



**Norois**

Environnement, aménagement, société

201 | 2006/4

**Dynamiques fluviale et littorale, activité viticole**

---

## Une méthode d'analyse du tarissement des cours d'eau pour la prévision des débits d'étiage

*A recession analysis method for low flow forecasting*

Claire Lang et Emmanuel Gille

---



### Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/norois/1743>

DOI : 10.4000/norois.1743

ISBN : 978-2-7535-1549-9

ISSN : 1760-8546

### Éditeur

Presses universitaires de Rennes

### Édition imprimée

Date de publication : 1 décembre 2006

Pagination : 31-43

ISBN : 978-2-7535-0407-3

ISSN : 0029-182X

### Référence électronique

Claire Lang et Emmanuel Gille, « Une méthode d'analyse du tarissement des cours d'eau pour la prévision des débits d'étiage », *Norois* [En ligne], 201 | 2006/4, mis en ligne le 01 décembre 2008, consulté le 19 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/norois/1743> ; DOI : 10.4000/norois.1743

---

## UNE MÉTHODE D'ANALYSE DU TARISSEMENT DES COURS D'EAU POUR LA PRÉVISION DES DÉBITS D'ÉTIAGE

---

CLAIRE LANG, EMMANUEL GILLE

Centre d'études géographiques de l'université de Metz (CEGUM),

UFR Sciences Humaines et Arts (SHA),

Île du Saulcy, BP 30309 – 57 006 METZ cedex 1

*clair\_lang@yahoo.fr, gille@univ-metz.fr*

### RÉSUMÉ

*Cette recherche s'inscrit dans le cadre d'un contrat financé par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, dont l'objectif est la mise en place d'outils de prévision des débits d'étiage pour une soixantaine de stations du bassin Rhin-Meuse. Ce travail se fonde essentiellement sur l'analyse du tarissement, car durant la période d'étiage le débit des cours d'eau provient essentiellement des nappes. Nous présentons les difficultés liées au choix des phases de tarissement ainsi que les critères de sélection retenus. Les coefficients de tarissement sont utilisés pour réaliser des prévisions journalières par extrapolation de la courbe de tarissement, mais leur forte variabilité nécessite la mise en œuvre de méthodes qui synthétisent l'information : construction d'une courbe moyenne de tarissement et analyse statistique.*

MOTS CLÉS : *Étiage – Prévision – Statistique – Tarissement.*

### ABSTRACT

#### ***A recession analysis method for low flow forecasting***

*This research-work comes within the scope of a contract which was paid for by the Rhine-Meuse Water Agency. The main objective is to develop tools to forecast low flows affecting (about) sixty locations of the Rhine-Meuse basin. This work is primarily based on the analysis of recession periods, because during drought periods river discharge derives essentially from groundwater flow. We discuss how difficult it is to select the recession phases and the criteria we used to sort them out. The recession coefficients are used to carry out day forecasts by extrapolation of the groundwater depletion curve. However their important variability requires methods which synthesize information: construction of the master recession curve and statistical analyses.*

KEY WORDS : *Forecasting – Low Water – Recession – Statistical.*

Les sécheresses exceptionnelles observées ces dernières années, et en particulier la situation de l'été 2003, ont montré la vulnérabilité de certaines activités humaines face à une pénurie de la ressource en eau. Dans le cadre d'une démarche d'anticipation, le CEGUM travaille avec l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse à la mise au point d'outils de prévision des débits d'étiage pour une soixantaine de stations du bassin Rhin-Meuse (fig. 1). L'objectif est de fonder les prévisions de débits sur l'analyse du tarissement des cours d'eau.

Dans cette région, les pressions liées aux usages de l'eau concernent essentiellement l'alimentation en eau potable, la navigation (alimentation des canaux) et les centrales nucléaires de Cattenom (sur la Meuse) et de Chooz (sur la Moselle). Les prélèvements réalisés sont connus mais avec une incertitude importante qui ne permet pas de travailler sur des débits naturels reconstitués.

Les bassins versants de l'étude sont caractérisés par des régimes pluviaux. Leurs débits sont conditionnés, en période d'étiage, à la fois par les forçages atmosphériques et par les modalités de vidange des aquifères, c'est-à-dire l'hydrogéologie des bassins versants, qu'on peut caractériser par le coefficient de tarissement. L'objectif de cet article est de montrer l'intérêt de l'estimation d'un coefficient de tarissement moyen d'un cours d'eau et sa représentativité pour la prévision des débits d'étiage à 10 jours par extrapolation.

