

Le dispositif PRESAGES: un ensemble d'outils pour la prévision des étiages

CLAIRE LANG¹, EMMANUEL GILLE¹, DIDIER FRANÇOIS¹ & JEAN-CLAUDE AUER²

¹ Centre d'Etudes Géographiques de l'Université de Metz, UFR SHA, Ile du Saulcy, BP 30306, F-57006 Metz cedex 1, France
clair_lang@yahoo.fr

² Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Rozérieulles, BP 30019, F-57161 Moulins-les-Metz, France

Résumé Cet article présente un dispositif de prévision des débits d'étiage à long et moyen terme pour les cours d'eau du bassin Rhin-Meuse. Des modèles conceptuels mensuels et journaliers sont mis en œuvre. Le modèle mensuel permet un suivi de la situation hydrologique et des prévisions à long terme. Le modèle journalier n'est utilisé qu'en cas de risque annoncé d'étiage sévère, et repose sur l'analyse préalable du tarissement des cours d'eau.

Mots clefs étiage; modèle conceptuel; prévision; tarissement

PRESAGES: A collection of tools for predicting low flows

Abstract This article presents a device for long- and medium-term low flow forecasting for the rivers of the Rhine-Meuse basin. Monthly and daily conceptual models are implemented. The monthly model permits monitoring of the hydrological situation and the making of the long-term forecasts. The daily model is used only if a risk of severe low water levels is announced, and is based on the preliminary analysis of the recession periods.

Key words conceptual model; forecasting; low flow; recession

INTRODUCTION

Suite à l'étiage 2003, particulièrement sévère en France, le ministère français de l'Ecologie et du Développement Durable a incité les services de l'état à mieux anticiper les situations d'étiage sévère afin d'assurer une meilleure gestion de la ressource en eaux superficielles. A ce titre, l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse a confié au CEGUM (Université Paul Verlaine, Metz) une étude intitulée PRESAGES (PREvisions et Simulations pour l'Annonce et la Gestion des Etiages Sévères) dont l'objectif est d'élaborer des outils de prévision des débits d'étiage.

Le CEGUM développe un dispositif qui évalue à l'échelle mensuelle les risques d'apparition d'un étiage sévère dès la fin de la période de hautes eaux. Dans le cas d'une sécheresse annoncée, des prévisions plus précises sont alors réalisées afin de répondre aux attentes des gestionnaires.

CONTEXTE ET MÉTHODES

Contexte de l'étude

Une soixantaine de stations dispersées sur l'ensemble du bassin Rhin-Meuse (dans sa partie française) sont retenues pour l'étude (Fig. 1). Les bassins versants dont les superficies s'échelonnent de 39 à 10 700 km² traversent des milieux variés, avec d'ouest en est une région de plateau, des zones de moyennes montagnes cristallines et gréseuses (Vosges) et la plaine d'Alsace. Cette diversité géographique induit des différences climatiques (les précipitations annuelles varient de 750 à 2200 mm) et physiographiques (bassins aux capacités aquifères plus ou moins importantes). Les cours d'eau de l'étude présentent des régimes analogues de type pluvial océanique, avec des hautes eaux hivernales, liées aux précipitations, et des basses eaux estivales qui s'expliquent par une augmentation des prélèvements évapotranspiratoires.

Si l'accentuation des prélèvements évapotranspiratoires justifie le creux estival observé dans le régime de ces cours d'eau, la sévérité de l'étiage s'explique par l'importance du déficit pluviométrique observé durant la période de recharge. Celle-ci s'étend généralement, pour nos bassins, de novembre à mars, puis, dès le mois d'avril, on passe à la période de vidange des nappes. Ainsi, les débits observés durant l'étiage sont dépendants de l'état des réservoirs au début de la période de vidange et de leur rythme de tarissement. Le régime des cours d'eau en période



Fig. 1 Localisation des stations de l'étude au sein du bassin Rhine-Meuse.

d'étiage est donc conditionné par les forçages atmosphériques et par les modalités de tarissement de la rivière.

