

## Revue des sciences de l'eau

# Modélisation statistique des modules annuels et des étiages du bassin roumain du Timis-Bega, similitudes régionales avec la Moselle française

G. Galéa, R. Mic et M. Ghioca

Volume 20, numéro 1, 2007

URI : [id.erudit.org/iderudit/015738ar](http://id.erudit.org/iderudit/015738ar)

DOI : [10.7202/015738ar](https://doi.org/10.7202/015738ar)

[Aller au sommaire du numéro](#)

### Éditeur(s)

Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)

ISSN 0992-7158 (imprimé)  
1718-8598 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

### Citer cet article

Galéa, G., Mic, R. & Ghioca, M. (2007). Modélisation statistique des modules annuels et des étiages du bassin roumain du Timis-Bega, similitudes régionales avec la Moselle française. *Revue des sciences de l'eau*, 20(1), 71–88. doi:10.7202/015738ar

Tous droits réservés © Revue des sciences de l'eau, 2007



### Résumé de l'article

Le bassin hydrographique du Timis-Bega, d'une superficie d'environ 13 000 km<sup>2</sup>, est situé à l'ouest de la Roumanie. Le contexte orographique, l'influence climatique méditerranéenne, la nature et l'occupation du sol font que cette zone géographique relativement restreinte présente une assez grande diversité des écoulements. Cette dernière est considérée à travers le choix de 19 sous-bassins, de quelque km<sup>2</sup> à plusieurs centaines de km<sup>2</sup>. La régionalisation des modules et des débits d'étiage du Timis-Bega a été entreprise à la suite de travaux analogues réalisés sur le bassin hydrographique de la Moselle française (GALÉA et CANALI, 2005). Ces travaux avaient montré l'adéquation de la loi de Weibull à deux paramètres pour décrire la variabilité temporelle et spatiale des modules annuels et des étiages des sous-bassins observés. Deux principaux résultats avaient été soulignés, l'un concernait la faible différenciation des lois régionales établies pour les modules et les étiages des années moyennes à « sèches » ( $F \approx 0,5$ ), l'autre mettait l'accent sur l'usage de jaugeages épisodiques d'étiage pour améliorer la performance des modèles régionaux. Notre propos est de vérifier ces considérations, établies pour le bassin de la Moselle, dans le contexte hydro-climatique du Timis-Bega. Les résultats obtenus permettent de confirmer tant l'aspect peu différencié des lois régionales que l'aspect amélioration de la performance des modèles régionaux. Plus précisément, cette amélioration résulte d'une meilleure précision, que celle obtenue par régression multiple classique, de l'estimation du descripteur de régime local, le module annuel médian ou le débit journalier médian d'étiage qui représente une source d'incertitude importante du modèle régional respectif. L'usage d'une information épisodique sur les débits d'étiage, concomitante à un site étudié et à un sous-bassin de référence, permet l'estimation du débit journalier médian et, par extension, celle du module annuel médian. Une explication à cette extension pourrait être trouvée dans la faible différenciation des lois régionales pour les fréquences moyennes à « sèches ». L'intérêt des jaugeages épisodiques d'étiage nous semble assez porteur pour être pris en considération lors d'une démarche ultérieure de régionalisation à bases géostatistiques des descripteurs de régime. Enfin, un résultat inattendu concerne la quasi-similitude des lois régionales de la Moselle et du Timis-Bega diffusées et préservées par les modules annuels que les étiages. Ce résultat, à considérer avec prudence, abonderait dans le sens de la théorie des régions hydrologiques homogènes.

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter en ligne. <https://www.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

Cet article est diffusé et préservé par Érudit.

Érudit est un consortium des universités de la région de la Grande Vallée de la Rivière Saint-Laurent, de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche. [www.erudit.org](http://www.erudit.org)

---

# MODÉLISATION STATISTIQUE DES MODULES ANNUELS ET DES ÉTIAGES DU BASSIN ROUMAIN DU TIMIS-BEGA, SIMILITUDES RÉGIONALES AVEC LA MOSELLE FRANÇAISE

*Annual mean discharge and low flow regionalization of the Romania Timis-Bega catchment and similarities with the French Moselle catchment*

---

G. Galéa<sup>\*1</sup>, R. Mic<sup>2</sup> et M. Ghioca<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Cemagref-Lyon, Unité de Recherche Hydrologie Hydraulique, 3bis quai Chauveau, 69336 Lyon Cedex 09, France

<sup>2</sup>National Institute of Hydrology and Water Management (NIHWM), Sos Bucuresti, Ploiesti 97, 71522 Bucarest, Roumanie

Reçu le 6 septembre 2005, accepté le 2 mai 2006

---

## RÉSUMÉ

Le bassin hydrographique du Timis-Bega, d'une superficie d'environ 13 000 km<sup>2</sup>, est situé à l'ouest de la Roumanie. Le contexte orographique, l'influence climatique méditerranéenne, la nature et l'occupation du sol font que cette zone géographique relativement restreinte présente une assez grande diversité des écoulements. Cette dernière est considérée à travers le choix de 19 sous-bassins, de quelque km<sup>2</sup> à plusieurs centaines de km<sup>2</sup>. La régionalisation des modules et des débits d'étiage du Timis-Bega a été entreprise à la suite de travaux analogues réalisés sur le bassin hydrographique de la Moselle française (GALÉA et CANALI, 2005). Ces travaux avaient montré l'adéquation de la loi de Weibull à deux paramètres pour décrire la variabilité temporelle et spatiale des modules annuels et des étiages des sous-bassins observés. Deux principaux résultats avaient été soulignés, l'un concernait la faible différenciation des lois régionales établies pour les modules et les étiages des années moyennes à « sèches » ( $F \leq 0,5$ ), l'autre mettait l'accent sur l'usage de jaugeages épisodiques d'étiage pour améliorer la performance des modèles régionaux. Notre propos est de vérifier ces considérations, établies pour le bassin de la Moselle, dans le contexte hydro-climatique du Timis-Bega. Les résultats obtenus permettent

de confirmer tant l'aspect peu différencié des lois régionales que l'aspect amélioration de la performance des modèles régionaux. Plus précisément, cette amélioration résulte d'une meilleure précision, que celle obtenue par régression multiple classique, de l'estimation du descripteur de régime local, le module annuel médian ou le débit journalier médian d'étiage qui représente une source d'incertitude importante du modèle régional respectif. L'usage d'une information épisodique sur les débits d'étiage, concomitante à un site étudié et à un sous-bassin de référence, permet l'estimation du débit journalier médian et, par extension, celle du module annuel médian. Une explication à cette extension pourrait être trouvée dans la faible différenciation des lois régionales pour les fréquences moyennes à « sèches ». L'intérêt des jaugeages épisodiques d'étiage nous semble assez porteur pour être pris en considération lors d'une démarche ultérieure de régionalisation à bases géostatistiques des descripteurs de régime. Enfin, un résultat inattendu concerne la quasi similitude des lois régionales de la Moselle et du Timis-Bega tant en ce qui concerne les modules annuels que les étiages. Ce résultat, à considérer avec prudence, abonderait dans le sens de la théorie des régions hydrologiques homogènes.

**Mots clés : Régionalisation, module annuel, étiage, modélisation statistique QdF**

## ABSTRACT

The catchment area of Timis-Bega (13,000 km<sup>2</sup>) is located in the western part of Romania. The orographical context, the Mediterranean climatic influence, the nature of the ground and the vegetation contribute to this relatively restricted geographical area's great diversity of flows. This latter characteristic is based on a study of 19 sub-basins, ranging in size from a few km<sup>2</sup> to several hundred km<sup>2</sup>. The regionalization of annual mean discharge and low flow in the Timis-Bega catchment was undertaken following similar work realized on the French Moselle catchment. This earlier work showed that the two-parameter Weibull distribution adequately described the spatial and temporal variability of annual mean discharge and low flow for the studied sub-catchments. The two principal results of the preceding study were the weak differentiation among the regional models established for annual mean discharge and low flow, and the recommended use of episodic gauging of low flows for the improvement of the regional models. Our intention was to verify these preceding considerations, established for the French Moselle basin, in the hydro-climatic context of Timis-Bega. The results obtained allowed us to confirm the weak differentiation among the regional models as well as the improvement of the regional models. More specifically, this improvement resulted from the better precision, compared to that obtained by traditional multiple regression methods, of the estimation of the local discharge descriptor, the median annual mean discharge or the median minimal daily low flow discharge. The use of low flow episodic discharge measurements, that are concomitant between the studied and reference sub-catchments, allows the estimation of the median minimal daily low flow discharge and the median annual mean discharge. This fortuitous result is explained by the weak differentiation observed between the regional annual mean discharge model and the regional average low flow discharge model for average to dry years. We believe episodic measurements of low flow should be considered when collecting data that will be used for the generation of regionalization flow descriptors by geostatistical methods. Lastly, the similarities between the regional distributions of annual mean discharge and low flow for both the Moselle and Timis-Bega regions were unexpected. This result should, however, be considered with caution, as it implies the existence of homogeneous hydrological regions.

**Key words:** regionalization, annual mean discharge, low flow, statistical QdF modelling.

## 1. AVANT-PROPOS

Notre démarche de régionalisation des modules et des étiages des sous-bassins du Timis-Bega s'inscrit logiquement dans la continuité des travaux menés sur le bassin hydrographique de la Moselle française (GALÉA et CANALI, 2005). Nous avons montré l'adéquation de la loi de Weibull à deux paramètres pour décrire la variabilité temporelle et spatiale des modules annuels et des étiages des sous-bassins observés. Deux principaux résultats avaient été soulignés. L'un concernait la faible différenciation des lois régionales établies pour les modules et les étiages des années moyennes à « sèches » ( $F \leq 0,5$ ), l'autre mettait l'accent sur l'usage de jaugeages épisodiques d'étiage pour améliorer la performance des modèles régionaux. Notre intention est de voir, entre autres, si ces considérations établies pour le bassin de la Moselle se vérifient dans le contexte hydro-climatique du Timis-Bega.

