

PARAMETRISATION DU FONCTIONNEMENT D'UN KARST DANS UN MODELE GLOBAL : EXEMPLE DE LA VENE (HERAULT, FRANCE)

Tournoud M. G., Dezetter A., Salles C.

Hydrosociences Montpellier

UMR 5569 UM2 – CNRS – IRD

Université de Montpellier 2

Maison des Sciences de l'Eau – 34095 MONTPELLIER cedex 5

⁽¹⁾ *tel +33 (0)467.14.42.72*

email tournoud@msem.univ-montp2.fr

⁽²⁾ *tel +33 (0)467.14.90.43*

email Alain.Dezetter@msem.univ-montp2.fr

⁽³⁾ *tel +33 (0)467.14.42.69*

email salles@msem.univ-montp2.fr

RESUME

La modélisation conceptuelle globale de la relation pluie débit, classiquement utilisée (dans les modèles de type GR par exemple) n'est pas directement adaptée à la prise en compte des apports liés à la présence d'un karst. Or de nombreux bassins versants méditerranéens comportent une composante karstique non négligeable, qui influence leur réponse hydrologique. C'est le cas de la Vène (Hérault, France), dont le bassin versant topographique d'une superficie de 70 km² est alimenté par deux sources karstiques. La modélisation hydrologique de ces bassins nécessite de compléter le modèle global classique par un module de fonctionnement du karst.

Cette démarche est présentée ici. Le modèle global de départ, inspiré du modèle GR3, est complété par différents "modules karst". Nous reportons ici une analyse des différentes paramétrisations des "modules karst" et leur application aux données observées sur la Vène, pour la période 1994-1999.

INTRODUCTION

De nombreuses méthodes peuvent être utilisées pour l'évaluation des ressources en eau d'un bassin versant. Parmi celles-ci, la modélisation globale de la relation pluie-débit est largement utilisée (SINGH V.P., 1995) car elle est robuste et permet de reconstituer de longues séries de débits à partir de chroniques de pluie, souvent beaucoup plus longues. Pour les bassins versants méditerranéens, on se heurte à des difficultés relatives à la présence de zones karstiques venant alimenter les cours d'eau à partir d'impluvium se situant en dehors du bassin versant superficiel. Les modèles globaux classiques ont des difficultés à simuler le fonctionnement d'un karst, en grande partie à cause des discontinuités dans les écoulements engendrées par ce karst.

L'objet de ce travail est de tester différentes paramétrisations du fonctionnement d'un karst dans un modèle conceptuel global. Le modèle retenu est basé sur le modèle GR3 (Edijatno et Michel, 1989) auquel on adjoint différents modules destinés à modéliser les flux d'origine karstique. Les différents modules sont testés sur le bassin versant de la Vène pour la période 1994-1999. Leur comportement est examiné à la lumière du critère de Nash (1970).

DESCRIPTION

La Vène prend sa source à une résurgence karstique dont l'alimentation est assurée par l'infiltration partielle des eaux dans les karsts du jurassique situés à l'extérieur du bassin versant topographique. Sur son trajet, une deuxième source karstique vient augmenter le débit de la Vène avant son rejet dans l'étang de Thau. Le bassin d'alimentation de la Vène comprend donc le bassin topographique, d'une superficie d'environ 70 km² ainsi qu'une partie des bassins voisins du Coulazou et du karst profond, soit une surface totale estimée de 140 km². Le bassin versant topographique de la Vène est constituée pour l'essentiel de terrains calcaires

karstiques datant du secondaire ou du tertiaire. Morphologiquement, c'est un bassin à pente plutôt forte, en moyenne de l'ordre de 2 %.

Le suivi pluviométrique sur le bassin est assuré par deux pluviographes à augets basculeurs mesurant en continu la pluie avec une précision de 0.2 mm. Le pluviographe de Montbazin est installé sur la partie haute au Nord du bassin. Le pluviographe de la station météorologique de Mèze à proximité du bassin de la Vène renseigne sur les pluies à proximité de l'exutoire. La station débitmétrique située à Poussan fournit un suivi hydrométrique continu du bassin de période quinze minutes. (figure 1a).

