

## ” Simulation de crues rapides sur la région Cévennes – Vivarais avec le système couplé ISBA/TOPMODEL

*Stage d'approfondissement réalisé par Céline SORBET*

**Le Sud-est de la France est régulièrement concerné par des épisodes de pluies diluviennes engendrées par des systèmes convectifs quasi-stationnaires ou par des perturbations bloquées par l'orographie de la région conduisant alors à des cumuls très importants de précipitations. Les réponses hydrologiques à de tels phénomènes sont également de grande ampleur. Des crues violentes et rapides, souvent nommées crues-éclair, touchent alors la plupart des cours d'eau. Ces crues sont dévastatrices et même meurtrières comme par exemple celles de Vaison la Romaine en 1992, du Gard en 2002 et de l'Argens le 15 juin 2010. La modélisation de ces phénomènes, tant météorologique que hydrologique, n'est pas toujours aisée du fait de l'implication de processus à la fois complexes et de petite échelle. Des outils hydrométéorologiques ont été développés spécialement à cet effet et sont en évolution constante de façon à améliorer à la fois la connaissance et la compréhension de ces phénomènes mais aussi nos capacités à les anticiper.**

L'étude menée ici s'intéresse plus particulièrement à la région Cévennes-Vivarais, bien que ces phénomènes extrêmes affectent des régions alentours telles que la région varoise. Celle-ci bénéficie d'un réseau d'observation opérationnel très riche en lien avec un observatoire hydrométéorologique l'OHMCV, entièrement dédié à l'étude de ces phénomènes de grande ampleur.

Dans le cadre du projet européen PREVIEW(GMES/FP6), le schéma de surface des modèles météorologiques Méso-NH et AROME, ISBA, a été couplé avec le modèle hydrologique TOPMODEL pour simuler les débits des cours d'eau cévenols. Alors que le premier gère l'interface sol-atmosphère et réalise des bilans d'eau sur des colonnes de sols, le second régit les transferts latéraux de l'eau dans le sol grâce notamment à des données topographiques. Initialement, ce système couplé ISBA/TOPMODEL était implémenté sur les bassins versants cévenols des Gardons, de la Cèze et de l'Ardèche. Le stage avait donc pour projet d'améliorer la version du modèle sur ces derniers et de l'étendre au bassin versant du Vidourle.

L'utilisation d'un profil de conductivité hydraulique à saturation du sol exponentiellement décroissant avec la profondeur de sol dans TOPMODEL implique d'utiliser une formulation identique dans ISBA. Celui-ci fait intervenir deux paramètres : le facteur de décroissance  $f$  de l'exponentielle et la profondeur compactée  $dc$ . L'impact de chacun de ses paramètres sur les débits et bilan en eau d'ISBA a été mis en évidence par l'intermédiaire de simulations idéalisées. Celles-ci ont mis en évidence la nécessité de réaliser une « calibration » simultanée de ces deux paramètres préalablement à l'utilisation du système. Celle-ci a été menée en parallèle sur les 4 bassins versants cévenols. En effet, alors qu'elle avait déjà été effectuée sur les trois bassins

versants des Gardons, de la Cèze et de l'Ardèche, l'utilisation de nouvelles textures de sol dans cette version du modèle, plus précises et réalistes que les précédentes, nous a amené à reconsidérer cet étalonnage, les propriétés hydrodynamiques des sols dans le modèle ayant changées. Il nous a également fallu régler, préalablement à la sélection des paramètres, les différentes vitesses utilisées pour le routage des eaux ruisselées et drainées vers les différents exutoires. La « calibration » a été décomposée de manière classique en deux étapes successives : l'étalonnage simultané des deux paramètres et la validation. Tout d'abord, nous avons sélectionné sur chaque bassin versant le couple de paramètres ( $f$  ;  $dc$ ) permettant d'obtenir des débits simulés au plus proche des observations disponibles via l'OHM-CV ; l'aspect quantitatif de l'estimation du pic de crue par le modèle et la dynamique temporelle des simulations ont été particulièrement privilégiés. Ensuite, nous avons procédé à une validation des couples de paramètres retenus sur les différents bassins sur un échantillon de cas indépendant de celui utilisé lors de l'étape précédente. Le caractère extrême des épisodes étudiés réduit le nombre d'épisodes effectivement disponibles et en conséquence la taille des échantillons utilisés. Les paramètres sélectionnés ont, par ailleurs, pu être en partie reliés aux textures de sol des bassins versants étudiés.

Au terme de la « calibration », nous disposons d'un modèle suffisamment robuste et capable de simuler une réponse hydrologique cohérente sur un domaine allant du Vidourle à l'Ardèche. La figure 1 donne une illustration des simulations réalisées avec le système couplé ISBA/TOPMODEL étalonné sur le bassin versant des Gardons sur la période allant du 13 novembre au 6 décembre 2003.

