



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Perspectives d'évolution du réseau national de mesure de la houle

Stratégie 2022-2031

Rapport n° 013587-01

établi par
Pascal KOSUTH

Décembre 2021



CGEDD

CONSEIL GÉNÉRAL DE
L'ENVIRONNEMENT ET DU
DÉVELOPPEMENT DURABLE

**Les auteurs attestent qu'aucun des éléments de leurs activités
passées ou présentes n'a affecté leur impartialité dans la
rédaction de ce rapport**

Statut de communication	
☐	Préparatoire à une décision administrative
☐	Non communicable
☐	Communicable (données confidentielles occultées)
☒	Communicable

Sommaire

Résumé.....	6
Liste des recommandations.....	8
Introduction	10
1 La houle : processus, caractérisation, méthodes de mesure, utilisation	11
1.1 Les processus physiques de la houle.....	11
1.2 Caractérisation et mesure de la houle :	11
1.3 Utilisation des données de houle : l'exemple des évènements extrêmes.....	13
2 Le dispositif national de mesure in situ de la houle en 2021.....	14
2.1 Le réseau de stations houlographiques CANDHIS	14
2.1.1 Le réseau en 2021 : dispositif de mesure et acteurs.....	14
2.1.2 L'évolution du réseau sur la période 1985-2020	17
2.2 La base de données CANDHIS	20
2.3 Gestion, coûts et financement du réseau CANDHIS.....	21
2.3.1 Gestion des houlographes et du réseau CANDHIS :	21
2.3.2 Coûts:	22
2.3.3 Financement.....	23
2.4 Synthèse : état du réseau CANDHIS et voies d'amélioration	26
3 Les communautés utilisatrices et leurs besoins.....	27
3.1 Canaux de diffusion des données CANDHIS et fréquentation.....	27
3.2 Utilisateurs, données demandées, thématiques et finalités.....	29
3.3 Focus sur quelques domaines	31
3.3.1 Les collectivités territoriales.....	31
3.3.2 Energies marines renouvelables.....	32
3.3.3 Submersion marine, protection des zones littorales	33
3.3.4 Gestion des zones littorales : suivi écologique, trait de côte, tourisme.....	35
3.4 Synthèse : enjeux et besoins des utilisateurs.....	36

4 Stratégie d'évolution du réseau CANDHIS à l'horizon 2031	37
4.1 Les scénarios de sécurisation et d'extension explorés	37
4.1.1 Optimisation géographique de l'implantation des houlographes	37
4.1.2 Scénarios d'évolution du réseau CANDHIS.....	39
4.1.3 Scénario socle préconisé.....	40
4.1.4 Scénario cible préconisé.....	40
4.2 La stratégie recommandée pour 2022-2031	41
4.3 La mise en œuvre de la stratégie 2022-2031.....	42
4.3.1 Gouvernance du réseau CANDHIS.....	42
4.3.2 Plans d'actions de sécurisation et de développement.....	43
4.3.3 Hypothèses de financement.....	45
4.3.4 Animation des communautés utilisatrices.....	51
4.3.5 Répartition des rôles	51
5 Vers un dispositif national intégré de connaissance des états de mer	53
5.1 La houle : méthodes de mesure satellitaire.....	53
5.2 La houle : méthodes, outils et dispositifs de modélisation.....	54
5.3 Réseaux nationaux et internationaux de mesures océaniques.....	55
5.4 Structurer le dispositif national de connaissance des états de mer	56
5.5 Missions, organisation et gouvernance du dispositif national.....	57
5.6 Les ressources nécessaires sur 2022-2026.....	59
5.7 Recommandations complémentaires	60
Conclusion.....	61
Annexes.....	62
1 Lettre de mission.....	63
2 Liste des personnes rencontrées et consultées	65
3 Réseau CANDHIS de mesure in situ de la houle : stations de mesure et acteurs.....	68
4 Site web CANDHIS : accès aux données	79

5	Modélisation des états de mer ; mesure satellitaire de la houle.....	81
6	Réseaux nationaux et internationaux d'observation océanographique et côtière..	84
7	Analyse des utilisateurs et utilisations des données CANDHIS	88
8	Scénarios d'évolution du réseau national de mesure in situ de la houle.....	108
9	Coûts unitaires pour l'estimation des coûts de scénarios socle et cible	113
10	Bibliographie.....	114
11	Glossaire des sigles et acronymes.....	116

Résumé

Par lettre du 29 septembre 2020, la ministre de la Transition écologique et la ministre de la Mer ont demandé au Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD) d'analyser la situation actuelle et les évolutions souhaitables, techniques et financières, du réseau national de mesure in situ de la houle, le Centre d'archivage national des données de houle in situ (CANDHIS). Cette demande était motivée par les inquiétudes sur la difficulté à mobiliser les ressources nécessaires à la qualité de service et la pérennité du réseau, et sur les limites de sa réponse aux besoins des utilisateurs.

Il était attendu de l'analyse : (i) qu'elle recense les communautés utilisatrices du réseau CANDHIS, leurs besoins et les services qu'elles en attendent ; (ii) qu'elle évalue l'efficacité de l'opération du réseau et de sa maintenance ; (iii) qu'elle évalue l'organisation, la gouvernance, les coûts et le financement du réseau et les évolutions souhaitables ; (iv) qu'elle propose le réseau cible à atteindre et la trajectoire à suivre, qu'elle quantifie les ressources à mobiliser et identifie les moyens de financement adaptés.

La mission s'est attachée à évaluer l'organisation et l'état du réseau CANDHIS et de sa base de données (partie 2), à analyser la nature des utilisateurs, leurs pratiques et besoins (partie 3). Elle a analysé la gestion, les coûts et le financement sur la période 2015-2021 (partie 4.1), étudié les scénarios proposés, et retenu un scénario socle de sécurisation et un scénario cible de renforcement à l'horizon 2031 (partie 4.2). Elle propose une clarification de l'organisation et de la gouvernance, une trajectoire de mise en œuvre du scénario cible, des pistes de financement, et une stratégie d'animation (partie 4.3).

La sécurisation du réseau CANDHIS est une facette d'un enjeu plus large : la structuration d'un dispositif national intégré de connaissance des états de mer en zones littorales, liant mesure in situ, mesure satellitaire, modélisation et animation-valorisation. La mission propose une formalisation de ses missions, de sa gouvernance, de son organisation et de l'équilibre coûts-financement (partie 5).

Etat du réseau CANDHIS et efficacité : La base de données CANDHIS contient l'équivalent de 600 années d'enregistrement de la houle réparties entre 105 stations, la plus ancienne datant de 1985. Les séries de mesure dépassent 10 ans pour 29 stations. Les 34 stations en fonctionnement en 2021 se répartissent en 16 stations en Manche et Atlantique, 10 en Méditerranée, 8 en outre-mer, couverture jugée correcte pour la métropole mais insuffisante en outre-mer. Les mesures continues des stations sont traitées en temps réel par le Cerema qui produit, archive et diffuse toutes les trente minutes des données synthétiques. La qualité de service du réseau a été significativement améliorée depuis 2010 et sa gestion est jugée très satisfaisante, à l'exception de difficultés spécifiques rencontrées outre-mer. Entre 2010 et 2020 le service a été effectif sur 92% de la durée théorique, des ruptures de service ayant dépassé 4 mois dans 16 cas. Un site web dédié diffuse les données temps réel, des descriptifs et synthèses statistiques des stations et permet le téléchargement des données temps réel et historiques.

Les communautés utilisatrices du réseau CANDHIS et leurs besoins : La mobilisation des données CANDHIS relève de trois logiques : (i) le téléchargement systématique des données pour la modélisation et la prévision des états de mer (principalement Météo France, le service hydrographique et océanographique de la Marine (SHOM) et l'Ifremer) ; (ii) la consultation en temps réel via le site web (600 000 consultations en 2020, en croissance continue de +10% par an) ; (iii) la demande de données auprès du Cerema (~120 par an). Les données sont diffusées sur les réseaux internationaux.

Les utilisateurs se répartissent à parts égales entre sphère publique (services de l'Etat, établissements publics, collectivités 48%) et privée (bureaux d'étude, acteurs économiques 44%). Les thématiques d'utilisation se répartissent entre : suivi du littoral (30%), risque de submersion marine (18%), énergies marines renouvelables, navigation et ports, suivi environnemental et pêche (14% chacun).

Les besoins exprimés par les utilisateurs portent sur (i) un accès facilité aux données et à la description des stations ; (ii) un renforcement du réseau en outre-mer ; (iii) des produits nationaux à valeur ajoutée (par exemple la caractérisation statistique de la conjonction niveau de mer – surcote - houle le

long du littoral) ; (iv) une information et animation ; (v) un moyen de faire connaître leur savoir-faire.

Organisation, gouvernance, coûts et financement du réseau CANDHIS : Les 34 stations actuelles relèvent configurations variées entre maîtres d'ouvrage, opérateurs et financeurs. Le financement de l'opération et de la maintenance est assuré par le Cerema pour 16 stations en métropole, par Météo France pour 6 en outre-mer, par des partenaires pour les 12 restantes. Le Cerema gère le site web CANDHIS, assure la coordination du réseau et la concertation entre partenaires.

Le coût moyen annuel de la gestion du réseau CANDHIS par le Cerema et Météo France a été de 260 K€/an et 4,5 équivalents temps-plein (ETP) sur la période 2015-2020 (Cerema 150,8 K€/an et 3 ETP pour 15 stations en métropole, la gestion du réseau et du système d'information ; Météo France 108 K€ et 1,5 ETP pour 5 stations en outre-mer). Les directions d'administration centrale (DAC) du ministère de la Transition écologique (MTE) financent ce coût à hauteur de 140 K€/an (75 K€ de la DGPR (direction générale de la Prévention des risques) ; 40 K€ de la DGITM (direction générale des Infrastructures, des transports et de la mer) ; 25 K€ de la DGALN (direction générale de l'Aménagement, du logement et de la nature). Le Cerema autofinance 10 K€/an et met à disposition le personnel. Les directions interrégionales de la Mer (DIRM) mettent à disposition des moyens nautiques.

Scénario socle et scénario cible : La mission recommande la mise en oeuvre d'un scénario socle de sécurisation du réseau, impératif dès 2022, et d'un scénario cible à réaliser d'ici 2031.

Le scénario socle vise à assurer le maintien du réseau dans sa configuration et ses engagements de 2021 soit 28 stations en métropole et 9 en outre-mer, dont 25 à la charge financière du Cerema et de Météo France. Le coût annuel pour le Cerema et Météo France serait de 213 K€ d'investissement initial, de 4,5 ETP et de 388 K€/an de fonctionnement et provisions pour renouvellement. Le scénario-socle impliquerait un financement de fonctionnement de 320 K€/an et d'investissement de 893 K€ sur 10 ans, l'appui nautique des DIRM en métropole et celui des directions de la mer (DM) en outre-mer. Ce financement devrait être assuré par les DAC et par la mobilisation du fonds européen de développement régional (FEDER), des cofinancements des régions (cadre des contrats de ,plan Etat-région (CPER) ou autres) et des cofinancements des collectivités et des agences de l'eau en appui aux actions relevant de la gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations (GEMAPI).

Le scénario-cible vise à l'horizon 2031 un dispositif de 30 stations en métropole et 18 en outre-mer, dont 36 à la charge financière du Cerema et de Météo France. Il impliquerait de mobiliser en 10 ans, scénario-socle inclus, un budget d'investissement de 1729 K€, et d'accroître le budget de fonctionnement pour passer de 345 K€/an à 617 K€/an une fois les 48 stations opérationnelles. Les ressources humaines devraient atteindre 5,7 ETP. Le financement au-delà du scénario-socle, serait réparti à parts égales entre l'Etat et les partenaires (collectivités territoriales, acteurs économiques) en mobilisant le fonds FEDER et le plan d'investissement « France 2030 » pour l'investissement, en fléchant une part de la taxe sur l'éolien off-shore pour le fonctionnement, et en développant des services marchands. La charge de financement de l'Etat passerait en dix ans de 464 K€/an à 599 K€/an.

Structurer un dispositif national intégré de « connaissance des états de mer en zone littorale » est un enjeu prioritaire. Le dispositif CANDHIS est en effet une composante d'un ensemble plus large croisant mesure in situ, mesure satellitaire et modélisation. Cet ensemble mobilise des acteurs publics identifiés (Cerema, centre national d'Etudes spatiales (CNES), Météo France, Ifremer, SHOM...) et plusieurs DAC (DGPR, DGALN, DGITM, et direction générale Energie climat (DGEC), future direction générale de la mer (DGMer)). Il est aujourd'hui insuffisamment structuré ce qui limite sa capacité de réponse aux besoins des utilisateurs et l'optimisation des ressources. La mission propose une formalisation des missions, de la gouvernance, de l'organisation, du fonctionnement et de l'équilibre coûts-financements du dispositif national. Elle implique essentiellement un effort de coordination entre les acteurs publics sans investissement lourd sinon le renforcement du réseau CANDHIS détaillé ci-dessus, le développement sur la période 2022-2026 de quelques produits phare d'intérêt national et le développement des méthodes de suivi satellitaire de la houle en zone littorale.

Liste des recommandations

Recommandation 1. Pour le ministère de la Transition écologique et le ministère de la Mer, assurer la pérennisation du réseau national de mesure in situ de la houle en mettant en œuvre une stratégie 2022-2031 en quatre composantes : (i) clarifier la gouvernance du réseau CANDHIS, (ii) mettre en œuvre deux plans d'actions complémentaires : un plan d'actions de sécurisation assurant pour dix années l'opérationnalité du réseau dans sa configuration actuelle (scénario-socle : 28 stations en métropole, 9 en outre-mer) et un plan d'actions de développement renforçant progressivement le réseau, principalement en outre-mer, pour atteindre la configuration requise à l'horizon 2031 (scénario-cible : 30 stations en métropole et 18 en outre-mer), (iii) sécuriser le système d'information CANDHIS ; (iv) soutenir le développement au sein du réseau CANDHIS d'un dispositif d'animation des communautés utilisatrices.....41

Recommandation 2. Gouvernance : Pour le ministère de la Transition écologique et le ministère de la Mer, officialiser le rôle du Cerema comme pilote du réseau CANDHIS et mettre en place une instance de pilotage rassemblant le Cerema, Météo France, les Directions d'administration centrale impliquées dans le financement de CANDHIS (DGPR, DGITM, DGALN, DGEC, future DGMer...), et deux représentants des utilisateurs (pôles mer ou cluster maritime) et de la communauté scientifique.....42

Recommandation 3. Sécurisation de CANDHIS : Pour le ministère de la Transition écologique et le ministère de la Mer, financer le scénario-socle sur 10 ans (25 houlographes à la charge du Cerema et de Météo France ; investissement total 893 K€ ; fonctionnement annuel 320 K€/an). Assurer le financement du fonctionnement à hauteur de 320 K€/an par une contribution annuelle renforcée des DAC. Assurer le financement de l'investissement de 893 K€ sur 10 ans par la mobilisation du fonds FEDER, des cofinancements des régions ayant une façade maritime (cadre CPER ou autre), des cofinancements des collectivités et des agences de l'eau en appui aux actions relevant de la GEMAPI, et par des dotations ponctuelles des DAC.49

Recommandation 4. Extension du réseau CANDHIS : Financer la réalisation progressive sur 10 ans du scénario-cible au-delà du scénario-socle (9 stations en outre-mer, 2 en métropole ; investissement de 836 K€ en dix ans ; fonctionnement de 163 K€/an) sur la base d'un cofinancement équilibré entre l'Etat et les collectivités territoriales et acteurs économiques. Pour le ministère de la Transition écologique, le ministère de la Mer, le Cerema et Météo France, assurer le financement des 836 K€ d'investissement en mobilisant avec les partenaires le fonds FEDER en outre-mer, le plan d'investissement « France 2030 », les cofinancements des régions (cadre CPER ou autre), les cofinancements des collectivités et des agences de l'eau en appui aux actions de la GEMAPI, renforcés par des dotations ponctuelles des DAC. Assurer le financement du fonctionnement (montée en puissance de 25 K€/an en 2022 à 300 K€/an en 2031) en fléchant une part de la taxe sur l'éolien off-shore. Pour le Cerema, développer un service marchand d'opération-maintenance des stations à l'intention des maitres d'ouvrage.....50

Recommandation 5. Dispositif d'animation des communautés utilisatrices : Pour le pilote du réseau CANDHIS (Cerema) et ses partenaires, mettre en place un dispositif d'animation nationale des communautés utilisatrices des données sur la houle afin de renforcer la connaissance de leurs domaines thématiques, de leurs finalités et de leurs pratiques, d'identifier leurs besoins et y répondre, et de mieux valoriser les données, produits et services disponibles. Ce dispositif inclura une journée annuelle d'animation, une structuration et mise en réseau des communautés, un forum d'expression des besoins, une capitalisation des expériences d'utilisation des données, des formations.....51

Recommandation 6. Structurer le dispositif national de connaissance des « états de mer en zone littorale » en intégrant en un ensemble cohérent les composantes existantes de mesure in situ, de mesure satellitaire, de modélisation et de valorisation-animation. Pour le ministère de la Transition écologique et le ministère de la Mer, engager cette structuration en rassemblant dans ce dispositif national les acteurs clef : Cerema, Météo France, SHOM, Ifremer, CNES. Ce dispositif sera en charge d'assurer la mise en cohérence des stratégies des producteurs de données, la production et diffusion des données, produits et services, la capitalisation des connaissances, l'animation des différentes communautés utilisatrices et la valorisation des données. Définir la gouvernance de ce dispositif national et officialiser un référent national « états de mer en zone littorale ».....57

Recommandation 7. Soutenir le développement de la mesure satellitaire opérationnelle de la houle en zones côtière. Pour le ministère de la Transition écologique et le ministère de la Mer, en lien avec le centre national d'Etudes spatiales (CNES), financer sur 2022-2026 des travaux de R&D en mobilisant notamment le plan d'investissement « France 2030 ». Pour les acteurs du dispositif national de connaissance des « états de mer » exploiter la synergie entre mesures in situ et satellitaires pour éventuellement optimiser à terme la distribution géographique du réseau de mesure in situ.....60

Recommandation 8. Pour les acteurs du dispositif national de connaissance des « états de mer », développer des produits phares d'intérêt national sur les états de mer à destination des utilisateurs : caractérisation statistique de la conjonction houle – marée – surcote le long de l'ensemble du littoral national en amont du dimensionnement des infrastructures ; bilans décennaux « état de mer » des tempêtes ; tendances d'évolution de la houle sur 30 ans.....60

Introduction

Dans la nuit du 27 au 28 février 2010, la tempête Xynthia a généré une surcote du niveau de la mer de plus d'1,50 m, en phase avec une marée haute de vives-eaux, entraînant la submersion de nombreux cordons dunaires le long des littoraux du Golfe de Gascogne, inondant les zones basses et provoquant une catastrophe particulièrement meurtrière et dévastatrice.

La prévision des états de mer en zone littorale s'avère plus complexe qu'en haute mer, du fait notamment des variations rapides de bathymétrie et des courants côtiers. La mesure in situ est un moyen de connaissance particulièrement approprié en zone littorale : elle fournit une information de référence, continue et de qualité, utile à la fois pour informer en temps réel les utilisateurs et pour améliorer les modèles de prévision.

De nombreux domaines thématiques mobilisent l'information sur la houle : la gestion du risque de submersion marine, la navigation, les activités portuaires, la pêche, le suivi des infrastructures mobilisent l'information en temps réel et les prévisions ; le dimensionnement des infrastructures en mer, le développement des énergies renouvelables, le dimensionnement des ouvrages de protection, le suivi de la dynamique du trait de côte utilisent l'information historique.

La France s'est dotée depuis les années 1980 d'un réseau de mesure in situ de la houle, le réseau CANDHIS. Ce réseau évolutif, géré par le Cerema et une trentaine de partenaires, mesure la houle en 34 stations réparties le long du littoral en métropole (26) et outremer (8), traite et diffuse l'information en temps réel. Il rassemble aujourd'hui l'équivalent de 600 années de données réparties entre 105 stations (34 stations en service et 71 fermées).

La multiplicité des acteurs et leurs différents niveaux d'intervention (maîtres d'ouvrages, gestionnaires, opérateurs de maintenance, financeurs...) ont conduit le ministère de la Transition écologique et le ministère de la Mer à s'interroger sur les conditions organisationnelles, techniques et financières d'une pérennisation du réseau CANDHIS et d'une sécurisation de sa qualité de service répondant aux besoins des utilisateurs.

Il était attendu de l'analyse commandée au CGEDD : (i) qu'elle recense les communautés utilisatrices du réseau CANDHIS, leurs finalités, leurs besoins en termes de services et de représentativité géographique et temporelle des stations ; (ii) qu'elle évalue l'efficacité du réseau, ses modalités de maintenance et sa pérennité ; (iii) qu'elle évalue l'organisation, la gouvernance, les coûts et le financement du réseau et les évolutions souhaitables ; (iv) enfin qu'elle propose le réseau cible à atteindre et la trajectoire à suivre pour le mettre en œuvre, qu'elle quantifie les ressources à mobiliser pour cela, et qu'elle identifie les moyens de financement adaptés.

Après une présentation succincte des processus de houle (partie 1) le rapport évalue l'organisation et l'état actuel du réseau CANDHIS et de sa base de données (partie 2), analyse la nature des utilisateurs de ces données, leurs pratiques et leurs besoins (partie 3). Sur cette base il analyse la gestion, les coûts et financements sur la période 2015-2021, étudie les scénarios proposés et retient un scénario socle de sécurisation et un scénario cible de renforcement à l'horizon 2031, propose une clarification de la gouvernance, de l'organisation, de la trajectoire de mise en œuvre du scénario cible, des pistes de financement, et des modes d'animation des communautés utilisatrices (partie 4). Enfin il propose la structuration d'un dispositif national intégré de « connaissance des états de mer en zone littorale », liant mesure in situ, mesure satellitaire, modélisation et animation des communautés utilisatrices (partie 5).

1 La houle : processus, caractérisation, méthodes de mesure, utilisation

1.1 Les processus physiques de la houle

Le vent crée à la surface de l'océan des systèmes d'ondes dont les caractéristiques dépendent de la force du vent générateur, de la distance sur laquelle il s'exerce (fetch) et de la profondeur de l'eau. Ces systèmes d'ondes se propagent bien au-delà de la zone où ils ont été générés, sur des centaines voire des milliers de kilomètres, se transformant au cours de cette propagation (Figure 1). L'état de la mer (ou houle) observé localement résulte de la superposition complexe de systèmes d'ondes générés au large, de systèmes d'ondes générés localement sous l'effet du vent et, dans le cas de la zone littorale, des effets de fond et de courant à l'approche des côtes.

1.2 Caractérisation et mesure de la houle :

Une onde individuelle en un point et à un instant donné est définie par une hauteur de vague, une longueur d'onde, une période, une direction et une vitesse de propagation. L'état de la mer, qui résulte de la superposition de plusieurs systèmes d'ondes, peut être caractérisé de façon plus ou moins élaborée par : (i) la distribution statistique des hauteurs et périodes des vagues ; (ii) la distribution d'énergie des ondes en fonction de leur fréquence ; (iii) le spectre directionnel des vagues (Figure 2).

La mesure et la connaissance de la houle reposent sur trois piliers : la mesure in situ par des bouées houlographiques ancrées¹, dérivantes, ou bien déployées lors de campagnes embarquées ; la mesure satellitaire, en haute mer et partiellement en zone côtière² ; la modélisation, à partir des données météorologiques, de courants, de marée, de bathymétrie³.

En haute mer les connaissances sur les états de mer sont considérées satisfaisantes. La mesure des états de mer résulte principalement des données satellitaires, complétées par quelques bouées in situ et campagnes de mesure. Les prévisions des états de mer sont élaborées (i) en modélisant la génération de houle à partir des sorties des modèles météorologiques et de l'information satellitaire, (ii) en modélisant la propagation des différents systèmes de houle et (iii) en les superposant aux forçages locaux (ex. modèle WaveWatch).

Dans la zone littorale, caractérisée par des variations rapides de la bathymétrie, les modèles de prévision ou de ré-analyse⁴ sont moins performants qu'en haute mer. La mesure in situ est le moyen de connaissance le plus approprié : d'une part elle fournit une information ponctuelle de qualité, d'autre part elle permet d'améliorer le calage des modèles en zones côtières et le traitement de l'imagerie satellitaire (actuellement peu valorisée en côtier).

Mesure in situ des états de mer, mesure satellitaire et modélisation numérique se complètent donc étroitement. La première méthode apporte une information ponctuelle de référence, continue et très précise mais non spatialisée et limitée à la zone littorale ; la seconde apporte une information moins continue et moins précise mais fortement spatialisée et régulièrement actualisée ; la troisième fournit une information continue et spatialisée qui peut assimiler les données issues des deux premières.

¹ réseau de houlographes côtiers CANDHIS (cf. site CANDHIS <http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/>)

² La mesure satellitaire de hauteurs de vagues en zone côtière est opérationnelle, en revanche la mesure de spectres d'énergie est en phase de R&D (cf. site AVISO <https://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products>).

³ Exemple le site <http://vagues.webla.fr/> 'Ifremer'.

⁴ Reconstitution des états de mer sur une zone géographique et une période donnée, sur la base des mesures in situ de houle, des mesures satellitaires, des sorties de modèles météo, des informations bathymétriques et de courants.

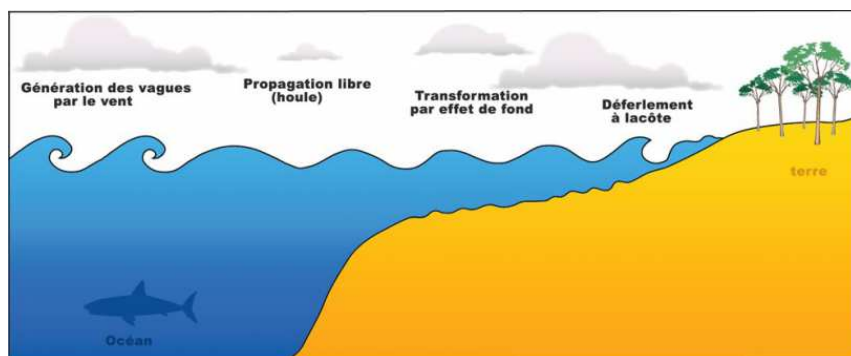


Figure 1 : schéma de génération des états de mer (extrait de la présentation CFOSAT sur le site <https://cnes.fr>)

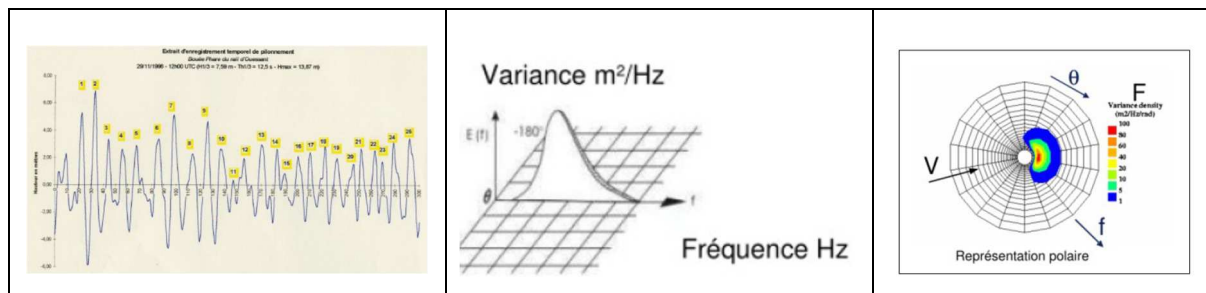


Figure 2 : (a) signal temporel de hauteur de l'eau ; (b) spectre d'énergie fonction de la fréquence ; (c) spectre directionnel d'énergie fonction de la fréquence

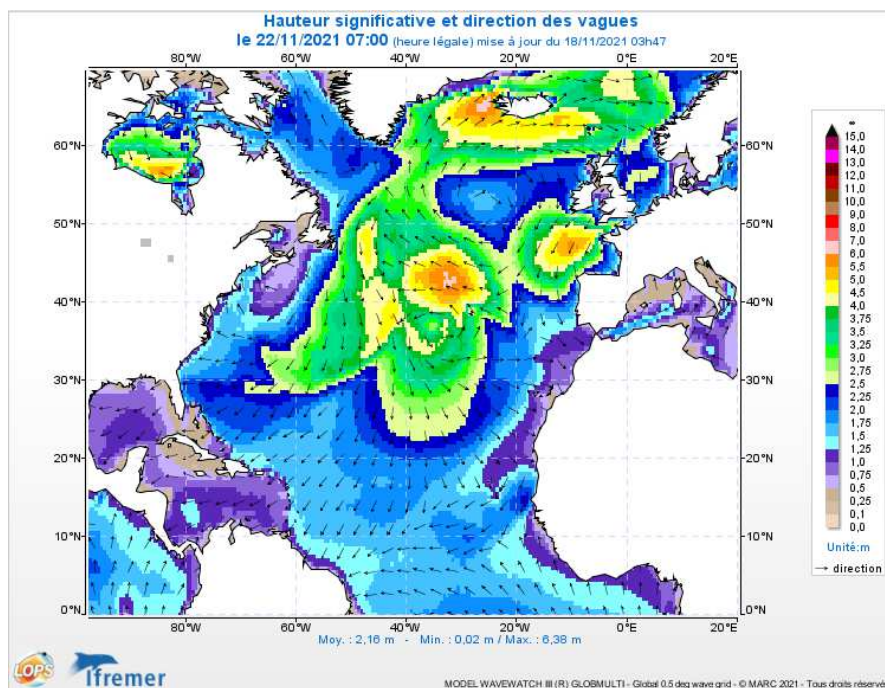


Figure 3 : Prévion de hauteur de vague sur l'Atlantique nord (prévion à 4 jours réalisée le 18/11 pour le 22/11/2021 <http://vagues.webla.fr/#> de PREVIMER)

1.3 Utilisation des données de houle : l'exemple des évènements extrêmes

La connaissance des états de mer est utile à de multiples domaines d'application, analysés plus en détail dans le chapitre 3. L'information recherchée varie en fonction des domaines et des finalités :

- utilisation des données en temps réel pour des activités maritimes (navigation, sports nautiques, ...) ou des alertes (vigilance vagues submersion, information des populations, suivi de chantier,...),
- utilisation des données sur de longues périodes pour l'amélioration des modèles de simulation. Ces modèles permettent de spatialiser l'information entre les stations, de prévoir les états de mer à court terme, de reconstituer des champs de houle passés,
- utilisation des données d'archive (mesurées ou reconstituées par modélisation) pour la compréhension des dynamiques du littoral ou pour l'analyse d'évènements (enquêtes accidents)
- utilisation de l'estimation statistique des caractéristiques des d'évènements extrêmes pour le dimensionnement d'infrastructures (protection des chantiers en mer et côtiers, conception des infrastructures en mer et côtières, zonage du risque de submersion marine, dimensionnement des ouvrages de protection, ...)

La caractérisation des évènements extrêmes mobilise des méthodes standardisées d'analyse statistique des séries temporelles mesurées ou modélisées (Figure 4), de caractérisation de la fréquence d'évènements (Figure 5), et d'extrapolation à des fréquences rares.

Le rapport [3] « CANDHIS - Observations des états de mer ; Analyse des tempêtes sur le littoral métropolitain Automne-hiver 2013-2014 » présente l'analyse de 13 tempêtes ayant touché les côtes de France métropolitaine d'octobre 2013 à mars 2014 et caractérise leurs fréquences statistiques.

Un encart en 3.3.3 présente le cas des submersions marines générées par la tempête Xynthia (février 2010).

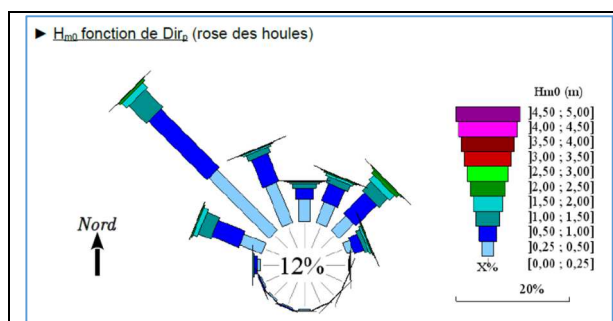


Figure 4 : Rose des houles de la station 05008 Cherbourg extérieur (13 ans d'enregistrement) (source CANDHIS)

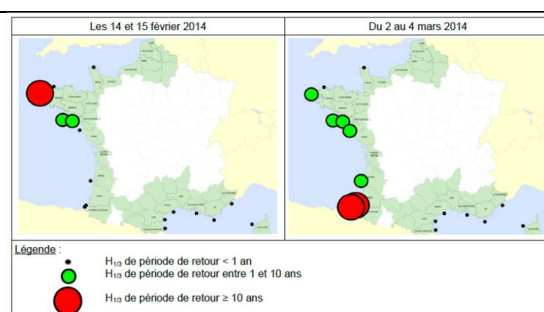


Figure 5 : synthèse de deux tempêtes (février et mars 2014) ayant généré de fortes hauteurs de vagues (source [3])

2 Le dispositif national de mesure in situ de la houle en 2021

Le site du Cerema rappelle⁵ : « La connaissance du régime des états de mer au large et à la côte est importante dans de nombreux domaines : connaissance des risques littoraux, aménagement portuaire et littoral, sécurité de la navigation, énergies marines renouvelables... Dans la zone littorale, caractérisée par des variations rapides de la bathymétrie, la mesure in situ est le moyen le plus approprié pour obtenir une information ponctuelle de qualité. Elle complète et permet de caler les informations spatiales obtenues par la modélisation numérique ou par la télémessure par satellite. »

Le dispositif national de mesure et prévision des états de mer regroupe trois composantes : la mesure in situ (réseau CANDHIS) ; la mesure satellitaire (AVISO) ; la modélisation (Météo France, SHOM, Ifremer). Il ne constitue toutefois pas, à ce jour, un ensemble cohérent : ses composantes présentent des états de maturité technique hétérogènes (par exemple la mesure satellitaire de la houle en zone littorale fait encore l'objet de développements scientifiques et techniques) et sont relativement peu articulées (par exemple aucun site web ne présente les produits de ces différentes composantes). En zone côtière les informations du dispositif national de connaissance des états de mer doivent, pour certains champs d'application thématiques comme la vigilance vagues submersion ou le dimensionnement des infrastructures côtières, être couplées aux informations sur le niveau de la mer (SHOM). Enfin le dispositif national s'articule à des réseaux européens et internationaux.

Les perspectives de structuration d'un dispositif national intégré de connaissance des états de mer sont abordées dans la partie 5 de ce rapport. Les parties 2 à 4 sont consacrées à la composante de mesure in situ de la houle en zone côtière, le réseau CANDHIS.

2.1 Le réseau de stations houlographiques CANDHIS

La mesure in situ de la houle par des bouées houlographiques est à ce jour le seul moyen d'obtenir en zone côtière des données de référence sur la houle à la fois précises, fréquentes (mesure en continu) et sur de longues durées. Ces données sont toutefois très locales et leur zone géographique de représentativité limitée (cf. 4.1.1).

Le Cerema (et son prédécesseur le CETMEF) gère depuis 1972, avec un ensemble de partenaires, un réseau de stations de mesure in situ de la houle le long du littoral français. Ce réseau, nommé CANDHIS (Centre d'Archivage National de Données de Houle In-Situ), s'est développé depuis pour atteindre une trentaine de stations de mesure en métropole et outre-mer.

2.1.1 Le réseau en 2021 : dispositif de mesure et acteurs

En 2021 le réseau CANDHIS dispose de 34 stations houlographiques en service⁶ (dont certaines en maintenance), réparties entre la façade Manche-Atlantique (16), la façade méditerranéenne (10) et l'outremer (8) (Figure 6). Sept ont été implantées depuis 2016, dont l'une en 2021 (Mayotte n°97601).

Ces stations effectuent des mesures continues et communiquent leurs données en temps réel. Le Cerema traite les données brutes mesurées par les bouées et produit 31 paramètres d'états de mer (hauteurs de vague, spectre directionnel,...) selon des méthodes de calcul, des opérations de traitement et des opérations de contrôle standardisées, garantissant l'homogénéité de l'information produite. Des

⁵ Extrait du site du CEREMA <https://www.cerema.fr/fr/projets/gestion-exploitation-du-reseau-mesure-houle-candhis>

⁶ Météo France gère par ailleurs quatre bouées ancrées en grande profondeur sur les façades maritimes (Brittany, Gascogne, Lion, Côte d'Azur, situées à 280, 300, 130 et 50 km des côtes). Ces bouées ne sont pas référencées sur le site CANDHIS.

données synthétiques sont actualisées toutes les trente minutes et diffusées.

Des tests réalisés par la mission à deux dates (09/03/2021 ; 18/11/2021) renseignent sur le niveau d'opérationnalité de la transmission en temps réel. A ces deux dates environ deux tiers des stations fournissent effectivement l'information en temps réel (cf. Tableau 1).

Stations	09/03/2021	18/11/2021
information en temps réel (<30 minutes)	21	24
information retardée (1h à 3j)	2	4
Information de plus de 3j	2	0
Maintenance	4	6
Installation	3	0
Total	32	34

Tableau 1 : test d'opérationnalité de la diffusion des données temps réel des stations du réseau CANDHIS

En octobre 2021, quatre des six stations en maintenance semblaient avoir des problèmes majeurs :

- Bréhat n°02204 a été définitivement arrêtée en février 2021 du fait de problèmes récurrents. Un changement de localisation est envisagé
- Flamanville n° 05509, Paluel n°07607 propriétés d'EDF et opérées par le Cerema ; Côte Caraïbes n°97106 gérée par Météo France ne présentent ni données temps réel, ni données d'archive depuis plus d'une année.

Le site web CANDHIS donne accès aux données temps réel demi-heure par demi-heure, aux graphes mensuels des hauteurs des vagues, aux données statistiques (histogrammes et corrélogrammes). Les données synthétiques temps réel et d'archive sont téléchargeables directement en ligne depuis novembre 2021. Auparavant, il fallait en faire la demande au Cerema.

Acteurs de CANDHIS : Une trentaine d'acteurs participent au réseau CANDHIS aux côtés du Cerema.

Le Cerema est le pilote du réseau CANDHIS de mesure in situ de la houle. Il est propriétaire de 12 stations, assure l'opération-maintenance de 21, finance l'opération-maintenance de 16. Il gère par ailleurs l'ensemble du réseau : centralisation et traitement des données, gestion du système d'information et de diffusion, interface avec les utilisateurs.

Les partenaires du Cerema, ont des implications variées (cf. Tableau 6 et Annexe 3) : 15 propriétaires de houlographes (*P*) ; 9 opérateurs (*O*) ; 10 financeurs de l'opération-maintenance (*F*).

- **Etablissements publics :** CEREMA (*P,O,F*) ; SHOM (*P*) ; MétéoFrance (*P,O,F*) ; Ifremer
- **Ministères et services déconcentrés :** Ministère de la Transition écologique : DGPR (*F*), DGITM (*F*), DGALN (*F*) ; Ministère de la Défense ; DGA ; DREAL Languedoc Roussillon ; DREAL Nord Pas de Calais ; DEAL 974 ; DDTM 06 ; DM 973 ; DTAM Saint Pierre et Miquelon (*P,O,F*)
- **Gestionnaires de ports :** Grand Port Maritime (GPM) de Marseille ; GPM de Nantes St Nazaire ; GPM du Havre ; GPM de La Réunion (*P,O,F*), Ports Normands Associés ; Port de Bastia ; Port Autonome de Guadeloupe
- **Energie :** EDF (*P,F*), France Energies Marines (*P,O,F*)
- **Collectivités territoriales et leurs opérateurs :** Conseil Départemental (CD) des Pyrénées Atlantiques (*P,O,F*) ; CD de Vendée (*P,F*) ; Collectivité territoriale de Martinique (*P,O*) ; Commune de Saint-Denis ; Commune de Saint-Pierre ; Commune de Saint-Joseph ; Brest Métropole Aménagement ; CCI de Morlaix ; Principauté de Monaco, Service des Travaux Public (*P, O, F*)
- **Recherche :** Université de la Rochelle LIENSs (*P*) ; Université de Bordeaux (*P*) ; Université de Pau (*P*) ; Observatoire Océanologique de Banyuls ; École Centrale de Nantes (*P,O,F*)

	Total	Stations opérationnelles (dont maintenance)	Campagnes d'archive
TOTAL	105	34 (6)	71
Métropole	82	26 (5)	56
Outremer	23	8 (1)	15
Mer du Nord	4	1	3
Manche	20	4 (3)	16
Atlantique est	37	11 (1)	26
Atlantique ouest	15	6 (1)	9
Méditerranée	21	10 (1)	11
Océan Indien	8	2	6
Pacifique	0	0	0
Terres Australes	0	0	0

Tableau 2 : Localisation des stations opérationnelles (34) et d'archive (71) (cf. site Candhis)

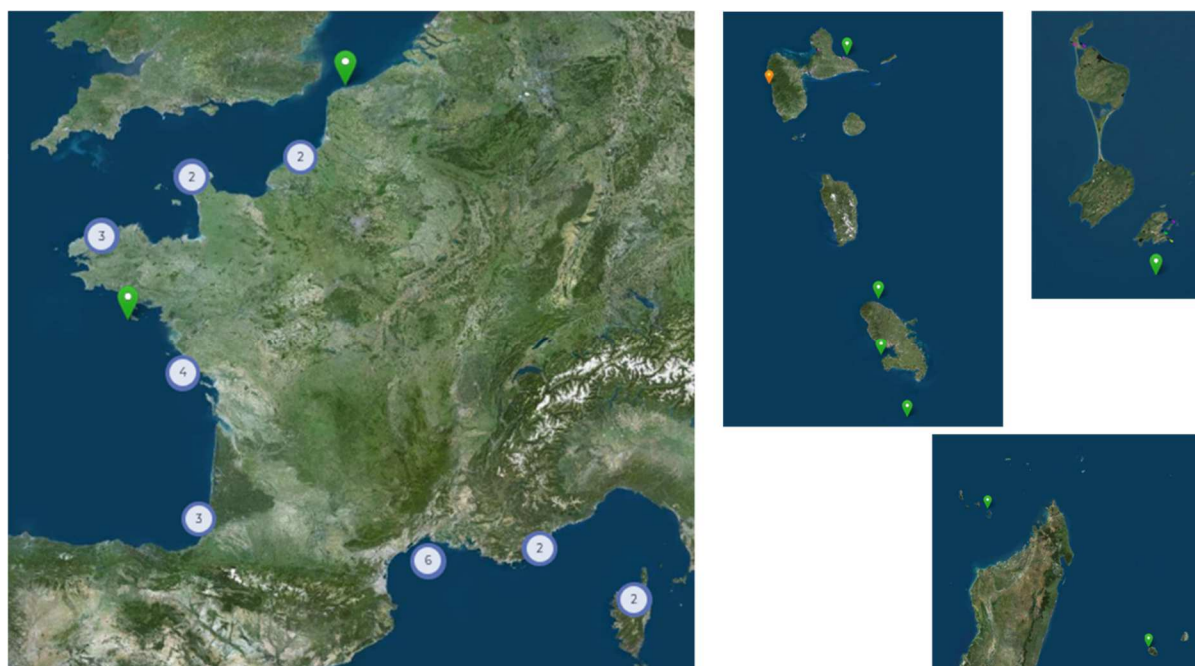


Figure 6 : Localisation des 34 bouées opérationnelles en 2021 du réseau CANDHIS (présentées sur le site Candhis)

2.1.2 L'évolution du réseau sur la période 1985-2020

Le nombre de bouées houlographiques en service a fortement évolué depuis 1972⁷. La Figure 7 montre l'évolution, de 1970 à 2020 et pour la France entière, du nombre de houlographes en service. La Figure 8 montre le nombre total de mois de service effectif par année calendaire. Le détail des stations et campagnes de mesures du réseau CANDHIS, en métropole et outremer, est donné en Annexe 3 et accessible sur le site web CANDHIS :

- En **métropole**, le nombre de houlographes en service a fortement crû de 1985 à 2008, s'est stabilisé autour d'une vingtaine de 2008 à 2015, et a crû de 2015 à 2020 pour atteindre 25. Le nombre annuel de mois de mesure suit la même dynamique.
- En **outremer** le nombre de houlographes en service a crû de 1995 à 2007, s'est stabilisé à 10 de 2007 à 2012 puis a décru de façon marquée et était de 7 en 2020. Le nombre annuel de mois de mesure suit la même dynamique.

Sur cette période 1985-2020 (36 ans) la base CANDHIS compte 105 stations / campagnes de mesure, dont 34 en service en 2020 et 71 arrêtées (dont 17 stations permanentes de plus de 5 ans de service, 27 temporaires de 1 à 4 ans, 26 + 1 campagnes locales d'une durée inférieure à un an) (cf. Tableau 3).

Durées de service des houlographes : Les durées de service des houlographes sont variables. Au total on dispose de séries de mesure de plus de 20 ans pour 4 houlographes (durée permettant d'analyser des évolutions et tendances), et de séries de plus de 5 ans pour 40 houlographes (durée permettant de caler ou évaluer des modèles spatialisés) (cf. Annexe 3 pour plus de détails).

