018 /2019 des constellations Scout et Legion. Ces constellations doivent être en mesure de revisiter certains sites jusqu'à 40 fois par jour (soit toutes les 36 minutes en moyenne) à une résolution comprise entre 30cm et 80cm en utilisant 12 satellites classiques seulement. Les satellites seront lancés sur des orbites polaires héliosynchrones et des orbites de moyenne latitude afin d'atteindre une haute fréquence de revisite (DigitalGlobe 2016).



**Figure 72 :** A gauche, les orbites polaires héliosynchrones des satellites Worldview, à droite les orbites de moyenne latitude des constellations Scout et Legion (source : DigitalGlobe).

#### IV.2.6.4. La constellation CO3D

La constellation CO3D est un projet de l'agence spatiale française (CNES) pour le lancement initial d'une constellation de 4 nanosatellites à partir de 2022. Cette constellation serait constituée de satellites à radiomètres imageurs submétriques (50cm) volant en tandem afin de réaliser des acquisitions tridimensionnelles. Cette constellation serait ensuite augmentée par des partenaires privés.

## V LES CAPTEURS DE MESURE DE PARAMÈTRES PHYSIQUES

Dans cette section, les capteurs de mesure de paramètres physiques concernent uniquement les capteurs employés pour la surveillance ou le suivi des activités en mer. Principalement, deux grands types de capteurs sont employés : le radar de surface et les capteurs acoustiques. Les capteurs permettant de collecter des mesures physiques de l'environnement ou de l'état de la mer (température, salinité, composition) ne sont pas abordés dans cette étude.

### V.1. CAPTEURS ET TYPE DE MESURES

#### V.1.1. Le radar de surface

Les radars de surface émettent des ondes rasantes dans le domaine des micro-ondes. Ces ondes sont réfléchies par les objets et la rugosité de la surface (navire, bouée, vague). Les ondes réfléchies sont ainsi reçues (échos) et filtrées afin de supprimer le bruit (Selbe 2014). Les radars sont généralement positionnés sur un secteur dégagé afin d'augmenter leur visibilité (une antenne fixe ou sur un bateau, un aéronef).



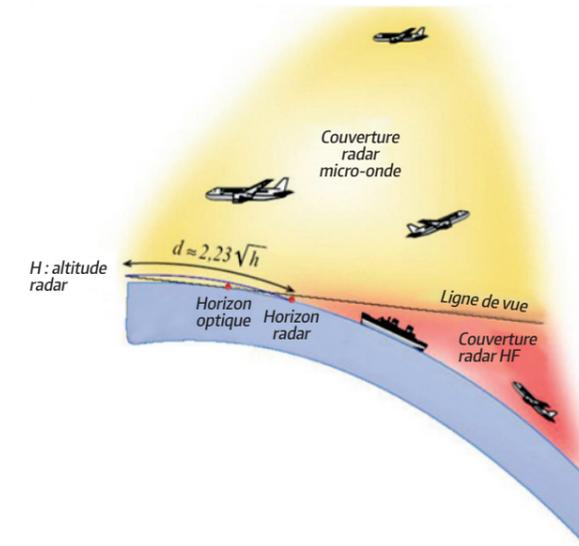
Le radar enregistre ainsi un écho et par répétition des mesures dans le temps, l'ensemble des échos forment des pistes radar. Le radar permet ainsi la détection d'objets. L'identification des objets nécessite d'exploiter des données complémentaires (AIS, imagerie).

La distance couverte par le radar est directement dépendante de la hauteur à laquelle le capteur est placé :

$$\text{distance} = 2,23 \sqrt{\text{altitude du radar}}$$

**Figure 73 :** Radar de surface pour la surveillance côtière (© Kelvin Hughes).

Les nouvelles générations de radars de surface à haute fréquence (HFSWR, *High Frequency Surface Wave Radar*) utilisent les propriétés de propagation des ondes à la surface de l'eau dans le domaine des hautes fréquences (Maresca et al. 2014). Ce type de radar permet ainsi de voir au-delà de la ligne d'horizon du radar et de couvrir de plus vastes étendues (jusqu'à 200 milles nautiques Couchat 2018). Ils permettent donc une surveillance continue sur de très grande zone. Couplés à d'autres moyens (ex. AIS, système de suivi de la flotte de pêche) ils permettent aussi une identification collaborative.



**Figure 74 :** Principe du HFSWR ou radar HF (© DigiNext).

Le radar HFSWR permet également une meilleure détection des bateaux de petite taille tels que des chalutiers (20/25m) à grande distance (200 MN). Les solutions HFSWR basées sur le principe bi-statique proposé par DIGINEXT, couplent un site d'émission et un ou plusieurs sites de réception (qui peuvent être chaînés) comprenant des champs antennaires (plusieurs antennes couplées entre elle). Ce type de solution permet de couvrir des superficies encore plus importantes. Enfin, le radar HFSWR est également capable de collecter des données environnementales complémentaires telles que l'état de surface de la mer (vagues), détecter des tsunamis, pollutions, paramètres océanographiques (Couchat 2018).



**Figure 75 :** Exemple de HFSWR Bistatique Stradivarius (© Diginext).

Le coût des plateformes radar dépend de la sophistication du radar, de sa puissance, de sa couverture. Un radar simple de navigation dans un port coûte entre 2000 \$ US et 8000 \$ US. Les radars côtiers plus sophistiqués coûtent 10 000 \$ US. Le coût des radars HFSWR est plus élevé puisqu'il comprend un réseau de radar émetteur et de stations réceptrices (Selbe 2014).

## V.1.2. Capteurs acoustiques

L'hydrophone (ou sonar passif) est un capteur acoustique enregistrant les sons dans l'eau. La majorité des hydrophones fonctionnent par l'utilisation du changement de la pression induite par un son sous l'eau en le transformant en signal électrique à l'aide d'un transducteur électroacoustique (Lurton 1998).

L'hydrophone enregistre ainsi un son dans différentes gammes de fréquence. La gamme de fréquence du son dépend du type de son (séisme sous-marin, animal, moteur) et l'identification de l'émetteur du son se fait par comparaison du bruit identifié par rapport à une base de données de signatures sonores. Le cercle de "visibilité" d'un hydrophone dépend de la température de l'eau, de la salinité, de la profondeur et du type de son. En surface ou à faible profondeur (0 à 30m), les hydrophones sont capables de capter des sons liés au déplacement de bateaux jusqu'à 30km de distance (Lurton 1998; Nott 2015); les sons émis par les séismes sous-marins peuvent être entendus à des milliers de kilomètres. Généralement, l'utilisation des hydrophones est effectuée en antenne (c'est-à-dire par assemblage de plusieurs hydrophones sur une base) afin d'améliorer les capacités du capteur (sensibilité accrue, évaluation des distances, réduction du bruit).



**Figure 76 :** Réseau volumétrique d'hydrophones (source : Marguer et al. 2013).

Le sonar (*Sound Navigation and Ranging*) actif consiste en un hydrophone couplé à un émetteur de sons. Le sonar actif émet ainsi une impulsion sonore et écoute les échos renvoyés par les objets rencontrés sur le trajet de l'onde. Le sonar détecte ainsi l'objet et sa distance par rapport au sonar par la mesure du temps écoulé.

Le coût d'un hydrophone est variable en fonction de ces performances, allant de 150 \$ US à 1500 \$ US et plus (Selbe 2014).

## V.2. VECTEUR UTILISÉS

### V.2.1. Implantations fixes (antennes, mâts, bouées)

Les implantations fixes sont traditionnellement utilisées pour les radars de surface côtiers (antennes et mât) afin de porter en hauteur et augmenter la couverture de ce type de capteur.

Le radar HFSWR nécessite d'installer deux réseaux d'antennes : un pour l'émission et un pour la réception du signal. L'emprise au sol du site d'émission est d'environ 150m x 150m, comprenant 16 antennes de 10m de haut. L'emprise au sol du site de réception est d'environ 150m x 1000m, comprenant 32 antennes de 2m de haut. Au cas par cas, la réduction de la largeur du site de réception peut être envisagée au détriment de la précision de localisation des cibles.



**Figure 77 :** Réseau d'antennes d'émission d'un radar HFSWR (© DigiNext).

Ce type d'installation présente une emprise au sol à considérer en termes de coût et également d'acceptation des populations à proximité de l'installation. Néanmoins, la taille des antennes limite très fortement la pollution visuelle. Elles sont quasiment invisibles à l'œil nu dès quelques centaines de mètres d'éloignement. Le radar HFSWR développé par DIGINEXT – de par son principe de champ antennaire – limite fortement la puissance émissive ainsi que la génération de lobes arrière (susceptibles d'être orientés vers d'éventuelles populations riveraines)

Les bouées peuvent également être le support d'instruments de mesures et ont déjà démontré leur intérêt pour le suivi des activités en mer en les équipant de caméras, de capteurs acoustiques et de relais AIS. Cependant, afin de constituer un dispositif de surveillance et/ou de suivi, les bouées doivent être organisées en réseau dense dont le coût d'installation et de maintenance est prohibitif. toutefois, l'installation de bouées pérennes sur des sites précis très fréquentés peut être envisagée (Selbe 2014).

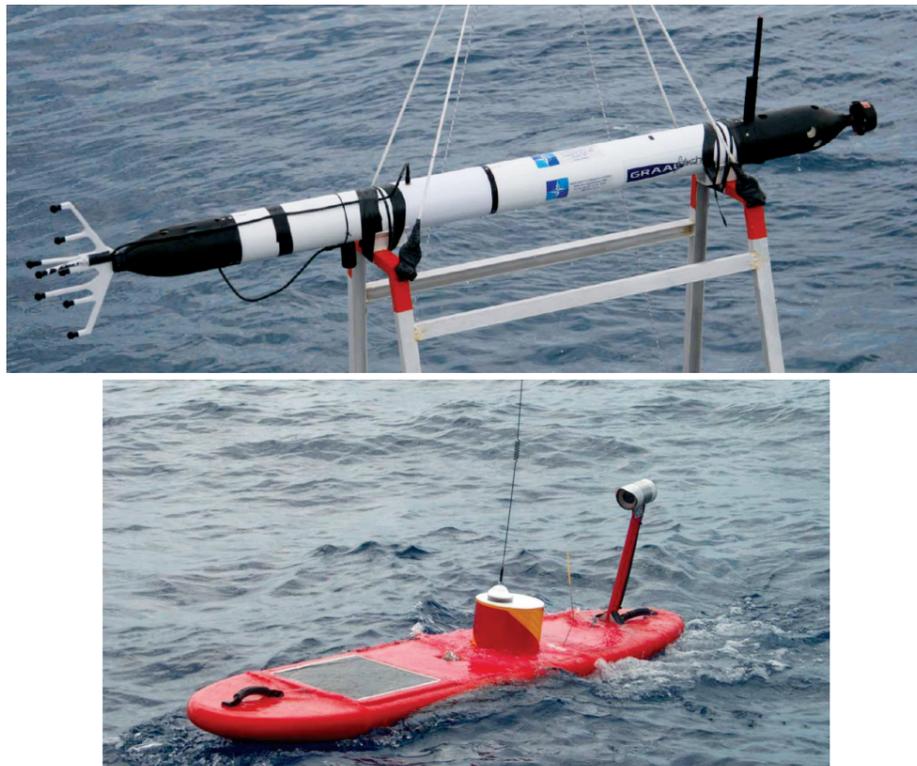
### V.2.2. Les aéronefs et bateaux

Pour les missions de surveillance de l'espace maritime, les radars équipent généralement les missions aéroportées par avion (Guardian). La couverture réalisée dépend ainsi de l'autonomie de la mission mais également de l'altitude de l'avion. Typiquement, 2 missions par Guardian permettent de couvrir l'intégralité de la ZEE de Wallis-et-Futuna.

Les hydrophones et les sonars peuvent être tractés par des bateaux soit sous forme d'antenne en immersion derrière le bateau, soit par immersion d'un "poisson"<sup>24</sup> (cas des sonars latéraux). La zone couverte dépend ainsi de la mission du bateau.

### V.2.3. Les drones marins

Depuis le début des années 2000, les drones marins et sous-marins ont connu un fort développement avec la miniaturisation et l'amélioration des systèmes de géolocalisation. Dès le milieu des années 2000, ce type de drones avait démontré sa capacité à collecter efficacement des données de l'environnement marin (température, salinité, propriété optique). L'amélioration de l'endurance des drones et l'optimisation des capteurs afin d'opérer sur un support restreint et avec peu d'énergie permettent aujourd'hui d'embarquer certains capteurs pour la surveillance des activités humaines en mer (Maguer et al. 2013 ; Manley 2008).