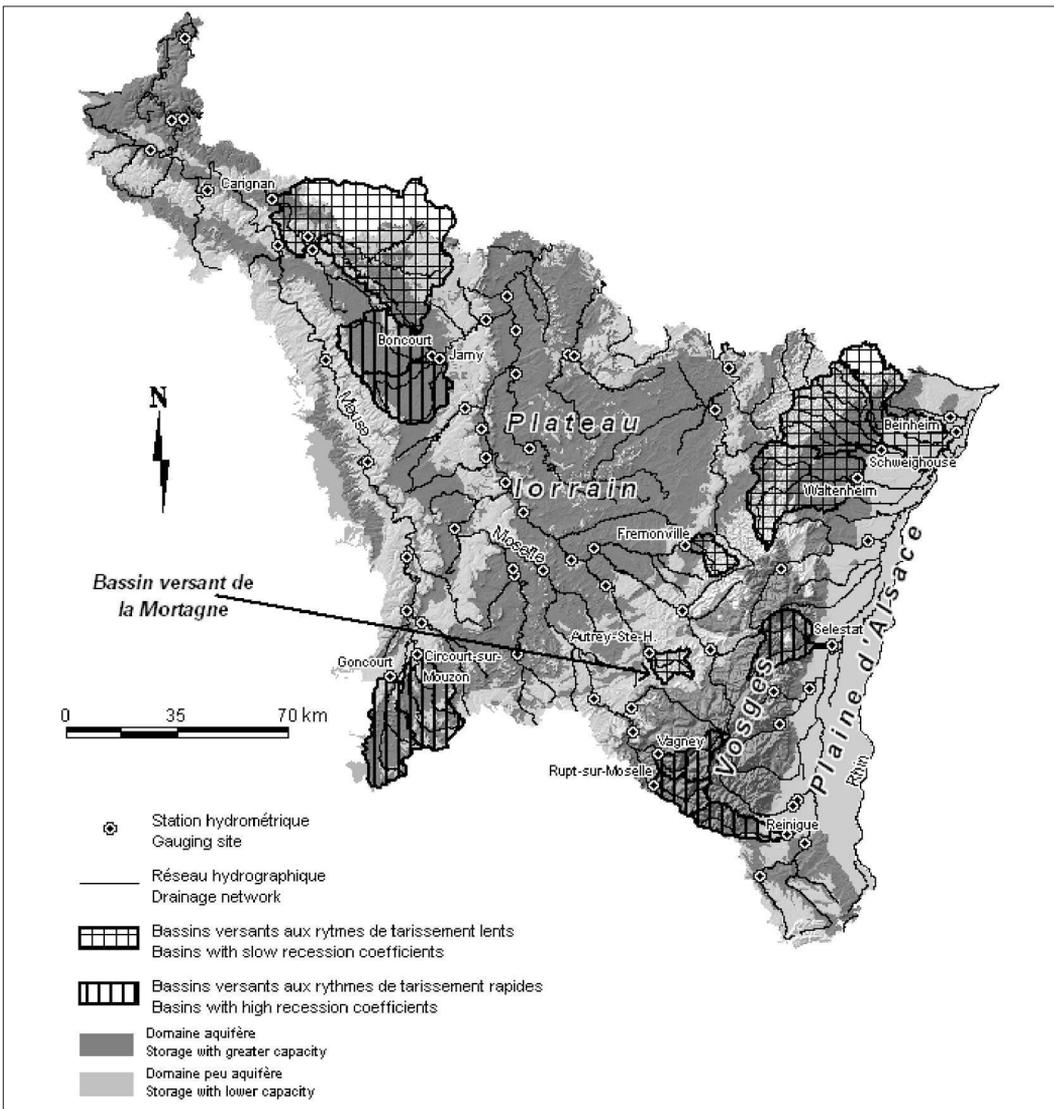


Figure 1 : Localisation des stations hydrométriques utilisées au sein du bassin Rhin-Meuse (partie française)  
*Location of the hydrological gauging site (Rhine-Meuse basin in France)*

L'ensemble des bassins versants disposant d'une chronique de débits journaliers à peu près complète de 1971 à 2003 ont été retenus. Les résultats sont présentés de façon synthétique par types hydrogéologiques. Par contre, pour exposer l'aspect méthodologique, un seul exemple suffit : nous avons choisi le bassin-versant de la Mortagne contrôlé par la station hydrométrique d'Autrey-Sainte-Hélène (fig. 1). Il s'agit d'un bassin-versant de petite taille, homogène d'un point de vue géologique et aux influences anthropiques limitées. Ce bassin-versant de 100 km<sup>2</sup>, situé dans les Vosges gréseuses (grès du Trias), constitue un milieu perméable qui favorise l'infiltration et une restitution pondérée.

## Définition et extraction des épisodes de tarissement

L'analyse des épisodes de tarissement permet d'appréhender l'apport provenant des nappes, et le rythme de vidange des réservoirs souterrains. Différentes lois mathématiques proposent le calcul d'un coefficient de tarissement, à partir du rythme de décroissance des débits.

Le tarissement représente « la phase d'écoulement d'un cours d'eau ou d'une source correspondant à la décroissance régulière du débit en l'absence de tout apport météorique et d'intervention humaine » (Dachary, 1997). La règle de succession des débits moyens journaliers décroissants est décrite par le coefficient de tarissement : celui-ci est communément issu de l'assimilation de ces phases à des suites mathématiques. Dans le cas de la loi la plus utilisée (Tallaksen, 1995), la loi de Maillet que nous adoptons ici, le coefficient de tarissement correspond à la raison d'une suite géométrique ( $Q_{t+1} = Q_t \cdot K$ ), dont la transformée en logarithme des débits se traduit par une linéarisation de la décroissance :  $\text{Ln}(Q_{t+1}) = \text{Ln}(Q_t) + \text{Ln}(K)$ , avec  $K < 1$ , qu'on peut généraliser par :

$$\text{Ln } Q_t = \text{Ln } Q_0 + t \cdot \text{Ln } K \quad \text{ou encore, sous la forme de la loi de Maillet :}$$

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{(-\alpha t)} \quad \text{avec } \alpha \text{ proche de } K \text{ en valeurs journalières}$$

Où :  $Q_j$  correspond au débit du jour  $j$   
 $K$  correspond au coefficient de vidange des nappes

## DEUX « CONCEPTIONS » DU TARISSEMENT

La méthode d'extraction des phases consiste à sélectionner les débits en décroissance durant les phases non influencées par les précipitations. Cependant, dans des régions au climat océanique, la fréquence des épisodes pluvieux contraint, soit à retenir délibérément des phases de tarissement intégrant de faibles épisodes de précipitations, soit à se contenter de périodes très courtes de tarissement pur<sup>1</sup> (Lang *et al.* [a], à paraître). Nous avons proposé de qualifier ces deux approches respectivement de, « méthode des courbes enveloppes », couramment utilisée par les opérateurs, et de « méthode des courbes séquences » (Gille et Lang, 2003) (fig. 2).

### La méthode des « courbes enveloppes »

Cette première méthode, classiquement utilisée par les opérateurs, consiste à relier les points bas d'un hydrogramme s'alignant en échelle semi-logarithmique (fig. 2). Le graphique montre que cette méthode intègre, au sein d'une même phase, des remontées de débits qui peuvent être liées à des épisodes pluvieux. Le tracé des courbes enveloppes s'inscrit donc dans une démarche empirique pour laquelle les épisodes de tarissement sélectionnés vont souvent résulter des choix ou des possibilités offertes à l'opérateur.

1. une statistique réalisée sur le nombre de jours sans pluie a pu montrer que sur la zone étudiée, il pleut en moyenne 180 jours par an.