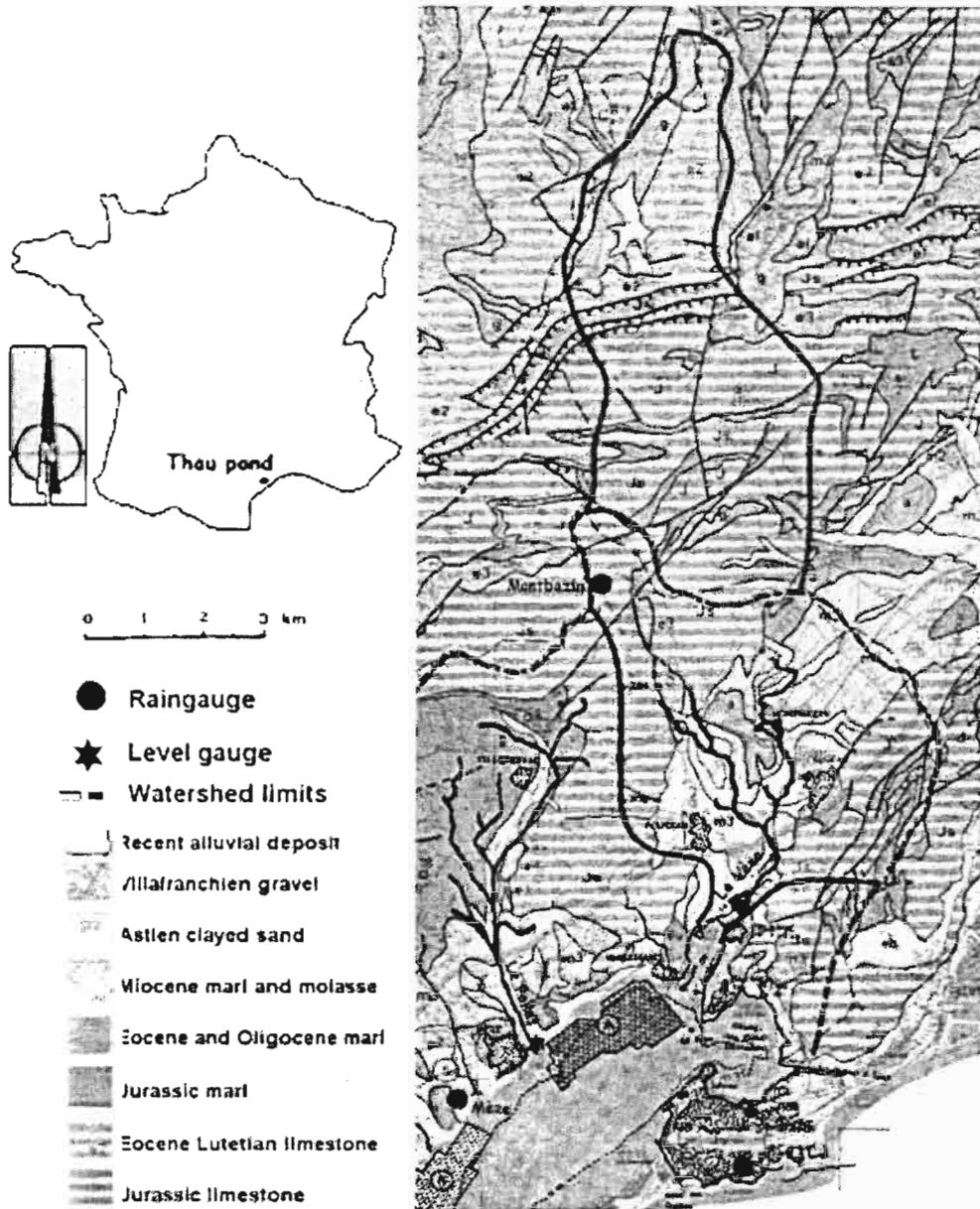


Figure 1a: Le bassin versant de la Vène.

Les données sont disponibles de septembre 1994 à août 1999. Du fait de l'interruption du fonctionnement des stations d'acquisition durant l'année 1996-97, on distingue deux périodes ; de septembre 1994 à juillet 1996 (P1) et d'août 1997 à septembre 1999 (P2), soit en tout quatre années hydrologiques. Les hyétogrammes et hydrogrammes sont reportés sur la figure 1b. Les deux périodes sont sensiblement différentes. La pluviométrie de la période P1 est 1.4 fois supérieure à celle observée pendant la période P2. Le rapport des lames écoulées (4.6) marque encore plus le contraste entre ces deux périodes. Le coefficient d'écoulement sur une base annuelle vaut 0.76 et 1.00, et 0.49 et 0.11 respectivement pour les années une et deux des deux périodes. Les fortes valeurs du coefficient d'écoulement pendant la période P1 mettent en évidence le surplus d'apport aux écoulements en provenance de la composante karstique. Au contraire le coefficient d'écoulement pendant P2 reste dans une gamme de valeurs couramment observées pour un bassin

versant naturel (Ven Te Chow, 1964). Durant cette période on peut considérer que les apports d'origine karstique sont probablement nuls ou quasi inexistant.