## 2. CONTEXTE GÉNÉRAL ET CHRONIQUES DE DÉBIT DISPONIBLES DES SOUS-BASSINS DU TIMIS-BEGA RETENUS

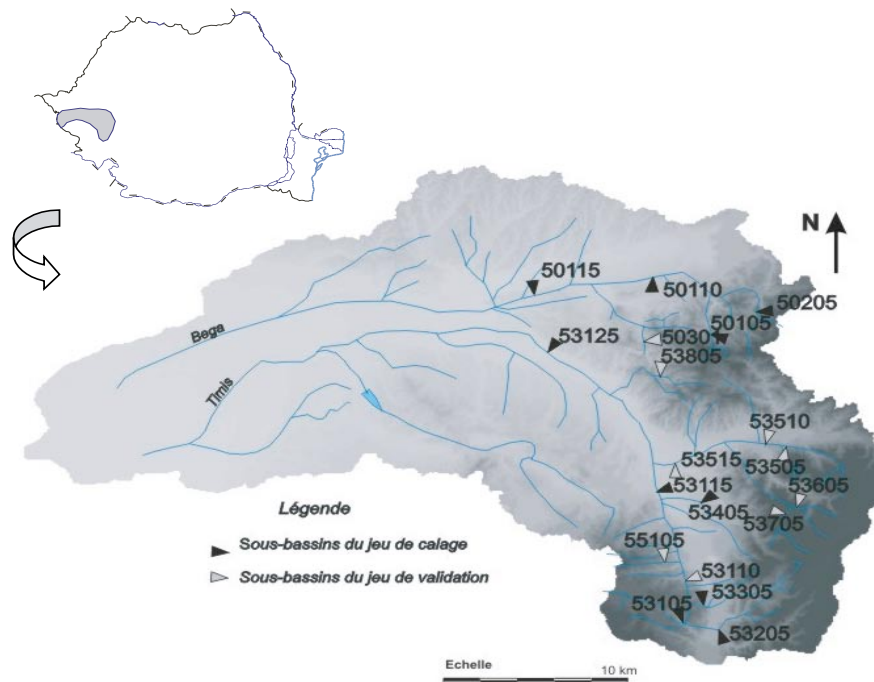
Le bassin hydrographique du Timis-Bega, d'une superficie d'environ 13 000 km<sup>2</sup>, est situé à l'ouest de la Roumanie. Les rivières Timis et Bega drainent respectivement 7 489 km<sup>2</sup> et 5 248 km<sup>2</sup>. L'altitude moyenne ( $Z_m$ ) est de 415 m pour le bassin du Timis et de 236 m pour le bassin du Bega, elle culmine à 2 000 m environ au sud-est du bassin hydrographique. Le substratum d'origine cristalline et éruptive est recouvert de dépôts récents (quaternaires) favorables aux cultures et prairies (51 % de la superficie) ainsi qu'à la forêt (35 % de la superficie). Du réseau d'observation des débits, nous retiendrons 19 sous-bassins (Tableau 1) dont les étiages et les modules annuels ne sont pas influencés (Figure 1), soit 14 sous-bassins pour le bassin du Timis et cinq sous-bassins pour le bassin du Bega. Certains d'entre eux font l'objet d'un suivi de la production des fines, favorisée par la nature du sol et l'influence climatique méditerranéenne sur la région (GALÉA *et al.*, 2004).

La taille, le contexte orographique, la nature et l'occupation du sol des 19 sous-bassins retenus expliquent, entre autres, les écoulements diversifiés qui y sont observés, en crue notamment

**Tableau 1. Présentation des 19 sous-bassins du Timis-Bega retenus.**  
**Table 1. Presentation of the 19 sub-catchments of the Timis-Bega region.**

<i>Bassin hydrographique du Timis : 14 sous-bassins</i>					
Sous-bassins	Code	Observations de débit	S	Zm	
		Période	Durée (an)	(km <sup>2</sup> )	(m)
Timis à TEREKOVA	53105	1953-2001	49	167	906
Timis à SADOVA	53110	1971-2001	31	560	936
Timis à CARANSEBES	53115	1974-2001	28	1 072	769
Timis à LUGOJ	53125	1970-2001	32	2 706	665
Raul Rece à RUSCA	53205	1953-2001	49	163	1157
Fenes à FENES	53305	1964-2001	38	125	973
Sebes à TURNU RUENI	53405	1964-1998	35	122	819
Bistra à VOISLOVA BUCOVEI	53505	1951-2001	51	232	886
Bistra à VOISLOVA	53510	1963-2001	39	404	827
Bistra à OBREJA	53515	1982-2001	20	863	880
Bistra Marului à POIANA MARULUI	53605	1953-2001	49	79	1 442
Sucu à POIANA MARULUI	53705	1953-2001	49	77	1 434
Nadrag à NADRAG	53805	1963-2001	39	35	742
Golet à GOLET	55105	1982-2001	20	41	751
<i>Bassin hydrographique du Bega : 5 sous-bassins</i>					
Sous-bassins	Code	Observations de débit	S	Zm	
		Période	Durée (an)	(km <sup>2</sup> )	(m)
Bega à LUNCANI	50105	1976-2001	26	73,5	739
Bega à FAGET	50110	1974-2001	28	474	470
Bega à BALINT	50115	1970-2001	32	1 064	329
Sasa à POIENI	50205	1966-2001	36	80	763
Gladna à FIRDEA	50301	1980-2001	22	57	456

**Nota** - Parmi ces 19 sous-bassins, deux jeux sont constitués: de 10 (en gris) et 9 sous-bassins, respectivement utilisés pour le calage et la validation des régressions ultérieures.



**Figure 1. Localisation des stations hydrométriques des sous-bassins retenus**  
**Location of the hydrometric measurement stations.**

(MIC et GALÉA, 2004) mais aussi des modules et des étiages. Pour fixer les idées, les modules annuels médians varient de 7 L/s/km<sup>2</sup> à 41 L/s/km<sup>2</sup> et les débits journaliers médians d'étiage varient de 2 L/s/km<sup>2</sup> à 10 L/s/km<sup>2</sup>.

### 3. RÉGIONALISATION DES MODULES DU BASSIN HYDROGRAPHIQUE DU TIMIS – BEGA

#### 3.1 Bassin du Timis : 14 sous-bassins

Pour chacun des 14 sous-bassins, la distribution théorique des modules annuels échantillonnés sur la période d'observation (Tableau 1) est représentée par une loi de Weibull à deux paramètres :

$$QA_L(U_F) = \beta_L U_F^{1/\alpha_L} \quad (1)$$

où :  $U_F = -\ln(1-F)$  avec  $F$  : fréquence au non-dépassement;  $QA_L(U_F)$  = Quantile théorique de module annuel, localement « observé », déduit des observations de débit (m<sup>3</sup>/s).

Nous avons choisi la loi de Weibull à deux paramètres par antériorité (GALÉA et CANALI, 2005) et parce qu'elle est conseillée par un groupe de travail (MASSON *et al.*, 1994). C'est une loi simple, adaptée à l'étude fréquentielle des débits

de faible valeur, ce qui est le cas des modules, notamment en années sèches, ainsi que des étiages sévères.

Pour obtenir les paramètres  $\alpha_R$  et  $\beta_R$  de la loi régionale (2) des modules annuels du bassin du Timis (Tableau 2 et Figure 2a), nous avons appliqué aux modules (et ultérieurement aux étiages) la méthode de l'indice de crue de DALRYMPLE (1960). Les paramètres régionaux  $\alpha_R$  et  $\beta_R$  résultent respectivement de la moyenne des paramètres  $\alpha_L$  et  $\beta_L^*$  ( $\beta_L / \overline{QA_L}$ ) des sous-bassins, pondérés par le nombre d'années d'observation.

$$QA_R(U_F) = \left( \beta_R U_F^{(1/\alpha_R)} \right) \overline{QA_{site}} \quad (2)$$

où :  $QA_R(U_F)$  = Quantile de module déduit de la loi régionale, en un site quelconque observé ou non (m<sup>3</sup>/s).

Pour une période d'observation plus homogène (Figure 2b) et ainsi éviter un éventuel biais temporel dans l'approche régionale des modules, la loi de Weibull a été ajustée sur les 22 dernières années communes (1980-2001), excepté pour trois des sous-bassins (cf. tableau 1). Nous noterons une relative sensibilité des paramètres locaux et régionaux à la durée d'observation considérée (Tableaux 2 et 3).

#### 3.2 Bassin du Bega : 5 sous-bassins

De même que précédemment, les paramètres des modélisations effectuées sont plus ou moins sensibles à la période d'observation (Tableau 4).

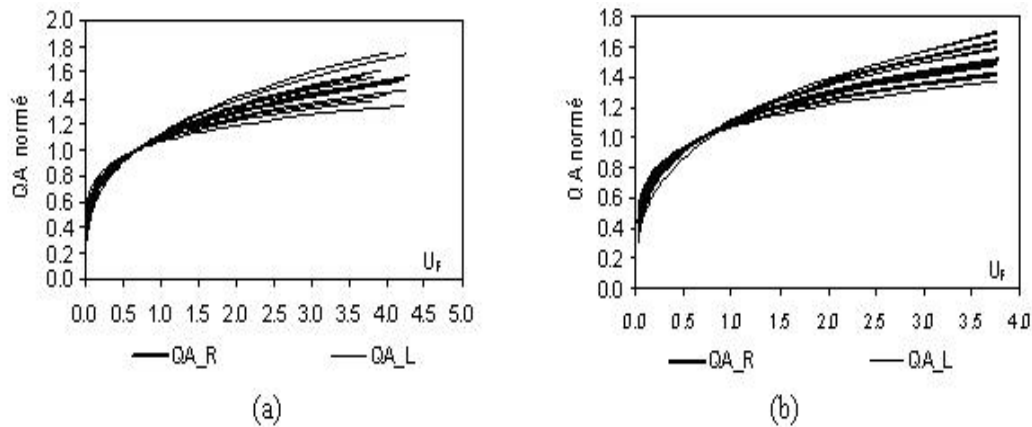
**Tableau 2. Paramètres locaux et régionaux de la loi sur les modules (durée : cf. Tableau 1).**

**Table 2. Local and regional parameters of the annual mean discharge distribution (chronicle: cf. Table 1).**

Station	53105	53110	53115	53125	53205	53305	53405	53505	53510	53515	53605	53705	53805	55105
S (km <sup>2</sup> )	73,5	560	1 072	2 706	163	125	122	232	404	863	79	77	35	41
Paramètres locaux (1) et quantile médian $\overline{QA_L}$														
$\alpha_L$	3,28	5,26	3,70	3,83	6,14	4,95	3,61	4,06	4,25	3,62	4,77	4,14	3,12	3,64
$\beta_L$ (m <sup>3</sup> /s)	2,49	11,5	21,1	44,5	5,06	3,07	3,20	4,30	7,55	12,9	3,05	3,41	0,799	0,759
$\overline{QA_L}$ (m <sup>3</sup> /s)	2,23	10,7	19,1	40,5	4,76	2,85	2,89	3,93	6,93	11,7	2,82	3,12	0,710	0,686
$\beta_L^*$	1,12	1,07	1,10	1,10	1,06	1,08	1,11	1,09	1,09	1,11	1,08	1,09	1,12	1,11
<i>Paramètres Régionaux : <math>\alpha_R = 4,24</math> et <math>\beta_R = 1,09</math></i>														

**Tableau 3. Paramètres locaux et régionaux de la loi de Weibull sur les modules (1980-2001).**  
**Table 3. Local and regional parameters of the Weibull distribution of annual mean discharge (1980-2001).**

Station	53105	53110	53115	53125	53205	53305	53405	53505	53510	53515	53605	53705	53805	55105
S (km <sup>2</sup> )	73,5	560	1 072	2 706	163	125	122	232	404	863	79	77	35	41
Paramètres locaux (1) et quantile médian $\overline{QA}_L$														
$\alpha_L$	3,21	4,94	3,45	3,67	5,34	4,66	3,38	4,35	4,22	3,62	4,75	4,08	2,98	3,64
$\beta_L$ (m <sup>3</sup> /s)	2,06	11,0	20,6	42,8	4,76	2,95	3,16	4,31	7,18	12,9	2,99	3,44	0,74	0,76
$\overline{QA}_L$ (m <sup>3</sup> /s)	1,84	10,2	18,5	38,7	4,45	2,73	2,84	3,96	6,58	11,7	2,77	3,15	0,678	0,686
$\beta_L^*$	1,12	1,08	1,11	1,11	1,07	1,08	1,11	1,09	1,09	1,11	1,08	1,09	1,09	1,11
Paramètres Régionaux : $\alpha_R = 4,03$ et $\beta_R = 1,10$														



**Figure 2. Loi régionale des modules : a) chronique complète (cf. tableau 1) et b) période 1980-2001 pour le bassin du Timis.**  
**Regional distribution of the annual mean discharges: a) time series available (cf Table 1) and b) period 1980- 2001 for the Timis catchment.**

### 3.3 Bassin hydrographique du Timis-Bega : modèle régional des modules

Le biais temporel éventuel sur les paramètres de la loi régionale des bassins du Timis et du Bega est faible (Tableaux 2 et 3, Tableau 4). Pour plus d'objectivité sur le choix du modèle régional du Timis-Bega, nous retiendrons les résultats associés à la période d'observation commune aux deux bassins (1980-2001). Les lois régionales des modules du Timis et du Bega sont peu différenciées, notamment pour les faibles valeurs de  $U_f$  (Figure 3).