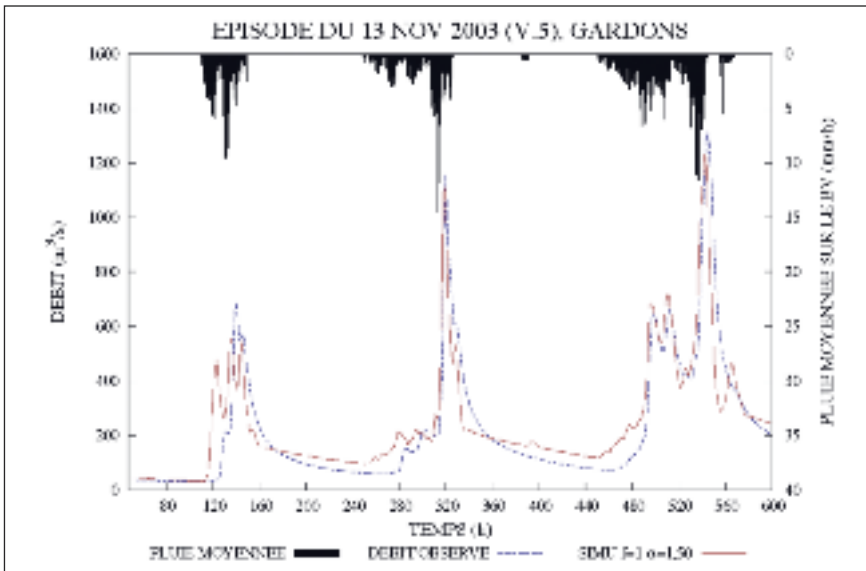
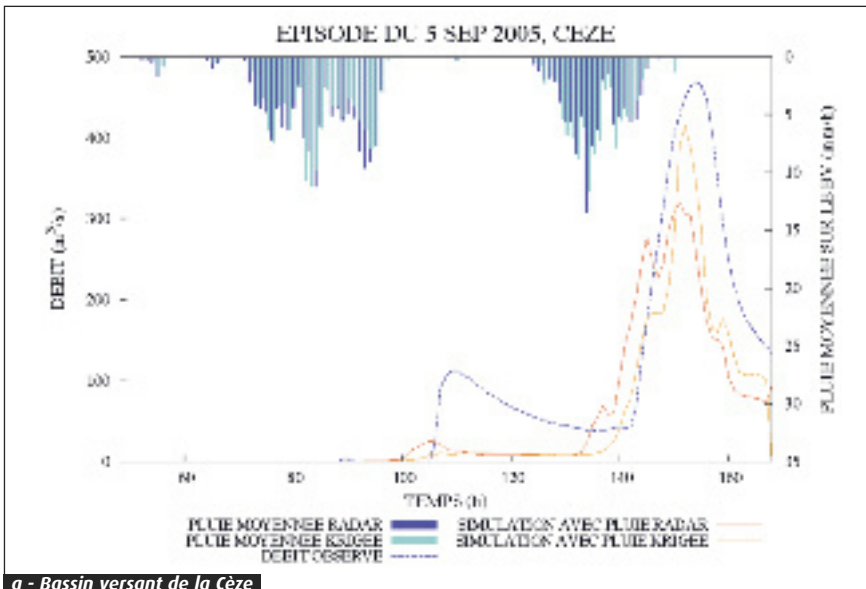


Figure 1 - Chroniques de débits observés (tiretés bleus) et simulés avec le couple  $(f; \alpha)$  optimal (brun) sur le bassin versant des Gardons pour l'épisode du 13 novembre au 6 décembre 2003. L'histogramme inversé donne la pluie horaire moyennée sur le bassin versant des Gardons.