Qualité de service des houlographes : Une analyse des ruptures de service (absence de mesure pendant un mois ou plus) a été menée pour les 26 houlographes présentant des séries de mesure de plus de 10 ans (Tableau 4). La qualité de service s'est très significativement améliorée depuis 2010, la fréquence et la durée des ruptures de services diminuant sensiblement. Ainsi, si l'on considère les 16 stations opérationnelles au cours de la période 2010-2019 et disposant de plus de 10 années de données (Tableau 5), les indicateurs de performance⁸ sont les suivants :

- 9 stations ont un taux de mesures réalisées supérieur à 90%
- 7 stations ont un taux de mesures réalisées inférieur à 90% : 5 en raison de taux de rupture de service supérieurs à 10%; 2 en raison d'une efficacité de service inférieure à 90%

Les ruptures de service (délais de remise en service suite à une panne) conditionnent donc fortement la continuité de l'observation. Diminuer leur fréquence relève de la maintenance préventive, diminuer leur durée relève de la maintenance curative. Sur la période 2010-2019 et sur les 16 stations on dénombre 45 ruptures de service neutralisant 8% de la durée de service (155 mois sur 1848). Parmi elles on relève 16 ruptures de service dont la durée a été supérieure à 4 mois (pour un total de 105 mois) qui comptent pour 2/3 de la période neutralisée (cf. Figure 9).

⁷ Bien que le site du Cerema indique que « le Cerema gère un réseau de houlographes depuis 1972 », il semble que les données antérieures à 1985 (surs papier) n'aient pas été numérisées et bancarisées. Le nombre de houlographes en service avant 1985 n'est pas connu. Un travail de récupération, numérisation, traitement, bancarisation et diffusion de ces données serait pertinent : il permettrait d'obtenir certaines séries temporelles plus longues de 10 années ce qui serait utile pour l'analyse de tendance et la détection d'éventuels changements dans les régimes de houle.

⁸ *taux de mesures réalisées = mesures réalisées / mesures réalisables ; taux de rupture de service = nombre de mois de rupture de service / nombre total de mois ; efficacité de service = mesures réalisées / mesures théoriquement réalisables hors périodes de rupture de service.*

Nombre de houlographes	1985-2020			en service en 2020		
Durée de fonctionnement	France	Métropole	Outremer	France	Métropole	Outremer
≥ 5 ans	40	31	9	23	18	5
≥ 1 an et < 5 ans	33	25	8	6	6	0
< 1 an	29	24	5	3	1	2
Total	102	80	22	32	25	7

Tableau 3 : Répartition des stations et campagnes de mesure de la houle selon la durée de service et la localisation métropole/outremer (pour 102 des 105 stations). A gauche pour 1985-2020, à droite pour les stations en service en 2020

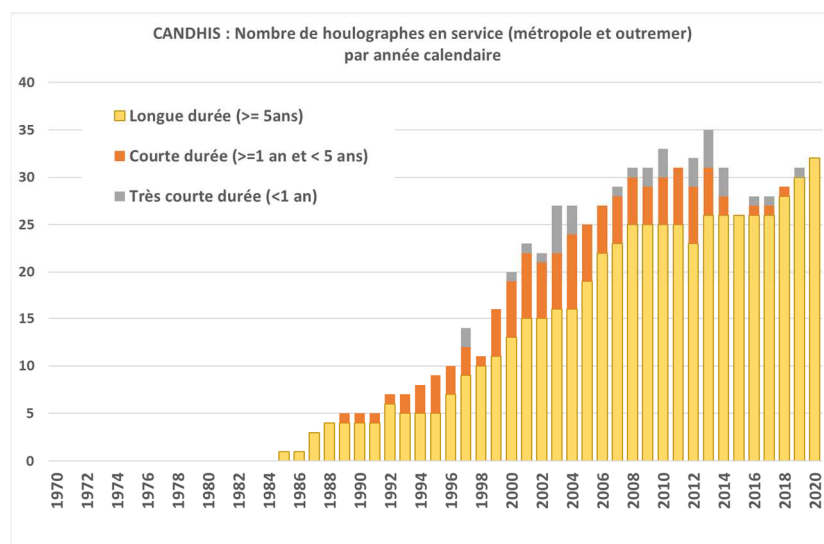


Figure 7 : Base de données CANDHIS–nombre de houlographes en service par année calendaire (gris : moins d’une année de fonctionnement ; ocre de 1 à 4 ans de fonctionnement ; jaune : plus de 5 ans de fonctionnement) ;

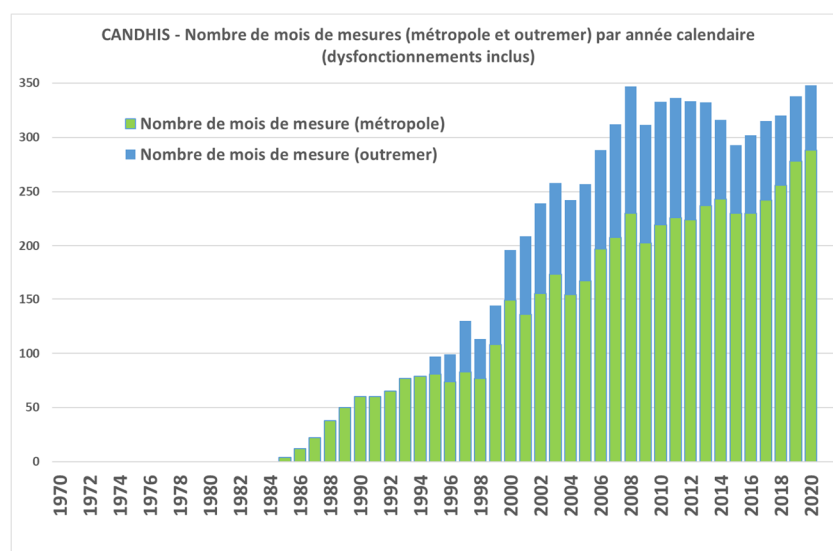


Figure 8 : Base de données CANDHIS : nombre de mois de mesure par an (en bleu : outremer ; en vert : métropole)

Taux de rupture de service (pourcentage de mois sans mesures)	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
07601 - ANTIFER												0%	25%	0%	25%	8%	0%	58%	17%	17%	33%	92%	100%	75%	8%	0%											
07603 - LE HAVRE LHA														0%	0%	0%	0%	0%	17%	17%	58%	42%	0%	0%													
05008 - CHERBOURG EXTERIEUR															0%	0%	0%	0%	0%	17%	17%	58%	42%	0%	33%	0%	0%	0%	33%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
02202 - LES MINQUIERS 2													0%	0%	0%	50%	25%	33%	17%	33%	83%	0%	92%	58%	20%												
02911 - Les Pierres Noires																					75%	100%	0%	0%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	0%	0%	0%		
02902 - Ouessant large	0%	58%	0%	33%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	58%	58%	75%	0%	8%	17%	33%	8%	25%	25%	0%	67%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	8%	0%	0%	
04403 - Plateau du Four																								44%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	8%	0%	0%	
08504 - ILE D'YEU NORD																						0%	0%	0%	17%	17%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	8%	8%	8%	0%	
03302 - CAP FERRET																0%	42%	100%	100%	100%	100%	100%	58%	0%	8%	50%	17%	0%	17%	50%	42%	50%	8%	8%	20%	0%	
06402 - ANGLET																																					
06601 - BANYULS																							0%	0%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	17%	53%	0%	0%	0%	0%
01101 - LEUCATE																						0%	0%	0%	25%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
03401 - SETE (Marseillan)				0%	8%	17%	8%	0%	0%	0%	0%	17%	8%	17%	0%	0%	0%																				
03404 - SETE																							0%	17%	0%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	0%	
03001 - ESPIGUETTE																								0%	17%	75%	0%	0%	0%	0%	0%	75%	8%	25%	0%	0%	0%
08301 - PORQUEROLLES						0%	8%	8%	25%	75%	50%	75%	0%	0%	0%	0%	33%	8%	50%	8%	33%	0%	0%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	75%	8%	25%	0%	0%	0%	
08302 - PORQUEROLLES																																					
00601 - NICE																			0%	33%	0%	25%	100%	25%	0%	8%	8%	33%	0%	8%	17%	100%	0%				
02802 - Cap Corse														0%	25%	58%	8%	92%	42%	0%	0%	83%	58%	100%	42%	0%											
972020 - Basse Pointe													0%	50%	100%	33%	0%	25%	0%	25%	0%	25%	50%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	17%	0%	0%	33%	0%	0%		
97204 - FORT DE France																0%	0%	25%	17%	0%	0%	0%	67%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	0%	0%	0%	
97205 SAINTE LUCIE																						0%	8%	17%	0%	17%	0%	0%	8%	0%	0%	25%	25%	0%	0%	0%	
97403 RIVIERE DES GALETS												0%	8%	33%	33%	0%	17%	0%	0%	8%	17%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	33%	0%	0%	0%	0%	0%	
97401 BAIE DE LA POSSESSION											0%	17%	8%	33%	33%	0%	17%	0%	0%	8%	17%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%						
97404 POINTE DU GOUFFRE													0%	17%	17%	0%	0%	17%	0%	0%	33%	17%	0%	0%	83%	8%	0%	0%	0%								
97405 - SAINT PIERRE													0%	0%	0%	42%	13%	0%	58%	100%	42%	0%															

Tableau 4 : Taux annuel de rupture de service sur les 26 stations présentant plus de 10 années de service : pourcentage de mois sans mesure (vert : 0 mois ; jaune : < 3, rouge : de 4 à 10 ; noir : plus de 11 mois).

Taux de rupture de service (pourcentage de mois sans mesures)	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	%réalisé	%mois panne	%service
05008 - CHERBOURG EXTERIEUR									0%	17%	0%	42%	8%	0%	33%	0%	0%	0%	33%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	90,5%	3,3%	93,6%
02911 - Les Pierres Noires										0%	75%	100%	0%	0%	25%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	91,5%	3,4%	94,7%
04403 - Plateau du Four													44%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	8%	0%	0%	0%	0%	93,3%	1,7%	94,9%
08504 ILE D'YEU NORD										0%	0%	17%	17%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	8%	8%	8%	0%	0%	90,0%	1,7%	91,5%
03302 - CAP FERRET						0%	42%	100%	100%	100%	100%	58%	0%	8%	50%	17%	0%	17%	50%	42%	50%	8%	8%	0%	20%	71,0%	24,2%	93,7%
06402 - ANGLLET												0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	25%	0%	42%	0%	83,5%	11,7%	94,5%	
06601 - BANYULS												0%	8%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	17%	33%	0%	0%	91,3%	5,0%	96,1%	
01101 - LEUCATE											0%	0%	0%	0%	25%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	93,6%	3,3%	96,8%	
03404 - SETE											0%	17%	0%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	0%	96,4%	0,8%	97,2%	
03001 - ESPIGUETTE												0%	17%	0%	17%	75%	0%	0%	0%	75%	8%	25%	0%	0%	79,1%	18,3%	96,8%	
08302 - PORQUEROLLES																		0%	0%	33%	100%	17%	0%	42%	14%	63,5%	31,5%	92,6%
00601 - NICE									0%	33%	0%	25%	100%	25%	0%	8%	8%	33%	0%	8%	17%	100%	0%	0%	79,3%	5,0%	83,5%	
972020 - Basse Pointe				0%	50%	100%	33%	0%	0%	25%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%	0%	17%	0%	0%	0%	33%	0%	79,3%	5,0%	83,5%	
97204 - FORT DE France						0%	0%	25%	17%	0%	0%	0%	67%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	0%	0%	0%	94,9%	0,8%	95,7%	
97205 SAINTE LUCIE												0%	8%	17%	0%	17%	0%	0%	8%	0%	25%	25%	0%	0%	73,6%	7,9%	79,9%	
97403 RIVIERE DES GALETs			0%	8%	33%	33%	0%	17%	0%	0%	8%	17%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	33%	0%	0%	0%	0%	93,8%	3,3%	96,7%	

Tableau 5 : Taux annuel de rupture de service sur les 16 stations de 10 ans de service et opérationnelles sur 2010-2019: pourcentage de mois sans mesure (vert : 0 mois ; jaune : < 3, rouge : de 4 à 10 ; noir : plus de 11 mois).) ; indicateurs synthétiques de performance : taux global de mesure ; taux de rupture de service ; taux de mesure en période de service.

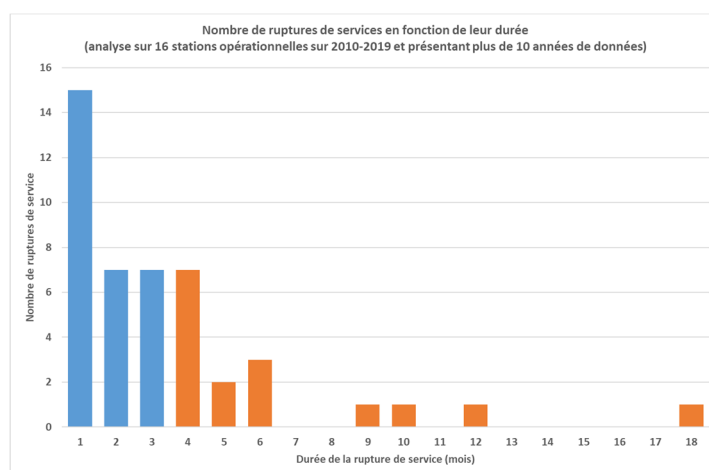


Figure 9 : Durées des ruptures de service sur la période 2010-2019 : nombre de ruptures fonction de leur durée en mois (analyse à partir de données issues de CANDHIS sur 16 stations opérationnelles ayant plus de 10 années de service)

2.2 La base de données CANDHIS

Nombre de stations et longueur des séries temporelles :

La base de données CANDHIS rassemble des données de mesure de la houle sur 105 stations ou campagnes de mesure. Ces stations ou campagnes de mesure sont localisées entre 0 et 70 km des côtes, avec une distance médiane à la côte médiane de 4,4 km. Elles ont été acquises au cours de la période 1985-2021. Comme indiqué plus haut, en 2021, 34 de ces 105 stations / campagnes étaient en service et 71 étaient définitivement arrêtées.

Ces 105 stations cumulent près de 600 années d'enregistrement de données de houle. Les longueurs des séries temporelles sont hétérogènes. La plus longue série est de 29 années (Porquerolles en Méditerranée de 1992 à 2020 au travers de deux stations successives 8301 et 8302). Quatre stations présentent plus de 20 années de données⁹, 21 stations présentent des séries de 10 à 20 ans ; 15 de 5 à 10 ans ; 33 de 1 et 5 ans et 26 stations des séries de moins de 1 an.

Diffusion des données : L'utilisation des données CANDHIS relève de la licence ouverte Etalab¹⁰. La diffusion se fait pour les données temps réel en consultant le site Internet CANDHIS ou le SMT ; pour les données en temps différé (contrôlées et validées) par téléchargement instantané depuis le site CANDHIS (jusqu'en 2021 l'accès se faisait par demande auprès du Cerema, cf. 3.1).

Le site internet CANDHIS (<https://candhis.cerema.fr/> ou <http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/>) présente le dispositif national, la carte des stations de mesure, les caractéristiques des stations, donne accès aux données temps réel (actualisées toutes les demi-heures), aux analyses statistiques (histogrammes, corrélogrammes)¹¹. La Figure 14 illustre l'interface cartographique pour la station n°02B02 Cap Corse.

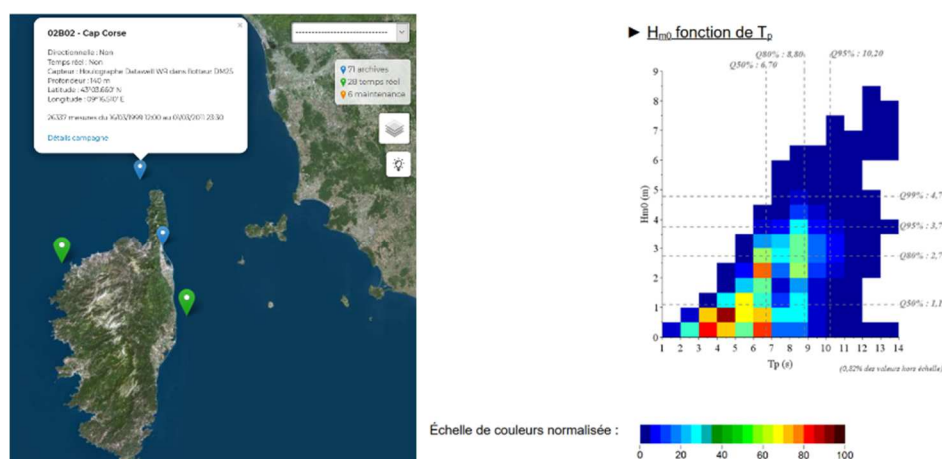


Figure 10 : Interface cartographique du site CANDHIS et illustration d'un corrélogramme (station 02B02 – Cap Corse)

L'annexe 4 illustre l'accès aux informations et données pour la station n°02911 « Les Pierres Noires ». La partie 3.1 présente la fréquentation du site et les demandes de données.

⁹ 29 années pour Porquerolles (Méditerranée de 1992 à 2020 en deux stations successives 8301 et 8302) ; 26 ans pour Ouessant large (Atlantique de 1985 à 2011 station 2902), 22 ans pour Basse Pointe (Martinique de 1999 à 2020 station 97202), 24 ans pour Rivière des Galets (La Réunion, 1997 à 2020 station 97403).

¹⁰ (<https://www.etalab.gouv.fr/licenceouverte-open-licence>).

¹¹ Des graphes mensuels des hauteurs des vagues étaient disponibles mais ne semblent plus l'être sur le nouveau site.

2.3 Gestion, coûts et financement du réseau CANDHIS

2.3.1 Gestion des houlographes et du réseau CANDHIS :

En 2021 les statuts des 34 stations du réseau CANDHIS sont variés :

- 12 sont propriété du Cerema, opérées par le Cerema (maintenance) et financées par le Cerema
- 3 sont propriété de Météo France, opérées par Météo France et financées par Météo France
- 7 sont propriété de partenaires, opérées par ces partenaires et financées par ces partenaires
- 3 sont propriété de partenaires, opérées par ces partenaires et financées par Météo France
- 4 sont propriété de partenaires, opérées par le Cerema et financées par le Cerema
- 5 sont propriété de partenaires, opérées par le Cerema et financées par les partenaires

Ainsi l'opération et la maintenance des 34 stations de mesure du réseau CANDHIS (cf. 2.1.1) est assurée par le Cerema pour 21 stations, par Météo France pour 3 (aux Antilles), par des organismes partenaires (établissements publics, collectivités, Monaco...) pour 10 (cf. Tableau 6 et Annexe 3).

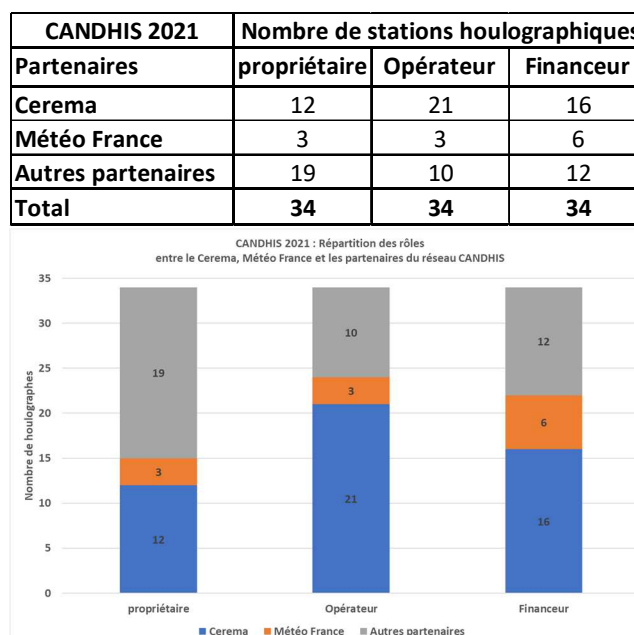


Tableau 6 : Répartition des houlographes entre les acteurs selon leur rôle

Le rôle du Cerema est triple :

- pilote du réseau CANDHIS il intervient en «maintenance experte» du réseau et veille à son bon fonctionnement, centralise et traite les données, développe matériels et logiciels spécifiques, gère le site web, la base de données, la diffusion, les requêtes des utilisateurs ;
- opérateur il est en charge de l'opération et de la maintenance d'un parc de 21 stations ;
- financeur il a la charge de 16 stations et du système d'information.

2.3.2 Coûts:

2.3.2.1 Structure des coûts et coûts unitaires

Les coûts de gestion du réseau sont structurés en quatre parties présentées et analysées ci-dessous. Ces analyses reposent sur les données du rapport Cerema, Météo France, SHOM de 2019 (cf. [1]).

Coûts d'acquisition du matériel de mesure : Le coût d'acquisition d'une bouée houlographique était estimé en 2019 à 62,5 K€ en métropole et 79 K€ outremer (intégrant les coûts de transport, variables selon la zone géographique). L'acquisition de nouveaux matériels peut se faire sur des financements spécifiquement fléchés « investissement ». Il peut aussi se faire sur des financements « fonctionnement » fléchés « provisions pour renouvellement » (cf. « amortissement » ci-dessous).

Entretien des stations en place : amortissement, maintenance et transmission des données : L'amortissement correspond à un budget de 4 K€/an en métropole (calculé sur 15 ans) et 10 K€/an outremer (calculé sur 8 ans outremer¹²). La maintenance des stations en place et de la transmission des données correspond à un budget de 4,5 K€/an en métropole et 10 K€/an outremer (18,4 K€/an en cas de transmission satellitaire). Le coût des moyens nautiques nécessaires pour une visite annuelle de maintenance préventive et des visites d'intervention curative en cas de panne est estimé à 2 K€/an par station en métropole et à 10,5 à 16 K€/an par station outremer¹³, en fonction de l'éloignement. Ainsi les coûts annuels de fonctionnement, incluant les provisions pour renouvellement s'élèvent à 10,5 K€/an en métropole et à 30,5 à 44,4 K€/an en outre-mer.

Coûts de l'infrastructure de gestion et diffusion des données La concentration, le traitement et la gestion des données se font dans un centre serveur du Cerema garantissant les niveaux de service et de sécurité requis. La diffusion des données vers les utilisateurs se fait au travers du site internet (avec une nouvelle version mise en ligne en 2021). Les coûts techniques correspondants sont mutualisés au sein du Cerema dans le cadre de ses missions et ne sont pas quantifiés ici (à l'exception des coûts de personnels détaillés ci-dessous). Météo France, dans le cadre de ses missions, est en charge de la concentration, du contrôle qualité et de la diffusion opérationnelle des données temps réel du réseau CAN-DHIS sur le SMT (Système Mondial de Télécommunication de l'Organisation Météorologique Mondiale) (cf. 5.3).

Coûts de personnels La gestion du réseau de houlographes dans sa configuration 2020 (Cerema 15 houlographes en métropole ; Météo France 5 houlographes outremer) nécessite 2 ETP au Cerema (valorisé à 425k€) et 1,5 ETP à Météo-France (0,5 ETP mobilisé pour la surveillance du fonctionnement temps réel de l'intégralité du réseau de houlographes, et 0,3 ETP localisé en DIRAG). La gestion de l'infrastructure de gestion et diffusion des données nécessite 1 ETP au Cerema¹⁴. Le total est ainsi de 4,5 ETP pour la configuration 2020.

Les estimations de coûts ci-dessus reposent sur l'expérience de gestion des bouées houlographiques du Cerema et de Météo France. La mission souligne le niveau élevé des coûts outremer présentés par Météo France et recommande qu'ils fassent l'objet d'une analyse plus détaillée afin d'identifier des

¹² L'expérience montre que différentes causes de dégradation sont amplifiées outremer (conditions physiques cycloniques, dégradations accidentelles d'origine naturelle ou humaine...) et conduisent à une durée de vie plus courte des équipements.

¹³ En métropole une visite annuelle de maintenance préventive bénéficie de la mise à disposition gracieuse des moyens nautiques des DIRM dans le cadre de leurs campagnes programmées. Le coût de 2 K€/an correspond à la maintenance curative facturée par les DIRM ou le privé. Outre-mer, les coûts des moyens nautiques sont intégralement facturés.

¹⁴ La valorisation et l'animation nationale des communautés utilisatrices nécessiteraient 1 ETP l'année de leur mise en place puis 0,5 ETP en année courante. Ces missions ne sont pas assurées aujourd'hui.

pistes d'économie. S'ils sont inévitablement plus élevés que les coûts en métropole, des marges de gain existent et doivent être explorées. A titre d'exemple : la solution d'une transmission satellitaire des données s'avère très onéreuse (8,4 K€/an par station) sans que son caractère incontournable soit établi, s'agissant de stations situées à quelques kilomètres des côtes ne semble pas établi ; la durée d'amortissement des houlographes (8 ans en outre-mer contre 15 ans en métropole) semble pouvoir être accrue ; la surveillance temps réel du fonctionnement des houlographes (5 aujourd'hui, 10 demain) doit pouvoir requérir moins que les 0,5 ETP annoncés...

2.3.2.2 Estimation des coûts totaux

Selon les estimations du Cerema, le coût total de fonctionnement du réseau dans sa configuration actuelle tous opérateurs confondus (34 stations de mesure) est estimé à environ 750 k€/an hors personnel : maintenance des stations (moyens nautiques compris), renouvellement du parc, centralisation des données (contrôle, archivage et diffusion). Les maîtres d'ouvrage des houlographes prennent en charge certains coûts propres.

Dans le document [1] le Cerema et Météo France présentent l'estimation de leurs coûts moyens annuels (2015-2019) respectifs.

- Pour le Cerema, le coût annuel pour l'opération de 15 stations de mesure en métropole et la gestion d'ensemble du réseau CANDHIS est de 150,8 K€/an et 3 ETP (1 ETP catégorie A et 1 ETP catégorie B pour le réseau de mesure ; 1 ETP catégorie A pour le centre d'observation).
- Pour Météo France le coût annuel pour l'opération de 5 houlographes en outre-mer est estimé à 108 K€/an¹⁵ et 1,5 ETP.

Ces coûts 2020 de 260 K€/an et 4,5 ETP correspondent aux coûts d'opération et de maintenance de 20 houlographes dont le financement est à la charge du Cerema et de Météo France (respectivement 15 Cerema, 5 Météo France). Entre 2020 et 2021 le nombre de stations à la charge du Cerema est passé de 15 à 16 et le nombre de stations opérées par Météo France de 5 à 6 (implantation de la bouée de Mayotte en 2021). L'estimation des coûts du réseau dans sa configuration 2021 est présentée en 4.3.2.

2.3.3 Financement

Le Tableau 6 donne un aperçu de la répartition de l'effort de financement entre la composante « Cerema-Météo France » et la composante « Partenaires ». Les partenaires assurent le financement d'environ la moitié de l'investissement dans les 34 houlographes (55%) et d'un tiers du fonctionnement (35%).

L'analyse ci-dessous concerne le financement de la composante Cerema du réseau CANDHIS et repose sur les chiffres fournis par le Cerema. Le financement de la composante Météo France est distinct.

2.3.3.1 Le financement 2011-2020 de la composante Cerema de CANDHIS

L'effort de financement de la composante du réseau CANDHIS à la charge du Cerema a été de 1,65 M€ en dix ans (2011-2020) (cf. Figure 11, Figure 13). Il est passé d'une moyenne de 116 K€/an sur la période 2011-2015 à 145 K€/an sur la période 2016-2020, soit une augmentation de +33% en 5 ans. Une contribution supplémentaire exceptionnelle de 350 K€ a été attribuée par la DGPR en 2019.

¹⁵ Cette estimation des coûts réels sur la période n'intègre pas les provisions pour renouvellement des houlographes de Martinique et prend en compte des coûts (maintenance, moyens nautiques, télécommunication) inférieurs en Martinique à ceux de Guadeloupe. Ramenée aux coûts unitaires de Guadeloupe l'estimation serait de 194 K€/an.

Au-delà de ces valeurs moyennes, le Cerema doit faire face aux difficultés de gestion du budget liées à l'irrégularité du versement des dotations en provenance des administrations centrales¹⁶ (**Figure 13**).

2.3.3.2 Répartition de l'effort de financement 2020

La répartition entre les acteurs de l'effort de financement 2016-2020 est la suivante (Figure 12):

- la DGPR a fourni deux tiers de l'effort de financement (67,6%), avec un financement annuel de 75 K€/an, complété par une contribution exceptionnelle de 350 K€ en 2019 pour permettre une mise à niveau du réseau¹⁷ (Programme 181 – Prévention des risques).
- La DGITM a contribué à hauteur de 40 K€/an (18,6%) (Programme 205 Affaires maritimes). Les DIRM mettent à disposition du Cerema leurs moyens nautiques en métropole dans le cadre des sorties programmées (maintenance préventive des houlographes).
- La DGALN contribue depuis 2018 à hauteur de 10 K€/an, puis 25 K€/an (4,2% sur la période) (Programme 113 – Paysages, eau et biodiversité).
- Le Cerema a été amené à mobiliser des ressources propres pour compléter la couverture des coûts, particulièrement entre 2015 et 2018. Cette contribution a représenté 9,6% du financement sur la période 2016-2020. Elle a vocation à disparaître, le Cerema considérant ne pouvoir aller au-delà de la mise à disposition des personnels.

En 2020 le schéma stable était donc de 140 K€/an (75 K€ DGPR ; 40 K€ DGITM ; 25 K€ DGALN) complétés par la mise à disposition de personnels par le Cerema et de moyens nautiques par les DIRM. La Figure 14 permet de comparer la répartition de l'effort de financement 2016-2020 entre les différents programmes (et directions d'administration centrale) et la répartition des demandes de données entre thématiques d'utilisation (cf. 3.2).

Dans les graphiques « camembert » une même couleur associe les thématiques d'utilisation aux DAC. Les enjeux sociaux et économiques varient selon la thématique. Ils ne peuvent être réduits à une simple proportionnalité aux nombres de demandes de données, et cette comparaison n'a qu'une valeur indicative. Elle met toutefois en lumière certains déséquilibres : l'absence de participation de la DGEC au financement de CANDHIS alors qu'un usage significatif des informations produites est fait par la thématique EMR ; la faiblesse relative de la contribution DGALN alors que plusieurs thématiques élèvent de ses domaines (littoral et dynamique du trait de côte, suivi environnemental) ; a contrario l'importance de la contribution de la DGPR (67%) alors que la thématique « submersion marine » concerne moins de 20% des demandes thématiques.

¹⁶ Par exemple : la dotation 2017 de la DGITM n'a été versée qu'en 2018 ; les dotations 2020 prévues de la DGITM (40K€) et de la DGALN (25 K€) n'ont été versées qu'en 2021.

¹⁷ Cette contribution faisait écho à la stratégie Cerema - Météo-France - SHOM de sécurisation (pérennisation et extension) du réseau CANDHIS, avec notamment l'installation de 4 nouvelles stations de mesure par le Cerema.

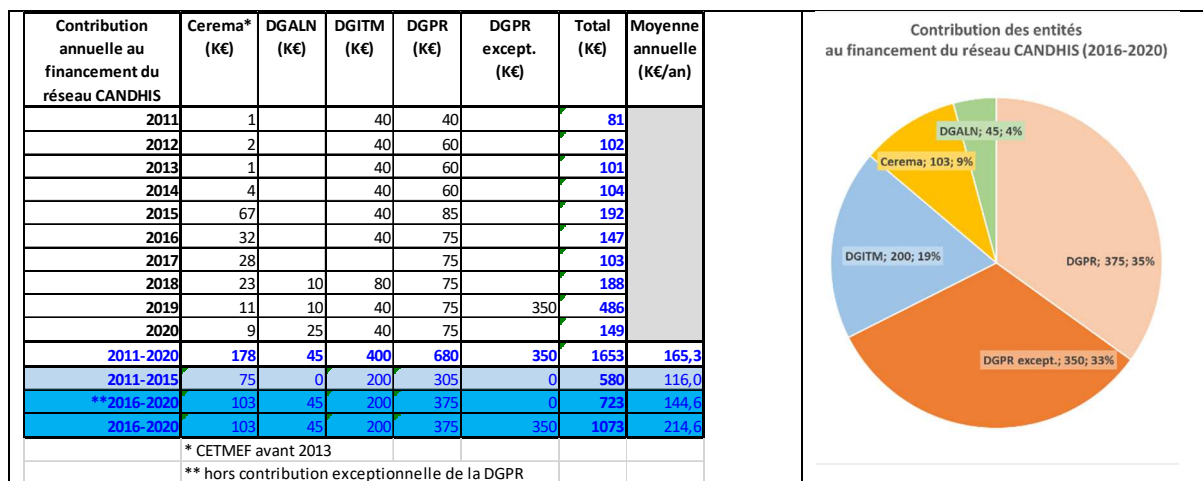


Figure 11 (gauche) : Contributions annuelles 2011-2020 au financement du réseau CANDHIS

Figure 12 (droite) : Répartition entre les entités de l'effort 2016-2020 de financement du réseau CANDHIS

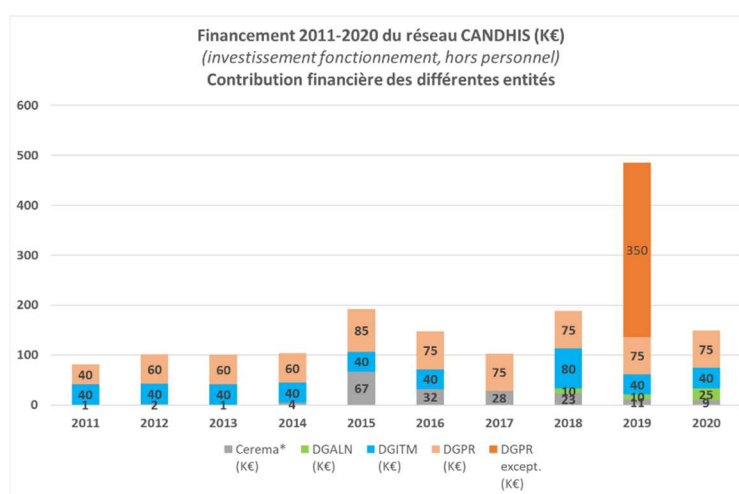


Figure 13 : Financement 2011-2020 du réseau CANDHIS

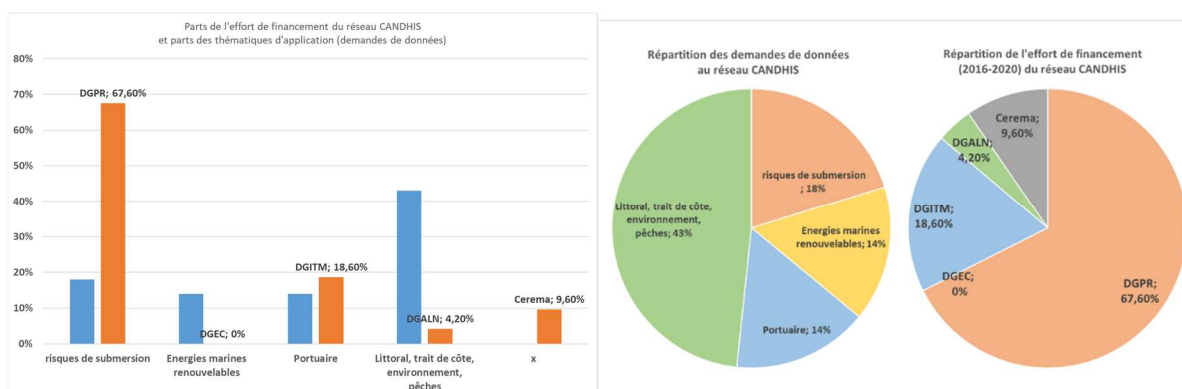


Figure 14 : Comparaison de la répartition de l'effort de financement entre les directions d'administration centrale (droite) et la répartition des demandes de données entre les thématiques d'utilisation (gauche)

2.4 Synthèse : état du réseau CANDHIS et voies d'amélioration

En 2021, le réseau national de mesure in situ de la houle en zones côtières compte 34 bouées houlographiques, dont 26 en métropole réparties entre façade Manche-Atlantique (16) et façade méditerranéenne (10), et 8 en outremer. La couverture en métropole est satisfaisante, avec quelques perspectives d'amélioration. La couverture en outre-mer est insuffisante pour certains départements et territoires.

La qualité de service du réseau CANDHIS est satisfaisante et a été nettement améliorée depuis 2010. Sur la période 2010-2020, 70% des stations présentent des taux d'opérationnalité supérieurs à 90% (part du temps sans rupture de service) et 81% des stations ont des taux de mesure en période de service supérieurs à 90% (nombre de mesures réalisées sur nombre de mesures réalisables en période de service). Les ruptures de service de durée supérieure à 4 mois (16 recensées sur 2010-2020) comptent pour 2/3 de la période neutralisée et montrent l'importance de la capacité d'intervention pour des maintenances curatives.

La base de données CANDHIS rassemble les données de 105 stations (34 stations en service en 2021, 71 campagnes clôturées) pour l'équivalent de 600 années de données. Elle est aujourd'hui intégralement consultable sur le site web CANDHIS qui permet d'accéder aux données aussi bien en consultation qu'en téléchargement des données sous une licence ouverte Etalab.

Le coût moyen annuel 2020 de fonctionnement des composantes Cerema et Météo France du réseau CANDHIS était de 260 K€/an, 4,5 ETP et un appui gratuit des moyens nautiques des DIRM dans le cadre de leur programmation en métropole :

- 150,8 K€/an et 3 ETP pour le Cerema (opération et maintenance de 15 houlographes en métropole, gestion d'ensemble du réseau, traitement des données, gestion du système d'information et diffusion).
- 108 K€/an et 1,5 ETP pour Météo France (opération et maintenance de 5 houlographes en outre-mer).

Le financement de la composante Cerema est assuré par des contributions de plusieurs directions d'administration centrale du ministère de la Transition écologique (*sur la période 2016-2020 : 67,6% DGPR sur le programme 181 – Prévention des risques ; 18,6% DGITM sur le programme 205 Affaires maritimes ; 4,2% DGALN sur le programme 113 – Paysages, eau et biodiversité*) complétés par un autofinancement du Cerema sur ressources propres (*9,6% sur la période 2016-2020*).

Les besoins et principales voies d'amélioration du réseau de mesure in-situ de la houle sont :

- La sécurisation des sources et mode de financement assurant la pérennité du dispositif, notamment la capacité de maintenance curative et de renouvellement des équipements, ainsi que la capacité du système d'information et du portail CANDHIS à gérer et diffuser les données.
- Le développement du dispositif de mesure in situ, par un accroissement prioritaire du nombre de stations déployées en outre-mer, et par l'ajustement optimisé du réseau en métropole.

3 Les communautés utilisatrices et leurs besoins

Afin de mieux connaître l'identité des utilisateurs des données sur la houle côtière et leurs thématiques d'utilisation, une analyse des demandes de données formulées auprès du réseau CANDHIS a été menée.

3.1 Canaux de diffusion des données CANDHIS et fréquentation

Les données du réseau CANDHIS sont accessibles à l'utilisateur par plusieurs voies :

Canal de diffusion	Type d'information	Fréquentation annuelle
1. Consultation en ligne du portail CANDHIS (site web CANDHIS)	- données temps réel des bouées ; information sur les bouées ; - depuis nov. 2021 téléchargement des données archivées	208 000 visiteurs différents en 2020
2. Flux de données organisés à partir du portail CANDHIS	information temps réel par flux ftp (téléchargement automatisé)	11 utilisateurs en 2021
3. Demandes de données auprès du portail CANDHIS	- jusqu'à Octobre 2021 par message au site CANDHIS précisant les données demandées - Depuis nov. 2021 téléchargement direct des données archivées	2012-2021 : 1131 demandes (120 demandes/an)
4. Accès aux données via d'autres plateformes	CORIOLIS ; Copernicus ; EMODNET,... : demande de données ou flux ftp	inconnu

Seule la troisième voie permet de recueillir de l'information sur le demandeur et sa thématique d'utilisation des données. Cette information est analysée dans les parties suivantes (3.2).

Consultation en temps réel du portail CANDHIS : Les consultations en ligne du site web CANDHIS (<http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/>) ont été en croissance régulière de plus de 10% par an au cours des dix dernières années (chiffres communiqués par le Cerema, cf. Figure 15). Près de 600 000 visites ont été enregistrées en 2020, provenant de 208 500 visiteurs différents. Sur la période 2013-2020 le nombre annuel de visites a été multiplié par 2, Dans le même temps la bande passante a été multipliée par 5 (50 à 250 Go) pour répondre aux flux de consultation.

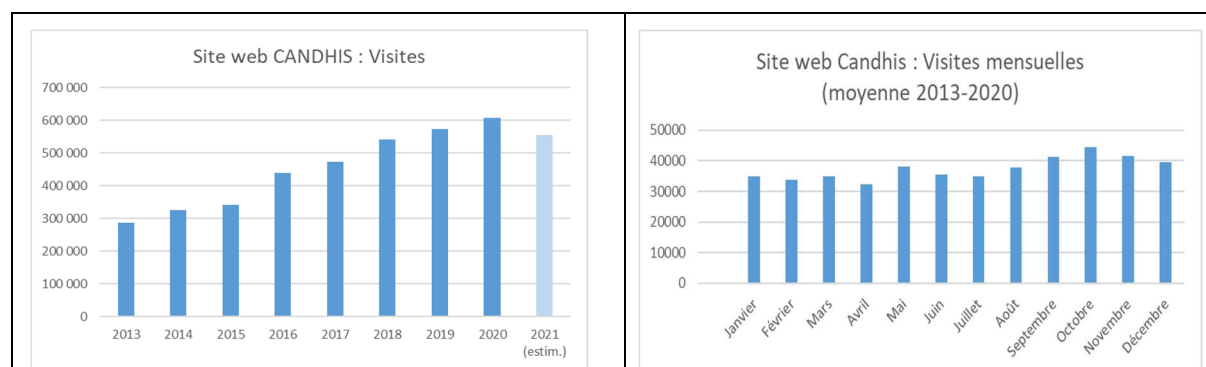


Figure 15 : Evolution 2013-2021 de la fréquentation du site web CANDHIS et courbe saisonnière moyenne

La navigation, les travaux côtiers, la plaisance, les sports nautiques (surf) sont par expérience des secteurs qui consultent régulièrement les données en temps réel. Il est toutefois difficile de déterminer le profil des visiteurs et utilisateurs du site. Une analyse de la dynamique mensuelle de la fréquentation (cf. Figure 15) montre une augmentation de 25% du nombre de consultations mensuelles de septembre à décembre par rapport aux consultations mensuelles de janvier à août : ceci pourrait s'expliquer par

la fréquence plus élevée des événements de tempêtes sur cette période.

Flux de données organisés (flux ftp) à partir du réseau CANDHIS : Un utilisateur peut mettre en place un système de téléchargement automatiquement des données du site CANDHIS par un « flux de données organisé ». Le flux peut concerner une ou quelques bouées (par exemple pour les utilisateurs intéressés par le suivi d'un chantier ou pour une interface dédiée à une portion de littoral) comme toutes les bouées (par exemple pour Météo-France et l'Ifremer). Le site CANDHIS n'indique pas comment mettre en place un flux automatisé ftp et il est nécessaire pour cela de contacter le Cerema. En 2021 le Cerema a fait l'analyse des pratiques de « flux de données organisés » de onze utilisateurs recensés. Cette analyse est présentée en Annexe 5.

Demandes de données auprès du portail CANDHIS : Les utilisateurs peuvent formuler des demandes de données auprès du Cerema. Ils fournissent alors généralement des informations détaillées sur leur identité, sur les stations d'intérêt, sur leurs thématiques d'utilisation. Le Cerema tient à jour une base de données de ces demandes.

De janvier 2012 à juillet 2021 (cf. Figure 33), 1131 demandes de données ont été formulées, portant sur 3073 stations, soit une moyenne de 120 demandes par an (correspondant à 300 campagnes/stations demandées), avec occasionnellement des demandes massives (toutes les stations) qui expliquent par exemple les pics de nombre de stations demandées de 2014 et 2020

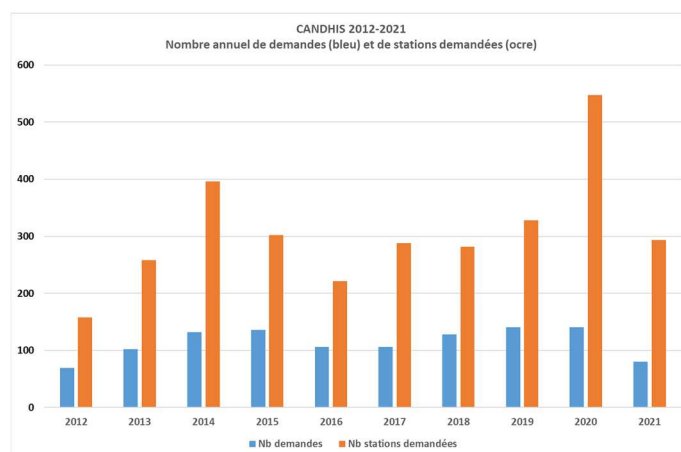


Figure 16 : nombre annuel de demandes de données et de stations demandées (CANDHIS 2012-2021)

Diffusion des données CANDHIS par d'autres sites : Les données CANDHIS temps réel sont relayées par plusieurs programmes de centralisation des données océano-météorologiques : le programme national Coriolis ; les programmes européens Copernicus Marine et EMODnet ; les programmes internationaux GOOS et DBCP. L'analyse des volumes de données diffusés par ces canaux n'a pu être menée dans le cadre de la mission.

