

INFLUENCE DES ZONES KARSTIQUES SUR LES CRUES ET INTEGRATION AUX MODELES DE PREVISION HYDROLOGIQUES

Impact of karst areas on floods and integration to hydrological forecast models

Auteurs : LE MESNIL Martin^{1,2,3*}, CHARLIER Jean-Baptiste^{1,2}, MOUSSA Roger³

* *auteur correspondant*

¹BRGM, Univ. Montpellier, Montpellier, France

²G-eau, INRAE, CIRAD, IRD, AgroParisTech, Institut Agro, BRGM, Montpellier, France

³LISAH, Univ. Montpellier, INRAE, IRD, Institut Agro, Montpellier, France

Choix du thème/session : 2/ Prévision des crues et des inondations

Mots clefs : karst, crue, descripteur, modélisation

1. Contexte et objectifs

Dans un contexte d'accroissement des risques hydroclimatiques, la prévision des crues est une question majeure de nos sociétés. Pour cela, la modélisation hydrologique nécessite une bonne connaissance du fonctionnement des bassins versants lors des crues. Les bassins à composante karstique présentent des processus hydrologiques spécifiques, difficiles à quantifier et à prévoir. En effet, le karst favorise une forte infiltration qui limite le ruissellement de surface, les interactions eaux de surface/eaux souterraines (dont des échanges souterrains interbassins, appelés IGF : *Interbasin Groundwater Flow* [1]), ainsi qu'une forte hétérogénéité spatiale. Les modèles hydrologiques utilisés en prévision n'intègrent souvent pas ces processus. L'objectif de cette étude est d'analyser à l'échelle régionale, l'influence des zones karstiques sur les crues à une fine résolution spatiale et temporelle, et de déterminer comment ces influences peuvent être prises en compte dans les modélisations hydrologiques de prévision de crue. Elle s'inscrit dans le cadre plus large d'analyses spatialisées multi-approches de la réponse hydrologique des bassins karstiques [2], [3].

2. Méthodologie

La réponse hydrologique des bassins est analysée à l'aide de 15 descripteurs, calculés à l'échelle des tronçons de rivière [4]. Un tronçon est défini comme le linéaire d'un cours d'eau entre 2 stations pour lesquelles le débit est connu. Ces descripteurs sont calculés sur les 20 événements de crue les plus importants des données disponibles sur chaque tronçon. Les tronçons sont classés en 3 groupes selon leur géologie : karstique, non karstique, et mixte (> 10 % de karst). Les descripteurs sont ensuite analysés statistiquement, selon la présence de karst sur les tronçons de rivière étudiés et selon la saisonnalité. Ils sont de 3 types :

- Les descripteurs de bilan hydrologique renseignent sur la proportion des différents flux lors des crues (précipitations, écoulements surfaciques, souterrains). Ils sont basés sur le calcul de lames d'eau, exprimées comme la différence des flux entrants et sortants.
- Les descripteurs d'hydrogrammes renseignent sur la dynamique des crues et la propagation de l'onde de crue. Ils sont basés sur les valeurs du pic de crue, des temps caractéristiques, et la célérité de l'onde de crue.
- Les descripteurs des échanges latéraux renseignent sur la dynamique des gains et pertes à l'échelle du tronçon de rivière, et sur leur influence sur la variation du pic de crue. Ils sont basés sur la simulation des flux d'échanges latéraux grâce à l'approche inverse du modèle d'onde diffusante entre 2 stations [5].

L’analyse de ces descripteurs en fonction de la présence de karst renseigne sur l’influence des zones karstiques sur la réponse des bassins versants aux événements pluvieux intenses. Afin d’étudier comment cette influence peut être prise en compte dans les modélisations hydrologiques, une analyse de corrélation est réalisée entre certains descripteurs et la valeur prise par les paramètres calibrés des modèles hydrologiques conceptuels à réservoirs Gardénia dédié aux écoulements souterrains [6] et GR5H dédié aux écoulements surfaciques [7]. La variabilité saisonnière des paramètres est également analysée. Ces deux modèles ont 5 paramètres libres et sont utilisés au pas de temps horaire. Gardénia comporte 3 réservoirs, contre 2 pour GR5H.

