



# Cartographie des débits de référence d'étiage La méthode LOIEAU

*Rapport final*

*Nathalie FOLTON, Patrick ARNAUD  
IRSTEA, Aix en Provence*

*Janvier 2012*

:

## Contexte de programmation et de réalisation

---

Ce rapport est rédigé dans le cadre de la convention liant l'ONEMA et le CEMAGREF. Il présente les travaux de l'équipe du Cemagref d'Aix-en-Provence dans le cadre de sa participation à l'action 3 (Hydrologie des Etiages) et plus particulièrement le point 1 : prédétermination des débits d'étiage de référence. L'objectif final est de fournir une cartographie des débits d'étiage de référence. (QMNA5) et des modules.

L'équipe d'Aix-en-Provence utilise une méthode basée sur la régionalisation d'un modèle hydrologique (GR2M<sub>LOIEAU</sub>) pour modéliser les écoulements mensuels et en déduire les caractéristiques nécessaires à l'application de la loi sur l'eau. On exploite l'information hydro-météorologique disponible pour caler des modèles hydrologiques simples (peu de paramètres). La régionalisation porte alors sur la cartographie des paramètres du modèle plutôt que des variables hydrologiques. Cette approche permet de construire des chroniques de débits permettant de fournir en une seule cartographie l'ensemble des caractéristiques hydrologiques. Ce modèle a été testé sur les bassins versants du Sud de la France et plus récemment sur la région de Seine-Normandie

L'action précédente a permis le développement d'une structure du modèle adaptée à la nouvelle information SAFRAN journalière (Pluie solide et liquide, Température) disponible sur l'ensemble du territoire français, et adaptée à une gamme de fonctionnement hydrologique plus variée.

L'objectif 2011 s'est concentré à fournir une carte finale des QMNA5 et des modules sur l'ensemble du territoire français. Le calage du modèle a privilégié la restitution des faibles débits. Des informations spatiales pluviométriques, hydrographiques et hydrogéologiques expliquent la variabilité des deux paramètres. Cette régionalisation permet de disposer en tout pixel du territoire français de 1 km par 1 km des valeurs du QMNA5 et du module modélisés. L'agglomération des pixels (à la maille de 1 km<sup>2</sup>) des débits en tout point du réseau hydrographique permet de disposer des valeurs de débits de référence à l'exutoire des bassins versants.

### Les auteurs

---

*Nathalie Folton*  
*Ingénieur d'étude*  
*IRSTEA Aix*

*Patrick Arnaud*  
*Ingénieur de Recherche*  
*IRSTEA Aix*

### Les correspondants

---

*Pascal Maugis, DAST, pascal.maugis@onema.fr*  
*Eric Sauquet, HHL Y, eric.sauquet@isrtea.fr*

<b>Droits d'usage :</b>	<i>Accès libre</i>
<b>Couverture géographique :</b>	<i>France</i>
<b>Niveau géographique</b> [un seul choix] :	<i>National</i>
<b>Niveau de lecture</b> [plusieurs choix possibles] :	<i>Professionnels, experts</i>
<b>Nature de la ressource :</b>	<i>Document</i>

**Cartographie du débit de référence d'étiage et du débit moyen annuel en France**  
**Rapport d'avancement**  
**N. Folton, P. Arnaud**

**Résumé**

1 Introduction.....	5
2 Le modèle GR2MLOIEAU .....	6
3 Le calage multicritère du modèle .....	7
4 La régionalisation des paramètres du modèle .....	8
4.1 Variables climatiques .....	9
4.2 Variables physiques descriptives .....	9
5 Performance de la méthode .....	12
6 Cartographie nationale .....	12
7 Conclusion et perspectives .....	15
8 Bibliographie.....	15

**Cartographie du débit de référence d'étiage et du débit moyen annuel en France**  
**Rapport d'avancement**  
**N. Folton, P. Arnaud**

Résumé

Nous présentons, dans ce rapport, les travaux de cartographie du débit de référence d'étiage, le QMNA5 et du débit moyen annuel réalisés à l'échelle nationale par l'équipe d'Aix-en-Provence.

Nous utilisons un modèle hydrologique au pas de temps mensuel. Il génère des chroniques datées de débits mensuels sur l'ensemble du réseau hydrographique. Ce modèle exploite l'information SAFRAN disponible sur l'ensemble du territoire au pas de temps journalier. La version développée dans le cadre de cette étude est décrite en première partie. Les deux paramètres du modèle réglant la génération des débits mensuels caractérisent le fonctionnement hydrologique des bassins versants. La régionalisation de ces paramètres est présentée ensuite en détail. Des informations spatiales pluviométriques, hydrographiques et hydrogéologiques expliquent la variabilité des paramètres. Elle a été établie sur la base d'une méthode fournissant les meilleurs résultats en validation croisée. Cette régionalisation permet d'aboutir à une bonne restitution des modules et des QMNA5. Elle restitue en site non jaugée et en tout pixel du territoire français des chroniques mensuelles modélisées, à partir desquelles peuvent être extraites les statistiques de débits.