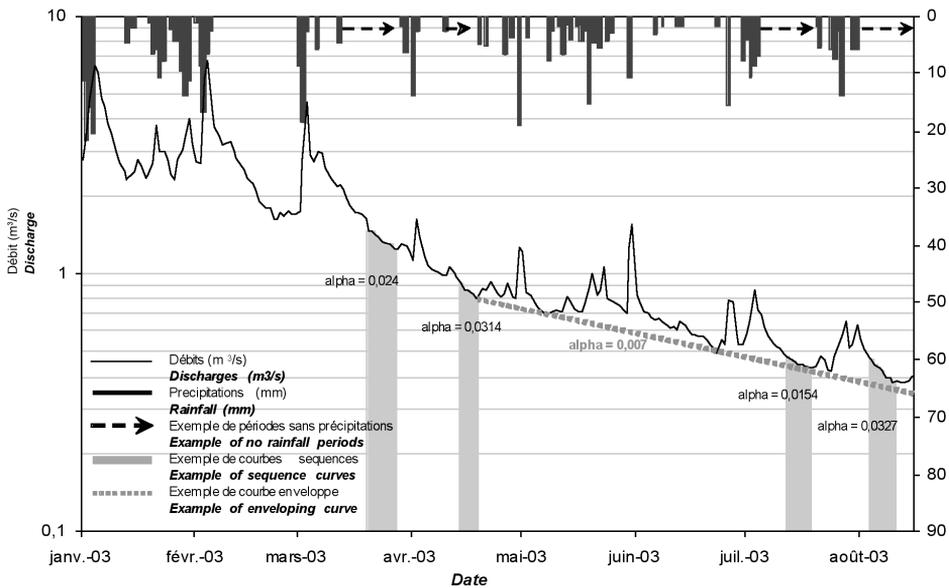


Figure 2 : Exemple d'une courbe enveloppe de tarissement et de courbes séquences de tarissement (La Mortagne à Autrey-Sainte-Hélène)

*Example of an enveloping recession curve and of sequences recession curves (Mortagne catchments)*

### La méthode des « courbes séquences »

À cette méthode s'oppose une démarche plus rigoureuse qui autorise la sélection des débits décroissants consécutifs strictement non influencés par les précipitations (fig. 2). Cette méthode de sélection présente l'avantage de l'homogénéité de l'échantillon, mais subordonne la durée des épisodes de tarissement aux conditions climatiques.

Un travail préalable a montré que les coefficients de tarissement calculés pour des phases extraites par la méthode des courbes enveloppes sont significativement inférieurs à ceux calculés pour les épisodes sélectionnés à partir de la méthode des courbes séquences (Gille et Lang, 2003). Pour l'exemple de la Mortagne (fig. 2), on observe un coefficient de tarissement calculé pour la courbe enveloppe nettement plus faible (0,007) que ceux issus des courbes séquences (de 0,015 à 0,033). Ce constat amène à admettre des recharges de la zone non saturée et/ou des nappes souterraines. Ainsi, par la méthode des courbes séquences, on retient des débits de tarissement généralement sur une courte durée, susceptibles sans doute d'être influencés par la vidange de la zone non saturée, mais compatibles avec nos objectifs (prévision à 10 jours). Toutes les séquences pouvant être observées sont donc retenues, pourvu qu'elles répondent à des critères de sélection garantissant le caractère du tarissement.

Dans le cadre de la prévision des débits d'étiage, la seconde approche, celle des courbes séquences, correspond davantage à nos objectifs.

### EXTRACTION DES COURBES SEQUENCES (ALGORITHME ALECS)

La sélection des courbes séquences constitue un travail long et fastidieux que nous avons souhaité automatiser. L'extraction des courbes séquences s'appuie sur un algorithme posant les deux conditions relatives à la définition du tarissement : il s'agit des débits décroissants consécutifs non influencés par les précipitations. Or ces deux seuls critères s'avèrent insuffisants car il s'agit également d'éliminer au mieux les débits influencés par le ressuyage en début de séquence ainsi que les débits sujets à des

influences anthropiques (pompages, prises et rejets pour les canaux, etc.) ou entachés d'imprécisions hydrométriques. L'algorithme que nous proposons se compose de deux étapes (fig. 3).

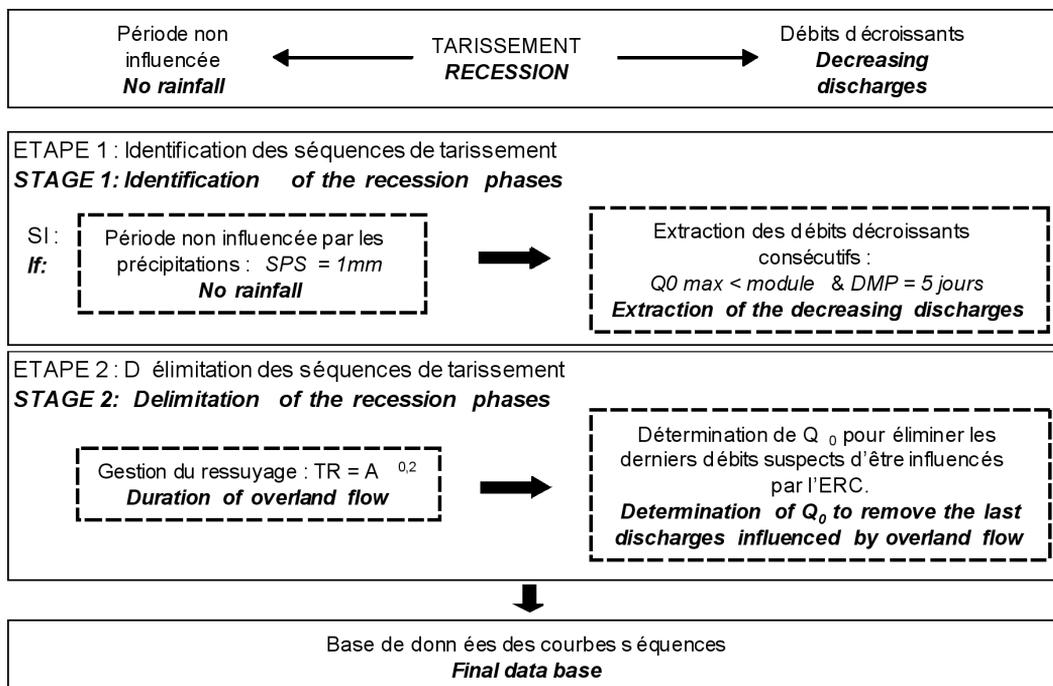


Figure 3 : ALgorithme d'Extraction des Courbes Séquences (ALECS)  
*Algorithm to extract sequences recession curves*

### Étape 1 : identification des séquences de tarissement

En premier lieu, au-delà d'un certain seuil, le débit ne peut pas être représentatif d'un tarissement. Nous avons éliminé toutes les périodes où le débit est supérieur au module. Le module constitue une valeur assez élevée, mais il ne s'agit là que d'une procédure automatique aboutissant à un premier tri avant d'introduire des critères de sélection plus précis.

Par ailleurs, en dessous d'un certain seuil, les précipitations ne sont pas en mesure d'influencer l'écoulement. Après une phase exploratoire, par précaution et en raison de l'impossibilité de déterminer un seuil unique, le seuil des précipitations significatives (SPS) a été fixé à 1 mm/jour. Ce seuil pourrait en effet encore être augmenté, surtout durant la période chaude où l'évaporation peut atteindre 7 mm/jour (ETP Penmann, Météo France, Nancy). Si l'on ne tolérait aucune précipitation durant la période de tarissement, le nombre d'épisodes extraits serait nettement réduit : pour le bassin-versant de la Mortagne 76 phases contre 132.