**Figure 78** : en haut, drone de surface eFolaga (source : Maguer et al. 2013), en bas Wave Glider Liquid Robotic (source : Manley 2008).

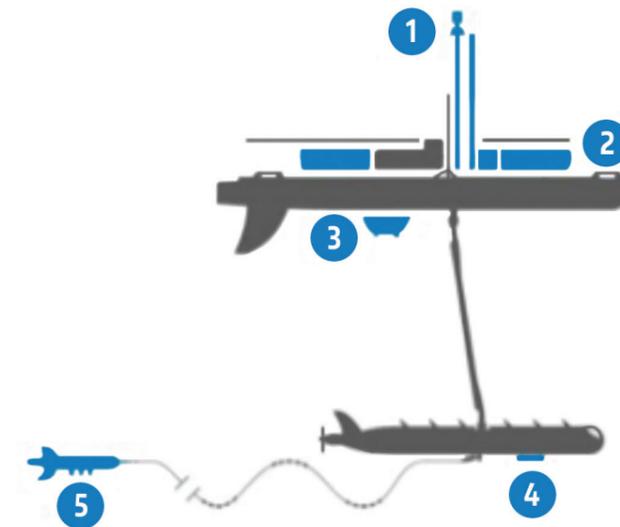
Les drones marins sont aujourd'hui des plateformes multimodales sur lesquelles un ensemble de capteurs peut être installé en fonction des besoins de la mission.

<sup>24</sup> Dispositif immergé et trainé derrière un bateau et équipé d'instruments.

Pour se mouvoir, les drones sous-marins utilisent les changements de flottabilité et les *wave gliders* tirent avantage du mouvement des vagues à l'aide d'un planeur sous-marin situé à 4 ou 8 mètres.

Les *wave gliders* ont ainsi une autonomie et une couverture illimitée dans des eaux où la profondeur est supérieure à 15m. Les drones sous-marins peuvent quant à eux voyager sur des milliers de kilomètres et jusqu'à des profondeurs de 1000 m (Fastwave 2014 & 2015).

Les *wave gliders* présentent l'avantage d'être totalement autonomes en produisant directement leur énergie électrique à l'aide de panneaux solaires. Leur capacité d'emport est également plus importante avec pour limites la capacité des batteries et le poids total des capteurs qui ne peut pas excéder un certain poids. Le drone peut également tracter un "poisson" afin d'augmenter le nombre de capteurs.



**Figure 79** : Emplacement des capteurs sur un Wave Glider (source : Guyonnet 2016).

Le drone est ainsi généralement équipé d'un GPS afin de localiser son parcours. Outre des capteurs de paramètres environnementaux, les drones embarquent des hydrophones ou des sondes acoustiques. Cet équipement de détection est complété par un capteur AIS et son antenne VHF et d'un capteur optique afin d'identifier les cibles (Guyonnet 2016). Le drone de surface est customisable et est actuellement proposé sous forme de service par les sociétés spécialisées dans les systèmes complexes et la haute technologie, telle qu'Assystem.

Ainsi, le *Wave Glider* de Liquid Robotics était équipé d'une antenne AIS, d'un hydrophone et d'un appareil photo afin de caractériser les cibles identifiées par le capteur acoustique durant la mission de surveillance de Pitcairn dans le cadre du projet Eyes on the Sea (Liquid-Robotics case study). Durant une mission de 4 mois, le drone a couvert 131 000 nm<sup>2</sup> de mesures acoustiques et 247 000 nm<sup>2</sup> de réception AIS. Il a parcouru plus de 10 000km.

Le coût à l'achat des drones marins varie entre 175 000 et 500 000 \$ US. Outre l'achat du drone, des compagnies proposent directement les services liés aux drones : ces compagnies opèrent des flottes de drones et vendent seulement les données collectées (Liquid Robotics).

Les drones sous-marins restent onéreux du fait d'une faible demande: entre 120 000 et 250 000 \$ US pour les premiers prix standards de l'industrie (Selbe 2014; Banks, Muldoon, and Fernandes 2016).

### V.3. TRANSMISSION DES DONNÉES

Pour des antennes au sol, la transmission des données est effectuée directement par câblage entre l'installation et le segment sol. Dans le cas de capteurs radars et acoustiques, le traitement est souvent réalisé directement à bord des appareils et l'information est envoyée sous forme de rapport.

Pour les capteurs montés sur des drones marins et sous-marins, la transmission des données peut être effectuée au retour de mission ou, si le drone est équipé d'un transpondeur, par télécommunication par satellite (Iridium ou Inmarsat). Ainsi les drones de surface peuvent transmettre en continu les données collectées. Pour optimiser la transmission des informations, les données sont généralement prétraitées par un micro-ordinateur embarqué sur le drone et des alarmes et/ou des rapports synthétiques sont envoyés à la station sol. Les drones sous-marins doivent quant à eux faire surface pour être en mesure de décharger leurs données. Les drones peuvent également être équipés de moyen de communication GSM et 3G afin d'exploiter ces réseaux en milieu côtier pour transmettre leurs données (Zorn 2013; Fastwave 2015; Maguer et al. 2013; Manley 2008).

### V.4. TRAITEMENTS ET SEGMENT SOL

Généralement, les logiciels et stations de traitements des mesures sont fournis avec les capteurs et ces types de mesures, prises individuellement, ne nécessitent pas de postes de traitement de grosse capacité. En revanche, la constitution et la capitalisation des bases de données nécessitent l'installation d'une base de données et de l'espace de stockage nécessaire.

Ce type de capteur fournit essentiellement des informations de détection (détection de trace radar, détection de bruit). Afin d'aller vers la reconnaissance et l'identification, ces systèmes sont généralement couplés à d'autres mesures (AIS, VMS, imagerie).

## VI LES SYSTÈMES PARTICIPATIFS

Les systèmes dits participatifs regroupent les outils permettant la saisie d'information au format numérique par leurs utilisateurs. Les systèmes tels que les e-LogBook ou e-Reporting ainsi que les applications de téléservice grand public. Ce sont donc des technologies collaboratives nécessitant la saisie de l'information par les usagers.

### VI.1. E-REPORTING

Les systèmes d'*e-Reporting* (*Electronic Data Reporting*) consistent en une version numérique des procédés classiques de rapport papier (Steele 2016; Masika 2016; FIMS and iFIMS 2014; Oates 2016). Ils sont généralement utilisés pour rapporter sur une activité ou renseigner des documents administratifs. Leur usage est actuellement en développement sur les navires de pêche et en phase pilote pour les déclarations de douanes (notamment en Australie).

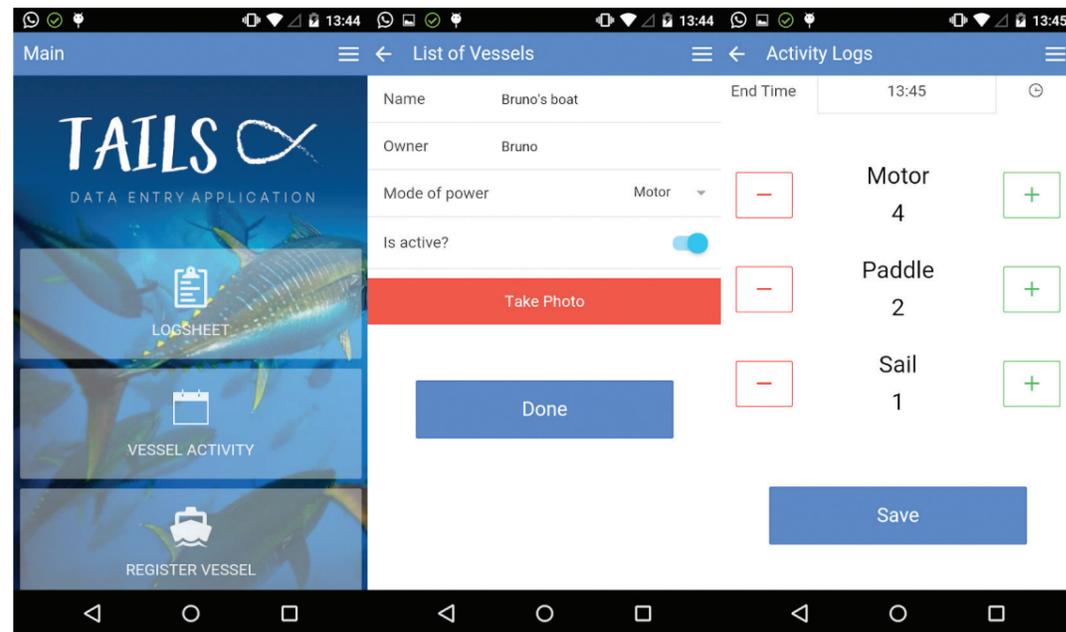
Le dispositif consiste en un logiciel spécifiquement développé pour les besoins des utilisateurs. "Utilisateurs" revêt ici une interprétation large car il englobe aussi bien les utilisateurs des données collectées (administrations, gestionnaires, scientifiques) que les utilisateurs renseignant directement le rapport en ligne via l'application. Les logiciels comprennent une collection de modules qui peuvent fonctionner indépendamment les uns des autres ou communiquer ensemble (Banks, Muldoon, and Fernandes 2016).



**Figure 80 :** Pêcheurs des îles Cook utilisant l'application TAILS d'e-Reporting de la CPS (© CPS "Tuna Catch Monitoring Enters the Electronic Age" 2017).

Les applications sont généralement développées sur des supports mobiles (tablettes, smartphones) afin d'être portables en mer (application TAILS de la CPS ou HALIOS de CLS). Plus l'application est modulaire, plus celle-ci peut facilement s'adapter à différents cas de figure en sélectionnant certains champs, en en rendant certains obligatoires. Les applications peuvent également être directement reliées au système de localisation du navire (VMS, AIS) afin de relier la position avec l'e-report. La transmission de l'information peut se faire selon des formats variables mais généralement au format verbeux (XML, JSON, etc.) et soit par télécommunication par satellite (Iridium, Inmarsat, etc.) ou au retour par déchargement manuel des données.

Le rapport est alors stocké en base de données et archivé permettant ainsi la création d'indicateurs de suivi, des rapports de synthèse et l'export de données opérationnelles (Banks, Muldoon, and Fernandes 2016).



**Figure 81 :** Captures d'écran de l'application d'e-Reporting TAILS de la CPS pour la collecte de données pour la pêche au thon artisanale pour la WCPFC (© CPS).

## VI.2. TÉLÉSERVICE GRAND PUBLIC

Les applications de téléservice grand public fonctionnent sur le même modèle que les applications d'e-Reporting spécialisées. La différence porte sur le fait que le public visé par l'application pour le reporting d'information est le grand public.

Même si elle n'est pas dédiée au suivi ou à la surveillance des activités humaines en mer, l'application "Île propre" du Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie est un exemple d'application de téléservice et d'e-Reporting grand public dédiée au signalement de déchets pour que ces derniers soient évacués. L'application est disponible sur application mobile en téléchargement à partir de plateformes en ligne. L'utilisateur peut ainsi renseigner des champs spécifiques et ciblés (localisation, type de déchet), ajouter des photos et des commentaires avant d'enregistrer sa saisie. L'application est accompagnée d'une visualisation cartographique pour le repérage spatial de l'utilisateur.

Les applications grand public présentent une difficulté particulière liée à l'appropriation de ces outils par un nombre élevé d'utilisateurs pour assurer une collecte pertinente de l'information et pérenniser le dispositif. Ces applications doivent donc être ludiques ou apporter un bénéfice ou un plaisir particulier à l'utilisateur.

## VI.3. COÛT DE DÉVELOPPEMENT ET D'ENTRETIEN DES SYSTÈMES PARTICIPATIFS

Les coûts de développement d'application d'e-Reporting sont variables en fonction du nombre de modules, des fonctionnalités souhaitées, de l'ergonomie, etc. Banks, Muldoon, and Fernandes (2016) indiquent que les coûts de développement des applications d'e-Reporting pour les pêches sont compris entre 270 000 \$US et 2 400 000 \$US.