3.2 Utilisateurs, données demandées, thématiques et finalités

Les stations demandées : Parmi les 1131 demandes de données (2012-2021), la demande porte :

- à 58% sur les 30 stations opérationnelles en 2019), avec en moyenne 6 demandes par station et par an. La demande porte prioritairement sur les stations de durées de vie longue (12 ans).
- à 42 % sur les 71 stations historiques (qui n'étaient plus opérationnelles en 2019) avec en moyenne 1,7 demande par station et par an).

Ceci atteste de la valeur patrimoniale des données historiques et de leur utilité.

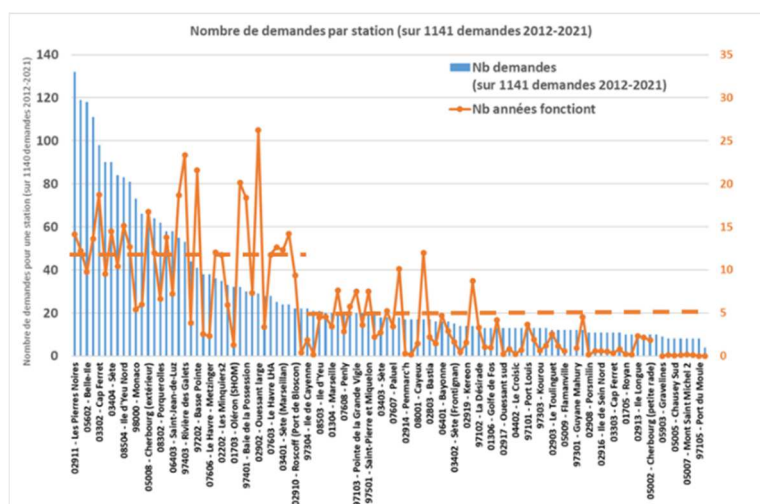


Figure 17 : Nombre de demandes par station CANDHIS sur la période 2012-2021, et durée de service. Les stations à longue durée de vie (trait ocre) sont plus fréquemment demandées

Les familles d'utilisateurs : les demandeurs se répartissent à parts égales entre sphère publique (administrations centrales, services déconcentrés, établissements publics, enseignement supérieur recherche, collectivités ...) et sphère économique et privée (autorités portuaires, pêcheurs, bureaux d'étude, entreprises ...) (Figure 18). Les principaux secteurs demandeurs sont les bureaux d'études et sociétés de service (34% des demandes), la recherche (25%), les établissements publics (18%). Les collectivités territoriales (2%) sont rarement demandeuses directes (cf. 3.3.1).

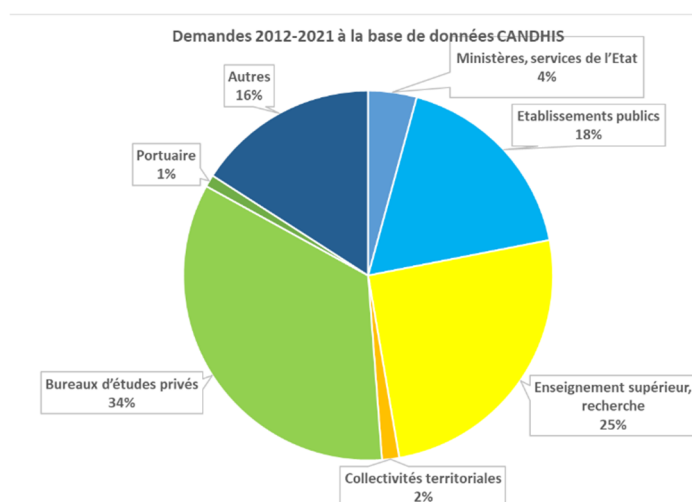


Figure 18 : répartition par familles d'acteurs des demandes de données au réseau CANDHIS (2012-2021)

Les thématiques d'utilisation : Les demandes se répartissent entre demandes amont (29%), visant le développement de connaissances sur les états de mer, et demandes pour des thématiques ciblées (71%). Les premières servent les secondes. Cinq thématiques dominent les demandes ciblées, leur répartition fournissant une grille de réflexion sur la nature des contributeurs à solliciter pour le financement du réseau CANDHIS: littoral et trait de côte (30%), risques de submersion (18%), énergies marines renouvelables (14%), activités portuaires (14%), suivi environnemental et pêche (13%).

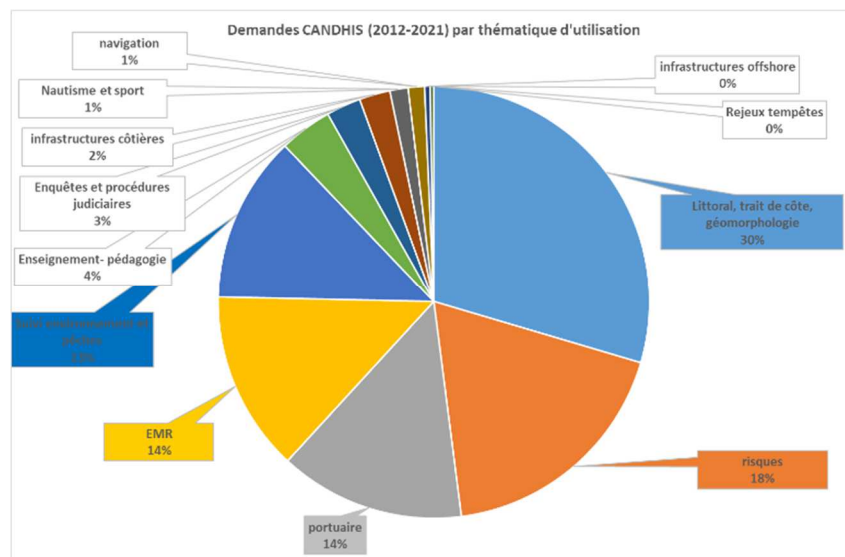


Figure 19 : répartition par thématiques des demandes ciblées de données au réseau CANDHIS (2012-21).

Le croisement familles d'utilisateurs et thématiques d'utilisation : Le Tableau 7 présente le nombre de demandes par thématique d'utilisation (en ligne) et par famille d'utilisateurs (en colonne). Il permet une analyse croisée. Chaque famille d'utilisateurs présente une signature quant aux thématiques d'utilisation qui lui sont prioritaires (cases en bleu). On constate(i) un alignement des thématiques entre la recherche et des bureaux d'études privés ; (ii) un investissement des services de l'Etat dominant sur la thématique « risques » et « procédures judiciaires » ; (iii) un investissement des collectivités sur les risques et la gestion du littoral. On peut anticiper une croissance de cet investissement dans le cadre de la GEMAPI. La partie 3.3.1. analyse les demandes directes et indirectes des collectivités territoriales. Des analyses détaillées pour les principales familles d'utilisateurs sont présentées en annexe 5.

Demandes	Etabl. publics	Collect. Territor.	Bureaux d'études	Ens. sup. recherche	Services de l'Etat	Portuaire	Autres	Total
Etats de mer	63		114	77	2		34	290
Littoral, trait de côte	51	9	35	108	4		7	214
risques	39	4	30	20	17		22	132
portuaire	2	1	60	5		10	24	102
EMR	2	1	49	10	2	1	34	99
Suivi environ et pêches	11		33	26	5		17	92
enseignement			3	5			17	25
infrastructures côtières			9	4			3	16
Procédures judiciaires					10	1	5	16
Nautisme et sport	1	1	1	1			6	10
navigation			7				2	9
infrastructures offshore			2	1				3
Rejeux tempêtes	2							2
inconnu	10		39	30	8		9	96
Total	181	16	382	287	48	12	180	

Tableau 7 : Répartition des demandes de données au réseau CANDHIS (2012-21) par type d'acteur demandeur et par thématique d'utilisation des données (en bleu : plus de 10 demandes)

3.3 Focus sur quelques domaines

3.3.1 Les collectivités territoriales

Les besoins des collectivités territoriales en matière de mesure in situ de la houle peuvent être analysées au travers des demandes de données auprès du réseau CANDHIS. Sur la période 2012-2021 une centaine de demandes ont été formulées, parfois directement par les collectivités territoriales (16 demandes en 10 ans) mais le plus souvent indirectement par des intermédiaires, des prestataires ou des contractants, notamment des bureaux d'études (84 demandes en 10 ans). Le fait qu'une demande est formulée pour une collectivité territoriale n'est pas toujours mentionné et de ce fait le volume de demandes indirectes est probablement sous-estimé.

- **Demandes directes:** Les 16 demandes directes émanent de 11 collectivités territoriales ou assimilées¹⁸. Elles portent généralement sur une ou deux stations houlographiques et se répartissent entre plusieurs thématiques : littoral et trait de côte (9), risque (4), EMR (1) ; nautisme et sport (1), activités portuaires (1).
- **Demandes indirectes:** Les 84 demandes indirectes formulées par d'autres acteurs au nom de 55 collectivités territoriales, émanent de bureaux d'études privés (67), d'entreprises privées et d'industriels (11), d'établissements publics, laboratoires publics ou services de l'Etat (6). Les thématiques portent sur : portuaire [26] ; littoral [21] ; risques [19] ; suivi environnemental [7] ; infrastructures côtières [4] ; modèles de vague [4] ; EMR [2] ;

Le Tableau 8 agrège demandes directes et indirectes. Il met en évidence trois thématiques prioritaires : la gestion du littoral, les aménagements portuaires et la gestion du risque submersion.

Collectivités territoriales	Demandes directes	Demandes indirectes	Demandes (total)
Littoral, trait de côte, géomorphologie	9	21	30
Portuaire	1	26	27
Risques	4	19	23
Suivi environnemental et pêches		7	7
Modèles d'état de mer		4	4
infrastructures côtières		4	4
EMR	1	2	3
autres	1	1	2
Total	16	84	100

Tableau 8 : Demandes de données CANDHIS pour les collectivités territoriales (2012-2021)

Besoins exprimés et perçus : Le nombre de demandes de données par et pour les collectivités territoriales et les acteurs de la GEMAPI (trois par an) reste très faible au regard de leurs missions. Un besoin est exprimé en matière (i) d'information sur les états de mer en zone littorale, leur évolution et les événements extrêmes ; (ii) d'information sur les données, produits, outils et méthodes pour la connaissance des états de mer en zone littorale et sur leur utilisation (iii) de partage d'expérience. Ce travail proactif est nécessaire en direction de ces acteurs en zones côtières. Il s'inscrit dans le cadre de la Recommandation 5. présentée en 4.3.4.

¹⁸ Nice (Ville de Nice [4]) ; Noirmoutier (CC Ile de Noirmoutier [3]) ; CC Médoc Atlantique [3] ; Boulogne (CA du Boulonnais [1]) ; Saint Malo (CA du Pays de St-Malo [1]) ; Corse (Collectivités de Corse [1]) ; La Rochelle (Mairie de La Rochelle [1]) ; Nautisme en Finistère [1] ; CCI Nice Côte d'Azur [1] ; Bordeaux Technowest [1] ; CIDPMEM 64-40 [4]

3.3.2 Energies marines renouvelables

La programmation pluriannuelle de l'énergie¹⁹ (PPE) fixe les priorités d'action de la politique énergétique du Gouvernement pour dix ans, en deux phases successives 2019-2023 puis 2024-2028. Elle engage un effort important pour promouvoir les Energies Marines Renouvelables (EMR) qui rassemblent plusieurs filières technologiques de niveaux de maturité et d'opérationnalité hétérogènes : éolien en mer posé ou flottant ; houlomoteurs ; turbines dans les courants ; usines marémotrices ; énergie thermique. Le développement des EMR s'accompagne d'un besoin croissant de données sur l'intensité de la houle sur les sites pressentis, soit pour caractériser le potentiel énergétique du site (houlomoteurs) soit pour dimensionner les infrastructures.

Eolien en mer : Six appels d'offres sont prévus sur la première période de la PPE pour augmenter les capacités de l'éolien en mer. Deux premiers appels d'offres ont été lancés par l'Etat en 2011 et 2013, et 6 parcs éoliens en mer sont en développement, pour une puissance totale de près de 3 000 MW. La Commission de régulation de l'énergie (CRE) a proposé de fixer des objectifs ambitieux pour l'éolien en mer lors de la révision de la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) en 2023 : 18 gigawatts (GW) en 2035 et 50 GW en 2050. Des besoins de caractérisation de la houle y seront associés.

L'information sur l'intensité de la houle et de ses événements extrêmes sur les champs d'éoliennes en mer est indispensable pour le dimensionnement des infrastructures et pour le suivi et la protection des chantiers. La pratique consiste à déployer sur site une bouée de mesure de la houle, du vent et d'autres caractéristiques locales, pendant au moins un an en amont de l'appel d'offre et de la conception. Dans le cadre des appels d'offre publics la mise en place de telles bouées est confiée à Météo France ou au SHOM qui les sous-traite à des entreprises. Les données de ces bouées sont des données publiques versées sur le site CANDHIS. On dispose alors pour le champ d'éoliennes d'une année de données de la bouée locale, des données des stations permanentes du réseau CANDHIS voisines du site, des climatologies de houle issues des modèles de météo marine (Météo France, SHOM, Ifremer). Les données de la bouée locale sur une année sont traitées pour (i) définir des caractéristiques moyennes de la houle ; (ii) analyser la corrélation aux bouées permanentes voisines ; (iii) évaluer la qualité des modèles de météo marine sur le site (utilisés pour reconstituer le climat de vagues sur de longues périodes ~20 ans) ; (iv) développer des modèles spécifiques à maille fine (en interne ou par sous-traitance) ; (v) estimer sur cette base les caractéristiques statistiques des événements extrêmes.

Houlomoteurs : Cette voie technologique génère de l'énergie à partir de la houle elle-même : elle consiste à extraire de l'énergie mécanique, hydraulique ou électrique à partir des mouvements de déformation de la surface de l'eau et des mouvements fluides dans la couche de surface. Cette filière fait l'objet de beaucoup d'investissements de R&D, d'innovations (2000 brevets, 400 technologies) et de démonstrateurs. Elle n'est toutefois pas encore passée en mode opérationnel²⁰.

Besoins exprimés et perçus : Les acteurs de l'éolien demandent une homogénéité des houlographes en service et une information complète sur leurs caractéristiques, qu'ils soient en service ou historiques, afin de mieux gérer l'utilisation de données de plusieurs houlographes dans le cadre de leurs modélisations à maille fine pour un site d'intérêt. Le site web CANDHIS actualisé répond à cette demande. Seuls 3 des 34 houlographes (2 en métropole, 1 outre-mer) sont non-directionnels. Ils demandent également un accès plus facile aux ré-analyses des états de mer produites par les établissements publics. Les moyens nécessaires pour répondre aux besoins de mesure in situ de la houle devraient être programmés dans le cadre de la PPE, sous le pilotage de la DGEC et en concertation avec le réseau CANDHIS.

¹⁹ <https://www.ecologie.gouv.fr/programmations-pluriannuelles-lenergie-ppe>

²⁰ Exemple projet HACE <https://hacewaveenergy.com/#contacts>

3.3.3 Submersion marine, protection des zones littorales

Dispositif de vigilance vagues submersion : La vigilance vagues-submersion est assurée par Météo France (cf. 5.3). Elle couple les prévisions de niveau de la mer du SHOM ; les données, modèles et prévision de Météo France sur la houle en zone côtière ; les observations in situ (CANDHIS et suivi en gestion de crise). L'ensemble des départements et territoires d'outre-mer bénéficie d'une capacité haute résolution de prévision des surcotes (< 1 km) et des vagues en zone côtière (~200 m).

La Direction générale de la sécurité civile et de la gestion de crises (DGSCGC), sous-direction de la préparation et de la gestion des crises, du ministère de l'intérieur n'est pas directement utilisatrice des données de mesure de la houle fournies par les houlographes. Elle s'appuie en revanche, en anticipation, sur les prévisions et la vigilance vague-submersion élaborées par Météo-France et le SHOM. Le Bureau d'analyse et de gestion des risques (BAGER) cherche post-crise à identifier les effets sur le trait de côte et les conséquences sur terre.

Acteurs de la GEMAPI : Comme indiqué en 3.3.1 les demandes d'accès aux données de houle par les collectivités territoriales et les acteurs de la GEMAPI pour des enjeux « risque de submersion marine » restent limitées en nombre (3 par an). Avec la montée en puissance des GEMAPI on peut s'attendre à une évolution rapide à la hausse. Certains acteurs de la GEMAPI ont d'ores et déjà intégré la mise en place de houlographes dans leur programmation, comme par

Programme d'actions de prévention contre les inondations de la Bresle, la Baie de Somme et l'Authie²¹ :

« ... Le 2ème axe du PAPI porte sur la surveillance, la prévision des crues et des inondations. Un houlographe sera mis en place au large de Cayeux-sur-mer, pour enregistrer les hauteurs et fréquences de houle. Corrélé aux informations récoltées par une sonde marégraphique, il va permettre de disposer de chiffres plus précis. ... des affiches seront posées dans les ports pour expliquer son rôle aux usagers de la mer. »

Besoins exprimés et perçus : Pour faire face au risque de submersion marine, les acteurs de la GEMAPI doivent prendre en compte des scénarios de hausse du niveau de la mer et d'augmentation de la fréquence des événements tempétueux et des surcotes associées. Ils souhaiteraient disposer d'un dispositif national et d'un interlocuteur de référence pour (i) les éclairer sur les tendances passées, organiser le retour d'expérience sur les événements extrêmes, leur expliquer les scénarios futurs, (ii) faciliter le partage d'expérience entre les différents acteurs de GEMAPI confrontés à la même problématique, notamment pour la définition des études, (iii) proposer un cadre pérenne de gestion des instruments de mesure (houlographes), des données et des services d'alerte associés.

Face au constat que chaque porteur de la GEMAPI doit commanditer des études spécifiques sur sa portion de littoral, plusieurs acteurs évoquent l'intérêt qu'il y aurait à disposer d'un référentiel officiel au niveau national : un produit national caractérisant le risque de submersion marine le long de tous les littoraux de métropole et d'outremer (composition du niveau de mer et des surcotes lié à des événements extrêmes, par exemple pour une fréquence centennale). De tels produits existeraient dans quelques pays européens (Royaume Uni, Pays-Bas,...). La mission n'a pas pu analyser de retours d'expérience sur ces produits. La Recommandation 8. formulée en 5.6 reprend cette idée dans le cadre d'un dispositif national intégré de connaissance des états de mer.

Un travail proactif d'information et de sensibilisation des acteurs GEMAPI en zones côtières permettrait de mieux valoriser les données CANDHIS et les autres produits de connaissance des états de mer en zone littorale, et d'impliquer les collectivités territoriales dans une stratégie nationale de mesure in situ de la houle.

²¹ <http://www.cerdd.org/Parcours-thematiques/Changement-climatique/Initiatives-changement-climatique/De-Berck-au-Treport-le-PAPI-met-la-cote-en-securite>.

Le cas des submersions marines générées par la tempête Xynthia (février 2010) ([4] et [5])

Dans la nuit du 27 au 28 février 2010, la tempête Xynthia a provoqué sur les littoraux situés dans la partie centrale du Golfe de Gascogne une catastrophe particulièrement meurtrière et dévastatrice. La tempête a généré au marégraphe de La Pallice (La Rochelle), une surcote de plus d'1.50 m en phase avec une marée haute de vives-eaux, ce qui a entraîné la submersion de nombreux cordons dunaires et inondé les zones basses du littoral.

Des approches de modélisation (cf. [5]) mobilisant données météorologiques, marégraphiques et houlographiques ont permis de reproduire les niveaux d'eau pendant Xynthia avec une erreur de l'ordre de 0.10 m et les hauteurs et périodes des vagues avec des erreurs de l'ordre de 15%. La trajectoire atypique de la tempête Xynthia, qui a traversé le Golfe de Gascogne du SO vers le NE, a réduit la zone de génération des vagues à quelques centaines de kilomètres, entraînant la présence de vagues très jeunes et cambrées qui ont augmenté la rugosité de l'océan et la surcote. L'étude a montré que, pendant la tempête Xynthia, les vagues ont autant contribué à la surcote que le vent et les gradients de pression atmosphériques.

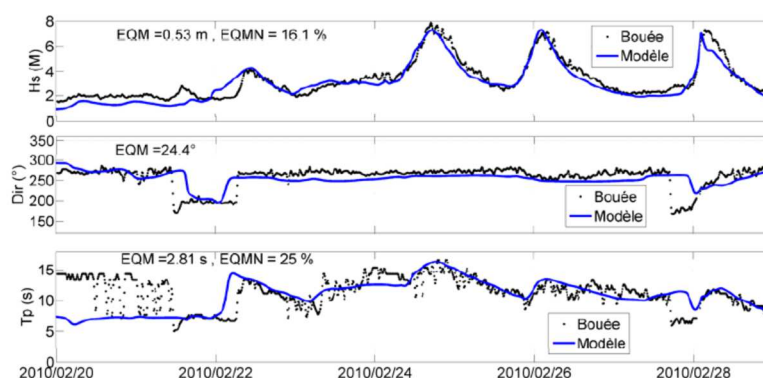


Figure 20 : comparaison entre prévisions du modèle et paramètres de vagues mesurés (source [5])

Une inspection menée par le CGEDD, l'inspection générale de l'Administration (IGA) et l'inspection générale des Finances (IGF) pour les ministères de la Transition écologique, de l'Economie, et de l'Intérieur [16], a pointé les insuffisances de l'évaluation du risque d'inondation par submersion (aléas de référence plus bas que les valeurs extrêmes enregistrées dans le passé ; zonages sous-évaluant l'intensité des aléas effectifs. Elle a recommandé :

- de reprendre les atlas des zones inondables par submersion marine sur l'ensemble du littoral atlantique, en s'appuyant sur des évaluations statistiques et les événements historiques;
- d'élaborer ou réviser en conséquence l'ensemble des PPR littoraux en conséquence de la proposition précédente ;
- de fixer par voie réglementaire la définition des aléas de référence inondation et submersion marine ; intensité, délimitation des zones de danger et des mesures applicables à ces zones ;
- d'entériner par voie réglementaire le principe dit « de la transparence des digues » indiquant comme inondables les surfaces qui seraient atteintes par les eaux si les digues rompaient.

Cet exemple illustre comment le couplage de la mesure in situ de la houle, des données marégraphiques, des données météorologiques et de la modélisation des états de mer peuvent contribuer à caractériser et maîtriser le risque de submersion marine.

;

3.3.4 Gestion des zones littorales : suivi écologique, trait de côte, tourisme

Suivi écologique, suivi du trait de côte : La dynamique du trait de côte et l'érosion du littoral sont particulièrement liés aux événements extrêmes. Les études, analyses post-événements et modélisations, mobilisent l'information sur la houle et sur les courants :

- La houle a une forte influence sur la turbidité des eaux dans le domaine littoral, le déferlement des vagues provoquant la remise en suspension des sédiments qui sont alors soumis au transport général par les courants côtiers.
- Les courants, côtiers et au large, sont les principaux moteurs du transport et du déplacement des panaches de turbidité et des blooms phytoplanctoniques : les études utilisent les données du modèle de courant de Copernicus²² à une maille de 4 km, ou du modèle de courant MARS-3D du projet MARC plus précises et mieux résolues, mais lourdes d'utilisation.,

Dans ce domaine, le SHOM a couplé ses modèles de prévision des états de mer au modèle XBEACH, un outil de modélisation numérique morpho-dynamique de la zone littorale qui reproduit certains phénomènes, notamment l'érosion dunaire, se déroulant pendant les tempêtes (cf. Annexe 5).

Activités nautiques : Le monde des activités nautiques (navigation de plaisance, surf) est intéressé par des prévisions fiables : taille de la houle, direction, période, vent sur la cote au point donné de la pratique nautique. Les besoins exprimés portent essentiellement sur l'augmentation du nombre et de la fiabilité des bouées houlographiques afin de bénéficier des données plus précises et représentatives. Des suggestions sont formulées sur le potentiel de valorisation des données des webcams qui permettent un suivi participatif des états de mer.

Exemple d'utilisation des données : un site web <https://www.lacanausurfinfo.com> référence tous les sites nécessaires à établir des prévisions d'état de mer pour la pratique du surf²³. Il renvoie vers 3 sites de bouées houlographiques (CANDHIS, NDBC et la bouée Météo France du Golfe de Gascogne), vers un réseau de webcam le long du littoral permettant de voir en direct l'évolution des conditions (www.viewsurf.com, www.webcam-hd.fr), vers autres sites dédiés au surf²⁴.

Installations en mer pour l'exploitation de nouvelles activités humaines : Des projets d'installations en mer destinées à l'exploitation de nouvelles activités humaines prennent forme, à un stade encore visionnaire ou bien en étude de faisabilité : ils portent sur des finalités récréatives ou touristiques, résidentielles (logements permanents ou saisonniers...) ou économiques (plateformes offshore multi-usages, fermes flottantes). Les besoins en information sur les états de mer sur le site d'installation seront alors comparables à celui des EMR. Le rapport « *Installations en mer - Une économie bleue durable ?* », CGEDD-IGAM 2019, leur est consacré. Il n'évoque que de façon concise la question de la connaissance des états de mer spécifiques des sites d'installation en préconisant que les pouvoirs publics édictent un cahier des charges (sécurité maritime, sécurité des personnes à bord, protection de l'environnement,) dont le contrôle de réalisation serait confié aux sociétés de certification reconnues en matière maritime.:

²² Exemple <https://www.cmcc.it/doi/mediterranean-sea-physics-analysis-and-forecast-cmems-med-currents-eas5-system> pour les courants en Méditerranée

²³ <https://www.lacanausurfinfo.com/page/previsions-surf-plage-39/votre-meteo.html>

²⁴ <https://www.francesurfinfo.com/>; <https://www.allosurf.net/meteo/surf/cartes-meteo-surf-3.html>; <https://www.surflin.com/surf-forecasts/southwest-france/58581a836630e24c4487900e>; <https://fr.magicseaweed.com/>; <https://www.windguru.cz/>

3.4 Synthèse : enjeux et besoins des utilisateurs

L'utilisation des données de mesure in situ de la houle relève de trois logiques : (i) le téléchargement systématique des données pour la modélisation des états de mer (Météo France, SHOM et Ifremer) ; (ii) la consultation en temps réel via le site web (600 000 consultations en 2020, +10% par an) ; (iii) la demande de données auprès du Cerema (~120 demande par an, chiffre stable).

L'analyse des demandes de données sur la période 2012-2021 fournit quelques enseignements et donne une image (inévitavelmente imparfaite) de la diversité des utilisateurs et de leurs thématiques :

- Hors information en temps réel, l'utilisation directe des mesures in situ (CANDHIS) reste limitée, la plupart des acteurs semblant privilégier les sorties de modélisation (Météo France, SHOM, sites étrangers) en raison de leur spatialisation continue et de leurs prévisions.
- Les utilisateurs, très majoritairement professionnels, se répartissent à parts égales entre sphère publique (services de l'Etat, Etablissements publics, recherche, collectivités 48%) et sphère privée (bureaux d'étude, autorités portuaires, entreprises 44%).
- Les principales thématiques d'utilisation finalisées portent sur le suivi du littoral et du trait de côte (30%), risque de submersion marine (18%), énergies marines renouvelables (EMR) (14%), activités portuaires et la navigation (14%), suivi environnemental et la pêche (13%).

Il existe donc bien un ensemble large d'utilisateurs, constitué en communautés distinctes selon les thématiques d'intérêt. Cet ensemble n'est pas structuré et les communautés elles-mêmes le sont encore peu²⁵. Certains acteurs comme les Pôles Mer contribuent à cette structuration.

Les utilisateurs de données consultés au cours de la mission s'accordent sur la qualité des produits de prévision marine de Météo France et du SHOM, et sur la valeur des données du réseau CANDHIS tant pour l'information « temps réel » que pour le « patrimoine de données ». Ils peinent toutefois à identifier une stratégie nationale : les sites de données in situ (CANDHIS - Cerema) et les sites de météo marine ou vigilance vagues submersion (Météo France, SHOM) constituent des entités distinctes sans renvois croisés. En l'absence d'une offre intégrée des produits, la recherche et l'accès à l'information d'intérêt se font de façon hétérogène et non optimale, à la fois opportuniste (au cas par cas selon les besoins) et en fonction de la connaissance des sites, très variable selon les acteurs.

Les besoins exprimés vis-à-vis du réseau CANDHIS portent sur

- un accès facilité aux données et à la description des stations ;
- un renforcement du réseau en outre-mer ;
- des produits nationaux à valeur ajoutée (la caractérisation statistique de la conjonction houle – marée – surcote le long de l'ensemble du littoral national; des bilans décennaux « état de mer » des tempêtes ; l'analyse des tendances d'évolution de la houle sur 30 ans ;...). La réponse à ce besoin est formulée dans la Recommandation 5. de la stratégie (cf. 5).
- une meilleure information des utilisateurs, une animation susceptible de répondre à leurs questionnements et de favoriser le partage d'expérience. La réponse à ce besoin est formulée dans la Recommandation 5. de la stratégie (cf. 4.3).

²⁵ A l'exception des communautés scientifiques (ex. l'Infrastructure de recherche littorale et côtière ILICO).

4 Stratégie d'évolution du réseau CANDHIS à l'horizon 2031

Le réseau CANDHIS a connu de fortes évolutions depuis sa constitution en 1985 (cf. 2.1.2 et Figure 7). En 2021 il compte 34 houlographes en service (26 en métropole et 8 en outremer) et gère un système d'information rassemblant et diffusant les données de houle de 105 houlographes pour un total équivalent à 600 années de mesure. Il fait face à trois enjeux principaux :

- Sur le plan technique : la sécurisation du dispositif dans sa configuration actuelle, en assurant la capacité de maintenance et de renouvellement des équipements ; son renforcement à moyen terme par la mise en place de stations additionnelles, prioritairement en outre-mer (cf. 2.4).
- Sur le plan de la valorisation : le développement de l'interaction avec les communautés utilisatrices de ses données, afin de mieux connaître leurs besoins et y répondre, et de stimuler la valorisation des données en informant sur les produits et services existants, en accompagnant les pratiques et le partage d'expérience, (cf. 3.4).
- Sur le plan financier : la sécurisation de son mode de financement sur plusieurs années, afin d'assurer la pérennité du dispositif et d'optimiser sa trajectoire d'évolution en fonction des besoins et des ressources mobilisables. (cf. 2.4).

Cette partie propose une stratégie d'évolution du réseau permettant de répondre au mieux à ces enjeux.

4.1 Les scénarios de sécurisation et d'extension explorés

Le Cerema, Météo France et le SHOM ont fait en 2019 (cf. [1]) une proposition concertée de remise à niveau du réseau de bouées houlographiques. Cette proposition avait principalement trois motivations, toutes trois liées aux enjeux technique et financier cités plus haut :

- Améliorer la couverture in situ du littoral des départements outremer, en nombre de bouées et en qualité de service, de façon à combler des lacunes (*Nouvelle-Calédonie, Wallis & Futuna, Polynésie française, Saint-Martin, Saint-Barthélemy, Guyane, Mayotte*) ou des faiblesses (*par ex. arrivée en fin de vie de plusieurs houlographes en Martinique*) de la couverture géographique.
- Améliorer la couverture in situ du littoral métropolitain, pour renforcer la capacité à déployer des modèles à maille fine : cette motivation repose d'une part sur la perception d'une demande accrue des acteurs des territoires littoraux.
- Sécuriser le fonctionnement d'ensemble du réseau CANDHIS.

4.1.1 Optimisation géographique de l'implantation des houlographes

L'étude d'optimisation de l'emplacement des houlographes repose sur l'analyse des zones de représentativité des houlographes actuels²⁶, c'est-à-dire de la zone pour laquelle chacun d'eux est représentatif. Elle s'autorise une flexibilité de localisation de certains houlographes actuels, quand il est constaté que les zones de représentativité de deux houlographes se superposent. La méthodologie mobilise une base de données résultant de simulations numériques rétrospectives des états de mer (base ANEMOC, Atlas Numérique des Etats de Mer Océaniques et Côtiers) (cf. Annexe 8).

L'étude d'optimisation conclue sur la pertinence d'un renforcement du réseau actuel par 23 à 24 nouveaux houlographes, classés en priorités 1 (13 houlographes) et 2 (10 ou 11). (cf. Tableau 9).

²⁶ « Zone de représentativité d'un houlographe » : ensemble des points pour lesquels la corrélation entre les caractéristiques des vagues en ce point et les caractéristiques des vagues au houlographe dépasse un seuil convenu.

Avis de la mission sur les priorités d'implantation de nouveaux houlographes : La méthode d'analyse déployée est pertinente. Elle part logiquement de la configuration actuelle pour identifier les zones sous-représentées. Elle est robuste en ce qu'elle ne dépend pas tant de la précision absolue des modèles de ré-analyse des états de mer (ANEMOC), que du réalisme de leurs dynamiques spatiales. Le cas échéant, l'étude pourra être confortée en appliquant la même méthode aux sorties de ré-analyses des modèles de simulation de Météo France et du SHOM et aux traitements d'images satellitaires.

La liste des 23-24 localisations de nouveaux houlographes apparaît donc fondée. Le classement des priorités est pertinent, nonobstant le cas de la Guyane qui n'apparaît pas explicitement et où un houlographe temps réel doit impérativement être déployé en priorité 1 (ajouté dans le Tableau 9).

	Priorité 1	Priorité 2
Métropole		
Calvados	► 1 bouée en baie de Seine face aux plages du débarquement	
Pays de la Loire / Vendée	► 1 bouée dans le Pertuis-Charentais (face à La Rochelle ou une autre zone sensible)	
Bretagne		► 1 bouée au sud-est de la Bretagne (pointe de Penmarc'h) ► 1 bouée en baie du Mont-Saint-Michel
Alpes-Maritimes	► 1 bouée devant Saint-Tropez ou Fréjus	
Corse	► 1 bouée au sud-ouest de la corse (secteur d'Ajaccio ou de Propriano)	► 2 bouées respectivement au sud-est et au nord de la corse
Outre-mer		
Réunion et Océan Indien	► 2 bouées à la Réunion (Sainte-Marie et Saint-Pierre)	► 2 bouées supplémentaires à la Réunion (nouvelle route du littoral et Sainte-Rose)
	► 1 bouée à Mayotte (Nord du lagon, en cours d'instruction en 2019)	► 1 bouée supplémentaire à Mayotte (Ouest)
Guadeloupe, Saint-Martin et Saint-Barthélemy	► 1 bouée commune pour les îles du Nord (St-Martin/St-Barthélemy)	
Nouvelle-Calédonie	► 2 bouées au large sud de Nouméa (à l'extérieur du récif) et au large est de l'île de Maré	
Wallis et Futuna		► 1 bouée pour Futuna, à la pointe sud-est de l'île
Polynésie française	► 1 bouée dans le secteur Matahiva, au niveau du PK routier 29, au large à 1 NM environ (houles de N et NW) ► 1 bouée dans la baie de Punaauia, face au PK routier 13,5 à environ 0,7 NM (houles de S, SW) ► 1 bouée à l'est de Teahupoo, à l'extrême sud-est de la Presqu'île, pointe Fareara, à 0,7 NM ► 1 bouée à Moorea, pointe sud Nuupere, commune de Maatea, au sud de la passe de Teruaupu	► 2 à 3 bouées sur les îles sous le Vent, les Tuamotu ou les Australes.
Guyane	► 1 bouée (emplacement à déterminer)	

Tableau 9 : Priorités d'implantation de nouveaux houlographes (Etude Cerema-Météo France-SHOM 2019)
(nota 1 : station « Guyane » ajoutée par la mission ; nota 2 : station Mayotte Pr1 implantée en 2021)

Il conviendra d'expliciter les actions prioritaires de déplacement de certains houlographes en métropole. La mission insiste sur l'intérêt qu'il y a à disposer de quelques séries de mesure longues et continues sur un même site pour détecter des évolutions des régimes de houle liées au changement climatique. Elle émet de fortes réserves sur le déplacement de houlographes depuis des sites ayant plus de dix ans d'enregistrement au profit de nouveaux sites jugés plus représentatifs. Elle déconseille particulièrement le déplacement du houlographe de Belle-Ile en mer (n° 05602).

4.1.2 Scénarios d'évolution du réseau CANDHIS

La capacité à renforcer le réseau CANDHIS en déployant de nouveaux houlographes, sur la base de l'étude d'optimisation (Tableau 9), dépendra des ressources mobilisables à moyen terme. L'étude d'optimisation de 2019 (cf. [1]) propose cinq scénarios (Tableau 10) détaillés en Annexe 8 :

- Le scénario 0 correspond au statu quo 2019.
- Le scénario 1 correspond au statu quo 2019 avec une optimisation à la marge de l'existant, en modifiant la localisation de certaines bouées pour améliorer la couverture d'ensemble.
- Le scénario 2 combine l'optimisation du scénario 1 et la sécurisation de 7 stations (4 transférées de la DREAL Occitanie au Cerema ; 3 renouvelées en Martinique).
- Le scénario 3 prévoit l'ajout au scénario 2 de 13 stations (3 stations en métropole et 10 outremer) selon la priorité 1 du Tableau 9.
- Le scénario 4, le plus ambitieux, prévoit l'ajout au scénario 3 de 9 autres stations (2 stations en métropole et 7 outremer) selon la priorité 2 du Tableau 9.

Scénario	Intitulé	Scénario	Nb stations			
			Total	Cerema - Météo France		Partenaires
				Total	Réseau actuel	Extension
Scénario 0	Statu quo	Scénario 0	32	20	20	0
		métropole	25	15	15	0
		outremer	7	5	5	0
Scénario 1	Optimisation	Scénario 1	32	20	20	0
	optimisation du réseau existant par redéploiement de stations de mesure (métropole)	métropole	25	15	15	0
		outremer	7	5	5	0
Scénario 2	Optimisation + Occitanie	Scénario 2	32	24	24	0
	Séenario 1 + transfert de 4 houlographes de la DREAL Occitanie au Cerema + réhabilitation de 3 houlographes Martinique	métropole	25	19	19	0
		outremer	7	5	5	0
Scénario 3	Renforcement 1	Scénario 3	45	37	24	13
	Scénario 2 + 13 nouveaux houlographes Priorité 1	métropole	28	22	19	3
		outremer	17	15	5	10
Scénario 4	Renforcement 2	Scénario 4	54	46	24	22
	Scénario 3 + 9 nouveaux houlographes Priorité 1	métropole	30	24	19	5
		outremer	24	22	5	17

Tableau 10 : Scénarios d'évolution du réseau CANDHIS (source Cerema, Météo France, SHOM 2019)

Ces scénarios ont été chiffrés (Tableau 11) pour la partie évolutive gérée par le Cerema et Météo France. Les coûts de gestion des partenaires finançant l'opération de leurs stations n'ont pas été intégrés.

Scénario	Intitulé	Nb stations				Budget			personnel	Coût sur 10 ans	
		Total	Sécurisation actuel	Extension (nb. Stations)	Autres gestionnaires	Investissement	Mise à niveau année 1	Fonctionnement (K€/an)		Estimation 10 ans (K€)	Equiv. annuel, hors invest.
Scénario 0	Statu quo	20	20	0		0	0	257,8	3,5	5 378	258
	métropole	15	15	0		0	0	150	2	3 100	150
	outremer	5	5	0		0	0	107,8	1,5	2 278	108
Scénario 1	Optimisation	20	20	0		0	0	257,8	3,5	5 378	258
	métropole	15	15	0		0	0	150	2	3 100	150
	outremer	5	5	0		0	0	107,8	1,5	2 278	108
Scénario 2	Optimisation + Occitanie	24	24	0		0	213	397,5	3,5	6 988	419
	métropole	19	19	0		0		203	2	3 630	203
	outremer	5	5	0		0	213	194,5	1,5	3 358	216
Scénario 3	Renforcement 1	37	24	13		917,5	213	873	4,4	13 381	894
	métropole	22	19	3		187,5		235	2	4 138	235
	outremer	15	5	10		730	213	638	2,4	9 243	659
Scénario 4	Renforcement 2	46	24	22		1569	213	1205	5,7	18 392	1 226
	métropole	24	19	5		310		256	2,5	4 870	256
	outremer	22	5	17		1259	213	949	3,2	13 522	970

Tableau 11 : Coûts des scénarios d'évolution du réseau CANDHIS – composante Cerema-Météo France (source : rapport Cerema, Météo France, SHOM 2019 + traitement par la mission)

Les coûts consolidés (investissement, fonctionnement, ressources humaines) sur 10 ans des scénarios 2, 3 et 4 varient de 7 M€ à 18 M€, correspondant en moyenne à 20 K€/an pour un houlographe en métropole et 62 K€/an pour un houlographe en outremer. Leurs budgets de fonctionnement et maintenance annuels (hors personnels) sont respectivement de 400 K€/an, 870 K€/an et 1200 K€/an.

Ces besoins budgétaires sont très éloignés des dotations publiques actuelles (140 K€/an pour le Cerema, cf. 2.3.3.2). Si le coût de fonctionnement et maintenance des 3 scénarios est relativement stable en métropole (de 203 à 256 K€/an de fonctionnement soit un facteur multiplicateur de 1 à 1,3 selon le scénario), il est très fortement variable outremer (de 216 K€ à 970 K€, soit un facteur multiplicateur de 1 à 4,7).

L'analyse de l'état du réseau en 2021 et l'analyse critique des scénarios d'évolution proposés conduisent la mission à définir deux scénarios d'évolution : un scénario socle de sécurisation de la configuration 2021, un scénario-cible fixant des objectifs justifiés et réalistes sur un horizon de dix ans.

4.1.3 Scénario socle préconisé

Le scénario-socle acte l'état du réseau en 2021 ainsi que les actions engagées et programmées en 2022 et 2023. Il intègre ainsi le scénario 2 et certains éléments du scénario 3 :

- Il acte le fait que les 4 houlographes d'Occitanie ont été transférés en 2021 de la DREAL Occitanie au Cerema (élément réalisé du scénario 2) et intègre leurs coûts de fonctionnement.
- Il acte la mise en service du houlographe de Mayotte et intègre ses coûts de fonctionnement.
- Il acte l'acquisition par le Cerema de 3 bouées houlographiques destinées à être implantées en 2022-2023 l'une en Guyane, les deux autres en Méditerranée (éléments partiellement réalisés du scénario 3) et intègre leurs coûts de fonctionnement.
- Il prévoit le remplacement de 3 houlographes de Martinique (élément à réaliser du scénario 2)
- Il prévoit l'optimisation du réseau en métropole par changement de localisation de certaines stations (éléments à réaliser du scénario 2).

Il porte ainsi sur 37 stations dont 28 en métropole et 9 en outre-mer, parmi lesquelles 19 houlographes à la charge financière du Cerema (16 en service en 2021 et 3 nouveaux dont un outre-mer), 6 à la charge financière de Météo France (en service en 2021) et 12 à la charge financière de partenaires.

4.1.4 Scénario cible préconisé

La mission préconise d'adopter le scénario 3 comme objectif cible à atteindre à l'horizon 2031. Il implique par rapport au scénario-socle .

- L'installation de 9 stations additionnelles en outre-mer et de 2 stations additionnelles en métropole, comme une réponse adaptée à la nécessité de renforcer la couverture sur les zones en outre-mer où elle est aujourd'hui inexistante ou insuffisante, et de mieux ajuster le réseau en métropole,
- La définition d'une trajectoire de mise en œuvre sur 10 ans permettant d'atteindre la cible à l'horizon 2031. Cette trajectoire sera adaptée à la mobilisation de financements et cofinancements, tant pour l'investissement que pour la sécurisation du fonctionnement.

Le scénario-cible porte ainsi sur 48 stations dont 30 en métropole et 18 en outre-mer, parmi lesquelles 36 houlographes à la charge financière du Cerema et de Météo France et 12 à la charge financière de partenaires. D'autres stations hors scénario-cible pourront être implantées à l'initiative de partenaires, sous leur responsabilité et leur financement.

4.2 La stratégie recommandée pour 2022-2031

La stratégie d'évolution du réseau CANDHIS sur la période 2022-2031 repose sur quatre composantes :

- (i) une clarification de la gouvernance du réseau CANDHIS,
- (ii) la mise en œuvre articulée de deux plans d'actions complémentaires :
 - un « plan d'actions de sécurisation du réseau » garantissant la viabilité de la configuration 2021 et des actions engagées (28 stations en métropole, 9 en outre-mer). Ce plan d'action correspond au scénario-socle et constitue la première priorité.
 - un « plan d'actions de développement du réseau » visant à atteindre la configuration requise à l'horizon 2031 (30 stations en métropole et 18 en outre-mer). Ce plan d'actions correspond au scénario-cible. Sa trajectoire de mise en œuvre sera adaptée aux ressources d'investissement et aux ressources sécurisées en fonctionnement.
- (iii) La sécurisation du système d'information actuel
- (iv) le développement au sein du réseau CANDHIS d'un dispositif d'animation des communautés utilisatrices.

Cette stratégie repose sur l'analyse de l'état du réseau national de mesure in situ de la houle en 2021 et l'identification de voies d'amélioration (cf. 2.4), sur l'analyse des besoins des communautés utilisatrices (cf. 3.4) et sur l'identification d'un scénario cible de dimensionnement du réseau à l'horizon 2031 (cf. 4.1.4). Ses quatre composantes sont détaillées dans la partie 4.3.