Enfin, pour avoir un sens, la phase de tarissement doit avoir une durée minimum (DMP). Afin de supprimer les phases trop courtes elle a été fixée à 5 jours.

### Étape 2 : délimitation des séquences

Cette seconde étape consiste à vérifier l'homogénéité des débits de chaque séquence précédemment retenue. Pour éliminer les débits encore influencés par l'écoulement rapide de crue en début de tarissement, nous avons utilisé deux procédures : la première consiste à introduire un

temps de ressuyage minimum entre la fin de l'épisode pluvieux et le début de la séquence. La durée du temps de ressuyage est déterminée à partir de la formule  $TR = A^{0.2}$ , souvent utilisée dans la bibliographie (Langbein, *in* Rutledge et Daniel, 1994), où TR (durée du ressuyage en jours) est fonction de A (surface du bassin-versant en km<sup>2</sup>).

Cette procédure ne pouvant pas être optimale en raison des caractéristiques physiques propres à chaque bassin-versant, nous avons ajouté une méthode de détermination du débit de départ de la séquence ( $Q_0$ ), la méthode s'appuyant sur les derniers débits de la séquence. La détermination de  $Q_0$  est réalisée de la manière suivante : la pente de l'épisode est calculée à partir des trois derniers débits de la phase, puis extrapolée vers les jours antérieurs. Les valeurs observées s'écartant de manière significative de la droite extrapolée sont supprimées. Suite à différents essais, l'écart autorisé entre débits observés et extrapolés a été fixé à 1,5 %, ce qui représente la modification d'un quart des séquences (à 4 %, aucune séquence n'est modifiée et à 1 % une sur deux).

L'algorithme a été appliqué systématiquement aux débits moyens journaliers des stations de l'étude (fig. 1), sur la période 1971-2003.

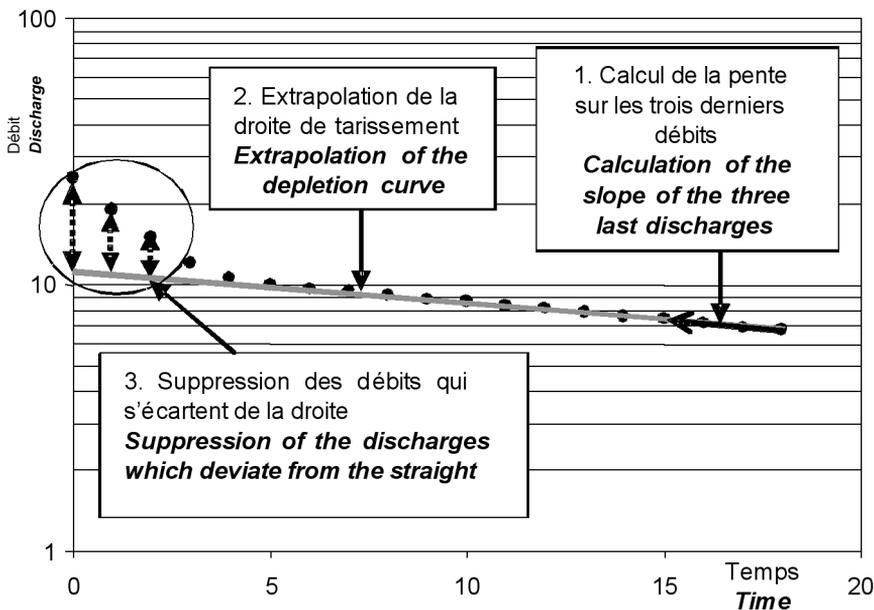


Figure 4 : Technique de sélection des débits de tarissement en procédant à partir de la fin de l'épisode

*Selection of the recession discharges by a method which considers the end of the phase*

## Traitement des courbes séquences

Les valeurs des coefficients de tarissement (pentes des courbes séquences extraites par l'algorithme présenté ci-dessus) montrent souvent une dispersion trop importante pour n'en retenir qu'une seule valeur expérimentale. Cependant, d'une part la représentativité de la valeur moyenne n'est pas forcément acquise, et d'autre part il peut être intéressant de caractériser cette dispersion en terme de probabilité. Aussi, afin de proposer une valeur unique de coefficient et de la valider, les courbes séquences sont-elles soumises à deux traitements distincts. En premier lieu, l'élaboration d'une courbe maîtresse de tarissement, puis une analyse statistique des coefficients de tarissement.

## CONSTRUCTION DE LA COURBE MAÎTRESSE DE TARISSEMENT

De nombreux auteurs (Tallaksen et Van Lanen, 2004) se sont intéressés aux méthodes de construction d'une courbe moyenne de tarissement, qualifiée dans la bibliographie de courbe maîtresse. Parmi les plus courantes, utilisées lors d'un précédent travail (Lang, 2004), on recense la méthode des tabulations (Jonhson et Dils, 1956, *in* Tallaksen, 1995), la méthode des corrélations (Langbein, 1938, *in* Tallaksen, 1995), et la « *matching strip method* » (Toebe et al., 1964, *in* Tallaksen, 1995). Les inconvénients rencontrés dans la mise en œuvre de chacune d'entre elles, notamment l'importante subjectivité intervenant dans le tracé des courbes moyennes, nous ont encouragé à développer une méthode d'élaboration d'une courbe maîtresse propre à nos perspectives.