Un critère d'erreur quadratique moyenne (3), inspiré des critères utilisés par OUARDA et ASHKAR (1994), permet

d'apprécier l'adéquation du calage des modèles régionaux (Tableau 5). Ce critère d'erreur ( $Er$ ) a été appliqué entre quantiles « observés » (1) et quantiles déduits de la loi régionale (2) où  $\overline{QA}_{site}$  est connu grâce aux observations.

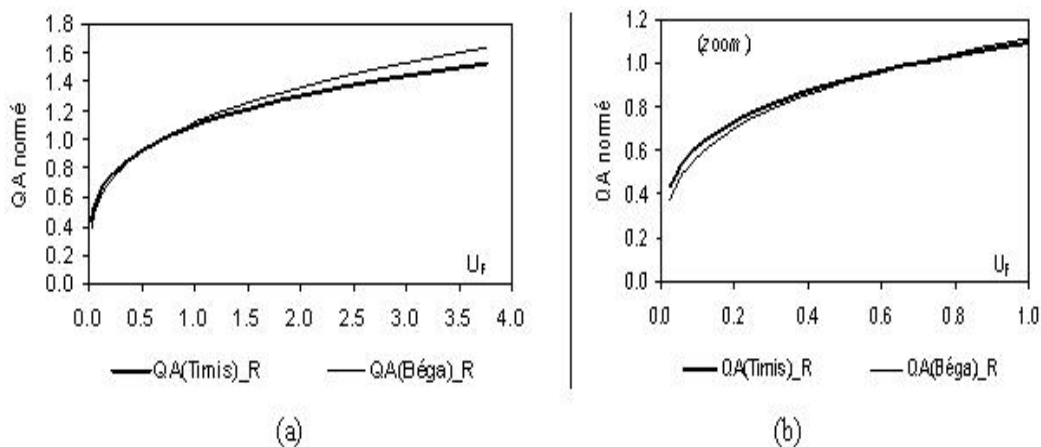
$$Er_{\text{Bassin}} (\%) = 100 * \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^s \sum_{i=1}^n \left( \frac{QA_{m_L}(U_{Fi}) - QA_{m_R}(U_{Fi})}{QA_{m_L}(U_{Fi})} \right)^2}{\sum_{m=1}^s n_m}} \quad (3)$$

avec  $s$ , le nombre de sous-bassins par bassin;  $n$ , le nombre d'années de la période d'observation considérée.

**Tableau 4. Paramètres locaux et régionaux de la loi de Weibull sur les modules – influence de différentes périodes d'observation.**

**Table 4. Local and regional parameters of the Weibull distribution of annual mean discharge – influence of different observation periods.**

Station	50105	50110	50115	50205	50301	50105	50110	50115	50205	50301
Période	1976-2001	1974-2001	1970-2001	1966-2001	1980-2001	1980-2001				
S (km <sup>2</sup> )	73,5	474	1 064	80	57	73,5	474	1 064	80	57
Paramètres locaux (1) et quantile médian $\overline{QA}_L$										
$\alpha_L$	4,55	3,56	2,80	3,12	2,87	4,61	3,47	3,07	3,27	2,87
$\beta_L$ (m <sup>3</sup> /s)	1,49	5,66	8,52	1,36	0,63	1,46	5,32	7,86	1,20	0,63
$\overline{QA}_L$ (m <sup>3</sup> /s)	1,38	5,10	7,47	1,21	0,55	1,35	4,78	6,97	1,07	0,55
$\beta^*_L$	1,08	1,11	1,14	1,12	1,14	1,08	1,11	1,13	1,12	1,14
Paramètres Régionaux : $\alpha_R = 3,36$ et $\beta_R = 1,12$						Paramètres Régionaux : $\alpha_R = 3,46$ et $\beta_R = 1,12$				



**Figure 3. Loïs régionales sur les modules des bassins du Timis et du Bega (1980-2001); (a)  $0 < U_f < 4,0$  et (b)  $0 < U_f < 1,0$ .**

*Regional distribution of the annual mean discharges for the Timis and Bega catchments; (a)  $0 < U_f < 4.0$  and (b)  $0 < U_f < 1.0$ .*

**Tableau 5. Erreur quadratique moyenne sur les modules de chaque bassin.**

**Table 5. Average quadratic error on the annual mean discharges quantiles for each catchment.**

Bassin du Timis (14 sous-bassins)			Bassin du Bega (5 sous-bassins)		
Erreur quadratique (%) (Éq. 3)			Erreur quadratique (%) (Éq. 3)		
$\forall F_i$ confondues	$\forall F_i > 0,5$	$\forall F_i < 0,5$	$\forall F_i$ confondues	$\forall F_i > 0,5$	$\forall F_i < 0,5$
5,6	3,5	7,1	5,5	4,0	6,6

Ce critère d'erreur à l'échelle des bassins du Timis et du Bega peut être diversifié pour les sous-bassins du Timis, par exemple (Tableau 6).

Les résultats précédemment obtenus nous permettent de considérer que le bassin hydrographique du Timis-Bega est une région hydrologique homogène pour laquelle un seul modèle régional des modules peut être envisagé. Si chaque bassin joue tour à tour un rôle de calage et de validation, nous pouvons noter les incertitudes qui en résultent (Tableau 7).

Comparativement aux incertitudes régionales (Tableau 5), nous en déduisons que le modèle régional des modules du Bega est représentatif du bassin hydrographique du Timis-Bega. Ce modèle, appliqué au bassin du Timis, dégrade peu les quantiles « humides » ( $F_i > 0,5$ ) et pas du tout les quantiles « secs » ( $F_i < 0,5$ ). Une illustration peut en être donnée pour des quantiles « secs » et des quantiles « humides » particuliers du bassin du Timis (Figure 4). Nous comparons les quantiles « observés » (Éq. 1) aux quantiles régionalisés (Éq. 2). La comparaison est effectuée dans un premier temps avec les quantiles régionalisés selon le modèle du Bega (validation), et, dans un deuxième temps, selon le modèle du Timis (adéquation du calage). La bonne correspondance observée entre calage et validation nous permet de retenir pour le bassin hydrographique du Timis-Bega le modèle régional des modules de paramètres  $\alpha_R = 3,46$  et  $\beta_R = 1,12$  (Tableau 4).

## 4. RÉGIONALISATION DES ÉTIAGES DU BASSIN HYDROGRAPHIQUE DU TIMIS-BEGA

### 4.1 Modélisation débit-durée-fréquence (QdF) locale des étiages

Elle concerne 13 sous-bassins du Timis et les cinq sous-bassins du Bega. Pour le quatorzième sous-bassin du Timis (55105), en effet, l'adéquation de la loi de Weibull n'est pas vérifiée.

Pour ce qui concerne les étiages, nous nous intéressons à une variable caractéristique d'étiage, le débit moyen minimum sur une durée continue  $d$ , noté  $VCN_d$ . Cette variable associée à  $d$  est extraite par échantillonnage annuel, noté  $vcn_d$ , de la chronique de débits journaliers. Dans le cas de notre étude, nous étudierons plus précisément les durées  $d$  de 1 j, 3 j, 6 j, 10 j, 30 j et 90 jours.

Pour les étiages, comme pour les modules annuels, c'est la loi de Weibull à deux paramètres (Éq. 4) qui a été choisie et nous noterons  $V_d(U_F)$  les quantiles théoriques associés à l'échantillon  $vcn_d$ .

$$V_d(U_F) = \beta_d U_F^{1/\alpha_d} \quad (4)$$

**Tableau 6. Erreur quadratique moyenne par sous-bassin du Timis.**

**Table 6. Average quadratic error for each Timis sub-catchment.**

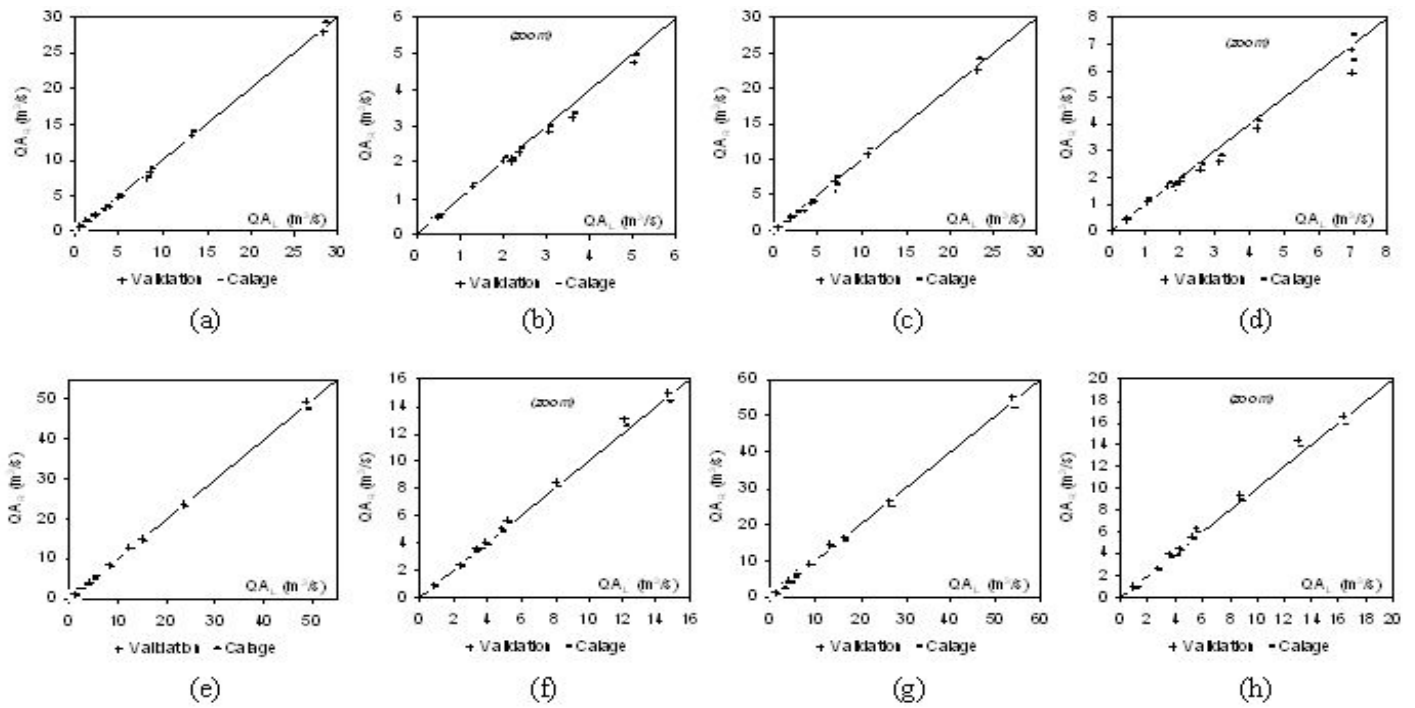
Station	53105	53110	53115	53125	53205	53305	53405	53505	53510	53515	53605	53705	53805	55105
S (km <sup>2</sup> )	73,5	560	1072	2706	163	125	122	232	404	863	79	77	35	41
Bassin du Timis : Erreur quadratique moyenne par sous-bassin (%)														
$\forall F_i$ confondues	8,0	5,4	5,1	2,9	7,0	3,9	6,0	2,2	1,3	3,4	4,4	0,5	12,8	3,1
$\forall F_i > 0,5$	5,2	3,9	3,4	2,4	5,7	3,2	3,7	1,5	1,1	2,6	3,4	0,7	4,7	2,6
$\forall F_i < 0,5$	10,0	6,5	6,4	3,2	8,1	4,5	7,7	2,7	1,5	3,9	5,2	0,3	17,5	3,6

