

Les lames d'eau radar dans la modélisation pluie-débit pour la prévision des crues

L'exemple du bassin versant du Mas d'Azil

A. Mimouni ⁽¹⁾, H. Sauvageot ⁽¹⁾, P. Cornuau ⁽²⁾, J-J Vidal ⁽²⁾, P. Fourmigué ⁽³⁾, J. Lavabre ⁽³⁾
 (1) Université Paul Sabatier - Laboratoire d'Aérodynamique, (2) DIREN Midi-Pyrénées, (3) Cemagref Aix-en-Provence

Le Service d'Annonce de Crues (SAC) de la DIREN Midi-Pyrénées est chargé de la surveillance des cours d'eau du bassin Supérieur de la Garonne afin d'alerter du risque d'inondation. Ce service de veille hydrométéorologique se mute en service de prévision en temps de crise. Pour satisfaire à cette tâche, ce service doit avoir la capacité d'évaluer l'aléa et d'estimer son évolution dans le temps. Les mesures de pluies de son réseau de pluviographes télétransmis tous les quarts d'heure sont couplées à des modèles hydrologiques. Lors d'événements intenses, ce réseau de densité moyenne d'un pluviographe pour 350 km² est insuffisant. Des lacunes d'observation de pluie existent dans les zones du piémont et de la chaîne des Pyrénées qui constituent le sud du bassin Supérieur de la Garonne. Ces régions sont formées par de petits bassins versants (< 500 km²), peu ou pas instrumentés au sol, qui ont des temps de réponse rapides (< 3 h). Ce problème a incité la DIREN Midi-Pyrénées à utiliser de manière quantitative le radar météorologique comme capteur hydrologique. L'objectif de cette étude est d'établir et de valider la pertinence de l'emploi des lames d'eau radar pour les modèles hydrologiques de la DIREN Midi-Pyrénées .

Le bassin versant du Mas d'Azil (215 km²), situé dans le piémont pyrénéen ariègeois, est drainé par la rivière Arize. Son altitude varie entre 280 m et 1500 m. A 60 kilomètres au sud de Toulouse, équipé avec deux pluviographes distants de 10 kilomètres, il est correctement observé par le radar météorologique de Météo France (*figure 1*).

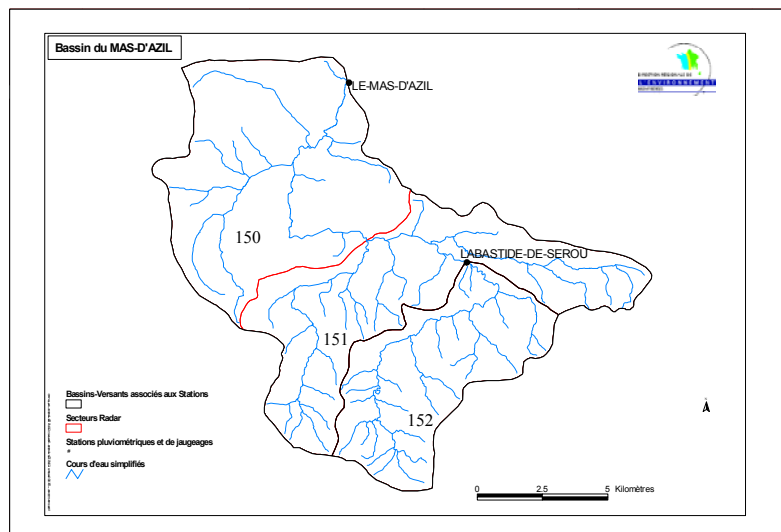


figure 1 - Bassin versant du Mas d'Azil avec ses stations de jaugeages (●) équipées de pluviographes au Mas d'Azil (MA) et à Labastide Sérou (LBS). Les nombres 150, 151 et 152 sont les indices des secteurs radar.

La lame d'eau moyenne pondérée (*LEMP*) est définie par la relation :

$$LEMP = \sum_i (CP_i \times LEH_i)$$

Pour un secteur radar d'indice *i*, *CP_i* représente le coefficient de pondération surfacique et *LEH_i*, la lame d'eau horaire calculée par Météo France (*table 1*).