Ensuite, sur des applications spécialisées, les utilisateurs, tant administrateurs que rapporteurs, doivent être formés à l'utilisation des applications. Dans le cas des applications grand public, l'ergonomie doit être adaptée pour une prise en main sans formation ou à l'aide d'un tutoriel intégré. En utilisation opérationnelle, le coût comprend également l'équipement en tablette, éventuellement le coût des télécommunications dans le cas de téléchargement direct, le coût de stockage et de conservation des données.

Basée sur l'expérience de 5 années de développement de solutions d'e-Reporting pour la pêche, la FFA estime le coût global du système d'e-Reporting entre 2 000 \$US et 4 000 \$US par bateau (Banks, Muldoon, and Fernandes 2016).

## VII LES SYSTÈMES INTÉGRÉS

Il n'existe pas aujourd'hui de solution technologique ubiquiste pour la surveillance des activités humaines en mer. Mais les technologies peuvent être combinées afin de tirer le meilleur parti de chacune d'elle afin de constituer l'image d'ensemble des secteurs surveillés. L'intégration de plusieurs technologies de surveillance et de suivi est réalisée par des systèmes dits "intégrés" dont la principale caractéristique est d'être en mesure de gérer, d'analyser, d'extraire et de fournir une information améliorée à partir de très gros volume de données.

Néanmoins, ces solutions reposent sur l'utilisation de données ouvertes dont la diffusion n'est pas soumise à la confidentialité ou à certaines réglementations. De ce fait, les solutions intégrées exploitent principalement l'AIS, l'imagerie satellitaire commerciale. Au cas par cas et selon leur disponibilité, les données VMS, les informations collectées par drones (aérien, marins) peuvent être également utilisées. Ce type de solution n'intègre généralement pas toutes les données disponibles mais se concentre sur les informations utiles par rapport à l'objectif de surveillance. Les technologies intégrées sont le plus souvent :

- Positionnement des bateaux (AIS, VMS) ;
- Imageries satellitaires commerciales ;
- Données collectées par drones (aériens, marins) ;
- Données environnementales.

L'efficacité du dispositif repose alors sur les mécanismes d'analyse mis en place tels que la mise en corrélation d'information hétérogène (AIS et imagerie satellitaire), procédure de *Deep Learning* afin d'analyser ces gros volumes de données pour en tirer des informations utiles. De plus, ces systèmes ont la capacité à exploiter des données environnementales, météorologiques, etc. afin d'améliorer les informations produites par le système.

- détection du comportement des bateaux tels que le transbordement ;
- détermination des tendances d'activités ;
- identification des navires pollueurs ;
- détection des cibles "noires" (navire ayant éteint leur transpondeur).

Le composant clé des systèmes intégrés est le segment sol permettant d'accéder et de visualiser les résultats de l'analyse. Les solutions proposées sont soit des clients lourds (solution Themis de CLS par exemple) comprenant un logiciel et l'infrastructure de stockage et de gestion des données, soit des abonnements de service par des applications web (Trimaran d'Airbus, THEMIS de CLS, Qëhnelö de BLUECHAM, OceanMind).



Figure 82 : à gauche, application Themis (© CLS) ; à droite application web Qëhnelö (© BLUECHAM SAS).



# VOLET 3

## OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION ET CAS D'ÉTUDE POUR LE CHOIX DE TECHNOLOGIES ADAPTÉES

## I NOTICE D'UTILISATION DE L'OUTIL ISSU DE LA REVUE DES TECHNOLOGIES DE SURVEILLANCE

Parmi les retours obtenus lors de la phase de consultation, il a clairement été exprimé par les gestionnaires la volonté de disposer d'un outil objectif, sous la forme d'un catalogue didactique et multicritère. Il a notamment été souligné le souhait que cet outil puisse être mis en œuvre de manière autonome par les gestionnaires, selon leurs propres pas de temps et leurs propres considérations internes, sans chercher à anticiper à ce stade des besoins ou réflexions d'utilisation qui pourraient n'être pas pertinents car ne pouvant intégrer l'ensemble des éléments de décisions.

Ceci nous a donc conduits à élaborer un outil interactif permettant l'identification objective de solutions technologiques optimales en réponse à la sélection d'un certain nombre de critères de surveillance. Cet outil fera l'objet d'une présentation lors d'un atelier de travail organisé par l'AFB à Nouméa en juillet 2018.

Dans un second temps et afin de faciliter l'utilisation de l'outil et son appropriation par les gestionnaires, des cas d'étude sont proposés et correspondent à des situations identifiées avec certitude comme des enjeux significatifs pour toute ou partie des 4 PTOM considérés. L'ensemble constitué de l'outil en lui-même et des cas d'étude permet de proposer une vision intégratrice, objective, et didactique susceptible de constituer une aide à l'expression des besoins et une aide à la décision auprès des gestionnaires.

L'outil de synthèse des technologies de suivi et de surveillance des activités en mer, en version bêta, est un fichier MS Excel© qui peut être téléchargé au lien suivant :

[https://www.dropbox.com/s/7xoh54dkv3bqj7i/20180630\\_AFB\\_OUTIL\\_revue\\_technologique\\_final\\_prot%C3%A9g%C3%A9.xlsx?dl=0](https://www.dropbox.com/s/7xoh54dkv3bqj7i/20180630_AFB_OUTIL_revue_technologique_final_prot%C3%A9g%C3%A9.xlsx?dl=0)

Cette partie du rapport présente les différents critères de sélection et en définit les modalités. Préalablement à l'utilisation de l'outil, l'utilisateur est invité à réaliser une lecture attentive de la revue technologique présentée au volet 2.

Cet outil regroupe, sous la forme d'un tableau de paramètres, les principales applications et caractéristiques de chaque technologie. Chaque paramètre prend en considération l'intégralité de la technologie (capteur, transmission et segment sol), et ils sont synthétisés afin d'opérer un filtrage rapide et intuitif en fonction des objectifs du suivi ou de surveillance.

L'outil permet la réalisation d'un premier filtre sur la base de 5 paramètres dit principaux, avec pour chaque paramètre un certain nombre de modalités opérationnelles qui sont présentées au Tableau 22.

Ces critères principaux, une fois sélectionnés, conduisent à l'obtention d'une première liste de solutions technologiques qui présentent des limites à prendre en considération. A cet effet un second niveau de sélection faisant intervenir des paramètres dits secondaires permet de restreindre le champ des solutions technologiques adaptées aux besoins exprimés à travers les critères sélectionnés.

Ces 7 paramètres secondaires prennent en considération notamment des éléments tels que le coût, la complexité de mise en œuvre, la précision de l'information et les limites sur le produit final issu de chaque solution technologique (Tableau 23).

Notons également que l'utilisateur est en mesure d'explorer plus en détail les caractéristiques techniques de chaque technologie à travers le lien hypertexte présent dans l'outil et renvoyant vers les fiches techniques détaillées.

**Tableau 22 : Paramètres principaux et modalités relatifs aux besoins des gestionnaires pour l'identification des solutions technologiques.**

Paramètres		Description
TYPE D'OBJET D'INTERET	Navires indifférenciés	L'objet d'intérêt est-il oui ou non un navire (sans distinction)
	Navire de pêche hauturière	L'objet d'intérêt est-il oui ou non un navire de pêche hauturière
	Navire de pêche côtier ou lagonaire	L'objet d'intérêt est-il oui ou non un navire de pêche côtier ou lagonaire
	Navire de plaisance	L'objet d'intérêt est-il oui ou non un navire de plaisance
	Navire de transport de marchandise ou de passagers	L'objet d'intérêt est-il oui ou non un navire de transport de marchandises ou de passagers
	Engin nautique (kitesurf, kayak, etc.)	L'objet d'intérêt est-il oui ou non un engin nautique de type kitesurf, kayak, va'a, jet ski, etc.
	Infrastructure côtière ou off-shore	L'objet d'intérêt est-il oui ou non une infrastructure côtière ou off-shore (plateforme pétrolière, plateforme minière, etc.)
	Autres objets	L'objet d'intérêt est-il oui ou non un objet spécifique flottant ou immergé (filère de perliculture, bouées, etc.)
Information collectée		<ul style="list-style-type: none"> <li>Présence/absence : la technologie permet de détecter la présence ou l'absence de l'objet spécifié ;</li> <li>Présence/absence + comportement : la technologie permet de détecter la présence ou l'absence de l'objet spécifié et son comportement (mouvement, activité) ;</li> <li>Activité à bord : la technologie permet de mesurer l'activité à bord de l'objet spécifié.</li> </ul>
FREQUENCE ET DELAIS	Fréquence des observations	La fréquence des observations réalisée par le capteur permet de : <ul style="list-style-type: none"> <li>Surveiller : les observations sont réalisées à la demande ou de manière aléatoire ;</li> <li>Suivre : les observations sont réalisées à une fréquence régulière ou peuvent être planifiées sur le long terme ;</li> <li>Suivre et surveiller : les observations sont réalisées en temps réel ou quasi-temps réel et en continu.</li> </ul>
	Délais opérationnels	Les délais opérationnels comprennent les délais d'obtention des mesures ainsi que les délais de transmission des mesures : <ul style="list-style-type: none"> <li>Temps réel : les mesures sont disponibles sans délais ;</li> <li>Horaire : les mesures sont disponibles dans un délai de l'ordre de quelques heures ;</li> <li>Journalier : les mesures sont disponibles dans un délai de l'ordre d'une journée ;</li> <li>Quelques jours : les mesures sont disponibles dans un délai de l'ordre de quelques jours ;</li> <li>Un mois et plus : les mesures sont disponibles dans un délai de l'ordre d'un mois ou plus.</li> </ul>
Superficie		<ul style="list-style-type: none"> <li>Locale : les mesures couvrent des secteurs jusqu'à 1000 km<sup>2</sup> ;</li> <li>Intermédiaire : les mesures couvrent des superficies de plusieurs milliers de km<sup>2</sup> ;</li> <li>Globale : les mesures couvrent le monde entier.</li> </ul>

**Tableau 23 :** Paramètres secondaires et modalités relatifs à l'affinement des besoins des gestionnaires pour l'identification des solutions technologiques.

Précision de l'information	<p>La précision de la mesure est donnée en mètre. Pour les mesures de localisation (AIS, VMS, LRIT, radar de surface), la précision correspond à l'erreur de positionnement du capteur.</p> <p>Pour les capteurs imageur, la précision correspond à la taille des pixels. Dans ce dernier cas, la précision est directement reliée à la capacité de détection / reconnaissance et identification du capteur :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ≤ 0,3m : reconnaissance des types de navires, présence/absence de personne, présence/absence de bouées ;</li> <li>• De 0,3m à 1m : reconnaissance des types de navires ;</li> <li>• De 1m à 10m : présence/absence de petites embarcations, reconnaissance des gros navires ;</li> <li>• &gt; 10m : présence/absence de gros navires.</li> </ul>
Maturité	<p>La maturité caractérise l'ensemble de la technologie (capteur, transmission et segment sol) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Mature</b> : la technologie est opérationnelle et éprouvée ;</li> <li>• <b>Opérationnel et en développement</b> : la technologie est déjà utilisée de manière opérationnelle, certains segments (capteur, transmission ou segment sol) nécessitent des développements afin d'atteindre la pleine maturité technique et/ou économique ;</li> <li>• <b>Concept en développement</b> : la technologie est actuellement à l'état de concept ou de prototype testé sur des projets pilotes. La maturation nécessite des développements sur l'ensemble de la technologie.</li> </ul>
Potentiel d'innovation	<p>Le potentiel d'innovation indique le potentiel d'optimisation de la technologie tant d'un point de vue technique (amélioration des performances) qu'économique (élargissement des applications, diminution des coûts) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Faible</b> : le potentiel d'innovation de l'ensemble de la technologie est faible ;</li> <li>• <b>Moyen</b> : quelques composants de la technologie présentent un potentiel d'innovation certain ;</li> <li>• <b>Fort</b> : des composants majeurs de la technologie présentent un potentiel d'innovation certain.</li> </ul>
Limites	<p>Les limites intègrent l'ensemble des limites techniques (capteur, transmission ou segment sol) ou structurelles (réglementation, confidentialité) pouvant entraîner des erreurs sur le produit final :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Faibles</b> : la technologie présente peu de limites et leur impact est circonscrit ;</li> <li>• <b>A prendre en considération</b> : la technologie présente des limites pouvant entraîner des erreurs tolérables sur le produit final ;</li> <li>• <b>Très importantes</b> : la technologie présente des limites pouvant entraîner des erreurs intolérables sur le produit final.</li> </ul>
Coût	<p>Le coût caractérise globalement le coût de l'ensemble de la technologie comprenant le capteur, le mode de transmission et l'infrastructure du segment sol en trois tranches :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Abordable</b> : 0 à \$999 999 US ;</li> <li>• <b>Modéré</b> : \$1 000 000 à \$10 000 000 US ;</li> <li>• <b>Coûts d'investissement et opérationnels importants</b> : plus de \$10 000 000 US.</li> </ul>
Complexité	<p>La complexité caractérise la mise en œuvre de l'ensemble de la technologie (acquisition des mesures, transmission des mesures, traitement des informations). Plus la technologie nécessite des interventions et des ressources humaines ou des infrastructures spécifiques, plus son niveau de complexité est élevé :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Faible</b> : la technologie est relativement simple à mettre en œuvre ;</li> <li>• <b>Modérée à complexe</b> : certains composants de la technologie peuvent être complexes à mettre en œuvre ;</li> <li>• <b>Très complexe</b> : l'ensemble de la technologie nécessite des personnels qualifiés et/ou des infrastructures spécifiques.</li> </ul>
Archives de données disponibles	<p>Indique si oui ou non des mesures historiques réalisées par le même type de capteur sont disponibles et accessibles. La disponibilité d'archives peut être un atout important pour caractériser des comportements, évaluer l'évolution de certaines activités, etc.</p>