**Cartographie du débit de référence d'étiage et du débit moyen annuel en France**  
**Rapport d'avancement**  
**N. Folton, P. Arnaud**

# 1 Introduction

Ce rapport présente les résultats obtenus par l'équipe hydrologie du Cemagref/Irstea d'Aix en Provence et porte sur la cartographie régionale des débits de référence d'étiage QMNA5 et débits moyens annuels.

Il reprend le modèle développé dans le cadre de cette étude, prenant en compte l'information SAFRAN (Vidal et al, 2010) agrégée au pas de temps journalier (précipitations solides et liquides, température) disponible sur l'ensemble du territoire national. Sont ensuite présentés le calage multicritère du modèle et les éléments nouveaux de la démarche adoptée pour la régionalisation des deux paramètres du modèle avec :

- 1) la recherche de variables explicatives,
- 2) la prise en compte du résidu et des spécificités locales ou régionales,
- 3) la cartographie des variables en tout point du territoire calculée à l'aide de la grille des directions d'écoulement.

## 2 Le modèle GR2M<sub>LOIEAU</sub>

L'information SAFRAN permet de disposer d'une information météorologique spatiale et temporelle par maille régulière (8\*8 km). Afin de valoriser ces données spatialisées, on procède à une modélisation distribuée de la fonction de production, sur une grille définie selon le maillage du système Safran. Sur chaque pixel les données d'entrée journalières (précipitation, ETP, température, neige) alimentent la fonction de production (figure 1) qui consiste en un simple bilan climatique (équilibre pluie-évapotranspiration et répartition pluie-neige). Le réservoir A est chargé de la répartition quantitative de l'eau dans le modèle. Ce système est seulement ouvert vers l'atmosphère. Il ne comporte pas de percolation ou d'échanges souterrains. Cette fonction est considérée séparément par pixel. Le niveau (A) du réservoir S a été identifié par pixel, au niveau du territoire national. Les données d'ETP sont issues de la formule proposée par Oudin (2004), laquelle est essentiellement fonction de la température de l'air et de la radiation incidente.

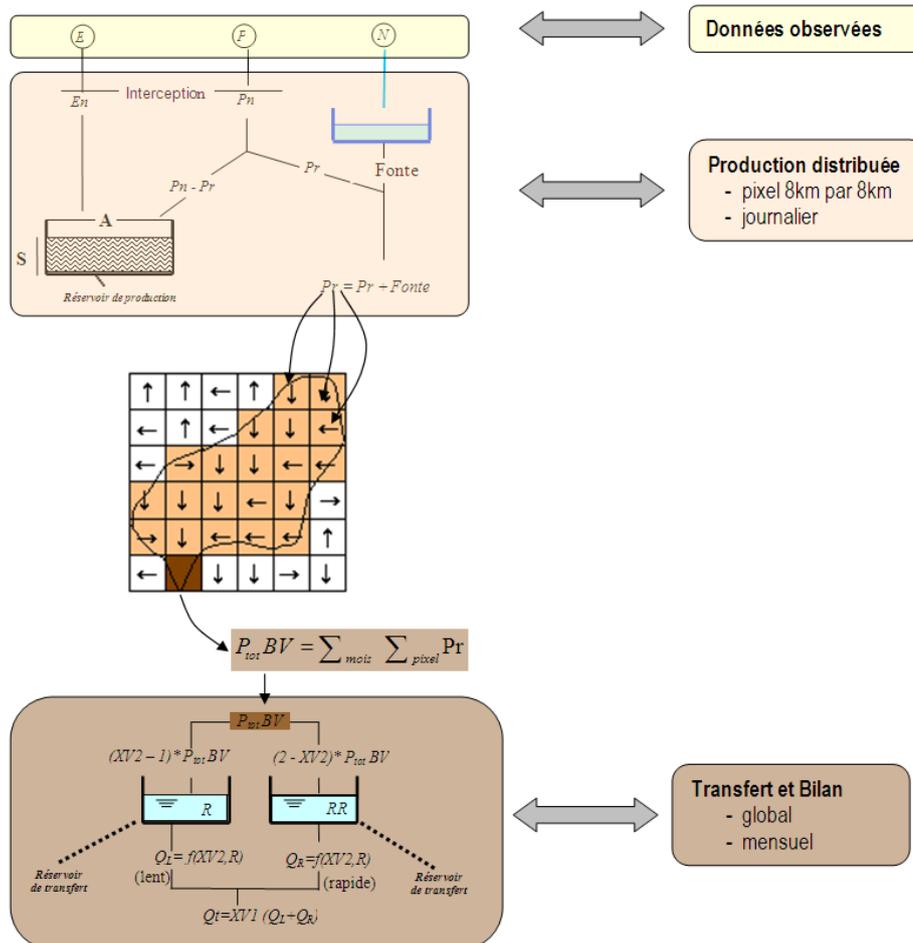


Figure 1 : Modèle GR<sub>LOIEAU-PIXEL</sub>

En chaque pixel et au pas de temps journalier sont estimés :

- la quantité de pluie ruisselée ( $P_r$ ),
- la fluctuation du réservoir  $S$ .
- le stockage et la fonte de la neige.