La démarche se fonde sur la méthode des corrélations (Langbein, 1938, *in* Tallaksen, 1995) pour laquelle les auteurs proposent de corréler des valeurs de débits à pas de temps différents entre eux. Selon les auteurs, cette méthode est appliquée, soit pour déterminer la pente moyenne d'un épisode de tarissement (Tallaksen et Van Lanen, 2004), soit pour calculer le rapport  $a_t = Q_t/Q_0$  en corrélant les débits  $Q_0$  et  $Q$  à  $t$  jours ( $Q_t$ ), à partir de toutes les phases observées : sur le graphique de corrélation, il est possible, en effet, de faire passer une droite de régression dans le nuage de points, aboutissant à une fonction affine d'équation :

$$Q_t = a_t \cdot Q_0$$

On peut citer S. Lebaut (2000) qui utilise cette méthode en corrélant tous les débits  $Q_0$  avec les débits  $Q_{t=5}$ , pour proposer un rapport à 5 jours ( $a_5$ ) correspondant à la pente de la droite de régression. La démarche retenue pour l'élaboration de la courbe maîtresse de tarissement est la suivante : nous utilisons les fondements de l'approche de Lebaut, en répétant cette opération pour chaque valeur de  $t$ , de 1 jour à  $t_{\max}$  (durée maximum) afin de déterminer les rapports  $a_t$  particuliers pour chacune des durées. Par exemple le graphique ci-dessous (fig. 5) représente la corrélation entre  $Q_0$  et  $Q_{t=3 \text{ jours}}$ . On obtient l'équation suivante :

$$Q_{3\text{jours}} = 0,903Q_0$$

La pente 0,903 correspond au coefficient particulier  $a_3$ , signifiant que le débit à 3 jours vaut 90 % du débit de départ. D'autre part, la qualité de l'ajustement, traduite par une valeur élevée de  $r^2$  ( $r^2 = 0,988$ ), nous autorise à considérer plus généralement le rapport entre la moyenne des  $Q_0$  et la moyenne des  $Q_3$ .

On peut donc écrire :

$$\frac{\overline{Q_3}}{\overline{Q_0}} = a_3$$

Les rapports  $a_t$  sont calculés pour toutes les durées mais, en général, au-delà de 10 jours, l'échantillon devient insuffisant pour avoir une moyenne représentative. Les valeurs des rapports  $a_t$  sont ensuite mises en relation avec la durée  $t$ . Si  $Q_0$  est égal à 100 %,  $Q_t$  à 1 jour = 96 % de  $Q_0$ , à 2 jours 93 % etc. et à 9 jours on se situe à 82 %. La décroissance de ces rapports, à mesure que le nombre de jours augmente, correspond en définitive à la décroissance des débits moyens en période de tarissement. Pour obtenir la courbe maîtresse de tarissement, on procède à l'ajustement de ces points à une fonction exponentielle de type  $a_t = e^{-bt}$ , qui revient à écrire :

$$\frac{\overline{Q_t}}{\overline{Q_0}} = e^{-bt}$$

On retrouve ainsi dans cette expression de la courbe maîtresse la loi de Maillet :

$$Q_t = Q_0 \times e^{-\alpha t}$$

Le coefficient «  $b$  » correspond en fait au coefficient de tarissement  $\alpha$  de Maillet. Pour ne pas confondre  $b$  avec des  $\alpha$  calculés à partir des courbes séquences, ni avec une moyenne de ces  $\alpha$  ( $\alpha$  moyen), nous proposons de le nommer «  $\alpha$  maître ».

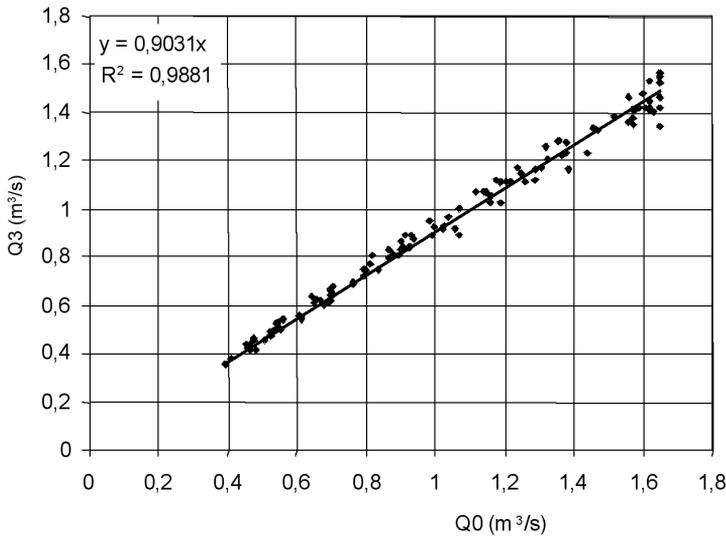


Figure 5 : Corrélation entre les débits  $Q_0$  et les débits à 3 jours ( $Q_3$ ) des courbes séquences (Bassin de la Mortagne)  
**Correlation**  
*between the starting discharge ( $Q_0$ ) and discharge at 3 days ( $Q_3$ ) of the sequences recession curves (Mortagne catchments)*

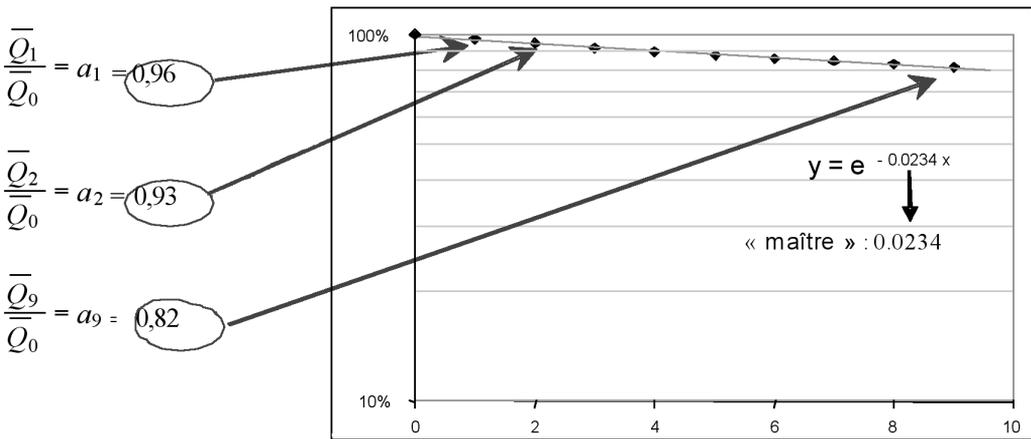


Figure 6 : Construction de la courbe moyenne de tarissement (exemple de la Mortagne)  
**Construction of the master recession curve (Mortagne catchments)**

L'opération est répétée pour les 59 bassins versants afin de déterminer, pour chacun d'entre eux la valeur de l' $\alpha$  maître. Le tableau ci-dessous (tableau 1) indique, en fonction du substrat des bassins versants les plages de valeurs d' $\alpha$  maître que l'on obtient. On constate que les rythmes de vidange les plus lents concernent systématiquement les bassins versants bénéficiant de l'apport d'aquifères gréseux : la nappe des grès du Trias inférieur (notamment la Mortagne) ; nappe du Lias gréseux d'Ardenne-Luxembourg. À l'opposé, les coefficients de tarissement les plus forts concernent les bassins versants développés sur des substrats imperméables : Vosges granitiques ; marnes et argiles du Trias inférieur et du Jurassique. Cette relation entre les coefficients de tarissement et la géologie des bassins versants permet de vérifier cette méthode (fig. 1).