Recommandation 1. Pour le ministère de la Transition écologique et le ministère de la Mer, assurer la pérennisation du réseau national de mesure in situ de la houle en mettant en œuvre une stratégie 2022-2031 en quatre composantes : (i) clarifier la gouvernance du réseau CANDHIS, (ii) mettre en œuvre deux plans d'actions complémentaires : un plan d'actions de sécurisation assurant pour dix années l'opérationnalité du réseau dans sa configuration actuelle (scénario-socle : 28 stations en métropole, 9 en outre-mer) et un plan d'actions de développement renforçant progressivement le réseau, principalement en outre-mer, pour atteindre la configuration requise à l'horizon 2031 (scénario-cible : 30 stations en métropole et 18 en outre-mer), (iii) sécuriser le système d'information CANDHIS ; (iv) soutenir le développement au sein du réseau CANDHIS d'un dispositif d'animation des communautés utilisatrices.

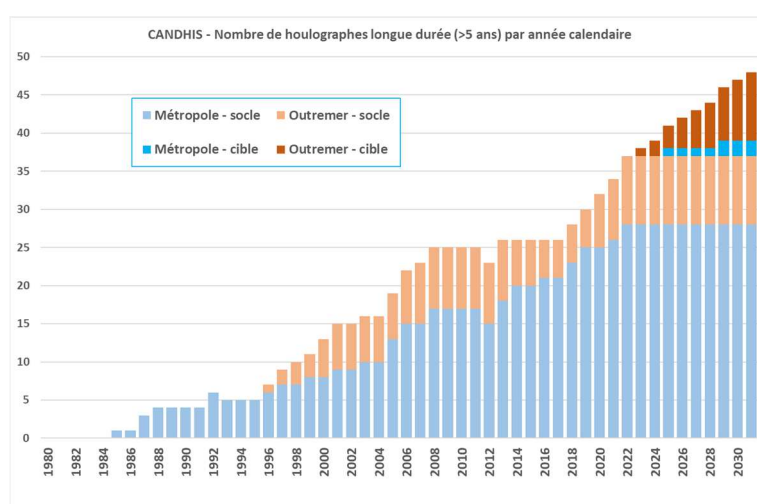


Figure 21 : Evolution 2022-2031 du nombre de houlographes : scénario-socle et scénario-cible

4.3 La mise en œuvre de la stratégie 2022-2031

4.3.1 Gouvernance du réseau CANDHIS

La mission recommande fortement, dans la partie 5 de ce rapport, de structurer le dispositif national de connaissance des états de mer, dont le réseau CANDHIS constitue l'une des composantes. C'est donc à ce niveau que devrait être définie la gouvernance, et non au niveau du seul réseau CANDHIS.

Dans le cas où la gouvernance du dispositif CANDHIS serait considérée isolément de ses interactions avec les autres composantes du dispositif national de connaissance des états de mer (cf. 5.4 et 5.5), elle devrait s'articuler autour des éléments suivants :

Missions :

- (i) Coordonner l'effort national de mesure in situ de la houle en assurant la complétude, la qualité de service, la pérennité des dispositifs de mesure, ainsi que le contrôle qualité, la gestion et la diffusion des données et produits qui en résultent ;
- (ii) Assurer le lien avec les communautés utilisatrices par la mise en place d'un dispositif d'animation visant à connaître les besoins de ces communautés, à les informer des données et produits existants, à les accompagner dans le partage d'expérience et l'identification des compétences ;

Productions attendues :

- (i) Données temps réel des stations et consolidation des séries de données temps différé.
- (ii) Synthèses annuelles sur les états de mer ; synthèses sur les événements du réseau et sur l'utilisation des données par les utilisateurs ; journée annuelle d'animation nationale,

Organisation :

- (i) Désignation formelle du Cerema comme pilote du réseau CANDHIS, voire comme référent national « mesure de la houle », sur le modèle du rôle de référent national « niveau de la mer »²⁷ confié au SHOM, option toutefois privilégiée pour la mise en œuvre de la partie 5.
- (ii) Mise en place d'une instance de pilotage rassemblant Cerema (pilote), Météo France, Directions d'administration centrale impliquées dans le financement de CANDHIS (DGPR, DGITM, DGALN, DGEC, future DGMer...) et deux représentants des utilisateurs (par exemple un représentant des pôles Mer ou du cluster maritime) et de la communauté scientifique. Cette instance de pilotage se réunirait deux fois par an.

Recommandation 2. Gouvernance : Pour le ministère de la Transition écologique et le ministère de la Mer, officialiser le rôle du Cerema comme pilote du réseau CANDHIS et mettre en place une instance de pilotage rassemblant le Cerema, Météo France, les Directions d'administration centrale impliquées dans le financement de CANDHIS (DGPR, DGITM, DGALN, DGEC, future DGMer...), et deux représentants des utilisateurs (pôles mer ou cluster maritime) et de la communauté scientifique.

²⁷ L'instruction n°863/SGMER de 2010 relative à l'observation du niveau de la mer, la gestion et la diffusion des données.

4.3.2 Plans d'actions de sécurisation et de développement

4.3.2.1 : Plan d'actions de sécurisation du réseau dans sa configuration 2021 (scénario socle)

Le scénario-socle (cf. 4.1.3) consiste à assurer pour 10 ans la viabilité et la qualité de service du dispositif dans sa configuration 2021 en y intégrant les actions engagées. Il porte sur 37 stations dont 28 en métropole et 9 en outre-mer. Le plan d'actions pour sa mise en œuvre implique :

- Le renouvellement de 3 houlographes en Martinique (Météo France)
- La mise en place en 2022-2023 de 3 nouveaux houlographes déjà acquis (Cerema)
- L'optimisation de la couverture en métropole par relocalisation de houlographes (Cerema)
- L'opération-maintenance de 19 houlographes à la charge financière du Cerema (18 en métropole et 1 outremer) et de 6 à la charge financière de Météo France (5 outremer)
- L'opération-maintenance de 12 houlographes à la charge de partenaires. (Partenaires)
- La gestion du système d'information, le traitement et la diffusion des données (Cerema)
- L'animation des communautés utilisatrices (Cerema)

Scénario-socle	Métropole	Outremer	Total	Cerema	Météo France	Total
Nb houlographes à la charge de Cerema-MF	18	7	25	19	6	25
Provision renouv. (coût unitaire)	4,2	8,0				
Provision renouv. (coût annul total)	75,0	56,0	131,0	83,0	48,0	131,0
Opération (coût unitaire)	6,5	20,0				
Opération (coût annuel total)	117,0	140,0	257,0	137,0	120,0	257,0
Total (K€/an)	192,0	196,0	388,0	220,0	168,0	388,0
Renouvellement de houlographes		3	3		3	3
Total investissement (K€)		213,0	213,0		213,0	213,0

Tableau 12 : Evaluation du coût du scénario socle

Le coût de mise en œuvre de ce plan d'actions de sécurisation (scénario-socle) a été estimé en utilisant les coûts unitaires du Tableau 43. Il inclut un investissement initial de 213 K€ (remplacement des 3 houlographes de Martinique), la mobilisation de 4,5 ETP et un coût annuel de fonctionnement de la composante Cerema-Météo France de 388 K€/an en euros constants (cf. Tableau 12). Ce coût de fonctionnement se répartit entre 257 K€/an de coûts d'opération et maintenance et 131 K€/an de provisions pour renouvellement des 25 houlographes.

Maintenir, sur la période 2022-2031, le niveau de performance du réseau CANDHIS dans sa configuration 2021, sans envisager de montée en puissance, requiert :

- D'assurer au Cerema, en charge du financement de l'opération-maintenance-amortissement de 19 stations et de la gestion d'ensemble du réseau, un socle de financement de fonctionnement stable de 220 K€/an (137 K€/an d'opération maintenance ; 83 K€/an de provision pour renouvellement), tout en maintenant la mise à disposition par le Cerema de 3 ETP et la mise à disposition par les DIRM de moyens nautiques selon les conditions actuelles.
- D'assurer à Météo France, en charge du financement de l'opération-maintenance-amortissement de 6 stations outre-mer, un financement d'investissement initial de 213 K€ et un socle de financement de fonctionnement stable de 168 K€/an (120 K€/an d'opération maintenance ; 48 K€/an de provision pour renouvellement), tout en maintenant la mise à disposition par Météo France de 1,5 ETP, et en négociant avec les DM des accords de mise à disposition de moyens nautiques comparables à ceux pratiqués par les DIRM en métropole.
- D'assurer la mise en place de moyens d'animation des communautés utilisatrices, mobilisant des ressources estimées à 0,5 ETP et 25 K€/an.

4.3.2.2 : Plan d'actions de renforcement et d'optimisation (scénario cible)

Le scénario-cible (cf. 4.1.4) définit l'objectif de renforcement du réseau à atteindre à l'horizon 2031. Il inclut le scénario-socle et le complète par 9 stations en outre-mer et 2 stations en métropole. Il porte ainsi sur 48 stations dont 30 en métropole et 18 en outre-mer. Le plan de mise en œuvre implique :

- La mise en œuvre du plan d'actions de sécurisation (scénario-socle)
- La mise en place de 9 nouvelles stations en outre-mer (Cerema-Météo France)
- La mise en place de 2 nouvelles stations en métropole (Cerema)
- L'opération-maintenance de ces 11 nouveaux houlographes (Cerema-Météo France)
- La mobilisation de cofinancements pour la mise en place du dispositif cible à l'horizon 2031

D'autres stations implantées hors scénario-cible (sur des sites non prioritaires) à l'initiative de partenaires, le seront sous leur responsabilité et à leur charge financière.

Scénario-cible	Métropole	Outremer	Total
Nb houlographes à la charge de Cerema-MF	20	16	36
Provision renouv. (coût unitaire)	4,2	8,0	
Provision renouv. (coût annul total)	83,3	128,0	211,3
Opération (coût unitaire)	6,5	20,0	
Opération (coût annuel total)	130,0	320,0	450,0
Total Fonctionnement (K€/an)	213,3	448,0	661,3
Renouvellement de houlographes		3	3
Renouvellement de houlographes (K€)		213,0	213,0
Nouveaux houlographes	2	9	11
Coût acquisition	62,5	79	
Acquisition de houlographes (K€)	125,0	711,0	836,0
Total investissement (K€)	125,0	924,0	1049,0

Tableau 13 : Evaluation du coût du scénario-cible (incluant le scénario-socle)

Le coût du plan d'actions de renforcement-optimisation (scénario-cible) a été estimé en utilisant les coûts unitaires du Tableau 43. Il inclut un investissement initial de 213 K€ (remplacement des 3 houlographes), un investissement de 836 K€ (implantation de 11 nouveaux houlographes), et une fois atteinte la configuration cible, la mobilisation de 5,2 ETP et un coût annuel de fonctionnement de la composante Cerema-Météo France de 661 K€/an en euros constants 2021, (cf. Tableau 13) réparti en 450 K€/an d'opération maintenance et 211 K€/an de provision pour renouvellement.

La trajectoire pour atteindre cette configuration cible requiert de mobiliser les ressources suivantes :

- D'assurer un investissement de 1049 K€ sur 10 ans.
- D'assurer un budget annuel de fonctionnement, pour le Cerema et Météo France, de 661 K€/an une fois le dispositif cible en place.
- D'assurer 5,2 ETP de moyens humains Cerema et Météo France pour la gestion du réseau.
- D'assurer des moyens d'animation des communautés utilisatrices de 0,5 ETP et 25 K€/an.
- De négocier en outre-mer des accords de mise à disposition de moyens nautiques pour la maintenance préventive comparables à ceux pratiqués en métropole.

Comparé au scénario-socle le scénario cible implique un complément d'investissement de 836 K€ en 10 ans, un complément de budget de fonctionnement de 273 K€/an une fois le dispositif cible en place, et une augmentation progressive des moyens humains estimée à 0,7 ETP sur 10 ans (de 4,5 à 5,2 ETP).

4.3.3 Hypothèses de financement

La Figure 21 illustre l'évolution du nombre de houlographes du réseau CANDHIS opérés et/ou financés par le Cerema et Météo France²⁸, et les besoins de financement sur la période 2022-2031.

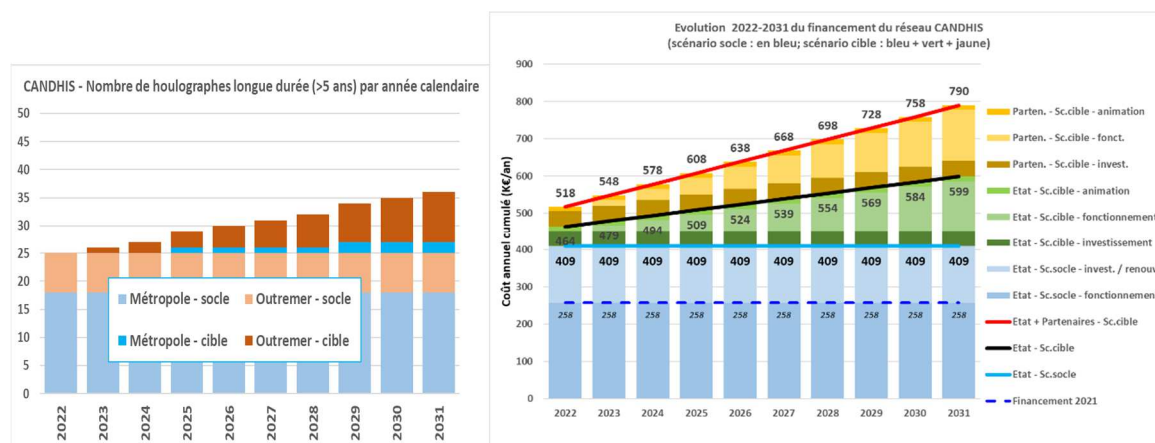


Figure 22 : Scénarios d'évolution du nombre de houlographes et schéma de financement 2022-2031

Le trait continu bleu sur la figure de droite représente les besoins en financement du scénario socle (409 K€/an) répartis entre une composante opération maintenance (258 K€/an) et une composante investissement / provision pour renouvellement (151 K€/an). Le trait tireté bleu foncé indique le niveau de financement de 2021. Le besoin de financement complémentaire est donc de 151 K€/an.

Le trait continu rouge représente les besoins en financement du scénario cible en supposant sa mise en œuvre linéaire sur 10 ans, de 518 K€/an à 790 K€/an sur la période. Le nombre de houlographes passe de 25 (scénario socle) à 36 (scénario-cible).

Le schéma de financement proposé repose sur trois règles :

- Règle 1 : le financement du scénario-socle sur budget de l'Etat ;
- Règle 2 : la prise en charge des « provisions pour renouvellement » sur des financements « fonctionnement » ou « investissement », selon les opportunités ;
- Règle 3 : le cofinancement du différentiel entre scénario cible et scénario socle à parts égales entre l'Etat et les partenaires (collectivités territoriales et acteurs économiques).

Sur la Figure 22 (droite) le trait noir divise le différentiel entre scénario-socle (trait bleu) et scénario-cible (trait rouge) en deux parties égales : la partie verte à la charge de l'Etat et la partie jaune à la charge des partenaires. Le trait noir représente le financement total à la charge de l'Etat sur la période 2022-2031 en appliquant la règle 3 : de 464 K€/an en 2022 à 699 K€/an en 2031.

Les financements mobilisables pour soutenir l'évolution du réseau CANDHIS sont explorés en 4.3.3.1. Sur cette base sont formulées des hypothèses de financement du scénario socle (4.3.3.2) et du scénario cible (4.3.3.3).

²⁸ La figure ne fait pas apparaître les 12 houlographes opérés et financés par des partenaires.

4.3.3.1 Financements mobilisables

Investissement :

Selon les plans d'actions proposés (cf. 4.3.2) les besoins en investissement sur 10 ans sont de 893 K€ pour le scénario socle et de 836 K€ additionnels pour le scénario cible, soit un total de 1729 K€ sur 10 ans. L'investissement peut relever de différentes sources :

Dotations ponctuelles des directions d'administration centrale (potentiel 700 K€ sur 10 ans) :

La DGPR a pu mobiliser une dotation ponctuelle en 2019 (cf. Figure 13) qui a permis d'engager notamment l'acquisition de houlographes pour la Guyane, la Corse et la Méditerranée (Fréjus). Bien que ces dotations ponctuelles relèvent le plus souvent d'opportunités et puissent difficilement être programmées de façon pluriannuelle, un principe de répartition de l'effort entre les DAC (DGPR, DGALN, DGITM, DGEC, future DGMer) pourrait être posé (par exemple deux soutiens de 70 K€ par DAC, répartis sur la période de 10 ans).

Programme opérationnel du FEDER pour les outre-mer (financement potentiel 711 K€ sur 5 ans) :

Le Fonds européen de développement régional (FEDER)²⁹ a pour objectif de contribuer à atténuer les disparités entre les niveaux de développement des régions européennes et à améliorer les conditions de vie dans les régions les moins favorisées. Une attention particulière est accordée aux régions qui souffrent de désavantages naturels ou démographiques graves et permanents, telles que les régions ... insulaires, transfrontalières et montagneuses. Le Fonds FEDER est donc particulièrement adapté au soutien du scénario cible et de son objectif principal qui est de renforcer les dispositifs de connaissance des états de mer, dans les régions et territoires d'outre-mer (9 houlographes) en appui à de nombreux enjeux économiques, sociaux et environnementaux (cf. 3.2). La programmation 2023-2027 du FEDER se discute actuellement. L'inscription de l'acquisition des houlographes et de moyens de fonctionnement sur 5 ans pourrait y être inscrits, ainsi que le développement de produits à valeur ajoutée (caractérisation spatialisée des états de mer ; caractérisation statistique de la conjonction niveau de mer, houle, surcote...). Le financement potentiel (9 houlographes) pourrait être de 711 K€ (cf. Tableau 13).

CPER des régions concernées (potentiel de 312 K€) : Dans les régions concernées des projets de renforcement des réseaux de mesure in situ de la houle peuvent être soumis dans le cadre des contrats de plan Etat-Région (CPER), essentiellement sous forme de soutien à l'investissement. Pour donner de la consistance aux dossiers CPER il conviendra de lier le renforcement de l'équipement à (i) la génération de produits à valeur ajoutée (caractérisation statistique de la conjonction houle – marée – surcote le long de l'ensemble du littoral national en amont du dimensionnement des infrastructures ; bilans décennaux « état de mer » des tempêtes ; tendances d'évolution de la houle sur 30 ans...), (ii) l'animation des communautés utilisatrices régionales. Une hypothèse d'inscription dans différents CPER du renouvellement de la moitié des houlographes de métropole (10) correspondrait à un cofinancement venant des conseils régionaux de l'ordre de 312 K€ en 10 ans.

PAPI et actions de la GEMAPI : Plusieurs acteurs de la GEMAPI développent des PAPI incluant la mesure in situ par marégraphes et houlographes. Ils assurent l'investissement dans les équipements et leur fonctionnement. Une information proactive des acteurs de la GEMAPI en zone littorale doit être engagée, pour les informer de l'existant et les conseiller dans leurs choix d'investissement, avec une offre de service d'accompagnement (cf. fonctionnement).

« France 2030 »³⁰. (potentiel de 500 K€) : Ce « grand plan d'investissement d'avenir » vise à répondre aux grands défis de notre temps, en particulier la transition écologique, à travers un plan d'investissement massif pour faire émerger les futurs champions technologiques de demain et accompagner les transitions de nos secteurs d'excellence : énergie, automobile, aéronautique ou encore espace. Il ambitionne de

²⁹ <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/fr/sheet/95/evropski-sklad-za-regionalni-razvoj>.

³⁰ <https://www.gouvernement.fr/france-2030-un-plan-d-investissement-pour-la-france-de-demain>.

permettre à la France de retrouver le chemin de son indépendance environnementale, industrielle, technologique, sanitaire et culturelle et de prendre un temps d'avance dans ces secteurs stratégiques. Le renforcement du réseau CANDHIS pourrait s'inscrire parmi 4 des 10 objectifs de France 2030 :

- *secteur de l'énergie, afin de construire une France décarbonée et résiliente : devenir le leader de l'hydrogène vert, décarboner notre industrie.* Le renforcement du réseau CANDHIS pourrait s'inscrire dans des programmes d'appui à l'énergie houlomotrice ou d'appui à l'éolien marin).
- *secteur de l'espace et les fonds marins : prendre toute notre part à la nouvelle aventure spatiale, investir dans le champ des fonds marins.* Le renforcement du réseau CANDHIS pourrait s'inscrire dans des programmes de valorisation du spatial sur l'environnement marin, ou de meilleure connaissance du milieu marin en zone littorale.

Une action d'envergure sur 10 ans dans le domaine du spatial, en concertation avec le CNES et des opérateurs privés du secteur, permettrait de développer la compétitivité française dans le suivi satellitaire des états de mer. Elle justifierait l'installation d'un réseau de houlographes sur les systèmes insulaires d'outre-mer et le développement des synergies mesure in situ, mesure satellitaire, modélisation. Un tel programme permettrait de sécuriser l'investissement en outre-mer mais aussi en métropole, et une partie du fonctionnement. Le financement potentiel pourrait atteindre être de 500 K€ (5 houlographes outre-mer, 2 en métropole). Des contacts préliminaires ont été établis avec le CNES.

Synthèse : Le cumul de ces différentes pistes de financement de l'investissement offre un potentiel de 2,4 M€, voire 3,1 M€ en considérant deux plans FEDER. En supposant un taux de concrétisation de 50%, la mobilisation de 1,55 M€ permettrait de couvrir une part très significative des besoins de 1,7 M€.

Fonctionnement

Selon les plans d'actions proposés (cf. 4.3.2) les besoins en fonctionnement sont de 320 K€/an pour le scénario socle, de 137 K€/an additionnels pour le scénario cible (moyenne des montants croissants de 0 à 273 K€/an sur 10 ans), et de 25 K€/an pour l'animation, soit une moyenne de 482 K€/an sur 10 ans. Le financement du fonctionnement peut relever de différentes sources :

Contribution des directions d'administration centrale (potentiel 350 K€/an) : Les directions d'administration centrale du ministère de la Transition écologique (DGPR, DGITM, DGALN) ont jusqu'ici contribué au financement du fonctionnement du réseau CANDHIS (cf. 2.3.3 et Figure 13).

L'analyse des thématiques d'utilisation des données du réseau CANDHIS a montré (Figure 14) une dissymétrie significative entre les montants de contribution des différentes DAC et l'importance de l'utilisation des données CANDHIS en lien avec les missions de service public qu'elles portent. Ceci devrait conduire à un accroissement de la contribution de la DGALN et à des contributions nouvelles de la DGEC (énergies marines renouvelables) et de la future DGMer (navigation, activités portuaires).

Ainsi le financement des DAC pour le fonctionnement du réseau CANDHIS devrait passer de 248 K€/an (financement moyen 2016-2020 au Cerema et à Météo France) à 320 K€/an (scénario socle) voire 350 K€/an avec la contribution de la future DGMer.

Mobilisation d'une partie de la taxe sur l'éolien off-shore (potentiel 150 K€/an) : Une contractualisation entre l'OFB et le Cerema permettrait de mobiliser une petite partie de la taxe sur l'éolien off-shore pour sécuriser le fonctionnement du réseau national de mesure in situ de la houle.

Actuellement les taxes sur l'éolien off-shore sont affectées à 50% aux communes, 35% aux pêcheurs, 5% à la SNSM et 5% à l'OFB. Le projet de loi de finance pour 2022 prévoit la possibilité que les 5% restant soient affectés à l'OFB dont la part passerait ainsi à 10%. Un parc éolien off-shore représente

entre 6 et 7 M/an de taxe par an : les 5% supplémentaires représentent plus de 300 K€/parc/an. Sachant que 5 parcs seront en service à partir de 2024, il y a un potentiel supplémentaire de 1,5 M€/an pour l'OFB.

Consacrer 10% de ce montant à la sécurisation de la mesure in situ de la houle (150 K€/an) répondrait à la fois à des besoins du secteur de l'éolien en mer et aux enjeux de suivi et de protection du littoral (cf. 3.2 et 3.3). Cette décision relève du CA de l'OFB. Elle serait facilitée par des instructions claires du ministère de tutelle et une inscription de cet enjeu dans le contrat d'objectif et de performance de l'OFB.

Service marchand à l'intention des maîtres d'ouvrages de houlographes (potentiel 10 K€/an par houlographe en métropole) : Un service marchand peut être développé et proposé à l'intention des maîtres d'ouvrage de houlographes : collectivités territoriales et acteurs de la GEMAPI. Ce service couvrirait une prestation intégrée de conseil à l'investissement, d'opération-maintenance de houlographes, de traitement-diffusion des données et de synthèse annuelle. Sa définition et sa quantification pourront s'inspirer des expériences développées avec EDF, avec les conseils départementaux de Vendée et des Pyrénées Atlantiques, et plus récemment avec le PAPI de la Bresle, la Baie de Somme et l'Authie (cf. note de bas de page ²¹). Le tarif forfaitaire du service pourrait être de l'ordre de 10 K€/an en métropole (cf. Tableau 43) (opération maintenance 4,5 K€/an ; moyens nautiques 4 K€/an ; moyens humains 1,5 K€/an).

FEDER : Les financements FEDER explorés dans la partie « investissement » peuvent également contribuer au fonctionnement selon leurs règles d'éligibilité propres.

Synthèse : Le cumul de ces différentes pistes de financement du fonctionnement offre un potentiel permettant de couvrir les besoins de 482 K€/an sur la période 2022-2031. Il est recommandé que la contribution des DAC soit dimensionnée pour et limitée à assurer le financement du fonctionnement du scénario-socle.

Ressources humaines

Il est recommandé de stabiliser la masse salariale affectée au réseau CANDHIS dans les délégations de service public du Cerema et de Météo France et de faire préciser les missions à accomplir dans les contrats d'objectifs respectifs des deux organismes.

4.3.3.2 Hypothèses de financement du scénario-socle :

Le scénario-socle est un scénario de sécurisation dont dépend la pérennité du dispositif national. Son financement relève d'une mission régalienne et doit pouvoir être assuré sur fonds publics³¹. Le besoin de financement exprimé en 4.3.2.1 pourrait être couvert de la façon suivante :

- **Composante Cerema** : le socle de financement requis est de 220 K€/an (137 K€/an pour l'opération et la maintenance ; 83 K€/an de provisions pour renouvellement). La solution recommandée est un financement de 180 K€/an de fonctionnement et l'équivalent de 40 K€/an d'investissement (400 K€ en 10 ans).
- **Composante Météo France** : le socle de financement requis est de 213 K€ d'investissement initial et de 168 K€/an (120 K€/an pour l'opération et la maintenance ; 48 K€/an de provisions pour renouvellement). La solution recommandée est un financement de 140 K€/an de fonctionnement et l'équivalent de 49,3 K€/an d'investissement (493 K€ en 10 ans).
- **Le besoin total** est ainsi de 320 K€/an en fonctionnement et l'équivalent de 89,3 K€/an en investissement (893 K€ en 10 ans).
- **Financement de la part fonctionnement (320 K€/an)** Le financement de 180 K€/an de fonctionnement du Cerema devrait être assuré³² par les directions d'administration centrale, dans la continuité de leur appui des années antérieures (140 K€/an les années antérieures) renforcé par un accroissement de la contribution de la DGALN passant de 25 à 40 K€/an et par une nouvelle contribution de la DGEC de 25 K€/an. Ces accroissements des contributions de la DGALN et de la DGEC sont justifiés par l'importance des utilisations des données CANDHIS dans leurs domaines d'intervention (cf. 2.3.3.2).

Le financement de 140 K€/an de fonctionnement de Météo France représente une augmentation de 32 K€/an par rapport au financement 2020. Les solutions pour assurer cette augmentation devront être explorées avec les directions d'administration centrale du MTE et les services déconcentrés et collectivités en outre-mer (Guadeloupe, Martinique, Mayotte).

- **Financement de la part investissement (893 K€ sur 10 ans)** : Ce financement est destiné au renouvellement de certaines stations (en complément de la partie du fonctionnement consacrée aux provisions pour renouvellement), Il devra articuler des dotations ponctuelles des directions d'administration centrale, des cofinancements des régions disposant d'une façade maritime (cadre CPER ou autre), des fonds FEDER outre-mer, des cofinancements des agences de l'eau et des collectivités dans le cadre de la GEMAPI (PAPI), des financements du plan d'investissement « France 2030 ». Ces voies de financement sont détaillées en 4.3.3.1.

Recommandation 3. Sécurisation de CANDHIS : Pour le ministère de la Transition écologique et le ministère de la Mer, financer le scénario-socle sur 10 ans (25 houlographes à la charge du Cerema et de Météo France ; investissement total 893 K€ ; fonctionnement annuel 320 K€/an). Assurer le financement du fonctionnement à hauteur de 320 K€/an par une contribution annuelle renforcée des DAC. Assurer le financement de l'investissement de 893 K€ sur 10 ans par la mobilisation du fonds FEDER, des cofinancements des régions ayant une façade maritime (cadre CPER ou autre), des cofinancements des collectivités et des agences de l'eau en appui aux actions relevant de la GEMAPI, et par des dotations ponctuelles des DAC.

³¹ Les partenaires assurent le financement de l'opération-maintenance de 12 houlographes (cf. Tableau 6).

³² Le Cerema indique être dans l'impossibilité de contribuer sur ressources propres au-delà des 3 ETP mis à disposition.

4.3.3.3 Hypothèses de financement du scénario-cible :

Le scénario-cible reprend le scénario-socle et complète le développement du dispositif par 9 houlographes en outre-mer et 2 en métropole pour atteindre la configuration cible. Le besoin total de financement (cf. 4.3.2.2 et Tableau 13) est un montant d'investissement de 1729 K€ sur 10 ans, un montant de fonctionnement croissant progressivement de 320 K€/an en 2022 à 593 K€/an en 2031 (total de 4 552 K€ sur 10 ans) et un montant pour l'animation de 25 K€/an. Il se décompose :

- pour le scénario socle en un investissement de 893 K€ sur 10 ans (remplacement des 3 houlographes de Martinique et renouvellement partiel des houlographes existants) et un coût annuel de fonctionnement du dispositif dans sa configuration actuelle de 320 K€/an,
- pour le scénario cible en un investissement complémentaire de 836 K€ sur 10 ans (installation de 11 nouveaux houlographes) et un coût annuel de fonctionnement croissant progressivement de 0 à 273,3 K€/an (pour un total de 1352 K€ en 10 ans soit 135,2 K€/an),
- un coût annuel de fonctionnement pour l'animation de 25 K€/an (250 K€ en 10 ans).

La montée en puissance du réseau CANDHIS depuis le scénario socle jusqu'au scénario cible relève à la fois d'une mission régalienne, notamment pour les territoires non couverts aujourd'hui, et d'un engagement des acteurs des territoires. Son financement en investissement et fonctionnement sera conditionné à une répartition équilibrée entre l'Etat et les collectivités et acteurs économiques (grands ports maritimes, ports décentralisés, acteurs de la GEMAPI...). Il est recommandé de conditionner la mise en place des nouvelles stations à la garantie que leurs coûts de fonctionnement sont assurés sur au moins 5 années. Sur cette base le financement peut être couvert de la façon suivante :

- **Financement de la part investissement (836 K€ sur 10 ans) :** Ce financement recherchera un équilibre Etat-partenaires. Il mobilisera en priorité les financements FEDER en outre-mer et des financements du grand plan d'investissement d'avenir « France 2030 ». Il mobilisera également des cofinancements des collectivités et des agences de l'eau en appui aux actions de la GEMAPI (cadre des PAPI) et des cofinancements des régions ayant une façade maritime (cadre CPER ou autre), appuyés par des dotations ponctuelles des directions d'administration centrales. Ces voies de financement sont détaillées en 4.3.3.1.
- **Financement de la part fonctionnement (moyenne de 163 K€/an croissant de 25 à 300 K€/an en 10 ans).** Le financement de la part fonctionnement doit être négocié avec les partenaires co-financeurs de l'investissement pour être en partie inscrit dans les projets soumis au FEDER et au CPER. Une autre partie pourra être financée en mobilisant une part de la taxe sur l'éolien off-shore. Un service marchand d'opération et maintenance proposé aux maîtres d'ouvrage pourra le compléter. Ces voies de financement sont détaillées en 4.3.3.1.

Recommandation 4. Extension du réseau CANDHIS : Financer la réalisation progressive sur 10 ans du scénario-cible au-delà du scénario-socle (9 stations en outre-mer, 2 en métropole ; investissement de 836 K€ en dix ans ; fonctionnement de 163 K€/an) sur la base d'un cofinancement équilibré entre l'Etat et les collectivités territoriales et acteurs économiques. Pour le ministère de la Transition écologique, le ministère de la Mer, le Cerema et Météo France, assurer le financement des 836 K€ d'investissement en mobilisant avec les partenaires le fonds FEDER en outre-mer, le plan d'investissement « France 2030 », les cofinancements des régions (cadre CPER ou autre), les cofinancements des collectivités et des agences de l'eau en appui aux actions de la GEMAPI, renforcés par des dotations ponctuelles des DAC. Assurer le financement du fonctionnement (montée en puissance de 25 K€/an en 2022 à 300 K€/an en 2031) en fléchant une part de la taxe sur l'éolien off-shore. Pour le Cerema, développer un service marchand d'opération-maintenance des stations à l'intention des maîtres d'ouvrage.

4.3.4 Animation des communautés utilisatrices

La mise en place d'un dispositif d'animation des communautés utilisatrices des données CANDHIS est doublement nécessaire pour mieux comprendre les besoins des utilisateurs et y répondre, et pour valoriser plus activement les données CANDHIS et à travers elles les ressources mobilisées.

L'analyse qui conduit à la recommandation ci-dessous a été développée en 3.4 : la recommandation est formulée ici pour s'intégrer logiquement dans la stratégie.

Recommandation 5. Dispositif d'animation des communautés utilisatrices : Pour le pilote du réseau CANDHIS (Cerema) et ses partenaires, mettre en place un dispositif d'animation nationale des communautés utilisatrices des données sur la houle afin de renforcer la connaissance de leurs domaines thématiques, de leurs finalités et de leurs pratiques, d'identifier leurs besoins et y répondre, et de mieux valoriser les données, produits et services disponibles. Ce dispositif inclura une journée annuelle d'animation, une structuration et mise en réseau des communautés, un forum d'expression des besoins, une capitalisation des expériences d'utilisation des données, des formations.

4.3.5 Répartition des rôles

4.3.5.1 Répartition géographique Cerema – Météo France

Alors que le scénario cible prévoit de tripler le nombre de stations outremer (hors stations gérées par des partenaires) la question de la répartition géographique des rôles entre le Cerema et Météo France doit être abordée et clarifiée.

Dans le contexte du scénario socle (configuration et engagements 2021), hors stations gérées par d'autres partenaires, le Cerema opérera 23 bouées (22 en métropole et 1 outre-mer), et financera l'opération pour 19 d'entre elles. De son côté Météo France opérera 3 stations et financera l'opération de 6 (en outre-mer).

Cette répartition relève d'un historique des deux établissements et de leurs implantations outremer. Elle représente non pas un optimum d'ensemble mais une réponse adaptée à un ensemble de contraintes. Elle présente le mérite d'avoir fonctionné au cours des dix dernières années, avec des niveaux de service sensiblement équivalents en métropole et en outre-mer (cf. Tableau 5). Dans un contexte où le financement du réseau CANDHIS n'offre pas une visibilité pluriannuelle, il est important que le fonctionnement du réseau puisse bénéficier de la mobilisation de plusieurs partenaires. Cette organisation a démontré la capacité des deux acteurs à se mobiliser pour un objectif commun.

Elle a cependant également conduit à certaines divergences : des choix d'équipements houlographiques différents (cf. Tableau 17), des choix de modes de communications différents (choix par Météo France d'une communication satellitaire plus coûteuse), des durées d'amortissement très différentes (15 ans en métropole, 8 ans outremer), des structures de coûts très hétérogènes.

Dans le cas d'une décision de mise en œuvre du scénario cible ambitieux, une stratégie de rationalisation et d'optimisation d'ensemble pourrait justifier de confier au Cerema la gestion (opération et maintenance) de l'ensemble des stations houlographiques nationales, sous réserve que ses implantations outre-mer le rendent envisageable. Ce choix stratégique relèvera des décisions de l'instance de pilotage (cf. 4.3.1).

4.3.5.2 Mobilisation des directions d'administration centrale

Pour le Cerema la structure de financement actuel du réseau CANDHIS est complexe. Elle mobilise des financements de la DGPR sur le programme 181 – Prévention des risques, de la DGITM sur le programme 205 - Affaires maritimes, de la DGALN sur le Programme 113 – Paysages, eau et biodiversité. Les pistes de financement des scénarios socle et cible explorées plus haut (cf. 4.3.2.1) recommandent la contribution de la DGEC (Programme 174 – Énergie, climat et après-mines) et celle de la future DGMer.

Ce financement par plusieurs programmes reflète le caractère transverse du réseau CANDHIS qui répond aux besoins d'une diversité d'utilisateurs pour un éventail large de thématiques et de missions de service public. Il soulève la question de la coordination des directions d'administration centrale des deux ministères sur l'enjeu de connaissance des états de mer, et éventuellement de la désignation de l'une d'entre elles pour les représenter en tant qu'interlocuteur privilégié pour le Cerema dans le pilotage du réseau CANDHIS. Ce choix stratégique relèvera également des décisions de l'instance de pilotage (cf. 4.3.1).

5 Vers un dispositif national intégré de connaissance des états de mer

Le dispositif CANDHIS de mesure in situ de la houle est partie intégrante d'un dispositif national plus large de connaissance des états de mer, aujourd'hui insuffisamment structuré. Considérer isolément la gouvernance du premier (cf. 4.3.1) n'est pas approprié aux enjeux d'intégration des efforts nationaux, de réponse large aux besoins des utilisateurs et d'optimisation des ressources. Après une analyse synthétique des autres composantes (5.1, 5.2, 5.3), la mission propose un cadre d'officialisation d'un dispositif national intégré de « connaissance des états de mer » (5.4), de sa gouvernance (5.5) et de son financement (5.6).

5.1 La houle : méthodes de mesure satellitaire

Certaines caractéristiques des états de mer peuvent être quantifiées à partir de capteurs embarqués sur des satellites, permettant un suivi régulier et une couverture spatialisée globale. Les caractéristiques mesurées et la précision de ces mesures dépendent des techniques mobilisées (imagerie optique, imagerie radar, altimétrie radar), des méthodes et algorithmes de traitement. Le domaine bénéficie à la fois de satellites opérationnels dont la pérennité est programmée (ex : Jason, Sentinel1, Sentinel2, Sentinel6...) et de satellites de recherche permettant de tester et fiabiliser des concepts de mesure (CFOSAT...) (cf. Annexe 5). Les mesures satellitaires de la houle sont aujourd'hui opérationnelles sur les océans. Le Centre « Wave Thematic Assembly Center » (WAVE TAC³³) du Service Copernicus Mer est en charge de fournir les données d'observation des vagues. Il est piloté par la société française CLS³⁴, la France étant particulièrement en pointe sur le domaine.

Ces méthodes n'ont pas encore abouti à des produits ou services opérationnels sur les zones littorales³⁵. En effet certaines méthodes opérantes en hauturier s'avèrent fortement limitées voire inopérantes près des côtes. Le domaine fait toutefois l'objet d'importants travaux de recherche et développement et certains produits sont pré-opérationnels et pourraient être mobilisés pour renforcer le suivi en zones littorales (par exemple les produits issus du traitement des images radar de Sentinel 1).

Intégrer dès maintenant les produits satellitaires opérationnels dans le dispositif national de connaissance des états de mer, en complément du réseau de houlographes côtiers, répond à trois enjeux stratégiques :

- Les produits satellitaires fournissent la seule mesure spatialement continue des états de mer le long des côtes. Ils contribuent à la compréhension des processus à la côte et à l'évaluation spatialisée des modèles de prévision. Ils sont complémentaires des mesures in situ locales.
- Dans le cas des îles, notamment en outremer, ils fournissent une information originale et unique sur la structure spatiale des états de mer selon l'exposition aux courants et aux vents.
- Enfin par leur suivi pérenne, ils contribuent à la description statistique spatialisée des situations extrêmes (Figure 23).

Ceci conduit à la formulation de la Recommandation 7. (cf. 5.7) d'un programme de soutien au développement de la mesure satellitaire opérationnelle de la houle en zones côtière, en partenariat entre le ministère de la Transition écologique, le ministère de la Mer et le centre national d'Etudes spatiales (CNES), qui pourra s'appuyer sur le programme de financement « France2030 » (cf. 4.3.3.1).

³³ <https://marine.copernicus.eu/about/producers/wave-tac>

³⁴ CLS Collecte, Localisation, Satellite (<https://www.cls.fr/>)

³⁵ Le service Copernicus dédié à la mer ne propose pas à ce jour (2021) de produit « état de mer en zone côtière »

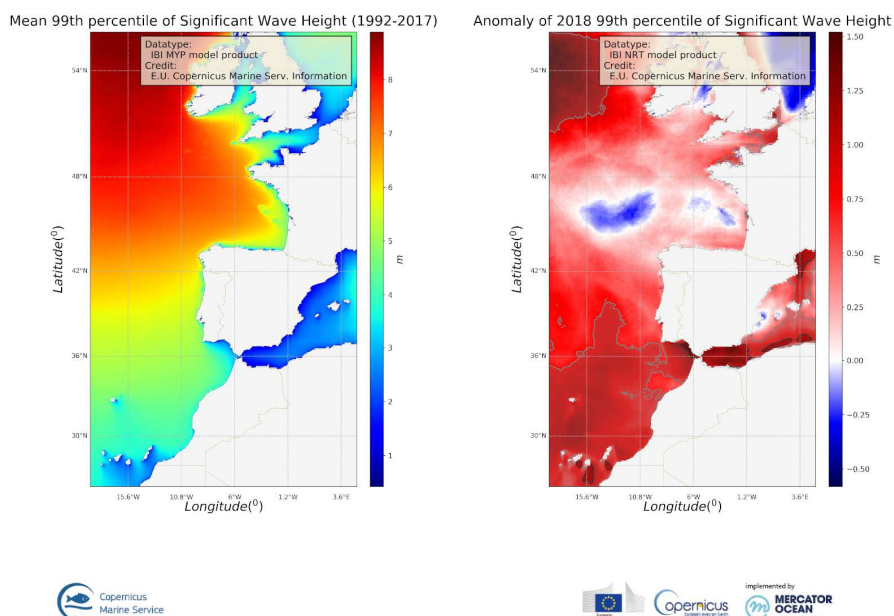


Figure 23 : Carte de variabilité des valeurs extrêmes de hauteurs significatives de vagues issues des mesures satellitaires (source CMS).

5.2 La houle : méthodes, outils et dispositifs de modélisation

La modélisation de la houle permet une représentation spatialisée complète des états de mer, leur prévision à court terme, la reconstitution des états de mer passés (ré-analyse). Ses produits sont adaptés à un large spectre d'utilisateurs et d'utilisations : information temps réel sur l'ensemble d'une zone, alerte, analyse rétrospective d'événements, statistiques de houle sur une zone sans mesures in situ. Beaucoup d'utilisateurs privilégient l'utilisation des sorties de modèle, adaptées à leur zone d'intérêt et fournissant une prévision, par rapport à l'utilisation des mesures in situ de la houle potentiellement éloignées de leur zone d'intérêt et sans prévision.

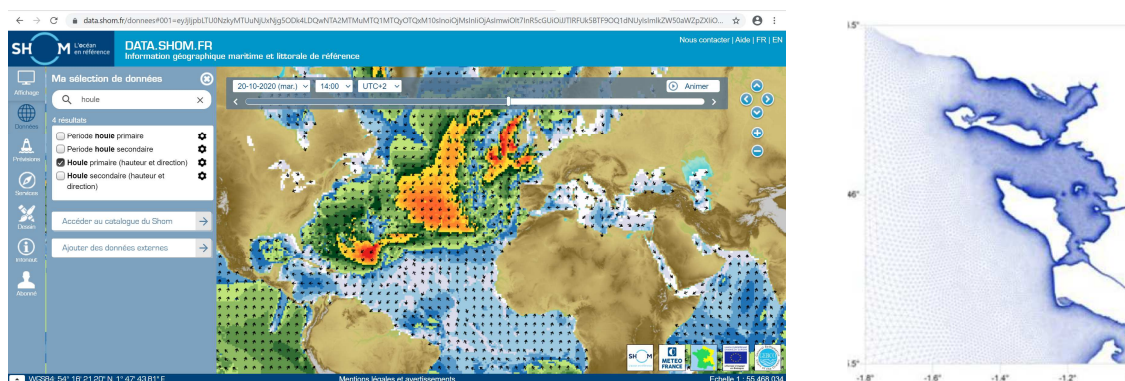


Figure 24 : Site data.shom.fr de prévision des états de mer (à gauche) ; Grille de calcul utilisée pour la simulation de la tempête Xynthia : résolution de 30 km au large à 25 m sur le littoral (source [5])

Les méthodes de modélisation articulent (i) la simulation de la génération de la houle par le forçage météorologique ; (ii) la simulation de la propagation de la houle sur les surfaces océaniques ; (iii) la superposition des différents systèmes de houle propagés et du forçage local. Les modèles utilisent en entrées les sorties de modèles météorologiques, les données bathymétriques et les sorties de modèles de niveau de la mer, et peuvent assimiler les mesures satellitaires et in situ de houle.

