

PROJET DE FIN D'ETUDES

INGENIEURS DE L'ECOLE NATIONALE DE LA METEOROLOGIE

FICHE DE PROPOSITION DE SUJET

Titre du sujet proposé : Saisonnalité des avalanches impactant les retenues hydroélectriques

Organisme ou service proposant le sujet : DESR/CNRM/CEN/MOD en collaboration avec EDF

Responsable principal du stage :

Responsable principal (le responsable principal est l'interlocuteur direct de l'Ecole. C'est à lui, en particulier, que seront adressés les courriers ultérieurs) :

NOM : Léo Viallon Galinier

Prénom : Léo

Téléphone : 04.76.63.79.03

Mél : leo.viallon@meteo.fr

Autres responsables : Anaïs FAIVRE (EDF), anais-a.favre@edf.fr – 07.63.20.36.25

Le stage présente-t-il un caractère de confidentialité ? :

Le stage peut-il être effectué à distance ?: Non

1) Description du sujet – livrables attendus

La législation en vigueur depuis 2018 demande, pour les grands barrages, d'étudier les risques induits par les avalanches. L'un des principaux risques analysés est celui de vague induite sur la retenue en cas d'avalanche, qui pourrait occasionner des surverses sur les ouvrages et mettre en danger des tiers présents à proximité du barrage ou à l'aval. Pour étudier ce risque, une période à risque d'avalanche est actuellement définie de façon systématique pour tous les massifs (entre le 15 novembre et le 15 mai, correspondant à la période des observations disponibles [1]). Cette période influence le calcul des avalanches exceptionnelles et des surverses (le niveau de retenue, variable au cours de l'année, est souvent plus haut en début de période à risque).

L'objectif du stage est d'affiner la saisonnalité du risque d'avalanche exceptionnelle en estimant la fréquence et la typologie des avalanches attendues sur les retenues hydroélectriques en s'appuyant sur les outils de modélisation du manteau neigeux et les observations disponibles.

Pour ce faire, le ou la stagiaire mettra en œuvre différentes méthodes d'estimation de l'activité avalancheuse à partir du modèle numérique de manteau neigeux Crocus développé au CEN [2]. Trois types de méthodes, de niveau de complexité différents seront mis en œuvre. Des méthodes simples seront d'abord utilisées comme la connaissance des hauteurs de neige et de la teneur en eau liquide du manteau neigeux. Ensuite, on utilisera des méthodes basées sur des seuils experts permettant d'estimer à la fois l'activité avalancheuse et la typologie des avalanches (neige récente, sous-couche fragile persistante en neige sèche et neige humide [3]) : le modèle MEPRA [4] et modèle utilisant les derniers

travaux de mécanique des matériaux appliqués à la stabilité du manteau neigeux [5]. Enfin le ou la stagiaire utilisera également des modèles basés sur des méthodes de machine learning permettant d'estimer l'activité avalancheuse par bande d'altitude et d'orientation et développés très récemment au centre d'études de la neige [6].

Les résultats de ces approches seront d'abord validés sur une période passée (1970 - aujourd'hui) et des zones identifiées (à définir) à l'aide d'observations de l'activité avalancheuse observée. Il s'agira de les comparer aux observations de l'Enquête Permanente sur les Avalanches (EPA) [7] recensant toutes les avalanches approchant des enjeux pré-identifiés sur l'ensemble des massifs français depuis le début du XXe siècle ou le réseau nivo-météorologique de Météo-France [8] (observations des stations de sport d'hiver, principalement).

Une fois sélectionnées les approches les plus pertinentes pour la question considérée, une étude sera menée sur la saisonnalité de l'aléa avalanche sur les années récentes, afin de répondre aux questions opérationnelles des concepteurs et exploitants de barrages hydroélectriques, dans les environs immédiats de retenues hydroélectriques.

Les résultats obtenus pendant ce stage permettront de fiabiliser les méthodes de vérification et mise en conformité des barrages hydroélectriques d'altitude existants et de dimensionnement des barrages futurs. Ces résultats participeront également à l'amélioration des outils mis à disposition des prévisionnistes en charge de la prévision opérationnelle du risque d'avalanche de Météo-France [9] (rédaction des bulletins d'estimation du risque d'avalanche ou BRA) et donc à la sécurité en zone de montagne en général.

[1] Programme institutionnels d'observation des avalanches soutenus par le ministère de l'environnement : www.avalanches.fr

[2] V. Vionnet et al., "The detailed snowpack scheme Crocus and its implementation in SURFEX v7.2," Geoscientific Model Development, vol. 5, no. 3, Art. no. 3, 2012, doi: [10.5194/gmd-5-773-2012](https://doi.org/10.5194/gmd-5-773-2012).