Substrat perméable <i>Permeable bed</i>		Substrat imperméable <i>Confining underlying bed</i>	
Grès <i>Sandstone</i>	Calcaire <i>Limestone</i>	Granite <i>Granite</i>	Marne et argile <i>Marl and clay</i>
$\alpha$ de 0.023 à 0.029	$\alpha$ de 0.031 à 0.040	$\alpha$ de 0.070 à 0.080	$\alpha$ de 0.080 à 0.098

Tableau 1 : Résultats issus de l'analyse des courbes séquences de tarissement : valeurs d' $\alpha$  obtenues en fonction du type d'aquifère

*Results of the sequences recession curves analysis*

### ANALYSE STATISTIQUE DES COURBES SÉQUENCES

Le nombre élevé de phases extraites par bassin-versant rend possible une analyse statistique afin d'adjoindre une probabilité aux valeurs de coefficient de tarissement. Pour ce faire, les courbes séquences sont étudiées de manière analytique et indépendante. Elles sont ajustées à la fonction de Maillet pour déterminer les coefficients de tarissement ( $\alpha$  séquence) des phases en question.

On observe, pour tous les bassins versants, une importante variabilité des coefficients de tarissement que masque l'approche par la courbe maîtresse et qui soulève la question de l'homogénéité de cette population. La procédure automatique d'extraction des phases de tarissement garantit une homogénéité de la sélection des épisodes retenus mais peut, bien qu'on l'ait rarement observé par vérification au cas par cas, laisser passer des épisodes ne relevant pas du tarissement. Des corrélations réalisées entre les coefficients de tarissement et les débits  $Q_0$  montrent une indépendance totale entre ces deux valeurs (fig. 7), confirmant le caractère intrinsèque de la variabilité de ce coefficient. Des démarches telles que celles qu'ont réalisées J.-P. Larue et A. Giret (2004) ou J.-P. Lambert (1994), ont été menées pour tenter d'expliquer la dispersion des valeurs et les rattacher à des phénomènes hydro-climatiques, sans résultat.

L'objectif principal de cette démarche consiste à réaliser des prévisions de débits fondées sur l'extrapolation des courbes moyennes de tarissement. Pour cette raison, et comme la variabilité des coefficients de tarissement n'a pu être expliquée, nous avons choisi d'utiliser l'analyse statistique pour encadrer les valeurs moyennes par des fourchettes de probabilité.

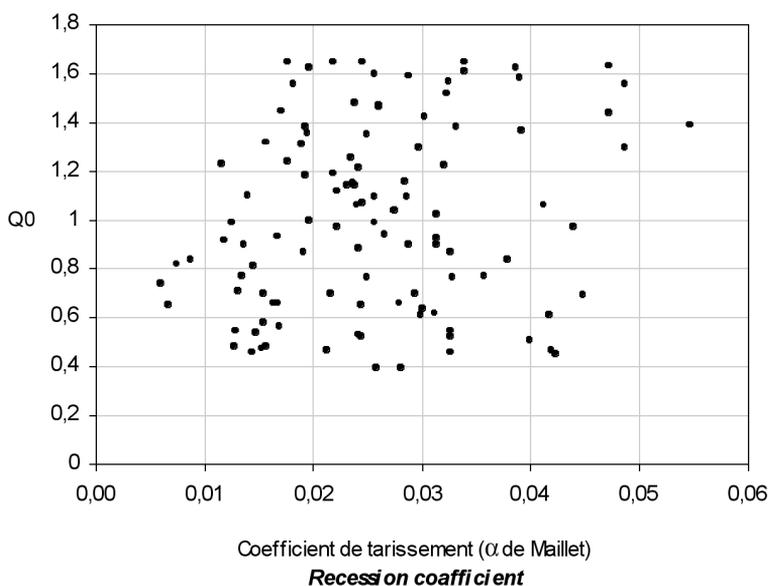


Figure 7 : Corrélation entre  $Q_0$  (en  $m^3/s$ ) et les coefficients de tarissement (exemple de la Mortagne)

Les distributions de valeurs d' $\alpha$  séquence montrent en général, d'une part, un mode bien identifié, d'autre part, un biais vers les valeurs les plus faibles (fig. 8). Ces observations se vérifient sur plus de 90 % des cours d'eau étudiés.



Figure 8 : Histogramme de distribution des  $\alpha$  séquences (Bassin de la Mortagne)  
*Histogram of the sequences  $\alpha$  (Mortagne catchments)*

En raison de ce biais, la loi de Gauss ne peut donc s'appliquer directement aux valeurs d' $\alpha$ , mais plutôt, soit aux logarithmes des valeurs, (loi Log-normale), soit à leurs racines carrées (loi Racine-normale), transformations qui permettent de rendre symétrique la distribution. L'analyse statistique permet de calculer pour chaque station la valeur moyenne ( $\alpha$  moyen), la valeur modale ( $\alpha$  modal), ainsi que les quantiles ( $\alpha_{0,5}$ ;  $\alpha_{0,25}$ ;  $\alpha_{0,75}$ ; etc.). Pour l'exemple du bassin-versant de la Mortagne (fig. 9), elle aboutit aux résultats suivants :  $\alpha$  moyen : 0,0259;  $\alpha$  modal : 0,0227;  $\alpha$  médian : 0,0249;  $\alpha_{0,25}$  : 0,0185 et  $\alpha_{0,75}$  : 0,0322. Les quantiles de probabilité 0,25 et 0,75 sont utilisés pour construire le rail d'extrapolation dans le modèle de prévision.