a - Bassin versant de la Cèze

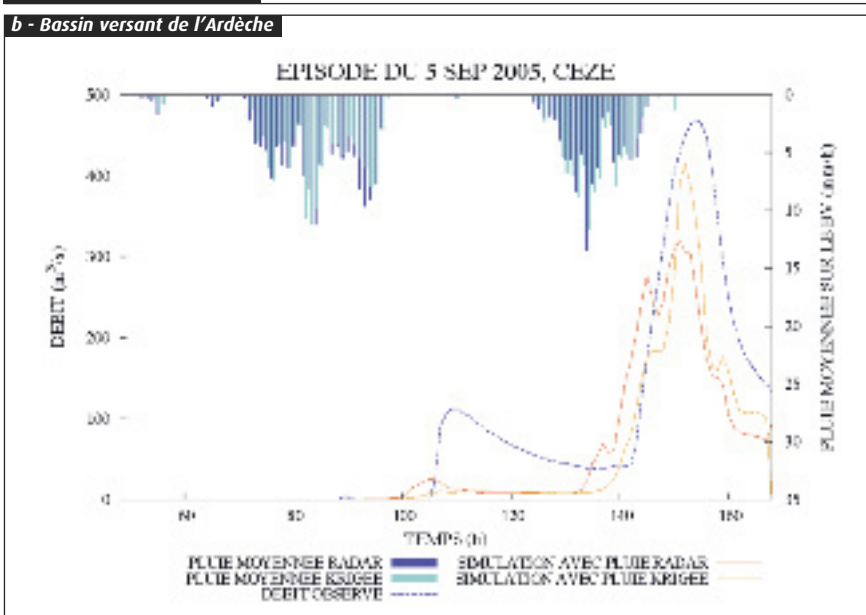


Figure 2 - Comparisons des débits pour différents forçages de pluies sur les bassins versant la Cèze (a) et de l'Ardèche (b). Sont présentées les chroniques de débits observés (tiretés bleus) et simulés avec les différents forçages : radar (trait rouge) et pluviomètre krigés (trait orange). Les histogrammes inversés, volontairement légèrement décalés, représentent la pluie horaire moyennée sur les bassins respectifs pour les deux types de forçages : radar (bleu foncé) et pluviomètres krigés (bleu clair).

Afin d'approfondir la compréhension des différents comportements du système couplé ISBA/TOPMODEL, une étude de sensibilité à l'initialisation du modèle a été conduite. Nous avons basé cette étude sur l'épisode de septembre 2005, épisode présentant une succession de deux événements hydrologiques remarquables associés à des forçages et états initiaux bien distincts.

Tout d'abord, nous avons voulu révéler la sensibilité du modèle au forçage de pluie imposé en entrée de celui-ci. Nous avons de ce fait comparé les pluies krigées fournies par l'OHM-CV, utilisées pour forcer le modèle dans l'étape de « calibration », à la lame d'eau PANTHERE du radar de Bollène. Ces deux forçages présentent des différences remarquables à la fois sur les cumuls de précipitations et sur la spatialisation des zones de fortes pluies. En effet, les cumuls sont généralement plus faibles pour le forçage par pluie radar entraînant en conséquence des estimations quantitatives des pics de crue plus faibles que celles fournies par les simulations forcées avec les pluies krigées, notamment sur le bassin versant de la Cèze (figure 2a).

Par ailleurs, la résolution spatiale du champ de précipitations pour le forçage radar, plus forte que celle du forçage krigé, fournit une localisation plus précise des zones de fortes pluies. De plus, le réseau de pluviomètres utilisé pour le krigage, certes dense, ne permet pas d'obtenir un forçage représentatif sur la totalité du domaine. De ce fait, sur le bassin versant de l'Ardèche pour cet épisode (figure 2b), la forte résolution du forçage radar permet la détection de zones associées à de fortes précipitations alors que le forçage krigé n'y indique qu'un faible cumul. Les réponses hydrologiques simulées par le modèle sont alors modifiées. En outre, certains temps de routage sont également modifiés du fait de la proximité, ou de l'éloignement, des zones de fortes pluies et du réseau hydrographique ou de l'exutoire, entraînant alors des décalages temporels entre les simulations.

Ensuite, nous nous sommes intéressés à un élément dont l'estimation ne doit pas être négligée pour espérer simuler des événements de crues rapides : le contenu en eau initial des sols. L'étude l'impact de ce type de conditions initiales entre le cadre du projet national Cévennes 2005 (EC2CO-CYTRIX 2009-2010).

Dans un premier temps, nous avons mis en évidence l'influence de l'humidité initiale des sols sur les processus de ruissellement implémentés dans ISBA dans un cadre idéalisé. Il apparaît que les seuils utilisés dans la modélisation numérique des processus hydrologiques génèrent une forte sensibilité des réponses du système à l'humidité initiale. Dans un second temps, nous avons réalisé diverses simulations avec ISBA/TOPMODEL pour mettre en évidence sa sensibilité à cet élément.

Afin de simuler convenablement les crues, le système nécessite une période de mise en équilibre avant le début de celles-ci. En effet, les conditions initiales de contenus en eau des sols introduites étant des sorties du modèle opérationnel SIM, une période d'initialisation est nécessaire pour accorder ces contenus en eau avec le profil de conductivité hydraulique à saturation utilisé dans ISBA/TOPMODEL.

La durée de cette initialisation a un impact sur les valeurs des pics de crue simulés notamment dans le cas d'épisodes humides. Plus elle est longue, meilleures sont les simulations.

Enfin, nous avons introduit dans le système couplé ISBA/TOPMODEL des conditions initiales d'humidité et de température des sols différentes de celles utilisées précédemment, issues de la version opérationnelle de la chaîne hydrométéorologique SIM. Les humidités et températures des sols sont extraites de simulations réalisées a posteriori avec trois différentes versions de SIM dans lesquelles les représentations de la végétation, notamment, diffèrent. Des simulations ont été réalisées avec chacune des conditions initiales puis comparées à celle effectuée avec les conditions initiales utilisées précédemment.