La neige ( $N$ ) est dirigée vers un réservoir qui représente le stock de neige propre à chaque pixel. Ce réservoir est initialisé à 0 mm lors du lancement de la modélisation et alimenté uniquement par la donnée neige de Safran. On s'inspire pour la gestion du stock de neige de la méthode degré-jour, la plus répandue dans la littérature (Valéry, 2010), le coefficient de fonte ayant été préalablement calé.

Les lames de fonte et les pluies ruisselées sont ensuite agrégées pour former une unique lame d'eau écoulée à l'échelle du bassin ( $P_{\text{tot}} BV$ ). (Pour effectuer la moyenne sur le bassin, seuls les pixels dont le centre de la maille est contenu dans le contour du bassin sont utilisés. Ce calcul sert à connaître la valeur moyenne de la pluie ruisselée sur le bassin.) Le cumul mensuel des lames ruisselées alimentent la fonction de transfert (figure 1) qui reste mensuelle et globale.

Cette fonction de transfert assure la distribution des débits dans le temps (paramètre  $XV2$ ). Elle rend compte du décalage dans le temps entre la pluie ruisselée et les écoulements.

Le bilan en eau est assuré par un paramètre correcteur  $XV1$ . En effet, au niveau du réservoir  $A$ , seul un bilan climatique est effectué. On ne tient pas compte des infiltrations, d'échanges souterrains potentiels, ni de l'évapotranspiration réelle du bassin.  $XV1$  rend compte de ces échanges par un apport ( $XV1 > 1$ ) ou une perte ( $XV1 < 1$ ) autre que la pluie ou l'évapotranspiration.  $XV1$  nous renseigne sur la productivité du bassin.

Le comportement hydrologique du bassin versant est donc réglé par les deux paramètres  $XV1$  et  $XV2$ .

### 3 Le calage multicritère du modèle

L'échantillon des stations exploitées pour le calage et pour la régionalisation des paramètres est de 840 stations. Les séries utilisées ont des enregistrements sur une période de plus de 25 ans. Les stations présentant des données non fiables (après enquête auprès des gestionnaires) n'ont pas été retenues (Catalogne, Sauquet, 2010).

Nous avons adopté une démarche multicritères pour aborder le calage des paramètres et obtenir ainsi un modèle robuste pour plusieurs objectifs complémentaires : une bonne restitution des étiages en plus des débits mensuels. En effet comme l'objectif de l'étude est de connaître les évolutions du système en période d'étiage, il est important que le modèle représente bien les faibles

débits. La *Fonction critère* retenue est composée de plusieurs critères statistiques d'évaluation de la qualité du modèle avec ajout de pondérations. Elle s'écrit :

$$\text{Fonction critère} = 0.5 (1 - \text{Nash}_{\sqrt{Q_m}}) + 0.3 \varepsilon_{\text{relative } QA} + 0.2 \varepsilon_{\text{relative } QMNA5}$$

avec :

$$\text{Nash}_{\sqrt{Q_m}} = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\sqrt{Q_{obs,i}} - \sqrt{Q_{calc,i}})^2}{\sum_{i=1}^n \sqrt{Q_{obs,i}}^2} \right)$$

$\text{Nash}_{\sqrt{Q_m}}$  a été proposé par Nash et Sutcliffe (1970). Il minimise l'écart quadratique entre les valeurs des débits observés et calculés, il est appliqué ici sur la racine carrée des débits mensuels datés. Ce critère calculé sur les valeurs racines des débits permet d'accorder une importance moindre aux fortes valeurs de débits.  $\text{Nash} = 1$  correspond à une prédiction parfaite,  $\text{Nash} < 0$  témoigne de performances moins efficaces qu'une simple moyenne des valeurs observées.

L'écart relatif sur la valeur absolue des moyennes annuelles (QA) est donné par :

$$\varepsilon_{\text{relative } QA} = \left( \frac{|Q_{calc,QA} - Q_{obs,QA}|}{Q_{obs,QA}} \right)$$

L'écart relatif sur la valeur absolue de la variable d'étiage de référence QMNA5 est donné par :

$$\varepsilon_{\text{relative } QMNA5} = \left( \frac{|Q_{calc,QMNA5} - Q_{obs,QMNA5}|}{Q_{obs,QMNA5}} \right)$$

La *Fonction critère* présente un compromis pertinent entre les différents aspects de restitution des débits.

## 4 La régionalisation des paramètres du modèle

L'objectif de la régionalisation est d'obtenir une cartographie au km<sup>2</sup> des deux paramètres du modèle en tout point de la zone d'étude, afin de pouvoir l'activer pour tout cours d'eau de la zone. Elle permet de déterminer quelles caractéristiques des bassins versants, climatiques et/ou physiques (relatives à l'hydrogéologie ou la topographie, l'appartenance aux hydro-écorégion (Wasson *et al.*, 2002), sont les plus appropriées et les plus robustes pour expliquer la variabilité spatiale des paramètres. Nous disposons de 840 bassins versants pour lesquels nous disposons des couples des paramètres du modèle. Parmi ces bassins, 22 ont été identifiés comme « spécifiques » par les gestionnaires. Ils ne seront donc pas intégrés à l'échantillon de calage des liaisons entre les variables explicatives et les paramètres.