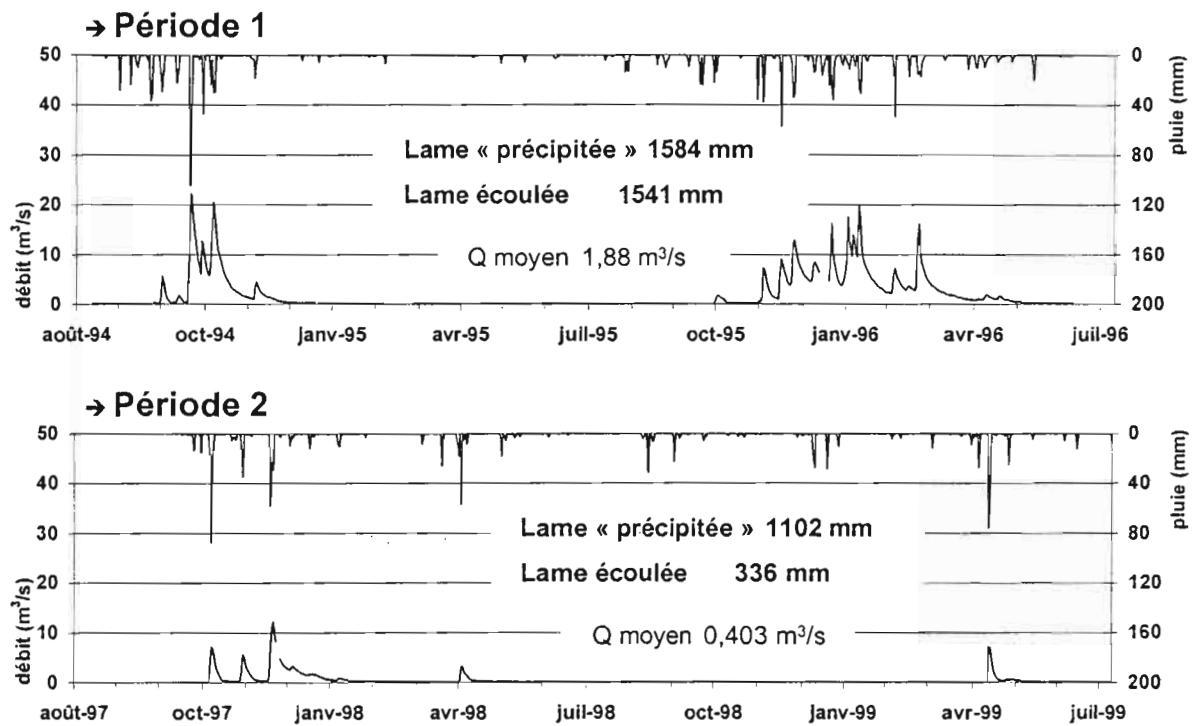


Fig. 1b: Les données hydrologiques

MODELISATION

Le modèle retenu est basé sur le modèle global conceptuel GR3 original de Edijatno et Michel (1989). Le modèle a été réécrit sous l'architecture du logiciel Vensim. La formulation simplifiée des flux proposée par Najem et al. (2000) et Bocquillon (2000, communication personnelle) a été utilisée. Elle fait abstraction de l'hydrogramme unitaire simulant le transfert vers le réservoir eau gravitaire.

La base du modèle S-R ainsi constitué est la suivante. Elle est composé de deux réservoirs (figure 2a) :

- i) un réservoir sol (S), qui assure la production, caractérisé par sa capacité maximum (S_{max})
- ii) un réservoir de routage (R) caractérisé par sa capacité moyenne (R_{moy}).