Les 4 conditions initiales étudiées présentent des contenus en eau de même structure, en cohérence avec les textures de sol, mais mettent en jeu des quantités d'eau variables. En effet, deux d'entre elles sont beaucoup plus humides que les deux autres — celles de SIM opérationnel faisant partie des conditions « sèches ». Ces différences marquées nous ont permis de mettre en relief plusieurs comportements du système couplé ISBA/TOPMODEL.

Tout d'abord, comme nous nous y attendions, plus les contenus en eau initiaux sont élevés, plus il y a d'eau dans le système, plus les quantités d'eau écoulées sont importantes et donc plus les débits simulés aux exutoires sont forts (figure 3).

D'autre part, ils ont une influence remarquable sur la dynamique temporelle des écoulements dans le bassin, du fait de leur impact sur le déclenchement des différents processus mis en œuvre dans les modèles (ruissellement et drainage notamment). Les phases de montée des eaux sont alors plus ou moins précoces suivant les quantités d'eau présentes au début de l'évènement.

Enfin, l'influence des contenus en eau sur le modèle n'est pas non plus indépendante des forçages extérieurs tels que la localisation des précipitations ni des structures des bassins versants étudiés. Nous avons effectivement pu

montrer sur le bassin versant de la Cèze que l'anticipation notable des crues par le modèle sur certains épisodes est liée à un effet combiné de la géolocalisation des pluies sur le bassin et de l'humidité des sols argileux constituant la totalité de la partie aval de celui-ci.

En conclusion, ce stage d'approfondissement a permis la mise en place d'une version du système couplé ISBA/TOPMODEL sur une grande partie de la région Cévennes-Vivarais, modélisant alors les débits sur 4 cours d'eau régulièrement soumis à des crues-éclair. Par ailleurs, il a permis de souligner différentes sources de sensibilité du système. Ces dernières devront être prise en compte dans le système de prévision d'ensemble hydrométéorologique des crues rapides actuellement en développement dans l'équipe d'accueil. Enfin, cette étude s'inscrit au sein de deux projets nationaux, PrediFlood (ANR Risk Nat, 2009-2012) et Cévennes 2005 (projet EC2CO-CYTRIX, 2009-2010), ainsi que dans le cadre du programme international et multidisciplinaire HYMEX. Ce dernier permettra entre autres d'obtenir des données observées de l'humidité des sols sur la région. Ces données permettront des avancées significatives dans la prévision des crues-éclair.

CÉLINE SORBET

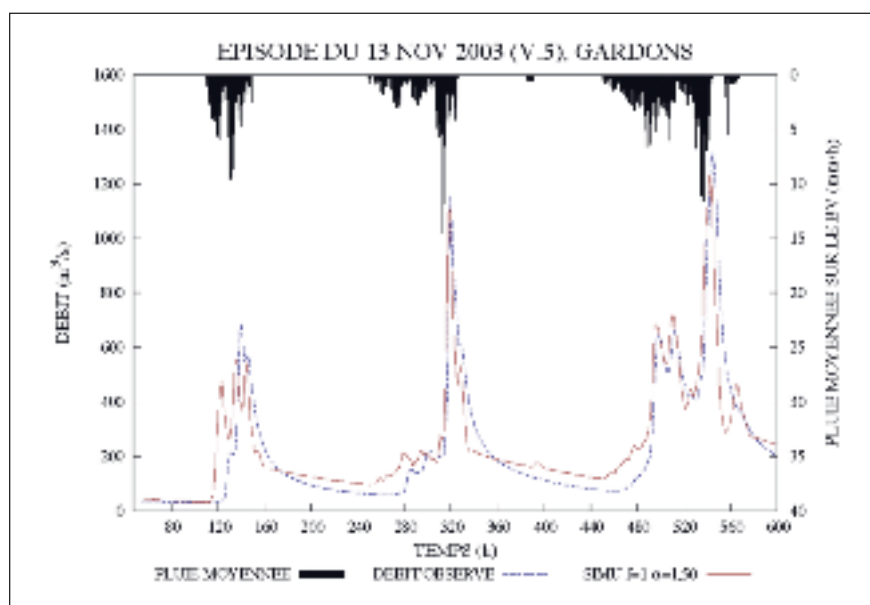


Figure 3 – Chroniques de débits simulés avec 4 conditions initiales différentes sur le bassin versant des Gardons à Boucoiran pour l'épisode V.6. L'histogramme inverse donne la pluie horaire moyennée sur ce bassin versant. L'humidité des sol suit l'utilisation des couleurs : le rouge pour les plus sèches et le bleu pour les plus humides.