## 4.1 Variables climatiques

Les caractéristiques pluviométriques sont issues de chroniques journalières à partir desquelles on extrait des événements pluvieux (un événement pluvieux est défini par une hauteur journalière de pluie supérieure à 20 mm). De ces événements, plusieurs caractéristiques ont été extraites telles que leur nombre moyen par an (NE), leur durée moyenne (DTOT) en jour, et la moyenne des pluies journalières maximales de chaque événement (PMJ) en mm.

Disposant de données journalières, issues du modèle SAFRAN, nous introduisons dans l'analyse, différentes variables suivantes: PA (Pluie annuelle moyenne), ETPA (ETP annuelle moyenne) et NEIA (hauteur de NEIGE annuelle moyenne)

## 4.2 Variables physiques descriptives

### Caractéristiques géomorphologiques

Les caractéristiques géomorphologiques sont extraites du Modèle Numérique de Terrain. Il permet d'identifier une variable d'altimétrie (l'altitude moyenne du bassin), de déduire la pente moyenne du bassin, et d'intégrer un indice de drainage. Cet indice est calculé au 1km<sup>2</sup>, il correspond au % de pixels du bassin touché par un drain issu de la BD Carthage, il est dénommé : Indice drainage.

### L'hydrogéologie

Cette variable est issue de la carte hydrogéologique de la France (J. MARGAT, 1978).

### Les hydro-écorégions

Les hydro-écorégions (HER), sont homogènes du point de vue de la géologie, du relief, et du climat. C'est l'un des principaux critères utilisés dans la typologie et la délimitation des masses d'eau de surface (Wasson et al., 2002).

Toutes ces variables sont disponibles sous forme de grilles au pas d'espace du km<sup>2</sup>, ce qui permet de calculer une valeur moyenne par bassin versant pour les variables numériques. Et pour les variables descriptives, telles que l'hydrogéologie et les HER, elles interviennent comme coefficient correcteur par type de classe hydrogéologique ou par type de zones HER.

Il est ensuite recherché une combinaison de variables explicatives intervenant dans une relation linéaire multiple entre, d'une part, la valeur optimale de chaque paramètre et, d'autre part, les valeurs moyennes des variables explicatives. Pour cela, l'ensemble des combinaisons de 2 et 3 variables sont testées et les plus pertinentes sont retenues par validation croisée. Elles sont présentées dans le tableau 1.

Paramètres	Variables explicatives	Critère de Nash
XV1	DTOT, Altitude, HER	0.36
XV2	Hydrogéologie et HER	0.51

Tableau 1 : Critères de Nash caractérisant la qualité des liaisons

#### 4.2.1 Elaboration des grilles régionales des paramètres saisonniers

La dernière étape est la prise en compte des résidus, c'est-à-dire la différence entre les paramètres optimisés et les paramètres obtenus par la régression linéaire corrigée de l'hydrogéologie, et des zones HER. Ces résidus, calculés sur la totalité de l'échantillon (840 bassins), sont spatialisés sur l'ensemble du territoire, par la méthode d'interpolation IDW2 (Inverse Distance Weight au carré) puis lissés par moyenne glissante, afin d'éviter une variation trop brutale d'un pixel à l'autre. La prise en compte des résidus spatialisés et lissés augmente le critère de Nash de plus de 40 points pour le paramètre XV1 et de plus de 36 points pour le paramètre XV2 (tableau 2). Ceci tend à montrer que l'information contenue dans les résidus présente une signification régionale qui constitue une part non expliquée de la variabilité des paramètres.

Paramètres	Variables explicatives	Critère de Nash	
		sans résidus	avec résidus
XV1	DTOT, Altitude, HER	0.36	0.78
XV2	Hydrogéologie et HER	0.51	0.87

Tableau 2 : Critères de Nash caractérisant la qualité des liaisons avec prise en compte des résidus

La spatialisation et le lissage des résidus sont un moyen de spatialiser la portion de variabilité non expliquée contenant les diverses incertitudes liées à la modélisation hydrologique, à la pluviométrie mais également les incertitudes sur la métrologie qui aurait pu nous échapper.

Ainsi, bien que la prise en compte des résidus permette de restituer au mieux les débits de référence observés aux stations hydrométriques utilisées pour la régionalisation, le processus d'élaboration des cartes régionales des paramètres XV1 et XV2 privilégie l'émergence d'une tendance régionale globale sans chercher à reproduire exactement les valeurs calculées à partir des observations de débits.

La cartographie proposée de chacun des deux paramètres du modèle, en tout point du territoire, fait l'objet de la Figure 2. Elle permet la restitution de la valeur optimale du paramètre XV1 avec un critère de Nash de 78 % et de 87% pour le paramètre XV2.