Leur précision dépend principalement de la précision des champs de forçage (vents, courants, glaces, bathymétrie, rugosité du fond...), de la paramétrisation des processus (génération, échange, dissipation de l'énergie), des méthodes numériques utilisées (cf. [11], [12]). En zones littorales les variations rapides de la bathymétrie et des courants, les effets des côtes sur la météorologie, les surcotes générées à l'approche des côtes lors des événements de tempêtes, complexifient les processus et rendent la modélisation moins précise.

Les mesures in situ de houle servent la modélisation sous différents angles : l'observation et la connaissance des processus, le calage des paramètres locaux, l'assimilation des données in situ, l'évaluation de la qualité de la modélisation. Un tiers des demandes de données au réseau CANDHIS (29%) sont dédiées à la connaissance de la houle et au développement de modèles (cf. 3.2). Au niveau national Météo France, le SHOM et Ifremer disposent de modèles opérationnels de prévision des états de mer. Des bureaux d'étude utilisent également de tels modèles (cf. Annexe 5).

Météo France utilise le modèle MFWAM de prévision des vagues au large en configurations globale (10 à 20 km) et régionales (2,5 à 10 km). MFWAM contribue au service Marine du programme COPERNICUS. Il assimile les données satellitaires d'altimétrie et de spectres de vagues. À la côte, le modèle utilisé est Wave Watch III (WWIII) développé en coopération avec le SHOM, dont la maille dite « non structurée » permet un raffinement près des côtes (jusqu'à 200m de résolution) (cf. Figure 24). Ces prévisions alimentent les bulletins de Météo marine³⁶ et du dispositif Vigilance Vague Submersion.

Le SHOM a développé un système opérationnel PREVAG de prévision des états de mer. Le site data.shom.fr permet d'accéder à ses prévisions. Les capacités de PREVAG ont été améliorées dans le domaine littoral avec l'intégration du modèle SWAN et le couplage au modèle XBEACH (cf. Annexe 5).

5.3 Réseaux nationaux et internationaux de mesures océaniques

Les données de mesure in situ (CANDHIS) et les produits issus de modélisation sont relayés par plusieurs programmes de centralisation des données océano-météorologiques : Coriolis, Copernicus Marine et EMODnet, GOOS et DBCP. D'autres réseaux nationaux et internationaux contribuent au suivi des surfaces océaniques et littorales (cf. détails en Annexe 6). Ces réseaux fournissent aux utilisateurs professionnels informés un accès à un ensemble large de données sur les états de mer.

Réseaux nationaux

- **Dispositif de vigilance vagues submersion (VVS)**³⁷. Il couple les prévisions du SHOM sur le niveau de la mer ; les données et prévision de Météo France sur la houle en zone côtière ; les observations in situ. Cette information est synthétisée et présentée sur la carte de vigilance météorologique de Météo France, figurée en niveau de risque (rouge, orange, jaune vert).
- **Réseau d'observation du niveau marin (RONIM)**³⁸ : Réseau de marégraphes côtiers numériques permanents sur les côtes françaises géré par le SHOM comprenant 48 observatoires du niveau de la mer déployés pour 41 en métropole et pour 8 en outre-mer. Les mesures sont mises à disposition en temps quasi réel. Elles servent les système d'alertes.
- **Pôle ODATIS, portail de données scientifiques sur les océans**³⁹ permettant d'accéder aux jeux de données fournis par la communauté scientifique nationale sur la physique de l'océan, la géologie, la météorologie. Une recherche de données sur les vagues oriente vers CANDHIS.
- **Coriolis**⁴⁰ est une infrastructure intégrée d'observation in-situ de l'océan servant à la fois les

³⁶ <https://meteofrance.com/meteo-marine>

³⁷ <https://vigilance.meteofrance.fr/fr/vagues-submersion>

³⁸ <http://refmar.shom.fr/fr/partenaires/producteurs-de-donnees/reseau-maregraphique-ronim>

³⁹ <https://www.odatis-ocean.fr/>

⁴⁰ <https://www.allenvi.fr/groupe-transversaux/infrastructures-de-recherche/coriolis>

besoins de l'océanographie opérationnelle hauturière et côtière et de la recherche. Elle rassemble les acteurs de l'océanographie opérationnelle française.

- **L'infrastructure de recherche littorale et côtière (ILICO)⁴¹** vise à observer et comprendre les milieux et les écosystèmes côtiers et marins dans leur globalité. Elle regroupe un ensemble de dispositifs d'observation collectant des échantillons et déployant différents capteurs.

Réseaux européens et internationaux

- **Le data buoy collaborating panel (DBCP)⁴²** est un programme international qui coordonne l'utilisation de bouées automatiques pour observer les conditions atmosphériques et océanographiques. Il vise à améliorer la qualité de la couverture et des mesures.
- **Le Copernicus marine environment monitoring service (CMS)⁴³** est un service européen de fourniture d'accès à une information scientifiquement qualifiée et régulière sur l'état physique et biogéochimique des océans du globe, en surface et en profondeur.
- **European marine observation and data network (EMODnet)⁴⁴** est un réseau d'organisations européennes collaborant pour l'observation des océans, le traitement et, la diffusion des données et produits. EMODNET diffuse les données des houlographes européens.
- **Veille météorologique mondiale (VMM)⁴⁵** L'organisation météorologique mondiale (WMO) assure les échanges internationaux des données d'observation météorologiques et océanographiques. Le système mondial de télécommunications (SMT) assure la gestion et la diffusion de ces données. Ainsi Météo-France concentre les données de CANDHIS et les diffuse en temps réel sur le SMT.

5.4 Structurer le dispositif national de connaissance des états de mer

Un utilisateur confronté à des besoins de connaissance de la houle en zone côtière, pour un domaine d'application particulier (cf. 3), devrait pouvoir se tourner vers un dispositif national cohérent pour identifier les données et produits existants et l'état de l'art, accéder aux données, produits, outils et méthodes, formuler ses besoins, partager son expérience, identifier des compétences.

En l'état actuel, le dispositif national de connaissance de la houle n'est pas structuré et de ce fait n'est pas adapté au spectre de besoins des utilisateurs et n'est que partiellement valorisé. Il rassemble, ou devrait rassembler, quatre volets :

- *Volet 1 – Mesure in situ : la mesure in situ de la houle en zones côtières, en métropole et outre-mer (réseau CANDHIS, principaux acteurs Cerema et Météo France).*
- *Volet 2 – Mesure satellitaire : la mesure satellitaire des états de mer en zone côtière (principaux acteurs CNES, communauté scientifique).*
- *Volet 3 – Modélisation : la modélisation à mailles fines des états de mer en zone littorale (principaux acteurs Météo France, SHOM, Ifremer).*
- *Volet 4 - Valorisation : la diffusion des données, produits et méthodes, l'information et l'animation des communautés utilisatrices, le partage d'expérience, la fourniture de produits nationaux.*

S'il présente des atouts indéniables (un socle scientifique, métrologique et technique de qualité ; le savoir-faire, l'expérience et l'investissement d'opérateurs majeurs comme le Cerema, Météo France, SHOM, Ifremer, CNES, un patrimoine de données,...), il présente aujourd'hui deux faiblesses majeures :

⁴¹ <http://www.ilico-ir.fr/?PagePrincipale>

⁴² <https://www.ocean-ops.org/dbcp/>

⁴³ <https://marine.copernicus.eu/>

⁴⁴ https://emodnet.ec.europa.eu/en/about_emodnet

⁴⁵ <https://public.wmo.int/fr/bulletin/le-syst%C3%A8me-mondial-d%E2%80%99observation>

- Les trois volets techniques (la mesure in situ, la mesure satellitaire et la modélisation) apparaissent fragmentés, sans un cadre d'articulation clairement défini au niveau national.
Des liens existent bien sûr entre ces volets, comme en témoignent les pratiques d'accès aux données ou des études en collaboration⁴⁶. Mais on constate qu'il n'existe pas de produits nationaux croisant ces composantes (cf. encart sur la tempête Xynthia en 1.3) ou encore que le volet « mesure satellitaire » n'est pas exploré et exploité à la hauteur des enjeux.
- La stratégie d'animation des communautés utilisatrices et de valorisation des données et produits n'est pas définie. Les utilisateurs ne disposent pas d'un accès simple à ce dispositif national, qui leur en donnerait une vision compréhensible et cohérente, qui fournirait une information claire sur les divers produits liés aux états de mer (renvoyant le cas échéant vers les pages web dédiés des organismes), qui permettrait à ces utilisateurs d'exprimer leurs besoins, de partager leur expérience. Il n'existe pas d'animation nationale des communautés utilisatrices d'information sur les états de mer.

La mission recommande de structurer le dispositif national sur la base des composantes existantes, d'officialiser son existence et de lui confier des missions explicites.

Recommandation 6. *Structurer le dispositif national de connaissance des « états de mer en zone littorale » en intégrant en un ensemble cohérent les composantes existantes de mesure in situ, de mesure satellitaire, de modélisation et de valorisation-animation. Pour le ministère de la Transition écologique et le ministère de la Mer, engager cette structuration en rassemblant dans ce dispositif national les acteurs clef : Cerema, Météo France, SHOM, Ifremer, CNES. Ce dispositif sera en charge d'assurer la mise en cohérence des stratégies des producteurs de données, la production et diffusion des données, produits et services, la capitalisation des connaissances, l'animation des différentes communautés utilisatrices et la valorisation des données. Définir la gouvernance de ce dispositif national et officialiser un référent national « états de mer en zone littorale ».*

5.5 Missions, organisation et gouvernance du dispositif national

Missions : Le dispositif national aurait quatre missions principales:

- (i) La coordination et l'articulation des volets techniques : Coordonner l'effort national de connaissance des états de mer en zone littorale en assurant, au mieux des ressources mobilisables, la complétude, la qualité de service, la pérennité et l'articulation des dispositifs de mesure et de modélisation, ainsi que le contrôle qualité, la gestion et la diffusion des données et produits qui en résultent ;
- (ii) L'animation des communautés utilisatrices : Assurer l'interface des dispositifs techniques (mesure et modélisation) avec les communautés utilisatrices, connaître les besoins de ces communautés, les informer des données et produits existants et de l'état de l'art, les accompagner dans le partage d'expérience et l'identification des compétences ;
- (iii) Valorisation : Définir des produits d'intérêt national liés aux états de mer en zone littorale et coordonner leur spécification et leur production,
- (iv) Mobilisation des ressources : Mobiliser auprès des acteurs publics et privés, sur la base d'une stratégie clairement définie couvrant les trois premières missions, les ressources

⁴⁶ Un exemple en est le rapport Cerema, Météo-France et SHOM de 2019 « Réseau CANDHIS : perspectives d'évolution », qui mobilise la modélisation pour optimiser le dispositif de mesure in situ. L'approche a mobilisé la base ANEMOC (base de simulations numériques développées par EDF R&D et le Cerema) mais pas les outils de Météo France et du SHOM.

nécessaires à la mise en œuvre de cette stratégie. Adapter la programmation aux ressources disponibles, en cohérence avec la stratégie.

Productions attendues : Au-delà des productions propres à chaque volet technique, (mesure in situ, mesure satellitaire, modélisation) le dispositif national assurerait différentes productions transverses :

- (i) Dans les deux premières années de sa mise en place : (i) un document de présentation du dispositif national, expliquant les différents volets techniques, leurs finalités, leurs acteurs, leurs méthodes, les différents produits de houle accessibles au public, leur articulation, et indiquant ses liens avec les dispositifs internationaux ; (ii) des liens croisés entre les sites web des opérateurs contribuant à la vision d'un dispositif intégré.
- (ii) Des productions annuelles : (i) des synthèses sur les états de mer de l'année écoulée ; (ii) des synthèses de l'utilisation des données et produits issus du dispositif ; (iii) une information sur les initiatives marquantes dans le domaine, des illustrations de cas ; (iv) une journée d'animation nationale, incluant un focus sur un domaine d'utilisation.
- (iii) Des produits phare répondant à des enjeux nationaux : par exemple la caractérisation statistique de la conjonction houle – marée – surcote le long de l'ensemble du littoral national.

Organisation : Le dispositif national articulerait les dispositifs déjà en place des trois volets techniques (mesure in situ, mesure satellitaire, modélisation) et structurerait une stratégie cohérente d'animation et de valorisation. Il pourra adopter l'organisation suivante :

- (iii) Un comité de pilotage sera constitué rassemblant les acteurs majeurs du dispositif national (Cerema, Météo France, SHOM, Ifremer, CNES, directions d'administration centrale impliquées dans le financement, représentants des partenaires, représentants des utilisateurs). Son rôle sera explicité. Il se réunira initialement deux fois par an.
- (iv) Un référent national « connaissance des états de mer » (organisme, individu relevant de cet organisme) sera désigné, sur le modèle du rôle de référent national « niveau de la mer »⁴⁷ confié au SHOM, élargi aux enjeux d'animation des communautés utilisatrices et de valorisation. Sa mission sera d'animer et coordonner la concertation entre les acteurs du dispositif au service des missions et des productions attendues.
- (v) Un comité d'utilisateurs sera constitué rassemblant un représentant de chaque grand domaine d'utilisation (sécurité de la navigation ; submersion marine ; activités portuaires ; aménagement du littoral ; énergies marines renouvelables ; infrastructures en mer et côtières ; changement climatique ; suivis environnementaux ; communauté scientifique). Il sera réuni une fois par an, en interaction avec le comité de pilotage.

La désignation du référent national « connaissance des états de mer » relèvera de la décision du comité de pilotage. Aucun des acteurs n'est porteur de compétences sur l'ensemble des 4 volets qui structurent le dispositif (cf. 5.4). La mission considère que le Cerema, par le spectre de ses missions de service public qui le mettent en relation avec la plupart des communautés utilisatrices des connaissances sur la houle et par son expérience de pilotage du volet de mesure in situ, est particulièrement à même d'assumer ce rôle de référent au service des acteurs du dispositif : producteurs de données, porteurs de politiques publiques, utilisateurs.

⁴⁷ L'instruction n°863/SGMER du 20 avril 2010 relative à l'observation du niveau de la mer et à la gestion et à la diffusion des données, confiant au SHOM le rôle de coordinateur et de référent du domaine.

5.6 Les ressources nécessaires sur 2022-2026

Dans l'hypothèse recommandée par la mission de la mise en place d'un dispositif national intégré de connaissance des états de mer, le comité de pilotage aurait à définir les grandes orientations et à discuter et optimiser certains des choix financiers au service de la stratégie d'ensemble.

Les acteurs en charge des volets techniques (cf. 5.4) et de leurs composantes s'assureront que leurs objectifs et actions sont cohérents avec les grandes orientations co-définies par le comité de pilotage. Ils garderont l'autonomie de pilotage de leurs programmes d'actions et de la gestion de leurs ressources.

A titre d'illustration le Tableau 14 estime les coûts et esquisse un schéma de ressources à mobiliser pour les différents volets du dispositif intégré sur un horizon de 10 ans.

- Le coût du volet « mesure in situ » correspond aux coûts du scénario cible d'évolution du réseau CANDHIS présenté en 4.3.2.2.
- Le coût du volet « mesure satellitaire » est estimé à 200 K€/an pendant les 5 ans, pour soutenir le développement et la fiabilisation des méthodes pour des produits opérationnels d'état de mer en zone côtière, puis 100 K€/an les années suivantes en production opérationnelle.
- Les coûts et sources de financement du volet « modélisation », actuellement assurés par Météo France, le SHOM et Ifremer dans le cadre de leurs missions, ne sont pas connus et ne sont donc pas quantifiés dans le tableau. Ils sont notés « p.m. » (pour mémoire) et l'hypothèse est faite qu'ils seront couverts selon le mode de financement actuel.
- Le coût du volet animation des communautés utilisatrices et valorisation est estimé à 50 K€/an et 0.5 ETP.

Le coût moyen annuel sur la période 2022-2026 (hors volet « modélisation ») serait de 803 K€/an (173 K€/an d'investissement pour la montée en puissance du réseau de houlographes ; 630 K€/an de fonctionnement répartis en 380 K€/an de fonctionnement du réseau de houlographes, 200 K€/an de développement de la mesure satellitaire, 50 K€/an d'animation et valorisation⁴⁸).

Dispositif national "états de mer" 2022-2031	Fonctionnement (K€/an)				Investissement (equiv. K€/an)				Fonction + Investiss (equiv. K€/an)				Effectifs (ETP)			
	2022	2026	2031	moy. 2022-26	2022	2026	2031	moy. 2022-26	2022	2026	2031	moy. 2022-26	2022	2026	2031	moy. 2022-26
Coûts																
Volet mesure in situ (scen. cible)	320	440	592	380	173	173	173	173	493	613	765	553	4,5	5,0	5,2	4,8
Volet mesure satellitaire	200	200	100	200	-	-	-	-	200	200	100	200	-	-	-	-
Volet modélisation	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm
Volet valorisation animation	50	50	50	50	-	-	-	-	50	50	50	50	0,5	0,5	0,5	0,5
Total	570	690	742	630	173	173	173	173	743	863	915	803	5,0	5,5	5,7	4,8

Dispositif national "états de mer" 2022-2031	Fonctionnement (K€/an)				Investissement (K€/an)				Fonction + Investiss (equiv. K€/an)				Effectifs (ETP)			
	2022	2026	2031	moy. 2022-26	2022	2026	2031	moy. 2022-26	2022	2026	2031	moy. 2022-26	2022,0	2026,0	2031,0	moy. 2022-26
Financements Etat DAC & Etab. Pub.																
Volet mesure in situ (scen. cible)	320	380	456	350	131	131	131	131	451	511	587	481	4,5	5,0	5,2	4,8
Volet mesure satellitaire	100	100	50	100	-	-	-	-	100	100	50	100	-	-	-	-
Volet modélisation	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm
Volet valorisation animation	25	25	25	25	-	-	-	-	25	25	25	25	0,5	0,5	0,5	0,5
Total	445	505	531	475	131	131	131	131	576	636	662	606	5,0	5,5	5,7	5,3

Tableau 14 : Estimation des coûts et esquisse d'un schéma de financement du dispositif intégré de connaissance de la houle sur la période 2022-2026

Le financement de ces coûts, au-delà de l'enveloppe correspondant au scénario socle d'évolution du réseau CANDHIS (cf. 4.3.2.1), devra être réparti de façon équilibrée entre les pouvoirs publics et d'autres acteurs, comme évoqué en 4.3.3.3. Une nouvelle action ne sera engagée que lorsqu'un schéma

⁴⁸ Ce coût couvre notamment la connaissance des utilisateurs, la diffusion, une journée annuelle d'animation. Il n'intègre pas la production de produits nationaux spécifiques.

équilibré de son cofinancement sera acquis.

Ainsi les coûts moyens annuels sur la période 2022-2026 pourraient être financés à hauteur de 606 K€/an par l'Etat et à hauteur de 197 K€/an par d'autres acteurs, selon les différents schémas de financement détaillés en 4.3.3.3 et 4.3.3. A titre d'exemple le développement R&D de la mesure satellitaire des états de mer en zone littorale pourrait être cofinancé entre les ministères et le CNES, ou bien au travers d'un programme conjoint dans le cadre de « France 2030 ».

Le Tableau 14 constitue une esquisse de l'effort financier à mettre en œuvre sur la période 2022-2031 (et particulièrement 2022-2026) pour structurer un dispositif national intégré de connaissance des états de mer en zone côtière, apte à répondre aux besoins des utilisateurs. Il appartiendra au comité de pilotage de le réviser régulièrement et le finaliser, en y intégrant les besoins spécifiques liés à la composante « modélisation » et au développement de produits phares d'intérêt national dans la composante « valorisation ».

5.7 Recommandations complémentaires

Dans le cadre de ce dispositif national intégré de connaissance des états de mer, les deux recommandations suivantes formulées en 5.1 (mesure satellitaire de la houle en zone côtière) et en 3.4 (développement de produits d'intérêt national), traitent deux enjeux spécifiques de l'intégration.

- Le développement et l'intégration de produits satellitaires opérationnels fournissant une mesure spatialement continue des états de mer le long des côtes et à ce titre complémentaires des données ponctuelles des houlographes. Ils contribueront à la compréhension des processus à la côte et à l'évaluation spatialisée des modèles de prévision. Dans le cas des îles, notamment en outremer, ils fourniront une information originale et unique sur la structure spatiale des états de mer selon l'exposition aux courants et aux vents. Enfin ils fourniront une description statistique spatialisée des situations extrêmes (5.1)

Recommandation 7. *Soutenir le développement de la mesure satellitaire opérationnelle de la houle en zones côtière. Pour le ministère de la Transition écologique et le ministère de la Mer, en lien avec le centre national d'Etudes spatiales (CNES), financer sur 2022-2026 des travaux de R&D en mobilisant notamment le plan d'investissement « France 2030 ». Pour les acteurs du dispositif national de connaissance des « états de mer » exploiter la synergie entre mesures in situ et satellitaires pour éventuellement optimiser à terme la distribution géographique du réseau de mesure in situ.*

- Le développement de produits phare d'intérêt national en lien avec la connaissance des états de mer aura un double impact : il répondra à des besoins et attentes des communautés utilisatrices par la mobilisation conjointe des différentes composantes du dispositif ; il concrétisera, pour ces communautés utilisatrices, la valeur ajoutée apportée par le dispositif national (3.4).

Recommandation 8. *Pour les acteurs du dispositif national de connaissance des « états de mer », développer des produits phares d'intérêt national sur les états de mer à destination des utilisateurs : caractérisation statistique de la conjonction houle – marée – surcote le long de l'ensemble du littoral national en amont du dimensionnement des infrastructures ; bilans décennaux « état de mer » des tempêtes ; tendances d'évolution de la houle sur 30 ans.*

Conclusion

La connaissance des états de mer, en temps réel, en prévision ou bien en analyse de données historiques, est cruciale pour de nombreux domaines d'application comme la prévention et la gestion du risque de submersion marine, le dimensionnement des infrastructures à la côte et en mer, les activités portuaires et de navigation, la pêche et l'aquaculture, le développement des énergies marines renouvelables, le suivi environnemental du littoral, le suivi de la dynamique du trait de côte et des écosystèmes côtiers.

Le réseau CANDHIS de mesure in situ de la houle est une pièce importante du dispositif national de connaissance des états de mer en zones littorales. Fruit des efforts de nombreux partenaires nationaux il présente aujourd'hui 34 stations opérationnelles et l'équivalent de 600 années d'enregistrement de données réparties entre 105 stations.

Si son efficacité est aujourd'hui satisfaisante, il présente cependant trois faiblesses qui compromettent sa capacité à répondre aux besoins des 20 prochaines années : un déficit de couverture en outre-mer, une inquiétude sur sa pérennité par manque de visibilité à moyen terme des conditions de son financement, une faiblesse de l'interaction avec les communautés utilisatrices. Le présent rapport formule des recommandations pour remédier à ces trois faiblesses.

L'enjeu majeur est de doter la France d'un dispositif national intégré de « connaissance des états de mer en zones littorales » articulant de façon cohérente les dispositifs aujourd'hui séparés de mesure in situ de la houle, de mesure satellitaire de la houle, et de modélisation des états de mer, et portant une stratégie conjointe au service des communautés utilisatrices.

Le contexte du changement climatique impactera les zones littorales par l'évolution de la fréquence des événements de tempêtes et de leurs caractéristiques, et par l'élévation progressive du niveau des mers. Dans le même temps les enjeux de ces zones littorales se développent tant par leur croissance démographique que par le renforcement des activités économiques, du transport maritime au tourisme, des énergies marines renouvelables à la protection du trait de côte. Investir dans un dispositif national de connaissance des états de mer en zones littorales performant permettra de sécuriser de façon plus efficace les populations, les activités économiques et les milieux.

Pascal KOSUTH

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'P. Kosuth', with a stylized flourish extending from the end.

**Ingénieur général
des ponts, des eaux
et des forêts**

Annexes

1 Lettre de mission



GOUVERNEMENT

Liberté
Égalité
Fraternité

CGEDD n° 013587-01

→ Bureau CGEDD

La ministre de la Transition écologique

Paris, le **29 SEP. 2020**

La ministre de la Mer

à

Réf: D20010163

Monsieur le vice-président du Conseil
général de l'environnement et du
développement durable

Objet : Perspectives d'évolution du réseau français de mesure de la houle

Depuis plusieurs années, un réseau de stations de mesure de la houle côtière, nommé CANDHIS, a été mis en place sur les littoraux français. Il s'est développé par opportunités successives, à l'initiative de divers acteurs, pour atteindre, début 2020, 33 stations de mesure en métropole et outre-mer, dont 24 stations sont gérées par le Crema (15 sur financement MTES et 9 à la charge financière de différents organismes partenaires) et 9 sont gérées par un organisme partenaire (5 aux Antilles par Météo-France et 4 par des partenaires différents en métropole et outre-mer).

Les observations issues de ce réseau sont très largement utilisées, à la fois pour un usage en temps réel mais aussi en temps différé pour des analyses à posteriori, et ceci par une multiplicité d'acteurs (services de l'État, établissements publics, autorités portuaires, bureaux d'études, industriels des énergies marines, professionnels maritimes et des loisirs nautiques et communauté scientifique et technique). Les domaines d'utilisation sont divers et évolutifs.

La multiplicité des acteurs et leurs différents niveaux d'intervention (propriétaires, gestionnaires, opérateurs de maintenance, financeurs...) conduisent à s'interroger sur la pérennité de l'organisation actuelle pour fournir un service robuste répondant aux différents besoins. Plusieurs opérateurs et services de l'État m'ont fait part de leurs inquiétudes sur les perspectives d'évolution du réseau CANDHIS.

Aussi nous souhaitons que le CGEDD examine la situation actuelle et les évolutions souhaitables, techniques et financières, en matière de réseau de mesure de la houle.

À cet effet, vous recenserez les besoins des différents usagers et les services attendus du réseau CANDHIS : vous identifierez ses différentes finalités, selon les acteurs, mais aussi au regard de la temporalité et des différentes échelles géographiques pertinentes.

.../...

Hôtel de Roquelaure
246 boulevard Saint-Germain – 75007 Paris
Tél : 33(0)1 40 81 21 22
www.ecologie.gouv.fr

Ministère de la Mer
20 avenue Ségur – 75007 Paris
Tél : 33(0)1 40 81 21 22
www.mer.gouv.fr

Vous analyserez également les modalités de maintenance actuellement en place et évaluerez leur pertinence, leur pérennité et leur coût au regard des enjeux du réseau CANDHIS.

Vous analyserez l'organisation actuelle du réseau, pour établir un état des lieux exhaustif, notamment en termes de gouvernance, de fonctionnement et de financements, en vous intéressant en particulier à sa pérennité. Vous proposerez les évolutions qui vous paraîtront nécessaires.

Vous proposerez le réseau cible à atteindre pour répondre aux besoins identifiés, en valorisant les travaux réalisés par le Crema, Météo-France et le Shom en 2019, en évaluant les coûts d'investissement et de renouvellement et ceux de fonctionnement et de maintenance, les mutualisations possibles en équipements nautiques et humains. Vous établirez en particulier les opportunités de financement d'investissement dans le cadre du plan de relance.

Vous formulerez des recommandations sur l'évolution de la gouvernance.

Vous veillerez par ailleurs à échanger avec les autres acteurs concernés par la production (autres structures détenant et/ou entretenant des houlographes : collectivités, universités, ports, etc...) ou l'utilisation des données (bureaux d'études, représentants d'activités socio-économiques telles que la pêche, associations environnementales, etc...).

Vous analyserez aussi les modalités de valorisation directe et indirecte des données, actuellement partagées entre le Crema et Météo-France. Si vous le jugez nécessaire, vous proposerez de nouveaux modes de fonctionnement afin d'améliorer encore l'accessibilité et le partage de ces données publiques.

Pour mener à bien vos travaux, vous pourrez vous appuyer sur les différentes directions générales concernées du ministère de la Transition écologique (DGITM, DGALN, DGEC, DGPR), leurs services déconcentrés (DIRM, DREAL, DEAL, DDTM) et les services chargés de la signalisation maritime (DIRM et APB) qui contribuent à la maintenance de ce réseau, ainsi que tout autre ministère bénéficiant du réseau CANDHIS, notamment les ministères de l'Intérieur (DGSCGC) et des Outre-mer. Vous rencontrerez les opérateurs concernés, en particulier le Crema, Météo-France et le Shom.

Nous souhaitons disposer de votre rapport sous trois mois.



Barbara POMPILI



Annick GIRARDIN

Liste des personnes rencontrées et consultées

Nom	Prénom	Organisme	Fonction	Date de 1 ^{ère} rencontre ou contact	email
ALMAR	Rafaël	IRD- LEGOS	Chercheur (imagerie satellitaire)	10/02/21 - visio	rafael.almar@ird.fr
ARNAUD	Nicolas	CNRS-INSU	Directeur INSU	20/10/20	Nicolas.ARNAUD@cnrs-dir.fr
BAHUREL	Pierre	Mercator Océan	CEO	21/10/20	pierre.bahurel@mercator-ocean.fr
BARRUOL	Guilhem	CNRS IGP Paris	Directeur de recherche	23/10/20	barruol@ipgp.fr
BERTHET	Lionel	MTE-DGPR	SRNH / SDCAP Sous-directeur	14/01/21 - visio	lionel.berthet@developpement-durable.gouv.fr
BLANCHET	Hortense	MTE-DGPR	SRNH / SDCAP / BRIL Adjointe au chef du bureau	17/09/21	hortense.blanchet@developpement-durable.gouv.fr
BLANDIN	Matthieu	VALOREM Energie ; AKROCEAN	Chief Operating officer	23/02/21	Matthieu.BLANDIN@valorem-energie.com
BOURILLET	Cédric	MTE/DGPR	Directeur Général	02/09/21	
BOUSQUET	Olivier	Météo France La Réunion		23/10/20	olivier.bousquet@meteo.fr
CAMMAS	Jean-Pierre	OSU-R	Directeur OSU-R La Réunion	21/10/20	jean-pierre.cammas@univ-reunion.fr
CAUDE	Geoffroy	MTE-CGEDD	Membre permanent	04/02/21	geoffroy.caude@developpement-durable.gouv.fr
CHABANET	Pascale	IRD	Représentante de l'IRD à La Réunion	19/10/20	pascale.chabanet@ird.fr
CHAPELET	Philippe	DREAL Occitanie		14/01/21 - visio	philippe.chapelet@developpement-durable.gouv.fr
CHEVALLIER	Matthieu	Météo France	Responsable du département Prévision Marine et Océanographie	04/02/21 - visio	matthieu.chevallier@meteo.fr
CLAIREAUX	Guy	Ministère de la mer	Conseiller scientifique	18/11/20	secretariat.claireaux@mer.gouv.fr
CLAUSSET	Nicolas	MTE-DGEC	DGEC/DE : sous-direction SD3	14/01/21 - visio	
COLIN	Fabrice	IRD – Nelle calédonie	Représentant	19/10/20	fcolin.noumea@gmail.com
CORDIER	Emmanuel	OSU-R La Réunion	Ingénieur d'étude à l'OSU-Réunion	21/10/20	emmanuel.cordier@univ-reunion.fr
CORNU	Jean-Christophe	Green Giraffe		13/02/21	jc.cornu@green-giraffe.eu
DEBAR	Anne	Météo France	Directrice Générale Adjointe	04/02/21 - visio	anne.debar@meteo.fr
DELACOURT	Christophe	CNRS-INSU, Université de Bretagne occidentale	co-responsable de l'infrastructure de recherche littorale et côtière (ILICO) et chargé de mission littoral pour le CNRS-INSU	28/10/20 - visio	christophe.delacourt@univ-brest.fr
DELOFFRE	Julien	Univ. Rouen Normandie ; UFR ST	MCF HDR UMR CNRS 6143 M2C,	19/10/20	julien.deloffre@univ-rouen.fr
DENAMUR	Vincent	MTE-DGITM	SMC (Sous-direction des services maritimes et du contrôle)	14/01/21 - visio	
DIAMANT	Michel	IPGP	Directeur Pôle Terre Solide	21/10/20	diament@ipgp.fr ; michel.diament@gmail.com
DIBARBOURE	Gérald	CNES		10/02/21 - visio	Gerald.Dibarboure@cnes.fr
DIRECTION SHOM		SHOM	Direction	20/10/21 – mails sans réponse	shom-sec@shom.fr do-sec@shom.fr
DONET	Isabelle	Météo France	DSM/EC/D Directrice du Département Etudes et Conseil,	04/02/21 - visio	isabelle.donet@meteo.fr
DUCEPT	Xavier	Ministère de la mer, Cabinet de la ministre de la mer	Directeur de Cabinet	21/10/20	secretariat.ducept@mer.gouv.fr

Nom	Prénom	Organisme	Fonction	Date de 1 ^{ère} rencontre ou contact	email
DUPRAY	Sébastien	Cerema	Directeur adjoint Direction technique Risques, eaux et mer	04/11/20 - visio	sebastien.dupray@cerema.fr
EGAL	Christan	WINDFAN CONSULTING SAS		13/02/21	c.egal@windfan.fr
FILIPOT	Jean-François	France Energie Marine	directeur scientifique et expert en vagues	16/02/21 - visio	Jean.Francois.Filipot@france-energies-marines.org
FRACHON	Bruno	Ministère de la mer	conseiller industrie et relance	18/11/20	secretariat.frachon@mer.gouv.fr
FREISSINET	Catherine	Artelia group		23/03/21 - mail - telephone	catherine.freissinet@arteliagroup.com
GENSE	Nicolas	RES-Group		18/02/21 - visio	nicolas.gense@res-group.com
GUILLERM	Christophe	Météo France	DSO/CMM	10/12/21	christophe.guillerm@shom.fr
GUILLOU	Yann	Météo France	Directeur adjoint Systèmes d'Observation	04/02/21 - visio	yann.guillou@meteo.fr
HAMM	Luc	Artelia group		06/05/21 - visio	luc.hamm@arteliagroup.com
HELLO	Yann	Univ. La Réunion	Directeur technique de l'OSU-R.	21/10/20	yann.hello@univ-reunion.fr
HELLO	Gwenaëlle	MTE-CGDD	CGDD/SRI/SDR Sous-Directrice	05/02/21 téléphone	gwenaëlle.hello@developpement-durable.gouv.fr
HERMENT	Cédric	Cabinet MTE/SRE	Conseiller santé-environnement et risques - Cabinet MTE/SRE	21/10/20	cedric.herment@ecologie.gouv.fr
HOCDE	Yves	Ministère de l'intérieur DGSCGC	DGSCGC SDPGC Adjoint au sous-directeur	03/02/21 - mail	yves.hocde@interieur.gouv.fr
HOULLIER	François	Ifremer	PDG	20/10/20	Francois.Houllier@ifremer.fr
HUSSON	Romain	CLS Group		16/03/21 - visio	rhusson@groupcls.com
HUYNH	Frédéric	IRD	Directeur - Infrastructure de Recherche Data Terra	20/10/20	frederic.huynh@ird.fr
JANSON	Mathieu	UMR Espace-Dev, CUFR Mayotte	correspondants OM/océan Indien pour le SNO DYNALIT	22/10/20	matthieu.jeanson@univ-mayotte.fr
JOIN	Jean-Lambert	Université de la Réunion	Prof., Laboratoire Géosciences Réunion-UMR IPGP 7154	21/10/20	jean-lambert.join@univ-reunion.fr
JOSCHT	Philippe	Cerema	Directeur technique Risques, eaux et mer DTecREM/DIR	04/11/20 - visio	philippe.joscht@cerema.fr
KERGADALLAN	Xavier	Cerema	Responsable d'étude DTecREM/DREL/PREL	04/11/20 - visio	
LAFON	Xavier	Ministère de la mer	Conseiller innovation, énergies et risques,	18/11/20	secretariat.lafon@mer.gouv.fr xavier.lafon@mer.gouv.fr
LAFOSSE	Marc	Energie de la lune		24/02/21 - mail	m.lafosse@energiedelalune.fr
LALAURETTE	François	Météo France	Directeur des Opérations	27/01/21	francois.lalaurette@meteo.fr
LAVARDE	Patrick	CGEDD - MRR	Membre permanent	06/12/21	
LEFEBVRE	Jean-Pierre	IRD	Ingénieur de recherche, UMR ENTROPIE, IRD La Réunion	22/10/21	jean-pierre.lefebvre@ird.fr
LEQUIEN	Alexandra	MTE-DEB	DGALN/DEB/EARM3 Adjointe à la cheffe de bureau	20/10/20	alexandra.lequien@developpement-durable.gouv.fr
MACHABEE	Jaimie	UMR Espace-Dev à La Réunion	Doctorante	22/10/20	jaimie.machabee@univ-reunion.fr
MATTHYS	Antoine	MTE-DGITM	APB (Phares et balises)	14/01/21 - visio	
MAUDIRE	Gilbert	Ifremer	Directeur Pôle Océans	21/10/20	Gilbert.Maudire@ifremer.fr
MICHON	Laurent	Université de La Réunion	directeur lab. Géosciences Réunion (antenne de IPGP)	21/10/20	laurent.michon@univ-reunion.fr

Nom	Prénom	Organisme	Fonction	Date de 1 ^{ère} rencontre ou contact	email
MONBET	Philippe	Pôle Mer Bretagne-Atlantique	Directeur adjoint	22/02/21 - mail	philippe.monbet@polemer-ba.com
MONDON	Sylvain	Météo France	DAII / Chef du département des missions institutionnelles	04/02/21 - visio	sylvain.mondon@meteo.fr
MULLER	Sybille	MTE/DGPR	DGPR/SRNH/SDCAP/BRIL Cheffe de bureau	17/09/21	sybille.muller@developpement-durable.gouv.fr
PAILLET	Jérôme	Ifremer	Directeur de l'UMR 6523 LOPS; co-coord de l'IR ILICO	23/10/20 11/02/21 - visio	jerome.paillet@ifremer.fr
PENNOBER	Gwennaelle	Univ. La Réunion	Resp. station côtière ; Dir. adj. UMR Espace Dev ; Corresp. OM/ océan Indien pour le SNO DYNALIT (	21/10/20	gwennaelle.pennober@univ-reunion.fr
PERRIN	Eric	Conservatoire du littoral	Chargé de mission Délégation Centre-Atlantique	17/02/21 - mail	e.perrin@conservatoire-du-littoral.fr
PICOT	Nicolas	CNES	Chef de Projet	10/02/21 - visio	
POUVREAU	Nicolas	SHOM	Référent national « niveau de mer »	15/07/21 – mail sans réponse	nicolas.pouvreau@shom.fr
RAT	Gilles	MTE-DGPR	DGPR/SRNH/SDCAP Adjoint au sous-directeur	14/01/21	Gilles.Rat@developpement-durable.gouv.fr
REINE	Camille	Surf - Moliets		22/02/21 – mail + téléphone	kmi40480@gmail.com
RICARD	Fabienne	DGALN/DEB	DGALN/DEB : sous-direction ELM (Bureaux ELM2 et eLM3)	14/01/21 - visio	
RIOU	Philippe	Ifremer	Centre de Bretagne ; directeur département (Océanographie et dynamique des écosystèmes)	21/10/20	philippe.riou@ifremer.fr
ROBINEAU	Delphine	RES-Group	Responsable Eolien Offshore	18/02/21 - visio	delphine.robineau@res-group.com
STANEK	Jean-Luc		Projet HACE	17/02/21	jean-luc.stanek@hacwave.com
TOURJANSKY	Laure	MTE-DGPR	Cheffe du service risques naturels et hydrauliques	21/10/20	Laure.TOURJANSKY@developpement-durable.gouv.fr
TRIFT	Nicolas	MTE-DGITM	DGITM/DST : sous-direction PTF	14/01/21 - visio	
VAN BAELEN	Joël	CNR	DR CNRS, Directeur du LACy,	28/10/20	joel.van-baelen@univ-reunion.fr
WEBER	Clément	Green Giraffe		12/02/21	c.weber@green-giraffe.eu

Remerciements : La mission remercie l'ensemble de ses interlocuteurs pour le temps qu'ils lui ont consacré et les éclairages qu'ils lui ont apportés et d'éventuels oublis dans le tableau ci-dessus. Ces échanges ont tous contribué à forger la proposition de stratégie développée et présentée dans ce rapport.

La richesse des échanges n'a pu être intégralement reprise ou même évoquée dans le rapport et ses annexes. L'auteur assume les choix qui ont été faits, comme les erreurs qui se seront inévitablement glissées.

D'autres contacts ont été recommandés par les interlocuteurs au fil de la mission. Les contraintes de temps, et les contraintes spécifiquement liées à la pandémie de COVID19 qui a marqué les années 2020 et 2021, n'ont pas permis, au regret de l'auteur, d'établir tous ces contacts.

3 Réseau CANDHIS de mesure in situ de la houle : stations de mesure et acteurs

La présente annexe détaille les stations en service ou fermées du réseau CANDHIS

Stations actives et fermées (état en 2021)

- Tableau 15: Liste de 98 stations houlographiques et de leurs opérateurs, incluant les 34 stations opérationnelles en 2021
- Figure 25 : Cartes de localisation des bouées houlographiques en service ou fermées
- Tableau 16 : Tableau de synthèse 2020 de la localisation des bouées houlographiques en service et fermées par systèmes maritimes et régions (entre parenthèses le nombre de bouées en maintenance)

Situation 2021

- Figure 27: Cartes de localisation des stations houlographiques CANDHIS opérationnelles en 2021
- Tableau 17 : Stations houlographiques CANDHIS opérationnelles en 2021 : caractéristiques physiques, nature des propriétaires et des acteurs impliqués dans le financement et l'opération
- Tableau 18 : Stations houlographiques CANDHIS opérationnelles en 2021 : propriétaires et acteurs de l'opération-maintenance et de son financement
- Tableau 19 : Rôles des différents acteurs du réseau CANDHIS en 2021 : propriétaire, opérateur, financeur de l'opération de stations houlographiques
- Tableau 20: Implication des partenaires du réseau CANDHIS dans l'opération-maintenance des différentes stations houlographiques (en bleu avec astérisque les stations opérationnelle en 2021)

Standards internationaux : Les standards internationaux classiquement requis dans le cadre des activités de mesure des états de mer des courants et du vent, notamment pour les activités d'éolien en mer, relèvent de la norme **ISO 19901-1:2015 Metocean design and operating consideration** (*Chapter 11. Collection of metocean data; Annex A.11.2.2 Instrumentation and recommended accuracy and operational performance*) (cf. ref [17])

Liste des 34 stations opérationnelles du réseau CANDHIS et de 64 des 71 stations d'archive.

