

## **Connaissance régionale des crues en milieu méditerranéen: contrôle des performances sur trois bassins versants de recherche**

**BENJAMIN GRAFF, CATHERINE FOUCHIER,  
JACQUES LAVABRE**

*Cemagref d'Aix-en-Provence, BP 31, F-13612 Aix-en-Provence Cedex 1, France*  
e-mail: [benjamin.graff@aix.cemagref.fr](mailto:benjamin.graff@aix.cemagref.fr)

**NICOLLE MATHYS, RICHARD DIDIER**

*Cemagref Grenoble, BP 76, F-38402 Saint-Martin-d'Hères Cedex, France*

**CLAUDE MARTIN**

*UMR 6012 "ESPACE", BP 3209, F-06204 Nice Cedex 3, France*

**ERIC SERVAT**

*UMR 5569 HydroSciences, BP 5045, F-34032 Montpellier Cedex, France*

**Résumé** Dans le cadre de la connaissance régionale des débits de référence de crues, le Cemagref a développé une méthodologie associant un simulateur de pluie horaire et un modèle simple de transformation de la pluie en débit. L'objectif de cette étude est de contrôler ses performances sur de petits bassins versants. Les résultats obtenus sont comparés à ceux issus d'une approche locale, effectuée à partir des données disponibles sur chacun des bassins. Il ressort que la méthode régionale est facile à mettre en œuvre, mais aussi qu'elle n'est pas bien adaptée à ce type de bassins versants.

**Mots clefs** modélisation pluie-débit; bassin versant; régionalisation

**Key words** rainfall-runoff modelling; drainage basin; regionalization

### **INTRODUCTION**

Pour le compte de la Sous-Direction des Risques Majeurs du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, une méthodologie régionale de détermination des débits de référence de crues a été développée par le Cemagref. Elle repose sur la méthode SHYPRE, acronyme de Simulation d'HYdrogrammes pour la PREdétermination des crues. Son développement régional aboutit à une pixélisation des débits à la maille du km<sup>2</sup>.

A la suite de son application aux régions Languedoc-Roussillon et Provence-Alpes-Côte d'Azur (Fouchier & Lavabre, 2002), nous proposons ici de contrôler ses performances sur de petits bassins versants représentatifs expérimentaux (BVRE). L'objectif est d'évaluer les incertitudes sur ce type de bassins versants et de fixer les limites d'application de la méthode.

## LA METHODE SHYPRE

Dans son développement actuel, SHYPRE associe:

- un simulateur stochastique de pluie horaire, basé sur une description géométrique du signal temporel de pluie (Cernesson *et al.*, 1996; Arnaud, 1997);
- une modélisation simple de la transformation de la pluie en débit, utilisant la fonction de production du Soil Conservation Service (SCS) et un hydrogramme unitaire (HU) pour le transfert (Mockus, 1972). Ce modèle est défini par trois paramètres: un pour la fonction de production ( $J$  en mm) et deux pour l'HU (le temps de montée  $t_m$ , en heures, et un coefficient de forme  $a$ ).

Ainsi, les hydrogrammes de crue sont obtenus à partir de hyétogrammes simulés. De cet ensemble de couples averse–crue, on déduit les distributions de fréquences des débits de toutes durées et pour des périodes de retour entre 2 et 100 ans.