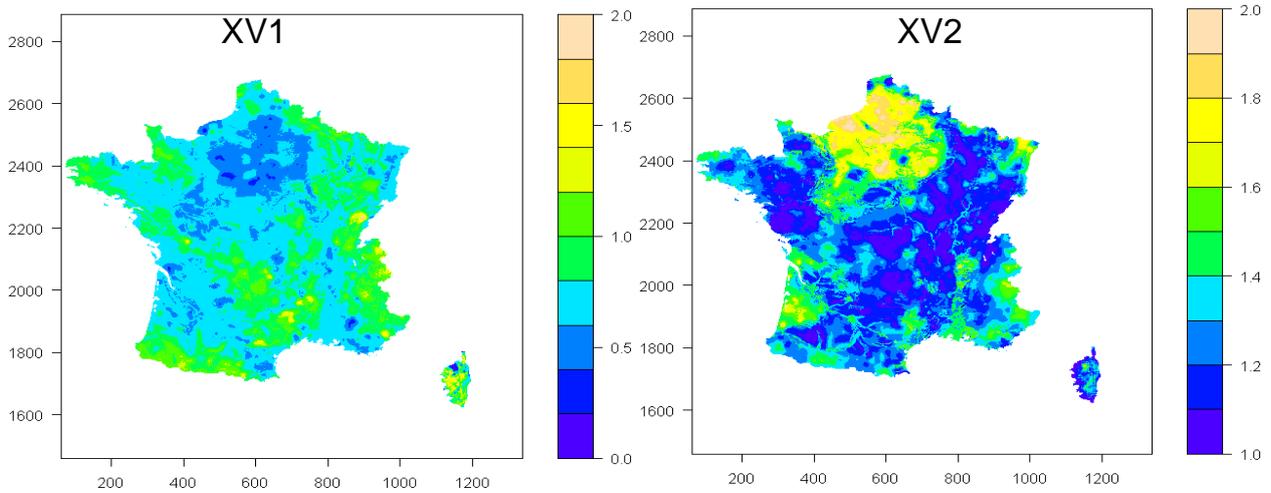
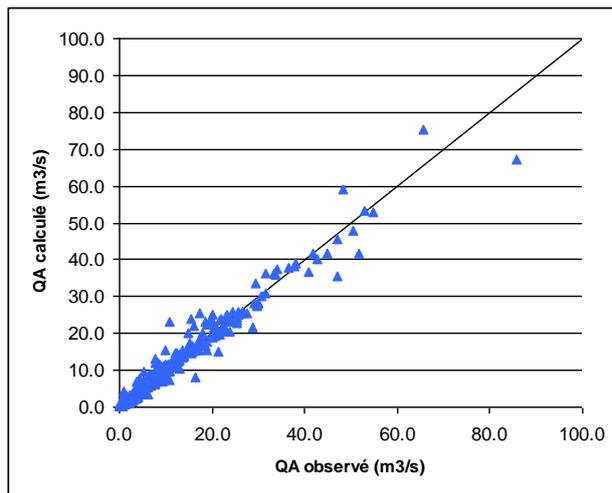


Figure 2 : Cartographie du paramètre XV1 régionalisé (carte de gauche) et du paramètre XV2 régionalisé (carte de droite)

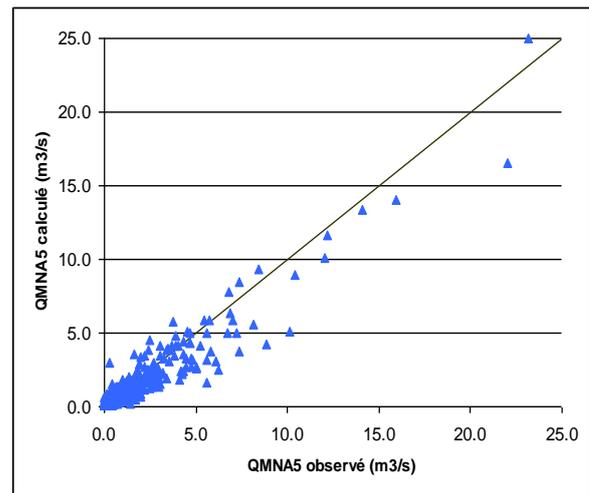
Les valeurs régionales d'XV1 s'étalent de manière assez homogène sur l'ensemble du territoire et sont généralement comprises entre 0.6 et 1.25. On observe des zones avec des valeurs plutôt faibles : bassin parisien ; et des valeurs plutôt élevées : Cévennes, point culminant des chaînes de montagne. On retrouve les zones de production réellement liées à la nature des bassins. Concernant XV2, deux zones possèdent des caractéristiques bien spécifiques avec des valeurs élevées, les bassins de Seine-Normandie et des Landes.

A partir des valeurs des paramètres issues des grilles régionalisées, nous pouvons activer le modèle pluie – débit et simuler des chroniques de débits mensuels.



$$Y = 0.99 X - \text{Critère de Nash } \left( \overline{\sqrt{Q}} \right) = 0.98$$

Figure 3 : Contrôle des performances sur la restitution du module



$$Y = 0.86 X - \text{Critère de Nash } \left( \overline{\sqrt{Q}} \right) = 0.90$$

Figure 4 : Contrôle des performances sur la restitution du QMNA5

Le modèle régional donne des résultats acceptables sur les stations ayant servi au calage, malgré une dispersion des points plus prononcée pour la restitution du QMNA5.