Fig. 2 : Schématisation des divers modèles testés

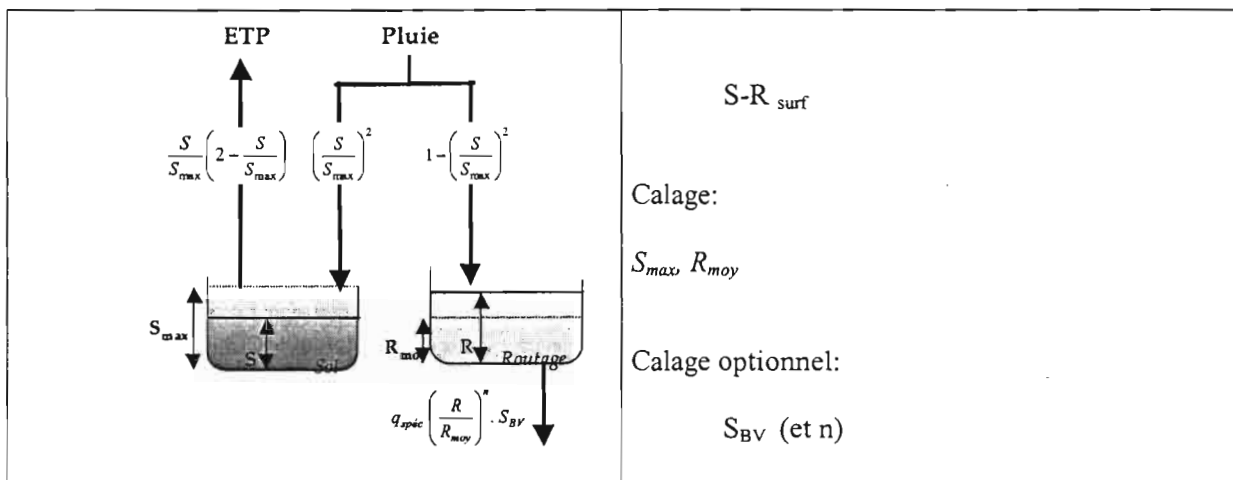


Fig. 2a : Le modèle S-R et la variante

Les fonctions et paramètres qui régissent le prélèvement occasionné par l'évaporation potentielle et la loi de vidange du réservoir R restent identiques à celles utilisées pour les modèles GR déjà éprouvés. Le nombre de paramètres de calage du modèle S-R ainsi constitué est réduit à deux : S_{max} et R_{moy} .

On a complété le modèle S-R par divers modules destinés à prendre en compte la nature du bassin de la Vène et à restituer les flux d'origine karstique. Une approche préliminaire considère que le fonctionnement du bassin d'alimentation du karst est similaire au bassin versant superficiel. L'introduction dans S-R d'un troisième paramètre de calage, la surface du bassin versant (S_{BV}) sensé représenter la surface totale (i.e. bassin versant superficiel plus bassin d'alimentation du karst) constitue la première adaptation testée (S-R_{surf}).

Par la suite deux orientations ont été suivies :

Une première approche dénommée S-RK conserve un modèle à deux réservoirs (figure 2b). Le réservoir sol est celui du modèle S-R. Le second réservoir (KR) est plus complexe. Il est représentatif des écoulements de surface et des écoulements d'origine karstique. Par rapport au réservoir R, une deuxième vidange qui entre en activité au delà du seuil (KR_{seuil}) est ajoutée. Cette fonction supplémentaire est destinée à traduire la mise en charge et l'écoulement des sources karstiques.