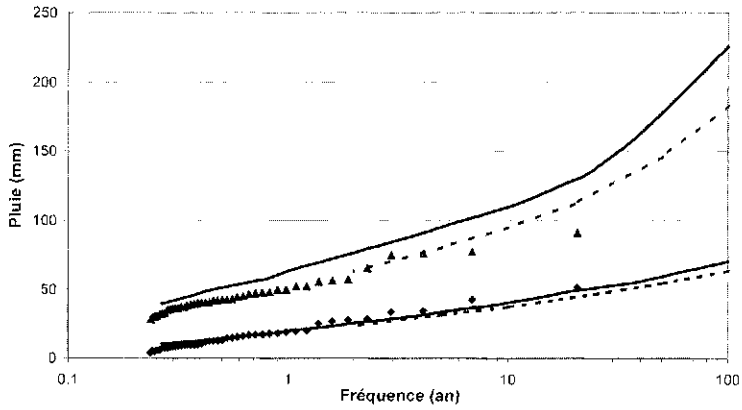
Dans sa version locale, le simulateur de pluie et le modèle pluie–débit sont calés à partir des données collectées aux stations de mesure du bassin versant. Pour la méthode régionale, la pluie est régionalisée à partir d'une cartographie des paramètres physiques explicatifs des variables du simulateur. Le paramètre  $J$  de la fonction SCS est quant à lui cartographié en fonction de la géologie et de l'occupation des sols. Ces données sont ensuite pixélisées à la maille du  $\text{km}^2$ . La rétention initiale  $J_0$  est fixée à 20% de  $J$  et une fonction de transfert unique est retenue pour l'ensemble des pixels ( $a = 2$  et  $t_m = 2$  h). Enfin, une règle d'association des pixels permet d'obtenir le débit en tout point du réseau hydrographique (Lavabre *et al.*, 2000).

## DESCRIPTION DES BASSINS VERSANTS ETUDIÉS

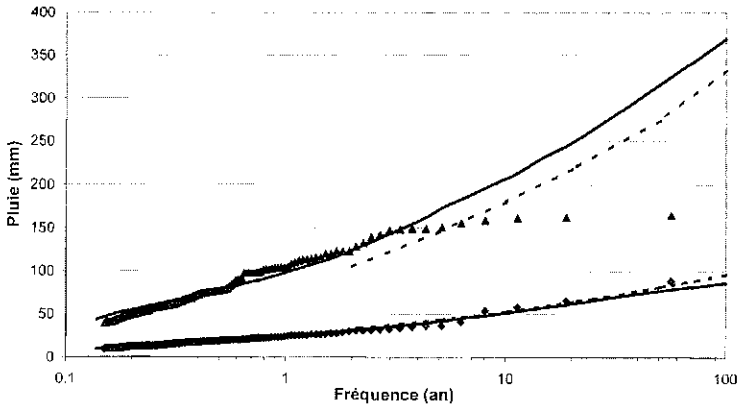
Les BVRE retenus pour cette étude sont ceux du Mont Lozère, de Draix et du Réal Collobrier, respectivement gérés par l'Unité Mixte de Recherche 6012 du CNRS et les groupements du Cemagref de Grenoble et d'Aix-en-Provence. Ces bassins versants, dont les superficies varient de 0.19 à 1.5  $\text{km}^2$ , présentent l'avantage d'être soumis à des pluviométries contrastées (cf. Tableau 1). De plus, les conditions lithologiques et pédologiques sont variables d'un bassin versant à l'autre, de même que les couvertures végétales.

**Tableau 1** Description des bassins versants étudiés.

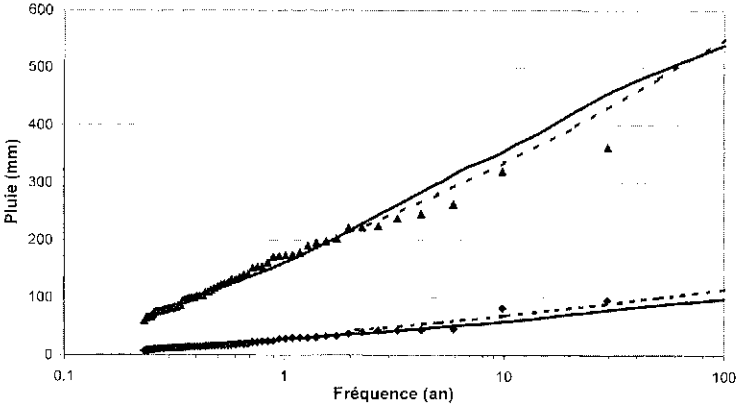
Nom	BVRE	Superficie ( $\text{km}^2$ )	Géologie	Pédologie	Végétation	Pluie moyenne annuelle (mm)	Pluie décennale journalière (mm)
Draix	Laval	0.86	Marnes noires	Sols dégradés	Sol nu à 78%	800	80
	Brusquet	1.08	Marnes noires	Sols dégradés	Résineux à 87%	800	80
Réal Collobrier	Boussicaut	0.73	Schistes	Type ranker	Chênes lièges	1100	140
	Vaubarnier	1.5	Schistes	Type ranker	Chênes lièges	1100	140
	Rimbaud	1.5	Gneiss	Type ranker	Maquis à 80% (incendie en 1990)	1100	140
Mont Lozère	Latte	0.19	Granite	Type ranker	Résineux à 80% (déboisé en 1987)	2000	320
	Sapine	0.54	Granite	Type ranker	Hêtraie	2000	320