## 5 Performance de la méthode en simulation

Afin de qualifier de façon plus objective la qualité de la restitution des paramètres, une analyse en validation croisée est effectuée sur un échantillon commun entre les trois équipes, et restreint à 631 stations. La procédure est donc réalisée autant de fois que de stations présentes dans l'échantillon, et le processus d'exclusion est mené de telle sorte que chaque station est exclue une seule fois. L'échantillon amputé d'une station sert à régionaliser le modèle et la validation est effectuée sur la station exclue. La restitution du module QA et du QMNA5 est évaluée. Une comparaison est effectuée à un modèle régional calé sur l'ensemble des 631 stations.

	<i>Critère de Nash</i>			
	<i>XV1</i>	<i>XV2</i>	<i>QA (mm)</i>	<i>QMNA5 (mm)</i>
<i>Régionalisation 631 bassins versants</i>	77%	89%	89%	83%
<i>Validation croisée</i>	33%	62%	82%	66%

*Tableau 3 : Critère de Nash caractérisant la qualité de la régionalisation en validation croisée*

Quelques remarques supplémentaires peuvent être émises sur les limites d'utilisation de la méthode :

- le modèle a été développé et calé sur 840 bassins versants ayant des superficies excédent le km<sup>2</sup> (de 1.5 km<sup>2</sup> à 3000km<sup>2</sup>). Seuls 13 bassins ont une superficie inférieure à 10 km<sup>2</sup>. La méthode, de par sa conception peut être utilisée au km<sup>2</sup>, en faisant des hypothèses d'homogénéité des pluies ; il faut néanmoins être prudent pour estimer les débits extrêmes d'étiage (QMNA5) sur les très petits bassins versants, qui peuvent présenter des particularités locales spécifiques non prises en compte dans la méthode (par ex. : terrain déboisé, etc.). En effet l'hydrologie pour cette classe de bassins est plus sensible à des effets locaux (géologie, occupation de l'espace, etc.) et l'on ne dispose pas d'information hydrologique pour affiner la méthode à cette échelle ;
- on considère que les débits observés sur les grands bassins versants (supérieurs à 3000 km<sup>2</sup>) sont couramment anthropisés. C'est la raison pour laquelle ils n'ont pas été retenus dans l'application de la méthode, qui repose pour l'essentiel sur des écoulements non fortement influencés.

## 6 Cartographie nationale

Le principe de la cartographie est d'obtenir des débits de référence en tout point de l'espace de notre étude, c'est-à-dire de lier le pixel de l'exutoire du bassin au débit calculé sur l'ensemble du bassin versant amont. Pour ce faire, nous travaillons à partir de la grille des directions d'écoulement établie à la maille du km<sup>2</sup> par le Cemagref de Lyon (Figure5). Cette grille nous permet de délimiter, pour chaque pixel exutoire, le bassin versant correspondant, comme le montre la figure 6 :

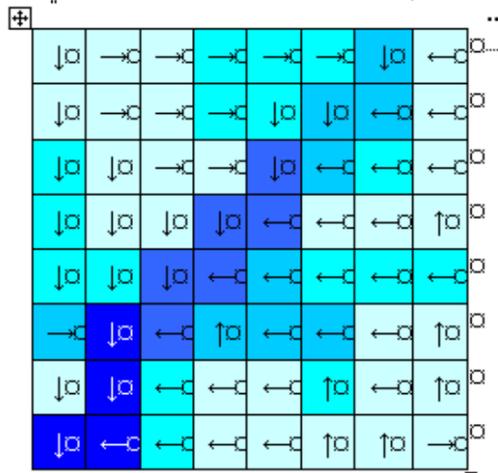


Figure5 : Grille des directions d'écoulement  
(échelle de couleurs en fonction du nombre de pixels  
amont)

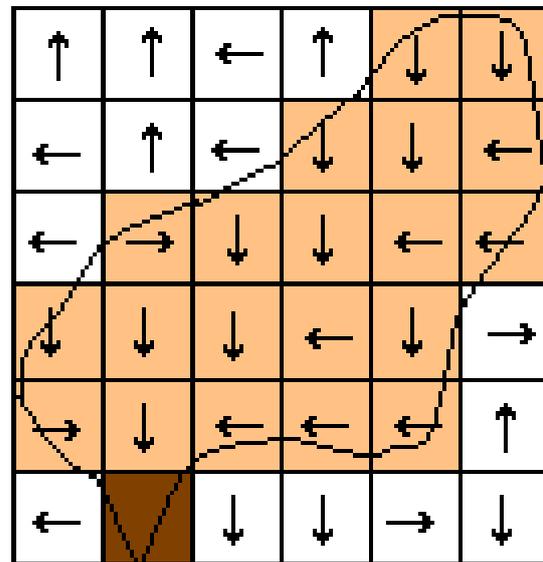


Figure 6 : Délimitation d'un bassin versant, à partir  
d'une grille d'écoulement

Pour tout pixel exutoire, il est nécessaire de prendre en compte les données d'entrée du modèle (paramètres, et pluie ruisselée (cf § 2) non pas sur le pixel considéré, mais sur l'ensemble du bassin versant dont il est l'exutoire. La grille d'écoulement permet de calculer les valeurs moyennes de XV1, XV2 et des pluies ruisselées sur tous les pixels qui se situent en amont du pixel exutoire (Cf § 2). A partir de ces informations nous pouvons simuler les chroniques de débits sur l'ensemble du bassin versant de chaque pixel.