N° de campagne	Organisme fournisseur de données	Opérat. en 2021
00601 Nice	CEREMA / DDTM 06	
01101 Leucate	CEREMA / DREAL Languedoc Roussillon	1
01301 Camargue	CEREMA	
01302 Port de Bouc	CEREMA / Grand Port Maritime de Marseille	
01303 Fos	CEREMA / Grand Port Maritime de Marseille	
01304 Marseille	CEREMA / Grand Port Maritime de Marseille	
01305 Le Planier	CEREMA / Grand Port Maritime de Marseille	1
01306 Golfe de Fos	CEREMA / Grand Port Maritime de Marseille	1
01702 Oléron	CEREMA	
01703 Oléron	(SHOM) CEREMA / SHOM	
01704 Oléron Large	CEREMA / Université de la Rochelle LIENSs	1
01705 Royan		1
02201 Lézardrieux	CEREMA	
02202 Les Minquiers	CEREMA	
02203 Les Minquiers Nord	CEREMA	
02204 Bréhat		1
02901 Eckmühl	CEREMA	
02902 Ouessant Large	CEREMA	
02903 Le Toulinguet	CEREMA	
02907 Blancs Sablons	CEREMA	
02908 Porsmilin	CEREMA	
02909 Brest (Port du Château)	CEREMA / Brest Métropole Aménagement	
02910 Roscoff (Port de Blosson)	CEREMA / CCI de Morlaix	
02911 Les Pierres Noires	CEREMA / PREVIMER	1
02913 Ile Longue	CEREMA / Ministère de la Défense	
02914 Penmarc'h	CEREMA / DGA	
02915 Ile de Sein Sud	CEREMA / SHOM	
02916 Ile de Sein Nord	CEREMA / SHOM	
02917 Ouessant Sud	CEREMA / SHOM	
02919 Kéréon	CEREMA / SHOM	
02920 Ile de Sein	CEREMA / SHOM	
02921 Esquibien	CEREMA	
02922 Ile de Batz		1
02B02 Cap Corse	CEREMA	
02B03 Bastia	CEREMA / Port de Bastia	
02B04 La Revelatta	CEREMA / SHOM	1
02B05 Alistro	CEREMA	1
03001 Espiguette	CEREMA / DREAL Languedoc Roussillon	1
03302 Cap Ferret	CEREMA / Université de Bordeaux / SHOM	1
03303 Cap Ferret	CEREMA	
03401 Sète (Marseillan)	CEREMA / DREAL Languedoc Roussillon	
03402 Sète (Frontignan)	CEREMA / DREAL Languedoc Roussillon	
03403 Sète	CEREMA / DREAL Languedoc Roussillon	
03404 Sète	CEREMA / DREAL Languedoc Roussillon	1
04401 Saint-Nazaire	CEREMA / Grand Port Maritime de Nantes StNazaire	
04402 Le Croisic	CEREMA / Grand Port Maritime de Nantes StNazaire	
04403 Plateau du Four	CEREMA / Grand Port Maritime de Nantes StNazaire	1
05002 Cherbourg (petite rade)	CEREMA	
05003 Cherbourg (grande rade)	CEREMA	
05004 Cherbourg (grande rade)	CEREMA	
05008 Cherbourg (extérieur)	CEREMA / Ports Normands Associés	1
05009 Flamanville	CEREMA / EDF	1
05602 Belle-Ile	CEREMA / École Centrale de Nantes	1
05901 Dunkerque	CEREMA	

05902 Ruytingen	CEREMA / DREAL Nord Pas de Calais	
05903 Gravelines	CEREMA / EDF	1
06201 Vergoyer	CEREMA / DREAL Nord Pas de Calais	
06202 Calais	CEREMA / DREAL Nord Pas de Calais	
06401 Bayonne	CEREMA	
06402 Anglet	CEREMA / Université de Pau	1
06403 Saint-Jean-de-Luz	CEREMA / Conseil Général des Pyrénées Atlantiques	1
06601 Banyuls	CEREMA / DREAL Languedoc Roussillon / Observatoire Océanologique de Banyuls	1
07601 Antifer	CEREMA / Grand Port Maritime du Havre	
07602 Le Havre	CEREMA / Grand Port Maritime du Havre	
07603 Le Havre LHA	CEREMA / Grand Port Maritime du Havre	
07604 Dieppe	CEREMA	
07605 Le Havre 2	CEREMA / Grand Port Maritime du Havre	
07606 Le Havre Metzinger	CEREMA / Grand Port Maritime du Havre	
07607 Paluel		1
07608 Penly	CEREMA / EDF	1
08001 Cayeux	CEREMA	
08301 Porquerolles	CEREMA	
08302 Porquerolles (dir.)	CEREMA	1
08501 Ile d'Yeu	CEREMA	
08502 Ile d'Yeu	CEREMA	
08503 Ile d'Yeu	CEREMA	
08504 Ile d'Yeu Nord	CEREMA / Conseil Général de Vendée	1
97101 Port Louis	CEREMA / Météo-France / Port Autonome de Guadeloupe	
97102 La Désirade	CEREMA / Météo-France	
97103 Pointe de la Grande Vigie	CEREMA / Météo-France	
97104 Pointe-à-Pitre	CEREMA / Port Autonome de Guadeloupe	
97105 Port du Moule		1
97106 Côte Caraïbes		1
97201 Grand' Rivière	CEREMA / Météo-France / Conseil Général de Martinique	
97202 Basse Pointe	CEREMA / Conseil Général de Martinique / Météo- France	1
97204 Fort de France	CEREMA / Météo-France / Conseil Général de Martinique	1
97205 Sainte Lucie	CEREMA / Météo-France / Conseil Général de Martinique	1
97301 Guyane Mahury	CEREMA / DM 973	
97302 Guyane Mahury	CEREMA / DM 973	
97401 Baie de la Possession	CEREMA / Commune de Saint-Denis	
97402 Pointe du Phare	CEREMA / DEAL 974	
97403 Rivière des Galets	CEREMA / Commune de Saint-Denis	1
97404 Pointe du Gouffre	CEREMA / Commune de Saint-Denis	
97405 Saint-Pierre	CEREMA / Commune de Saint-Pierre	
97406 Sainte Rose	CEREMA / DEAL 974	
97407 Vincenzo	CEREMA / Commune de Saint-Joseph	
97601 Mayotte		1
97501 Saint-Pierre et Miquelon	CEREMA / DTAM 975	1
98000 Monaco	CEREMA / Monaco, Service des Travaux Public	1

Tableau 15 : Liste de 98 stations houlographiques et de leurs opérateurs, incluant les 34 stations opérationnelles en 2021 (surlignées en vert), dont 3 implantées entre 2020 et 2021 (surlignées en bleu)

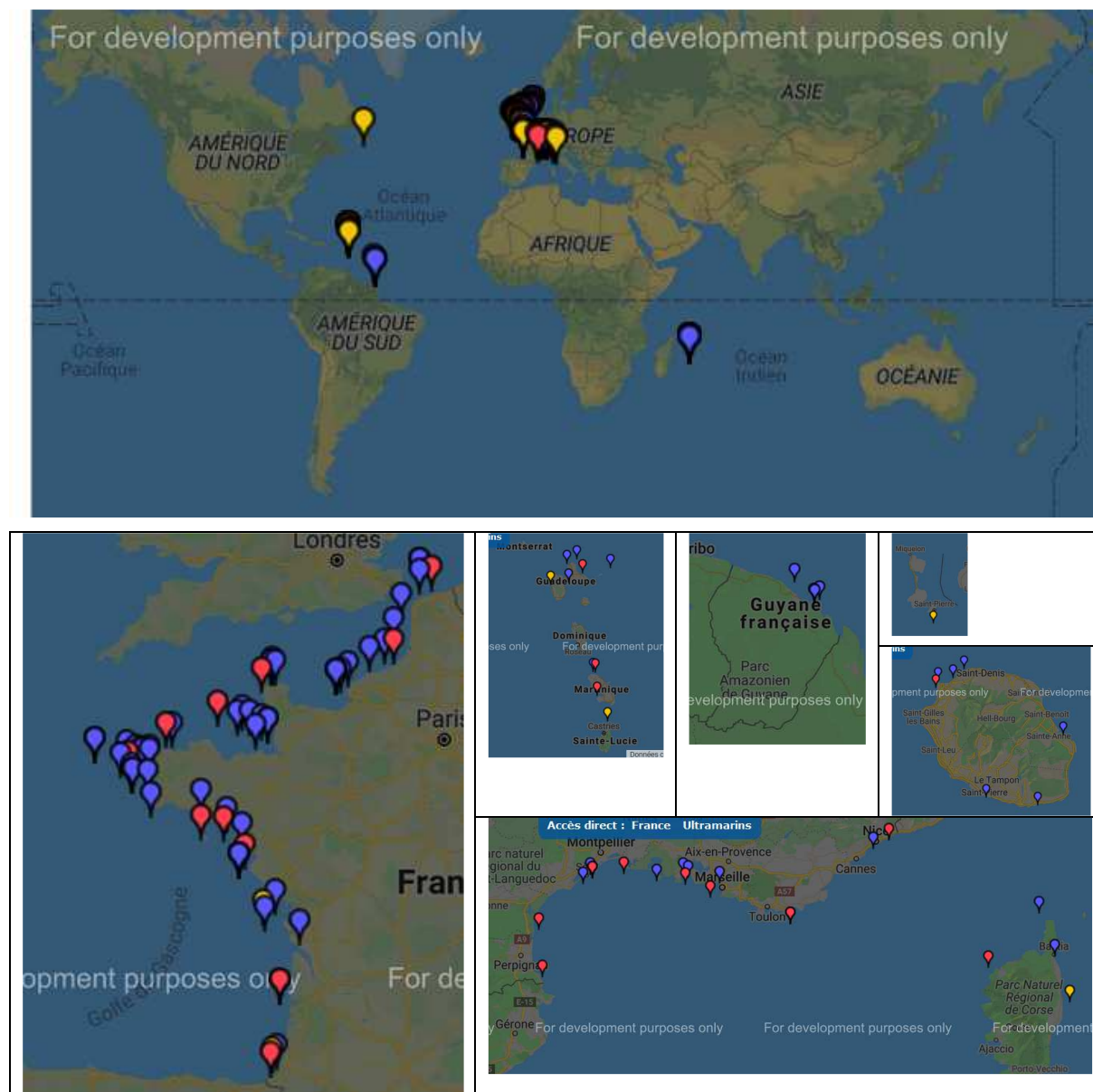


Figure 25 : Cartes de localisation des bouées houlographiques (campagnes achevées en bleu ; campagnes actives en rouge ; bouées en maintenance en jaune)



Figure 26 : Bouée houlographique du réseau CANDHIS

	Total	Bouées actives (temps réel)	Campagnes anciennes (Bouées simples)
TOTAL	100 (6)	31 (6)	69
Métropole	78 (3)	24 (3)	54
Outremer	22 (3)	7 (3)	15
Mer du Nord	3	1	2
<i>Hauts de France</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
Manche	22	5	17
<i>Hauts de France</i>	<i>2</i>	<i>0</i>	<i>2</i>
<i>Normandie</i>	<i>13</i>	<i>3</i>	<i>10</i>
<i>Bretagne</i>	<i>7</i>	<i>2</i>	<i>5</i>
Atlantique nord	33 (3)	9 (3)	24
<i>Bretagne</i>	<i>18</i>	<i>2</i>	<i>16</i>
<i>Pays de la Loire</i>	<i>5</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>Nouvelle Aquitaine</i>	<i>9 (2)</i>	<i>4 (2)</i>	<i>5</i>
<i>Saint Pierre et Miquelon</i>	<i>1 (1)</i>	<i>1 (1)</i>	<i>0</i>
Atlantique ouest	15 (3)	5 (2)	9
<i>Antilles</i>	<i>10 (2)</i>	<i>5 (2)</i>	<i>5</i>
<i>Guyane</i>	<i>4</i>	<i>0</i>	<i>4</i>
Méditerranée	21 (1)	10 (1)	11
<i>Occitanie</i>	<i>7</i>	<i>4</i>	<i>3</i>
<i>PACA</i>	<i>10</i>	<i>4</i>	<i>6</i>
<i>Corse</i>	<i>4 (1)</i>	<i>2 (1)</i>	<i>2</i>
Océan Indien	7	1	6
<i>La Réunion</i>	<i>7</i>	<i>1</i>	<i>6</i>
<i>Mayotte</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
Pacifique	0	0	0
<i>Polynésie</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>Nouvelle Calédonie</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
Terres Australes	0	0	0

Tableau 16 : Synthèse 2020 de la localisation des bouées houlographiques par systèmes maritimes et régions (entre parenthèses le nombre de bouées en maintenance).

Nota : cette synthèse compte 3 bouées actives de moins que la synthèse de 2021 (cf. Tableau 17)

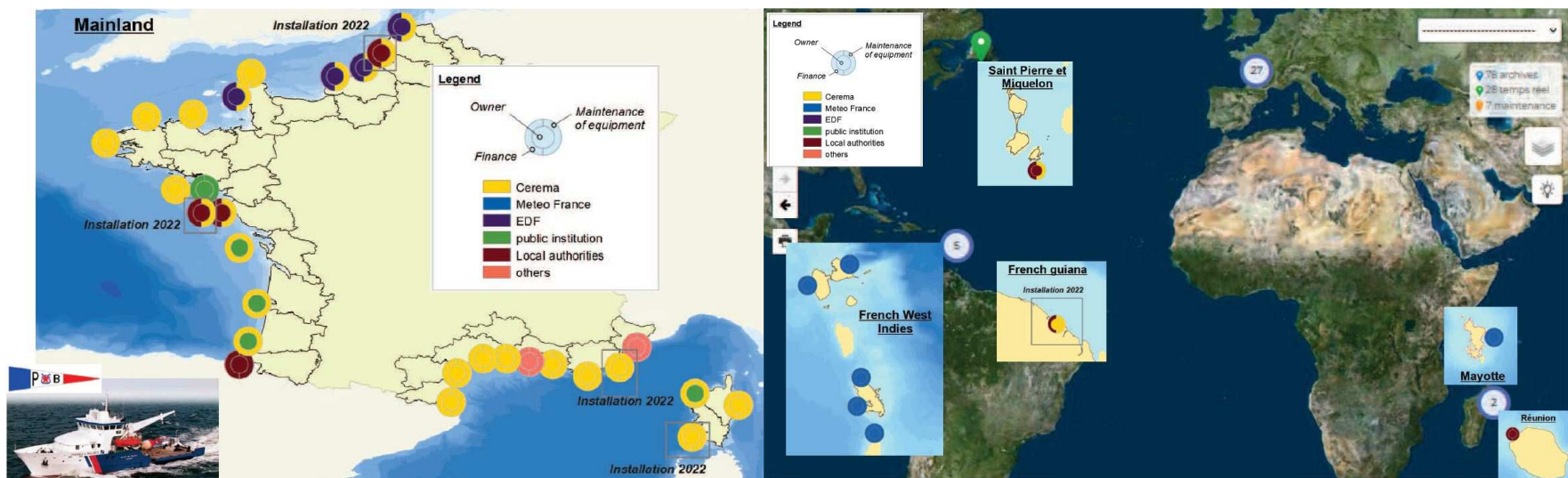


Figure 27 : Stations houlographiques CANDHIS opérationnelles en 2021 : Cartes de localisation

Code	Nom	propriétaire	Opérateur Maintenance	Financier maintenance	Autres partenaires	Direct-ionnelle	Temps réel	Capteur	Profondeur (m)	Distance à la côte (milles)	latitude	longitude	Nombre de mesures	Date de début	Date de fin	Analyse synthétique
01101	Leucate	Cerema	Cerema	Cerema	DIRM MED ; DDTM66	Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR MkIII 70	40	2,9	42°55.000' N	03°07.500' E	248 188	15/12/2006 11:30	31/10/2021 23:30	synthèse
01305	Le Planier	Cerema	Cerema	Cerema	DIRM MED	Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR MkIII 90	70	4,6	43°12.500' N	05°13.800' E	165 806	18/01/2011 08:00	31/10/2021 23:30	synthèse
01306	Golfe de Fos	FEM	FEM	FEM	AMP-OR PACA; GPM Marseille Fos	Oui	??	Houlographe Datawell DWR MkIII 70	55	??	43°18.967' N	04°55.222' E	41 152	03/12/2018 12:00	30/06/2021 23:30	pas de synthèse
01704	Oléron large	Université de La Rochelle	Cerema	Cerema	DIRM SA	Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR MkIII 70	50	19,0	45°54.980' N	01°50.017' W	110 429	03/07/2014 08:00	31/10/2021 23:30	synthèse
01705	Royan	Agglomération Royan Atlantique (ARA)	ARA	ARA		Non	Oui	Houlographe Datawell WR-SG	14	??	45°36.600' N	01°01.900' W	26 711	16/02/2019 00:30	19/10/2020 12:00	pas de synthèse
02204	Bréhat	Cerema	Cerema	Cerema	DIRM NAMO	Oui	Non	Houlographe Datawell DWR MkIII 90	50	9,8	49°01.585' N	02°53.368' W	56 293	21/06/2016 13:00	04/02/2021 00:30	synthèse
02911	Les Pierres noires	Cerema	Cerema	Cerema	DIRM NAMO	Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR MkIII 90	60	5,4	48°17.420' N	04°58.100' W	232 286	15/10/2005 18:30	31/10/2021 23:30	synthèse
02912	Ile de Batz	Cerema	Cerema	Cerema	DIRM NAMO	Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR MkIII 70	30	??	48°43.700' N	04°04.300' W	46 275	27/03/2019 11:00	15/11/2021 14:00	pas de synthèse
03001	Lespiguette	Cerema	Cerema	Cerema	DIRM MED; DDTM34	Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR MkIII 70	32	3,6	43°24.660' N	04°09.750' E	187 710	11/08/2008 18:30	31/10/2021 23:30	synthèse
03302	Cap ferret	Université de Bordeaux	Cerema	Cerema	DIRM SA	Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR MkIII 90	54	7,9	44°39.150' N	01°26.800' W	192 492	28/08/2001 18:00	30/09/2021 23:30	synthèse
03404	Sète	Cerema	Cerema	Cerema	DIRM MED	Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR MkIII 70	30	2,7	43°22.261' N	03°46.777' E	255 110	16/02/2006 10:00	31/10/2021 23:30	synthèse
04403	Plateau du Four	Ecole Centrale de Nantes (ECN)	ECN	ECN		Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR MkIII 90	30	6,9	47°14.340' N	02°47.220' W	196 831	01/04/2008 00:00	22/07/2021 09:30	synthèse
05008	Cherbourg extérieur	Cerema	Cerema	Cerema	DIRM MEMN	Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR MkIII 90	25	1,2	49°41.700' N	01°37.200' W	237 908	30/09/2003 08:00	31/10/2021 23:30	synthèse
05509	Flamanville	EDF	Cerema	EDF	DIRM MEMN	Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR MkIII 70	17	??	49°32.574' N	01°53.907' W	9 611	03/10/2018 06:00	21/04/2019 11:00	pas de synthèse
05602	Belle Ile	Cerema	Cerema	Cerema	DIRM NAMO	Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR MkIII 90	45	2,2	47°17.100' N	03°17.100' W	183 552	18/10/2010 13:30	31/10/2021 23:30	synthèse
05903	Graveline	EDF	Cerema	Cerema	DIRM MEMN	Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR MkIII 70	15	??	51°02.560' N	02°03.960' E	??	??	??	pas de synthèse
06403	Saint Jean de Luz	CD Pyrénées Atlantiques (CD 64)	CD 64	CD 64		Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR-G	20	0,7	43°24.500' N	01°40.900' W	136 801	24/04/2013 14:30	31/10/2021 23:30	synthèse
06402	Anglet	Université de Pau et des Pays de l'Adour	Cerema	Cerema	DIRM SA ; CR NA, CA PB ; CD BPB	Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR MkIII 70	50	3,3	43°31.930' N	01°36.900' W	162 843	24/11/2009 13:30	31/10/2021 23:30	synthèse
06601	Banyuls	Cerema	Cerema	Cerema	DIRM MED ; OOBM	Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR MkIII 70	50	0,9	42°29.370' N	03°10.060' E	225 176	28/11/2007 14:30	31/10/2021 23:30	synthèse
07607	Paluel	EDF	Cerema	EDF	DIRM MEMN	Oui	Non	Houlographe Datawell DWR MkIII 70	12	0,5	49°52.300' N	00°37.867' E	43 220	22/06/2016 12:00	03/12/2019 10:30	synthèse
07608	Penly	EDF	Cerema	EDF	DIRM MEMN	Oui	Non	Houlographe Datawell DWR MkIII 70	11	0,5	49°59.360' N	01°12.060' E	64 865	07/11/2017 10:00	30/09/2021 23:30	synthèse
08302	Porquerolles	Cerema	Cerema	Cerema	DIRM MED	Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR MkIII 70	90	1,0	42°58.000' N	06°12.290' E	95 745	09/12/2013 12:00	31/10/2021 23:30	synthèse
08504	Ile d'Yeu nord	CD Vendée	Cerema	CD Vendée	DIRM NAMO	Non	Oui	Houlographe Datawell WR-SG	14	6,1	46°49.993' N	02°17.700' W	225 173	21/06/2005 15:00	31/10/2021 23:30	synthèse
97105	Port du Moule	Météo France	Météo France	Météo France		Oui	Oui	Houlographe AxyS TriAxyS	32	??	16°20.400' N	61°18.600' W	34 998	05/11/2018 07:30	09/11/2021 09:00	pas de synthèse
97106	Côte Caraïbes	Météo France	Météo France	Météo France		Oui	non	Houlographe AxyS TriAxyS	63	??	16°10.350' N	61°47.796' W	15 333	05/11/2018 06:30	29/11/2020 08:30	pas de synthèse
97202	Basse Pointe	Collectivité Territoriale de Martinique (CTM)	CTM	Météo France + CTM		Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR MkIII 70	51	1,2	14°53.429' N	61°06.877' W	231 264	31/12/1998 23:40	30/06/2021 23:00	synthèse
97204	Fort de France	Collectivité Territoriale de Martinique (CTM)	CTM	Météo France + CTM		Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR MkIII 70	35	1,0	14°32.890' N	61°05.830' W	246 066	21/11/2001 15:00	31/08/2021 23:00	synthèse
97205	Sainte Lucie	Collectivité Territoriale de Martinique (CTM)	CTM	Météo France + CTM		Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR MkIII 70	86	4,0	14°10.579' N	60°56.071' W	156 802	20/06/2007 15:00	16/12/2019 13:00	synthèse
97403	Rivière des galets	GPM La Réunion (GPM LR); Comm. Saint Denis (CSD)	GPM LR; CSD	GPM LR; CSD		Non	Oui	Houlographe Datawell WR	33	0,2	20°56.743' S	55°16.639' E	157 693	25/02/1997 03:00	30/09/2021 23:30	synthèse
97501	Saint Pierre et Miquelon	DTAM de Saint-Pierre et Miquelon (DTAM SPM)	Cerema / DTAM SPM	DTAM de SPM		Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR MkIII 70	75	3,3	46°42.000' N	56°11.000' W	137 489	07/11/2011 14:30	31/10/2021 23:30	synthèse
97601	Mayotte	Météo France	Météo France	Météo France		Oui	Oui	Houlographe AxyS TriAxyS	40	??	12°32.973' S	45°04.006' E	1 792	02/10/2021 06:30	09/11/2021 09:00	pas de synthèse
98000	Monaco	Principauté de Monaco	Principauté de Monaco	Principauté de Monaco		Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR-4 / ACM	92	0,8	43°42.815' N	07°25.570' E	110 801	29/10/2014 11:30	14/09/2021 08:00	synthèse
02804	La Reevelatta	SHOM	Cerema	Cerema		Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR MkIII 90	130	2,5	42°34.150' N	08°39.000' E	109 246	02/05/2013 06:30	31/10/2021 23:30	synthèse
02805	Alistro	Cerema	Cerema	Cerema		Oui	Oui	Houlographe Datawell DWR MkIII 70	120	3,9	42°15.700' N	09°38.600' E	103 878	15/10/2013 08:00	31/10/2021 23:30	synthèse

Tableau 17 : Stations houlographiques CANDHIS opérationnelles en 2021 : caractéristiques et nature des propriétaires et des acteurs impliqués dans le financement et l'opération

Nom de la station	propriétaire	Opérateur Maintenance	Financier maintenace	Autres partenaires
Leucate	Cerema	Cerema	Cerema	DIRM MED ; DDTM66
Le Planier	Cerema	Cerema	Cerema	DIRM MED
Golfe de Fos	FEM	FEM	FEM	AMP-CR PACA; GPM Marseille Fos
Oléron large	Université de La Rochelle	Cerema	Cerema	DIRM SA
Royan	Agglomération Royan Atlantique	Agglomération Royan Atlantique	Agglomération Royan Atlantique	
Bréhat	Cerema	Cerema	Cerema	DIRM NAMO
Les Pierres noires	Cerema	Cerema	Cerema	DIRM NAMO
Ile de Batz	Cerema	Cerema	Cerema	DIRM NAMO
Lespiguettes	Cerema	Cerema	Cerema	DIRM MED; DDTM34
Cap ferret	Université de Bordeaux	Cerema	Cerema	DIRM SA
Sète	Cerema	Cerema	Cerema	DIRM MED
Plateau du Four	Ecole Centrale de Nantes	Ecole Centrale de Nantes	Ecole Centrale de Nantes	
Cherbourg extérieur	Cerema	Cerema	Cerema	DIRM MEMN
Flamanville	EDF	Cerema	EDF	DIRM MEMN
Belle Ile	Cerema	Cerema	Cerema	DIRM NAMO
Graveline	EDF	Cerema	EDF	DIRM MEMN
Saint Jean de Luz	CD Pyrénées Atlantiques	CD Pyrénées Atlantiques	CD Pyrénées Atlantiques	
Anglet	Université de Pau et des Pays de l'Adour	Cerema	Cerema	DIRM SA ; CR NA, CA Pays Basque ; CCI BPB
Banyuls	Cerema	Cerema	Cerema	DIRM MED ; OOBM
Paluel	EDF	Cerema	EDF	DIRM MEMN
Penly	EDF	Cerema	EDF	DIRM MEMN
Porquerolles	Cerema	Cerema	Cerema	DIRM MED
Ile d'Yeu nord	CD Vendée	Cerema	CD Vendée	DIRM NAMO
Port du Moule	Météo France	Météo France	Météo France	
Côte Caraïbes	Météo France	Météo France	Météo France	
Basse Pointe	Collectivité Territoriale de Martinique (CTM)	CTM	Météo France + CTM	
Fort de France	Collectivité Territoriale de Martinique (CTM)	CTM	Météo France + CTM	
Sainte Lucie	Collectivité Territoriale de Martinique (CTM)	CTM	Météo France + CTM	
Rivière des galets	GPM de La Réunion	GPM de La Réunion	GPM de La Réunion	
Saint Pierre et Miquelon	DTAM de Saint-Pierre et Miquelon	Cerema / DTAM de Saint-Pierre et Miquelon	DTAM de Saint-Pierre et Miquelon	
Mayotte	Météo France	Météo France	Météo France	
Monaco	Principauté de Monaco	Principauté de Monaco	Principauté de Monaco	
La Reevelatta	SHOM	Cerema	Cerema	
Alistro	Cerema	Cerema	Cerema	

Tableau 18 : Stations houlographiques CANDHIS opérationnelles en 2021 : propriétaires et acteurs de l'opération-maintenance et de son financement

CANDHIS 2021	Nombre de stations houlographiques		
Partenaires	propriétaire	Opérateur	Financier
Cerema	12	21	16
Météo France	3	3	6
EDF	4	0	4
Collectivité Territoriale de Martinique	3	3	0*
Agglomération Royan Atlantique	1	1	1
Conseil Départemental des Pyrénées Atlantiques	1	1	1
DTAM de Saint-Pierre et Miquelon	1	1	1
Ecole Centrale de Nantes	1	1	1
France Energies Marines	1	1	1
Grand Port Maritime de La Réunion	1	1	1
Principauté de Monaco	1	1	1
Conseil Départemental de Vendée	1	0	1
SHOM	1	0	0
Université de Bordeaux	1	0	0
Université de La Rochelle	1	0	0
Université de Pau et des Pays de l'Adour	1	0	0
Total	34	34	34
* contribution			

Tableau 19 : Rôles des différents acteurs du réseau CANDHIS en 2021 : propriétaire, opérateur, financer de l'opération de stations houlographiques

Le Cerema est propriétaire de 12 houlographes. Il assure l'opération-maintenance de 21 houlographes (les 12 dont il est propriétaire et 9 appartenant à des partenaires). Il assure le financement de l'opération-maintenance de 16 de ces stations (les 12 dont il est propriétaire et 4 appartenant à des universités ou au SHOM), l'opération-maintenance des 5 autres étant financée par leur propriétaire (4 stations EDF, 1 station CD Vendée).

Météo France est propriétaire de 3 houlographes (2 en Guadeloupe, 1 à Mayotte). Il assure l'opération-maintenance de ces 3 houlographes. Il assure le financement de l'opération-maintenance pour 6 houlographes : les 3 dont il est propriétaire et 3 appartenant à des partenaires (Martinique)

Des partenaires sont propriétaires de 19 houlographes. Ils assurent eux-mêmes l'opération-maintenance de 10 d'entre eux et la délèguent pour 9 houlographes au Cerema. Ils assurent eux-mêmes le financement de l'opération-maintenance pour 12 houlographes. Pour les 7 autres houlographes l'opération – maintenance est financée par le Cerema pour 4 d'entre eux et par MétéoFrance pour 3 (Martinique).

Etablissements Publics	
Cerema	01101* ; 01305* ; 01704* ; 02B04* ; 02B05* ; 02204* ; 02911* ; 02912* ; 03001* ; 03302* ; 03404* ; 05008* ; 05509* ; 05602* ; 05903* ; 06402* ; 06601* ; 07607* ; 07608* ; 08302* ; 08504* ; 97501* ;
SHOM	02B04* ; 01703 ; 02915 ; 02916 ; 02917 ; 02919 ; 02920 ; 03302
Météo-France	97105* ; 97106* ; 97202* ; 97204* ; 97205* ; 97601* ; 97101 ; 97102 ; 97103 ; 97201
Ifremer (PREVIMER)	02911*
Ministères & Services déconcentrés	
Ministère de la Défense	02913
DGA	02914
DDTM 06	00601
DREAL Languedoc Roussillon	01101* ; 03001* ; 03404* ; 06601* 03401 ; 03402 ; 03403 ;
DM 973	97301 ; 97302
DEAL 974	97402 ; 97406
DTAM de Saint Pierre et Miquelon	97501*
DREAL Nord Pas de Calais	05903* ; 05902 ; 06201 ; 06202
Gestionnaires de ports	
Grand Port Maritime de Marseille	01305* ; 01306* 01302 ; 01303 ; 013004 ;
Port de Bastia	02B03
Grand Port Maritime de Nantes St Nazaire	04403* 04401 ; 04402 ;
Ports Normands Associés	05008*
Autor. Port. Caen–Ouistreham–Cherbourg	05008*
Grand Port Maritime du Havre	07608* ; 07601 ; 07602 ; 07603 ; 07605 ; 07606 ;
Port Autonome de Guadeloupe	97101 ; 97104
Grand Port Maritime de La Réunion	97403
Recherche	
Université de la Rochelle LIENSs	01704*
Université de Bordeaux	03302*
Université de Pau	06402*
Observ. Océanologique de Banyuls	06601*
École Centrale de Nantes	04403* ; 05602*
Collectivités territoriales et opérateurs	
Conseil Départ. des Pyrénées Atlant.	06403*
Conseil Départemental de Vendée	08504*
Conseil Départemental de Martinique	97202* ; 97204* ; 97205* ; 97201 ;
Commune de Saint-Denis	97403* ; 97401 ; 97404
Commune de Saint-Pierre	97405
Commune de Saint-Joseph	97407
Brest Métropole Aménagement	02909
CCI de Morlaix	02910
Principauté de Monaco, Service des TP	98000*
Aix Marseille Provence	01306*
Région PACA	01306*
Agglomération Royan	01705*
Opérateurs économiques	
EDF	05509* ; 05903* ; 07607* ; 07608*
France Energie Marine	01306*

Tableau 20 : Implication des partenaires du réseau CANDHIS dans l'opération-maintenance des différentes stations houlographiques (en bleu avec astérisque les stations opérationnelle en 2021)

Partenaires Candhis		
Agglomération Royan Atlantique	Aix Marseille Provence	Brest Métropole
CCI de Haute Corse	CCI Métropolitaine Bretagne Ouest	Cerema
Collectivité Territoriale de Martinique	Conseil Départemental de la Vendée	Département des Alpes Maritimes
Département des Pyrénées Atlantiques	Direction générale de l'armement	DREAL Occitanie
DTAM de Saint-Pierre et Miquelon	Ecole Centrale de Nantes	EDF
France Energies Marines	Grand Port Maritime de La Réunion	Guadeloupe Port Caraïbes
Île de La Réunion - Ville de Saint-Denis	Île de La Réunion - Ville de Saint-Joseph	Île de La Réunion - Ville de Saint-Pierre
Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale	Littoral ENVironnement et Sociétés	Météo France
Ministère de la transition écologique et solidaire	Observatoire Océanologique de Banyuls/Mer	Port de Marseille Fos
Port de Nantes Saint-Nazaire	Port de Rouen	Port du Havre
Ports Normands Associés	Préfecture de la région Guyane	Préfecture de la région Hauts-de-France
Préfecture de La Réunion	Previmer	Principauté de Monaco
Région PACA	SHOM	Union Européenne
Université de Bordeaux	Université de La Rochelle	Université de Pau

Tableau 21 : Partenaires du réseau CANDHIS (extrait du site CANDHIS)

4 Site web CANDHIS : accès aux données

Exemple : accès à l'information sur la station Les Pierre Noires : Le site CANDHIS (<https://candhis.cerema.fr/>) permet de sélectionner une station houlographique, d'accéder à ses informations descriptives (données temps réel, caractéristiques de la station, données archivées) et de télécharger ses données (temps réel, archives, analyses synthétiques).



Figure 28 : Pages du site web CANDHIS permettant la recherche de stations

L'accès aux « caractéristiques » fournit l'information sur la station : *Code, Nom, Latitude / longitude, Profondeur, Type de capteur, Directionnelle, Temps réel, Nombre de mesures, Date de début / de fin, organismes en charge de la station*

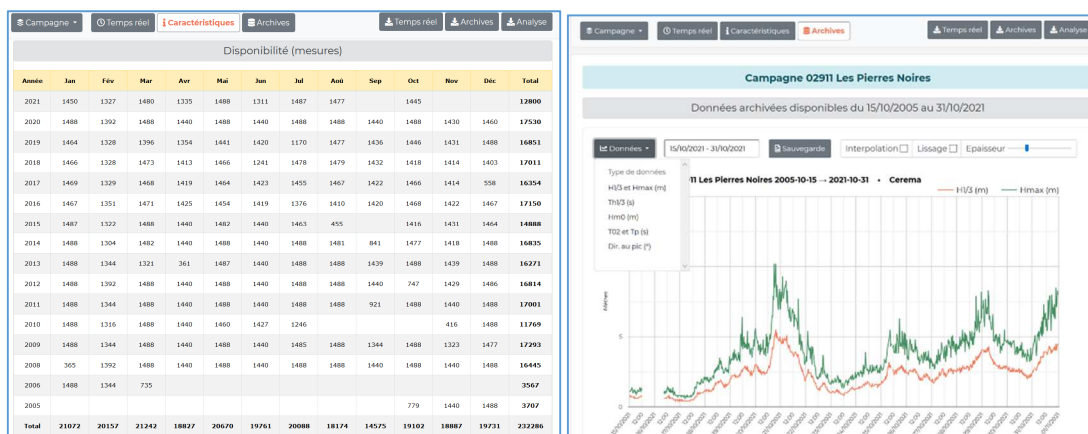


Figure 29 : Pages du site web CANDHIS permettant la consultation et le téléchargement de données

Les données temps réel et temps différé d'une station d'intérêt peuvent être consultées, visualisées. Elle peuvent également être téléchargées instantanément, moyennant l'information par l'utilisateur du domaine d'activité (sécurité de la navigation ; submersion marine ; activité portuaire ; aménagement du littoral ; énergies renouvelables ; changement climatique ; suivis environnementaux ; atlas de données ; autre) et du type de structure (public ; privé ; particulier).

Pour certaines stations, un document de synthèse décrivant la climatologie moyenne de la houle est également téléchargeable. (cf. colonne de droite du Tableau 17).

5 Modélisation des états de mer ; mesure satellitaire de la houle

Les approches et outils de modélisation

Modèle Wavewatch : WAVEWATCH III⁴⁹ est un modèle numérique qui calcule l'évolution de l'action des vagues. Il est fondé sur une décomposition spectrale (de Fourier) de l'état de la mer. Les propriétés des vagues sont calculées en différents noeuds d'un maillage de l'océan. L'espacement de ces noeuds définit la résolution spatiale du modèle (de quelques mètres pour des applications littorales à des dizaines de kilomètres quand on traite tous les océans). A chaque noeud de ce maillage, l'état de mer est décomposé en un spectre: le spectre donne la distribution des énergies des différentes "composantes". Chaque composante est une famille de trains d'ondes de périodes et direction proches. S'il n'y avait de l'énergie que dans une seule composante la mer aurait une forme de tôle ondulée. La somme de toutes les composantes de directions θ et fréquences f est l'état de la mer.

Sur la figure, un exemple de spectre en fréquence est en noir. Pour chaque fréquence on peut redistribuer les énergies sur les directions de propagation, ce qui donne le diagramme en couleur.

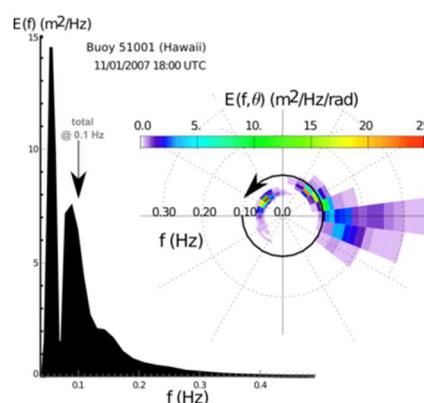


Figure 30 : Exemple of 2D and 1D spectrum off Hawaii©Ifremer

MFWAM est un modèle de prévision des états de mer (mer du vent et houles) dérivé du code WAM de troisième génération (WAMDI Group, 1988). Suivant ses différentes configurations régionales ou globales, ce modèle est «forcé» en entrée par des vents à 10 m issus des modèles de prévision numérique du temps: Arpege et Arome. Des données d'observation spatiale, altimétrique et spectrale, via des radars embarqués sur des satellites, sont assimilées par les modèles MFWAM globaux et régionaux (de grande emprise). La physique des vagues est prise en compte dans le but de modéliser le plus fidèlement possible les conditions de mer. Les prévisions sont régulièrement validées par comparaison à des observations indépendantes (bouées houlographiques).

SWAN(SimulatingWAVesNearshore)⁵⁰ : est un modèle de troisième génération (Université Technologique de Delft, NL) permettant d'obtenir une estimation réaliste des paramètres des vagues en zone côtière, dans les lacs et les estuaires pour un vent, une bathymétrie, et des conditions de courants donnés. SWAN calcule l'évolution de vagues aléatoires et irrégulières dans les régions côtières par eau profonde, intermédiaire et en eau peu profonde sous l'effet de courants ambiants. Le modèle SWAN rend compte de la propagation (réfraction et diffraction) due au courant et à la profondeur d'eau, et représente les processus de génération des vagues par le vent, la dissipation due au moutonnement, au frottement sur le fond, au déferlement bathymétrique et aux interactions non-linéaires entre les vagues de façon explicite par des

⁴⁹ https://wwwz.ifremer.fr/iowaga_fre/Products/WAVEWATCH-III

⁵⁰ <https://swanmodel.sourceforge.io/features/features.htm>

formulations de l'état de l'art.

SIMAC-POSEIDON⁵¹ est un simulateur d'agitation côtière développé par ACRI-IN. Il comprend plusieurs modules destinés, d'une part à calculer les caractéristiques d'une houle se propageant du large vers la côte sur de grandes étendues, d'autre part à évaluer l'agitation aux abords d'un site en tenant compte d'un maximum d'effets ondulatoires occasionnés par les fonds et les ouvrages en présence. Ce modèle permet de suivre la propagation de la houle tout au long de son avancement, même quand les phénomènes de diffraction sont importants.

Modèle XBEACH : Le modèle XBeach (eXtreme beach behavior) est un outil de modélisation numérique morphodynamique de la zone littorale. Ses caractéristiques lui permettent de reproduire certains des phénomènes se déroulant pendant les tempêtes, et notamment l'érosion dunaire. Une de ses particularités réside dans l'amélioration de la modélisation du jet de rive qui prend en compte les ondes infra-gravitaires. Des projets ont été utilisés pour le tester sur les sites littoraux européens (FP7 MICORE), calibrer ses paramètres et développer des systèmes opérationnels de suivi de l'impact des tempêtes. (cf. [10]).

Les dispositifs de suivi satellitaire

CFO-SAT (Chinese-French Oceanic SATellite) est une mission spatiale franco- chinoise (CNES-CNSA) dont l'objectif est de réaliser un suivi des vents et des vagues à la surface des océans, de contribuer à la connaissance des processus physiques à l'œuvre durant la formation et l'évolution des vagues, et à l'amélioration de la modélisation des « états de mer » utilisée par la météorologie marine. CFOSAT emporte deux radars-diffusiomètres : SWIM (CNES) est un radar à synthèse d'ouverture à 6 faisceaux à faible incidence (0° à 10°) qui mesure la direction, la hauteur et la longueur d'onde des vagues ; SCAT (CNSA) mesure la direction et la vitesse des vents. CFOSAT a été placé en orbite le 29 octobre 2018 pour une mission d'une durée initiale de 3 ans. Il a une couverture globale.

Météo France a d'abord utilisé CFOSat pour valider ses modèles (cf. publi dans GRL) et en fait une utilisation opérationnelle depuis début 2021. CFO-SAT reste un satellite de recherche⁵² et pour l'heure aucune suite opérationnelle n'est prévue (des discussions ont lieu dans le cadre de Copernicus mais sans qu'une suite ait été décidée pour l'instant). Les données d'archive sont distribuées via le catalogue Aviso+ Cnes Data Center. Le site AVISO⁵³ indique comment accéder aux données SWIM et les visualiser.

Application en zone côtière : CFOSAT mais n'est pas adapté à la frange côtière. En effet le système fait des mesures monodirectionnelles : il lui faut le temps d'une rotation complète sur lui-même, correspondant à un défilement de 70km, pour déterminer un spectre multidirectionnel sur la base des mesures mono directionnelles réalisées dans toutes les directions.

Sentinel 1A et 1B sont deux satellites radar à synthèse d'ouverture (SAR) de l'Agence Spatiale Européenne. Comme CFOSAT, ils permettent de caractériser le spectre 2D des vagues mais le SAR n'est pas sensible aux petites vagues (longueur d'onde inférieures à 150m), alors que CFO-Sat descend à des longueurs d'onde de 70m.

⁵¹ <http://www.acri-in.fr/>

⁵² <https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/insu-03008401>

⁵³ <https://www.aviso.altimetry.fr/fr/missions/missions-en-cours/cfosat/comment-visualiser-et-utiliser-les-donnees-cfosat.html>

Sentinel 1 a deux modes :

- le mode « terres émergées et surveillance marine », avec des fauchées de plusieurs centaines de kilomètres
- le mode « vague » qui fait périodiquement des micro-acquisitions sur des vignettes de 20km sur 20 km, avec l'utilité de maintenir les appareils de mesure en température.

Application en zone côtière : Le mode « terres émergées et surveillance marine » permettrait de caractériser de façon fine les spectres 2D de la houle sur les zones littorales. Toutefois ce travail n'est pas fait car les traitement « vagues » ne sont pas inscrits parmi les priorités de production de l'ESA. Les interlocuteurs les plus compétents sur le potentiel de Sentinel 1 pour caractériser la houle sur les zones littorales sont au LOPS, à Ifremer et à CLS (contractant de l'ESA pour la qualité du Copernicus Marine Service).

Altimètres radar : les altimètres radar fournissent une information scalaire sur la hauteur des vagues, mais pas d'information sur le spectre de houle (pas de longueur d'onde des vagues, de direction, de vitesse, de distribution d'énergie sur le spectre de vagues...). Cette information spatialisée sur les hauteurs de vague peut être intégrée dans les modèles de houle et permet de ne pas dissiper d'énergie. Elle est utilisée par Météo France et ECMWF.

Application en zone côtière : pas possible à ce stade. Cette mesure est défaillante à proximité (10 km) de la côte en raison d'effets de biais du relief terrestre sur le signal altimétrique.

Sentinel 2A et 2B sont deux satellites optiques de l'Agence Spatiale Européenne. L'imagerie optique à haute résolution de l'instrument multi-spectral Sentinel-2 peut, dans des conditions favorables non nuageuses et de jour, fournir des mesures fines (résolution ~ km) de la surface de l'océan et des spectres directionnels d'énergie des vagues (longueur d'onde, direction, vitesse, période des vagues). Une combinaison de capteurs actifs et passifs peut donc être utilisée pour dériver une description spatialement dense du champ de vagues, augmentant la revisite temporelle des missions SAR uniquement. Une technique permettant d'estimer la surface libre et de dériver des spectres d'énergie des vagues et des courants à partir d'images satellites optiques a été développée ([15]). En exploitant la haute résolution spatiale de l'imagerie de Sentinel 2, elle produit des statistiques de vagues variant dans l'espace et couvrant une région complète. La couverture mondiale et le temps de revisite minimum de 5 jours de la constellation Sentinel 2 à la côte, permet une analyse à grande échelle de la variabilité des vagues côtières et de leur contribution à la vulnérabilité régionale des côtes.

Application en zone côtière : particulièrement adaptée à la zone côtière, mais dépendante des conditions de nébulosité.

Des comparaisons entre les spectres Sentinel1, Sentinel2, CFOSAT sont en cours sur les bouées Gascogne et Lion de Météo France.

SKIM Sea surface KInematics Multiscale monitoring (SKIM)⁵⁴ est une mission satellitaire scientifique proposée par le LOPS au programme Earth Explorer de l'ESA (pour mission EE9). Elle vise à mesurer les courants de surface, les glaces de mer et les vagues en utilisant un radar Doppler en bande Ka.

⁵⁴ <https://www.ums-lops.fr/en/Projects/Active-projects/SKIM>

6 Réseaux nationaux et internationaux d'observation océanographique et côtière

Les données CANDHIS temps réel sont relayées par plusieurs programmes de centralisation des données océano-météorologiques : le programme national Coriolis, les programmes européens Copernicus Marine et EMODnet, les programmes internationaux GOOS et DBCP. Par ailleurs plusieurs réseaux nationaux et internationaux contribuent au suivi des surfaces océaniques et littorales.

Réseaux nationaux

Dispositif de vigilance vagues submersion (<https://vigilance.meteofrance.fr/fr/vagues-submersion>). La vigilance vagues-submersion est présentée sur la carte de vigilance météorologique de Météo France, aux côtés de huit autres aléas météorologiques et hydrologiques (vents violents, inondations, orages...). Elle couple les prévisions du SHOM sur le niveau de la mer ; les données, modèles et prévision de Météo France sur la houle en zone côtière ; les observations in situ (réseau CANDHIS et observations en gestion de crise). Elle est figurée en niveau de risque (rouge, orange, jaune vert). Elle est publiée deux fois par jour et peut être actualisée à tout moment, en fonction de l'intensité des phénomènes prévus et de l'évolution observée des éléments qui influencent la hauteur d'eau à la côte (synchronicité du minimum dépressionnaire et de la marée haute, intensité du creusement de la dépression, orientation des vents par rapport à la côte, amplitude de la houle, etc.).

