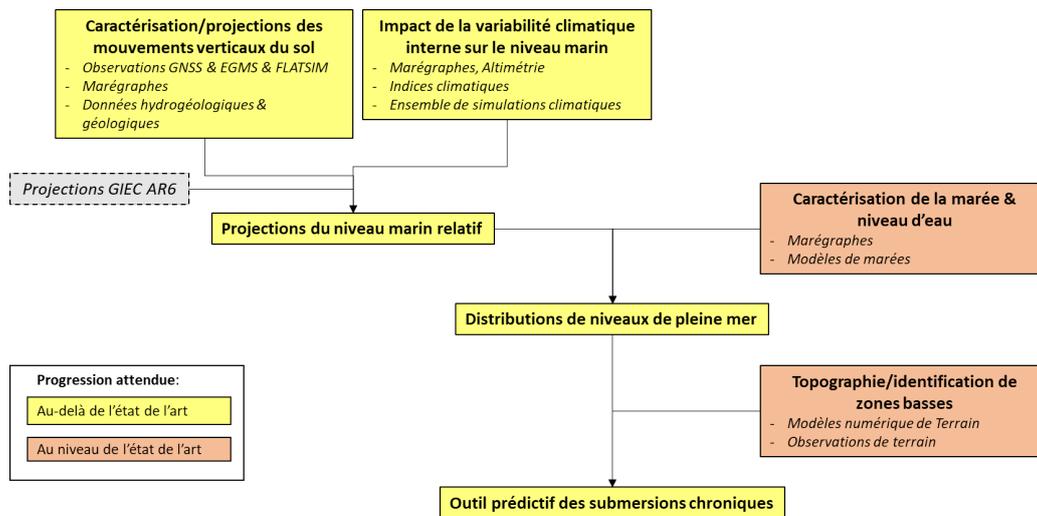


PROPOSITION DE SUJET POUR UN CONTRAT DOCTORAL

Laboratoire <u>UMR LIENSs 7266</u>
Titre de la thèse Impacts des mouvements verticaux du sol et de la variabilité climatique interne sur l'évolution des niveaux marins récents et futurs en région Nouvelle Aquitaine : Application aux submersions chroniques
Direction de la thèse <i>directeur-trice-s (grade, HDR) et éventuels co-directeur-trice-s</i> <ul style="list-style-type: none">- Dr. Guy Wöppelmann (PR), La Rochelle Université, UMR 7266 LIENSs, 50%.- BRGM 50% Dr. Rémi Thieblemont (Chercheur) avec demande ACT
Adéquation scientifique avec les priorités de l'établissement Pas d'affichage clair sur cette thématique en 2025 par la CdA ou le Département. En revanche, il est intéressant de souligner que la problématique du sujet de thèse proposé est de mieux comprendre les facteurs qui impactent le niveau marin relatif en Nouvelle-Aquitaine de l'échelle saisonnière à multi-décennale, en se concentrant sur les Pertuis Charentais et le bassin d'Arcachon , puis de quantifier l'impact de ces différents facteurs sur les projections futures de niveau d'eau par temps calme, avec comme exemple d'application, la prédiction de submersions chroniques. Plus largement, les questions de recherche abordées dans cette thèse sont pertinentes pour les acteurs français des risques littoraux , partenaires du BRGM dans le domaine de l'Appui aux Politiques Publiques (APP), notamment ceux impliqués dans les plans de prévention des risques (DGPR, DREAL), et les plans d'adaptation territoriaux et régionaux (DGALN, Agences de l'eau, Régions). Autrement dit, même si le curseur affiché par la CdA et le Département en 2025 n'est pas sur cette thématique, les retombées potentielles sont considérables.
Descriptif du sujet <i>(enjeux scientifiques, applicatifs, sociétaux...)</i> Les submersions chroniques (c'est-à-dire les inondations marines à marée haute par temps calme) commencent tout juste à être observées dans de nombreuses régions du globe en réponse à l'élévation du niveau marin. Bien que non catastrophiques, elles entraînent des nuisances sur les réseaux, les transports ou encore les infrastructures. Les zones basses côtières de la région Nouvelle Aquitaine vont être de plus en plus exposées à ce type d'inondation au cours du 21 ^{ème} siècle. Le sujet de thèse proposé vise à estimer l'exposition future aux submersions chroniques dans les Pertuis Charentais et le Bassin d'Arcachon (zones basses à fort enjeux) en améliorant localement les projections du niveau marin relatif par rapport aux produits du dernier rapport du GIEC (2021). La question de recherche principale de ce projet de thèse est « Comment les mouvements verticaux du sol et la variabilité climatique saisonnière à multi-décennale vont impacter l'émergence de submersions chroniques en région de Nouvelle-Aquitaine ? ». Les travaux menés dans cette thèse auront alors pour objectif d'améliorer la prise en compte (i) des mouvements verticaux du sol et (ii) de l'influence de la variabilité climatique interne de l'échelle saisonnière à multi-décennale. La thèse s'appuiera entre autres sur les données de stations GNSS permanentes du Service national d'observation SONEL, les très récents produits Copernicus EGMS (<i>European Ground Motion Service</i>), ainsi que les résultats d'ensemble de simulations climatiques de dernière génération (p.ex. CMIP6). Ces projections de niveaux marins relatifs seront combinées avec les conditions de marée pour les deux sites d'étude et la topographie, afin d'explorer l'effet potentiel sur l'évolution des submersions chroniques futures. Cette question principale se décline alors en plusieurs questions sous-jacentes : <ul style="list-style-type: none">- « Quelles sont les causes des mouvements verticaux du sol locaux et comment quantifier leur impact sur les projections du niveau marin relatif ? »<ul style="list-style-type: none">o Quelle est la pertinence des nouveaux produits Copernicus EGMS (<i>European Ground Motion Service</i>) et CNES FLATSIM pour l'estimation des mouvements verticaux du sol côtiers ?