3. Données et sites d’étude

La zone d’étude comporte 108 tronçons de rivière répartis sur les régions des Cévennes, du Jura et de la Normandie (Figure 1). Les données exploitées sont des chroniques horaires de débit en rivière de la Banque Hydro (<http://www.hydro.eaufrance.fr/>), de précipitations Comephore et Antilope de Météo France et d’évapotranspiration potentielle de Safran.

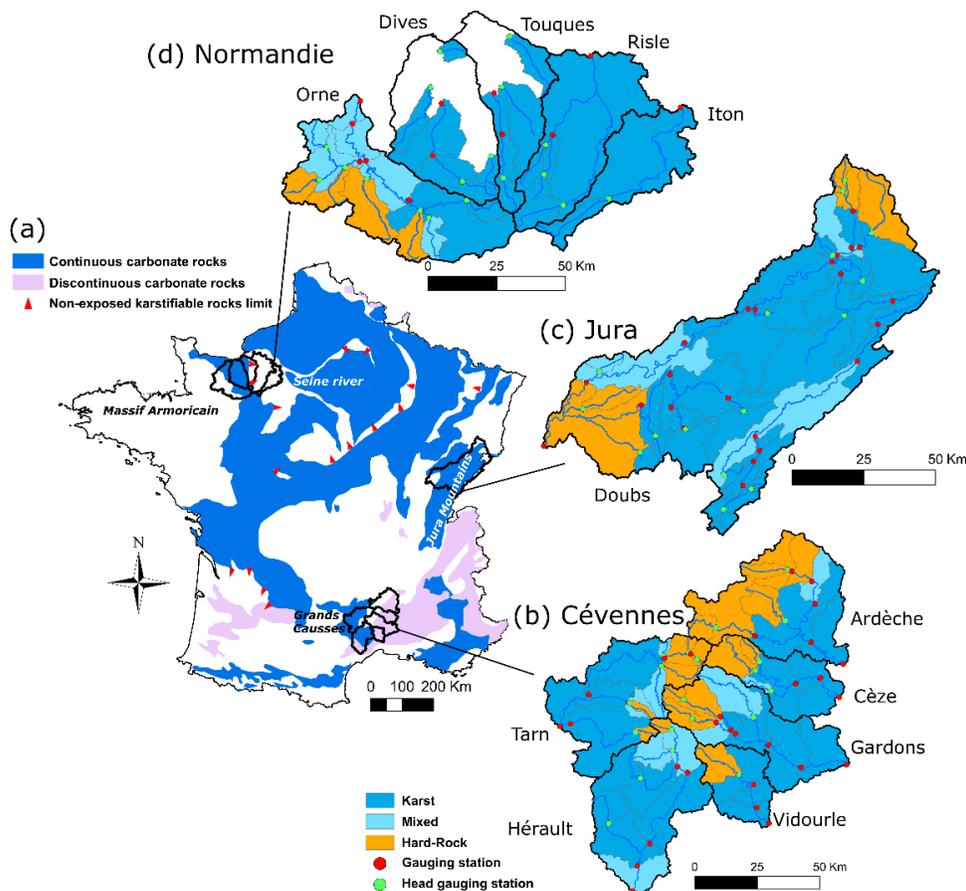


Figure 1 : a) Cartographie des aquifères carbonatés de la France [8] ; b,c,d) Emprises et type de géologie des bassins étudiés

4. Résultats

Malgré une forte variabilité liée à l’hétérogénéité spatiale des zones karstiques, les résultats, basés sur une approche statistique, montrent que la présence de karst favorise globalement (i) des pertes en rivière par infiltration, (ii) une augmentation des temps caractéristiques des événements de crue et une

atténuation des débits de pointe, et (iii) des échanges latéraux en export vers les bassins voisins. Ces effets sont les conséquences d’IGFs sortants, qui peuvent être significatifs à l’échelle de l’évènement de crue et représenter 50% du débit en rivière ou 20% des précipitations.