Réseau d'observation du niveau marin (RONIM) ⁵⁵ : Réseau de marégraphes côtiers numériques permanents sur les côtes françaises géré par le SHOM comprenant 48 observatoires du niveau de la mer déployés : 41 en métropole (11 en Mer du Nord et Manche, 16 en Atlantique, 14 en Méditerranée) et 8 en outre-mer (Guadeloupe, Guyane, La Réunion (2), Martinique, Mayotte, Nouvelle-Calédonie, Saint-Pierre et Miquelon). Les mesures de hauteurs d'eau acquises sont mises à disposition en temps quasi réel afin de répondre à différents besoins opérationnels comme le système d'alertes au Tsunamis (Cenalt) ou la vigilance météorologique Vagues-Submersion (Météo-France).

Pôle ODATIS, portail de données scientifiques sur les océans ⁵⁶ (<https://www.odatis-ocean.fr/>) Le Pôle ODATIS est consacré aux océans. Il est l'une des quatre composantes de l'infrastructure de recherche Data Terra (<https://www.data-terra.org/>) qui coordonne l'effort national de production de données scientifiques issues du spatial et de l'in situ. Ses catalogues des données et produits permettent d'accéder aux jeux de données fournis par la communauté nationale et d'explorer leurs liens avec les programmes internationaux. On peut ainsi accéder à différentes variables physiques :

- **Physique de l'océan** : Acoustique (vitesse du son), Courants, Glace, Hauteurs de mer, Marée océanique, Paramètres optiques (Coefficients de rétrodiffusion/atténuation/absorption), Pression, Salinité, Température, **Vague**.
- **Géologie** : Bathymétrie, Flux sédimentaire, Trait de côte, Hydrologie (débits fluviaux en mer).
- **Météorologie** : Aérosols, Flux radiatifs (radiation solaire), Humidité, Précipitation, Pression atmosphérique, Température air, Vent à la surface.

La description du paramètre physique "Vague" inclut hauteurs significatives des vagues (SWH),

⁵⁵ <http://refmar.shom.fr/fr/partenaires/producteurs-de-donnees/reseau-maregraphique-ronim>.

⁵⁶ THEIA pour les surfaces continentales ; ODATIS pour les océans ; AREIS pour l'atmosphère ; FORMATER pour la Terre solide.

houle, surcote. Une recherche de données sur les vagues oriente vers le site CANDHIS.

Coriolis⁵⁷ est une infrastructure intégrée d'observation in-situ de l'océan servant à la fois les besoins de l'océanographie opérationnelle et de la recherche. Elle rassemble sept instituts (CNES, CNRS, Ifremer, IPEV, IRD, Météo-France, Shom) qui portent le volet in-situ de l'océanographie opérationnelle française. Le périmètre de Coriolis inclut l'ensemble des réseaux français hauturiers pérennes ou à vocation pérenne et les réseaux haute fréquence côtiers développés dans le cadre de l'océanographie côtière opérationnelle.

L'Infrastructure de Recherche Littorale et Côtière (ILICO) (<http://www.ilico-ir.fr/?PagePrincipale>) vise à observer et comprendre les milieux et les écosystèmes côtiers et marins dans leur globalité. Elle regroupe un ensemble de dispositifs d'observation permettant de collecter des échantillons et de déployer différents instruments de mesure en fédérant 8 services d'observation, dit "réseaux élémentaires": COAST HF, CORAIL, DYNALIT, MOOSE, PHYTOBS, ReefTEMPS, SOMLIT et SONEL (et BenthOBS). ILICO est un élément structurant du paysage de la recherche pour les thématiques littoral et côtière, au plan national et européen. Elle anime un réseau des laboratoires marins.

- COAST-HF Système d'observation des océans côtiers – Haute Fréquence est un Service National d'Observation qui vise à fédérer et coordonner à l'échelle du littoral français un ensemble de plateformes fixes instrumentées de mesures in situ hautes fréquences pour des paramètres clés des eaux côtières. Il est constitué de 14 bouées ancrées instrumentées et autonomes permettant la mesure en continu de paramètres physiques et bio-géochimiques.
- SOMLIT : Service d'observation en milieu littoral : est un SNO consacré à l'impact du changement global sur les zones côtières et son importance relative par rapport aux activités humaines locales (global vs local). Son objectif général est orienté vers la détection de ce forçage en zones côtières fortement influencées par les impacts locaux des activités humaines. L'étude du littoral français dans son ensemble (choix de sites à situation de normalité, un suivi de paramètres pertinents, échantillonnage bimensuel, charte qualité), permet une approche multi-paramètres et multi-sites.
- SONEL Système d'Observation des Eaux littorales. Ce SNO vise à fournir des données du niveau de la mer de grande qualité métrologique obtenues à partir de marégraphes et de techniques modernes de géodésie pour l'étude des tendances à long terme du niveau de la mer. SONEL joue le rôle de centre de données GNSS aux marégraphes pour le programme mondial d'observation du niveau de la mer (GLOSS). Il agit aussi comme interface avec la communauté scientifique pour les données des marégraphes français.

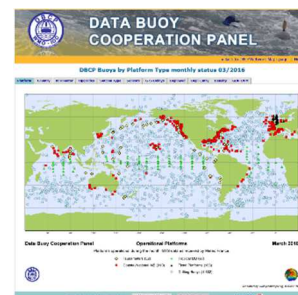
Projet REFMAR (<http://refmar.shom.fr>) : le SHOM assure des fonctions de coordination en matière de collecte et de diffusion des données publiques relatives à l'observation de hauteurs d'eau, notamment au profit des dispositifs opérationnels de VVS ou d'alerte aux tsunamis.

⁵⁷ <https://www.allenvi.fr/groupe-transversaux/infrastructures-de-recherche/coriolis>.

Réseaux européens et internationaux

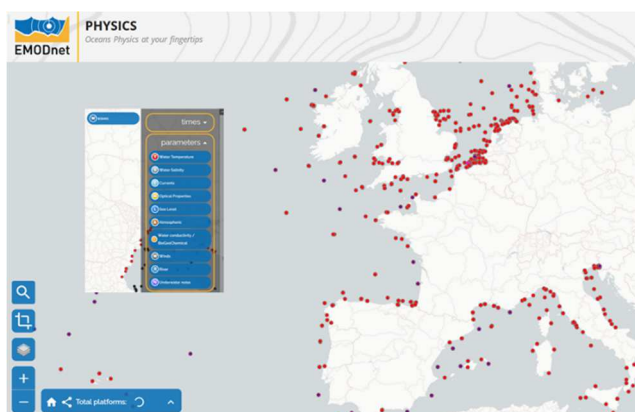
Plusieurs réseaux et infrastructures européennes et internationales collectent les mesures par satellites et les mesures in situ de différents paramètres et contribuent au partage des données.

Le Data Buoy Collaborating Panel (DBCP) (<https://www.oceanops.org/dbcp/>) est un programme international qui coordonne l'utilisation de bouées automatiques pour observer les conditions atmosphériques et océanographiques. Les bouées mesurent la pression, la température et l'humidité de l'air, la température de surface de l'eau, la vitesse des courants, les caractéristiques des vagues et la vitesse du vent. DBCP a pour objectif d'améliorer la qualité de la couverture et des mesures. Les données du réseau CANDHIS y sont accessibles.



Le Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMS)⁵⁸ est un service européen qui a pour mission de fournir un accès libre et gratuit à une information scientifiquement qualifiée et régulière sur l'état physique et biogéochimique de tous les océans du globe, en surface comme en profondeur : température, salinité, niveau de la mer, courant, glace de mer, oxygène, chlorophylle,... Son catalogue de produits océaniques englobe des produits dérivés d'observation spatiale et in situ, des prévisions et analyses en temps réel, et des séries temporelles sur plusieurs dizaines d'années dans le passé (réanalyses). Le Portail Copernicus Marine Service⁵⁹ diffuse les produits océaniques et permet de choisir les produits d'intérêt par zone géographique, par paramètre d'intérêt et fenêtre temporelle. Les données du réseau CANDHIS y sont accessibles. Ce service est destiné à de nombreux usages, qu'ils soient de nature commerciale, scientifique, pour des missions de service public ou pour le grand public.

European Marine Observation and Data Network (EMODnet) ⁶⁰ est un réseau d'organisations, soutenu par la Politique maritime intégrée de l'Union Européenne. Elles collaborent pour l'observation des océans et mers, le traitement des données selon des standards internationaux, et rendre interopérable et diffuser les données et produits qui en résultent. La stratégie "collect once and use many times" bénéficie à tous les utilisateurs. EMODNET diffuse (figure de droite) les données des houlographes des partenaires européens.



Veille météorologique mondiale⁶¹ de l'Organisation Météorologique Mondiale (WMO-OMM) : L'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) assure les échanges internationaux des données d'observation dans le cadre de la Veille Météorologique Mondiale, notamment pour faciliter et fluidifier les utilisations en temps réel. Le Système mondial de télécommunications (SMT) assure la gestion et la diffusion de ces données. Ainsi Météo-France concentre les données temps réel de l'ensemble des houlographes collectées par le Cerema, les met en forme, les diffuse en temps réel sur le SMT et en assure l'archivage.

Le Global Ocean Observing System (GOOS) (<https://goosocean.org/>) a pour objectif de

⁵⁸ (<https://marine.copernicus.eu/>).

⁵⁹ [https://resources.marine.copernicus.eu/?option=com_csw&task=results.](https://resources.marine.copernicus.eu/?option=com_csw&task=results)

⁶⁰ https://emodnet.ec.europa.eu/en/about_emodnet.

⁶¹ <https://public.wmo.int/fr/bulletin/le-syst%C3%A8me-mondial-d%E2%80%99observation>.

permettre de décrire l'état de l'océan, de prévoir ses conditions changeantes et ses effets sur le changement climatique, et de faciliter le développement durable par les utilisateurs et les gestionnaires de l'océan. GOOS s'articule autour de deux thèmes principaux : l'océan ouvert et les mers côtières. Ce second thème est conçu pour fournir des informations sur la santé des écosystèmes côtiers et leur développement durable, sur la contamination et la pollution et la qualité de l'eau, sur les conditions relatives aux activités commerciales et récréatives offshore, et sur les risques marins.

European Global Ocean Observing Systems (EuroGOOS) (<https://eurogoos.eu/about-eurogoos/>) est une association d'agences gouvernementales nationales de pays européens, d'organisations de recherche et de compagnies privées, impliquées dans l'océanographie et contribuant au GOOS. EuroGOOS couvre l'une des régions de GOOS et a pour objectif de développer des stratégies, des partenariats et des co-productions dans le domaine de l'océanographie.

7 Analyse des utilisateurs et utilisations des données CANDHIS

Cette analyse vise à une meilleure compréhension de l'identité des utilisateurs des données de mesure in situ de la houle côtière (données du réseau CANDHIS) et de leurs thématiques d'utilisation.

Les données sur la houle et les états de mer⁶² sont accessibles par plusieurs voies :

1. Site du réseau CANDHIS : information temps réel par consultation du portail CANDHIS
2. Site du réseau CANDHIS : information temps réel par flux ftp à partir du réseau CANDHIS
3. Site du réseau CANDHIS : demande de données enregistrées
4. Autres sites de diffusion des données CANDHIS (CORIOLIS ; Copernicus ; EMODNET) : demande de données ou flux ftp

Seule la troisième voie fait l'objet d'un questionnaire qui permet de connaître l'identité et le type d'utilisateurs et la thématique d'utilisation.

1. Consultation en temps réel du portail CANDHIS

600 000 visites du site web CANDHIS en 2020, par 208 500 visiteurs différents

Une croissance continue de 11% par an de 2013 à 2020

Des consultations du site en croissance de plus de 10% par an : Au cours de l'année 2020, 208 500 visiteurs différents ont consulté en temps réel le site CANDHIS pour un total de plus de 600 000 visites (<http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/>). Sur la période 2013-2020 le nombre annuel de visites a été multiplié par 2, la fréquentation suivant une croissance régulière de plus de 11% par an. Dans le même temps la bande passante a été multipliée par 5 (50 à 250 Go).

Profils utilisateurs : Il est difficile de déterminer le profil des visiteurs et utilisateurs du site CANDHIS. La navigation, les travaux côtiers, la plaisance, les sports nautiques (surf) sont des secteurs qui consultent régulièrement les données en temps réel. En 2016 le Cerema a mené une enquête sur la nature de ces utilisations « temps réel », par consultation de partenaires et utilisateurs réguliers de CANDHIS. Une quinzaine de témoignages ont été recueillis, provenant essentiellement d'acteurs portuaires. Plusieurs utilisateurs évoquent « une utilisation très régulière, jusqu'à plusieurs fois par jour, dans le cadre de dispositifs de veille vis-à-vis des phénomènes de submersion ».

« Nous utilisons quotidiennement les données de la bouée houlographe pour évaluer les conditions d'embarquement des pilotes. » Permanence-Pilotes de Sète :

« ...informer sur les conditions de manoeuvres d'entrée-sortie du port, d'embarquement et de débarquement des passagers des navires de croisière, de protection des installations du littoral, d'amarrage des navires à quai. » Armelle Roudaut (directrice DAM Monaco)

« Consultation quotidienne pour le dragage et le remorquage maritime » « les données temps réel des bouées sont également beaucoup utilisées par les plaisanciers locaux » Thomas De Recy (capitaine d'armement de la drague et du remorqueur du port de commerce de Bayonne)

« Des acteurs (Grand Port Maritime de Marseille, société EOLFI, société MOBILIS...) utilisent les

⁶² [mesures houlographiques in situ temps réel ou historiques ; mesures satellitaires ; rejeux historiques [reconstitution par modélisation à partir des données météorologiques] ; prévision par modélisation à partir des prévisions météorologiques,...].

données temps réel pour tester leurs propres équipement houlographiques » **Christian Segatto (P&B Marseille)**

« Consultation temps réel pour des chantiers (infrastructures littorales ou côtières, dragage...) afin de prévenir les phénomènes de submersion et assurer la sécurité des équipes. Intégration des données temps réel dans les dispositifs de surveillance de chantiers » **Mr Touati (travaux Publics Monaco)**

« consultation des données en complément des prévisions de houle (Prévimer, Windguru) comme aide à la décision pour la validation d'un chantier » **Franck Grall (P&B Brest)**

L'analyse des chiffres de consultation mensuelle du site CANDHIS sur la période 2013-2021 montre les mêmes tendances :

- elle présente une croissance régulière et quelques hétérogénéités (par exemple une baisse des consultations en mars et avril 2020 probablement imputable au confinement COVID, un problème sur le site web en juin 2021). (Figure 32).
- elle ne présente pas de cycle saisonnier marqué, mais une augmentation sensible (+25%) des consultations sur la période septembre-décembre (Figure 32).

L'analyse mensuelle ne permet pas de détecter des pics de consultation temps réel qui seraient reliés à des épisodes de tempête et d'estimer ainsi la part des usages liés à la gestion des risques (navigation, submersion, suivi de chantiers...).

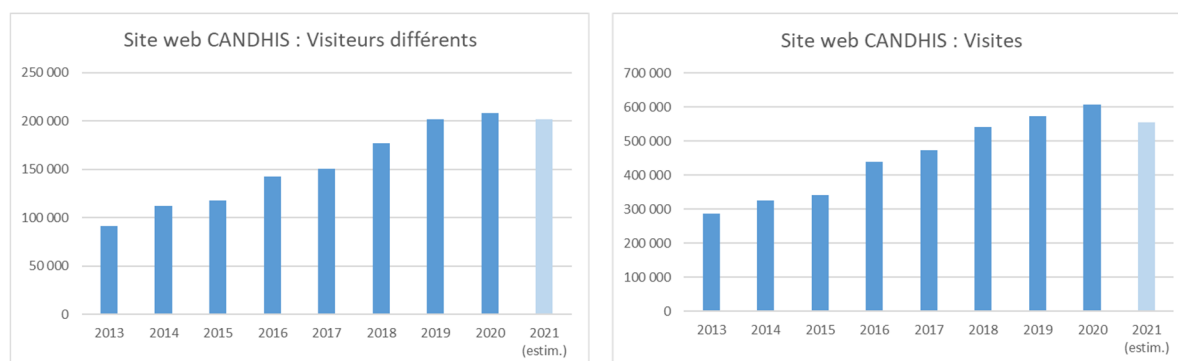


Figure 31 : Evolution 2013-2021 des chiffres de consultation annuelle du site web CANDHIS (nombre de visiteurs différents à gauche ; nombre de visites à droite)



Figure 32 : Evolution 2013-2021 des chiffres de consultation mensuelle du site web CANDHIS (nombre de visites) et courbe saisonnière moyenne

2. Flux de données organisés (flux ftp) à partir du réseau CANDHIS

11 utilisateurs de flux de données organisés en 2021

Un « flux de données organisé » permet à un utilisateur de télécharger automatiquement en temps réel (ou à la fréquence qui lui convient) les données du site CANDHIS d'intérêt pour lui. Le flux peut concerner une ou quelques bouées (par exemple pour les utilisateurs intéressés par le suivi d'un chantier ou pour une interface dédiée à une portion de littoral) comme toutes les bouées (par exemple pour Météo-France et l'Ifremer).

Le site CANDHIS n'indique pas comment mettre en place un flux automatisé ftp et il est nécessaire pour cela de contacter le Cerema.

Le tableau ci-dessous restitue l'analyse faite par le Cerema en juillet 2021 des « flux de données organisés » à partir du réseau CANDHIS. Il porte sur onze utilisateurs de flux organisés. recensés.

Organisme	Contact	utilisateurs	Finalité
Météo France	matthieu.chevallier@meteo.fr	CMM Prévisionnistes (Toulouse)	Calage et validation des modèles Météo-France Diffusion sur le SMT (système mondial de télécommunication)
Ecole Centrale de Nantes (ECN)	yves.perignon@ec-nantes.fr	Izan.Le-Crom@ec-nantes.fr (partie technique)	
ACRI-IN	lydie.denis@acri-in.fr		
Ifremer LOPS	armel.Bonnat@ifremer.fr stephane.Tarot@ifremer.fr		Alimentation Coriolis, Copernicus Marine et EMODNET
Université de Montpellier	olivier.lobry@umontpellier.fr	reçoivent les données via la DREAL-OCC	
BRGM Occitanie	Yann Balouin (y.balouin@brgm.fr)	On leur transmet les fichiers PVM des 4 bouées Golfe du Lion toutes les 30mn	
Bouygues Constructions (Monaco)	Tanya Ferraro (t.ferraro@bouygues-construction.com)		Suivi de chantier
Trasomar Monaco	Larry JAKUBOWICZ (jakubowicz@trasomar.mc)	(données de Porquerolles)	Suivi de chantier
BRL Ingénierie	Matthieu Gilbert (Matthieu.Gilbert@brl.fr)	(données de Sète)	Suivi de chantier
Creocean	Jérôme DAVIGNON (davignon@creocean.fr)	envoi hebdo en 2018/2019 - campagne 04403	Suivi de chantier
Charier Génie Civile Nantes	Pierre-Etienne Gadriot (pgadriot@charier.fr)	(St-Pierre & Miquelon)	Suivi de chantier

Tableau 22 : Flux de données organisés à partir du réseau CANDHIS

3. Réseau CANDHIS : demande de données enregistrées

1131 demandes de données formulées entre 2012 et 2021

Un utilisateur peut s'adresser au Cerema pour formuler une demande de données. Le site CANDHIS (<http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/>) n'indique pas une procédure standard pour de telles demandes (absence d'un onglet « faire une demande de données »). Il indique juste en tête du fil d'actualités : **Pour nous contacter : candhis@cerema.fr**

Le Cerema tient à jour un tableau renseignant pour chaque demande plusieurs critères (a priori fournis par le demandeur) : Date de la demande et date de la fourniture ; Organisme ; Personne devant utiliser les données ; Objet de l'étude ; Cadre d'utilisation des données ; Type d'organisme ; Campagne(s) demandée(s).

3.1 Méthode d'analyse des demandes de données

L'analyse des demandes de données CANDHIS a été menée sur la base des fichiers annuels d'enregistrement des demandes de janvier 2012 à juillet 2021 fournis par le Cerema, soit un total de 1131 demandes. La mission en a constitué une base de données.

Deux typologies ont été mises au point :

- une typologie des utilisateurs (Tableau 23)
- une typologie en deux niveaux des thématiques d'utilisation (Tableau 24 et Tableau 25).

Sur cette base chaque demande individuelle a été renseignée selon le type d'acteur et le type d'utilisation, de façon à pouvoir réaliser des analyses statistiques sur les demandes et faire des analyses croisées. Ce type de base de données pourra constituer un socle pour l'animation des communautés utilisatrices. Des imprécisions dans l'analyse sont inévitables mais sont lissées par le grand nombre de demandes.

Un formulaire standard de demande de données pourrait être mis en ligne et Des améliorations pourraient être apportées :

- Adresse email d'un contact dans l'organisme
- Organismes : nom, coordonnées de l'organisme et type d'organisme (choix multiple)
- Thématique : proposer un choix multiple en cascade
- Cadre d'utilisation des données : mieux canaliser les réponses
- Enregistrer le détail des données fournies
- ajouter au formulaire de demande une entrée « entité bénéficiaire » par exemple quand une BE Privé travaille pour une collectivité.
- La typologie à deux niveaux des thématiques d'utilisation devra être affinée et finalisée.

Typologie niveau 1
Ministères et services de l'Etat (incluant Défense et gendarmerie)
Etablissements publics
Enseignement supérieur et recherche (incluant Universités, Ecoles d'ingénieurs, labos R&D publics)
Hôpitaux
Ports
Pêche et élevage marin
Collectivités territoriales
Syndicats mixtes
Bureaux d'études privés
Entreprises privées
Industriels
GIP
Compagnies d'assurance
Presse
Associations
Particuliers

Tableau 23 : Typologie des utilisateurs de données CANDHIS utilisée dans le cadre de cette analyse

La typologie des thématiques d'utilisation a été élaborée sur la base des 1131 demandes

Typologie niveau 1	Typologie niveau 2
Etats de mer	
Littoral, trait de côte, géomorphologie	
Risques	
portuaire	
EMR	
Suivi environnement et pêches	
Enseignement- pédagogie	
Enquêtes et procédures judiciaires	
infrastructures côtières	
Nautisme et sport	
navigation	
infrastructures offshore	
Rejeux tempêtes	

Tableau 24 : Typologie (niveau 1) des thématiques d'utilisation des données CANDHIS utilisée dans le cadre de cette analyse

Typologie niveau 1	Typologie niveau 2
Risques	
	submersion marine, tempêtes, VVS
	Vagues extrêmes
	CATNAT - Catastrophe naturelle
	RETEX post-événement
	Protection contre l'érosion
	Systèmes d'endiguement, ouvrages de protection
	Prévention des risques littoraux (PPRL)
	Réglementation sûreté nucléaire
	Pollution
	Accidents (noyade, naufrage)

Tableau 25 : Typologie (niveau 2) des thématiques d'utilisation des données CANDHIS utilisée dans le cadre de cette analyse (cas de la thématique de niveau 1 « risques »)

3.2 La demande globale :

De janvier 2012 à juillet 2021, 1131 demandes de données ont été formulées, portant sur 3073 stations (campagnes). Sur la période (cf. Figure 33), le nombre annuel moyen de demandes est de 120 (300 campagnes/stations demandées), avec occasionnellement des demandes massives (toutes les stations) qui expliquent par exemple les pics de nombre de stations demandées de 2014 et 2020

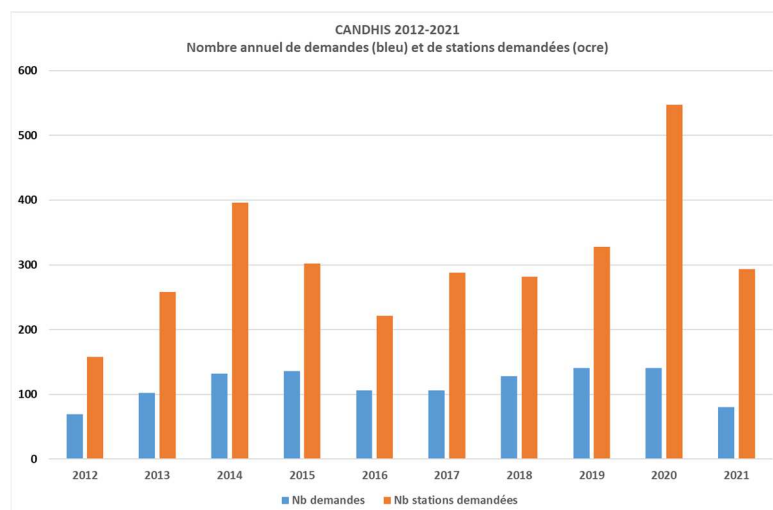


Figure 33 : nombre annuel de demandes de données et de stations demandées (CANDHIS 2012-2021)

3.2.1 Délais de réponse aux demandes

Pour 50% des demandes la fourniture est réalisée sous 2 jours calendaire, pour 95% sous 7 jours calendaires. Ces délais sont excellents, liés au fait que les demandes restent peu nombreuses (2 à 4 par semaine). Les fournitures à plus de 15 jours de délai (20 cas recensés soit 1,8% du total) mériteraient une analyse particulière : six demandes formulées après mi-décembre ont été satisfaites en janvier, les 14 autres cas ne semblent pas avoir d'explication immédiate.

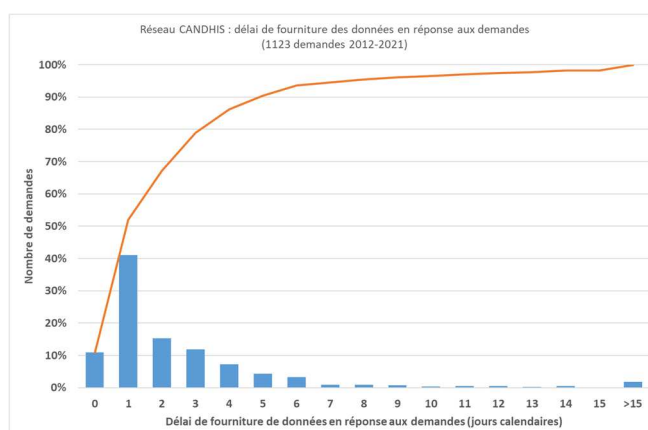


Figure 34 : Répartition des demandes fonction du délai de fourniture (CANDHIS 2012-2021)

Un scénario de service rapide payant, qui aurait pu répondre aux besoins de certains utilisateurs, est analysé plus loin dans le texte. Il n'est plus pertinent depuis la mise en service en 2021 du téléchargement automatique des données.

3.2.2 La demande par station :

La fréquence de demande de données varie selon les stations de quelques demandes jusqu'à 130 demandes en 10 ans (station de Pierre Noire). Les 10 stations les plus demandées (tableau ci-dessous) sont réparties sur l'Atlantique Nord (4), l'Atlantique Sud (2) et la Méditerranée (4). Elles ont toutes 10 ans de fonctionnement ou plus.

Station	Nb demandes (sur 1141 demandes 2012-2021)	Nb années fonctionnent
02911 - Les Pierres Noires	132	14,1
04403 - Plateau du Four	119	12,2
05602 - Belle-Ile	118	9,8
01101 - Leucate	111	13,6
03302 - Cap Ferret	98	18,7
01305 - Le Planier	90	9,5
03404 - Sète	90	14,5
06402 - Anglet	84	10,4
08504 - Ile d'Yeu Nord	83	15,1
06601 - Banyuls	81	12,7

Tableau 26 : 10 stations les plus demandées sur la période 2012-2021

58% de la demande porte sur les 30 stations opérationnelles (i.e en service en 2019), avec en moyenne 6 demandes par station et par an (entre 4 et 12).

42% de la demande porte sur les 74 stations historiques (i.e qui n'étaient plus opérationnelles en 2019) avec en moyenne 1,7 demande par station et par an. Ce chiffre est toutefois biaisé à la hausse par les demandes globales.

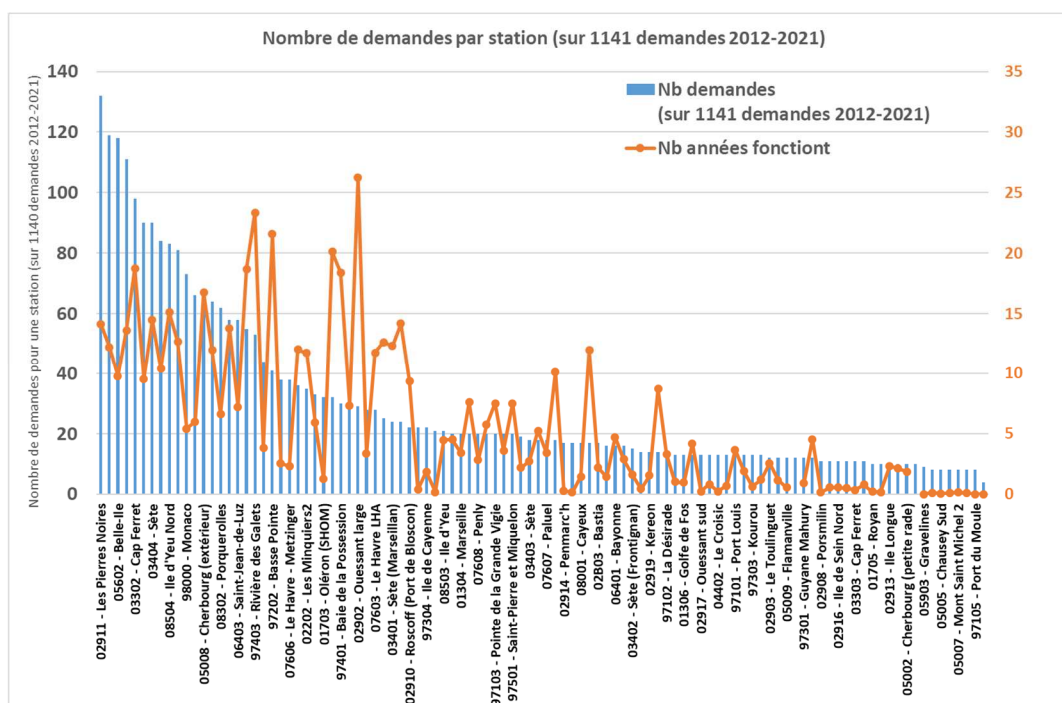


Figure 35 : Nombre de demandes par station CANDHIS sur la période 2012-2021, et durée de service des stations en 2019

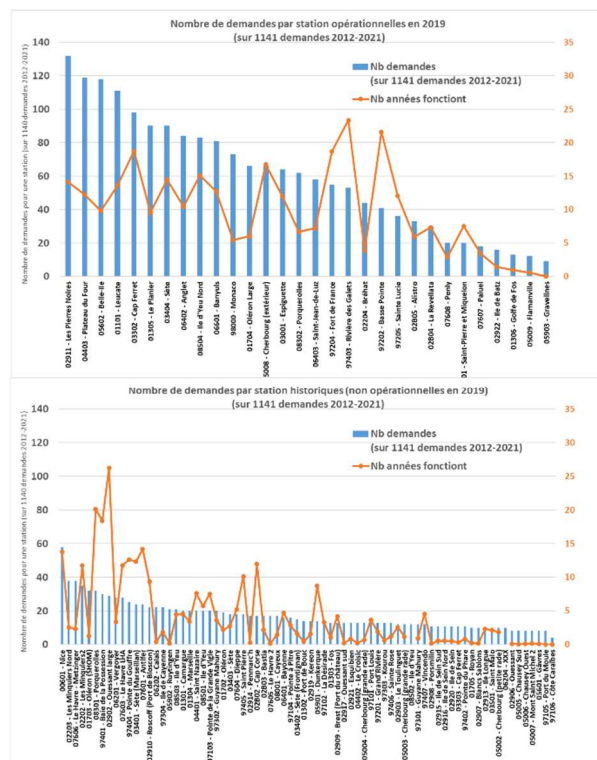


Figure 36 : Nombre de demandes par station CANDHIS sur la période 2012-2021, et durée de service (à gauche : stations opérationnelles en 2019 ; à droite : stations historiques non opérationnelles en 2019)

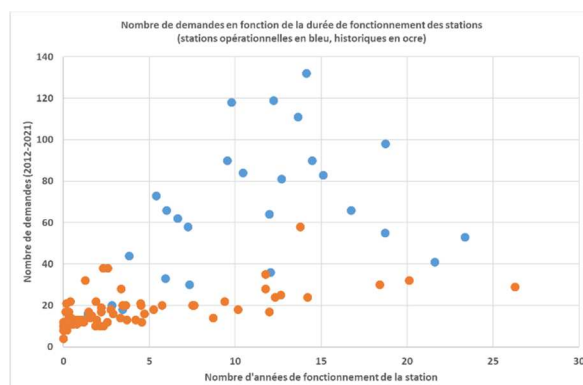


Figure 37 : Nombre de demandes par station sur la période 2012-2021 en fonction de la durée de service des stations (bleu : stations opérationnelles en 2019 ; ocre : stations historiques non opérationnelles en 2019)

3.2.3 La demande pour les stations outremer :

Sur la période 2012-2021 les stations d'outremer ont fait individuellement l'objet de 370 demandes

	Station	Nb demandes (sur 1140 demandes 2012-2021)	370
Guadeloupe	97101 - Port Louis	9	52
Guadeloupe	97102 - La Désirade	10	
Guadeloupe	97103 - Pointe de la Grande Vigie	16	
Guadeloupe	97104 - Pointe à Pitre	12	
Guadeloupe	97105 - Port du Moule	4	
Guadeloupe	97106 - Côte Caraïbes	1	
Martinique	97201 - Grand'Rivière	9	123
Martinique	97202 - Basse Pointe	35	
Martinique	97204 - Fort de France	49	
Martinique	97205 - Sainte Lucie	30	
Guyane	97301 - Guyane Mahury	9	55
Guyane	97302 - Guyane Mahury	17	
Guyane	97303 - Kourou	10	
Guyane	97304 - Ile de Cayenne	19	
Réunion	97401 - Baie de la Possession	25	125
Réunion	97402 - Pointe du Phare	6	
Réunion	97403 - Rivière des Galets	46	
Réunion	97404 - Pointe du Gouffre	20	
Réunion	97405 - Saint Pierre	13	
Réunion	97406 - Sainte Rose	8	
Réunion	97407 - Vincendo	7	
Saint Pierre et Miquelon	97501 - Saint-Pierre et Miquelon	15	15

Tableau 27 : Demande 2012-2021 pour les stations CANDHIS situées en outremer

3.3. Demandeurs et thématiques d'utilisation

3.3.1 Qui sont les demandeurs ?

La utilisateurs formulant des demandes de données (cf. typologie Tableau 23) se répartissent pour moitiés entre la sphère publique (ministères, services de l'Etat, Etablissements publics, enseignement supérieur – recherche, collectivités territoriales...) et la sphère privée (autorités portuaires, pêche, bureaux d'étude privés, entreprises et industries...).(Tableau 28 et Figure 38).

Les trois principaux secteurs demandeurs sont les bureaux d'études et sociétés de service (34% des demandes), la recherche (25% des demandes), les établissements publics (18% des demandes).

Acteurs	Etablissements publics	Collectivités territoriales	Bureaux d'études privés	Enseignement supérieur, recherche	Ministères, services de l'Etat	Portuaire	Autres	Total
Demandes	200	17	387	287	48	12	180	1131
Campagnes	782	22	913	678	72	12	594	3073

Tableau 28 : Répartition des demandes de données au réseau CANDHIS (2012-2021) formulées par les différents types d'acteurs

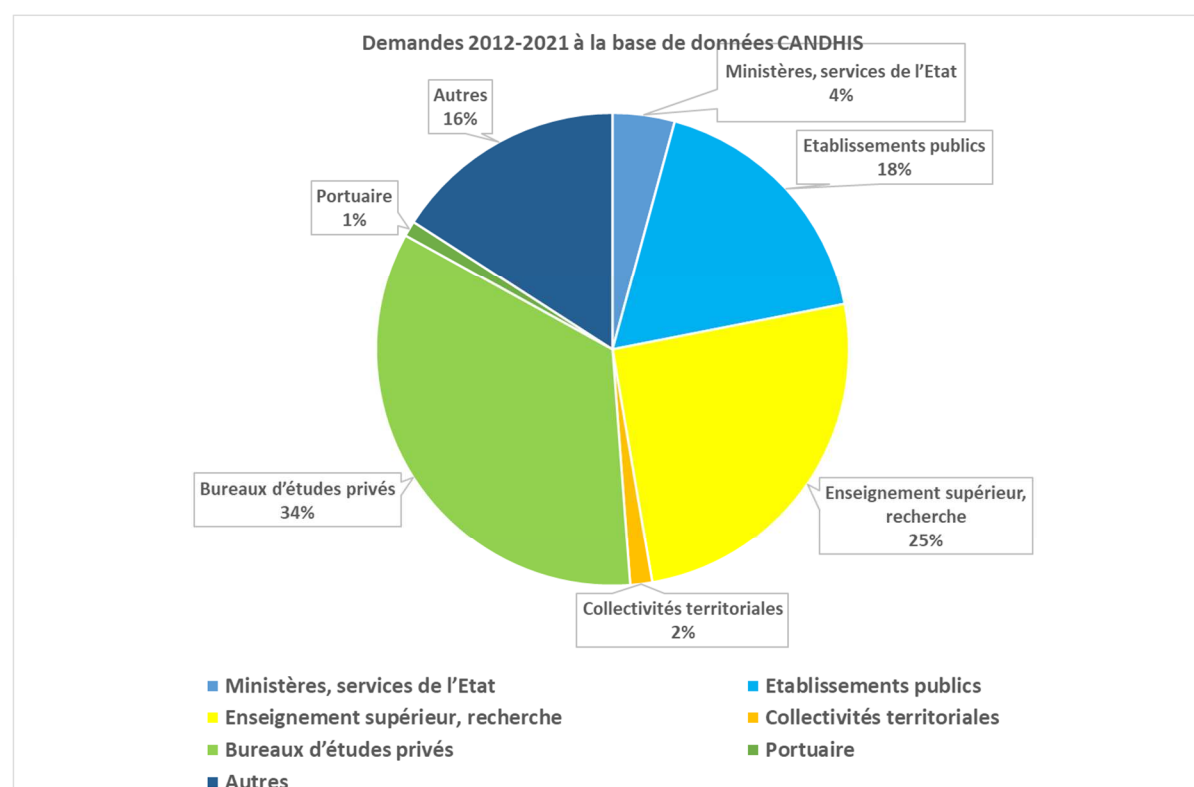


Figure 38 : répartition des demandes de données au réseau CANDHIS (2012-2021) formulées par les différents types d'acteurs

On notera que dans de nombreux cas les bureaux d'études interviennent pour des collectivités territoriales (actions GEMAPI), ce qui explique la faiblesse actuelle des demandes issues des collectivités territoriales.

3.3.2 Quelles sont les thématiques d'utilisation des données

L'analyse de la répartition des demandes en fonction de la thématique d'utilisation des données (cf. typologie Tableau 24) montre deux traits marquants (Tableau 29, Figure 39) :

- 29% des demandes renseignées portent sur des développements amont de connaissance des états de mer servant toutes les thématiques d'utilisation
- Cinq thématiques d'utilisation dominant parmi les autres demandes renseignées: littoral et trait de côte (30%) ; risques (18%), énergies marines renouvelables (14%), portuaire (14%), suivi environnemental et pêche (13%)

Thématique d'utilisation	Nombre de demandes	Nb de stations demandées
<u>Etats de mer (développements amont)</u>	294	1188
Littoral, trait de côte, géomorphologie	217	409
risques	135	480
portuaire	102	133
EMR	99	353
Suivi environnement et pêches	92	170
Enseignement- pédagogie	29	64
Enquêtes et procédures judiciaires	19	21
infrastructures côtières	17	23
Nautisme et sport	10	11
navigation	9	11
infrastructures offshore	3	8
Rejeux tempêtes	2	2
indéterminé	103	200
Total	1131	3073

Tableau 29 : Demandes de données au réseau CANDHIS (2012-21) par thématique d'utilisation

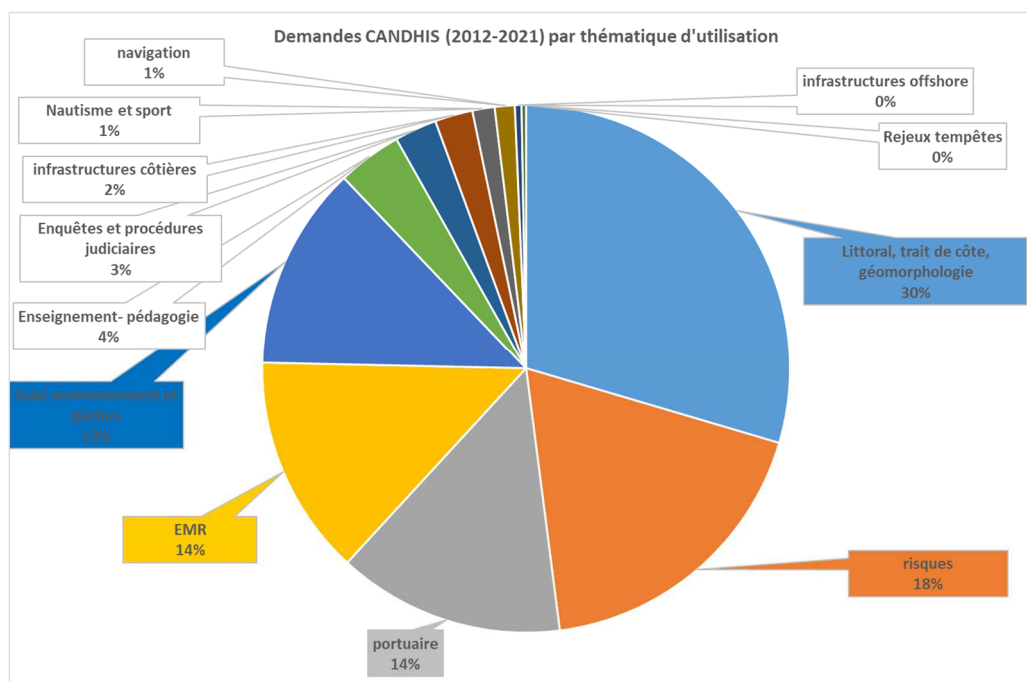


Figure 39 : répartition des demandes de données CANDHIS (2012-21) en fonction de la thématique d'utilisation. Graphique construit sur 71% des demandes renseignées (734) en excluant les demandes pour des développements amont sur les « états de mer » servant toutes les thématiques (294)

3.3.3 Croisement entre type de demandeur et thématiques d'utilisation des données

L'analyse croisée des demandes de données au réseau CANDHIS en fonction du type de demandeur et de la thématique d'utilisation des données (Tableau 30) permet d'identifier des spécificités

- Un alignement notable de la recherche et des bureaux d'études privés (hors ingénierie portuaire)
- Un investissement dominant des services de l'Etat sur la thématique risques et une utilisation des données CANDHIS dans des procédures d'enquête ou judiciaires
- Un investissement dominant des collectivités territoriales sur les risques et la gestion du littoral. On peut anticiper une évolution rapide à la hausse dans le cadre de la GEMAPI.

Demandes	Etablissements publics	Collectivités territoriales	Bureaux d'études privés	Enseignement supérieur, recherche	Ministères, services de l'Etat	Portuaire	Autres	Total
Etats de mer	63		114	77	2		34	290
Littoral, trait de côte, géomorphologie	51	9	35	108	4		7	214
risques	39	4	30	20	17		22	132
portuaire	2	1	60	5		10	24	102
EMR	2	1	49	10	2	1	34	99
Suivi environnement et pêches	11		33	26	5		17	92
enseignement			3	5			17	25
infrastructures côtières			9	4			3	16
Enquêtes et procédures judiciaires					10	1	5	16
Nautisme et sport	1	1	1	1			6	10
navigation			7				2	9
infrastructures offshore			2	1				3
Rejets tempêtes	2							2
inconnu	10		39	30	8		9	96
Total	181	16	382	287	48	12	180	

Tableau 30 : Répartition des demandes de données au réseau CANDHIS (2012-21) par type d'acteur demandeur et par thématique d'utilisation des données (en bleu : plus de 10 demandes)

3.3.4 Analyse par groupe d'acteurs

Ministères et services de l'Etat (hors EP, R&D et enseignement supérieur)

48 demandes ont été recensées émanant de ministères et services de l'Etat, pour 72 campagnes.

Services de l'Etat	demandes	Nb campagnes
Défense	10	15
Gendarmerie	7	8
Services de l'Etat : DDT-DREAL-DRAC-Off Eau	26	44
Ministères DACs (DGALN/DEB)	1	1
Monaco*	4	4
Total	48	72

Tableau 31 : Demandes des Services de l'Etat – analyse par type d'acteur (CANDHIS 2012-21)

(*) 4 demandes de Monaco (Dir. Affaires Maritimes ; Mission d'urbanisation en mer) sont intégrées à ce tableau

Thématiques d'utilisation	demandes	Nb campagnes
Risques	17	32
Enquêtes et procédures pénales	10	11
Suivi environnemental et pêches	5	8
Littoral, trait de côte, géomorphologie	4	7
Modèles d'état de mer	2	3
EMR	2	2
indéterminé	8	9
Total	48	72

Tableau 32 : Demandes des Services de l'Etat – analyse par thématique d'utilisation (CANDHIS 2012-21)

La thématique « risques » et les procédures judiciaires (enquêtes) sont les principales utilisations directes des services de l'Etat. La thématique « indéterminée » correspond notamment aux demandes émanant de la Défense.