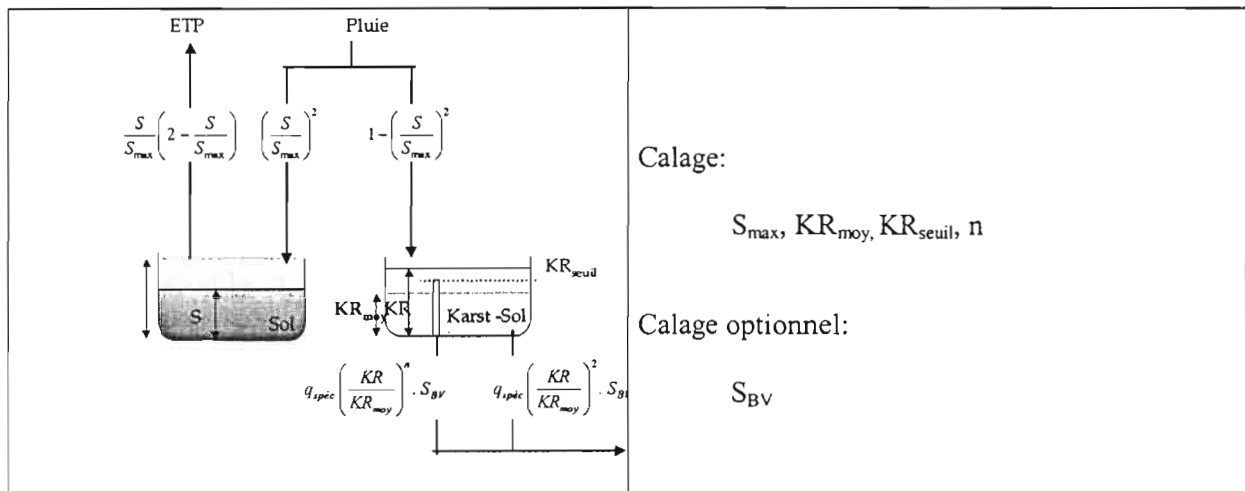


Fig. 2b : Le modèle S-RK

Dans une deuxième approche on ajoute au modèle S-R un réservoir dédié au bassin karstique. Cette modélisation à trois réservoirs sera identifiée par les initiales S-R-K. Dans un premier temps, on fait l'hypothèse que le réservoir K représentatif du karst fonctionne identiquement au réservoir R routage (figure 2c). Une variante (figure 2d) suppose une double vidange du réservoir K :

- i) une fuite qui n'est pas restituée au cours d'eau représentative des pertes par évaporation, pompage ou écoulement direct à la lagune.
- ii) pour un niveau supérieur à K_{seuil} , le trop-plein alimente le débit du cours d'eau.

