

Contrat doctoral Etablissement 2026/2029
Contrat à 100 %
Formulaire de candidature

Titre de la thèse	Analyse et prévision des submersions marines en Méditerranée occidentale : apport des données long-terme du réseau HTM-NET et analyse des effets couplés dans un contexte de changement climatique.
Ecole Doctorale	ED548 – Mer et sciences
Laboratoire	Institut Méditerranéen d'Océanologie (MIO) – Équipe Océanographie Physique, Littorale et Côtière (OPLC)
Discipline	Océanographie physique / Hydrodynamique côtière / Alés littoraux
Directeur(s) de Thèse & Encadrant(s)	Directeur : Vincent Rey Encadrante : Elodie Laffitte

Description du sujet de recherche

Contexte, originalité et pertinence par rapport à l'état de l'art :

Les submersions marines constituent l'un des aléas naturels majeurs les plus préoccupants pour les zones côtières méditerranéennes, souvent fortement urbanisées et aux enjeux socio-économiques importants, comme en région PACA. Ce phénomène résulte de la combinaison complexe d'élévations du niveau moyen de la mer (marées astronomiques, dilatation stérique, effets barométriques,...) et d'effets dynamiques (houle, vent, courants induits, ondes longues infragravitaires, tsunamis,...). Aujourd'hui, le Programme de Gestion des Risques Inondation (PRGI) approuvé par le préfet du bassin Rhône-Méditerranée souligne que les impacts potentiels du changement climatique sur les risques de l'arc méditerranéen sont encore peu étudiés. Ce projet de recherche vise à contribuer à améliorer la compréhension et la modélisation des submersions marines et leurs évolutions sous l'effet du changement climatique, en rapport avec les objectifs et besoins du PRGI (DREAL PACA, 2022) sur le littoral méditerranéen, avec un focus sur le littoral Provence-Côte d'Azur. Il s'appuie sur les données de niveau issues du réseau HTM-NET (Rey et al, 2020), qui présente l'originalité d'être constitué de stations de mesures (aujourd'hui au nombre de 22) implantées le long du littoral à l'échelle des baies et dans l'étang de Berre (voir site <https://htmnet.mio.osupytheas.fr/>). Cette configuration permet un maillage beaucoup plus dense que les marégraphes, situés dans les grands ports (Nice, Toulon, Marseille, Fos pour la région). En effet, aux facteurs à l'échelle du bassin Méditerranéen occidental, s'ajoutent des facteurs à l'échelle des golfes, des baies ou des lagunes comme des basculements de plan d'eau (Paugam et al, 2021), ou des oscillations résonantes ou seiches, forcées par des épisodes météo-marins intenses, tsunamis ou météo-tsunamis, comme observé dans la Rade de

Toulon (Belibassakis and Rey, 2024). Cependant, la prévision de phénomènes d'amplification des ondes, notamment par effets de résonance, reste un challenge, du fait d'une part de la nécessité de modéliser correctement la propagation d'ondes, caractérisées par un large spectre énergétique incluant les composantes « infragravitaires », c'est-à-dire à très basse fréquence, comparé à la gamme de fréquence de la houle, et d'autre part de connaître leur cohérence, en termes de phases des composantes du signal. Disposer de données réparties le long de la côte permet également d'évaluer les capacités d'un modèle à modéliser la dynamique à l'échelle de baies, comme cela a été montré sur la côte provençale dans le cas d'un météo-tsunami (Heinrich et al, 2023).