- o Quelle est la cohérence de ce produit avec les données GNSS et comment ajuster les estimations EGMS et FLATSIM ?
- o Quels sont les phénomènes physiques responsables des mouvements verticaux du sol et comment les intégrer aux projections futures ?
- « Quels modes de variabilité du système couplé océan-atmosphère impactent le niveau marin localement de l'échelle saisonnière à multi-décennale ? ».
- o Quels modes de téléconnexion du système océan-atmosphère influencent le niveau marin en région NVA (p.ex. NAO, WEPA, Blocages, AMV) ?
- o Quelles sont les fréquences d'influences caractéristiques ?
- o A partir de quel horizon temporel le signal anthropique d'élévation du niveau marin va-t-il émerger le long des côtes NVA ?

La méthodologie globale, les types de données et le positionnement des actions envisagées par rapport à l'état de l'art sont décrits dans la figure suivante. Les aires jaunes soulignent les travaux menés dans le cadre de la thèse qui permettront de dépasser l'état de l'art. Les approches et méthodes associées à ces travaux sont détaillés ci-après.



(i) Caractérisation et projections des mouvements verticaux du sol

EGMS et FLATSIM seront comparés puis analysés sur les deux sites d'études pour cartographier, quantifier et projeter des zones en subsidence. La comparaison avec des données ponctuelles (GNSS, marégraphes) permettra d'identifier de potentiels biais et de les corriger, tout en visant à comprendre l'origine de ces erreurs. Une analyse des séries temporelles des mouvements verticaux sera ensuite effectuée afin de caractériser l'évolution de la subsidence (linéaire/non-linéaire ? cycle saisonnier ?) et de la comparer avec les informations hydrogéologiques & géologiques locales pour en déterminer la cause possible. Ces analyses permettront d'estimer l'impact des mouvements verticaux du sol sur les projections du niveau marin relatif.

(ii) Quantification de l'impact de la variabilité climatique interne sur le niveau marin

Un second volet de cette thèse consistera à déceler si des variations saisonnières à décennales du niveau marin local peuvent être reliées statistiquement à des oscillations climatiques de plus grande échelle, d'en comprendre les mécanismes sous-jacents, et d'estimer la possible amélioration des prédictions du niveau marin. Dans un premier temps, les résultats seront basés sur des observations marégraphiques et altimétriques puis comparés à des résultats de simulations de modèles climatiques. Des projections de la composante stérodynamique seront ensuite réalisées et insérées aux projections du niveau marin relatif.

(iii) Occurrence de niveaux d'eau menant à des submersions chroniques

Dans ce troisième volet, les projections de niveaux marins relatifs (issus des étapes i & ii) seront combinées avec les conditions de marée pour les deux sites d'étude. Les caractéristiques de marées seront déterminées en s'appuyant sur les mesures marégraphiques disponibles proches des deux sites, mais aussi la base de données de composantes de marée permettant une couverture spatiale complète (ex.: le modèle FES 2014 à couverture globale). Cette étape permettra d'obtenir des distributions de niveaux de pleine mer pour différents scénarios climatiques. Enfin, une analyse de l'évolution des zones basses (i.e. des zones situées sous les niveaux des projections de niveaux de pleine mer) au cours du 21^{ème} siècle sera réalisée par croisement des distributions de niveaux de pleine mer et des Modèles numériques de Terrain (MNT) disponibles pour prédire l'émergence des submersions chroniques.

Contexte partenarial (cotutelle internationale, EU-CONEXUS, partenariat avec un autre laboratoire, une entreprise...)