**Tableau 7. Erreur quadratique moyenne sur les modules du bassin du Timis-Bega.**

**Table 7. Average quadratic error on the annual mean discharges quantiles of the Timis-Bega catchment.**

Bassin du Timis (14 sous-bassins)			Bassin du Bega (5 sous-bassins)		
Er. quadratique (%), avec paramètres régionaux Bega			Er. quadratique (%), avec paramètres régionaux Timis		
$\forall F_i$ confondues	$\forall F_i > 0,5$	$\forall F_i < 0,5$	$\forall F_i$ confondues	$\forall F_i > 0,5$	$\forall F_i < 0,5$
6,4	5,4	7,3	8,5	5,3	10,8





**Figure 4.** Comparaison des quantiles « observés » et régionalisés sur le bassin du Timis; (a) QA «sec» T = 5 ans; (b) QA «sec» T = 5 ans; (c) QA «sec» T = 10 ans; (d) QA «sec» T = 10 ans; (e) QA «humide» T = 5 ans; (f) QA «humide» T = 5 ans; (g) QA «humide» T = 10 ans; (h) QA «humide» T = 10 ans.

*Comparison of local and regional quantiles for the Timis catchment; (a) QA «dry» T = 5 yr; (b) QA «dry» T = 5 yr; (c) QA «dry» T = 10 yr; (d) QA «dry» T = 10 yr; (e) QA «humid» T = 5 yr; (f) QA «humid» T = 5 yr; (g) QA «humid» T = 10 yr; (h) QA «humid» T = 10 yr.*

Une modélisation statistique peut être généralisée à l'ensemble des durées  $d$  par calage d'une fonction locale  $V_L(d, U_F)$  sur les échantillons  $vcn_d$ . Cette modélisation fait référence à l'analyse QdF qui, d'une manière générale, fournit une description fréquentielle théorique multi-durée des quantiles de crue ou d'étiage, et ce, indépendamment des lois de probabilité retenues (JAVELLE, 2001). Le concept de modélisation (GALÉA *et al.*, 2000) repose sur une propriété observée des différents ajustements  $V_d(U_F)$  à converger vers les fortes périodes de retour des années « sèches » et sur une propriété d'affinité orthogonale des lois de probabilité théorique relatives aux échantillons  $vcn_d$  (GALÉA et CANALI, 2005). L'application du modèle QdF convergent nous permet de donner une description théorique (Éq. 5) selon  $V_L(d, U_F)$  des régimes d'étiage observés.

$$V_L(d, U_F) = \beta^c U_F^{1/\alpha^c} \overline{vcn}_{d=1} \left( \frac{d-1}{\Delta e} + 1 \right) \quad (5)$$

avec  $\beta^c U_F^{1/\alpha^c}$ , la distribution théorique locale adimensionnelle des débits d'étiage consolidée par modélisation (GALÉA et CANALI, 2005), car toutes les durées de 1 j à 90 j participent à l'estimation des deux paramètres de la distribution théorique;  $\Delta e$ , le paramètre à caler sur les échantillons  $vcn_d$  constitués, homogène à un temps et relié à la dynamique des étiages. Autrement dit, il permet de déduire, de la distribution théorique

consolidée des débits journaliers d'étiage ( $\beta^c U_F^{1/\alpha^c} \overline{vcn}_{d=1}$ ), les distributions relatives à  $d = 3, 6, \dots, 90$  j.

#### 4.2 Modélisation QdF régionale des étiages

Les paramètres régionaux  $\alpha_R$  et  $\beta_R$  du Timis et du Bega sont estimés à partir d'une moyenne pondérée (nombre d'années d'observation) des paramètres consolidés  $\beta^c$  et  $\alpha^c$  (Tableau 8). Pour chaque bassin, un modèle régional permet d'estimer les quantiles d'étiage des sites particuliers (Éq. 6).

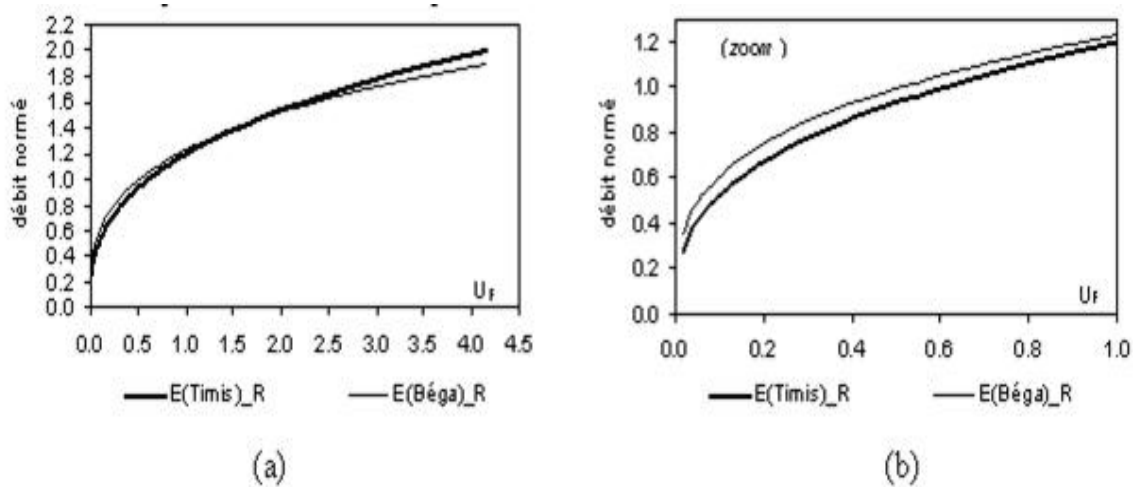
$$V_R(d, U_F) = \beta_R U_F^{1/\alpha_R} \overline{V}_{d=1, \text{site}} \left( \frac{d-1}{\Delta e_{\text{site}}} + 1 \right) \quad (6)$$

où  $\beta_R U_F^{1/\alpha_R}$ , la distribution théorique régionale des débits d'étiage;  $\overline{V}_{d=1, \text{site}}$ , le quantile journalier d'étiage médian déduit de (Éq. 4) ou estimé (cf. ultérieurement);  $\Delta e_{\text{site}}$ , le temps caractéristique d'étiage déduit des observations (Éq. 5) ou estimé (cf. ultérieurement).

Un critère d'erreur quadratique moyenne, analogue à celui des modules (Éq. 3), appliqué aux sous-bassins du Timis et du Bega entre quantiles théoriques locaux (Éq. 5) et régionaux (Éq. 6) permet d'apprécier l'adéquation des modèles régionaux (Tableau 8) ainsi que le caractère hydrologique homogène de la région (Figure 5).

**Tableau 8. Erreur quadratique moyenne sur les quantiles d'étiage de chaque bassin.****Table 8. Average quadratic error on low flow quantiles for each catchment.**

Bassin du Timis (13 sous-bassins)			Bassin du Bega (5 sous-bassins)		
Paramètres régionaux			Paramètres régionaux		
$\alpha_R = 2,78$ et $\beta_R = 1,20$			$\alpha_R = 3,25$ et $\beta_R = 1,23$		
Erreur quadratique (%)			Erreur quadratique (%)		
$\forall F_i$ confondues	$\forall F_i > 0,5$	$\forall F_i < 0,5$	$\forall F_i$ confondues	$\forall F_i > 0,5$	$\forall F_i < 0,5$
10,1	9,3	10,8	6,1	5,2	6,9



**Figure 5. Lois régionales sur les étiages des bassins du Timis et du Bega; (a)  $0 < U_f < 4,5$  et (b)  $0 < U_f < 1,0$ .**  
*Low flow regional distributions for the Timis and Bega catchments; (a)  $0 < U_f < 4.5$  et (b)  $0 < U_f < 1.0$ .*

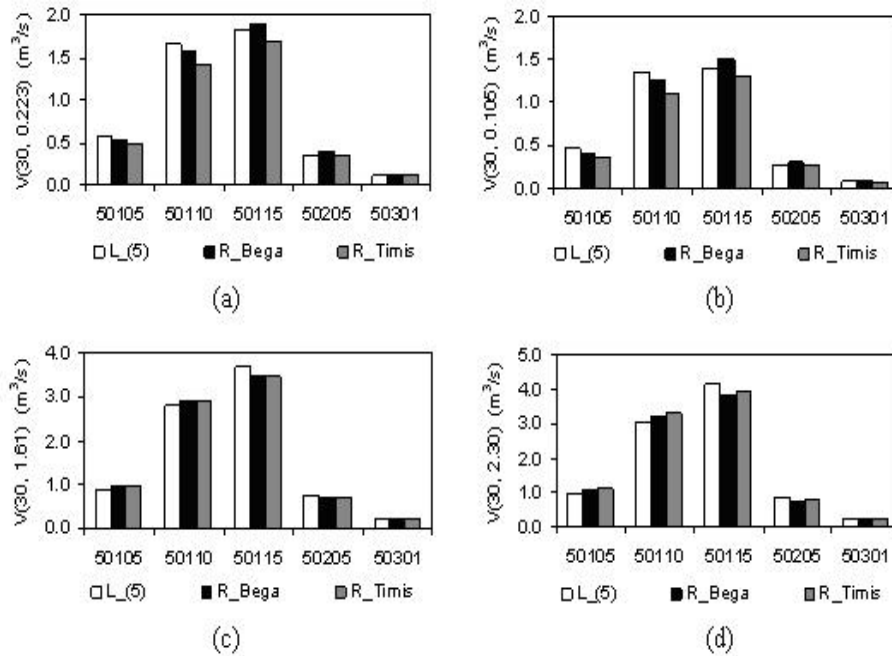
**Tableau 9. Erreur quadratique moyenne sur les quantiles d'étiage du Timis-Bega.****Table 9. Average quadratic error on low flow quantiles of the Timis-Bega catchment.**

Bassin du Timis (13 sous-bassins)			Bassin du Bega (5 sous-bassins)		
Er. Quadratique (%), avec paramètres régionaux Bega			Er. quadratique (%), avec paramètres régionaux Timis		
$\forall F_i$ confondues	$\forall F_i > 0,5$	$\forall F_i < 0,5$	$\forall F_i$ confondues	$\forall F_i > 0,5$	$\forall F_i < 0,5$
16,3	9,7	20,9	9	5,9	11,3

L'application du modèle régional d'étiage du Bega aux sous-bassins du Timis et *vice-versa* accroît significativement l'erreur quadratique moyenne des quantiles « secs » en particulier (Tableaux 8 et 9).