◆ Pluies observées (1h) ▲ Pluies observées (24h) — modèle local - - Modèle régional  
(a) Draix



◆ Pluies observées (1h) ▲ Pluies observées (24h) — modèle local - - Modèle régional  
(b) Réal Collobrier



◆ Pluies observées (1h) ▲ Pluies observées (24h) — modèle local - - Modèle régional  
(c) Mont Lozère

**Fig. 1** Comparaison des simulations de pluies en 1 et 24 h effectuées à l'aide du modèle régional et du modèle local.

## PRESENTATION DES RESULTATS

### Performances du modèle de pluie régional

Dans le cadre de cette étude, les pluies ont été simulées à la fois avec le modèle régional et le modèle local. La Fig. 1 met en évidence que les deux modèles ont des comportements asymptotiques similaires. D'une manière générale, les écarts avec les distributions de fréquences des valeurs observées sont du même ordre de grandeur pour les deux modèles.

### Paramétrages locaux et régionaux des bassins versants étudiés

Tout d'abord, il ressort de la paramétrisation des deux modèles que là où le modèle local semble capable de nuancer le comportement hydrologique de deux bassins versants voisins, comme le Rimbaud et le Vaubarnier, le modèle régional leur affecte des paramètres peu différents (cf. Tableau 2). D'autre part, le fait de fixer les paramètres  $J_0/J$ ,  $a$  et  $t_m$  ne permet pas de détailler aussi finement que dans le modèle local la transformation de la pluie en débit pour des bassins versants ayant une réponse lente et peu intense comme la Sapine, ou au contraire rapide et très intense comme le Laval (cf. Tableau 2 et Fig. 2).

Pour le Laval, on notera d'ailleurs que la modélisation au pas de temps horaire n'est pas adaptée. En effet, ce bassin versant a le plus souvent un temps de réponse inférieur à l'heure. Sur la Fig. 3, on constate que le pas de temps horaire reproduit mal la crue observée le 6 juillet 1987 et conduit à surestimer les lames d'eau effectivement ruisselées. Ainsi, il ressort qu'une modélisation de ce type de crues à un pas de temps plus fin est mieux indiquée.

**Tableau 2** Paramètres médians des modèles pluie-débit local et régional.

Nom	BVRE	Superficie (km <sup>2</sup> )	Hiver (décembre à mai):								Eté (juin à novembre):							
			Modèle local:				Modèle régional:				Modèle local:				Modèle régional:			
			$J$	$J_0/J$	$a$	$t_m$	$J$	$J_0/J$	$a$	$t_m$	$J$	$J_0/J$	$a$	$t_m$	$J$	$J_0/J$	$a$	$t_m$
Draix	Laval	0.86	38	0.06	4.75	1.48	103	0.2	2	2	17.7	0	3.53	1.26	200	0.2	2	2
	Brusquet	1.08	210	0.08	1.7	2.8	112	0.2	2	2	240	0.2	2.64	1.61	200	0.2	2	2
Réal Collobrier	Boussicaud	0.73	200	0	1.24	2.25	85	0.2	2	2	250	0.2	2.41	1.64	200	0.2	2	2
	Vaubarnier	1.5	350	0.2	1.3	3	85	0.2	2	2	385	0.2	1.48	2.26	200	0.2	2	2
	Rimbaud	1.5	60	0.2	1.7	2.6	90	0.2	2	2	70	0.2	2.05	2	200	0.2	2	2
Mont Lozère	Latte	0.19	150	0	0.84	8.1	163	0.2	2	2	350	0.2	1.6	2	225	0.2	2	2
	Sapine	0.54	220	0.03	0.95	7	152	0.2	2	2	350	0.2	1.59	3	225	0.2	2	2