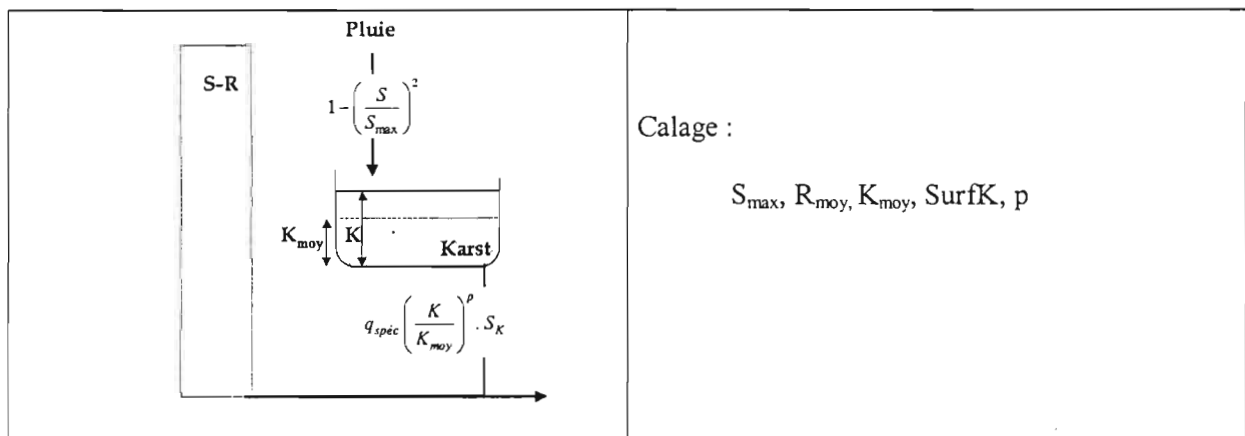


Figure 2c: Le modèle S-R-K

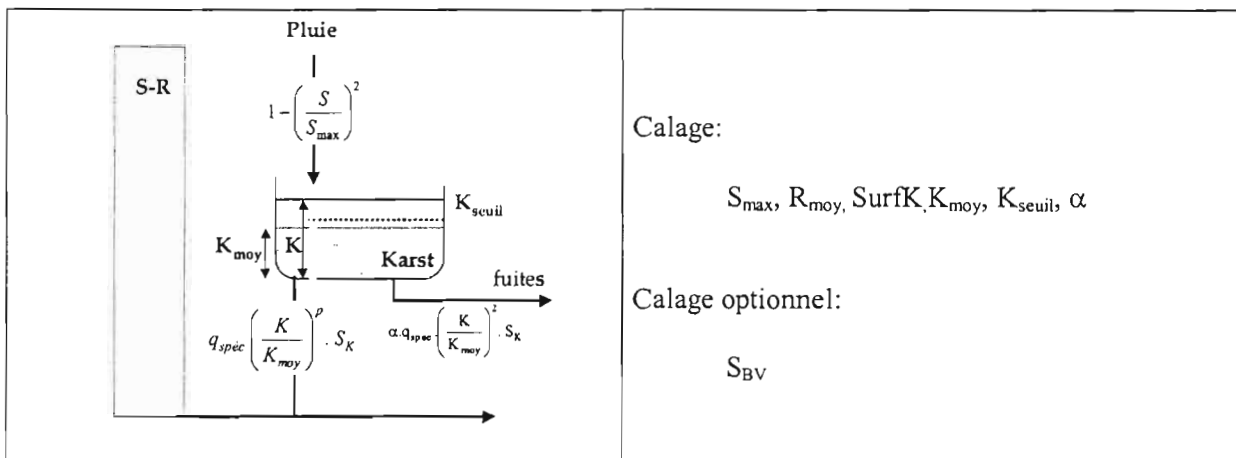


Figure 2d: Le modèle S-R-K avec fuites

Deux fonctions pour l'expression des fuites ont été testées : d'une part un débit de fuite dépendant du niveau de remplissage du réservoir karst et d'autre part un débit de fuite proportionnel au débit du bassin karstique.

Ces deux approches ont été menées avec des niveaux de complexité croissante en fonction du nombre de paramètres de calage des divers modèles. Un récapitulatif des diverses options testées et des paramètres de calage retenus est porté en regard des schémas des modèles. Le nombre de paramètres de calage évolue depuis 2 pour le modèle S-R basique à 6 pour le modèle S-R-K avec fuites.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

Les différentes formulations des modèles décrits précédemment ont été testées pour les deux échantillons pluie-débit disponibles. Le critère de Nash (Nash and Suttcliffe, 1970) est retenu pour caractériser l'adéquation du modèle.

Le pas de temps adopté pour la modélisation est issu des valeurs du temps de concentration du bassin estimées à partir des diverses formulations disponibles dans la littérature (Chow, 1977) et des résultats du test de tous les modèles pour des pas de temps variant de 3 à 24 heures. En utilisant un pas de temps de 12 heures, le temps de concentration du bassin, estimé à environ 6 heures) est respecté et on obtient des jeux de paramètres correspondant aux meilleures valeurs du critère de qualité de l'ajustement des modèles.

L'état initial du modèle est un problème récurrent aux modèles à réservoir. Les tests réalisés sur le modèle de base S-R pour les deux périodes et sur une série fictive de plusieurs périodes consécutives identiques démontrent qu'en fin d'année hydrologique les réservoirs avoisinent un état égal ou proche de zéro. En conséquence, les valeurs initiales des réservoirs S et R ont été fixées égales à zéro indépendamment de la période considérée. Le test d'initialisation des réservoirs mixtes karst-bassin superficiel ou des réservoirs dédiés au karst est impossible compte tenu de la courte durée des périodes de mesures et de leurs caractéristiques contrastées.

A l'issue de ces phases préparatoires, les paramètres conduisant à un optimum entre les débits observés et les débits modélisés sont calés sur chacune des deux périodes d'observations disponibles (tableau 1).

TABLEAU 1 : Récapitulatif des simulations réalisées

	nombre paramètres	Sol	Routage			Karst					critères de Nash	
		S_{max}	R_{moy}	n	S_{BV}	K_{moy}	SurfK	p	K_{seuil}	α	période 1	période 2
						KR_{moy}			KR_{seuil}			
S-R	2	calé	calé	2	70						0,685	0,867
S-R _{surf}	3	calé	calé	2	calé						0,810	0,895
S-R _{surf} (bis)	4	calé	calé	calé	calé						0,822	0,905
S-RK	4	calé				calé	70	calé	calé		0,712	0,869
S-RK (bis)	5	calé			calé	calé		calé	calé		0,822	0,902
S-R-K	5	calé	calé	2	70	calé	calé	calé			0,691	0,877
S-R-K _{fuites}	6	calé	calé	2	70	calé	calé	1.3	calé	calé	0,856	0,937

Quelque soit la période considérée, le modèle SR_{surf} où la surface du réservoir R est un paramètre du modèle donne des résultats très satisfaisants (Nash > 0.81). En quelque sorte cette "ré-évaluation" de la surface qui est équivalente à augmenter artificiellement la pluie nette, semble être suffisante pour s'approcher au mieux du fonctionnement du karst au vu des critères retenus et des échantillons pluie débit disponibles. Pour les modèles plus sophistiqués, on note une différence de comportement des modèles à deux réservoirs (S et RK) selon la période de mesure concernée. Pour la période P1, les modèles considérant un réservoir mixte représentatif du bassin versant superficiel et du bassin karstique ne permettent pas d'aboutir à un optimum. Par contre des résultats positifs sont obtenus avec les données de la deuxième période. Pour parvenir à un calage de paramètres qui restent dans des ordres de grandeur réalistes et qui soit satisfaisant sur l'ensemble des deux périodes, ce sont les modèles à trois réservoirs avec un fuite proportionnelle à la surface associée au réservoir K qui donnent des résultats adéquats. Cependant, c'est toujours sur la période P1, période pendant laquelle la contribution du karst a été la plus significative, que les résultats du calage sont le moins favorables.