Le choix d'un modèle régional d'étiage unique pour le bassin hydrographique du Timis-Bega est cependant possible. En effet, la généralisation du modèle régional d'étiage du

bassin du Timis ( $\alpha_R = 2,78$  et  $\beta_R = 1,20$ ) au bassin du Bega ne dégrade pas l'estimation des quantiles « humides » ( $\forall F_i > 0,5$ ). Seuls les quantiles « secs » ( $\forall F_i < 0,5$ ) voient leur estimation sensiblement dégradée, conformément à la différenciation des modèles régionaux (Figure 5), mais cela reste tout de même acceptable. Nous en donnons une illustration pour la norme d'usage : le débit moyen d'étiage de 30 jours (Figure 6).



**Figure 6.** Comparaison des quantiles d'étiage sur 30 jours pour le bassin du Bega; (a) quinquennal «sec»; (b) décennal «sec»; (c) quinquennal «humide»; (d) décennal «humide»;  
*Comparison of low flow 30-day quantiles for the Bega catchment; (a) five-year «dry»; (b) 10-year «dry»; (c) 5-year «humid»; (d) 10-year «humid».*

## 5. SIMILITUDES RÉGIONALES AVEC LE BASSIN DE LA MOSELLE

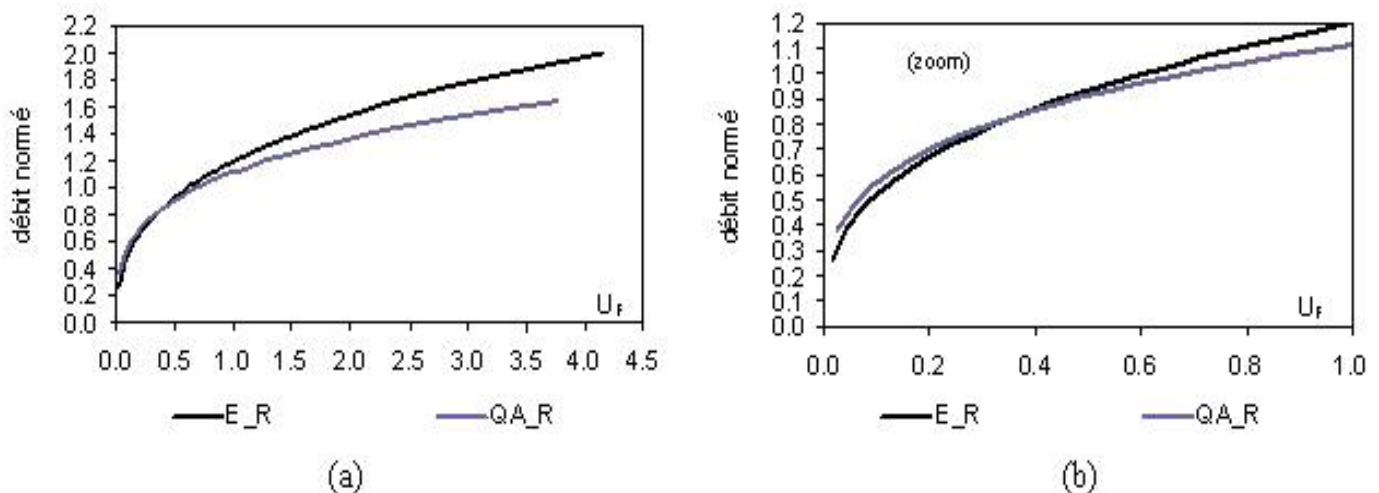
(Figure 7). Ce résultat est à rapprocher de celui trouvé pour le bassin hydrographique de la Moselle française (GALÉA et CANALI, 2005).

### 5.1 Différenciation des lois régionales sur les modules et les étiages du Timis-Bega

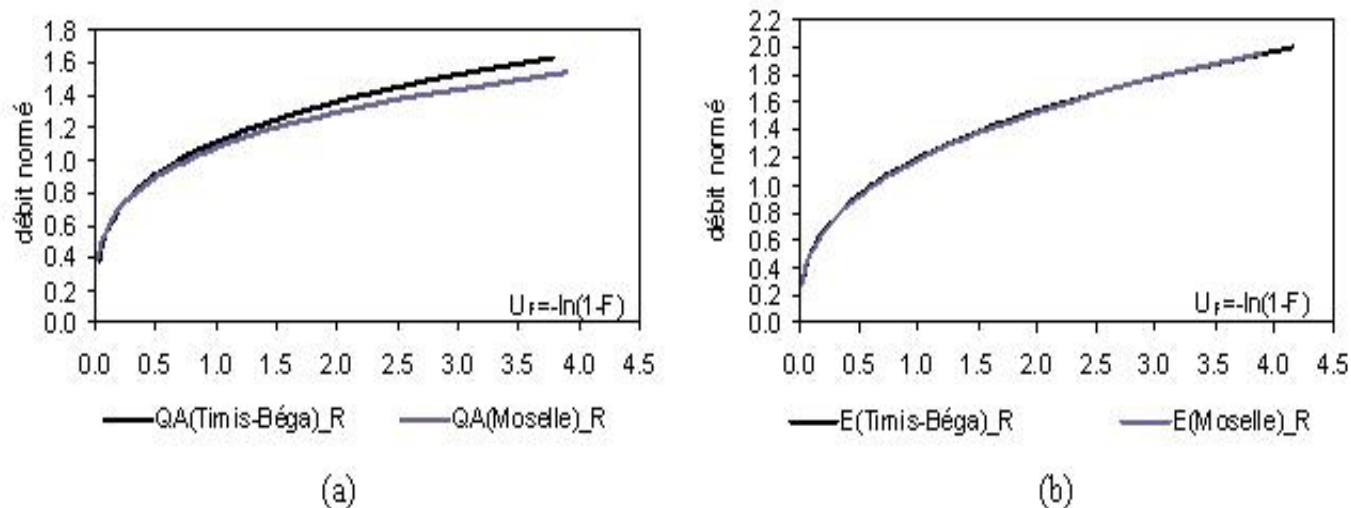
Les lois régionales établies pour les modules annuels et les étiages du Timis-Bega montrent une faible différenciation pour les quantiles des années moyennes à « sèches » ( $\forall U_f < 0,7$ ), ce qui n'est pas le cas pour les quantiles des années « humides »

### 5.2 Comparaison des lois régionales du Timis-Bega et de la Moselle

Nous notons la quasi similitude des lois régionales du Timis-Bega et de la Moselle, tant en ce qui concerne les modules que les étiages (Figure 8). C'est un résultat inattendu, d'autant plus qu'il s'agit de deux entités géographiques contrastées, entre



**Figure 7.** Comparaison des lois régionales sur les modules et étiages du Timis-Bega; (a)  $0 < U_f < 4,5$  et (b)  $0 < U_f < 1,0$ .  
*Comparison of regional distributions of annual mean discharge and low flow in the Timis-Bega catchment; (a)  $0 < U_f < 4.5$  and (b)  $0 < U_f < 1.0$ .*



**Figure 8.** Comparaison des lois régionales des bassins hydrographiques du Timis-Béga et de la Moselle; (a) lois régionales sur QA et (b) lois régionales d'étiage.  
*Comparison of regional distributions for the Timis-Béga and Moselle catchments (a) QA regional distributions and (b) low flow regional distributions.*

autres, par le climat et le régime des crues (MIC et GALÉA, 2004; GALÉA et BLUM, 2005). Par référence à certains travaux sur la modélisation statistique des crues, nous pourrions avancer deux éléments d'explication. Cela militerait, d'une part, pour la théorie des régions hydrologiques homogènes (RIBEIRO-CORRÉA *et al.*, 1995; OUARDA *et al.*, 2001) et, d'autre part, pour le concept de modélisation QdF à référence typologique (MIC *et al.*, 2002).

## 6. ESTIMATION DES DESCRIPTEURS DE RÉGIME

### 6.1 Estimation du module médian d'un sous-bassin non observé

Pour estimer les quantiles du module annuel en un site donné, le modèle régional (Éq. 2) est proposé avec la régression linéaire sur variables normalisées (Éq. 7). Les coefficients de corrélation partielle  $R_S$  (0,985) et  $R_{Z_m}$  (0,869) sont significatifs. Ils sont en effet supérieurs à  $R$  (0,76), coefficient relatif au test de validité des coefficients de corrélation partielle au seuil d'erreur de 1 % de la variable de STUDENT. La relation (7) explique 97 % de la variance du module médian et pour un intervalle de confiance raisonnable (70 %), la vraie valeur de  $\overline{QA}$  est comprise entre 0,80 fois et 1,24 fois la valeur estimée selon l'équation 7. Au tableau 10, nous présentons le contrôle du calage de la relation (Éq. 7).

$$\overline{QA}_{\text{site}} = 1,51 \cdot 10^{-5} S Z_m^{1,05} \quad (7)$$

avec  $S$ , la Superficie (km<sup>2</sup>);  $Z_m$ , l'altitude moyenne (m).

L'erreur quadratique moyenne obtenue en validation est du même ordre de grandeur (Tableau 11).

Ultérieurement, nous vérifierons une procédure mise en œuvre pour le bassin hydrographique de la Moselle (GALÉA et CANALI, 2005) et qui permet, à partir de quelques mesures d'étiage par an concomitantes au site non observé et aux sous-bassins observés, une estimation appréciable du module médian. Nous nous intéresserons en particulier au sous-bassin 53105 du jeu de calage et au sous-bassin 53515 du jeu de validation pour lesquels l'estimation selon (7) induit la plus forte erreur relative sur le module médian.