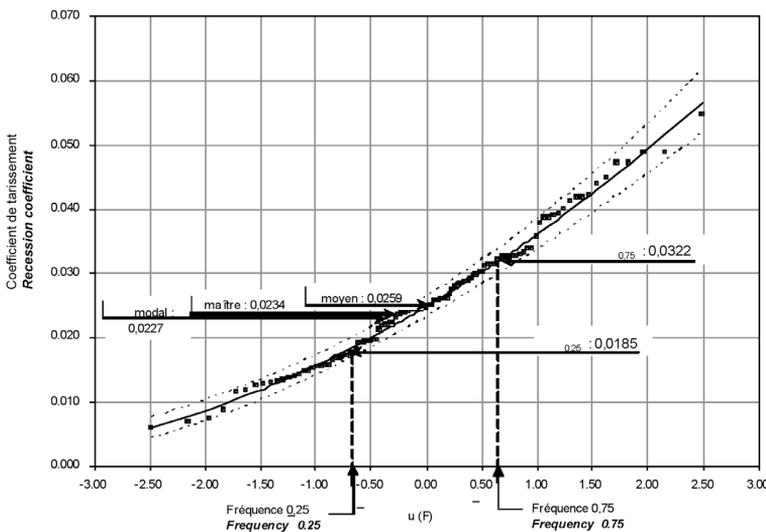


Figure 9 : Ajustement des  $\alpha$  séquences à la loi racine-normale (bassin de la Mortagne)  
*Probability plot of the sequences  $\alpha$  (square root normal, Mortagne catchments)*

En conclusion de l'application des deux méthodes de recherche d'une valeur représentative du coefficient de tarissement, on peut retenir plusieurs enseignements :

- l' $\alpha$  maître est effectivement très proche de l' $\alpha$  moyen.
- l' $\alpha$  modal est, dans le principe, plus intéressant que l' $\alpha$  moyen ou l' $\alpha$  maître, car il a plus de chances d'être observé. Sa détermination justifie le recours à des ajustements statistiques rendant compte de la structure de la distribution des  $\alpha$  séquences. L' $\alpha$  modal peut prendre, selon les ajustements, des valeurs plus faibles que l' $\alpha$  moyen et l' $\alpha$  maître.
- les valeurs d' $\alpha$  maîtres des 59 bassins sont toutes comprises à l'intérieur du rail de fréquence 0,25-0,75 d'extrapolation défini pour la prévision (de la fréquence 0,34 à la fréquence 0,74).
- au cas où les séquences de tarissement sont trop peu nombreuses pour permettre une analyse statistique, la méthode de l' $\alpha$  maître reste appropriée.

## Validation pour la prévision des débits d'étiage

La démarche de validation se fonde sur la reconstitution de phases de tarissement à l'aide des  $\alpha$  issus des analyses précédentes. Pour éprouver la méthode, nous choisissons l'épisode de tarissement le plus long de la période d'étude et l'épisode le plus long de la période estivale. En effet, il s'agit de cibler les épisodes les plus longs, car c'est pour eux que la prévision se révèle la plus utile et aussi la plus délicate. Pour le bassin-versant de la Mortagne à Autrey-Sainte-Hélène, l'épisode le plus long durant la période 1971-2003 a été observé en avril 1974 (20 jours) et pour l'été, au mois d'août 1978 (10 jours). L'extrapolation de la phase de tarissement, à partir du débit observé au début de la séquence, est réalisée en utilisant l' $\alpha$  maître et l' $\alpha$  modal (fig. 10). Le graphique montre que les écarts entre le débit mesuré et les débits reconstitués sont acceptables, même au 20<sup>e</sup> jour de l'épisode le plus long (de l'ordre de 100 l/s pour 1 m<sup>3</sup>/s observé). En terme de prévision, une erreur de 10 % pour une estimation à 20 jours est en effet tolérable.

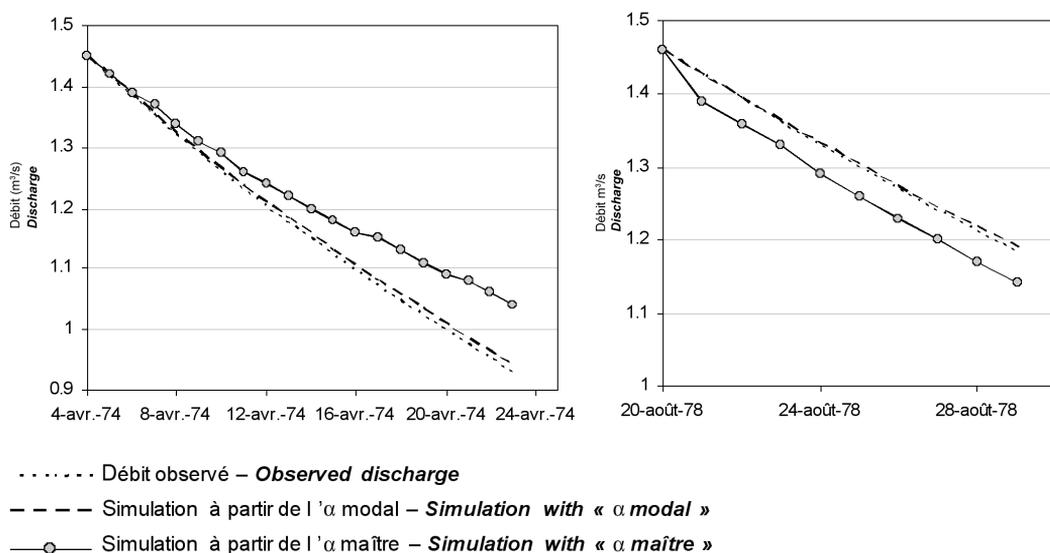


Figure 10 : Simulation de deux épisodes de tarissement en utilisant l'alpha maître et l'alpha modal (la Mortagne à Autrey-Sainte-Hélène, 1974 et 1978)

*Simulation of two recession phases by using "alpha maître" and "alpha modal" (Mortagne catchments in 1974 and 1978)*

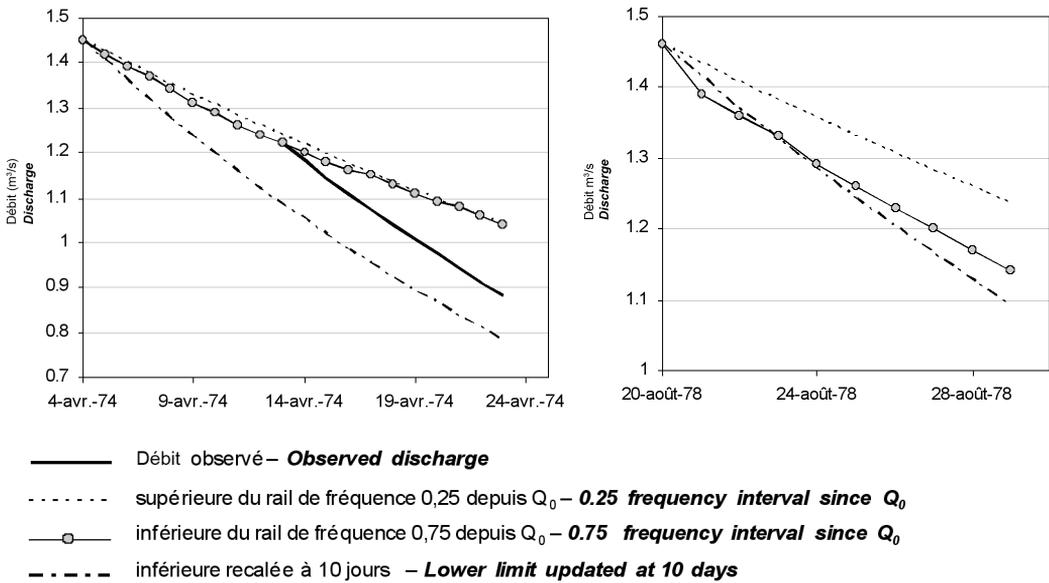


Figure 11 : Simulation de deux épisodes de tarissement en utilisant des  $\alpha$  fréquentiels (fréquences 0,25 et 0,75) et exemple de recalage au cours de l'épisode (Bassin de la Mortagne en 1974 et 1978)