### Performances du modèle pluie-débit régional

D'une manière générale, le modèle pluie-débit régional a tendance à moins bien estimer les valeurs des débits caractéristiques de crues que le modèle local (cf. Tableau 3). La paramétrisation régionale conduit également à estimer de la même manière les débits de deux bassins versants voisins. A l'inverse, le modèle local est plus proche des

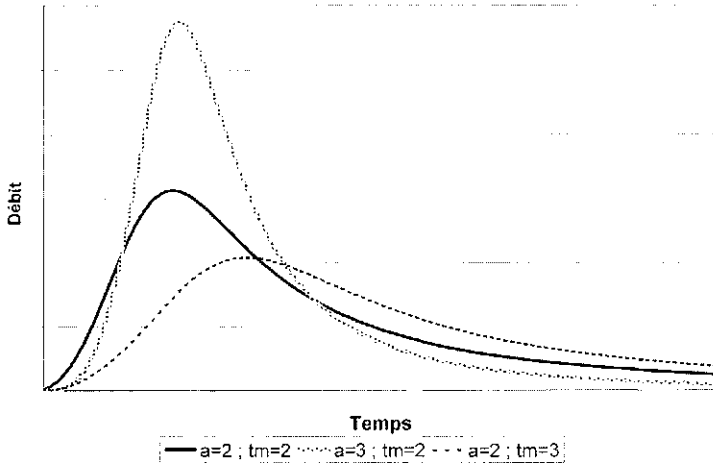


Fig. 2 Evolution de l'hydrogramme unitaire en fonction des paramètres  $a$  et  $t_m$ .  
 -  $a$  faible et  $t_m$  grand: réponse peu intense et lente;  
 -  $a$  fort et  $t_m$  faible: réponse intense et rapide.

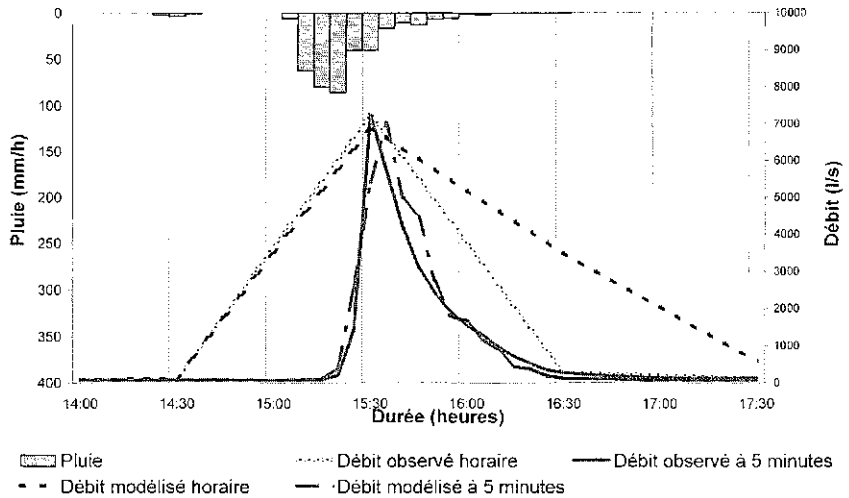


Fig. 3 Modélisation de la crue du 6 juillet 1987 sur le Laval aux pas de temps horaire et 5 min.

valeurs de débits observés et fait mieux la distinction entre tous les bassins versants (cf. Fig. 4).

**MODELE REGIONAL ET APPROCHE LOCALE**

Mis à part le bassin versant très particulier du Laval, la méthode SHYPRE calée localement reproduit correctement les distributions de fréquences des débits de crue. Les écarts constatés en appliquant la méthode régionale sont donc davantage

**Tableau 3** Synthèse des débits de pointe décennaux observés et simulés.

Nom	BVRE	Superficie (km <sup>2</sup> )	Débits spécifiques décennaux (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ):		
			Observés	Modèle local	Modèle régional
Draix	Laval	0.86	17.1	8.3	1.1
	Brusquet	1.08	1.5	1.7	1.1
Réal Collobrier	Boussicaut	0.73	2.5	2.9	3.2
	Vaubarnier	1.5	1.3	1.3	3.1
	Rimbaud	1.5	5.1	4.7	3.2
Mont Lozère	Latte	0.19	3.2	4.4	5.8
	Sapine	0.54	2.7	3.6	5.7

imputables à la version régionale du simulateur de hyétogrammes de pluies horaires ou à la méthode de transformation de la pluie en débit qu'à la méthodologie utilisée elle-même.