### 6.2 Estimation du quantile journalier médian d'étiage d'un sous-bassin non observé

Pour estimer les quantiles d'étiage, le modèle régional (Éq. 6) est proposé avec l'équation 8, régression multiple ( $R^2 = 0,97$ ) qui permet d'estimer, en l'absence d'observation de débit, le quantile journalier médian d'étiage en un site donné  $\overline{V}_{d=1,\text{site}}$ . Comme précédemment, pour le module médian, les coefficients de corrélation partielle  $R_S$  (0,985) et  $R_{I_b}$  (0,843) sont significatifs, l'intervalle de confiance à 70 % est comparable. Le tableau 12 présente le contrôle du calage de la relation (8).

$$\overline{V}_{d=1,\text{site}} = 7 \cdot 10^{-5} S^{0,87} I_b^{0,85} \quad (8)$$

avec  $S$ , la Superficie (km<sup>2</sup>);  $I_b$ , la pente moyenne du sous-bassin (%<sup>0</sup>).

En ce qui concerne le jeu de validation (Tableau 13), nous rappelons que la loi de Weibull à deux paramètres n'est pas

**Tableau 10. Calage de la relation (Éq. 7).**  
**Table 10. Calibration of the relationship (Eq. 7)**

Code	50105	50110	50115	50205	53105	53115	53125	53205	53305	53405
S (km <sup>2</sup> )	73.5	474	1064	80	167	1 072	2 706	163	125	122
$\overline{QA}$ (Éq. 1) observé (m <sup>3</sup> /s)	1,35	4,78	6,97	1,07	1,84	18,5	38,7	4,45	2,73	2,84
$\overline{QA}$ (Éq. 7) (m <sup>3</sup> /s)	1,14	4,58	7,07	1,29	3,21	17,4	37,6	4,06	2,59	2,11
Erreur relative (%)	16	4	-1	-21	-74	6	3	9	5	26
Erreur quadratique (%)	<b>19</b>									

**Tableau 11. Validation de la relation (7).**  
**Table 11. Validation of the relationship (7).**

Code	50301	53110	53505	53510	53515	53605	53705	53805	55105	
S (km <sup>2</sup> )	57	560	232	404	863	79	77	35	41	
$\overline{QA}$ (1) observé (m <sup>3</sup> /s)	0,550	10,2	3,96	6,58	11,7	2,77	3,15	0,680	0,690	
$\overline{QA}$ (7) (m <sup>3</sup> /s)	0,530	11,2	4,36	7,06	16,1	2,48	2,40	0,550	0,650	
Erreur relative (%)	4	-10	-10	-7	-38	10	24	19	6	
Erreur quadratique (%)	<b>17</b>									

**Tableau 12. Calage de la relation (8).**  
**Table 12. Calibration of the relationship (8).**

Code	50105	50110	50115	50205	53105	53115	53125	53205	53305	53405
S (km <sup>2</sup> )	73.5	474	1 064	80	167	1 072	2 706	163	125	122
$\overline{V}_{d=1}$ (4) observé (m <sup>3</sup> /s)	0,633	1,81	2,08	0,417	0,440	3,63	8	1,04	0,646	0,633
$\overline{V}_{d=1}$ (8) (m <sup>3</sup> /s)	0,460	1,39	2,13	0,440	0,530	3,84	7,85	1,08	0,760	0,660
Erreur relative (%)	27	23	-2	-6	-20	-6	2	-4	-18	-4
Erreur quadratique (%)	<b>15</b>									

**Tableau 13. Validation de la relation (8).**  
**Table 13. Validation of the relationship (8).**

Code	50301	53110	53505	53510	53515	53605	53705	53805	55105
S (km <sup>2</sup> )	57	560	232	404	863	79	77	35	41
$\bar{V}_{d=1}$ (4) observé (m <sup>3</sup> /s)	0,128	2,38	0,839	1,50	2,69	0,759	0,784	0,144	0,136
$\bar{V}_{d=1}$ (8) (m <sup>3</sup> /s)	0,210	2,32	1,29	1,99	3,64	0,640	0,510	0,310	0,370
Erreur relative (%)	-64	3	-54	-33	-35	16	35	-115	-172
Erreur quadratique (%)	55								

acceptable pour décrire les étiages du sous-bassin 55105. La valeur du quantile journalier médian peut être cependant approchée à partir de la médiane de l'échantillon.

L'erreur quadratique de 55 % sur le jeu de validation (huit sous-bassins) est à relativiser dans la mesure où nous sommes en présence de faibles débits. Ce qui est à rechercher est essentiellement l'ordre de grandeur et nous verrons ultérieurement comment cela peut être amélioré à partir d'une information épisodique sur les étiages des sous-bassins. Comme pour les modules, nous nous intéresserons aux sous-bassins présentant la plus forte erreur relative sur l'estimation de  $\bar{V}_{d=1}$ .

### 6.3 Estimation du temps caractéristique d'étiage $\Delta e$

Pour le temps caractéristique d'étiage, nous avons été amené à différencier son estimation, en fonction de l'altitude moyenne, selon qu'il s'agisse des sous-bassins du Timis (Éq. 9) ou du Bega (Éq. 10).

$$\Delta e_{\text{site(Timis)}} = 7,17 Z m^{0,4} \quad (9)$$

$$\Delta e_{\text{site(Bega)}} = 7,10 Z m^{0,55} \quad (10)$$

Pour le bassin du Timis, la relation (9) a été calée sur huit des 14 sous-bassins et validée sur les six autres. Pour le bassin du Bega, la relation (10) a été exclusivement calée, étant donné le faible nombre de sous-bassins (Tableau 14).

L'incertitude sur ce paramètre est acceptable compte tenu de sa relative faible sensibilité dans le modèle d'étiage (GALÉA et al., 2000).

On peut montrer l'influence de  $\Delta e$  sur les quantiles relatifs

aux durées  $d$  (1 j, 3 j, 6 j, 10 j, 30 j et 90 j) des sous-bassins 50205 et 50105 qui présentent la plus forte erreur d'estimation de  $\Delta e$ , respectivement 51 % et -36 % (Tableau 14). L'erreur quadratique moyenne est établie toutes durées  $d$  confondues entre modélisation locale (Éq. 5) et ajustements directs (Éq. 4). Pour le sous-bassin 50205, l'incertitude sur les quantiles associés aux valeurs respectives de  $\Delta e$  de 175 j et 264 j est donnée au tableau 15.

Une visualisation de cette incertitude peut être montrée à partir des distributions obtenues pour les échantillons de durées 10 j, 30 j et 90 j. L'influence de  $\Delta e$  est surtout sensible à 90 j (Figure 9).

Nous faisons de même pour le sous-bassin 50105 (Tableau 16).

La visualisation de cette incertitude à la figure 10 (comme à la figure 9) pour les distributions relatives aux durées 10 j, 30 j et 90 j montre que l'incertitude d'estimation de  $\Delta e$  a peu d'impact sur les quantiles modélisés (5) de quelques jours à 30 jours. L'impact est relativement sensible pour les quantiles d'étiage sur 90 j.

### 6.4 Prise en compte d'une information épisodique sur les débits d'étiage

Le principe a déjà été éprouvé pour le bassin hydrographique de la Moselle (GALÉA et CANALI, 2005). Nous rappelons que l'information épisodique sur les débits d'étiage concerne des mesures concomitantes au sous-bassin étudié (site) et au sous-bassin de référence qui lui est associé (Figure 11). Selon la nomenclature des réseaux d'observation en vigueur, le sous-bassin de référence appartient en général au réseau primaire tandis que le site étudié est celui associé au réseau tertiaire, en principe instrumenté au stade des avant-projets. Le critère de choix du sous-bassin de référence n'est pas l'objectif de notre

**Tableau 14. Estimation de  $\Delta e$  et de son incertitude.****Table 14. Estimation and relative error of  $\Delta e$ .**

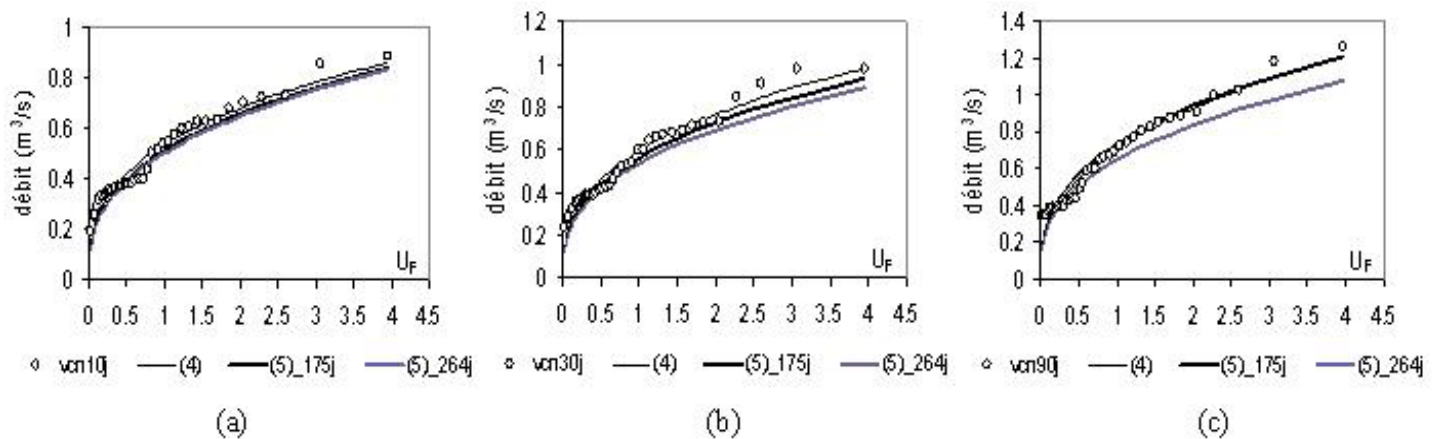
Bassin du Timis (14 sous-bassins)					Bassin du Bega (5 sous-bassins)				
SOUS-BASSINS	S	$\Delta e$ (j)			SOUS-BASSINS	S	$\Delta e$ (j)		
	(km <sup>2</sup> )	observé (5)	estimé (9)	erreur (%) relative		(km <sup>2</sup> )	observé (5)	estimé (10)	erreur (%) relative
53105	167	96	109	14	50105	73,5	408	260	-36
53110	560	110	110	0	50110	474	224	203	-9
53115	1072	99	102	3	50115	1064	172	167	-3
53125	2706	109	96	-12	50205	80	175	264	51
53205	163	113	120	6	50301	57	168	200	19
53305	125	109	112	3					
53405	122	97	104	7					
53505	232	97	108	11					
53510	404	97	105	8					
53515	863	118	107	-9					
53605	79	164	131	-20					
53705	77	145	130	-10					
53805	35	107	100	-7					
55105	41	93	101	9					

Erreur quadratique (%)		
Timis	Bega	
Calage (9)	validation	Calage (10)
9	11	29,5

**Tableau 15. Incertitude sur les quantiles d'étiage du sous-bassin 50205 liée à l'estimation de  $\Delta e$ .****Table 15. Low flow quantile uncertainty induced by the estimation of  $\Delta e$  for the (50205) sub-catchment.**

