

## Risque inondation dans l'estuaire de la Seine : caractérisation des aléas par débordement et de leurs évolutions sous l'effet des changements globaux

### Programme d'activité 2021-2026

Objectif stratégique n°4 : Apporter un éclairage sur les risques liés aux événements extrêmes

### Contexte et finalité des travaux scientifiques

De par leurs positions, les estuaires sont exposés aux aléas inondation. La combinaison des effets du changement climatique et du développement socio-économique va augmenter leur vulnérabilité. Ce contexte impose aux gestionnaires de disposer d'une connaissance précise de ces aléas et des mécanismes qui en sont à l'origine. L'étude des événements passés et les scénarios par modélisation numérique sont les principaux moyens d'étudier ces aléas.

Parmi, les indicateurs utilisés par les gestionnaires, les périodes de retour ou probabilité d'occurrence servent à caractériser l'aléa par les niveaux d'eau atteints et par l'intensité des forçages hydro-météorologiques à l'origine des débordements (débit de la Seine et de ses affluents, coefficient de marée, vent et pression atmosphérique). Les enjeux opérationnels associés à la caractérisation des aléas et de cet indicateur sont importants. En effet, ces probabilités servent de base à la réglementation (PPRI, EDD, PAPI), mais aussi pour l'instruction des déclarations de catastrophes naturelles.

Cet appel à projets se focalise sur la caractérisation des niveaux d'eau extrêmes (variabilités et occurrences) dans le lit mineur de l'estuaire de la Seine et leurs relations avec les différents forçages hydro-météorologiques.

Actuellement, les caractérisations statistiques de ces aléas dérivent de méthodologie fluviale ou côtière et négligent certaines spécificités estuariennes. De plus, elles sont essentiellement basées sur l'analyse des événements passés et ne considèrent pas les relations entre les niveaux d'eau atteints et l'intensité des forçages hydro-météorologiques. Elles ne permettent pas de caractériser les évolutions futures liées entre autres aux effets du changement climatique (élévation du niveau marin et augmentation des débits des crues de la Seine). Les études et travaux de recherche relatifs à cette problématique doivent permettre d'améliorer la caractérisation de l'aléa inondation par débordement dans l'estuaire de la Seine et de l'impact du changement global sur cet aléa.

### Etat de l'art sur l'estuaire de la Seine

Une étude de définition des périodes de retour des forçages et des niveaux de pleine mer en estuaire de Seine a été menée en 2019, sous la maîtrise d'ouvrage du GIP Seine-Aval et du Service de Prévision des Crues de la DREAL Normandie. Cette étude complète et actualise une précédente étude menée en 2013.

Cette étude a permis la caractérisation statistique des chroniques des niveaux d'eau mesurés au droit de marégraphes, ainsi que celle des forçages liés aux submersions en estuaire de Seine.

Le rapport de cette étude, et l'ensemble des rapports Seine-Aval sur la problématique du risque inondation sont disponibles à l'adresse : <https://www.seine-aval.fr/inondations/>

### **Les limites et interrogations actuelles**

L'application de méthodes principalement développées pour l'étude des milieux fluviaux et marins réalisée dans le cadre de l'étude de 2019 a permis une première caractérisation statistique des aléas.

Le bilan de cette étude met en avant une série d'interrogations liées aux spécificités estuariennes décrites ci-après.

- **La vraisemblable relation temporelle des événements pouvant se succéder**

L'étude 2019, qui repose sur un échantillonnage SUP-SEUIL des cotes maximales instantanées de pleine mer, néglige la potentielle "non indépendance" des événements échantillonnés pouvant se succéder (comme par exemple les événements de la période janvier/février 2018 ; ou encore la période février/mars 2020). Dans l'étude passée, les événements séparés d'une période de 15j sont supposés indépendants.

- **Les relations existantes entre les différents forçages hydro-météorologiques (ex. relation tempête/crue) et les multiples combinaisons de conditions hydro-climatiques pouvant générer des lignes d'eau équivalentes**

L'étude précédente ne repose pas sur une étude statistique des différents forçages indépendamment puis sur leur combinaison. Elle n'interroge ni les relations existantes entre les différents forçages hydro-météorologiques (ex. relation tempête/crue), ni la multitude de conditions hydro-climatiques pouvant générer des cotes de pleine mer équivalentes.