La saisonnalité contrôle également les processus hydrologiques à l’échelle de l’évènement de crue. La figure 2 montre ainsi que les flux d’échanges souterrains interbassin (IGF) sont globalement en export de septembre à mars, puis tendent vers zéro d’avril à août, voire s’orientent en import dans le cas du Jura. Ceci est probablement dû à l’état de saturation des aquifères karstiques qui varie au cours de l’année hydrologique.

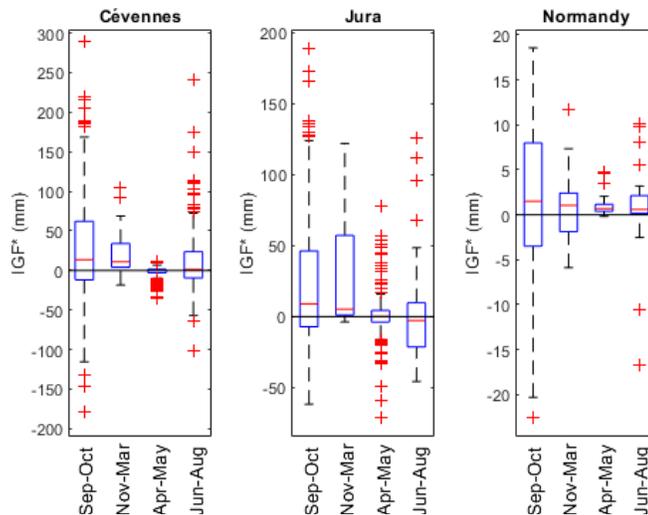


Figure 2 : lames d'eau des flux d'IGF lors des évènements de crue selon la saison

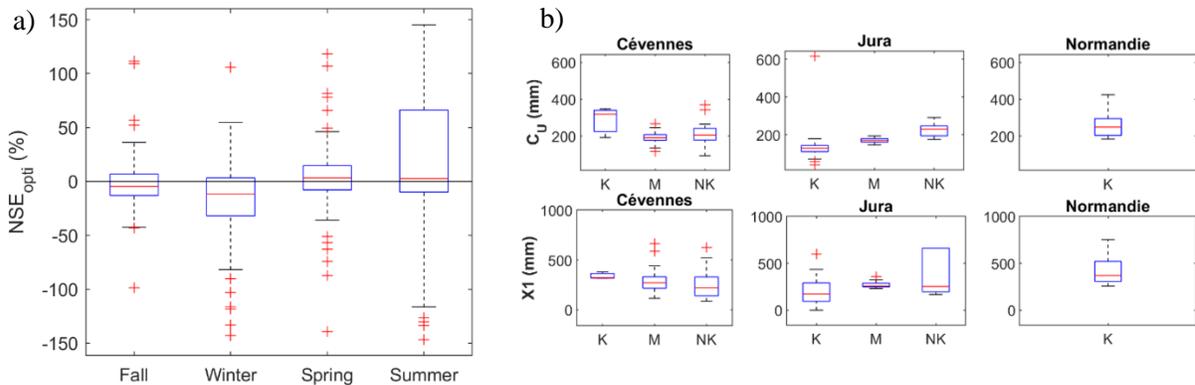


Figure 3: a) Ecart entre le meilleur NSE saisonnier et le NSE global, pour chacune des saisons hydrologiques (GR5H) ; b) variation saisonnière des paramètres optimaux C_U de Gardénia et $X1$ de GR5H pour les quatre saisons hydrologiques.

L’étude de la variabilité des descripteurs de crue selon la présence de karst montre que celle-ci influence la réponse hydrologique, avec des tendances notables, malgré une certaine variabilité. Un processus notoirement impacté par la présence de karst est l’intensité et la direction des IGFs. Or, les IGFs présentent un fort aspect saisonnier. Il semble donc important d’intégrer aux modèles hydrologiques la composante souterraine liée au contexte karstique et la saisonnalité des processus.