50205 : Modélisation (5) avec $\alpha = 2,74$ $\beta = 1,26$ et $\overline{vcn}_{d=1} = 0,385$ m <sup>3</sup> /s					
$\Delta e = 175$ j (observé)			$\Delta e = 264$ j (estimé)		
Erreur quadratique (%)			Erreur quadratique (%)		
$\forall F_i$ confondues	$\forall F_i > 0,5$	$\forall F_i < 0,5$	$\forall F_i$ confondues	$\forall F_i > 0,5$	$\forall F_i < 0,5$
4	3	4,7	5,9	6	5,8



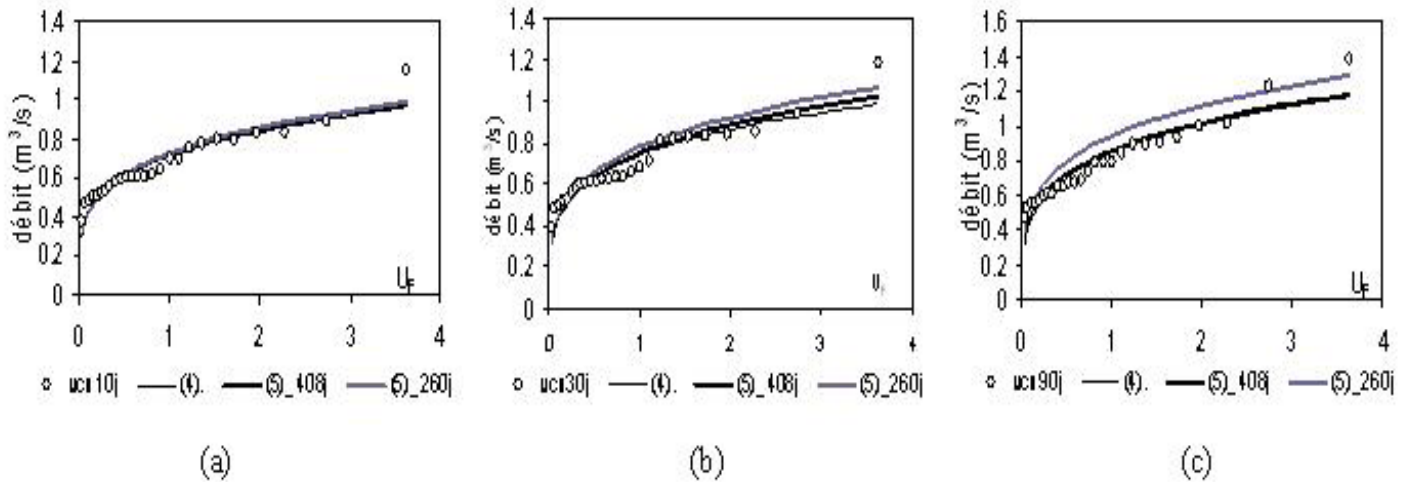
**Figure 9. Influence de  $\Delta e$  sur les quantiles d'étiage modélisés (Éq. 5) du sous-bassin 50205 ( $S = 80$  km<sup>2</sup>); (a) vcn 10 j; (b) vcn 30 j; (c) vcn 90 j**  
**Influence of  $\Delta e$  on the modelling of low flow quantiles (5) for the (50205) sub-catchment ( $S = 80$  km<sup>2</sup>); (a) vcn 10 d; (b) vcn 30 d; (c) vcn 90 d.**

**Tableau 16. Incertitude sur les quantiles d'étiage du sous-bassin 50105 liée à l'estimation de  $\Delta e$ .**

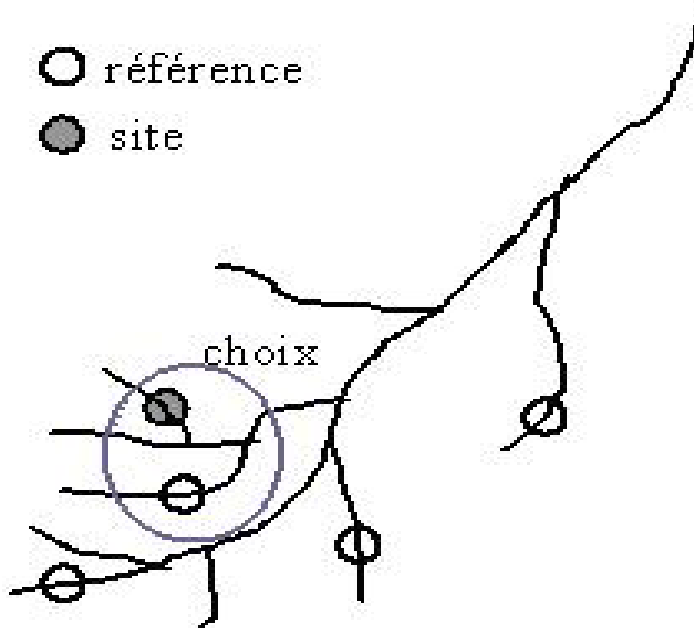
**Table 16. Low flow quantile uncertainty induced by the estimation of  $\Delta e$  for the (50105) sub-catchment.**

50105 : Modélisation (5) avec  $\alpha = 4,13$   $\beta = 1,18$  et  $\overline{vcn}_{d=1} = 0,595 \text{ m}^3/\text{s}$

$\Delta e = 408 \text{ j}$ (observé)			$\Delta e = 260 \text{ j}$ (estimé)		
Erreur quadratique (%)			Erreur quadratique (%)		
$\forall F_i$ confondues	$\forall F_i > 0,5$	$\forall F_i < 0,5$	$\forall F_i$ confondues	$\forall F_i > 0,5$	$\forall F_i < 0,5$
2,2	1,5	2,7	6	5,2	6,7



**Figure 10. Influence de  $\Delta e$  sur les quantiles d'étiage modélisés (5) du sous-bassin 50105 ( $S = 73,5 \text{ km}^2$ ); (a) vcn 10 j; (b) vcn 30 j; (c) vcn 90 j.**  
*Influence of  $\Delta e$  on the modelling of low flow quantiles (5) for the (50105) sub-catchment ( $S = 73.5 \text{ km}^2$ ); (a) vcn 10 d; (b) vcn 30 d; (c) vcn 90 d.*



**Figure 11. Site et sous-bassin de référence associé.**  
*Study site and associated reference sub-catchment.*



propos, le choix est effectué *a priori*. Notre intention première est l'évaluation du principe dans le contexte hydro-climatique du Timis-Bega, différent de celui de la Moselle.

Pour le site étudié (non observé continûment) et pour le sous-bassin de référence, un échantillon de 50 valeurs est constitué à partir des chroniques de débit journalier, à raison de cinq mesures par an sur les dix dernières années, pour fixer les idées. Les deux échantillons concomitants, une fois constitués, un simple coefficient d'affinité  $k$  entre cumuls des débits d'étiage échantillonnés, du site étudié en fonction du sous-bassin de référence, est proposé pour estimer le descripteur du régime d'étiage  $\overline{V}_{d=1,site}$  (Éq. 11). Si cela est vérifié et compte tenu de la faible différenciation observée entre les lois régionales (Figure 7), pour les années moyennes à « sèches » ( $\forall U_F < 0,7$ ), nous faisons l'hypothèse forte que ce même coefficient d'affinité  $k$ , établi sur les débits d'étiage, peut permettre une estimation satisfaisante du module médian  $\overline{QA}_{site}$  (Éq. 12).

$$\overline{V}_{d=1,site} = k \overline{V}_{d=1,s.b.référence} \quad (11)$$

$$\overline{QA}_{site} = k \overline{QA}_{s.b.référence} \quad (12)$$

Les relations précédentes peuvent être testées à partir de quelques exemples choisis afin d'évaluer leur performance par rapport aux relations respectives (Éq. 8) et (Éq. 7). En ce qui concerne les modules, nous nous intéressons aux sous-bassins pour lesquels l'estimation (Éq. 7) induit par rapport à l'observation (Éq. 1) une erreur relative de -75 % (53105, Tableau 10) et de -38 % (53515, Tableau 11). Conformément au principe énoncé précédemment, sont associés respectivement aux sites étudiés 53105 et 53515 les sous-bassins de référence 53205 et 53510 dont la localisation est donnée à la figure 1. Nous faisons de même pour ce qui concerne l'estimation du débit journalier médian d'étiage des sous-bassins 50301, 53805 et 55105 qui présentent les trois plus fortes erreurs relatives (Tableau 13). À ces sites étudiés, nous associons respectivement les sous-bassins de référence 50205, 50301 et 53105 (Figure 1). Pour ces cinq sites étudiés, la prise en compte d'une information épisodique sur les débits d'étiage, selon la démarche préconisée, permet de réduire significativement l'erreur relative associée aux régressions (Figure 12).

Au tableau 17, nous présentons les éléments de calcul associés, entre autres, à la représentation de la figure 12. À des fins prospectives, nous avons étendu notre exploration des doublets *site étudié – sous-bassin de référence* sans *a priori* sur le choix du sous-bassin de référence compte tenu de la superficie et de la localisation géographique du site étudié. Par ailleurs, et pour chaque doublet, une inversion des rôles a été considérée, autrement dit le site étudié devient sous-bassin de référence et *vice-versa*.

De manière générale, l'erreur quadratique moyenne associée aux différentes estimations confirme les résultats présentés antérieurement (Figure 12). Bien que le critère de choix du sous-bassin de référence ne soit pas l'objet de notre propos, nous pouvons souligner de manière expérimentale le meilleur choix possible du sous-bassin de référence pour un site d'étude donné. Pour le site étudié 50301, par exemple, nous pouvons l'associer tour à tour aux sous-bassins de référence 50205 et 53805. Dans le premier cas, le doublet appartient au bassin du Bega et à deux affluents indépendants (Figure 1, Tableau 1). Dans le deuxième cas, le sous-bassin de référence appartient au bassin du Timis (Figure 1). Dans les deux cas, l'ordre de grandeur des superficies est comparable à celle du site étudié. Quel que soit le sous-bassin de référence le quantile d'étiage  $\overline{V}_{d=1}$  est bien estimé, ce qui n'est pas le cas du module médian  $\overline{QA}$ . Le meilleur choix pour le site étudié 50301, compte tenu de notre investigation non exhaustive (Tableau 17), serait le sous-bassin de référence 53805, situé de l'autre coté de la crête (Figure 1). Si nous prenons comme autre exemple le site étudié 53105, selon le sous-bassin de référence associé 53205 (affluent amont) ou 55105 (affluent aval) le rapport de superficie varie de un à trois. Les estimations sont d'un ordre de grandeur comparable, cependant l'erreur relative sur  $\overline{QA}$  est de 10 % au lieu de 20 % (Figure 12) avec le sous-bassin de plus faible superficie (55105). Les exemples peuvent être multipliés sur la base des combinaisons présentées au tableau 17.