Méthodes et outils

La genèse particulièrement longue des étiages permet un suivi de la situation hydrologique à l'échelle mensuelle. Les épisodes de tarissement font l'objet d'une analyse particulière car ils constituent un indicateur déterminant pour la prévision des débits d'étiage. PRESAGES constitue un enchaînement d'outils qui permettent de réaliser des prévisions à long et moyen terme. Dans ce contexte, nous montrons les difficultés associées à l'emboîtement d'outils utilisant des échelles de travail différentes, ainsi que les problèmes posés par l'échelle mensuelle.

Analyse du tarissement Un travail préalable a montré que la valeur du paramètre gérant le réservoir d'eau gravitaire ne peut être la même pour un modèle journalier et pour un modèle mensuel.

- (a) Estimation de la vidange journalière: le tarissement représente "la décroissance des débits correspondant à la vidange des nappes en dehors de toute précipitation" (Roche, 1963). Une procédure automatique extrait, par cours d'eau, les phases de tarissement à partir de critères précis (Lang & Gille, 2005), puis les ajuste à la loi de Maillet. L'importante variabilité des coefficients de tarissement, pour un même cours d'eau, a nécessité la mise en œuvre d'un traitement statistique afin d'obtenir des valeurs fréquentielles des coefficients de tarissement.

- (b) Estimation de la vidange mensuelle: l'estimation de la vitesse de vidange mensuelle des nappes est réalisée à partir de l'analyse de la pente des débits moyens mensuels du régime des cours d'eau. Cette démarche est évidemment discutable car les valeurs obtenues ne représentent en aucun cas la vidange des réservoirs car les précipitations et la recharge des aquifères sont intégrées dans le calcul. Néanmoins, les valeurs obtenues sont fortement corrélées aux coefficients d'immodération des cours d'eau, eux-mêmes en rapport avec la géologie des bassins. Pour des rivières soumises à un climat comparable, la pondération du régime est déterminée par des capacités aquifères plus ou moins importantes. Les valeurs obtenues ne correspondent pas uniquement à du tarissement et restent très globales, mais nous montrons plus loin qu'elles s'adaptent bien pour caler la vidange des modèles mensuels.

Contraintes et difficultés liées à la modélisation Le cahier des charges de l'étude impose la mise en œuvre de modèles conceptuels mensuels et journaliers, simples (parcimonieux) et transposables sur un tableur. En terme opérationnel, l'objectif est de produire des outils fonctionnels, modifiables par un utilisateur averti et pouvant s'insérer facilement dans les outils des services gestionnaires. Ces exigences amènent les réflexions et les choix suivants:

- (a) Nous proposons d'affecter le coefficient de tarissement médian (voir analyse du tarissement) à la vidange du réservoir d'eau gravitaire. Cette opération a pour but de préserver une certaine représentativité des résultats et de proposer des valeurs fondées sur le fonctionnement hydrologique du bassin versant. Les autres paramètres des modèles sont optimisés.
- (b) Difficulté de l'emboîtement des échelles de temps: pour les services gestionnaires, le modèle mensuel fonctionne de manière permanente sur cinq bassins indicateurs représentatifs des principaux aquifères du bassin Rhin-Meuse (alimentation et recalage du modèle chaque mois). L'objectif est d'alléger au maximum la procédure de suivi en temps et en coût des données. Le dispositif PRESAGES prévoit de mettre en œuvre le modèle journalier uniquement pour la période de basses eaux dans le cas d'un étiage sévère annoncé par l'approche mensuelle (sur les bassins indicateurs). La phase d'initialisation du modèle journalier est donc déterminante pour réaliser de bonnes prévisions à moyen terme. Il est donc important que les niveaux des réservoirs d'eau gravitaire des modèles mensuels et journaliers fonctionnent de manière comparable. Une bonne corrélation entre leurs niveaux respectifs facilite l'initialisation du modèle journalier.
- (c) Particularité du pas de temps mensuel: si la modélisation mensuelle exige moins de données et permet des prévisions à long terme, elle pose certaines difficultés spécifiques. On constate ainsi que bien souvent, durant la période de basses eaux le modèle ne génère pas de recharge du réservoir d'eau gravitaire. La majeure partie des précipitations est gérée par le bilan hydrique et le reste par le ruissellement. L'absence de recharge durant toute cette période doit être compensée par un rythme de tarissement plus faible. L'estimation de la valeur à attribuer à ce paramètre, par l'observation de la pente du régime des cours d'eau, s'inscrit dans cette même réflexion. Les recharges sont incluses dans le calcul, mais la diminution est observée au pas de temps mensuel et non durant les phases de tarissement pur. Par conséquent les valeurs sont nécessairement plus faibles que celles issues de l'analyse du tarissement (Fig. 2).

