

Visualisation de scénarios simulés de submersion côtière

Sujet de thèse - ANR ORACLES - Rentrée 2023/2024

Mots clés :

Géovisualisation 2D/3D, Analyse et visualisation de données hétérogènes et complexes ;
Risques naturels, Submersion côtière ;
Prévision ; Incertitudes ;
Données météo-océaniques simulées, spatio-temporelles et probabilistes.

Contexte

La forte croissance démographique et l'augmentation de l'urbanisation dans les régions côtières ont tendance à augmenter les risques liés aux phénomènes d'inondation marine dans les zones côtières de faible altitude. Ce phénomène résulte de la combinaison entre divers processus générés à différentes échelles de temps et d'espace (circulation atmosphérique, houle, surcote atmosphérique, marée, et parfois débit fluvial) et la configuration locale du littoral (bathymétrie et élévation côtières, ouvrages de protection, occupation du sol, réseaux hydrauliques, etc.). Outre les mesures de prévention et de préparation, d'importants travaux ont été consacrés à la prévision des conditions météo-marines et à l'établissement de systèmes d'alerte au cours des dernières décennies. Il existe actuellement une demande croissante de prévisions toujours plus précises et locales, prenant en compte l'incertitude liées à ces prévisions, ce qui nécessite de passer d'une approche de prévision déterministe à une approche de prévision probabiliste, au moyen de calcul haute performance. Cette demande s'accompagne également d'une demande croissante de moyens plus efficaces pour analyser et transmettre les informations relatives à ces prévisions, tout en tenant compte des incertitudes liées à ces données (Descamps et al. 2015, Wu et al. 2020, Lecacheux et al. 2020).

Le projet [ANR ORACLES](#) « Vers l'intégration des prévisions d'ensemble de submersions marines pour la prise de décision sous incertitude : un parcours à travers les défis de production, traduction et visualisation » ([LASTIG](#), [BRGM](#), [Météo-France](#), [Keyros](#)) vise à améliorer l'utilisation de prévisions probabilistes d'inondation marine pour la gestion des territoires côtiers. Il s'agit de concevoir de nouvelles méthodes de production et de géovisualisation de prévisions probabilistes spatialisées des inondations, pour mieux explorer la masse d'informations issues des prévisions ensemblistes, en permettant l'analyse et la cartographie des prévisions météo-marines et les scénarios de submersion associés.

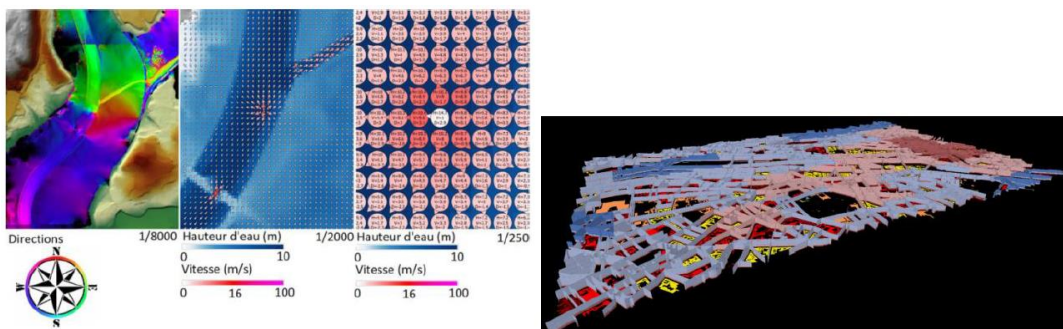


Figure 1: (a) Visualisation multi-échelle de la hauteur d'eau, vitesse et direction des flux hydrauliques (Perrin et al. 2019) ; (b) Co-visualisation de données de température simulées (plans verticaux) et urbaines (Gautier et al. 2020).

Sujet

Dans ce cadre, l'objectif de cette **thèse exploratoire et interdisciplinaire** est de proposer des méthodes de visualisation permettant aux experts scientifiques (prévisionnistes Météo-France, experts submersion Météo-France et BRGM, voire référents territoriaux) de **visualiser simultanément plusieurs scénarios de submersion côtière simulés, chacun associé à différentes conditions météo-marines, afin de soutenir l'exploration des événements d'inondation et leurs conditions de forçage associées**. Offrir cette possibilité aux utilisateurs experts permettrait d'affiner la compréhension des impacts possibles sur les zones concernées et ainsi améliorer leur diagnostic pour la Vigilance Vagues Submersion et l'alerte des services de l'État et des collectivités locales.

Cet objectif implique de co-visualiser différentes données complexes (conditions météo-marines et scénarios de submersion), au sein d'un même environnement de visualisation, et de proposer des possibilités d'interaction et d'exploration de ces données, selon plusieurs composantes temporelles et spatiales, à plusieurs échelles, et selon différents points de vue. La complexité intrinsèque de la dimension probabiliste des prévisions, et la forte interdépendance entre prévisions de conditions météo-marines et scénarios de submersion, nécessitent de se concentrer sur la transmission des informations d'incertitude, leur restitution dans l'environnement de visualisation, et le niveau de complexité visuelle potentielle induit.

La thèse visera à proposer des méthodes de (co-)visualisation de prévisions météo-océaniques et de scénarios de submersion côtières simulées, permettant :

- (1) d'analyser visuellement les relations entre les sorties des modèles de simulation et les données de forçage utilisées en entrée ;
- (2) d'explorer visuellement les différences et similarités entre scénarios de simulation, dans l'espace et dans le temps ;
- (3) de proposer différentes représentations des incertitudes en fonction du type de donnée et de l'échelle spatio-temporelle visualisée.