## 7. CONCLUSION

Les résultats issus de la régionalisation des modules annuels et des étiages du bassin du Timis-Bega montrent dans l'ensemble une grande similitude avec ceux du bassin de la Moselle française (GALÉA et CANALI, 2005). En particulier, les lois régionales sont peu différenciées pour les années moyennes à « sèches » des modules et des étiages des sous-bassins (Figure 7). De même que pour la Moselle, l'usage d'une information épisodique sur les débits d'étiage a permis d'améliorer l'estimation du débit journalier médian d'étiage  $\overline{V}_{d=1,site}$  (Éq. 11) mais aussi l'estimation (Éq. 7) du module annuel médian  $\overline{QA}_{site}$  (12). La conservation du même coefficient d'affinité  $k$  dans les relations (Éq. 11) et (Éq. 12) ne nous semble pas être *a priori* le fait de la proximité ou non du sous-bassin de référence, d'après les résultats du tableau 12. Cette extension de l'usage de l'information épisodique sur les débits d'étiage à l'estimation du module annuel médian  $\overline{QA}_{site}$  peut trouver une explication dans la faible différenciation des lois régionales pour les fréquences moyennes à « sèches ». Ces descripteurs de débit, des régimes de module et d'étiage des sous-bassins, constituent une source d'incertitude importante des modèles régionaux (Éq. 2) et (Éq. 6). Il serait donc

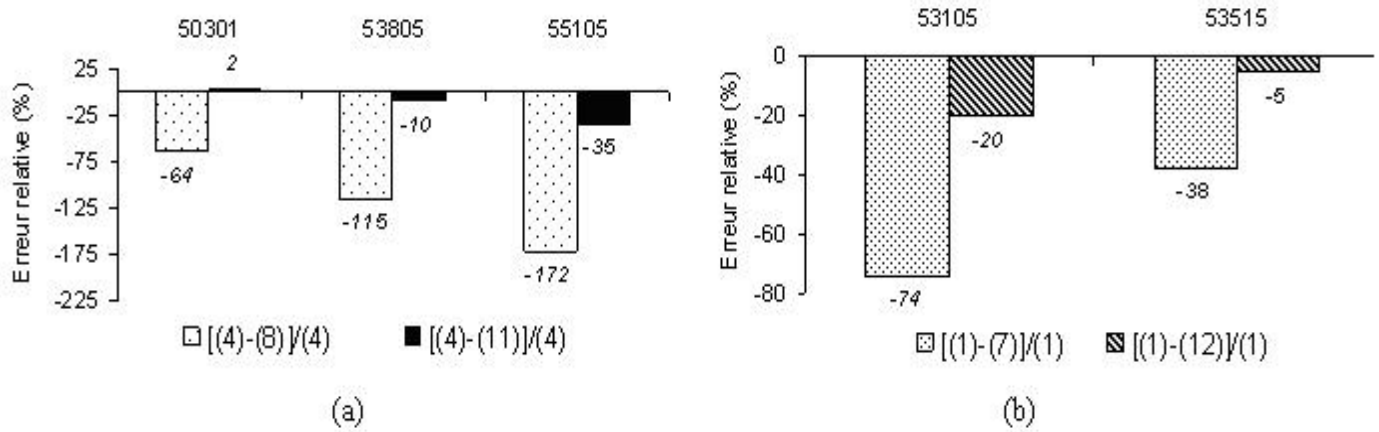


Figure 12. Erreur relative sur  $\overline{V}_{d=1,site}$  et  $\overline{QA}_{site}$  selon les estimations; (a) entre débit journalier médian d'étiage observé (Éq. 4) et estimé selon l'éq. 8 ou l'éq. 11; (b) entre module médian observé (Éq. 1) et estimé selon l'éq. 7 ou l'éq. 12.  
 Estimation of  $\overline{V}_{d=1,site}$  and  $\overline{QA}_{site}$  relative error; (a) between observed median daily flow (Eq. 4) and estimated as per eq. 8 or eq. 11; (b) between observed median modulus (Eq. 1) and estimated as per eq. 7 or eq. 12.

Tableau 17. Poids de l'information épisodique d'étiage sur l'estimation des descripteurs de régime.  
 Table 17. Impact of the low flow episodic information on the estimation of regime descriptors.

Sous-bassin de référence				K	Site étudié											
Code	S (km <sup>2</sup> )	$\overline{V}_{d=1}$ (m <sup>3</sup> /s)	$\overline{QA}$ (m <sup>3</sup> /s)		Code	S (km <sup>2</sup> )	$\overline{V}_{d=1}$ (m <sup>3</sup> /s)				$\overline{QA}$ (m <sup>3</sup> /s)					
							(4)	(8)	Er. <sub>(8)</sub> %	(11)	Er. <sub>(11)</sub> %	(1)	(7)	Er. <sub>(7)</sub> %	(12)	Er. <sub>(12)</sub> %
50110	474	1,81	4,78	0,317	50105	73,5	0,633	0,460	27	0,573	9	1,35	1,14	16	1,51	-12
50105	73,5	0,633	1,35	3,15	50110	474	1,81	1,39	23	2	-10	4,78	4,58	4	4,25	11
50301	57	0,128	0,550	3,32	50205	80	0,417	0,440	-6	0,425	-2	1,07	1,29	-21	1,83	-71
50205	80	0,417	1,07	0,3	50301	57	0,128	0,210	-64	0,125	2	0,550	0,530	4	0,320	42
53110	560	2,38	10,2	1,74	53115	1072	3,63	3,84	6	4,13	-14	18,5	17,4	6	17,7	4
53115	1072	3,63	18,5	0,57	53110	560	2,38	2,32	3	2,07	13	10,2	11,2	-10	10,5	-3
53205	163	1,04	4,45	0,497	53105	167	0,440	0,530	-20	0,517	-18	1,84	3,21	-75	2,21	-20
53105	167	0,440	1,84	2	53205	163	1,04	1,08	-4	0,883	15	4,45	4,06	9	3,68	17
53505	232	0,839	3,96	2,17	53510	404	1,50	1,99	-33	1,80	-20	6,58	7,06	-7	8,60	-31
53510	404	1,50	6,58	0,459	53505	232	0,839	1,29	-53	0,690	18	3,96	4,36	-10	3,02	24
53510	404	1,50	6,58	1,87	53515	863	2,69	3,64	-35	2,81	-5	11,7	16,1	-38	12,3	-5
53515	863	2,69	11,7	0,532	53510	404	1,50	1,99	-33	1,43	5	6,58	7,06	-7	6,20	6
53605	79	0,759	2,77	5,73	53605	79	0,759	0,640	16	0,468	38	2,77	2,48	11	2,04	26
53705	77	0,784	3,15	0,874	53515	863	2,69	3,64	-35	4,35	-62	11,7	16,1	-38	15,9	-36
53605	79	0,759	2,77	1,14	53705	77	0,784	0,510	35	0,867	-11	3,15	2,40	24	3,17	-1
53805	35	0,144	0,680	0,802	53605	79	0,759	0,640	16	0,686	10	2,77	2,48	11	2,75	1
50301	57	0,128	0,550	1,23	53705	77	0,784	0,510	35	0,867	-11	3,15	2,40	24	3,17	-1
55105	41	0,136	0,690	2,39	53805	35	0,144	0,310	-115	0,158	-10	0,680	0,550	19	0,678	0
53105	167	0,440	1,84	0,418	53805	35	0,144	0,310	-115	0,158	-10	0,680	0,550	19	0,678	0
55105	41	0,136	0,690	5,74	53105	167	0,440	0,530	-21	0,325	26	1,84	3,21	-75	1,65	10
53205	163	1,04	4,45	0,174	55105	41	0,136	0,370	-172	0,184	-35	0,690	0,650	6	0,769	-11
					53205	163	1,04	1,08	-4	0,781	25	4,45	4,06	9	3,96	11
					55105	41	0,136	0,370	-172	0,181	-33	0,690	0,650	6	0,774	-12
Erreur quadratique moyenne (%)									65		23			28		23

ultérieurement envisageable, compte tenu des résultats obtenus (Figure 12 et Tableau 17), d'entreprendre une régionalisation à bases géostatistiques de ces descripteurs prenant en compte, par exemple, l'effet structurant du réseau hydrographique (SAUQUET *et al.*, 2003) ainsi qu'une information épisodique sur les débits d'étiages. Celle-ci n'est pas rare, car il existe en effet des suivis ponctuels épisodiques pour évaluer la qualité de la ressource disponible mais aussi sa quantité, notamment au stade des avants-projets.

Support, Ohrid, FY Republic of Macedonia, 25-29 May 2004.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

DALRYMPLE T. (1960). Flood frequency analysis. *U.S. Geol. Surv. Water Supply Pap.*, 1543A.

GALÉA G., P. JAVELLE et N. CHAPUT (2000). Un modèle débit-durée-fréquence pour caractériser le régime d'étiage d'un bassin versant. *Rev. Sci. Eau*, 13, 421-440.

GALÉA G., P. RAMEZ, M.J. ADLER et E. ROTARU (2004). Modélisation statistique des apports de MES associés au régime des crues d'un sous-bassin du Timis-Béga (Roumanie). *Rev. Sci. Eau*, 17, 471-488.

GALÉA G. et S. CANALI (2005). Régionalisation des modules annuels et des régimes d'étiage du bassin hydrographique de la Moselle française : lien entre modèles régionaux. *Rev. Sci. Eau*, 18, 331-352.

GALÉA G. et M. BLUM (2005). Modélisation régionale des régimes de crue du bassin hydrographique de la Moselle française. *Houille blanche*, 5, 88-96.

JAVELLE P. (2001). Caractérisation du régime des crues : le modèle débit-durée-fréquence convergent. Approche locale et régionale. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, France, 1<sup>er</sup> mars 2001, 268 p.

MASSON J.M., H. LUBES, P. RAOUS et M. TAPIAU (1994). Safarhy, logiciel de calculs statistiques et d'analyse fréquentielle adapté à l'évaluation du risque en hydrologie. Montpellier : ORSTOM, Laboratoire d'hydrologie.

MIC R., G. GALÉA et P. JAVELLE (2002). Modélisation régionale des débits de crue du bassin hydrographique du Cris (Roumanie) : approche régionale classique et par modèles de référence. *Rev. Sci. Eau*, 15, 677-700.

MIC R. et G. GALÉA (2004). Local and regional estimation of floods in the Timis and Bega hydrographic basins. Application of converging QdF model concept. Conference on Water Observation and Information System for Decision

OUARDA T.B.M.J. et F. ASHKAR (1994). Bootstrap-based intercomparison of regional flood frequency models. Rapport technique, Département de mathématiques, Université de Moncton, 13p.

OUARDA T.B.M.J., C. GIRARD, G.S. CAVADIAS et B. BOBÉE (2001). Regional flood frequency estimation with canonical correlation analysis. *J. Hydrol.*, 254, 157-173.

RIBEIRO-CORRÉA J., G.S. CAVADIAS, B. CLÉMENT et J. ROUSSELLE (1995). Identification of hydrological neighborhoods using canonical correlation analysis, *J. Hydrol.*, 173, 71-89.

SAUQUET E., E. LEBLOIS et G. GALÉA (2003). Mapping flood regime descriptors for flow duration-frequency characterisation at ungauged location. EGS-2003, Nice, France (affiche).