## II CAS D'ÉTUDE ET EXEMPLES DE MISE EN ŒUVRE DE L'OUTIL

### II.1. IDENTIFICATION DES GRANDS TYPES DE BESOINS POTENTIELS À TRAVERS DES CAS D'ÉTUDE

Sur la base de l'ensemble des éléments présentés (contexte lié à chacun des PTOM associés, retours des gestionnaires et des acteurs sollicités, perceptions des enjeux et priorité par les intervenants de l'étude) et consécutivement des niveaux d'enjeux abordés précédemment une liste de problématiques étant apparues intéressantes et porteuses d'enjeux de surveillance représentatifs des préoccupations actuelles a été établie.

Cette liste de cas d'étude (Tableau 24) est exposée à titre d'exemple. Elle se veut pédagogique dans le sens les objectifs opérationnels à atteindre pour chaque cas conduisent à identifier les mesures et observations requises, qui sont décrites suivant un triptyque : thématique (quoi), géographique (où), et temporelle (quand, à quelle fréquence, sous quels délais).

Deux exemples de cas d'étude sont encore approfondis ci-après afin d'illustrer de manière didactique le processus d'identification de solutions technologiques grâce à l'outil.

**Tableau 24 :** Liste de cas d'études reprenant la problématique, les objectifs opérationnels à atteindre pour chaque cas conduisant à identifier les mesures et observations requises ainsi que sur les filtres correspondants à mettre en place au niveau de l'outil Excel de sélection des technologies. Ces éléments sont décrits suivant un triptyque : thématique (quoi), géographique (où), et temporelle (quand, à quelle fréquence, sous quels délais).

Pour chaque problématique et pour chaque PTOM du Pacifique insulaire (NC : Nouvelle Calédonie – PF : Polynésie française – WF : Wallis & Futuna – Pi : Pitcairn) les niveaux d'enjeux associés à la problématique sont caractérisés de façon semi-quantitative (4 classes) conformément aux éléments du chapitre IV et rappelés au Tableau 12

	Problématique	NC	PF	WF	Pi	Dimension	Objectifs à atteindre	Mesures / Observations requises	Filtre sur les technologies
Suivi de la fréquentation	Suivi de la fréquentation des îles et îlots du lagon. Suivi de la fréquentation des îlots à fermeture temporaire. Suivi de la fréquentation des îlots de nidification des tortues et oiseaux	3	3	1	0	Thématique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comptage du nombre d'embarcations présentes</li> <li>Statistiques par type d'embarcation</li> <li>Sont-elles uniquement de passage ou restent-elles et si oui combien de temps?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Présence/absence</li> <li>Reconnaître le type d'embarcation</li> <li>Caractériser le comportement (mouvement) de l'embarcation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Type d'objet d'intérêt : navire indifférencié</li> <li>Information collectée : "Présence/Absence" ou "Présence/Absence + Comportement"</li> </ul>
						Géographique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suivre de nombreuses zones de petite taille (quelques km<sup>2</sup>) éparpillées dans la ZEE.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Observations locales à observations globales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conserver toute les superficies</li> </ul>
						Temporelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Déterminer la fréquentation annuelle</li> <li>Déterminer la ou les "saisons de pointe"</li> <li>Déterminer la ou les "heures de pointe"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesures réalisées à intervalles réguliers</li> <li>L'intervalle de mesure est journalier à temps réel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fréquence des observations : "suivre" ou "suivre et surveiller"</li> <li>Délais opérationnels : "quelques jours", "journalier", "horaire" ou "temps réel"</li> </ul>
	Suivi du mouillage des navires de plaisance dans les aires marines protégées (utilisation des bouées)	3	3	1	1	Thématique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comptage du nombre d'embarcations présentes</li> <li>Statistiques par type d'embarcation</li> <li>Où sont-elles situées (zone de réserve, mouillage, bouée)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Présence/absence</li> <li>Reconnaître le type d'embarcation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Type d'objet d'intérêt : navire indifférencié</li> <li>Information collectée : "Présence/Absence" ou "Présence/Absence + Comportement"</li> </ul>
						Géographique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suivre de nombreuses zones de petite taille (quelques km<sup>2</sup>) éparpillées dans la ZEE</li> <li>Proximité à une bouée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Observations locales à observations globales</li> <li>Très haute résolution</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conserver toute les superficies</li> <li>Privilégier les données dont la précision est inframétrique</li> </ul>
						Temporelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Déterminer la fréquentation annuelle</li> <li>Déterminer la ou les "saisons de pointe"</li> <li>Déterminer la ou les "heures de pointe"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesures réalisées à intervalles réguliers</li> <li>L'intervalle de mesure est journalier à temps réel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fréquence des observations : "suivre" ou "suivre et surveiller"</li> <li>Délais opérationnels : "quelques jours", "horaire" ou "temps réel"</li> </ul>
	Suivi de la fréquentation des navires de plaisance et charters touristiques sur les îles et îlots éloignés	3	3	1	1	Thématique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comptage du nombre d'embarcations présentes</li> <li>Statistiques par type d'embarcation</li> <li>Sont-elles uniquement de passage ou restent-elle et si oui combien de temps ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Présence/absence</li> <li>Reconnaître le type d'embarcation</li> <li>Caractériser le comportement (mouvement) de l'embarcation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Type d'objet d'intérêt : navire indifférencié</li> <li>Information collectée : "Présence/Absence" ou "Présence/Absence + Comportement"</li> </ul>
						Géographique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suivre de nombreuses zones de petite taille (quelques km<sup>2</sup>) éparpillées dans la ZEE.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Observations locales à observations globales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conserver toute les superficies</li> </ul>
						Temporelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Déterminer la fréquentation annuelle</li> <li>Déterminer la ou les "saisons de pointe"</li> <li>Déterminer la ou les "heures de pointe"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesures réalisées à intervalles réguliers</li> <li>L'intervalle de mesure est journalier à temps réel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fréquence des observations : "suivre" ou "suivre et surveiller"</li> <li>Délais opérationnels : "quelques jours", "horaire" ou "temps réel"</li> </ul>
Suivi de la distribution spatio-temporelle de l'effort de pêche	Suivi du respect des zones de pêche réglementées (ex. : exploitation des coquilles St Jacques à Bélep)	3	3	1	1	Thématique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Est-ce un bateau de pêche ?</li> <li>L'activité de pêche est constatée ?</li> <li>Quelle est l'identité du bateau ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Présence/absence</li> <li>Reconnaître le type d'embarcation</li> <li>Caractériser le comportement (pêche) de l'embarcation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Type d'objet d'intérêt : navire indifférenciés</li> <li>Information collectée : "Présence/Absence" ou "Présence/Absence + Comportement"</li> </ul>
						Géographique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suivre de nombreuses zones de taille variable éparpillées dans la ZEE</li> <li>Position du bateau ?</li> <li>Se trouve-t-il dans une zone de pêche non autorisée ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Observations locales à observations globales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conserver toute les superficies</li> </ul>
						Temporelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Temps réel ou quasi-temps réel en fonction de la contrainte réglementaire</li> <li>Observations régulières et en continu durant la période d'activité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesures réalisées à intervalles réguliers</li> <li>L'intervalle de mesure est journalier à temps réel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fréquence des observations : "surveiller" ou "suivre et surveiller"</li> <li>Délais opérationnels : "quelques jours", "horaire" ou "temps réel"</li> </ul>
	Pêche côtière professionnelle	2	3	1	0	Thématique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Est-ce un bateau de pêche ?</li> <li>L'activité de pêche est constatée ?</li> <li>Quelle est l'identité du bateau ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Présence/absence</li> <li>Reconnaître le type d'embarcation</li> <li>Caractériser le comportement (pêche) de l'embarcation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Type d'objet d'intérêt : navire indifférencié</li> <li>Information collectée : "Présence/Absence" ou "Présence/Absence + Comportement"</li> </ul>
						Géographique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zone intermédiaire à toute la ZEE</li> <li>Position du bateau ?</li> <li>Se trouve-t-il dans une zone de pêche non autorisée ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Observations intermédiaires à observations globales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intermédiaire et globale</li> </ul>
						Temporelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Temps réel ou quasi-temps réel en fonction de la contrainte réglementaire</li> <li>Observations régulières et en continu durant la période d'activité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesures réalisées à intervalles réguliers</li> <li>L'intervalle de mesure est journalier à temps réel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fréquence des observations : "surveiller" ou "suivre et surveiller"</li> <li>Délais opérationnels : "quelques jours", "horaire" ou "temps réel"</li> </ul>
	Pêche récifo-lagonaire non-professionnelle	3	3	2	2	Thématique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Est-ce un bateau de pêche ?</li> <li>L'activité de pêche est constatée ?</li> <li>Quelle est l'identité du bateau ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Présence/absence</li> <li>Reconnaître le type d'embarcation</li> <li>Caractériser le comportement (pêche) de l'embarcation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Type d'objet d'intérêt : navire indifférencié</li> <li>Information collectée : "Présence/Absence" ou "Présence/Absence + Comportement"</li> </ul>
						Géographique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zone intermédiaire</li> <li>Position du bateau ?</li> <li>Se trouve-t-il dans une zone de pêche non autorisée ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Observations intermédiaires à observations globales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intermédiaire</li> </ul>
						Temporelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Temps réel ou quasi-temps réel en fonction de la contrainte réglementaire</li> <li>Observations régulières et en continu durant la période d'activité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesures réalisées à intervalles réguliers</li> <li>L'intervalle de mesure est journalier à temps réel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fréquence des observations : "surveiller" ou "suivre et surveiller"</li> <li>Délais opérationnels : "quelques jours", "horaire" ou "temps réel"</li> </ul>
	Suivi de la pêche illégale dans les AMP et/ou la ZEE	2	2	2	3	Thématique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Y-a-t'il un bateau de pêche non identifié/déclaré ?</li> <li>Est-il en action de pêche ?</li> <li>Si oui, quel type de bateau ?</li> <li>Quel est son n° d'immatriculation ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Présence/absence</li> <li>Reconnaître le type d'embarcation</li> <li>Caractériser le comportement (pêche) de l'embarcation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Type d'objet d'intérêt : navire indifférencié</li> <li>Information collectée : "Présence/Absence" ou "Présence/Absence + Comportement"</li> </ul>
						Géographique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Locale à intermédiaire</li> <li>Position du bateau ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Observations locales à observations globales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conserver toute les superficies</li> </ul>
						Temporelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intervention</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'accès aux mesures est en temps réel, horaire (maximum journalier)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fréquence des observations : "surveiller" ou "suivre et surveiller"</li> <li>Délais opérationnels : ("journalier"), "horaire" ou "temps réel"</li> </ul>