Tout au long du projet [ANR ORACLES](#), les besoins, intérêts et choix de visualisation seront discutés avec les experts scientifiques, de manière itérative, pouvant donner lieu à des expérimentations des solutions de visualisation proposées. Les solutions de visualisation proposées peuvent faire intervenir des représentations 2D ou 3D, utilisant des frameworks 2D/3D existants (OpenLayers/Leaflets/D3 ou ThreeJS), avec la possibilité de combiner ou de naviguer entre 2D et 3D. Des cartes interactives 2D peuvent être proposées pour une analyse visuelle des prévisions météo-marines à l'échelle départementale, tandis que des représentations 3D peuvent être utilisées pour visualiser des scénarios de submersion à l'échelle locale, tout en mettant en évidence le rôle du contexte géospatial.

La conception de cadres de visualisation permettant une meilleure analyse et interprétation des phénomènes spatio-temporels est un **enjeu de recherche de longue date en géovisualisation**. Des travaux effectués au LASTIG ont permis d'explorer plusieurs pistes pour la visualisation de données simulées relatives à des phénomènes physiques et météorologiques, à destination d'utilisateurs experts, pour l'amélioration de la compréhension des phénomènes étudiés et des modèles de simulation correspondants. Ces travaux ont notamment permis de proposer des visualisations multi-échelle de résultats de simulation de crues (Fig. 1-a) (Perrin et al. 2019), et des solutions de co-visualisation de données de température de l'air simulées et de données topographiques urbaines, à échelles et incertitudes variables, pour l'interprétation du climat urbain dans les trois dimensions de l'espace (Fig. 1-b) (Gautier et al. 2020). Permettre l'exploration visuelle d'un grand nombre de scénarios de prévisions possibles, à différentes échelles dans l'espace et dans le temps, reste un défi.

Dans le cadre du projet [ANR ORACLES](#), **deux zones d'étude sont retenues, la commune de Gâvres et le bassin d'Arcachon**, ainsi que différents types de scénarios d'inondation. Une base de données de scénarios de submersion sur la commune de Gâvres, associés à des conditions météo-marines différentes (séries temporelles de vagues, du niveau marin et de vent), a été constituée dans d'autres travaux associés (Idier et al., 2021) et contient des cartes de hauteurs d'eau maximale à terre associées à des scénarios de conditions météo-marines simulés à la pleine-mer.

Cette base constitue un premier ensemble de données sur lesquelles de premières co-visualisations 2D/3D de données météo-marines et de scénarios de submersion peuvent être proposées, pour l'exploration visuelle de l'ensemble des variables à l'œuvre dans les phénomènes de submersion côtière et de l'impact de leurs variations (emprise, hauteur d'eau). Au fur et à mesure de l'avancement du projet, d'autres données, faisant intervenir des prévisions ensemblistes de conditions météo-océaniques et de scénarios de submersion, fournies par les partenaires du projet [ANR ORACLES](#) pourront être intégrées.

Profil recherché

Master 2 (M2) ou équivalent en Sciences de l'Information Géographique, Informatique ou Géosciences, avec des compétences scientifiques solides en analyse et visualisation de données, ainsi que des compétences techniques en prototypage de méthodes associées.

Durée, rémunération, environnement de travail

Quand ? A partir du 1^{er} septembre 2023 pour une durée de trois ans.

Où ? Laboratoire LASTIG, équipe GEOVIS, IGN, 73 Avenue de Paris, Saint-Mandé (94).

Financement par l'Agence Nationale pour la Recherche ([ANR ORACLES](#)).

Contacts et candidature

Les candidat.e.s doivent envoyer un dossier de candidature indiquant CV, lettre de motivation, relevés de notes, éventuellement projets réalisés dans le cadre de la formation, contacts de deux référents (noms et adresses mail), aux personnes suivantes, **avant le 15 Mai 2023** :

[Sidonie Christophe](mailto:sidonie.christophe@ign.fr), LASTIG/GEOVIS : sidonie.christophe@ign.fr

[Jacques Gautier](mailto:Jacques.gautier@ign.fr), LASTIG/GEOVIS: Jacques.gautier@ign.fr

Sophie Lecacheux, BRGM, S.Lecacheux@brgm.fr.

Déborah Idier, BRGM, D.Idier@brgm.fr.

Références bibliographiques

Descamps, L., Labadie, C., Joly, A., Bazile, E., Arbogast, P., & Cébron, P. (2015). PEARP Météo-France short range ensemble prediction system. *Q.J.R. Met. Soc.*, 141: 1671-1685.

Gautier, J., Brédif, M., & Christophe, S. (2020, October). Co-Visualization of Air Temperature and Urban Data for Visual Exploration. In *IEEE VIS 2020*.

Idier D., Aurouet A., Bachoc F., Baills A., Betancourt J., Gamboa F., Klein T., López-Lopera A.F., Pedreros R., Rohmer J., Thibault A. (2021). A User-Oriented Local Coastal Flooding Early Warning System Using Metamodelling Techniques. *J. of Mar. Sc. & Eng.*, 9(11):1191. <https://doi.org/10.3390/jmse9111191>

Lecacheux, S., Rohmer, et al. (2020). Toward the probabilistic forecasting of cyclone-induced marine flooding by overtopping at Reunion Island aided by a time-varying random-forest classification approach. *Natural Hazards*, 1-25.

Perrin O., Christophe S., Jacquinod F., Payrastre O. (2020) Visual analysis of inconsistencies in hydraulic simulation data. *ISPRS Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*.

Wu, W., Emerton, R., Duan, Q., Wood, A. W., Wetterhall, F., & Robertson, D. E. (2020). Ensemble flood forecasting: Current status and future opportunities. *WIREs Water*. 2020; 7:e1432.