	Aire (km ²)	C P
Le Mas d'Azil aval (150)	89.34	0.41
Le Mas d'Azil amont (151)	74.27	0.34
Labastide Sérou (152)	53.53	0.25
Bassin total Mas d'Azil	217.13	1.00

table 1 – Aire et coefficients de pondération (CP) des secteurs radar

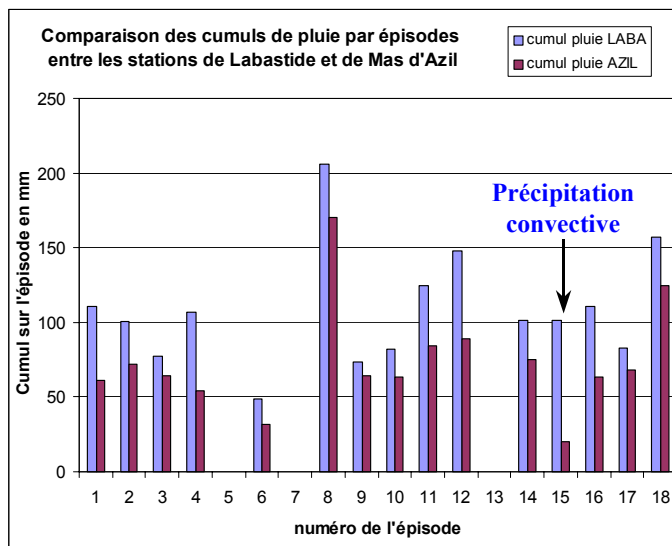


figure 2 – Cumuls aux pluviographes des 15 épisodes de crues.

Labastide Sérou (**LBS**), la relation **Mixte** ($= 1/3 MA + 2/3 LBS$) et les lames d'eau du Mas d'Azil aval (**150**), du Mas d'Azil amont (**151**), de Labastide Sérou (**152**) ainsi que la lame d'eau moyenne pondérée (**LEMP**).

Les cumuls aux pluviographes ainsi que pour toutes les lames d'eau radar sont homogènes pour l'épisode n° 17 (39 h). Au contraire, les cumuls des épisodes n° 15 (12 h) et n° 18 (33 h) ont des hauteurs de lames d'eau radar inférieures, respectivement de 30 mm et 40 mm, par rapport aux mesures pluviographiques. Les lames d'eau, secteurs radar ou LEMP, atténuent la variabilité dans l'espace de mesures ponctuelles d'un champ de pluie. Les précipitations enregistrées aux pluviographes pour l'épisode convectif d'août 1997 sont, de

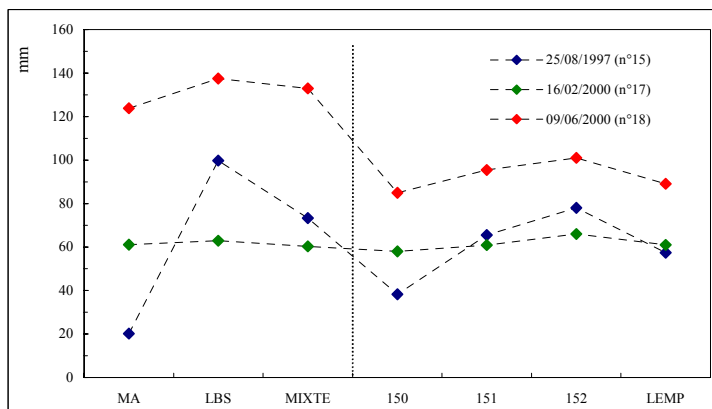


figure 3 – Cumuls (pluviographe, secteur radar) avant la pointe de crue.

Pour 15 événements de crue analysés au Mas d'Azil, les cumuls aux pluviographes sur toute la durée de crue sont toujours plus importants à Labastide Sérou (**figure 2**). La moyenne des rapports de ces cumuls (LBS/MA) est de **1,7**. Ce rapport atteint une valeur supérieure à **6** lors de l'épisode n° 15 (pluie convective).

La **figure 3** présente les cumuls de précipitations antérieures à la pointe de crue pour les crues d'août 1997 (n° 15), de février 2000 (n° 17) et de juin 2000 (n° 18). Les lames d'eau radar se comportent comme les mesures au sol (pluviographe) mais avec des valeurs moindres. Un trait vertical pointillé sépare les observations aux pluviographes au Mas d'Azil (**MA**), à

20 mm pour **MA**, 100 mm pour **LBS** dont une valeur horaire de 43 mm. Les secteurs radar à l'amont des pluviographes ont une lame d'eau de 38 mm pour le secteur 150 (**MA**) et 78 mm pour le secteur 152 (**LBS**). Pour ce type de précipitation locale, de forte intensité, brève (12 h), la mesure radar estime mieux la hauteur d'eau reçu par le bassin versant que l'échantillonnage de mesures ponctuelles au sol.