	Problématique	NC	PF	WF	Pi	Dimension	Objectifs à atteindre	Mesures / Observations requises	Filtre sur les technologies
Suivi de l'activité de pêche	Suivi des prises cibles et accessoires de la pêche professionnelle côtière et hauturière	3	3	0	0	Thématique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quel est le nombre, tonnage et tailles des prises par espèce ?</li> <li>Qualification (nombre, tonnage, tailles) de prises accessoires ?</li> <li>Y a-t-il des espèces emblématiques/protégées capturées dans les accessoires ?</li> <li>Et si oui, qualification (nombre, tonnage, tailles) ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compter le nombre de prises</li> <li>Accéder aux mesures des prises</li> <li>Reconnaître les prises</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Type d'objet d'intérêt : navire de pêche</li> <li>Information collectée : activité à bord</li> </ul>
						Géographique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Par bateau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Observations locales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conserver les superficies "locales"</li> </ul>
						Temporelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rapport à chaque retour de pêche</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fréquence des observations : "suivre" ou "suivre et surveiller"</li> <li>Pas de filtre sur le délai opérationnel</li> </ul>
Suivi de l'activité perlicole	Suivi de l'évolution de l'occupation (changements) du DPM des installations perlicoles	0	2	0	0	Thématique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Y a-t-il des concessions maritimes qui ne sont pas à jour de leur déclaration administrative ?</li> <li>Quel est le propriétaire (concession la plus proche) ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Détecter une activité perlière (détection des filières)</li> <li>Reconnaître les concessions perlicoles</li> <li>Activité constatée dans une concession non déclarée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Type d'objet d'intérêt : autres objets</li> <li>Information collectée : "Présence/Absence" ou "Présence/Absence + Comportement"</li> </ul>
						Géographique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plein de petites zones (quelques km<sup>2</sup>) éparpillées sur une zone de taille intermédiaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Observations locales à observations globales</li> <li>Privilégier la très haute résolution (&lt; 1m)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conserver toute les superficies</li> <li>Précision de l'information &lt; 1m</li> </ul>
						Temporelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Synthèse annuelle</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fréquence des observations : "suivre" ou "suivre et surveiller"</li> <li>Délais opérationnels : "quelques jours", "horaire" ou "temps réel"</li> </ul>
Suivi des usages récréatifs	Suivi de l'évolution des usages récréatifs et de loisirs (typologie et fréquence)	3	3	1	0	Thématique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Savoir si une ou des activités récréatives est/sont en développement ?</li> <li>Quelle est la densité de population pendant un événement particulier ?</li> <li>Quelle est la population présente ?</li> <li>Connaître l'usage des plages pour organiser/optimiser la surveillance de la baignade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reconnaissance d'une activité</li> <li>Comptage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Type d'objet d'intérêt : autres objets</li> <li>Information collectée : "Présence/Absence" ou "Présence/Absence + Comportement"</li> </ul>
						Géographique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Où ces activités sont-elles pratiquées ?</li> <li>Quelles sont leurs modalités spatiales ?</li> <li>Petites zones (quelques km<sup>2</sup>) éparpillées sur une zone de taille intermédiaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Observations locales à observations globales</li> <li>Localisation de l'activité par type</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conserver toute les superficies</li> <li>Précision de l'information &lt; 1m (strictement)</li> </ul>
						Temporelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Y-a-t'il une saison ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesures réalisées à intervalles réguliers</li> <li>L'intervalle de mesure est de plusieurs jours à temps réel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fréquence des observations : "suivre", "suivre et surveiller" et "surveiller"</li> <li>Délais opérationnels : pas de filtre</li> </ul>
	Suivi de la fréquentation des bateaux de whale watching	3	3	1	0	Thématique	<ul style="list-style-type: none"> <li>S'assurer du bon respect des règles d'approche, d'observation des cétacés dans leur milieu naturel</li> <li>Y-t-il une baleine ? Y a-t-il un baleineau ?</li> <li>Est-ce que le bateau respecte les règles d'approche (ne pas couper la route, ne pas bloquer les baleines contre le récif, etc.)</li> <li>Identification du bateau ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comportement du bateau (route)</li> <li>N° d'immatriculation du bateau</li> <li>Détecter et reconnaître une baleine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Type d'objet d'intérêt : navires de transport de passagers (filtres additionnels : Autres objets, Navires de plaisance, Autres engins)</li> <li>Information collectée : "Présence/Absence" ou "Présence/Absence + Comportement"</li> </ul>
						Géographique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plein de petites zones (quelques km<sup>2</sup>) éparpillées sur une zone de taille intermédiaire</li> <li>Quelle est la distance entre le/les bateau(x) et la baleine, ou la baleine et son baleineau ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Localiser précisément les bateaux (&lt; 1m)</li> <li>Localiser précisément les baleines (&lt; 1m)</li> <li>Distance entre le bateau et la baleine</li> <li>Observations locales à observations intermédiaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conserver les superficies globales à locales</li> <li>Précision de l'information &lt; 1m pour réaliser des calculs de distance</li> </ul>
						Temporelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quelle est la durée de l'observation (typiquement une observation dure 10 - 15 min...)</li> <li>Pendant la saison : novembre à décembre en Polynésie et mi-juillet à mi-septembre en Nouvelle-Calédonie</li> <li>Etre en mesure d'intervenir, avertir, sanctionner</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcul de la durée de présence d'un bateau à une distance définie de la baleine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fréquence des observations : "suivre et surveiller" et "surveiller"</li> <li>Délais opérationnels : ("horaire" ou "temps réel")</li> </ul>
	Suivi des zones de mouillage des paquebots	3	2	1	1	Thématique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Où mouillent les paquebots ?</li> <li>La fréquence de mouillage par localisation</li> <li>Où sont les zones de concentrations et combien de croisiéristes (piétinement, crème solaire, etc.)</li> <li>Quelle est l'identité du bateau en question ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reconnaître que c'est un paquebot</li> <li>Quand sont-ils au mouillage ?</li> <li>Comportement du bateau pendant le mouillage</li> <li>Immatriculation du bateau</li> <li>Nombres de croisiéristes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Type d'objet d'intérêt : navires de transport de passagers (filtres additionnels : Autres objets)</li> <li>Information collectée : "Présence/Absence" ou "Présence/Absence + Comportement"</li> </ul>
						Géographique	<ul style="list-style-type: none"> <li>A l'échelle d'une île ou d'une baie, d'une plage</li> <li>Plusieurs localisations par pays</li> <li>Les localisations peuvent changer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Localisation les bateaux</li> <li>Observations locales à observations globales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conserver les superficies globales à locales</li> </ul>
						Temporelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>A chaque fois qu'un paquebot mouille</li> <li>La période de mouillage est aléatoire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesures réalisées en temps voulu ou extrêmement régulières</li> <li>L'intervalle de mesure est de plusieurs jours à temps réel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fréquence des observations : "suivre et surveiller" et "surveiller"</li> <li>Délais opérationnels : "journalier", "horaire", "temps réel"</li> </ul>

## II.2. DÉTAILS DE MISE EN ŒUVRE DE L'OUTIL POUR DEUX EXEMPLES DE CAS D'ÉTUDE

### II.2.1. Les activités et usages récréatifs : suivi de la fréquentation

Comme abordé précédemment, l'augmentation de la population et le développement touristique entraînent une augmentation de la fréquentation des espaces maritimes côtiers et du milieu marin, déjà constatée en Nouvelle-Calédonie. Notamment, l'étude de la fréquentation des lagons, dans sa dimension spatio-temporelle, apporte des éléments essentiels d'aide à l'élaboration de politiques publiques pour la gestion durable des activités et usages sur l'espace maritime.

Certaines technologies de suivi peuvent être appliquées au suivi de la fréquentation au sens large, recouvrant par exemple les applications suivantes :

- fréquentation des îles et îlots du lagon ;
- fréquentation des îlots à fermeture temporaire ;
- fréquentation des îlots de nidification des tortues et des oiseaux marins ;
- mouillage des navires de plaisance dans les aires marines protégées (utilisation des bouées) ;
- fréquentation des navires de plaisance et charters touristiques des îles et îlots éloignés.

Le choix technologique relève comme nous l'avons vu de l'adéquation entre les objectifs à atteindre dans le cadre du suivi et les mesures ou observations requises selon trois dimensions : thématique (quoi), géographique (où) et temporelle (quand, à quelle fréquence, sous quels délais).

Dans le cadre d'un suivi de la fréquentation, les objectifs à atteindre d'un point de vue thématique, géographique et temporel peuvent être résumés et mis en relation avec les mesures ou observations requises, ainsi qu'avec les modalités des critères à sélectionner dans l'outil d'aide à l'identification des solutions technologiques (Tableau 25).

**Tableau 25 : Objectifs, mesures requises et identification des modalités des critères à sélectionner sur la base des principaux paramètres, pour le cas d'étude « suivi de la fréquentation en zone récifo-lagonaire ».**

Dimension	Objectifs à atteindre	Mesures / Observations requises	Filtre sur les technologies
THÉMATIQUE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comptage du nombre d'embarcations présentes</li> <li>• Statistiques par type d'embarcation</li> <li>• Sont-elles uniquement de passage ou restent-elles, et si oui combien de temps ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Présence/absence</li> <li>• Reconnaître le type d'embarcation</li> <li>• Caractériser le comportement (mouvement) de l'embarcation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Type d'objets d'intérêt : navires indifférenciés</li> <li>• Information collectée : "Présence/Absence" + "Présence/Absence + Comportement"</li> </ul>
GÉOGRAPHIQUE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suivre de nombreuses zones de petite taille (quelques km<sup>2</sup>) éparpillées dans la ZEE.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observations locales à observations globales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conserver toutes les superficies : Locale + Intermédiaire/Locale + Globale/Intermédiaire/Locale</li> </ul>
TEMPORELLE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Déterminer la fréquentation annuelle</li> <li>• Déterminer la ou les "saisons de pointes"</li> <li>• Déterminer la ou les "heures de pointe"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesures réalisées à intervalles réguliers</li> <li>• L'intervalle de mesure est journalier à temps réel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fréquence des observations : "suivre" + "suivre et surveiller"</li> <li>• Délais opérationnels : "quelques jours" + "horaire" + "temps réel"</li> </ul>

Le filtrage de l'outil en fonction des mesures ou observations requises permet ainsi d'identifier les technologies (Figure 83) permettant de réaliser un tel suivi :

- AIS côtier et AIS par satellite ;
- radiomètres imageurs et radar en acquisition systématique par satellite ;
- radar de surface et HFSWR.

Technologie	Vecteur	Transmission	Type d'objet d'intérêt	Information collectée	Fréquence et délais		Superficie	Précision de l'information
			Navires indifférenciés		Fréquence des observations	Délais opérationnels		
AIS	Bateau	Antenne VHF côtière	Oui	Présence/Absence + Comportement	Suivre et surveiller	Temps réel	Intermédiaire / Locale	10,00 m
AIS	Bateau	Satellite	Oui	Présence/Absence + Comportement	Suivre et surveiller	Temps réel	Globale / Intermédiaire / Locale	10,00 m
Radiomètres imageurs et radar acquisition systématique	Satellite	Space Data Highway / standard	Oui	Présence/Absence	Suivre	Quelques jours	Intermédiaire / Locale	10,00 m
Radar de surface	Antenne	-	Oui	Présence/Absence	Suivre et surveiller	Temps réel	Locale	20,00 m
HFSWR, High Frequency Surface Wave Radar	Antenne	-	Oui	Présence/Absence	Suivre et surveiller	Temps réel	Intermédiaire / Locale	15,00 m

**Figure 83 : Capture d'écran des technologies identifiées suivant les modalités des paramètres principaux sélectionnés, pour le cas d'étude « suivi de la fréquentation en zone récifo-lagonaire » (objectifs et mesures requises du Tableau 25).**

L'AIS réalise les mesures les plus complètes par rapport aux mesures requises (présence/absence, comportement, identification de l'embarcation). Le choix du mode de transmission de l'AIS par VHF ou par satellite dépendra de la zone à surveiller (localisée ou intégralité de la ZEE) et de l'infrastructure (ex. : antennes pour l'AIS côtier) existante ou à installer.

Les autres technologies peuvent être envisagées de manière complémentaire à l'AIS. En effet les données AIS constituent une technologie coopérative qui induit nécessairement un biais significatif (sous-estimation) lorsque l'on considère l'étude de la fréquentation plaisancière récréative qui utilise aujourd'hui peu cette technologie. La pertinence de la complémentarité des technologies et leurs limites doivent être évaluées à travers l'exploration des modalités associées aux paramètres secondaires (Figure 84).