État de l'art et verrous scientifiques :

La modélisation des submersions a considérablement progressé ces cinquante dernières années, avec le développement de modèles opérationnels couplés houle-submersion (TELEMAC, TOMAWAC, SWAN). Cependant, les principaux acteurs du panorama scientifique français expriment des limitations, comme discuté récemment dans le contexte du Groupe de Travail Submersions et Tempêtes Historiques (GT STH), piloté par le Shom, et dont le M.I.O (représentants Elodie Laffitte et Vincent Rey) a intégré en 2026 le Comité de Pilotage :

1. **Compréhension incomplète des interactions** : Les modèles numériques de Météo-France considèrent des modèles de vagues « spectraux », des états de mer « statistiques » et ne prennent pas en compte les interactions vagues – surcotes. Cela conduit à la fois à sous-estimer les vagues au large (15% de la Hs environ) et sous-estimer les surcotes sur le littoral Atlantique d'environ 10 cm. Le BRGM souhaite améliorer les connaissances et outils modélisation en incluant les processus liés aux ondes infragravitaires, aux variations du niveau moyen, à la dynamique sédimentaire et / ou la réponse des ouvrages au cours des tempêtes. L'industriel Rivages ProTech présente également la modélisation « vague à vague », les incertitudes liés aux forçages météorologiques couplés et aux interactions avec les ouvrages de protection comme des axes de travail majeurs.
2. **Négligence des effets locaux de résonance** : Les oscillations propres des baies (seiches) et les effets de site sont rarement intégrés dans les modèles de prévision opérationnelle, alors qu'ils peuvent amplifier localement le niveau d'eau de 10 à 50 cm (Rey et al., 2020 ; Belibassakis & Rey, 2024; Belibassakis & Rey, 2025). Ainsi, les modèles de Météo-France ont une résolution spatiale insuffisante pour aborder les phénomènes locaux et leurs impacts et conduit à parfois sous-estimer les surcotes réelles. Le BRGM souligne également l'existence de verrous scientifiques sur les effets en cascades, et la nécessité d'approches multi-échelles, et Rivages ProTech a dans ses axes d'aménagement l'amélioration des incertitudes de modélisation liées à la bathymétrie et la topographie.
3. **Données d'observation limitées** : La plupart des études s'appuient sur des données marégraphiques ponctuelles, masquant la variabilité spatiale fine des processus. Météo-France rejoint ce constat et recherche des données locales régulières pour valider les modèles de vagues près des côtes. En outre, la grande majorité des études sur le plan national concernent uniquement le littoral Atlantique.
4. **Effets du changement climatique sous-estimés** : Au-delà de la montée du niveau moyen, l'aggravation de l'intensité des tempêtes (+50% d'heures de submersion entre 1993 et 2015 selon Almar et al., 2021) et les modifications des régimes de vent restent peu intégrées dans les scénarios de prévision. Météo-France souligne un besoin de connaissances climatologiques et donc de données sur de larges plages temporelles. Le BRGM exprime également un besoin de caractérisation des incertitudes liées au changement climatique.

Originalité de ce projet :

Ce travail de thèse se distingue par :

- **L'exploitation du réseau HTM-NET** : Plus de 10 ans de mesures continues (niveau d'eau, température, pression atmosphérique) le long du littoral provençal, offrant une résolution temporelle de 2 minutes et une couverture spatiale unique en Méditerranée occidentale. Les plages de données considérées permettent à la fois une couverture phénoménologique très large mais aussi des analyses à perspective climatologiques.
- **Une approche multi-échelles** : Articulation entre dynamique globale (bassin méditerranéen) et processus locaux (seiches de baie, effets de port), permettant d'identifier les facteurs prépondérants selon l'échelle spatio-temporelle. Les données pourront être complétées à l'échelle du bassin méditerranéen occidental par les données des marégraphes du Shom (site REFMAR, qui répertorie également les données HTM-NET, par convention entre le M.I.O et le Shom), ainsi que celles du réseau GLOSS au niveau international.
- **Une communauté française et un consortium international** : échanges fournis au sein de la communauté française des submersions marines (chercheurs, acteurs d'état, industriels) ;
- **Une finalité opérationnelle** : Les résultats alimenteront directement des échanges établis ou projetés avec le BRGM (échanges avec T. Laigre et N. Valentini), les outils d'aide à la décision du SHOM (participation au GT Tempête et Submersion Historique), le CENALT, Centre National d'Alerte Tsunami (voir Heinrich et al, 2023, Ménager et al, 2022). La feuille de route Nationale des opérateurs de l'Etat sur les Submersions Marines, les missions des Référents Départementaux Inondation (RDI) de la façade méditerranéenne ainsi qu'à échelle régionale, le GREC-PACA (Groupe Régional d'Experts sur le Climat), participation en cours (V. Rey, en collaboration avec l'IGN) à un « cahier territorial pour la métropole TPM » sur les risques associés au niveau de la mer dans l'aire toulonnaise.