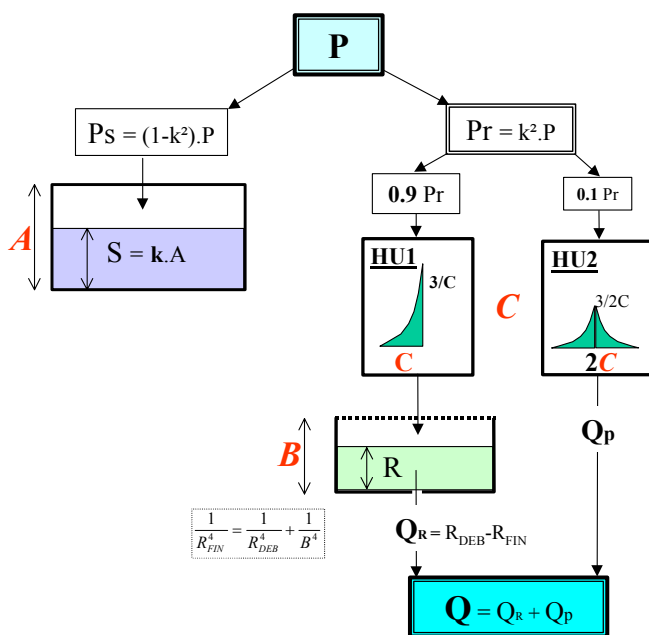


figure 4 – Modèle GR3H

Le modèle pluie-débit GR3H (**figure 4**) est de type conceptuel. Il se compose : d'une fonction de production de paramètre **A** (niveau maximal du "réservoir-sol") qui transforme la pluie brute (**P**) en eau stockée dans le réservoir sol (**Ps**) et en pluie nette (**Pr**) ; d'une fonction transfert de paramètres **B** (capacité maximale d'un réservoir de routage) et **C** (temps de montée d'un

hydrogramme unitaire) le niveau initial du réservoir **B** est déduit de la valeur du débit en début de modélisation. Le fonctionnement en mode événementiel de GR3H nécessite le calage du paramètre supplémentaire S_0/A , niveau initial du réservoir sol. Le critère d'optimisation de la modélisation est celui de *Nash*, exprimé en pourcentage.

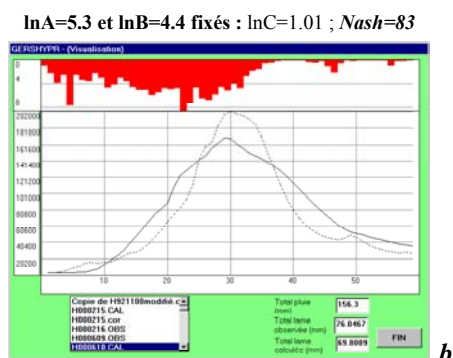
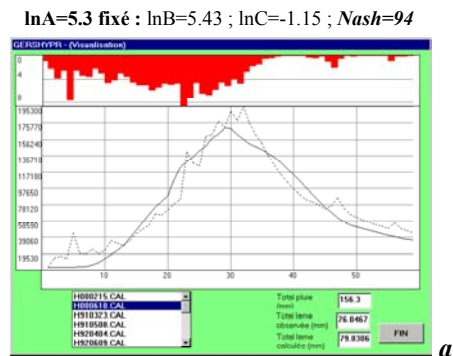


figure 5 – Perte en calage (cruée juin 2000).

La sensibilité du modèle est testé avec les pluies au pluviographe de Labastide pour les 17 événements de crue avec différents choix. Si les trois paramètres **A**, **B** et **C** sont libres, leur variance est importante. En figeant **A** à 200 mm (ln **A** = 5,3), les valeurs de **B** sont assez variables et **C** est incohérent pour deux crues. Si **A** et **B** sont fixés respectivement, à 200 mm et 80 mm (ln **B** = 4,4 ; sa valeur médiane avec **A** constant), alors les valeurs de **C** restent assez homogène malgré quelques altérations lors du calage. En figeant **B**, le coefficient de Nash diminue de un à deux points. Cependant, pour la crue de juin 2000 cet écart atteint onze points. Les hydrogrammes observés (trait plein) et simulés (tirets) de la *figure 5* montrent les différences lorsque **A** seul est fixé (a), puis **A** et **B** fixés (b). Avec **A** et **B** fixés, le débit calculé sous-estime la montée et la descente de crue, surestime la pointe de crue .