Nous obtenons ainsi 456 grilles de débits mensuels accumulés, du mois d'août 1970 à celui de juillet 2008. Ces chroniques permettent de calculer le module et le QMNA5 en tout point du territoire. Les cartographies obtenues représentées en mm, ont une maille de 1x1 km. Les cartes peuvent aussi être obtenues en l/s ou m3/s.

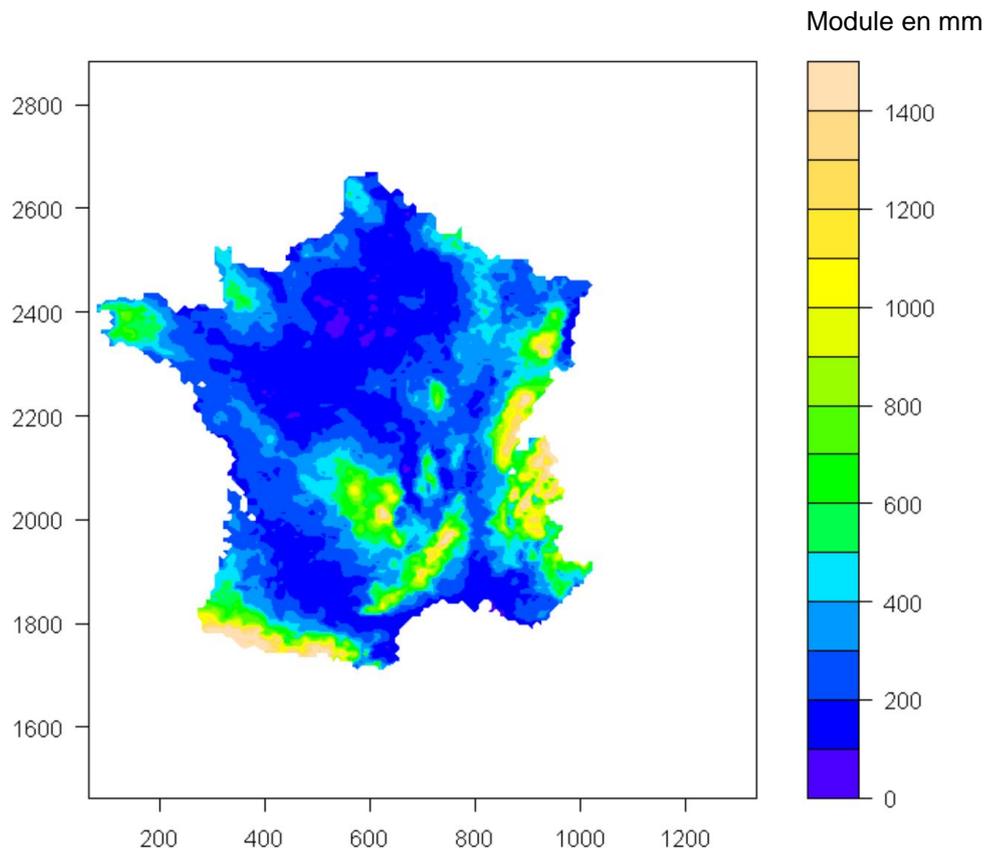


Figure 7 : Cartographie du Module en mm

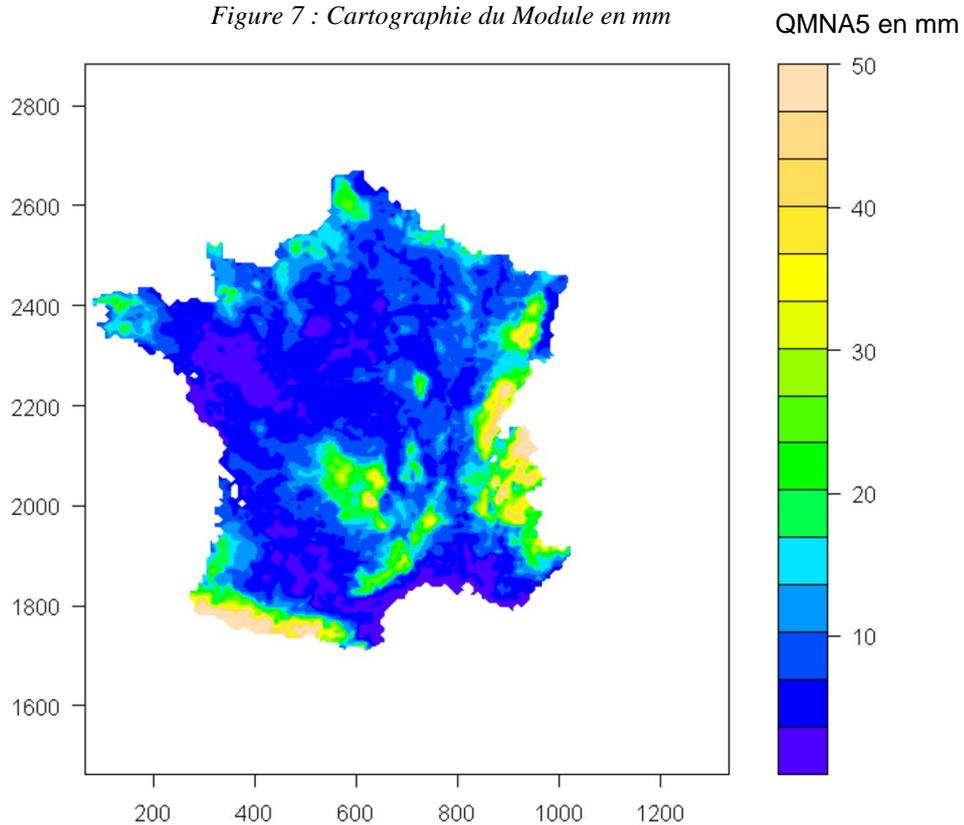


Figure 8 : Cartographie du QMNA5 en mm

## 7 Conclusion et perspectives

L'utilisation des chroniques SAFRAN dans la modélisation hydrologique au pas de temps mensuel s'est montrée pertinente. Par leur disponibilité spatiale et temporelle, la modélisation de la fonction de production a pu être réalisée au pas de temps journalier et distribuée sur chaque pixel défini selon le maillage SAFRAN. Le stockage et la fonte de la neige est lui aussi distribué à chaque pixel. Le fonctionnement du transfert reste quant à lui global au niveau du bassin. Ces modifications ont permis d'améliorer la restitution des chroniques de débits mensuels.

La méthode permet d'expliquer plus de 82 % de la variabilité du module et plus de 66 % de la variabilité du QMNA5 sur des bassins versants non utilisés pour la régionalisation.

Le processus d'élaboration des cartes des deux paramètres privilégie l'émergence d'une tendance régionale globale. La difficulté de l'exercice consiste à fournir une information dans un espace où aucune information hydrométrique n'est disponible. Le contrôle de la qualité de la méthode par validation croisée apporte la confirmation que celle-ci fournit une information pertinente non pas uniquement sur les seuls bassins utilisés pour la régionalisation mais sur tout le territoire étudié.

A l'issue de ce travail, un approfondissement pourrait être mené pour garantir toutes discontinuités graphiques sur le réseau hydrographique : effectuer le transfert à l'échelle de la maille et non plus du bassin.