Objectifs :

Objectif principal : Développer les outils (analytiques, numériques, statistiques, IA) en s'appuyant sur le réseau HTM-NET pour améliorer la compréhension, la modélisation et la prévision des submersions marines sur le littoral méditerranéen (en particulier PACA) en identifiant et hiérarchisant les facteurs prépondérants (marée, pression, vent, houle, seiches) dans l'occurrence des surcotes extrêmes.

Objectifs spécifiques :

1. **Caractériser la variabilité spatio-temporelle des niveaux d'eau** : Analyser les séries temporelles HTM-NET (2014-2026) pour quantifier les contributions relatives des différents forçages (marée astronomique, dilatation stérique, effet barométrique isostatique/non-isostatique, vent, houle) lors des évènements de surcote selon les sites et les saisons.
2. **Identifier les conditions de résonance et d'amplification locale** : Déterminer les périodes propres des principales baies provençales (Toulon, Giens, Cassis, etc.) et évaluer leur rôle dans l'aggravation des submersions lors d'évènements extrêmes (tempêtes, fronts atmosphériques, météo-tsunamis) en fonction de leur configuration (effet de saut de bathymétrie, de la présence ou absence de talus continental, de la géométrie (effet de convergence), du type de fond (dissipation) sur les taux d'amplifications des ondes longues.
3. **Améliorer la paramétrisation des modèles existants** : Proposer une réévaluation des modélisations analytiques et semi-empiriques proposées par le BRGM (BRGM, 2017), proposer des corrections aux conditions limites des modèles TELEMAC/TOMAWAC à partir des observations in situ...
4. **Évaluer l'impact du changement climatique** : Analyser les tendances pluri-annuelles (élévation du niveau moyen, réchauffement des eaux, intensification des dépressions) et projeter leurs effets sur la fréquence et l'intensité des submersions à l'horizon 2050-2100.

Méthodes :

1. Analyse des données d'observation :

- Exploitation des séries temporelles HTM-NET (22 stations, 2014-2026) : niveaux d'eau, température, pression atmosphérique.
- Décomposition des signaux par analyse harmonique (marée), filtrages passe-bas/passe-haut (séparation des échelles), transformées de Fourier et ondelettes (identification des périodes propres, signaux périodiques ou transitoires).
- Corrélations avec les données météorologiques (Météo-France, ERA5) et les états de mer (houle, vent, Bouées CANDHIS).
- Détection et caractérisation des évènements extrêmes (seiches, tsunamis, météo-tsunamis, submersions) : études de cas (tornade du Mourillon 2020, séisme Algérie 2021, éruption Tonga 2022, submersion Cassis 2024, ...).

2. Modélisation numérique :

Implémentation de modules sur des codes existants, en partenariat :

- Mise en place d'une chaîne de modélisation couplée : TELEMAC-2D/3D (hydrodynamique) + TOMAWAC (houle).
- Maillages multi-résolutions : du bassin méditerranéen (1-2 km) aux baies locales (10-50 m).
- Calibration/validation sur les évènements de référence à partir des données HTM-NET et marégraphes SHOM.
- Tests de sensibilité : paramétrisations du coefficient de traînée, conditions limites, résolution spatiale.

