

Proposition de stage 6 mois niveau Master 2 Hydrologie/Climatologie – Montpellier

Développement d'un modèle générique distribué d'accumulation et de fonte de la neige

Problématique

L'apport nival dans les bassins de montagne constitue un enjeu considérable pour la gestion des ressources en eau dans de nombreuses régions dans le monde. La représentation des processus nivologiques (accumulation et ablation) qui contrôlent la dynamique des couverts neigeux est donc nécessaire pour disposer d'outils robustes permettant de simuler l'impact de probables changements climatiques sur les ressources en eau d'origine nivale dans ces régions.

De nombreuses études s'appuient sur des approches empiriques dites 'degrés-jour', dans lesquelles la température est considérée comme un proxy raisonnable de l'énergie disponible pour la fonte (Ohmura, 2001). Les taux de fonte sont estimés à partir de la température de l'air à travers une constante de proportionnalité connue sous le terme 'facteur de fonte'. Comme la température de l'air est généralement la donnée la plus facilement disponible, ces approches sont les plus utilisées pour estimer la fonte des neiges dans les études de modélisation hydrologique (e.g. Lopez-Moreno & Garcia-Ruiz, 2004 ; Boudhar et al., 2009 ; Valéry et al., 2014 ; Hublart et al., 2015 ; 2016) et de sensibilité aux variations climatiques (e.g. McCabe et al., 1999). Cependant la méthode degrés-jour présente de nombreuses limites dans la mesure où les facteurs de fonte doivent être ajustés pour chaque zone d'étude à travers le calage de paramètres pour reproduire de manière réaliste les dynamiques de neige et de débits sur les bassins. Par ailleurs, les facteurs de fonte sont soumis à une variabilité spatiale et temporelle considérable qui n'est pas prise en compte à travers un facteur constant (Hock, 2003). Sans remettre en cause le principe de parcimonie de ces approches (variables de forçages et nombre de paramètres limités), deux pistes d'amélioration sont envisagées : (i) une prise en compte des effets topographiques sur les facteurs de fonte ; (ii) une meilleure validation des simulations des dynamiques de la neige dans le temps et dans l'espace par le recours à des produits satellitaires.

Dans les régions montagneuses, la fonte de neige est fortement affectée par les effets topographiques, tels que la pente et l'orientation du terrain, ce qui peut entraîner une grande variabilité spatiale des taux de fonte. Certains auteurs ont donc suggéré de distribuer intégralement les modèles d'accumulation et de fonte neigeuse en calculant des facteurs de fonte variables pour chaque élément de grille d'un modèle numérique de terrain. Pourtant, jusqu'à présent, peu de recherches ont porté sur le développement de modèles distribués de neige pour prendre en compte la variabilité spatiale des facteurs de fonte dans les régions de montagne. Une raison est que la modélisation de la fonte par l'approche degrés-jour a été principalement motivée par l'objectif opérationnel de simulation des réponses hydrologiques à l'exutoire des bassins et non par la reproduction précise des dynamiques de couvertures enneigées. Ceci est d'autant plus vrai que, si des mesures de débits sont généralement disponibles pour contrôler les simulations hydrologiques à l'exutoire, les mesures sur la neige au sein des bassins sont généralement trop lacunaires pour permettre une validation rigoureuse des processus internes d'accumulation et de fonte des neiges. D'un autre côté, certaines observations satellitaires permettent aujourd'hui de compléter les données *in-situ* à travers une couverture spatiale systématique des zones d'étude, une répétitivité d'observations journalière et une profondeur temporelle de plusieurs années. C'est le cas du capteur MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*) embarqué sur les satellites Aqua (depuis 2002) et Terra (depuis 2000) de la NASA et qui propose des suivis du couvert neigeux au pas de temps journalier, avec une résolution de 500 m (Hall & Riggs, 2007). Comme tout capteur fonctionnant dans le domaine du visible, les produits MODIS ont de nombreuses lacunes causées par la présence de nuages. Il existe néanmoins des algorithmes d'interpolation temporelle et spatiale (e.g. Hall et al., 2010 ; Gascoin et al., 2015) pour combler les données d'enneigement. L'application de tels algorithmes permet de générer des produits sans lacunes sur la dynamique journalière des surfaces enneigées depuis 2000 notamment dans les zones semi arides ou méditerranéennes où la nébulosité est faible.

Sujet de stage

Le stage proposé vise à : (i) implémenter plusieurs modèles empiriques d'accumulation et de la fonte neigeuse prenant ou non en compte la variation spatiale des facteurs de fonte ; et (ii) tester leur capacité à reproduire

les dynamiques de couvertures neigeuses identifiées à partir de traitement de données MODIS au niveau de différents massifs montagneux (Andes, Haut-Atlas et Pyrénées).