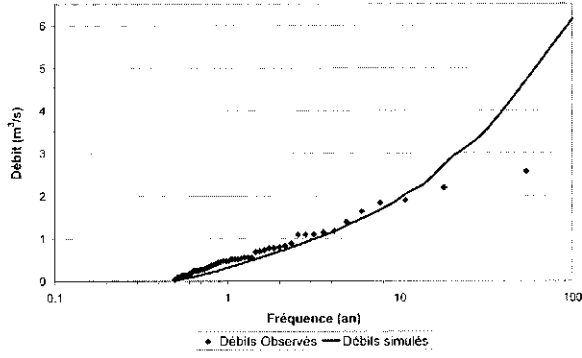
Comme le simulateur de pluies horaires reproduit assez bien les distributions de fréquences des pluies, c'est donc la modélisation régionale de la transformation de la pluie en débit qui engendre l'essentiel des écarts constatés. Du reste, la comparaison des paramètres locaux et régionaux du modèle fait apparaître des divergences marquées, aussi bien pour la fonction de production que pour la fonction de transfert.

Par conséquent, le modèle régional ne permet pas de retrouver que dans le cas des bassins versants présentant les crues les plus importantes, comme le Laval et le Rimbaud, le paramètre  $J$  prend les valeurs les plus faibles (cf. Fig. 5). En outre, fixer la rétention initiale à 20% de la valeur de  $J$  conduit à n'effectuer la transformation de la pluie en débit que pour les pluies dont le cumul est supérieur à 20% de  $J$ . Les particularités locales, en ce qui concerne les capacités totale et initiale de rétention, ne sont alors pas bien prises en compte par le modèle régional.

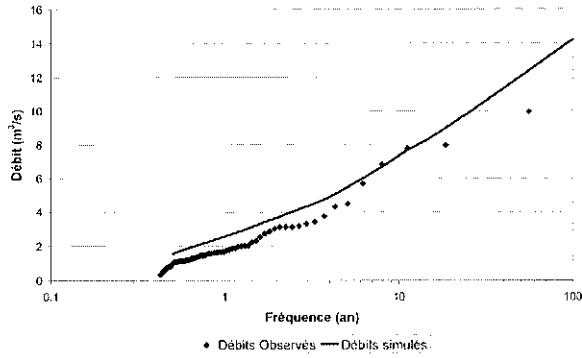
En ce qui concerne la fonction de transfert, la valeur de  $t_m$  du modèle régional n'est pas très éloignée des valeurs locales, sauf en hiver pour les BVRE du Mont Lozère, où on se heurte à un problème de crues de fonte de neige. En revanche, bien que variant autour de sa valeur régionale égale à 2, le coefficient de forme  $\alpha$  connaît de fortes fluctuations locales.

Des données expérimentales plus nombreuses nous auraient sans doute permis de lier les paramètres à des critères physiques déduits des bases de données et d'intégrer les particularités locales dans la version régionale. Malheureusement, cela n'a pas été possible. En effet, la méthode régionale a été conçue pour reproduire au mieux les distributions de fréquences des débits pour des bassins versants dont la surface varie entre 50 et 1000 km<sup>2</sup>. De plus, tous les efforts fournis pour régionaliser  $J$  n'ont abouti qu'à des résultats médiocres. Enfin, les bases de données utilisées n'ont pas une échelle de définition pertinente pour aborder la problématique des petits bassins versants.