*Simulation of two recession phases by using frequency  $\alpha$  (frequencies 0.25 and 0.75) and example of updated simulation (Mortagne catchments in 1974 and 1978)*

Les résultats de l'analyse statistique sont utilisés pour construire un rail de confiance déterminé par les  $\alpha$  de fréquence 0,25 et 0,75 (signifiant que 50 % des valeurs d' $\alpha$  ont été observées entre 0,0185 et 0,0322). La figure 11 montre le résultat des simulations.

Pour l'épisode le plus long, le coefficient de tarissement observé appartient aux valeurs les plus faibles, proche de la fréquence 0,25. Néanmoins, la courbe des débits observés reste à l'intérieur du rail de confiance. En fin de phase, la fourchette proposée par le rail de confiance atteint 205 l/s (soit 25 % du débit), ce qui est beaucoup. L'importance de l'écart est en partie liée à la durée particulièrement longue de la phase (20 jours de tarissement correspond à la fréquence quinquennale sur le bassin-versant de la Mortagne à Autrey-Sainte-Hélène). Or, d'un point de vue opérationnel pour un modèle de prévision, on peut se recalage sur les débits réellement observés au fur et à mesure de la progression de l'étiage, limitant considérablement les écarts. La figure montre un exemple de recalage réalisé 10 jours après le début de la phase. La fourchette n'est plus que de 150 l/s (soit 15 % du débit).

## Conclusion

Ce travail a d'abord constitué une approche globale du tarissement des cours d'eau pour sélectionner des méthodes d'approche automatisées susceptibles d'en décrire les modalités et permettre la prévision. La détermination du tarissement moyen des cours d'eau offre la possibilité d'élaborer un outil simple et directement opérationnel. L'analyse statistique permet, en outre, d'assortir les prévisions d'une marge d'incertitude renvoyant à des valeurs de probabilité. À travers la diversité des épisodes de tarissement il a néanmoins été possible de régionaliser des comportements type en relation avec la géologie, permettant d'envisager d'approcher ceux de bassins versants non jaugés.

Dans le cadre de l'étude PRESAGES, la prévision des débits par simple extrapolation de la courbe de tarissement est mise en œuvre pour des prévisions de l'ordre de 10 jours. Un autre type d'estimation à court (dizaine de jours) et long terme (2-3 mois) est également produit à partir de modèles conceptuels pluie-débit tels que les modèles ORCHY en mensuel et GR3J en journalier, (Lang *et al.*, [b], à paraître). Du point de vue opérationnel, l'outil de prévision a été entièrement automatisé sous forme de feuilles de calcul pour les agents chargés du suivi des étiages. Les tableaux de prévision s'accompagnent de cartes de situation évaluant le nombre de jours restant avant d'atteindre les seuils de débits caractéristiques d'étiage. Le recours aux cartes permet en outre de prendre en considération l'ampleur géographique du phénomène.

Ce travail a montré quelques limites : la variabilité des coefficients de tarissement reste délicate à expliquer. Même si nous sommes parvenus à des résultats tangibles et concrets et pour prolonger la réflexion de Pardé, les étiages n'en finissent pas de « mériter une analyse détaillée »...

## Bibliographie

- DACHARRY (M.), 1997. – *Dictionnaire Français d'Hydrologie*, [<http://www.cig.ensmp.fr/~hubert/glu/FRDIC/DICTARIS.HTM>].
- GILLE (E.), LANG (C.), 2003. – « Problématique d'optimisation des paramètres de calage d'un bilan hydrologique : application aux bassins versants de la Sauer », *Mosella*, Tome XXVIII, n° 1-2, p. 157-172.
- LAMBERT (R.), 1994. « De la crue du débit de base des rivières du bassin garonnais d'août à octobre alors que perdure la sécheresse atmosphérique », *Revue de Géographie alpine*, n° 12, p. 117-123.
- LANG (C.), 2004. « Étiages et tarissements : Approche quantitative et modélisation appliquées à quatre bassins tests ». *Mémoire de DEA*, Université Paul-Verlaine de Metz, 104 p.
- LANG (C.), FREYERMUTH (A.), GILLE (E.), FRANÇOIS (D.), « PRESAGES (Prévision et Simulation pour l'Annonce et la Gestion des Étiages Sévères) : un outil pour évaluer et prévoir les étiages », *Géocarrefour*, vol. 80, n° 4, à paraître (a).
- LANG (C.), GILLE (E.), FRANÇOIS (D.), AUER (J.-C.), Le dispositif PRESAGES : un ensemble d'outils pour la prévision des étiages, dans *Climate Variability and Change-Hydrological Impacts* (Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference held at Havana, Cuba, November 2006), IAHS Publ. 308, à paraître (b).
- LARUE (J.-P.), GIRET (A.), 2004. « L'assèchement de cours d'eau dans le bassin de la Maine entre 1989 et 1992 », *Norois*, n° 192, p. 117-133.
- LEBAUT (S.), 2000. – « L'apport de l'analyse et de la modélisation hydrologique de bassins versants dans la connaissance du fonctionnement d'un aquifère », *Thèse de doctorat*, Université de Metz, 271 p.
- RUTLEDGE (A. T.), DANIEL (C. C.), 1994. – « Testing an automated method to estimate ground-water recharge from streamflow records », *Ground water*, vol. 32, n° 2, p. 181-188.
- TALLAKSEN (L. M.), 1995. – « A review of baseflow recession analysis », *Journal of hydrology*, n° 165, p. 349-370.
- TALLAKSEN (L. M.), VAN LANEN (H. A. J.), 2004. – « Hydrological Drought, Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater », *Development in Water Sciences*, 579 p.

*Cet article a été reçu le 21 février 2006 et définitivement accepté le 30 octobre 2006.*