Seuls, le modèle S-R_{surf} (3 paramètres) et le modèle S-R-K_{fuites} (6 paramètres) qui se sont montrés les plus performants lors du calage ont été retenus pour la validation. La phase de validation consiste à appliquer le modèle sur la période 2 avec les paramètres calés sur la période 1 et réciproquement. Ce test avec le modèle S-R_{surf} conduit à des résultats comparables quelque soit la période choisie en référence (figure 3).

Avec le modèle à trois réservoirs le résultat est plus contrasté (figure 4). Appliquer le modèle avec les paramètres calés sur l'échantillon P1 à l'échantillon P2 conduit à une sur-estimation notable des débits. Le critère de Nash (0.49) rend compte de l'incapacité du modèle. Par contre, les paramètres calés sur P2 appliqués à P1 donnent des résultats (Nash = 0.80) presque aussi satisfaisant que les valeurs du critère observées en calage.

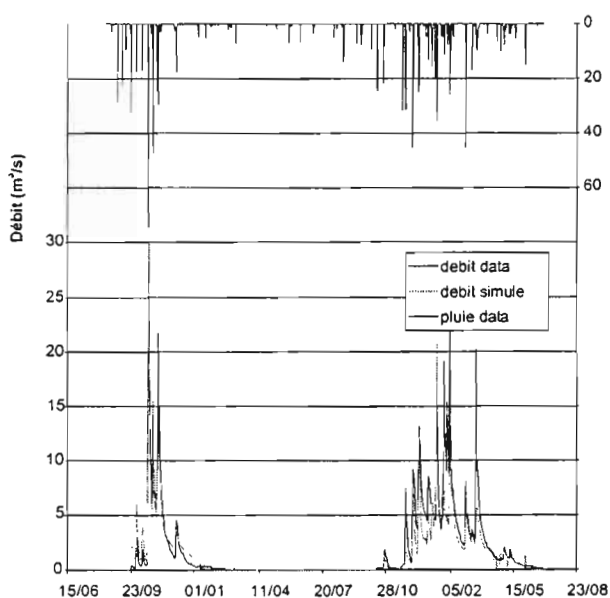
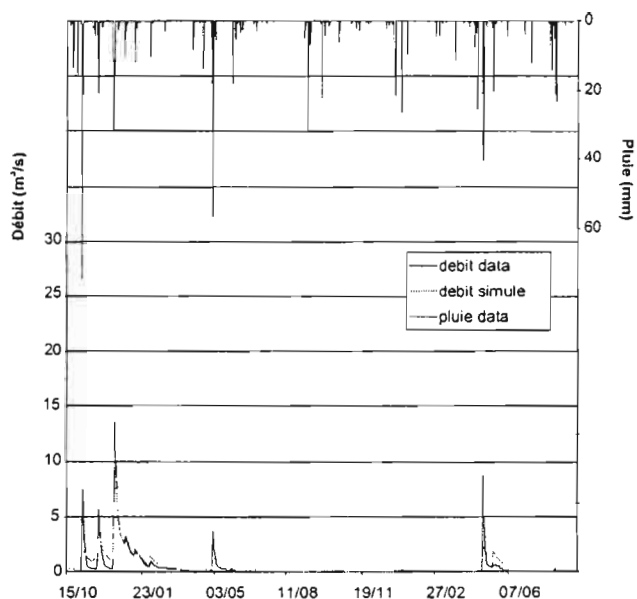