Le choix des modèles Dans la bibliographie, on recense un nombre important de modèles à l'échelle journalière et mensuelle (Perrin, 2000). Notre choix s'est porté vers les algorithmes qui utilisent des coefficients de vidange des nappes comparables à ceux estimés préalablement (voir analyse du tarissement).

A l'échelle mensuelle, le modèle ORCHY (Outil de Représentation du Cycle HYdrologique, Gille & Lang, 2003) élaboré au CEGUM d'après Thornthwaite & Mather (in Alley, 1985) répond à cette préoccupation (Fig. 3(a)).

Pour l'échelle journalière, le modèle GR3j (Edijatno & Michel, 1989) est modifié pour respecter notre démarche d'"optimisation assistée". Celui-ci utilise initialement une vidange quadratique paramétrée par la capacité maximale du réservoir d'eau gravitaire. L'introduction d'un coefficient de vidange de nappe a nécessité l'ajout d'un réservoir à ruissellement différé (Fig. 3(b)) car avec un coefficient de vidange des nappes faible, le passage d'une crue à une phase de tarissement est trop brutal. Ces modifications permettent d'obtenir des hydrogrammes plus proches de ceux observés. Le modèle proposé nécessite six paramètres.

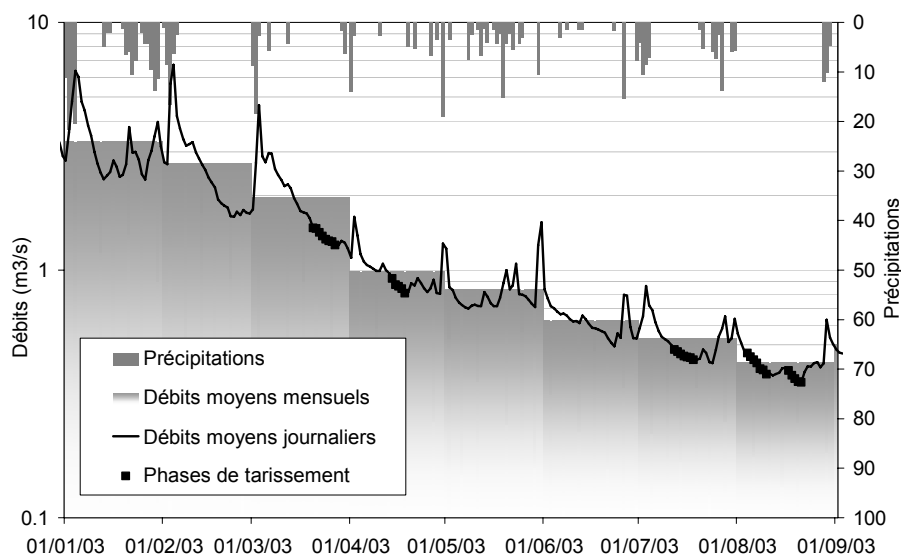


Fig. 2 Phases de tarissement et décroissance mensuelle des débits. L'échelle mensuelle globalise l'alternance des phases de tarissement et de recharge.