- **Les limites liées à la prise en compte des seules valeurs instantanées maximales : la nécessité de prendre en compte la durée pour qualifier la fréquence associée à un événement**

L'événement atypique de février 2020 a démontré la nécessité de considérer les variations temporelles des paramètres étudiés et non seulement leurs valeurs maximales (cotes instantanées de pleine mer (PM) pour les niveaux, et intensités maximales pour les forçages surcote, débit et vent). En effet, lors de cet événement, la cote maximale de PM à Tancarville a pu être qualifiée de période de retour entre 2 et 5 ans. Pour autant, la durée de cette pleine mer (« tenue de plein ») était de l'ordre d'1h plus longue que la médiane des durées. Ce phénomène engendre des volumes entrant dans l'estuaire beaucoup plus importants et des cotes de PM significativement plus fortes en amont. Il a entraîné des périodes de retour pour la cote maximale de PM à des ordres de grandeur entre 20 et 50 ans sur les marégraphes à l'amont de Tancarville.

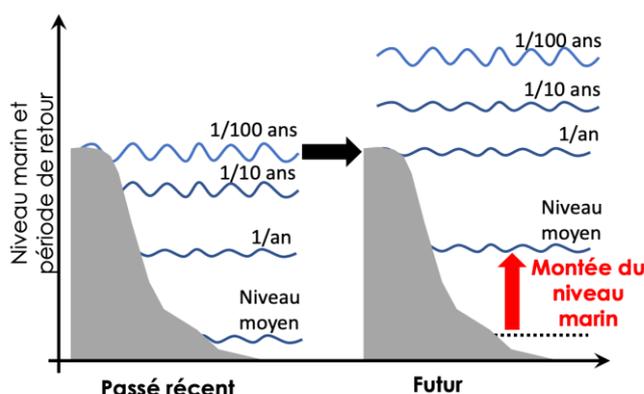
Il y a donc lieu de considérer des « couples cote - durée » observés en vue de qualifier la période de retour associée à un événement donné. Ce travail pourrait être appliqué aussi sur les forçages (débit, vent, pression etc.).

- **La nécessité de prendre en compte les évolutions rétro et prospectives du contexte hydro-morphologique**

Notre connaissance des aléas et en particulier de leurs probabilités d'occurrence est basée sur l'analyse des mesures passées, et se base sur une hypothèse de représentativité homogène des échantillons.

Dans ces analyses, les évolutions passées et futures du fonctionnement du système sont ainsi négligées. Dans l'actuel contexte, notamment de changement climatique, cette hypothèse rend les projections statistiques moyen/long terme incertaines. En effet, l'aménagement du territoire, l'évolution des conditions climatiques et l'élévation du niveau marin sont autant de facteurs qui ont évolué durant les dernières décennies et qui vont évoluer durant les prochaines décennies. Cependant, leurs effets combinés (potentiellement antagonistes) sur l'occurrence et l'intensité des aléas sont inconnus.

D'une part, il est reconnu que le changement climatique et ses effets sur le niveau marin et les extrêmes climatiques augmentent les probabilités d'occurrence des niveaux extrêmes. Le rapport "SROCC" du GIEC met notamment en avant le fait que les événements marins, actuellement associés à des périodes de retour de 100 ans, deviendraient annuels à un horizon proche de 2060 selon les scénarios d'évolutions des GES. D'autre part, avec un niveau moyen de la mer plus haut, les premiers débordements interviendront avec une intensité plus faible des forçages hydro-météorologiques.



*Schéma simplifié de l'effet de l'élévation du niveau marin sur les périodes de retour (d'après IPCC, 2019)*

D'autre part, rétrospectivement, l'aménagement du bassin versant et en particulier la mise en place des lacs réservoirs ont diminué les probabilités d'occurrence des débits exceptionnels (cet effet est le plus souvent négligé dans les analyses). La forte évolution morphologique de l'estuaire liée à son aménagement (chenalisation, dragage) a également modifié la réponse du système pour des forçages équivalents. Des chroniques anciennes en matière de forçage amont (débit de Seine, en intégrant l'effet des grands lacs) et aval (marégraphe du Havre, disposant d'une longue chronique) facilement mobilisables, pourront nourrir la caractérisation historique de l'aléa<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> L'analyse de chroniques anciennes dans l'estuaire, dont l'accès reste incertain (données ponctuelles liées aux événements de 1649, 1658, 1691, 1740, 1810, 1876) et conduisant à des investigations (consultation des archives) et à des analyses chronophages, dépassent les possibilités de financement allouées à cet appel à projets.

Cette non-stationnarité du contexte hydro-morphologique et des probabilités d'occurrence passées et futures aux regards des aménagements et du changement climatique doit être prise en compte dans la caractérisation des risques de submersion.