Technologie	Vecteur	Transmission	Maturité		Limites	Coût	Complexité	Archives de données disponibles
			Maturité	Potentiel d'innovation				
AIS	Bateau	Antenne VHF côtière	Mature	Moyen	A prendre en considération	Abordable	Faible	Oui
AIS	Bateau	Satellite	Oprérationnel et en développements	Fort	A prendre en considération	Abordable	Faible	Oui
Radiomètres imageurs et radar acquisition systématique	Satellite	Space Data Highway / standard	Oprérationnel et en développements	Fort	A prendre en considération	Abordable	Modéré à complexe	Oui
Radar de surface	Antenne	-	Mature	Faible	A prendre en considération	Coût modéré	Modéré à complexe	Non
HFSWR, High Frequency Surface Wave Radar	Antenne	-	Oprérationnel et en développements	Moyen	A prendre en considération	Coût modéré	Modéré à complexe	Non

**Figure 84 : Capture d'écran des modalités des paramètres secondaires des technologies identifiées sur la base des critères principaux : maturité, limites, coût, complexité et disponibilité des archives, pour le cas d'étude « suivi de la fréquentation en zone récifo-lagonaire » (objectifs et mesures requises du Tableau 25).**

Ainsi suivant les considérations de maturité, de coûts, de complexité de mise en œuvre et de données en archives disponibles, l'utilisation de données satellitaires optiques ou radar en acquisition systématique et/ou de mesures par radar de surface (classique ou HFSWR) permet en complétant les données AIS de répondre à la problématique de fréquentation.

A noter que la réponse à la problématique du suivi de la fréquence par *typologie d'embarcation* n'est que partielle en l'absence d'utilisation obligatoire ou plus systématique de l'AIS. Les combinaisons technologiques permettront a minima l'obtention d'une fréquentation indifférenciée ou par classe de taille grossière. En effet l'inspection de la disponibilité de mesures complémentaires (Figure 85) montre qu'au final les technologies qui complètent l'AIS ne permettent pas de différencier le type d'objet.

Technologie	Vecteur	Transmission	Type d'objet d'intérêt							
			Navires indifférenciés	Navire de pêche hauturière	Navire de pêche côtière ou lagunaire	Navire de plaisance	Navire de transport de marchandises ou de passagers	Engin nautique (Kitesurf, kayak, etc.)	Infra-structure côtière ou off-shore	Autres objets
AIS	Bateau	Antenne VHF côtière	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non
AIS	Bateau	Satellite	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non
Radiomètres imageurs et radar acquisition systématique	Satellite	Space Data Highway / standard	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui
Radar de surface	Antenne	-	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
HFSWR, High Frequency Surface Wave Radar	Antenne	-	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui

**Figure 85 :** Capture d'écran des technologies sélectionnées : disponibilité de mesures complémentaires, pour le cas d'étude « suivi de la fréquentation en zone récifo-lagunaire ».

## II.2.2. Les activités et usages récréatifs : le cas du *whale watching*

Le tourisme est une activité clé du développement des PTOM, déjà majeure pour certains, et résolument tournée vers les activités liées à la mer. Parmi ces activités, le *whale watching* consiste à observer les baleines dans leur milieu naturel à partir de bateaux et embarcations légères. Cette activité met directement en jeu la qualité environnementale du milieu de vie des cétacés et leur propension à revisiter les sites d'une année sur l'autre. Dans ce cadre, l'activité de *whale watching* est de plus en plus réglementée afin de préserver les animaux et leur milieu, déterminant notamment : manœuvre d'approche, distance minimale d'observation, durée des observations, niveaux de nuisances sonores. Si l'utilisation d'une surveillance avec les moyens classiques utilisant des patrouilles de surveillance en mer apparaît comme usuelle et adaptée, l'utilisation des technologies de suivi et de surveillance des activités humaines en mer peut apporter un appui à l'application de ces réglementations.

Le choix technologique relève comme précédemment de l'adéquation entre les objectifs à atteindre dans le cadre du suivi, et les mesures ou observations requises selon trois dimensions : thématique (quoi), géographique (où) et temporelle (quand, à quelle fréquence, sous quels délais).

Dans le cadre d'un suivi de la fréquentation, les objectifs à atteindre d'un point de vue thématique, géographique et temporel peuvent être résumés et mis en relation avec les mesures ou observations requises selon le tableau suivant (Tableau 26).

Le filtrage de l'outil de synthèse des technologies en fonction des mesures ou observations requises permet ainsi d'identifier les technologies permettant d'appuyer la surveillance de cette activité :

- les technologies de surveillance et de suivi des bateaux : AIS, LRIT, surveillance de surface par drone marin ;
- les technologies de surveillance ou d'imagerie aérienne par drones et avions.

**Tableau 26 :** Objectifs, mesures requises et identification des modalités des critères à sélectionner sur la base des principaux paramètres, pour le cas d'étude « *whale watching* ».

Dimension	Objectifs à atteindre	Mesures / Observations requises	Filtre sur les technologies
THÉMATIQUE	<ul style="list-style-type: none"> <li>· S'assurer du bon respect des règles d'approche et d'observation des cétacés dans leur milieu naturel</li> <li>· Y a-t-il une baleine ? Y a-t-il un baleineau ?</li> <li>· Est-ce que le bateau respecte les règles d'approche (ne pas couper la route, ne pas bloquer les baleines contre le récif, etc.)</li> <li>· Identification du bateau ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Comportement du bateau (route)</li> <li>· N° d'immatriculation du bateau</li> <li>· Détecter et reconnaître une baleine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Type d'objet d'intérêt : Navires de transport de passagers (filtres additionnels : Autres objets, Navires de plaisance, Autres engins)</li> <li>· Information collectée : "Présence/Absence" ou "Présence/Absence + Comportement"</li> </ul>
GÉOGRAPHIQUE	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Surveiller de nombreuses petites zones (quelques km<sup>2</sup>) éparpillées sur une zone de taille intermédiaire</li> <li>· Estimer la distance entre le/les bateau(x) et la baleine, ou la baleine et son baleineau ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Localiser précisément les bateaux (&lt; 1m)</li> <li>· Localiser précisément les baleines (&lt; 1m)</li> <li>· Distance entre le bateau et la baleine</li> <li>· Observations locales à observations intermédiaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Conserver les superficies globales à locales</li> <li>· Optionnel : précision de l'information &lt; 1m pour réaliser des calculs de distance</li> </ul>
TEMPORELLE	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Quelle est la durée de l'observation (typiquement une observation dure 10 - 15 min...)</li> <li>· Activité saisonnière : novembre à décembre en Polynésie et mi-juillet à mi-septembre en Nouvelle-Calédonie</li> <li>· Etre en mesure d'intervenir, avertir, sanctionner</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Calcul de la durée de présence d'un bateau à une distance définie de la baleine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Fréquence des observations : "suivre et surveiller" et "surveiller"</li> <li>· Délais opérationnels : ("horaire" ou "temps réel")</li> </ul>

Technologie	Vecteur	Transmission	Information collectée	Fréquence et délais		Superficie	Précision de l'information
				Fréquence des observations	Délais opérationnels		
AIS	Bateau	Antenne VHF côtière	Présence/ Absence + Comportement	Suivre et surveiller	Temps réel	Intermédiaire/ locale	10,00 m
AIS	Bateau	Satellite	Présence/ Absence + Comportement	Suivre et surveiller	Temps réel	Globale/ Intermédiaire/ Locale	10,00 m
LRIT	Bateau	Satellite	Présence/ Absence + Comportement	Suivre et surveiller	Horaire	Globale/ Intermédiaire/ Locale	10,00 m
Surveillance aérienne	Avion	-	Présence/ Absence	Surveiller	Horaire	Intermédiaire/ locale	0,50 m
Surveillance aérienne	Drone professionnel	SHF Bande X	Présence/ Absence	Surveiller	Temps réel	Locale	0,50 m
Surveillance aérienne	Drone professionnel moyenne altitude et moyenne endurance	SHF	Présence/ Absence	Surveiller	Temps réel	Intermédiaire/ locale	0,50 m
Surveillance aérienne	Drone haute altitude et haute endurance	SHF	Présence/ Absence	Surveiller	Temps réel	Intermédiaire/ locale	0,50 m
Surveillance de surface	Drone marin	Satellite	Présence/ Absence	Surveiller	Horaire	Locale	10,00 m
Radiomètres imageurs sur programmation	Drone professionnel	SHF	Présence/ Absence + Comportement	Surveiller	Horaire	Locale	0,05 m
Radiomètres imageurs et radar sur programmation	Drone professionnel moyenne altitude et moyenne endurance	SHF	Présence/ Absence + Comportement	Surveiller	Horaire	Intermédiaire/ locale	0,05 m
Radiomètres imageurs et radar sur programmation	Drone professionnel haute altitude et haute endurance	SHF	Présence/ Absence + Comportement	Surveiller	Temps réel	Intermédiaire/ locale	0,05 m

**Figure 86 :** Capture d'écran des technologies identifiées suivant les modalités des paramètres principaux sélectionnés, pour le cas d'étude « whale watching » (objectifs et mesures requises du Tableau 26).

La surveillance de l'activité de whale watching comprend deux paramètres à détecter, identifier et surveiller:

- la présence des bateaux de plaisance ;
- la présence des baleines.

Les technologies classiques de surveillance et de suivi des bateaux telles que l'AIS ou le LRIT permettent de suivre et identifier les navires mais pas les baleines. Par contre, la surveillance de surface par drone marin est actuellement en mesure de détecter à la fois la présence de bateau et de baleine sur un secteur restreint donné. Pour ces deux technologies, la précision de l'information est de l'ordre de la dizaine de mètres.

L'imagerie par drone permet d'obtenir des données permettant d'observer les bateaux et les baleines en surface à des précisions permettant des calculs de distance fiables. La surveillance par imagerie réalisée par drone HALE permettrait de surveiller en temps réel.

Toutefois, la surveillance par drone doit tenir compte de certaines limitations actuelles :

- les drones professionnels sont limités par les conditions météorologiques et/ou sont limités vis-à-vis des conditions de vol au-dessus de la mer ;
- aujourd'hui les coûts des drones HALE<sup>25</sup> et MALE<sup>26</sup> sont conséquents ;
- le concept de drone HALE est encore actuellement en cours de développement et la technologie n'est pas encore opérationnelle.

Les balises ARGOS, technologie de suivi de la faune, permettent également de connaître la position des baleines à des précisions de positionnement de l'ordre de 100m, toutes les 2 à 6h.

Technologie	Vecteur	Transmission	Maturité		Limites	Coût	Complexité	Archives de données disponibles
			Maturité	Potentiel d'innovation				
AIS	Bateau	Antenne VHF côtière	Mature	Moyen	A prendre en considération	Abordable	Faible	Oui
AIS	Bateau	Satellite	Opérationnel et en développements	Fort	A prendre en considération	Abordable	Faible	Oui
LRIT	Bateau	Satellite	Mature	Faible	A prendre en considération	Coûts d'investissement et opérationnels importants	Très complexe	Non
Surveillance aérienne	Avion	-	Mature	Faible	Faibles	Coût modéré	Modéré à complexe	Non
Surveillance aérienne	Drone professionnel	SHF Bande X	Mature	Moyen	A prendre en considération	Coût modéré	Modéré à complexe	Non
Surveillance aérienne	Drone professionnel moyenne altitude et moyenne endurance	SHF	Mature	Fort	Faibles	Coûts d'investissement et opérationnels importants	Très complexe	Non
Surveillance aérienne	Drone haute altitude et haute endurance	SHF	Concept en développement	Fort	Faibles	Coûts d'investissement et opérationnels importants	Très complexe	Non
Surveillance de surface	Drone marin	Satellite	Concept en développement	Fort	A prendre en considération	Coûts d'investissement et opérationnels importants	Très complexe	Non
Radiomètres imageurs sur programmation	Drone professionnel	SHF	Mature	Fort	A prendre en considération	Coût modéré	Modéré à complexe	Non
Radiomètres imageurs et radar sur programmation	Drone professionnel moyenne altitude et moyenne endurance	SHF	Mature	Fort	Faibles	Coûts d'investissement et opérationnels importants	Très complexe	Non
Radiomètres imageurs et radar sur programmation	Drone professionnel haute altitude et haute endurance	SHF	Concept en développement	Fort	Faibles	Coûts d'investissement et opérationnels importants	Très complexe	Non

**Figure 87 :** Capture d'écran des modalités des paramètres secondaires des technologies identifiées sur la base des critères principaux : maturité, limites, coût, complexité et disponibilité des archives, pour le cas d'étude « whale watching » (objectifs et mesures requises du Tableau 27).