Sur cette problématique, les collaborations passées avec le BRGM portent sur les mouvements verticaux du sol (ex. : la thèse de C. Poitevin) et les modifications temporelles des caractéristiques de marée (ex. : thèse de J. Challis). Par ailleurs, BRGM et LIENSs étaient partenaires dans le projet ANR Cécile (2010-2013, coordination BRGM) portant sur l'impact de l'élévation du niveau de la mer sur les environnements côtiers, puis dans le projet ANR Storisk (2015-2020, coordination LIENSs) portant sur les trajectoires de risque et d'adaptation des petites îles face au changement climatique. On notera aussi des collaborations ponctuelles entre le BRGM et le LIENSs passées (articles de synthèse) ou en cours sur la caractérisation des mouvements verticaux du sol à l'échelle européenne (H2020 CoCliCo).

Impacts (scientifiques, technologiques, socio-économiques, environnementaux, sociétaux...)

Le littoral de la région Nouvelle-Aquitaine (NVA) concentre d'importants enjeux économiques et touristiques. Il comprend également de larges étendues situées dans des zones de basses altitudes qui présentent une vulnérabilité accrue aux submersions chroniques (<https://sealevelrise.brgm.fr>). Celles-ci sont d'ores et déjà observées et vont s'accroître avec l'élévation du niveau marin. Parmi les zones basses identifiées, les pourtours des Pertuis Charentais (Charente-Maritime) et du bassin d'Arcachon (Gironde) sont des espaces à forts enjeux économiques et touristiques, qui présentent également des caractéristiques géographiques et physiques à fort intérêt scientifique et une couverture de données propice à l'étude du niveau marin relatif et des submersions chroniques.

Dans ces deux zones, des 1^{ers} résultats d'enregistrements de mouvements verticaux du sol suggèrent une subsidence de l'ordre de plusieurs mm/an qui aurait pour effet d'accroître l'élévation du niveau marin relatif et donc les risques de submersions chroniques (Thiéblemont et al., 2024). Par ailleurs, les enregistrements des marégraphes disposés en région Nouvelle-Aquitaine indiquent des périodes d'alternance entre accélération puis ralentissement prononcés de l'élévation du niveau marin relatif sur plusieurs années, suggérant des effets des variations climatiques internes.

La problématique du sujet de thèse proposé est donc de mieux comprendre les facteurs qui impactent le niveau marin relatif en NVA de l'échelle saisonnière à multi-décennale, en se concentrant sur les Pertuis Charentais et le bassin d'Arcachon, puis de quantifier l'impact de ces différents facteurs sur les projections futures de niveau d'eau par temps calme, avec comme exemple d'application, la prédiction de submersions chroniques.

Programme de travail du doctorant (tâches confiées au doctorant) & **Calendrier de réalisation**

Tâche 1 [année 1] : **Prise en main du sujet, de l'état de l'art et des sites d'études.** Cette première phase permettra au doctorant de s'approprier les connaissances phénoménologiques, l'état de l'art, les sites d'études, les méthodologies proposées, de les affiner, de mieux identifier les apports potentiels de son travail à l'état des connaissances, et enfin de préciser les questions subsidiaires de recherche et le programme de travail de sa thèse. Le doctorant fera l'état des connaissances sur les méthodes de mesures et projections du niveau marin relatif, des projections du GIEC, sur le phénomène de subsidence (processus, mesures et modélisation), la marée (mécanismes et caractérisation) et sur les submersions chroniques et leurs impacts à l'échelle du globe. Le doctorant fera également l'état des connaissances des deux sites d'études principaux en termes d'évènements historiques et de données disponibles afin de constituer un socle de données pour la suite du travail de thèse : chroniques marégraphiques, données GPS, données InSAR, modélisation de la marée, données géologiques et hydrogéologiques, données topographiques, données de modélisation climatiques (hindcast et projections), données météorologiques et indices climatiques.

Tâche 2 [années 1 & 2] : **Analyse des mouvements verticaux du sol.** Cette tâche se concentrera sur le volet subsidence du travail de thèse dans le but de la cartographier, la quantifier sur la période observée et en comprendre les causes potentielles. Ce travail s'articulera autour des résultats d'enregistrements de mouvements verticaux du sol par les réseaux GNSS permanents et les résultats disponibles de leur analyse (SONEL, <https://www.sonel.org/>) et l'interférométrie radar (InSAR, EGMS, <https://egms.land.copernicus.eu/>, FLATSIM) au niveau des deux sites d'études (Pertuis Charentais & Arcachon). La comparaison des données EGMS et FLATSIM avec les données GNSS permettra d'évaluer la qualité des produits EGMS et FLATSIM et d'en effectuer des corrections par rapport à un référentiel commun aux projections du niveau marin. Les données seront ensuite croisées avec des informations hydrogéologiques et géologiques pour essayer de comprendre quelles peuvent être les causes de la subsidence et leur échelles spatio-temporelles. Les différentes analyses ci-dessus seront combinées afin d'effectuer des projections des mouvements verticaux locaux futurs et de les insérer aux projections du niveau marin relatif. Bien que la période ciblée pour les projections soit le 21^{ème} siècle, les résultats des analyses des mouvements verticaux du sol permettront de déterminer une échelle temporelle de confiance dans les projections.