### **Objectifs des travaux de recherche**

Le présent appel à projets vise à mobiliser la communauté scientifique pour acquérir de nouvelles connaissances afin de progresser dans :

1. La caractérisation des relations existantes inter et intra événement entre les forçages et les hauteurs d'eau en estuaire (inter événements : succession d'événements à risques)
2. La caractérisation des aléas (hauteurs d'eau et forçages) non seulement au regard des maximums observés mais aussi au regard de leurs durées
3. La quantification des évolutions des quantiles et probabilités d'occurrence associées en réponse aux évolutions induites par les effets des changements globaux et en particulier ceux du changement climatique.

Il constitue une opportunité de réunir les communautés scientifiques investies sur l'étude statistique des événements extrêmes en fluvial et en marin autour de ces problématiques estuariennes. Les problématiques concernent particulièrement le contexte de l'estuaire de la Seine, mais pourraient également être étudiées sur les autres grands estuaires français et conduire à des travaux inter-estuaires.

### **Enveloppe budgétaire prévisionnelle**

L'enveloppe budgétaire prévisionnelle allouée à l'ensemble des travaux prévus dans cet appel à projets est de **150 k€**. Ce montant constitue un ordre de grandeur destiné à orienter les proposant sur le niveau d'ambition des actions à proposer et les moyens à mettre en œuvre.

### **Organisation de l'appel à projets**

La soumission de projet est possible jusqu'au **27/03/2024**.

La trame de soumission de projet est disponible en [téléchargement ici](#).

La présentation du projet sera accompagnée d'une évaluation du budget par grand poste, présentant les financements demandés, l'autofinancement apporté par les équipes de recherche et les éventuels cofinancements.

Les dossiers de soumission de projet sont à transmettre à Nicolas Bacq : [nbacq@seine-aval.fr](mailto:nbacq@seine-aval.fr)

Les projets seront évalués par les comités scientifiques et techniques du GIP Seine-Aval et certains de nos partenaires techniques.

## Éléments de bibliographie

- Lien vers les travaux existant en estuaire de Seine : <https://www.seine-aval.fr/inondations/>
- Simon Bernard, 1994, Statistique des niveaux marins extrêmes le long des côtes de France, Rapport d'étude SHOM n°001/94 ;
- Benjamin Renard, 2006, Détection et prise en compte d'éventuels impacts du changement climatique sur les extrêmes hydrologiques en France, thèse ;
- Simon Bernard, 2008, Les niveaux marins extrêmes le long des côtes de France et leur évolution, CETMEF-SHOM ;
- Hydratec, Lignes d'eau de crues dans l'estuaire de la Loire : caractérisation et combinaison des facteurs conditionnant les niveaux d'eau, rapports de phase 1 et 2, GIP Loire Estuaire 2010 ;
- Lucia Pineau-Guillou, Céline Perherin, 2012 : Niveaux marins extrêmes de pleine et basse mer en Manche et Atlantique, CETMEF/DI/IE/IAR n°13-005, SHOM/DOPS/MIP/HDC n°9 ;
- Thierry Feuillet, Etienne Chauveau, Laurent Pourinet, 2012. Xynthia est-elle exceptionnelle ? Réflexions sur l'évolution et les temps de retour des tempêtes, des marées de tempête, et des risques de surcotes associés sur la façade atlantique française, Norois n°222. (2012/1), p.17-44 ;
- Xavier Kergadallan, 2013, Analyse statistique des niveaux d'eau extrêmes. Environnements maritime et estuarien. Guide du CETMEF, 2276-0164 ;
- Benjamin Renard, 2019, Probabilités et Statistiques appliquées à l'Hydrologie, polycopié, support de formation, INRAE ;
- Guendalina Bruni, Eric David, Arielle Masson, 2019, Profils en long des cotes de pleine mer associées à différentes périodes de retour sur la Seine Aval, Artelia ;
- Michel Lang, 2020 Expertise sur l'hydrologie du Rhin sur les biefs de Gamsheim et Iffezheim. [Rapport de recherche] INRAE ;
- Alexa Latapy, 2022, Les activités de « data rescue » en marégraphie : quel est l'apport des mesures historiques du niveau de la mer, SHOM, journées REFMAR, Brest ;
- Xavier Kergadallan, 2022, Estimation des valeurs extrêmes de niveau d'eau : Littoral métropolitain, Cerema, rapport d'études <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/593562/estimation-des-valeurs-extremes-de-niveau-d-eau-littoral-metropolitain>
- Laurie Saint-Criq, 2022, thèse, Estimation des niveaux marins extrêmes en utilisant de l'information régionale et historique <https://www.theses.fr/s276174> ;
- Mathieu Lucas, 2023, Comment valoriser les données anciennes pour l'analyse fréquentielle des crues : application au Rhône à Beaucaire de 1500 à 2020 ?, thèse.