Nous tenons à remercier les organismes gestionnaires des stations hydrométriques qui ont montré leur intérêt pour la méthode en répondant à nos questionnaires.

## 8 Bibliographie

- Bénichou, P., Le Breton, O. (1987). Prise en compte de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques. *La Météorologie*, 7, série 19, 23-34.
- Burn, D.H. (1990). Evaluation of regional flood frequency analysis with a region of influence approach. *Water Resour. Res.*, Vol. 26(10), 2257-2265
- Folton N., Lavabre J. (2006). Regionalisation of a monthly rainfall-runoff model for the southern half of France based on a sample of 880 gauged catchments. Edition AISH. 307, pp. 264-277.

- Folton N., Lavabre J. (2007). Approche par modélisation pluie-débit pour la connaissance régionale de la ressource en eau: application à la moitié du territoire français. Houille-Blanche, n° 03-2007. p. 64-70.
- Lavabre J., Folton N., Fouchier C. (2003). Connaissance régionale de la ressource en eau de surface : application au quart sud-est français. Hydrology of mediterranean and semi-arid regions, IAHS, n° 278, pp 94-100
- Catalogne C., Sauquet E., 2010 : Interpolation des débits de référence d'étiage. Rapport d'avancement.
- Vidal, J-P., Martin, E., Franchisteguy, L., Baillon, M. & Soubeyroux, J.M. (2010). A 50-year high-resolution atmospheric reanalysis over France with the Safran system. International Journal of Climatology, 30(11): 1627-1644, doi: 10.1002/joc.2003
- Wasson J.G., Chandesris A., Pella H., Souchon Y. (2001). Définition des hydroécorégions françaises. Méthodologie de détermination des conditions de référence au sens de la Directive Cadre pour la gestion des eaux. Rapport d'étude (Cemagref).



**Partenariat 2011**  
*Domaine Hydro-morphologie et altérations  
physiques des hydrosystèmes continentaux  
Action Prédétermination des étiages*



5 square Félix Nadar  
94300 Vincennes  
01 45 14 36 00  
[www.onema.fr](http://www.onema.fr)

92761 Antony cedex  
01 40 96 61 21  
[www.irstea.fr](http://www.irstea.fr)