Fig. 3 : Validation modèle SR_{surf}
 a) calage P2, validation P1 : Nash = 0.716



b) calage P1, validation P2 : Nash = 0.773

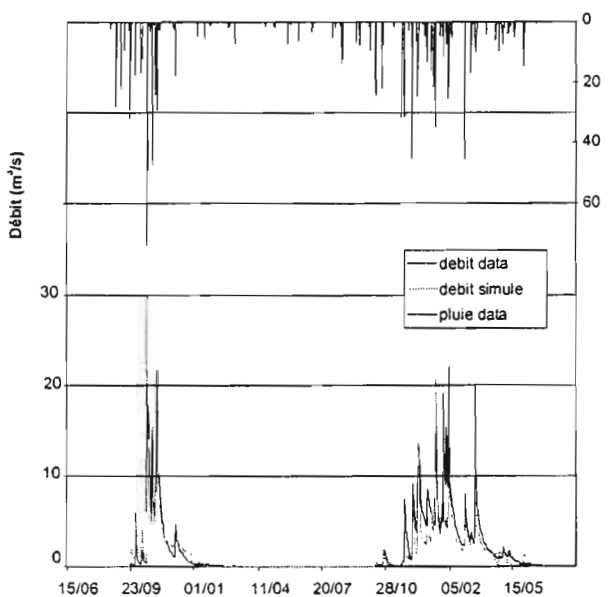
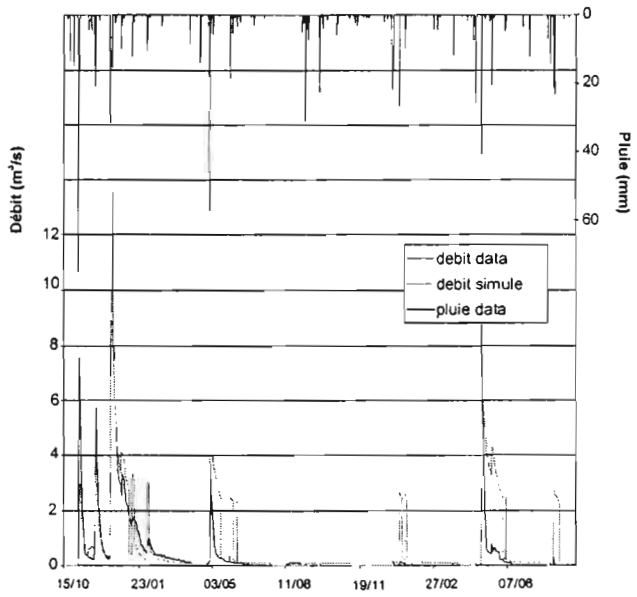


Fig. 4 : Validation du modèle $S-R-K_{fuites}$
 a) calage P2, validation P1 : Nash = 0.798



b) calage P1, validation P2 : Nash = 0.491

5. CONCLUSION

Les différentes paramétrisations testées montrent qu'il est possible d'adapter l'architecture d'un modèle global afin de simuler le fonctionnement de bassins versants à composante karstique. Parmi les différentes paramétrisations testées, deux semblent plus adaptées à reproduire les écoulements dans un bassin karstique : le modèle incluant trois réservoirs (S-R-K) et la version simplifiée (S- R_{surf}). En phase de calage les deux

modélisations S-R-K a six paramètres ou S-R_{surf} à 3 paramètres sont tous les deux satisfaisants. Cependant, avec le jeu de données disponibles et en considérant les deux phases, calage et validation, le modèle à trois paramètres est le plus robuste.

La faible longueur des séries de données ne permet pas de pousser les tests beaucoup plus loin. Des informations précises sur le fonctionnement du karst seraient également nécessaires pour affiner sa prise en compte.

REMERCIEMENTS

Cette étude a pu être réalisée grâce à la contribution de C. Rodier.

BIBLIOGRAPHIE

- EDIJATNO N., MICHEL C. 1989. Un modèle pluie-débit journalier à trois paramètres, La Houille Blanche, 2, 113-121.
- NAJEM W. , HREICHE A., BOCQUILLON C., (2000) Modélisation conceptuelle du transfert pluie débit du bassin de Nahr-Beyrouth. 14^{ème} Réunion Scientifique, CNRS-LIBAN
- NAJEM W., BOCQUILLON C. et JABBOUR H, 2001. Analyse du fonctionnement hydrologique d'un bassin versant Libanais par une modélisation conceptuelle adaptée au climat méditerranéen: cas du Nahr Beyrouth. Hydrologie des Régions Méditerranéennes, Montpellier, 11-13 Octobre 2000, ce volume.
- NASH, J.E. and SUTCLIFFE, J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models, 1. A discussion of principles. J. Hydrol., 10: 282-290.
- SINGH V.P., [Ed.], 1995 – Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resource Publications, Colorado, 1130 p.
- VEN TE CHOW, 1964, Handbook of applied hydrology, Mc Graw-Hill, New-York.