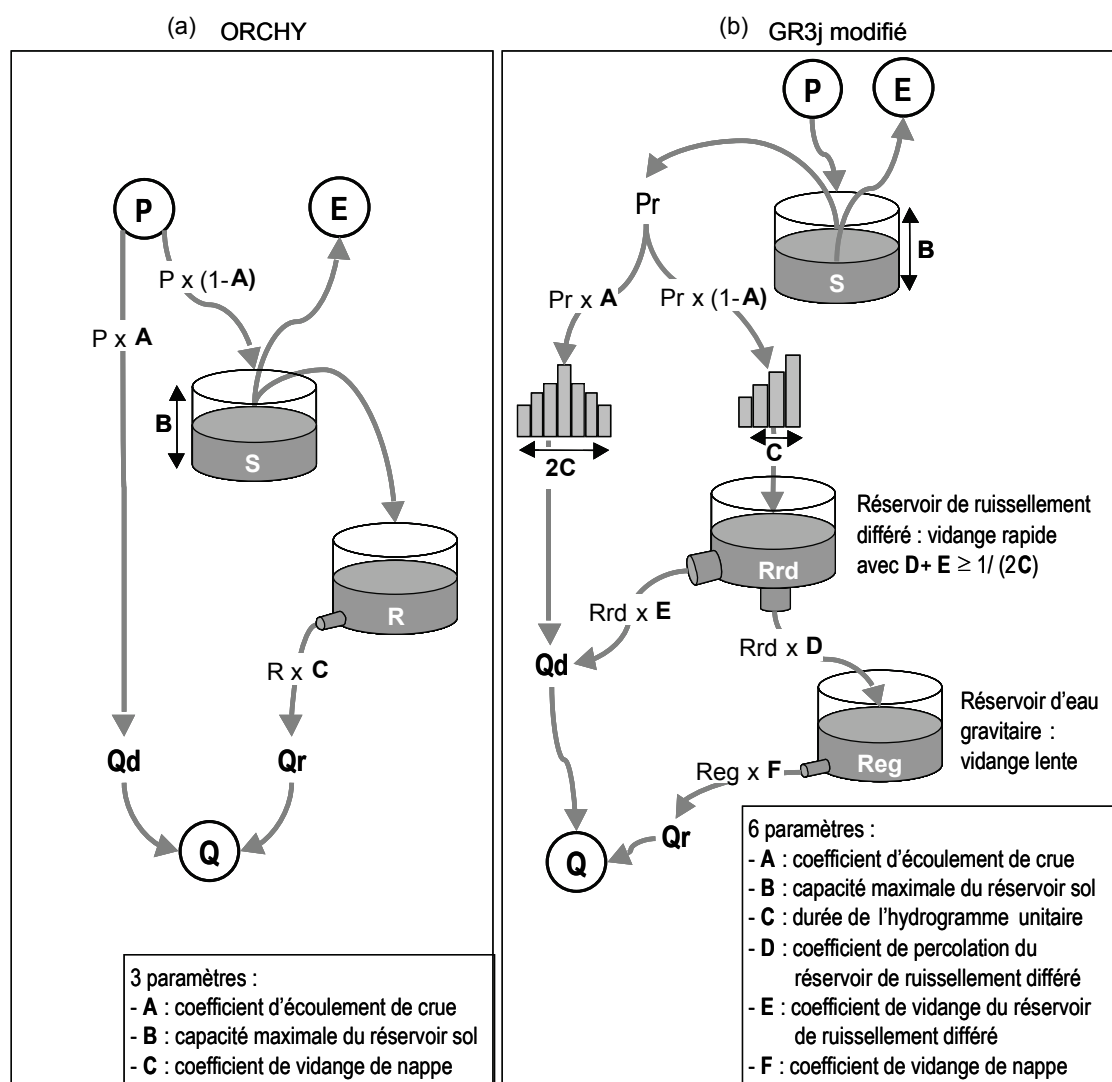


Fig. 3 (a) Architecture du modèle ORCHY (Gille & Lang, 2003). (b) Architecture du modèle GR3j modifié (Edijatno & Michel, 1989).