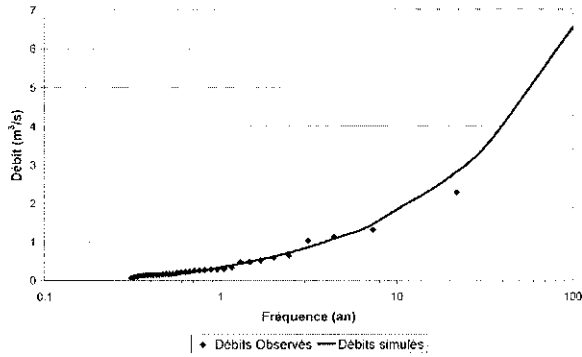
Malgré ces incertitudes, nous retenons que la méthode régionale conduit à des erreurs moyennes d'estimation des débits de l'ordre de 50% sur les petits bassins versants. Ainsi, comme le signalent Fouchier & Lavabre (2002), mieux vaut limiter son application à des bassins versants d'une taille supérieure à 10 km<sup>2</sup>.



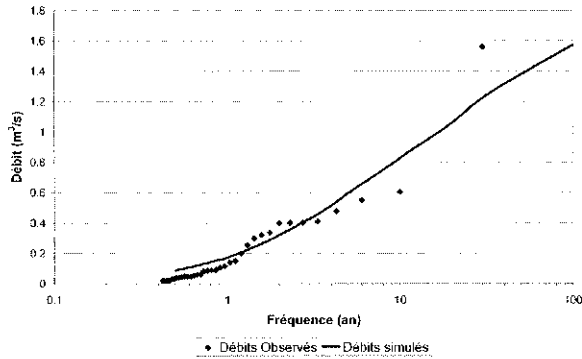
(a) Vaubarnier



(b) Rimbaud

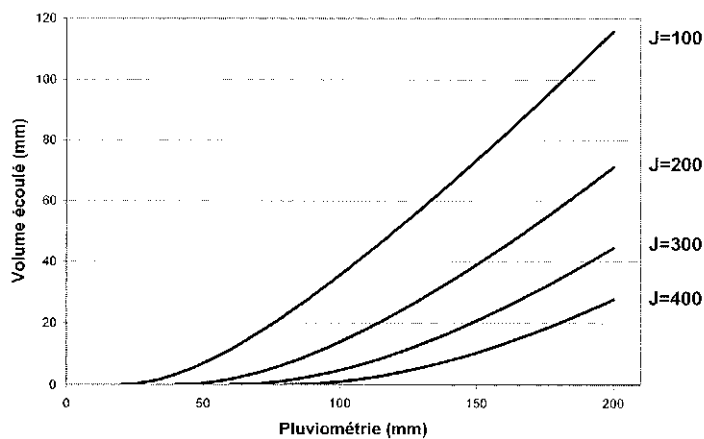


(c) Brusquet



(d) Latte

Fig. 4 Distributions de fréquences des débits de pointe de crue obtenues par le calage local de la méthode SHYPRE.



**Fig. 5** Evolution de la lame d'eau écoulée en fonction du paramètre  $J$  de la fonction de production SCS (rétention initiale égale à 20% de  $J$ ). A pluviométrie égale, le volume écoulé diminue lorsque  $J$  augmente.

**Remerciements** Les auteurs remercient la Sous-Direction des Risques Majeurs du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable pour le soutien financier apporté à cette étude.

## REFERENCES

- Arnaud, P. (1997) Modèle de prédétermination de crues basé sur la simulation stochastique des pluies horaires. Thèse de doctorat de l'Univ. de Montpellier II, France.
- Cernesson, F., Lavabre, J. & Masson, J.-M. (1996) Stochastic model for generating hourly hyetographs. *Atmos. Res.* **42**, 149–161.
- Fouchier, C. & Lavabre, J. (2002) Synthèse des débits de crues sur les régions Provence-Alpes-Côte d'Azur et Languedoc-Roussillon, Phase II. Régionalisation du modèle pluie-débit. *Rapport d'étude MATE/Météo France/CETE Méditerranée/Cemagref*.
- Lavabre, J., Folton, N., Arnaud, P. & Pasquier, C. (2000) Prédétermination régionale des débits de crue; exemple d'application à la Corse. In: Programme Hydrologique International/Documents Techniques en hydrologie no. 51. *Actes du Colloque FRIEND AMHY* (octobre 2000, Montpellier), 357–365.
- Mockus, V. (1972) Estimation of direct runoff from storm rainfall. In: *National Engineering Book*, section 4, Hydrologie, chapitre 10, 10.1–10.24. National Resources Conservation Service, US Department of Agriculture, USA.