Le plan d'expérience sera mis en place sur quatre bassins d'étude de 250 à 500 km² situés respectivement au Chili, au Maroc, en Espagne et en France. Ces bassins ont été choisis car ils sont représentatifs de conditions climatiques et topographiques variées et que des chroniques hydrométéorologiques pluriannuelles de qualité, ainsi que des observations journalières de couverts neigeux MODIS y ont été rassemblées. Sur chaque bassin, il s'agira de :

- Tester trois à quatre modèles degrés-jours inspirés de la littérature et leur sophistication pour prendre en compte les effets topographiques sur les facteurs de fonte ;
- Inter-comparer l'efficacité de ces modèles en mode distribué et semi-distribué (bandes d'altitudes) à différents pas de temps (e.g. décadaire et mensuel) pour reproduire les dynamiques interannuelles de couverts neigeux MODIS.

Profil recherché :

- Niveau de formation : Bac +5 Ingénieur/Master 2 en hydrologie/climatologie,
- Sensibilité aux approches de modélisation numérique,
- Bonne maîtrise de la programmation sous Matlab et des SIG (ArcGis, QGis),
- Lecture de l'anglais scientifique et technique,
- Compétences organisationnelles et rédactionnelles, autonomie.

Structure/Lieu : UMR (CNRS, IRD, UM1, UM2) HydroSciences Montpellier (www.hydrosociences.fr)

Durée du stage : 5 à 6 mois au premier semestre 2017 (dans l'idéal démarrage en janvier/février).

Conditions d'accueil du stagiaire : Indemnités environ 550 € bruts/mois.

Modalités de candidature :

Les candidatures (CV + lettre de motivation) sont à envoyer par e-mail à Denis Ruelland (denis.ruelland@um2.fr).

Bibliographie succincte

- Boudhar, A., Hanich, L., Boulet, G., Duchemin, B., Berjamy, B. & Chehbouni, A. (2009). Evaluation of the Snowmelt Runoff Model in the Moroccan High Atlas Mountains using two snow-cover estimates, *Hydrol. Sci. J.*, 54, 1094–1113.
- Gascoin, S., Hagolle, O., Huc, M., Jarlan, L., Dejoux, J-F., Szczypta, C., Marti, R. & Sánchez, R. (2015). A snow cover climatology for the Pyrenees from MODIS snow products. *Hydrol. & Earth Syst. Sci.*, 19, 2337–2351.
- Hall, D. & Riggs, G. (2007). Accuracy assessment of the MODIS snow products, *Hydrol. Process.*, 21, 1534–1547.
- Hall, D., Riggs, G., Foster, J. & Kumar, S. (2010). Development and evaluation of a cloud-gap-filled MODIS daily snow-cover product, *Remote Sens. Environ.*, 114, 493–503.
- Hock, R. (2003). Temperature index melt modelling in mountain areas, *J. Hydrol.*, 282, 104–115.
- Hublart, P., Ruelland, D., Dezetter, A. & Jourde, H. (2015). Reducing structural uncertainty in conceptual hydrological modeling in the semi-arid Andes. *Hydrol. & Earth Syst. Sci.*, 19, 2295–2314.
- Hublart, P., Ruelland, D., Garcia de Cortázar-Atauri, I., Gascoin, S., Lhermitte, S. & Ibacache, A. (2016). Reliability of lumped hydrological modelling in a semi-arid mountainous catchment facing water-use changes. *Hydrol. & Earth Syst. Sci.*, 20, 3691–3717.
- Lopez-Moreno, J. & Garcia-Ruiz, J. (2004). Influence of snow accumulation and snowmelt on streamflow in the central Spanish Pyrenees, *Hydrol. Sci. J.*, 49, 787–802, 2004.
- McCabe, G. J. & Wolock, D. M. (1999). General Circulation Model simulations of future snowpack in the Western United States. *Journal of the American Water Resources Association*, 35, 1473–1484.
- Ohmura, A. (2001). Physical Basis for the Temperature-Based Melt-Index Method, *J. Appl. Meteor.*, 40, 753–761.
- Valéry, A., Andréassian, V. & Perrin, C. (2014). As simple as possible but not simpler: What is useful in a temperature-based snow-accounting routine? Part 2 – Sensitivity analysis of the Cemaneige snow accounting routine on 380 catchments. *J. Hydrol.*, 517, 1176–1187.