Tâche 3 [année 2] : Influence de la variabilité climatique. Dans un premier temps, une analyse statistique des chroniques marégraphiques et altimétriques en NVA en comparaison avec des indices climatiques sera effectuée afin de déterminer les fréquences caractéristiques d'oscillation du niveau marin, des changements saisonniers, et les liens avec les oscillations climatiques. Dans un second temps, les résultats seront comparés avec des simulations climatiques pré-industrielles et historiques (p.ex. Coupled Model Intercomparison Project - Phase 6, grands ensembles comme CESM1-LE, etc) afin d'identifier quels modèles sont à même de reproduire l'influence de la variabilité climatique localement (et précédemment identifiée) et d'en déduire alors, à partir de simulations futures, quand le signal d'origine anthropique va émerger de la variabilité interne au cours du 21^{ème} siècle. Ce volet permettra d'affiner les projections du niveau marin stéréodynamique au 21^{ème} siècle pour la façade NVA. Ces projections seront ajoutées aux contributions des fontes des glaciers, des calottes glaciaires, etc fournies par le GIEC et aux mouvements verticaux du sol déterminés. Des projections du niveau marin relatif au 21^{ème} siècle en fonction de scénarios climatiques (SSP ou en température) seront produites dans ce volet.

Tâche 4 [année 3] : Prédiction des submersions chroniques. Dans ce dernier volet, les projections de niveaux marins relatifs (issus des tâches 2 & 3) seront combinées avec les conditions de marée pour les 2 sites d'étude. Dans un 1^{er} temps nous ferons l'hypothèse que les caractéristiques de marée (i.e. les amplitudes et phases des différentes composantes de marée) sont stationnaires et utiliserons les mesures de niveau d'eau aux marégraphes de La Rochelle, l'Île d'Aix et Arcachon Eyrac pour estimer les distributions des niveaux de pleine-mer (par rapport au niveau moyen relatif). Dans un 2^{ème} temps, nous pourrions étendre spatialement ces données en exploitant des bases de données de composantes de marée (ex : FES 2014, à couverture globale). Ces niveaux de pleine mer seront combinés aux projections de niveaux marins relatives construites sur la base des tâches 2 & 3. Cette étape permettra d'obtenir des distributions de niveaux de pleine mer pour différents scénarios climatiques (SSP ou en Température). En termes d'impact sur les submersions chroniques, une 1^{ère} approche consistera à identifier des niveaux topographiques critiques en termes de submersion, à partir des MNT's disponibles (ex : Litto3d) et d'étudier l'évolution temporelle des occurrences de dépassement de ces niveaux d'eau critiques. Une phase de validation consistera à évaluer si les méthodes développées permettent de reproduire les submersions par temps calme déjà observées (p.ex. événement d'août/septembre 2023, voir section 2, page 3). Une analyse de l'évolution des zones basses (i.e. des zones situées sous les niveaux des projections de niveaux de pleine mer) au cours du 21^{ème} siècle sera aussi alors réalisée par croisement des données prédites de niveau d'eau et des MNT's disponibles.

Tâche 5 [années 1, 2 et 3] : communication et valorisation des résultats (publications de rang A, conférences, transfert de connaissance). Plus précisément au moins 2 articles seront soumis à des journaux de rang A. En outre, le doctorant présentera ses travaux dans au moins 3 conférences (dont au moins une qui soit internationale).

Accompagnement du doctorant / Fonctionnement de la thèse (*accompagnement humain, matériel, financier, en particulier pour la prise en charge du fonctionnement de la thèse et des dépenses associées*)

Outre la direction de thèse indiquée ci-dessus, Déborah Idier (BRGM) participera à l'encadrement de la thèse avec son expérience (HDR) et son expertise reconnue en modélisation et submersions marines.

- Demi allocation de thèse acquise par le BRGM (71,5 k€)
- Temps dédié à la codirection BRGM de thèse, qui s'élève à 50% (63 k€)
- Accueil au BRGM (ordinateur, bureau, restauration, déplacement...) avec séjours au LIENSs
- Frais de missions BRGM (26 k€)