<sup>25</sup> les drones volant à haute altitude et de grande endurance HALE - « High Altitude Long Endurance »

<sup>26</sup> les drones volant à moyenne altitude et de grande endurance MALE - « Medium Altitude Long Endurance »

Ainsi, en écartant les technologies au stade de concept et les technologies onéreuses, le couplage de l'AIS avec de l'imagerie par drone aérien professionnel et/ou de la surveillance aérienne (avion ou drone professionnel) permettent de surveiller l'activité de *whale watching* avec des limitations en termes de couverture, de précision et de temps d'accès aux données.

Technologie	Vecteur	Transmission	Type d'objet d'intérêt							
			Navires indifférenciés	Navire de pêche hauturière	Navire de pêche côtier ou lagunaire	Navire de plaisance	Navire de transport de marchandises ou de passagers	Engin nautique (Kitesurf, kayak, etc.)	Infrastructure côtière ou off-shore	Autres objets
AIS	Bateau	Antenne VHF côtière	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non
AIS	Bateau	Satellite	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Non
LRIT	Bateau	Satellite	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Oui	Non
Surveillance aérienne	Avion	-	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Surveillance aérienne	Drone professionnel	SHF Bande X	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Surveillance aérienne	Drone professionnel moyenne altitude et moyenne endurance	SHF	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Surveillance aérienne	Drone haute altitude et haute endurance	SHF	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Surveillance de surface	Drone marin	Satellite	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui
Radiomètres imageurs sur programmation	Drone professionnel	SHF	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Radiomètres imageurs et radar sur programmation	Drone professionnel moyenne altitude et moyenne endurance	SHF	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Radiomètres imageurs et radar sur programmation	Drone professionnel haute altitude et haute endurance	SHF	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui

Figure 88 : d'après capture d'écran des technologies sélectionnées pour le cas d'étude « *whale watching* ».





# BIBLIOGRAPHIE

- Aerosonde & AAI Textron Systems** (2014) "Aerosonde UAS Maritime Surveillance Capabilities" presented at the MCS Emerging Technologies Workshop, Honiara, Solomon Islands.
- AFB** (2017) Données clefs sur la protection des récifs coralliens de l'Outre mer français - Polynésie Française, 30p.
- Anderson E, Judson B, Tu'itupou S, Thaman B** (2003) Marine Pollution Risk Assessment for the Pacific Islands Region (PACPOL Project Ra1), Secretariat of the Pacific Regional Environment Program.
- Andréfouët S, Chagnaud N, Chauvin C, Kranenburg CJ** (2008) Atlas des récifs coralliens de France Outre-Mer, Centre IRD de Nouméa, 153 p.
- Andreoli R, Kinne P, Lille D** (2017) "The Monitoring of Maritime Incident Using Remote Sensing and Cloud Solution" presented at the The Pacific GIS&RS User Conference, Suva, Fiji.
- Anonyme** (2015) Stratégie nationale de sûreté des espaces maritimes. Comité interministériel de la mer du 22 octobre 2015, 58p.
- Baghdadi N, Mehrez Z** (2016a) Observation Des Surfaces Continentales Par Télédétection Optique.
- Baghdadi N, Mehrez Z** (2016b) Observation Des Surfaces Continentales Par Télédétection Micro-Onde.
- Ball H** (2013) Satellite AIS For Dummies®, Special Edition. John Wiley & Sons Canada Ltd.
- Banks R, Muldoon G, Fernandes V** (2016) Analysis of the Costs and Benefits of Electronic Fisheries Information Systems Applied in FFA Countries and Identification of the Legislative, Regulatory and Policy Supporting Requirements. Final Report 1155-WWF/FFA. Poseidon Aquatic Resource Management Ltd.
- Bartholome W, David C, Mangel JC, Alfaro-Shigueto J, Pingo S, Jimenez A, Godley BJ** (2018) Remote Electronic Monitoring as a Potential Alternative to On-Board Observers in Small-Scale Fisheries. *Biological Conservation* 219: 35–45.
- Batty M, Adams T** (2014) "Electronic Monitoring Programs" presented at the MCS Emerging Technologies Workshop, Honiara, Solomon Islands.
- Bell JD, Kronen M, Vunisea A, Nash WJ, Keeble G, Demmke A, Andréfouët S** (2009). Planning the use of fish for food security in the Pacific. *Marine Policy* 33(1): 64-76.
- Blondy C** (2011) La croisière dans l'espace polynésien : jeux de lieux et d'acteurs, pratiques, aménagements et enjeux de développement. *Études caribéennes*: 18 [online]
- Brugneaux S, Lagouy E, Alloncle N, Gabrié C** (2010) Analyse éco-régionale marine de Polynésie Française. CRISP. Composante 1 Projet 1A1 : Planification de la conservation de la biodiversité marine. 138p.
- Bryson M, Williams S** (2015) Review of Unmanned Aerial Systems (UAS) for Marine Surveys. Australian Centre for Field Robotics, University of Sydney.
- Chen Y** (2014) Satellite-Based AIS and Its Comparison with LRIT. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* 8 (2): 183–187.
- Churchyard T, Eaton MA, Havery S** (2016) The biodiversity of the United Kingdom's Overseas Territories : a stock take of species occurrence and assessment of key knowledge gaps. *Biodivers Conserv* 25: 1677.
- Conservation News** (2017) Tuna Catch Monitoring Enters the Electronic Age. <https://news.mongabay.com/wildtech/2017/07/tuna-catch-monitoring-enters-the-electronic-age/>.
- Couchat P** (2018) "STRADIVARIUS HF Surface Wave Radar BLUECHAM – Revue Technologique Pour l'AFB 18 Mars 2018." Documentation technique.
- D'Angelo P, Gellért M, Reinartz P** (2016) Skybox Image and Video Product Evaluation. *International Journal of Image and Data Fusion* 7 (1): 3–18.
- De Miguel Molina B, Marival SO** (2018) The Drone Sector in Europe. *Ethics and Civil Drones*, edited by María de Miguel Molina and Virginia Santamarina Campos, 7–33.
- DigitalGlobe** (2016) "Digitalglobe Satellite and Product Overview" Presented at the JACIE Workshop, Tokyo, Japan, November 6.
- Dujardin B** (2004) L'AIS1 et ses capacités de surveillance maritime. *La revue maritime*, no. 467: 5.
- Dupouy C, Andreoli R, Wattelez G, Pinazo C, Fuchs R, Mangeas M** (2014) Les Satellites Auscultent La Couleur de l'océan Applications En Nouvelle-Calédonie. Conférence Découvertes presented at the Conférence Découvertes, IRD, Nouméa.
- European Commission & JRC** (2008) Integrated Maritime Policy for the EU. Working Document. Maritime Surveillance Systems.
- ExactEarth** (2014) "Integrated Satellite Monitoring Technologies." presented at the MCS Emerging Technologies Workshop, Honiara, Solomon Islands.
- FAO** (1997) Review of the State of World Fishery Resources: Marine Fisheries, FAO Fisheries Circular No. 920 FIRM/C920.
- Fastwave** (2014) "Ocean Sensors" presented at the MCS Emerging Technologies Workshop, Honiara, Solomon Islands.
- Fastwave** (2015) "Unmanned Maritime Systems." Submission to Australia's Defence White Paper.
- FIMS & iFIMS** (2014) "Integrated Fisheries Information Management System (iFIMS)." presented at the MCS Emerging Technologies Workshop, Honiara, Solomon Islands.
- Fisheries Forum Agency** (2018) Type Approval of Units Used with VMS and Authorised Installers | Pacific Islands Forum Fisheries Agency (FFA).
- Fournier M** (2012) L'apport de l'imagerie satellitale à la surveillance maritime. Contribution géographique et géopolitique. Phd thesis, Université Paul Valéry - Montpellier III.
- Friedlander AM, Wagner D, Gaymer CF, T'Aulani W, Nai'AL, Brooke S, Kikiloi K, Ole V** (2016) Co-operation between large-scale MPAs: successful experiences from the Pacific Ocean. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 26(S2): 126-141.
- Gillett R** (2016) Fisheries in the Economies of Pacific Island Countries and Territories. Secretariat of the Pacific Community, Noumea, 664 pages.
- Gonson C, Pelletier D, Gamp E, Preuss B, Jollit I, Ferraris J** (2016) Decadal increase in the number of recreational users is concentrated in no-take marine reserves. *Marine pollution bulletin*, 107(1): 144-154.
- Govan H** (2017) Ocean Governance – Our Sea of Islands' in Katafono, R.(ed.), *A Sustainable Future for Small States: Pacific 2050* (forthcoming), Commonwealth Secretariat, London.
- Graham P** (2016) "Basic Costs of MCS Operations" Presented at the MCS Emerging Technologies Workshop, Auckland, New Zealand.
- Guyonnet J** (2016) Déploiement d'un Drone Maritime Autonome, Le Wave Glider. Rapport de stage de 3<sup>e</sup> année. Réseaux et Télécommunication. Université de Toulon - SeaTech.
- Hosken M, Vilia H, Agi J, Williams P, Mckechnie S, Mallet D, Honiwala E** (2014) Report on the 2014 Solomon Islands Longline E-Monitoring Project. Sol. Is. E-Monitoring Project - 2014. SPC, ISSF, SatLink, FFA Devfish II.
- Hwang JN** (2016) "Automated Image/Video Analyses for Fishery Science" Presented at the MCS Emerging Technologies Workshop, Auckland, New Zealand.
- Ilčev SD** (2018) Stratospheric Platform Systems (SPSs). In *Global Mobile Satellite Communications Applications*, by Stojce Dimov Ilcev, 561–621.
- International Convention for the Safety of Life at Sea** (1974).
- Irving R, Dawson T** (2013) Coral Reefs of the Pitcairn Islands. In: Sheppard C, Ed. *Coral Reefs of the United Kingdom Overseas Territories*. Netherlands: Springer Netherlands. pp. 299–318.