[3] Site internet de l'EAWS (European Avalanche Warning Services) : www.avalanches.org, notamment la page « Avalanche problems »

[4] G. Giraud, J.-P. Navarre, and C. Coléou, "Estimation du risque avalancheux dans le système expert MEPRa," CNRM - Centre national de recherches météorologiques, 2002. Available: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02638748>.

[5] B. Reuter et al., "Characterizing snow instability with avalanche problem types derived from snow cover simulations," Cold Regions Science and Technology, vol. 194, p. 103462, Feb. 2022, doi: [10.1016/j.coldregions.2021.103462](https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2021.103462).

[6] L. Viallon-Galinier, P. Hagenmuller, and N. Eckert, "Combining modelled snowpack stability with machine learning to predict avalanche activity," The Cryosphere, 2023, vol. 17, p.2245-2260 doi: [10.5194/tc-17-2245-2023](https://doi.org/10.5194/tc-17-2245-2023).

[7] E. Bourova et al., "A new web-based system to improve the monitoring of snow avalanche hazard in France," Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 16, no. 5, May 2016, doi: [10.5194/nhess-16-1205-2016](https://doi.org/10.5194/nhess-16-1205-2016).

[8] D. Giard et al., "L'approche participative au service de l'observation météorologique," La Météorologie, no. 100 Spécial Anniversaire 25 ans, Art. no. 100 Spécial Anniversaire 25 ans, 2018, doi: [10.4267/2042/65152](https://doi.org/10.4267/2042/65152).

[9] S. Morin et al., "Application of physical snowpack models in support of operational avalanche hazard forecasting: A status report on current implementations and prospects for the future," Cold Regions Science and Technology, vol. 170, p. 102910, Feb. 2020, doi: [10.1016/j.coldregions.2019.102910](https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2019.102910).

2) lieu du stage, durée ou période

Le ou la stagiaire sera hébergé au CEN afin de bénéficier des outils et de l'infrastructure de modélisation. Des échanges réguliers seront organisés avec EDF pour que le ou la stagiaire se familiarise avec les enjeux pour lesquels cette étude vise à apporter des réponses opérationnelles.

Durée : 6 mois.

Contexte

Le Centre d'Études de la Neige (CEN) est une unité spécialisée du Centre National de Recherches Météorologiques, qui mène des activités de recherche sur les propriétés et processus du manteau neigeux, les interactions neige-atmosphère, la météorologie et le climat de montagne, la télédétection et l'assimilation de ces observations, et la stabilité mécanique du manteau neigeux. Il est installé sur le campus universitaire de Grenoble dans un bâtiment hébergeant également les prévisionnistes de Météo-France pour les Alpes du Nord. Pour mener ces recherches, il s'appuie sur différents moyens d'observation de la neige et sur des outils de modélisation numérique du manteau neigeux et de ses interactions avec l'atmosphère. Il participe au transfert des résultats de ces recherches vers les services de Météo-France opérant dans ces champs d'activité. L'équipe Modélisation nivo-météorologique a pour objectif le développement des modèles et l'exploitation de chaînes de modélisation nivo-météorologique. Les applications visées incluent la prévision des risques liés à la neige (en particulier le risque d'avalanche) et le développement de services météorologiques et climatiques en montagne.

Le Centre d'Ingénierie Hydraulique (CIH) est l'ingénierie intégrée hydraulique du groupe EDF. Il conçoit et réalise des aménagements hydrauliques en France et à l'international, réhabilite et modernise les ouvrages existants et contribue à assurer la maintenance du parc hydraulique en exploitation. La sûreté et la performance d'exploitation des installations hydrauliques sont au cœur de ses missions. Le CIH regroupe environ 850 salariés répartis sur 6 sites en France : son siège à la Motte Servolex (à côté de Chambéry), Brive, Toulouse, Aix-en-Provence, Grenoble et Mulhouse. Le service Hydraulique des Ouvrages et Rivières du CIH, implanté à La Motte Servolex, vérifie et conçoit des ouvrages hydrauliques, optimise la conduite des aménagements en crue, réalise des expertises sur des phénomènes hydrauliques complexes et étudie la gestion sédimentaire des aménagements. Il peut s'appuyer sur des outils de modélisation numérique des écoulements (1D, 2D, 3D) et des modèles physiques hydrauliques. L'équipe est également en charge de démontrer la conformité réglementaire des barrages vis-à-vis des aléas naturels : comportement des barrages lors des crues exceptionnelles, étude des risques avalanche et glissement de terrain dans les retenues.