Pour les simulations avec la lame d'eau moyenne pondérée radar (*LEMP*) et les mesures aux pluviographes, les paramètres **A** et **B** sont figés aux valeurs citées ci-dessus. Les hydrogrammes observés et calculés pour les événements de novembre 1998 et juin 2000 avec les pluies à Labastide (*LBS*) et la *LEMP* sont indiqués *figure 6*.

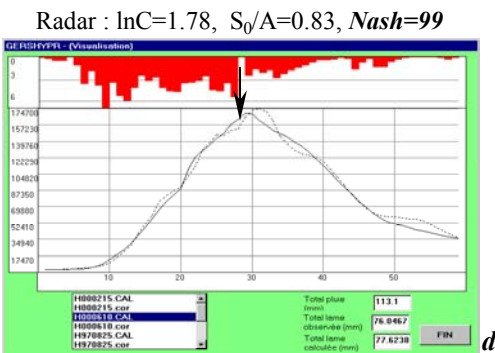
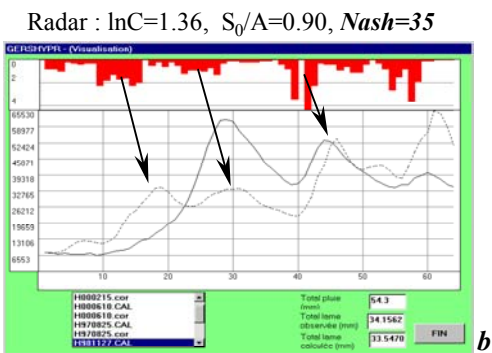
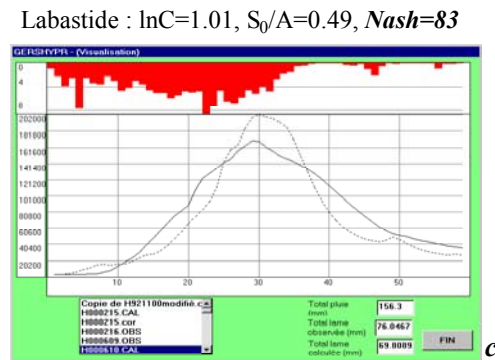
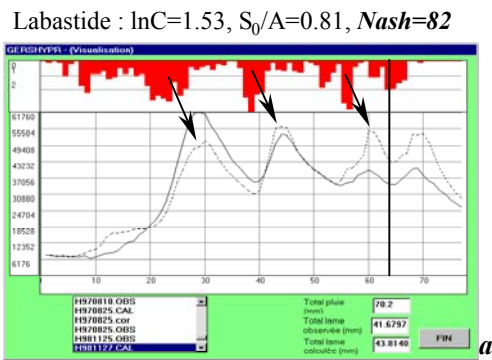


figure 6 – Hyétogrammes (rouge) et hydrogrammes, observés (trait plein) et calculés (trait pointillé), des événements de novembre 1998 (a, b) et juin 2000 (c, d) pour les pluies au sol à Labastide (*LBS*) et la *LEMP* (Radar).

Les cumuls de pluie *LBS* et *LEMP* sont du même ordre de grandeur pour la crue de novembre 1998. Cependant, leurs hydrogrammes calculés (*figure 6 a, b*) sont très différents. Le hyétogramme de la *LEMP* présente une répartition temporelle des hauteurs d'eau décalée par rapport à celles de Labastide. Entre l'intervalle de temps [10,20], les pluies à *LBS* sont moindres que la *LEMP* et inversement pour l'intervalle [20,30]. Ce décalage temporel des pluies de la *LEMP* est cause du très faible coefficient de Nash (35 %). Les flèches relient les paquets de pluie aux pics de crue. Lors de la crue de juin 2000, le cumul des précipitations de la *LEMP* est inférieur ($\cong 40$ mm) à celui de *LBS*. Pourtant une meilleure répartition temporelle des pluies, plus importante en début de crue, permet d'atteindre un coefficient de Nash de 99 % (*figure 6 c, d*).