3. Approche statistique et projection climatique :

Méthodologies complémentaires pouvant combiner les approches suivantes :

- Analyses de tendances long-terme (élévation du niveau moyen, température) par régressions linéaires et méthodes non-paramétriques (Mann-Kendall).
- Intégration des scénarios ONERC/GIEC (élévation +20 à +60 cm d'ici 2100) dans les simulations.
- Calcul de périodes de retour et cartographie des aléas pour différents horizons temporels.

4. Travail collaboratif international :

- Échanges méthodologiques avec les partenaires (ISMER, USACE, São Paulo).
- Comparaisons inter-sites (Méditerranée, environnements froids, zones tropicales) pour identifier les processus universels vs. spécifiques.
- Co-publications et participation à des conférences internationales.

Retombées attendues :

Scientifiques :

Outre la diffusion scientifique (conférences et articles) :

- Amélioration de la compréhension des effets de forçages atmosphériques et/ou marins sur les résonances à l'échelle des golfes, des baies et des ports en Méditerranée.
- Base de données consolidée des évènements extrêmes sur le littoral provençal (2014-2026).

Opérationnelles :

- Soutien aux outils d'aide à la prévision des submersions intégré aux chaînes opérationnelles (Météo-France, BRGM, Cerema, CENALT).
- Contribution aux Plans de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) et aux Stratégies Locales de Gestion des Risques d'Inondation (SLGRI).

Sociétales :

- Meilleure protection des infrastructures civiles et militaires de la rade de Toulon et du littoral varois.
- Sensibilisation des collectivités et du public aux risques de submersion : projet de sciences participatives avec l'association AstroLab expéditions.
- Renforcement de la résilience côtière face au changement climatique.

Formation :

- Acquisition de compétences multidisciplinaires : océanographie physique, modélisation numérique, analyse de données massives, gestion de projet international.
- Encadrement de stages de Master et participation à des écoles thématiques.

Mots clés : Submersion marine – Modélisation hydrodynamique – Réseau HTM-NET – Méditerranée occidentale – Changement climatique – Seiches – Surcote de tempête – TELEMAC – Prévision des risques – Littoral provençal

Références :

- Almar, R. et al. (2021). A global analysis of extreme coastal water levels with implications for potential coastal overtopping. *Nature Communications*, 12, 3781.
- Belibassakis, K. A and **Rey, V.**, (2024), Estimation of harbor and bay resonances by MMS-FEM model with application to the bay of Toulon France, *Oceanologia*, 66 (4), 2024.
- Belibassakis, K. A and **Rey, V.**, (2025), An SWE-FEM model with application to resonant periods and tide components in the Western Mediterranean sea region, *Marine Sci. Eng.*, 13, 1286.
- BRGM (2017). Caractérisation de l'aléa submersion marine sur le périmètre régional PACA. Rapport final.
- DREAL PACA (2022). Plan de Gestion des Risques d'Inondation 2022-2027.
- Paugam, C., Sous, D., **Rey, V.**, Meulé, S. Faure, V., Boutron, O., Luna-Laurent, E., and Migne, E., (2021), Wind tides and surface friction coefficients in semi-enclosed shallow basins, *Estuarine, Coastal and Shelf Sc.*, 257, 107406.
- Heinrich, P., Gailler, A., Dupont, A., **Rey, V.**, Hébert, H Listowski, C., (2023), Observation and simulation of the meteotsunami generated in the Mediterranean Sea by the Tonga eruption on 15 January 2022, *Geophysical Journal International*, Volume 234, Issue 2, August 2023, Pages 903–914, <https://doi.org/10.1093/gji/ggad092>.
- Menager, M., Guilhem Trilla, A., Delouis, B., Gailler, A., Dupont, A., Hébert, H., Heinrich, P., **Rey, V.**, « Earthquake source and tsunami analysis of the Mw 6.0 event offshore Bejaia (Algeria) on March, 18, 2021» AGU fall Meeting 12-16 dec. 2022.
- **Rey, V.**, Dufresne, C., Fuda, J. L., Mallarino, D., Missamou, T., Paugam, C., Rougier, G., Taupier-Letage, I., On the use of long term observation of water level and temperature along the shore for a better understanding of the dynamics: Example of Toulon area, France *Ocean Dyn.*, 2020, <https://doi.org/10.1007/s10236-020-01363-7>.
- **Rey, V.**, Missamou, T., **Laffitte, E.**, Lefevre, D., Fuda, J. L. et Mallarino, D, Risques littoraux associés au niveau de la mer : observation et analyse de différents facteurs sur le littoral provençal entre 2014 et 2025, de l'échelle journalière à l'échelle pluri-annuelle, XIXèmes Journées Génie Côtier – Génie Civil, Clauway, 9-11 juin 2026.