- Kelleher K** (2002) "Institutional Options for VMS" Presented at the Sub-Regional VMS Workshop, Saly, Sénégal, October 14.
- Kinch J, Anderson P, Richards E, Talouli A, Vieux C, Peteru C, Suaesi T** (2010) Outlook report on the state of the marine biodiversity in the Pacific Islands region. Secretariat of the Pacific Regional Environment Programme, Apia.
- Lawery LO, Howse G, Mastracci M, Heyl PJ, Cho M** (2016) Fisheries Surveillance Aerial Patrol Study: Feasibility, Costs, and Benefits. Fisheries Surveillance Aerial Patrol Study. Momentum Aerospace Group (MAG).
- Le Tixerant M** (2004) Dynamique des activités humaines en mer côtière. Application à la Mer d'Iroise (Doctoral dissertation, Université de Bretagne occidentale-Brest).
- Léopold M, Dumas P** (2009). Propositions pour limiter l'impact de l'ancrage des navires de tourisme sur les récifs coralliens en Nouvelle-Calédonie. Etude des sites d'OUVEA et de LIFOU (îles Loyauté). UR 128, Rapport IRD/IFRECOR. 25 p
- Liquid Robotics** (2017a) The Wave Glider SV3 V200 Platform Specifications. Specification Sheet.
- Liquid Robotics** (2017b) Monitoring Marine Protected Areas. Liquid Robotics Case Study.
- Liquid Robotics** (2018) Wave Glider BGAN Options Specifications.
- Loubersac L, Galletout JF, Péré M** (2018) Etude préliminaire Technico Commerciale d'un projet d'implantation d'une station de réception de données satellites d'observation de la Terre de moyenne à très haute résolution optiques et/ou radar en Nouvelle-Calédonie. Rapport de consultance. Nouméa : Océan Avenir NC & Mea Intuis Sarl.
- Lurton X** (1998) Acoustique sous-marine. Présentation et applications. Editions IFREMER.
- Maguer AR, Grati DA, Stoner R, Guerrini P, Troiano L, Alvarez A** (2013) Ocean Gliders Payloads for Persistent Maritime Surveillance and Monitoring. In 2013 OCEANS - San Diego, 1-8.
- Mallalieu KI, Kevon A** (2014) "Low-Cost Fisheries MCS Tools." presented at the 4th Global Fisheries Enforcement Training Workshop (GFETW), San Jose, Costa Rica, February 17.
- Manley JE** (2008) Unmanned Surface Vehicles, 15 Years of Development. In OCEANS 2008, 1-4.
- Maresca S, Braca P, Horstmann J, Grasso R** (2014) Maritime Surveillance Using Multiple High-Frequency Surface-Wave Radars. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 52 (8): 5056-5071.
- Masika S** (2016) "Overview of Current Application of MCS Technology." presented at the MCS Emerging Technologies Workshop, Auckland, New Zealand.
- McElderry H** (2016) "Electronic Monitoring Opportunities for Commercial Fisheries." presented at the MCS Emerging Technologies Workshop, Auckland, New Zealand.
- Middleton D, Trident Systems** (2016) "The Magic of Collaboration - Video Observation in New Zealand Led by Fisheries Science and Benefitting All." presented at the MCS Emerging Technologies Workshop, Auckland, New Zealand.
- Munro N** (2016) "Observer Services, Electronic Monitoring." presented at the MCS Emerging Technologies Workshop, Auckland, New Zealand.
- Nott BJ** (2015) "Long-Endurance Maritime Surveillance With Ocean Glider Networks." Master's Thesis, Monterey, California: Naval Postgraduate School.
- O'Leary BC, Ban NC, Fernandez M, Friedlander AM, García-Borboroglu P, Golbuu Y, Guidetti P** (2018) Addressing Criticisms of Large-Scale Marine Protected Areas. BioScience (2018).
- Oates M** (2016) "Fisheries Information Management System (FIMS) ECDS." presented at the MCS Emerging Technologies Workshop, Auckland, New Zealand.
- ORBCOMM** (2010) "Worldwide AIS Data From Space - Ppt Download." presented at the Worldwide AIS Data from Space, Texas, USA.
- OMI** (2013) Convention de l'Organisation Maritime Internationale SOLAS.
- Pelletier D, Bockel T, Carpentier L, Schohn T, Raillard B, Powell A** (2016) Evaluation de l'impact de l'activité de croisière sur l'habitat et les peuplements de poissons de la Baie d'Easo-Xepenehe, Lifou. Campagne STAVIRO 2014. Rapport AMBIO/A/30.
- Polidoro BA, Elfes CT, Sanciangco JC, Pippard H, Carpenter KE** (2011) Conservation Status of Marine Biodiversity in Oceania: An Analysis of Marine Species on the IUCN Red List of Threatened Species. Journal of Marine Biology: article ID 247030.
- PROE** (2015) Cadre pour la conservation de la nature et les aires protégées dans la région du Pacifique insulaire 2014-2020 - Apia, Samoa
- Règlement (CE) n° 2244/2003 de la Commission du 18 décembre 2003 établissant les modalités d'application du système de surveillance des navires par satellite.** 2003. OJ L. Vol. 333.
- Robards MD, Silber GK, Adams JD, Arroyo J, Lorenzini D, Schwehr K, Amos J** (2016) Conservation Science and Policy Applications of the Marine Vessel Automatic Identification System (AIS) - a Review. Bulletin of Marine Science 92 (1): 75-103.
- Selbe S** (2014) Monitoring and Surveillance Technologies for Fisheries. Waitt Institute.
- Serry A, Lévêque L** (2015) Le système d'identification automatique (AIS). Une source de données pour étudier la circulation maritime. Netcom. Réseaux, communication et territoires, (29-1/2), 177-202.
- Smith P** (2016) "A Survey of Advances in MCS & Related Applications of UAS." presented at the MCS Emerging Technologies Workshop, Auckland, New Zealand.
- SPC** (2016) ER and EM: From trials to implementation. SPC Oceanic Fisheries Programme - Presentation at IOTC 20/23 may 2016- La Reunion
- SPC** (2017) The e-volution of fisheries monitoring: The implementation of e-reporting and e-monitoring tools in longline and purse seine fisheries. SPC Fisheries Newsletter #153 - May-August 201
- SPREP** (2015) Pacific Ocean Pollution Prevention Programme (PACPOL): Strategy and Work Plans 2015-2020. - Apia, Samoa: SPREP, 2015. 60 p.
- Steele A** (2016) "Sustainable Fishing Technology Solutions." presented at the MCS Emerging Technologies Workshop, Auckland, New Zealand.
- Suhendar M** (2013) "Comparison of Vessel Monitoring System (VMS) Between Iceland and Indonesia," UNU - Fisheries Training Programme, Final Project: 29.
- Tournadre J** (2014) Anthropogenic pressure on the open ocean: The growth of ship traffic revealed by altimeter data analysis. Geophysical Research Letters, Vol. 41, No. 22, pp. 7924-7932.
- Vandel E, Grellier M, Joannot P** (2016) TIT Biodiversité DES RÉCIFS CORALLIENS EN OUTRE-MER BILAN 2008-2015. Documentation Ifremer.
- Verdone M, Seidl A** (2012) Fishing and Tourism in the Fijian Economy. Gland, Switzerland: IUCN.
- Ward-Paige CA** (2017) A global overview of shark sanctuary regulations and their impact on shark fisheries. Marine Policy, 82, 87-97.
- World Bank** (2016) Tourism. Pacific Possible Background papers. <http://www.worldbank.org/en/country/pacificislands/brief/pacific-possible>
- Zorn JB** (2013) "A Systems Engineering Analysis of Unmanned Maritime Systems for U.S. Coast Guard Missions." Master's Thesis, Monterey, California: Naval Postgraduate School.



# ANNEXE

## Liste des acteurs contactés et retours.

Pays/Territoire	Institution/Organisme	Type de sollicitation	Retour
Nouvelle Calédonie	Gouvernement de la NC, Direction de l'industrie, des mines et de l'énergie (DIMENC)	Questionnaire	OUI
Nouvelle Calédonie	Gouvernement de la NC, Direction des Affaires Maritimes (DAM)	Questionnaire	OUI
Nouvelle Calédonie	Gouvernement de la NC, Direction des Infrastructures, de la Topographie et des Transports Terrestres (DITTT)	Questionnaire	OUI
Nouvelle Calédonie	Gouvernement de la NC, Direction Régionale des Douanes (DRD)	Questionnaire	NON
Nouvelle Calédonie	Port Autonome de Nouvelle-Calédonie	Questionnaire	NON
Nouvelle Calédonie	Province des Îles Loyauté, Direction de l'Economie Intégrée (DEI)	Questionnaire	NON
Nouvelle Calédonie	Province des Îles Loyauté, Direction du développement durable et des recherches appliquées (DDDRA)	Questionnaire	OUI
Nouvelle Calédonie	Province Nord, Direction du Développement, de l'Economie et de l'Environnement (DDEE)	Questionnaire	OUI
Nouvelle Calédonie	Province Sud, Direction de l'Environnement (DENV)	Questionnaire	OUI
Nouvelle Calédonie	Province Sud, Direction du Développement Rural (DDR)	Questionnaire	OUI
Pitcairn	Government of Pitcairn Islands, Conservation & Natural Resources Division	Questionnaire	OUI
Pitcairn	Pitcairn Islands Office (PIO)	Questionnaire	NON
Polynésie Française	Direction de l'environnement (DIREN)	Questionnaire	NON
Polynésie Française	Direction des ressources marines et minières (DRMM)	Questionnaire	OUI
Polynésie Française	Direction Polynésienne des Affaires Maritimes (DPAM)	Questionnaire	NON
Polynésie Française	Direction Régionale des Douanes	Questionnaire	NON
Polynésie Française	Port Autonome de Papeete	Questionnaire	NON
Wallis & Futuna	Service de l'Agriculture, de la Forêt et de la Pêche	Questionnaire	OUI
Wallis & Futuna	Service de l'Environnement	Questionnaire	OUI
Wallis & Futuna	Service des Affaires Maritimes, Ports, Phares et Balises	Questionnaire	NON
Wallis & Futuna	Service des douanes de Wallis & Futuna	Questionnaire	NON
Nouvelle Calédonie	Action de l'Etat en mer (AEM)	Demande d'informations	OUI
Nouvelle Calédonie	Agence française pour la biodiversité (AFB)	Demande d'informations	OUI
Nouvelle Calédonie	Cluster Maritime de Nouvelle-Calédonie (CMNC)	Demande d'informations	OUI
Nouvelle Calédonie	Conservation International (CI)	Demande d'informations	NON
Nouvelle Calédonie	Conservatoire d'Espaces Naturels (CEN)	Demande d'informations	NON
Nouvelle Calédonie	Gouvernement de la NC, Service de la coopération régionale et des relations extérieures (SCRRE)	Demande d'informations	OUI

Pays/Territoire	Institution/Organisme	Type de sollicitation	Retour
Nouvelle Calédonie	Haut-Commissariat de la République en Nouvelle-Calédonie	Demande d'informations	NON
Nouvelle Calédonie	Institut de Recherche pour le Développement (IRD)	Demande d'informations	NON
Nouvelle Calédonie	Private consultant in charge of SRD study	Demande d'informations	OUI
Nouvelle Calédonie	Pacific Community (SPC), Coastal Fisheries	Demande d'informations	OUI
Nouvelle Calédonie	Pacific Community (SPC), MCS	Demande d'informations	OUI
Nouvelle Calédonie	Pacific Community (SPC), Oceanic Fisheries	Demande d'informations	OUI
Nouvelle Calédonie	Pacific Community (SPC), Climate Change and Environmental Sustainability	Demande d'informations	NON
Nouvelle Calédonie	The Pew Charitable Trust - Global Ocean Legacy	Demande d'informations	OUI
Nouvelle Calédonie	World Wildlife Fund for Nature (WWF)	Demande d'informations	OUI
Polynésie Française	Action de l'Etat en mer (AEM)	Demande d'informations	OUI
Polynésie Française	Agence française pour la biodiversité (AFB)	Demande d'informations	OUI
Polynésie Française	Cluster Maritime de Polynésie Française (CMPF)	Demande d'informations	NON
Polynésie Française	Haut-Commissariat de la République en Nouvelle-Calédonie	Demande d'informations	NON
Polynésie Française	Ministère de la culture et de l'environnement	Demande d'informations	NON
Polynésie Française	Ministère du développement des ressources primaires, des affaires foncières, de la valorisation du domaine et des mines	Demande d'informations	NON
Polynésie Française	Présidence de Polynésie Française	Demande d'informations	NON
Polynésie Française	The Pew Charitable Trust - Global Ocean Legacy	Demande d'informations	OUI
Polynésie Française	Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN)	Demande d'informations	NON
Samoa	Programme régional océanien de l'environnement (PROE)	Demande d'informations	OUI
Solomon Islands	Forum Fisheries Agency (FFA)	Demande d'informations	NON
Cook Islands	Office of the Prime Minister	Demande d'informations	OUI
Fiji	Pacific Community (SPC), GeoScience Division	Demande d'informations	NON
Fiji	Wildlife Conservation Society (WCS)	Demande d'informations	OUI
Australia	Australian Government, Department of Home Affairs, Pacific and Transnational Issues Branch	Demande d'informations	NON
New Zealand	British Consulate-General in Auckland	Demande d'informations	NON
New Zealand	Conservation International (CI)	Demande d'informations	NON
New Zealand	World Wildlife Fund for Nature (WWF)	Demande d'informations	OUI
France	Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN)	Demande d'informations	NON



Photo: Christine Bourgeois (Cédille)

## Le projet *Pacific Biodiversity Blue Belt*

Projet lancé en mai 2016, il est mis en œuvre par le Secrétariat du Programme Régional Océanien de l'Environnement (PROE), en partenariat avec l'Agence française pour la biodiversité (AFB), et bénéficie d'une subvention moyenne BEST 2.0 de la Commission Européenne. Il a pour but de soutenir les Pays et Territoires d'Outre-Mer (PTOM) du Pacifique (Polynésie Française, Nouvelle-Calédonie, Wallis & Futuna et les îles Pitcairn) pour la gestion intégrée des océans et la conservation de la biodiversité, et de les accompagner dans leurs efforts pour atteindre les objectifs marins d'Aichi 6, 10 et 11. Le projet s'inscrit dans le cadre du « Paysage océanique du Pacifique » et du « Cadre pour le régionalisme dans le Pacifique » adoptés par l'ensemble des Etats et Territoires Insulaires du Pacifique Sud.



Photo: Christine Bourgois (Cédille)