L'ensemble des résultats de calculs sont résumés *table 2*. La prise en compte des mesures au pluviographe du Mas d'Azil (*MA*), pluie *Mixte*, n'améliore pas significativement la qualité des simulations. Le critère de Nash, en l'occurrence, reste systématiquement inférieur aux cas où seules sont considérées les pluies à Labastide. Par contre, les résultats des modélisations hydrologiques avec les lames d'eau radar (*LEMP*) atteignent des valeurs du coefficient de Nash très bonnes pour les crues d'août 1997 et de février 2000, fort dégradées pour la crue de novembre 1998 et excellente pour la crue de juin 2000.

Crue	LBS	Mixte	LEMP radar
août 1997 (n° 15)	Nash = 90	Nash = 86	Nash = 90
novembre 1998 (n° 16)	Nash = 82	Nash = 81	<u>Nash= 35</u>
février 2000 (n° 17)	Nash = 97	Nash = 96	Nash = 98
juin 2000 (n° 18)	Nash = 83	Nash = 82	<u>Nash= 99</u>

table 2 – Résultats des simulations en fonction du critère de Nash (en %).

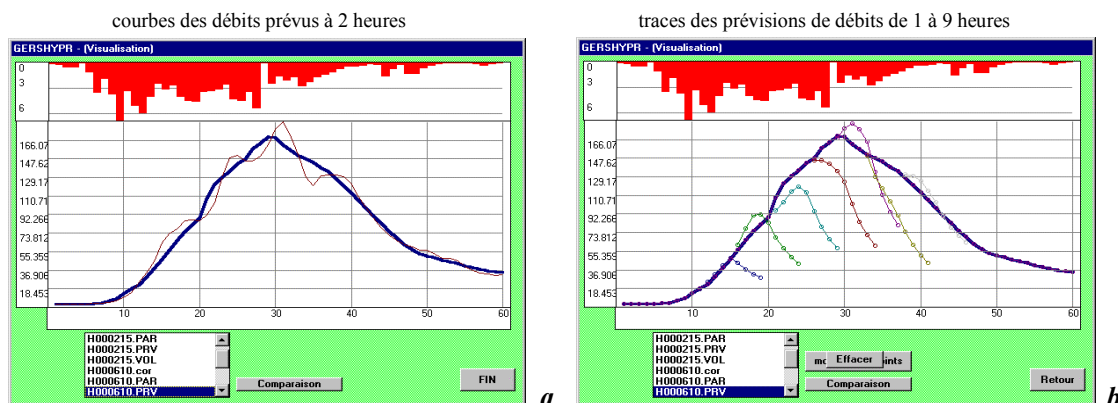


figure 7 – Hyétogrammes (rouge) et hydrogrammes observés (trait gras) et prévus à 2 h (*a*) et de 1h à 9h (*b*).

L'exemple de prévision avec GR3H présenté *figure 7* pour la crue de juin 2000 a été obtenu avec les lames d'eau radar, l'hypothèse forte de pluie future nulle, les paramètres $\ln A$ (= 5,3), $\ln B$ (= 4,4) et $\ln C$ (= 1,7) figés et en optimisant l'état initial $S_{0/A}$. L'hydrogramme prévu à 2 heures (*figure 7a*) est proche de l'hydrogramme observé. Au-delà de deux heures, l'hypothèse de pluie à venir nulle rend impossible une prévision. Le forçage disparaît, le modèle atteint le débit maximum avec les pluies précédentes puis entame la décrue (*figure 7b*).

Nous avons établi que pour quatre événements de crue survenus dans le bassin versant du Mas d'Azil, que la lame d'eau radar représente une *mesure quantitative* de la hauteur d'eau précipitée à l'amont de son exutoire. L'analyse montre que l'épisode de février 2000 (n° 17) se caractérise par une précipitation homogène et uniforme sur tout le bassin versant. La moyenne et l'écart type des pluies cumulées avant la pointe de crue sont respectivement de **61,5 mm** et **2,5 mm**, quel que soit le caractère de l'observation, ponctuelle (*MA*, *LBS*, *Mixte*) ou radar (150, 151, 152, *LEMP*).

Selon le critère de Nash, les résultats des débits calculés par le modèle GR3H avec la *LEMP* radar s'avèrent équivalents sinon meilleurs que ceux obtenus avec les mesures aux pluviographes.