La calibration des paramètres du modèle GR5H selon la saison a montré qu’il est possible d’obtenir de meilleures simulations avec des jeux de paramètres spécifiques à la saisonnalité qu’avec des jeux de paramètres obtenus en calibrant sur l’ensemble des périodes disponibles. Ceci est notamment vérifié pour les saisons printemps et été. La figure 3a montre en effet une augmentation globale du critère de performance NSE sur ces saisons, lorsque des jeux de paramètres saisonniers sont utilisés.

De la même manière, le choix des paramètres optimaux peut être guidé par la présence de karst sur les bassins étudiés. En effet, certains indicateurs évènementiels qui décrivent la réponse hydrologique des bassins versants en crue sont corrélés aux paramètres optimisés des modèles Gardénia et GR5H. Or, ces indicateurs sont souvent influencés par la présence ou non de karst. Cela se traduit dans les résultats de modélisation, comme l’illustre la figure 3b qui montre une forte influence de la présence de karst sur la valeur des paramètres liés à la fonction de production des modèles.

5. Conclusion

Des descripteurs de la réponse hydrologique en crue ont été calculés sur les bassins versants de 108 tronçons de rivières. Leur analyse en fonction de la présence de karst montre que celle-ci est globalement associée à un laminage des crues causé par des pertes en rivière et par une augmentation des temps caractéristiques des crues. L’analyse des échanges latéraux – favorisés par la présence de karst – au long de l’année hydrologique montre qu’ils subissent une forte influence saisonnière. La prise en compte de la présence de karst et de la saisonnalité semble donc primordiale pour la prévision des crues en domaine karstique. L’étude de la variabilité des paramètres de modèles hydrologiques à réservoir en fonction de ces deux facteurs montre que des voies d’amélioration des modélisations prédictives sont possibles, en se basant sur des descripteurs de la réponse hydrologique des bassins. Cette analyse permet d’envisager des méthodes d’optimisation des prévisions hydrologiques en domaine karstique avec des modèles conceptuels, et ouvre la voie à la paramétrisation de modèles distribués, initialement non dimensionnés pour tenir compte des échanges surface-souterrain en zone karstique.

6. REFERENCES

- [1] Le Mesnil, M., Charlier, J.-B., Moussa, R., Caballero, Y., and Dörfliger, N., 2020. Interbasin groundwater flow: Characterization, role of karst areas, impact on annual water balance and flood processes, *J. Hydrol.*, 585, 124583
- [2] Le Mesnil, M. Signatures Hydrologiques des Bassins Karstiques. 2021. Thèse de doctorat. Montpellier SupAgro.
- [3] Le Mesnil, M., Charlier, J. B., Moussa, R., & Caballero, Y., 2022. Investigating flood processes in karst catchments by combining concentration-discharge relationship analysis and lateral flow simulation. *Journal of Hydrology*, 605, 127358.
- [4] Le Mesnil, M., Moussa, R., Charlier, J.-B., Caballero, Y., 2021. Impact of karst areas on runoff generation, lateral flow and interbasin groundwater flow at the storm-event timescale. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 25, 1259–1282.
- [5] Moussa, R., 1996. Analytical Hayami solution for the diffusive wave flood routing problem with lateral inflow. *Hydrological Processes* 10, 1209–1227.
- [6] Thiéry, D., 2014. Logiciel GARDÉNIA, version 8.2, Guide d’utilisation, Rapport final. BRGM/RP-62797-FR, BRGM, Orléans
- [7] Ficchi, A. 2017. “An Adaptive Hydrological Model for Multiple Time-Steps: Diagnostics and Improvements Based on Fluxes Consistency.” PhD thesis, Université Pierre et Marie Curie, Paris 6.



- [8] Chen, Z., Auler, A.S., Bakalowicz, M., Drew, D., Griger, F., Hartmann, J., Jiang, G., Moosdorf, N., Richts, A., Stevanovic, Z., Veni, G., Goldscheider, N., 2017. The World Karst Aquifer Mapping project: concept, mapping procedure and map of Europe. *Hydrogeology Journal* 25, 771–785