Encadrement et conditions matérielles pour le doctorant

Encadrement scientifique :

- Directeur de thèse : Vincent Rey, Professeur, MIO, Equipe OPLC, océanographe physicien, spécialiste en océanographie côtière et hydrodynamique littorale (pas d'autre direction de thèse actuellement).
- Co-encadrant : Elodie Laffitte, Maîtresse de Conférences, MIO, Equipe OPLC, océanographe physicienne, chercheuse en analyse de données d'observation.
- Comité de suivi de thèse : incluant un membre extérieur au laboratoire (ex: Thibaut Laigre et Nico Valentini du BRGM, Heloïse Michaud du SHOM).

Conditions matérielles :

- Bureau au sein du laboratoire MIO (UTLN).
- Financement de 3 ans couvert par le contrat doctoral Établissement (2026-2029).
- Budget de mission pour participations à 2-3 conférences internationales et séjours de recherche chez les partenaires scientifiques (ISMER, USACE, São Paulo,...).
- Financement Contrat Objectifs et Moyens COM Observation, année 2026 (budget HTM-NET 3500 €).
- Projet OBSERV « Ondes de Bord et Seiches : Effets sur les Risques de submersion sur la côte Varoise » 2026-2028, demande sollicitée auprès du CD 83 (fonctionnement : 2000 €, investissement : 25563 €)

Environnement scientifique :

- Intégration à l'équipe OPLC (30 chercheurs, 15 doctorants).
- Participation aux séminaires hebdomadaires et aux groupes de travail nationaux (Communauté française de la submersion marine, par le MIO, GT Tempêtes et Submersions Historiques, par le SHOM).
- Accès aux réseaux d'observation nationaux (RNOTC, REFMAR) et internationaux (GLOSS).

Compétences attendues et personnes à contacter

Compétences attendues :

Formation :

- Ecole d'ingénieur ou Master en Océanographie, Hydrologie, Mécanique des Fluides, Physique de l'Environnement ou équivalent.
- Solides bases en physique des fluides géophysiques et en statistique.

Compétences techniques :

- Maîtrise d'outils de programmation (MATLAB indispensable) pour l'analyse de données et la modélisation.
- Expérience souhaitée avec des modèles hydrodynamiques (TELEMAC, ROMS, SCHISM, etc.).
- Connaissance des SIG (QGIS, ArcGIS) pour la cartographie des aléas.
- Français et Anglais scientifique courant (rédaction d'articles, présentations internationales).

Qualités personnelles :

- Rigueur scientifique et autonomie.
- Capacité à travailler en équipe et à collaborer avec des partenaires internationaux.
- Intérêt pour la modélisation phénoménologique, les applications opérationnelles et le transfert vers les gestionnaires du risque.
- Sensibilité aux enjeux environnementaux et sociétaux.

Personne(s) à contacter :

Pour toute information sur ce sujet :

- Elodie Laffitte, Vincent Rey, MIO – Équipe OPLC
Email : elodie.laffitte@univ-tln.fr, vincent.rey@univ-tln.fr

Pour des informations sur l'École Doctorale :

- Site web : <https://ed548.univ-tln.fr/>
- Responsable de l'ED : Jacques Piazzola – Email : jacques.piazzola@univ-tln.fr