

Visualisation de scénarios de submersion côtière simulés (Sujet de thèse - Rentrée 2022/2023)

Mots clés : Géovisualisation 2D/3D/4D, Risques naturels, Submersion côtière, Visualisation de données météo-océaniques simulées, Visualisation de données spatio-temporelles, Visualisation de données 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 du 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).

L'objectif de l'[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](#)) est d'améliorer l'utilisation de prévisions probabilistes d'inondation marine pour la gestion des territoires côtiers. Il s'agit notamment d'améliorer les méthodes de production de prévisions probabilistes spatialisées des inondations, et proposer des cadres de géovisualisation innovants pour mieux explorer la masse d'informations issues des prévisions ensemblistes, en permettant l'analyse et la cartographie des prévisions d'inondation marine. La conception d'environnements de visualisation, permettant de représenter et d'explorer les prévisions météo-marines et les scénarios de submersion associés, répond à différentes demandes. Parmi elles, la possibilité donnée à des utilisateurs experts de visualiser les résultats des prévisions d'ensemble météorologiques et océaniques, et leur transcription dans des scénarios de submersion, afin d'affiner leur 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.

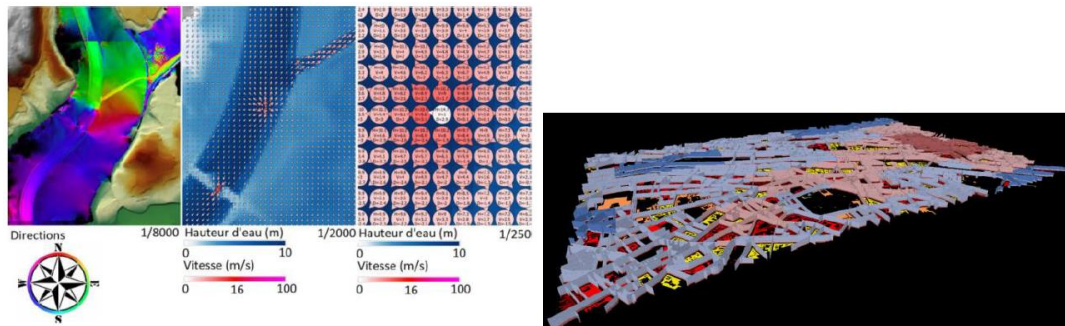


Figure 1: (a) Visualisation multi-échelle de la hauteur d'eau, vitesse et direction des flux hydrauliques (Perrin et al. 2019) ; (b) Co-visualisation de données de température simulées (plans verticaux) et urbaines (Gautier et al. 2020).

Sujet

Dans ce cadre, l'objectif de cette thèse est de proposer des visualisations 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. Ceci implique de permettre la co-visualisation de 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 permettant à l'utilisateur d'explorer 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 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, sur des thématiques similaires, 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. La thèse visera à proposer des méthodes de visualisation permettant la visualisation et la 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.

Cette thèse passera par la conception et la mise en œuvre de méthodes de géovisualisation à partir des besoins et attentes initiales identifiées auprès d'experts scientifiques dans le cadre de l'[ANR ORACLES](#). Au cours du projet, les solutions de visualisation seront présentées à ces experts scientifiques de manière itérative afin de préciser des choix de visualisation, ce qui pourra donner lieu à une expérimentation 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.

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 (voir par exemple Idier et al., 2021) et contient des cartes de hauteurs d'eau maximale à terre associées à des scénarios de conditions météo-marines et des simulations associées à des scénarios de conditions météo-marines à la pleine-mer.

Cette base constitue un premier ensemble de données sur lesquelles de premières 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 fournies par les partenaires du projet [ANR ORACLES](#) pourront être intégrées.

Profil recherché

Master 2 (M2) ou équivalent en Sciences de l'Information Géographique ou Informatique avec un goût pour la représentation graphique 2D-3D. Des compétences méthodologiques et techniques en Systèmes d'Information Géographique, visualisation de données, géovisualisation et/ou rendu graphique, comme en développement informatique sur le Web (Webmapping, ThreeJS, WebGL), sont attendues.

Durée, rémunération, environnement de travail

Quand ? A partir du 1^{er} septembre 2022 pour une durée de trois ans.

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

Financement par l'ANR ([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 en cours, contacts de deux référents (noms et adresses mail), aux personnes suivantes, **avant le 1^{er} Juillet 2022** :

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

[Jacques Gautier](#), 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., Bails 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.