Ceci ne traduit toutefois qu'une partie de l'utilisation des données CANDHIS par la puissance publique qui passe principalement par les établissements publics, les bureaux d'études privés et la sphère enseignement supérieur – recherche.

Etablissements publics

178 demandes ont été recensées émanant d'établissements publics, portant sur 719 campagnes (163 campagnes sur 2 demandes ; 521 campagnes sur 159 demandes soit environ 4 campagnes par demande) :

Etablissements publics	demandes	Nb campagnes
BRGM	47	98
SHOM	46	267
Météo france	44	228
Ifremer	18	83
Cerema	17	35
Agence des aires marines protégées	4	6
IFSTTAR	1	1
Conservatoire du Littoral Corse	1	1
Total	178	719

Tableau 33 : Demandes des Etablissements publics – analyse par établissement (CANDHIS 2012-21)

Dans le cas du Cerema les 17 demandes émanant de directions et services du Cerema (/ DTerSO ; / DTEMF / Direction Scientifique ; /DtEMF /LGCE ; /DterMed ; /DTER Normandie-Centre ; /DTERSO ; /DTEMF IT/LHN. Les demandes portent sur une à 6 campagnes (stations). Les principales thématiques déclarées portent sur : littoral et trait de côte (7), Modèles de vagues : observation, analyse, modélisation (3) ; risque (3), Suivi environnemental et pêches (2).

Les principales thématiques déclarées portent sur : Modèles de vagues : observation, analyse, modélisation (59) ; littoral et trait de côte (43), risque (35),

Nb demandes	Total	BRGM	SHOM	MF	Ifremer	Autres	Cerema
Etats de mer	62	4	24	14	14	3	3
Littoral	50	25	14		3	1	7
Risques	39	9	1	26			3
EMR	2		2				
Portuaire	2		2				
Rejeux tempêtes	2		2				
Nautisme et sport	1			1			
Suivi environ. et pêches	11	4		1	1	2	3
autre	10	5	1	2			2
Total	179	47	46	44	18	6	18

Tableau 34 : Demandes de données par les établissements publics – analyse par thématique d'utilisation (CANDHIS 2012-21)

L'utilisation des données par BRGM, SHOM et Météo France (~45 demandes en 10 ans) est plus intense que par le Cerema ou Ifremer (~17 demandes en 10 ans).

Il convient toutefois de signaler une limite de cette analyse : Météo France et le Cerema mais aussi le SHOM et Ifremer peuvent disposer des données en interne et ne font donc pas systématiquement des demandes au site CANDHIS.

Une analyse interne au CEREMA de l'utilisation des données CANDHIS serait utile (le nombre de 16 demandes en 10 ans est faible par rapport aux usages).

Recherche et enseignement supérieur

279 demandes ont été recensées émanant de laboratoires de recherche publics (universités, écoles d'ingénieurs, EPST hors Ifremer), pour un total de 663 campagnes (10 demandes de 10 campagnes ou plus, pour un total de 178 campagnes; 269 demandes de 9 campagnes ou moins, pour un total de 485 campagnes; soit ~2 campagnes par demande).

Enseignement supérieur et recherche	demandes	Nb campagnes
Labos publics R&D	154	396
Universités	102	236
Ecoles d'ingénieurs	23	31
Total	279	663
Classes préparatoires	19	48

Tableau 35 : Demandes de l'enseignement supérieur et de la recherche – analyse par type d'acteur (CANDHIS 2012-21)

Les thématiques d'utilisation [268 demandes] [491 campagnes] portent sur :

Recherche et enseignement supérieur	demandes	Nb campagnes
Littoral, trait de côte, géomorphologie	102	199
Modèles d'état de mer	75	238
Suivi environnemental et pêches	26	63
Risques	20	56
EMR	10	27
portuaire	5	9
Enseignement-pédagogie	5	6
infrastructures côtières	4	4
infrastructures offshore	1	1
Nautisme et sport	1	1
navigation	0	0
inconnu	30	59
Total	279	663

Tableau 36 : Demandes de l'enseignement supérieur et de la recherche – analyse par thématique (CANDHIS 2012-21)

- **Littoral, trait de côte, géomorphologie [102]** ; Dynamique sédimentaire [66] ; Suivi du trait de côte [25] ; Suivi du littoral [6] ; Impact des tempêtes [4] ; indéterminé [1]
- **modèles d'état de mer [75]** : champs de houle, climat de vagues, événements extrêmes [13] ; forçage et interactions (courant, météo, structures) [12] ; développement de modèles de vagues [11] ; Evaluation de modèle [18] ; mesures associées (sismique, courants, radar H/F, aéroporté, satellitaire) [17] ; indéterminé [4]
- **Suivi environnemental et pêches [26]** ; écosystèmes et biologie [16] ; pêche [1] ; métrologie sous-marine (dont suivi acoustique) [2] ; environnement géophysique [6] ; enseignement-pédagogie [1]
- **Risques [20]** : submersion marine, tempêtes [11] ; pollutions [8] ; systèmes endiguement [1] ;
- **EMR [10]** : énergie des vagues [5] ; houlomoteurs [5] ;
- **portuaire [5]** : transferts sédimentaires [2] ; aménagements portuaires [2] ; études et ingénierie portuaires [1]
- **enseignement-pédagogie [5]** ; **infrastructures côtières [4]** ; **infrastructures offshore [1]** ; **Nautisme et sport [1]** ; **inconnu [30]**

Master, Thèses, Postdocs

Les demandes issues des stages, Masters, thèses et post-doctorats représentent de 40% à 45% des demandes de la sphère « Enseignement supérieur et recherche » :

Recherche et enseignement supérieur	demandes	Nb campagnes
Thèses de doctorat	88	184
Masters	17	52
Stages et projets étudiants	10	11
Postdoctorats	6	27
Thèses de médecine	2	2
Total	123	276

Tableau 37 : Demandes de l'enseignement supérieur et de la recherche – Thèses Masters, stages (CANDHIS 2012-21)

Masters : 17 demandes, 14 personnes

Thèses de doctorat : 88 demandes, 49 personnes : Littoral, trait de côte et géomorphologie [49] ; Modèles de vagues : observation, analyse, modélisation [14] ; Suivi environnemental et pêches [9] ; risque [5] ; Ouvrages protection, infrastructures [3] ; Portuaire [1] ; indéterminé [7]

Postdoctorats : 5 demandes, 5 personnes : Littoral, trait de côte et géomorphologie [1] ; Modèles de vagues : observation, analyse, modélisation [1] ; risque [1] ; indéterminé [2]

Thèses de médecine : 2 demandes, 2 personnes (épidémiologie des noyades)

Les collectivités territoriales

Les demandes de données CANDHIS par les collectivités territoriales sont exprimées parfois directement (16 demandes en 10 ans) mais le plus souvent indirectement par des intermédiaires (84 en 10 ans). Le recensement des demandes indirectes est sous-estimé. Les demandes portent principalement sur la gestion du littoral, les aménagements portuaires et la gestion des risques.

Demandes directes à CANDHIS : Les demandes de données CANDHIS formulées directement par des collectivités territoriales s'élèvent à 16 demandes émanant de 11 collectivités territoriales ou assimilées⁶³. Elles portent généralement sur une ou deux campagnes. Les principales thématiques portent sur : littoral et trait de côte (9), risque (4), EMR (1) ; nautisme et sport (1), portuaire (1)

Demandes indirectes à CANDHIS : Les demandes de données CANDHIS formulées indirectement par des collectivités territoriales via des contractants ou maître d'œuvre s'élèvent à 84 demandes (bureaux d'études privés 67 ; entreprises privées & industriels 11 ; établissements, laboratoires publics, services de l'Etat 6), faites pour le compte de 55 collectivités territoriales. Les principales thématiques portent sur : portuaire [26] ; littoral [21] ; risques [19] ; suivi environnemental [7] ; infrastructures côtières [4] ; modèles de vague [4] ; EMR [2] ; enseignement [1].

Le tableau suivant agrège les demandes directes et indirectes et met en évidence 3 thématiques prioritaires : littoral, portuaire et risques :

Collectivités territoriales	Demandes directes	Demandes indirectes	Demandes (total)
Littoral, trait de côte, géomorphologie	9	21	30
Portuaire	1	26	27
Risques	4	19	23
Suivi environnemental et pêches		7	7
Modèles d'état de mer		4	4
infrastructures côtières		4	4
EMR	1	2	3
Enseignement-pédagogie		1	1
Nautisme et sport	1		1
infrastructures offshore			
navigation			
inconnu			
Total	16	84	100

Tableau 38 : demandes de données CANDHIS pour les collectivités territoriales (2012-21)

Les acteurs des GEMAPI semblent donc à ce jour encore peu utilisateurs, directement ou indirectement (via des bureaux d'études et entreprises), des données de suivi de la houle. **Un travail d'information et de sensibilisation des acteurs GEMAPI permettrait de mieux valoriser les données CANDHIS.**

⁶³ Nice (Ville de Nice [4]) ; Noirmoutier (CC Ile de Noirmoutier [3]) ; CC Médoc Atlantique [3] ; Boulogne (CA du Boulonnais [1]) ; Saint Malo (CA du Pays de St-Malo [1]) ; Corse (Collectivités de Corse [1]) ; La Rochelle (Mairie de La Rochelle [1]) ; Nautisme en Finistère [1] ; CCI Nice Côte d'Azur [1] ; Bordeaux Technowest [1] ; CIDPMEM 64-40 [4]

Bureaux d'étude privés

385 demandes ont été recensées émanant de 92 Bureaux d'études privés pour un total de 905 campagnes (186 campagnes sur 2 demandes ; 719 campagnes sur 380 demandes ; soit ~2 campagnes par demande). Parmi eux 18 Bureaux d'études formulent régulièrement des demandes (au moins 5 fois en 10 ans).

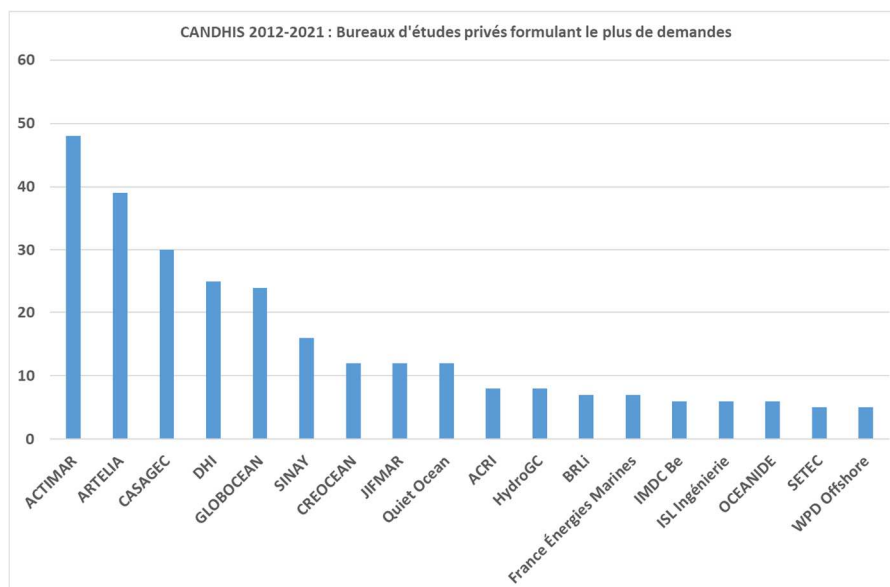


Figure 40 : Bureaux d'études privés formulant le plus de demandes

Un tiers des demandes portent sur du développement méthodologique amont

- **modèles d'état de mer [114 demandes] [414 campagnes]** : développement de modèles de vagues, évaluation-validation de modèles ; rejeux et météo des états de mer ; statistiques des états de mer ; propagation de houle à la côte...

Les thématiques d'utilisation [268 demandes] [491 campagnes] portent sur :

BE privé	demandes	Nb campagnes
portuaire	60	70
EMR	49	144
Littoral, trait de côte, géomorphologie	35	60
Suivi environnemental et pêches	33	58
risque	30	57
infrastructures côtières	9	15
navigation	7	8
enseignement	3	7
infrastructures offshore	2	7
Nautisme et sport	1	1
inconnu	39	64
Total	268	491

Tableau 39 : demandes de données CANDHIS par les bureaux d'études privés : thématiques (2012-21)

- **portuaire [60]** : travaux et suivi de chantiers [32] ; études et ingénierie portuaires [9] ; aménagements portuaires [6] ; exploitation portuaire [2] ; suivi environnemental [3] ; systèmes d'aide à la décision [1] ; indéterminé [7]
- **EMR [49]** : éolien en mer [21] ; hydrauliques [5] ; houlomoteurs [3] ; énergie thermique en mer [3] ; potentiel d'énergie en mer [2] ; climatisation par eau de mer profonde [3] ; R&D SEMREV [1] ; indéterminé [11]
- **Littoral, trait de côte, géomorphologie [35]** ; Dynamique sédimentaire [12] ; Suivi du trait de côte [7] ; Protection, gestion de la bande côtière [7] ; Suivi du littoral [2] ; Etude d'impact [1] ; indéterminé [4]
- **Suivi environnemental et pêches [33]** ; suivi des écosystèmes [9] ; pêche [4] ; suivi acoustique [11] ; Qualité physico-chimique de l'eau [5] ; études d'impact d'activités économiques [3] ; carto domaine public maritime [1]
- **Risque submersion [30]** : risque submersion marine [11] ; RETEX post-événement [10] ; systèmes d'endiguement [9]
- **infrastructures côtières [9]** ; routes [3] ; suivi de chantier [3] ; dimensionnement [3]
- **navigation [7]** ;
- **suivi acoustique sous-marin [5]** ;
- **enseignement [3]** ;
- **infrastructures offshore [2]** ;
- **Nautisme et sport [1]** ;
- **inconnu [39]**

Répartition des demandes des Bureaux d'études privés par secteurs :

BE privé	demandes	Nb campagnes
Développements méthodologiques amont	114	414
Risque (submersion, littoral, infrastructures)	76	139
Portuaire, navigation, nautisme	68	79
Energie	49	144
Suivi environnemental et pêches	33	58
enseignement	3	7
inconnu	39	64
Total	268	491

Tableau 40 : demandes de données par les bureaux d'études privés par secteurs (2012-21)

Ports

12 demandes (12 campagnes) émanant de 8 acteurs portuaires : Centre Nautique de Roscoff (1), GPM Le Havre (1), GPM Marseille (5), ort Camargue (1)P, Port de La Rague (1), Port de Plaisance de , ap d'Ail (1), Ports Normands Associés (1), Port de Sète (Station de Pilotage Maritime du Port de Sète) (1)

Thématiques : Portuaire [10], EMR [1], enquêtes [1]

Pêche et élevage marin :

4 demandes (8 campagnes) émanant d'un acteur, le CIDPMEM 64-40 (Comité Interdépartemental des Pêches Maritimes et des Élevages Marins)

Elles portent sur la thématique « suivi environnemental et pêche » (suivi du milieu physique, suivi de zones Natura 2000).

Autres acteurs : En attendant une analyse plus fine nous avons regroupé dans cette catégorie divers acteurs :

Autres acteurs	demandes	Nb campagnes
Industriels	58	197
Entreprises privées	53	173
Particuliers	25	136
Classes préparatoires GE	19	48
Associations	7	11
Pêche et élevage marin	4	8
Hôpitaux	3	3
Syndicats mixtes	3	5
Cabinet d'expertise	2	3
Compagnie d'assurance	2	4
Presse	2	3
Designer industriel	1	1
GIP	1	2
Total	180	594

Thématiques

Autres acteurs	demandes	Nb campagnes
Modèles d'état de mer	34	263
EMR	34	147
portuaire	24	25
Risques	22	58
Suivi environnemental et pêches	17	24
Enseignement-pédagogie	17	39
Littoral, trait de côte, géomorphologie	7	10
Nautisme et sport	6	7
enquêtes	5	6
infrastructures côtières	3	3
navigation	2	3
inconnu	9	9
Total	180	594

Tableau 41 : demandes de données par les « autres acteurs » (2012-21)

4. Autres sites diffusant les données CANDHIS

Les données CANDHIS temps réel sont relayées par plusieurs programmes de centralisation des données océano-météorologiques : le programme national Coriolis⁶⁴, les programmes européens Copernicus Marine et EMODnet, les programmes internationaux GOOS et DBCP.

L'analyse des volumes de données diffusés par ces canaux n'a pas pu être menée dans le cadre de cette mission.

⁶⁴ <https://www.odatis-ocean.fr/qui-sommes-nous/contexte-et-organisation/gouvernance/>

8 Scénarios d'évolution du réseau national de mesure in situ de la houle

Les travaux du rapport Cerema-Météo France-SHOM de 2019 [1] ont :

- analysé la représentativité des stations houlographiques : « zone d'influence » le long du littoral où les données de la station ont une représentativité et contribuent à la qualité de la modélisation / prévision des états de mer,
- exploré une stratégie d'optimisation de la couverture du réseau (objectif de présence d'une station représentative pour toutes les portions du littoral) par densification et éventuel redéploiement de certaines stations.

La méthode est expliquée plus loin dans cette annexe. Ses résultats sont illustrés par la Figure 41. L'analyse n'a pu être effectuée pour la Guyane et Saint-Pierre-et-Miquelon.

Cinq scénarii d'évolution du réseau en ont découlé :

- scénario 0 : pas de changement ;
- scénario 1 : optimisation du réseau existant (redéploiement de stations de mesure) ;
- scénario 2 : scénario 1 + consolidation de la maintenance ;
- scénario 3 : scénario 2 + optimisation du réseau par intégration des projets de priorité 1;
- scénario 4 : scénario 3 + optimisation du réseau par intégration des projets de priorité 2.

Scénario	Intitulé	Nb stations				Budget			personnel	Coût sur 10 ans	
		Total	Sécurisation actuel	Extension (nb. Stations)	Autres gestionnaires	Investissement	Mise à niveau année 1	Fonctionnement (K€/an)	ETP	Estimation 10 ans (K€)	Equiv. annuel, hors invest.
Scénario 0	Statu quo	20	20	0		0	0	257,8	3,5	5 378	258
	métropole	15	15	0		0	0	150	2	3 100	150
	outremer	5	5	0		0	0	107,8	1,5	2 278	108
Scénario 1	Optimisation	20	20	0		0	0	257,8	3,5	5 378	258
	métropole	15	15	0		0	0	150	2	3 100	150
	outremer	5	5	0		0	0	107,8	1,5	2 278	108
Scénario 2	Optimisation + Occitanie	24	24	0		0	213	397,5	3,5	6 988	419
	métropole	19	19	0		0	0	203	2	3 630	203
	outremer	5	5	0		0	213	194,5	1,5	3 358	216
Scénario 3	Renforcement 1	37	24	13		917,5	213	873	4,4	13 381	894
	métropole	22	19	3		187,5	0	235	2	4 138	235
	outremer	15	5	10		730	213	638	2,4	9 243	659
Scénario 4	Renforcement 2	46	24	22		1569	213	1205	5,7	18 392	1 226
	métropole	24	19	5		310	0	256	2,5	4 870	256
	outremer	22	5	17		1259	213	949	3,2	13 522	970

Tableau 42 : Scénarios d'évolution du réseau de mesure in situ de la houle (Cerema, Météo France, SHOM 2019)

Scénario 0 : statu quo : Le scénario 0, à budget constant, consiste à maintenir le fonctionnement existant, sans modification de l'implantation des stations. Ses risques sont l'abandon des 4 stations gérées par la DREAL Occitanie en Méditerranée et des ruptures de service des houlographes de Martinique qui ont 15 ans d'âge ou plus (97202 Basse Pointe de 1998 ; 07204 Fort de France de 2001 ; 97205 Sainte Lucie de 2007).

Le budget reste constant (257,8 K€/an = 150 Cerema / 107,8 Météo France)

Scénario 1 : redéploiement à budget constant : Le scénario 1, également à budget constant, maintient le nombre de 20 houlographes en redéployant certains d'entre eux en métropole (changement de sites selon les recommandations du rapport [1]) pour mieux assurer la couverture du littoral de métropole.

Le budget reste constant (257,8 K€/an = 150 Cerema / 107,8 Météo France)

Scénario 2 : optimisation (redéploiement, transferts, remplacements) : Ce scénario prévoit (i) les redéploiements proposés au scénario 1 ; (ii) le transfert au Cerema de la gestion des quatre houlographes du Golfe du Lion gérés par la DREAL Occitanie (01101 Leucate ; 03001 Lespiguette ; 03404 Sète ; 06601 Banyuls) (surcoût de 43 K€/an) ; (iii) le renforcement des moyens Cerema pour mobiliser des moyens nautiques pour les interventions curatives (10 K€/an) ; (iv) le remplacement des trois houlographes en fin de vie de Martinique, en envisageant notamment une transmission satellitaire Iridium des données (investissement 213 K€ ; surcoût annuel 86,7 K€/an). Les houlographes gérés par le Cerema et Météo France passent de 20 (15+5) à 24 (19+5).

Le coût annuel passe de 397,5 K€/an (203 Cerema / 194,5 MF). Un investissement initial de 213 K€ est requis.

Scénario 3 : optimisation (redéploiement, transferts, remplacements) et renforcements de priorité 1 : Le scénario 3 met en œuvre le scénario 2 (incluant le scénario 1), et implante 13 nouvelles stations (en priorité 1 du Tableau 9: 3 en métropole⁶⁵ ; 10 en outre-mer⁶⁶) et prend en charge leur fonctionnement. Le nombre total de stations de mesure du réseau CANDHIS monte à 47 stations : 22 à la charge du Cerema, 15 à la charge de Météo-France et 10 à la charge d'un organisme partenaire.

Pour l'outre-mer, les coûts d'investissement et d'implantation (première année) de ces 10 stations sont estimés à 730 K€ et le budget annuel pour leur maintien opérationnel (incluant les provisions pour renouvellement) à 444 K€/an. Ceci vient s'ajouter aux coûts du scénario 2 : 194,5 K€/an de maintien opérationnel et 213 k€ de coût initial pour le remplacement des 3 houlographes de Martinique. Le coût total du scénario 3 pour l'outremer est donc de 943 K€ d'investissement et renouvellement, et 638,5 K€/an de budget annuel de maintien opérationnel des 15 stations (incluant les provisions pour renouvellement).

Pour la métropole, les coûts d'investissement et d'implantation (première année) des 3 stations sont estimés à 187,5 K€ et le budget annuel pour leur maintien opérationnel (incluant les provisions pour renouvellement) à 32,25 K€/an. Ces coûts viennent s'ajouter aux coûts du scénario 2 : 203 K€/an de maintien opérationnel. Le coût total du scénario 3 pour la métropole est donc de 187,5 K€ d'investissement et 235,25 K€/an de budget annuel de maintien opérationnel des 22 stations (incluant les provisions pour renouvellement).

Le coût total Cerema Météo-France du scénario 3 se monte:

- pour l'extension du réseau (13 nouvelles stations de mesure + 3 renouvellements) à 1130,5 k€ ;
- pour le maintien opérationnel des 37 stations de mesure à 873,75 k€/an.

En termes de personnels, la gestion des 37 des stations de mesure (22 à la charge du Cerema et 15 à la charge de Météo-France) nécessite 4,4 ETP (0,9 ETP supplémentaire à Météo-France par rapport au scénario 2).

Scénario 4 : optimisation (redéploiement, transferts, remplacements) et renforcements de priorités 1 et 2 : Le scénario 4 met en œuvre le scénario 3, et implante 9 stations de mesure de priorité 2 du Tableau 9 (2 en métropole, 7 en outre-mer) ; et prend en charge leur fonctionnement. Le nombre total de stations de mesure du réseau CANDHIS monte à 56 stations : 24 à la charge du Cerema, 22 à la charge de Météo-France et 10 à la charge d'un organisme partenaire.

⁶⁵ Baie de Seine, le Perthus-Charentais et le sud-ouest de la Corse. La nouvelle station devant Saint Tropez ou Fréjus serait équipée par redéploiement d'une bouée de Méditerranée.

⁶⁶ littoral nord et sud de la Réunion, Mayotte, Saint-Martin, Saint-Barthélemy, la Nouvelle-Calédonie et la Polynésie française.

Pour l'outre-mer, les coûts d'investissement et d'implantation (première année) de ces 7 stations sont estimés à 529 k€ et le budget annuel pour leur maintien opérationnel (incluant les provisions pour renouvellement) à 311 K€/an. Ceci vient s'ajouter aux coûts du scénario 3 de 943 K€ d'investissement et renouvellement, et 638,5 K€/an de budget annuel de maintien opérationnel des 15 stations. Le coût total du scénario 4 pour l'outremer est donc de 1472 K€ d'investissement et renouvellement, et 949,5 K€/an de budget annuel de maintien opérationnel des 22 stations (incluant les provisions pour renouvellement).

Pour la métropole, les coûts d'investissement et d'implantation (première année) des 2 stations sont estimés à 123 K€ et le budget annuel pour leur maintien opérationnel (incluant les provisions pour renouvellement) à 21,5 K€/an. Ces coûts viennent s'ajouter aux coûts du scénario 3 : 187,5 K€ d'investissement et 235,25 K€/an de budget annuel de maintien opérationnel des 22 stations. Le coût total du scénario 4 pour la métropole est donc de 301,5 K€ d'investissement et 256,75 K€/an de budget annuel de maintien opérationnel des 24 stations (incluant les provisions pour renouvellement).

Le coût total Cerema Météo-France du scénario 4 se monte:

- pour l'extension du réseau (30 nouvelles stations de mesure + 3 renouvellements) à 1773,5 k€ ;
- pour le maintien opérationnel des 46 stations de mesure à 1 107 k€/an.

En termes de personnels, la gestion des 46 des stations de mesure (24 à la charge du Cerema et 22 à la charge de Météo-France) nécessite 5,7 ETP.

Optimisation de la couverture des houlographes (cf [1])

Méthode : Les cartes de zones d'influence des houlographes ont été établies à partir des données ANEMOC (ANEMOC-1 pour la Réunion et les Antilles, ANEMOC-2 pour la métropole). ANEMOC (Atlas Numérique des Etats de Mer Océaniques et Côtiers) est une base de données de simulation numériques rétrospectives développées par EDF R&D et le Cerema (voir [2]). Ce travail repose sur l'hypothèse que les simulations rétrospectives de ANEMOC fournissent une image réaliste des corrélations spatiales entre hauteurs de vagues liées à des événements extrêmes. Les différentes étapes de calcul sont les suivantes :

- L'analyse est effectuée en utilisant les houlographes en points de référence (le point ANEMOC au voisinage immédiat du houlographe) et l'ensemble des points ANEMOC en points d'analyse.
- Sélection des pics de tempêtes au point de référence (Hm0 supérieure au percentile 99,5%, indépendance des pics de tempêtes à +/- 12 heures).
- Sélection au point d'analyse de la hauteur significative correspondant aux pics de tempête (Hm0 maximum sur +/- 12 heures autour du pic de tempête).
- Calcul de l'incertitude du facteur de corrélation entre le point de référence et le point d'analyse. Le travail est effectué en valeurs relatives (dispersion des Hm0 autour d'une valeur moyenne normalisée) afin de rendre l'incertitude indépendante de la gamme de hauteurs significatives rencontrées. Les valeurs d'incertitude de zones différentes peuvent ainsi être comparées.

Les incertitudes calculées permettent de définir si la tempête observée au houlographe (point de référence) fixe plus ou moins correctement les hauteurs de vagues sur un site distant (point d'analyse). Cette approche peut être faussée si l'exposition aux tempêtes est différente entre le houlographe et le site distant. En effet dans ce cas certains types de tempêtes généreront une hauteur significative de vague en un point (le point de référence ou le point d'analyse) sans qu'elle soit accompagnée d'une hauteur significative à l'autre point. Afin de contourner ce biais une analyse inverse est effectuée en utilisant les points ANEMOC en référence et les houlographes en tant que points d'analyse. Les incertitudes calculées sont toujours positionnées

aux points ANEMOC. Chaque point ANEMOC est donc caractérisé par deux valeurs d'incertitudes vis-à-vis d'un site houlographique donné.

- Les valeurs d'incertitude calculées sont utilisées pour définir les zones d'influence de chaque houlographe. Plus l'incertitude "normalisée" est faible, plus le point est corrélé au houlographe.

La fixation d'un seuil permet de définir des zones d'influence des houlographes. Un point ANEMOC est « dans la zone d'influence d'un houlographe » si ses deux valeurs d'incertitude vis-à-vis de ce houlographe sont en-dessous du seuil fixé. Si un point ANEMOC est sous l'influence de deux houlographes, il y a recouvrement de zone d'influence. Le seuil d'incertitude est fixé à dire d'expert : on recherche au niveau national un juste équilibre entre la maximisation de la jonction des zones d'influence entre houlographes voisins (augmentation du seuil) et la minimisation des zones de recouvrement (diminution du seuil).

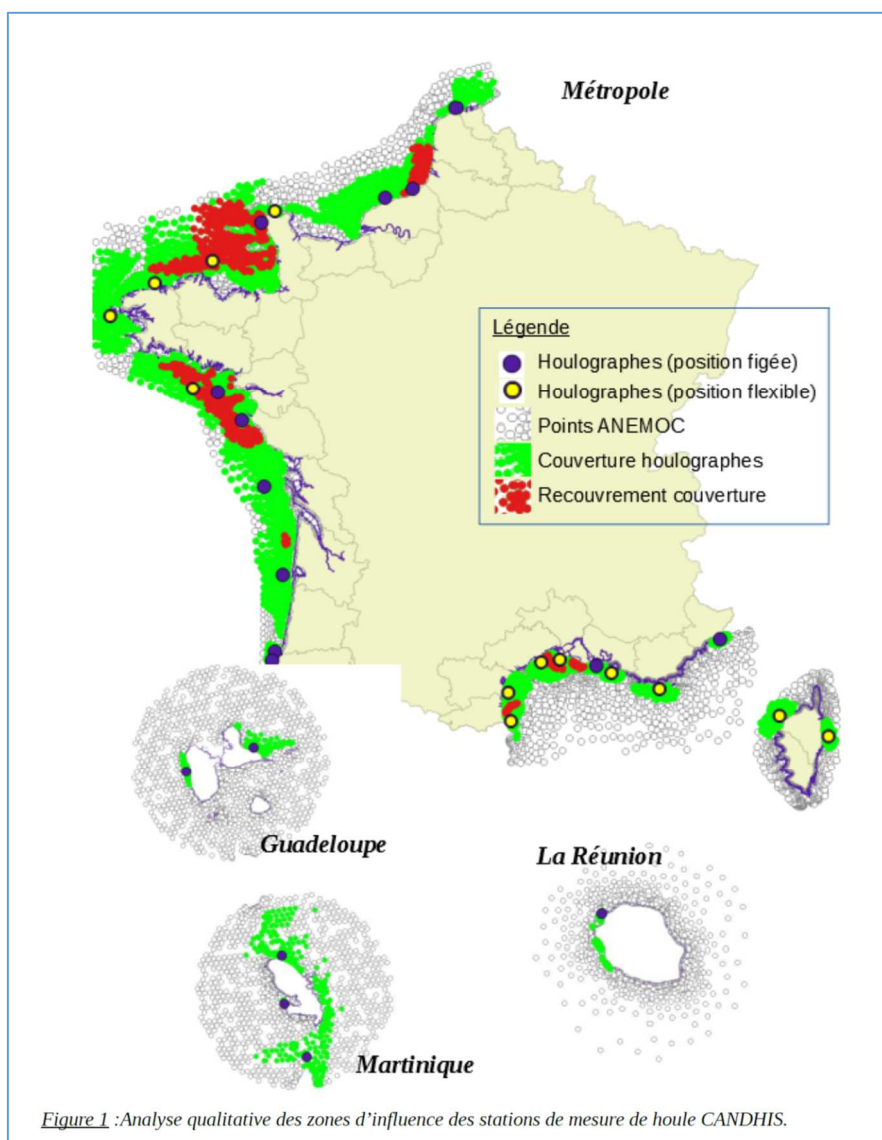


Figure 41 : étude de la représentativité des stations houlographiques

En métropole⁶⁷

- Sur le littoral de la Manche et de l'Atlantique, la couverture du réseau présente des manques: en baie de Seine (Priorité 1) ; en baie de Saint-Brieuc et en baie d'Audierne (Pr. 2).
- Sur le littoral nord et sud Bretagne, la couverture est redondante. On note l'absence de couverture devant Capbreton, vraisemblablement dûe à la présence du canyon sous-marin.

Le repositionnement des houlographes de Belle-Ile et de Bréhat pourrait permettre de couvrir les baies de Saint-Brieuc et d'Audierne, sans diminuer la couverture existante.

- Sur le littoral Méditerranéen, la couverture du réseau présente des manques: sur le littoral est, entre Porquerolles et Monaco (Pr. 1) ; au nord, sud-est et sud-ouest de la Corse (Pr. 1 et 2) ;

Pour combler ces manques, 4 nouvelles stations seraient nécessaires (3 en Corse). La couverture du Golfe du Lion pourrait être optimisée en rapprochant les houlographes de Leucate et d'Espiguette.

Outre-mer, les zones d'influence n'ont pu être établies pour Saint-Pierre-et- Miquelon et pour la Guyane du fait de l'absence de données ANEMOC. Saint-Martin, Saint-Barthélemy, Wallis-et-Futuna, la Nouvelle Calédonie et la Polynésie Française ne sont pas couverts par le réseau CANDHIS.

- En Guadeloupe seules les façades est et ouest sont couvertes. Du fait de la bathymétrie du site, les façades nord et sud ne sont pas couvertes, mais elles sont moins exposées aux fortes vagues.
- En Martinique seule la façade ouest, exposée aux fortes vagues, est couverte. Le houlographe à l'ouest de Fort-de-France donne des observations assez différentes de celle du reste du littoral ouest, du fait de l'influence de la baie sur les cyclones en provenance de l'ouest.
- A la réunion seule la façade ouest est couverte. Il serait nécessaire de disposer de trois autres points de mesure afin de couvrir l'ensemble du littoral.

⁶⁷ L'analyse des besoins spécifiques des zones (submersion marine, retrait du littoral...) est détaillée dans le rapport [1]

9 Coûts unitaires pour l'estimation des coûts de scénarios socle et cible

Les coûts unitaires utilisés pour estimer les coûts de mise en œuvre du scénario-socle et du scénario-cible ont été estimés à partir des coûts unitaires du rapport de 2019 [1] et des coûts effectifs 2016-2020. Les coûts unitaires d'opération-maintenance-amortissement des houlographes en outre-mer présentés par le rapport de 2019 [1] sont quadruples des coûts en métropole. La mission considère nécessaire et réaliste de les réduire de 28% en adaptant les durées d'amortissement (10 ou 12 ans au lieu de 8 ans), les solutions de communication (autres que satellitaire), les accords de partenariat pour les moyens nautiques (sur le modèle utilisé en métropole en collaboration avec les DIRM).

Les coûts unitaires annuels de fonctionnement pour un houlographe, intégrant opération, maintenance et provision pour renouvellement, sont de 10,7 K€/an en métropole et 28 K€/an outre-mer. Ils sont détaillés dans le Tableau 43.

Coûts unitaires	Métropole	Outremer	
	estim. [1]	estim [1]	estim CGEDD
Acquisition (K€)	62,5	79,0	79,0
Durée amortissement (ans)	15	8	10
Provision renouvellement (K€/an)	4,2	10,0	8,0
Maintenance transmission (K€/an)	4,5	18,4	10,0
Moyens nautiques (K€/an)	2,0	10,5	10,0
Total (K€/an)	10,7	38,9	28,0
<i>estim [1] estimation rapport Cerema - Météo France - SHOM 2019</i>			

Tableau 43 : Evaluation des coûts unitaires d'acquisition, d'opération-maintenance et de provision pour renouvellement pour un houlographe en métropole et outre-mer (estimation initiale du rapport 2019, revue par le CGEDD pour l'outre-mer)

10 Bibliographie

- [1] Rapport Cerema, Météo-France et Shom 2019 « Réseau CANDHIS : perspectives d'évolution »
- [2] A. Laugel, A.-L. Tiberi-Wadier, M. Benoit, G. Mattarolo, 2017, "ANEMOC-2 Atlantique et Méditerranée : calibration et validation de deux nouvelles bases d'états de mer construites par simulation numériques rétrospectives sur 1979-2010", XIIIèmes Journées Nationales Génie Côtier -Génie Civil.
- [3] Rapport 2014 « CANDHIS - Observations des états de mer ; Analyse des tempêtes sur le littoral métropolitain Automne-hiver 2013-2014 »
- [4] TEMPÊTE XYNTHIA : RETOUR D'EXPERIENCE, EVALUATION ET PROPOSITIONS D'ACTION TOME I : RAPPORT
- [5] Xavier BERTIN, Kai LI, Aron ROLAND, Jean-François BREILH, Eric CHAUMILLON ; 2012 ; « Contributions des vagues dans la surcote associée à la tempête Xynthia, février 2010 », XIIèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil DOI:10.5150/jngcgc.2012.099-B © Editions Paralia CFLccdisponible en ligne – <http://www.paralia.fr> – available online
- [6] Rapport CGEDD 2019 « Installations en mer - Une économie bleue durable ? », Rapport CGEDD n° 012661-1, IGAM n° 2019-133, M. LECONTE, M. SIMONÉ, M.-C. SOULIÉ (CGEDD), J.-M. CHEVALIER, D. MEHNERT, J.-L. VEILLE (IGAM)
- [10] Cours Ifremer
http://lyc.lumiere.luxeuil.free.fr/lycee_lumiere/import/SitesIn/physique/houle/Ifremer/index.html
- [7] Ifremer Cours Océanographie – La marée https://www.nautischool.ch/pdf/cours_maree_ifremer.pdf
- [8] <https://www.meteocontact.fr/pour-aller-plus-loin/meteorologie-marine>
- [9] SENVISAT 2019 : Etude de faisabilité d'un Suivi ENVironnemental par SATellite dans le Parc naturel marin du golfe du Lion (<https://elmusca.files.wordpress.com/2020/01/senvisat-phase-3-et-5-turbidite3a9.pdf>)
- [10] DesmazesF., Muller H. et Nicolae LermaA.(2014) –Méthodologie de détermination et d'estimation du recul maximal des dunes lors d'évènements extrêmes, Phase 2/A. Rapport intermédiaire. BRGM/RP-64184-FR, 58p., 33fig.,8tabl.
- [11] Rasclé, N., Ardhuin, F., 2013, A global wave parameter database for geophysical applications. Part 2: Model validationwithimproved source term parameterization. Ocean Modell. (2013),<http://dx.doi.org/10.1016/j.ocemod.2012.12.001>
- [12] Aron Roland1, Fabrice Ardhuin, 2014, On the developments of spectral wave models: numerics and parameterizations for the coastal ocean, Ocean Dynamics, June 2014, Volume 64, Issue 6, pp 833-846 <http://dx.doi.org/10.1007/s10236-014-0711-z> © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014 Original publication <http://www.springerlink.comArchimerhttp://archimer.lfrremer.fr>
- [13] Aouf, L., Hauser, D., Chapron, B., Toffoli, A., Tourain, C., & Peureux, C., 2021, New directional wave satellite observations: Towards improved wave forecasts and climate description in Southern Ocean. Geophysical Research Letters, 48, e2020GL091187. <https://doi.org/10.1029/2020GL091187>
- [15] Almar, R.; Bergsma, E.W.J.; Catalan, P.A.; Cienfuegos, R.; Suarez, L.; Lucero, F.; Nicolae Lerma, A.; Desmazes, F.; Perugini, E.; Palmsten, M.L.; et al. 2021, Sea State from Single Optical Images: A Methodology to Derive Wind-Generated Ocean Waves from Cameras, Drones and Satellites. Remote Sens. 2021, 13, 679. <https://doi.org/10.3390/rs13040679>
- [16] Rapport CGEDD-IGA-IGF 2010 « Evaluation des dommages causés par la tempête Xynthia aux biens non assurés des collectivités territoriales à prendre en compte au titre de la mise en œuvre du programme 122 »
- [17] ISO 19901-1:2015 Metocean design and operating consideration

11 Glossaire des sigles et acronymes

Acronyme	Signification
AFITF	agence de financement des infrastructures de transport de France
ANEMOC	atlas numérique des états de mer océaniques et côtiers
AO	appel d'offre
AVISO	archiving, validation and interpretation of satellite oceanographic data (CNES)
BAGER	bureau d'analyse et de gestion des risques (ministère de l'Intérieur)
BOP	budget opérationnel de programme
CA	communauté d'agglomération
CANDHIS	centre d'archivage national des données de houle in situ (Cerema)
CC	communauté de communes
CCI	caisse de commerce et d'industrie
CD	conseil départemental
CDPMEM	comité départemental des pêches maritimes et des élevages marins
Cerema	centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
CGEDD	conseil général de l'environnement et du développement durable
CIDPMEM	comité inter-départemental des pêches maritimes et des élevages marins
CMS	Copernicus marine service
CNES	centre national d'études spatiales
CNRS	centre national de la recherche scientifique
CNSA	China national space administration (Chine)
COAST_HF	coastal ocean observing system – high frequency (IR ILICO)
DBCP	data buoy cooperation panel
DDTM	direction départementale des Territoires et de la mer
DEAL	direction de l'Environnement, de l'aménagement et du logement (outre-mer, cf. DREAL en métropole)
DGA	direction générale de l'Armement (ministère des Armées)
DGALN	direction générale de l'Aménagement, du logement et de la nature (MTE)
DGEC	direction générale de l'Énergie et du climat (MTE)
DGITM	direction générale des Infrastructures, des transports et de la mer (MTE)
DGPR	direction générale de la Prévention des risques (MTE)
DGSCGC	direction générale de la Sécurité civile et de la gestion des crises (ministère de l'Intérieur)
DIRAG	direction interrégionale de Météo-France en Antilles-Guyane
DIRM	direction interrégionale de la Mer (en métropole, cf. DM en outre-mer)

Acronyme	Signification
DM	direction de la Mer (en outre-mer, cf. DIRM en métropole)
DREAL	direction régionale de l'Environnement, de l'aménagement et du logement (en métropole, cf. DEAL outre-mer)
DTAM	direction des Territoires, de l'alimentation et de la mer (Saint Pierre et Miquelon)
EDF	électricité de France
EMODNet	European marine observation and data network
EMR	énergies marines renouvelables
ETP	équivalent temps plein
EUMETSAT	European organisation for the exploitation of meteorological satellites
GEMAPI	gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations
GOOS	global ocean observing system
GPM	grand port maritime
Ifremer	institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
IGA	inspection générale de l'Administration
IGAM	inspection générale des affaires maritimes
IGF	inspection générale des Finances
ILICO	infrastructure de recherche littorale et côtière
IR	infrastructure de recherche
IRD	institut de recherche pour le développement
MTE	ministère de la Transition écologique
NDBC	national data buoy center
ndbp	note de bas de page
NOAA	national oceanic and atmospheric administration (USA)
OMM	organisation mondiale de la météorologie
PAPI	programme d'actions de prévention contre les inondations
PPE	programmation pluriannuelle de l'énergie
R&D	recherche et développement
SGMER	secrétariat général de la Mer (Premier Ministre)
SHOM	service hydrographique et océanographique de la Marine
SMT	système mondial de télécommunication (de l'OMM)
SWH	hauteur significative des vagues (significant wave height)
VVS	vigilance vagues submersion
WMO	World meteorological organization

Acronyme	Signification et Nature
DNV	société mondiale de services dans le management de la qualité et des risques
AVISO	archiving, validation and interpretation of satellite oceanographic data centre de données satellitaires océanographiques du CNES
Etalab	Etalab (https://www.etalab.gouv.fr/) est un département de la direction interministérielle du numérique (DINUM) qui coordonne la politique d'ouverture et de partage des données publiques (open data)
DBCP	data buoy cooperation panel (https://www.ocean-ops.org/dbcp/) is an international program coordinating the use of autonomous data buoys to observe atmospheric and oceanographic conditions, over ocean areas where few other measurements are taken.
ANEMOC	atlas numérique des états de mer océaniques et côtiers
EMODNet	EMODnet (European marine observation and data network)
EUMETSAT	EUMETSAT (European organisation for the exploitation of meteorological satellites) (https://www.eumetsat.int/) est une organisation intergouvernementale dont l'objectif est la mise en place, la maintenance et l'exploitation des systèmes européens de satellites météorologiques. EUMETSAT est responsable du lancement et des opérations des satellites, ainsi que d'en acheminer les données aux utilisateurs finaux tout en contribuant à l'observation climatique et la détection des changements climatiques
GEMAPI	Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations La « compétence GEMAPI » est, en France, une compétence juridique exclusive et obligatoire, confiée à partir du 1er janvier 2018 aux établissements publics de coopération intercommunale à fiscalité propre (métropoles, communautés urbaines, communautés d'agglomération, communautés de communes)
GOOS	global ocean observing system
HOMONIM	Projet coordonné par Météo France et le SHOM sous maîtrise d'ouvrage de la DGPR, visant à améliorer l'observation et la prévision des submersions marines
Coriolis	Infrastructure intégrée d'observation de l'océan pour l'océanographie opérationnelle et la recherche

[Site internet du CGEDD : « Les derniers rapports »](#)