CALAGE ET APPLICATION DU DISPOSITIF PRESAGES À L'ÉTIAGE 2003

Calage des modèles

La période de calage s'étend de 1971 à 1990 et la période de validation de 1991 à 2000. L'année 2003 permet de tester le dispositif de prévision. Le critère de Nash est calculé à partir du logarithme des valeurs sur la période de validation.

A l'échelle mensuelle Le modèle ORCHY est calé de deux manières:

- seuls les paramètres A (coefficient d'écoulement de crue) et B (capacité maximale du réservoir sol) sont optimisés de manière itérative, C (coefficient de vidange de nappe) est égal à la valeur définie à partir du régime hydrologique du cours d'eau (voir analyse du tarissement);
- les trois paramètres A , B et C sont optimisés.

A l'issue du premier calage, plus des $\frac{3}{4}$ des stations ont un critère de Nash supérieur à 70%. Après optimisation des trois paramètres, cette proportion passe à 82% et plus d' $\frac{1}{3}$ présente un critère supérieur à 80% (Fig. 4). Bien qu'ils apparaissent globalement sous-estimés, les coefficients issus directement des régimes sont fortement corrélés avec les valeurs optimisées (Coefficient de détermination, $R^2 = 73\%$). On retrouve une cohérence liée au caractère plus ou moins perméable des bassins versants. ORCHY présente donc des résultats tout à fait acceptables.

A l'échelle journalière A la différence du pas de temps mensuel pour lequel la détermination du coefficient de vidange est entachée d'incertitudes, les coefficients de tarissement journaliers constituent des valeurs fiables. L'optimisation n'a donc concerné que les cinq autres paramètres (Fig. 3(b)). Les performances du modèle proposé sont satisfaisantes car $\frac{3}{4}$ des stations présentent un critère de Nash supérieur à 70% (Fig. 4).

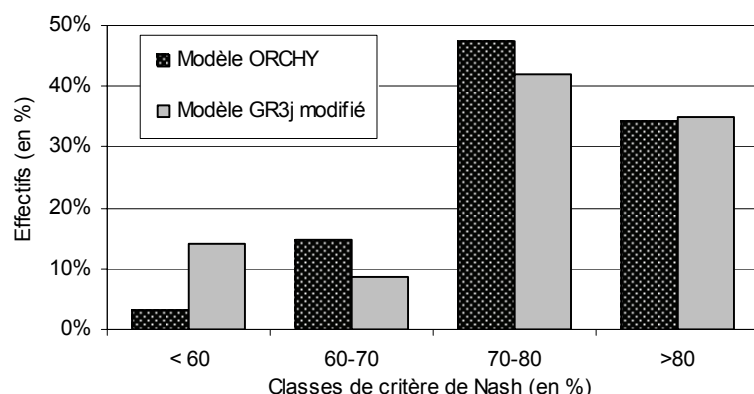


Fig. 4 Distributions des critères de Nash calculés sur le logarithme des débits de la période de validation (1991–2000).

Application à 2003 Le modèle mensuel est normalement recalé jusqu'au début de la période de basses eaux. En 2003, cette opération est inutile car ORCHY simule des valeurs proches des débits observés. A partir du mois de mai, il est alimenté par des pluies fréquentielles et une évapotranspiration potentielle moyenne. La Fig. 5 montre une estimation du débit en août inférieure au débit mensuel d'étiage de fréquence 1/10ème. Pour cet exemple, le modèle, alimenté par des pluies mensuelles biennales, annonce dès le mois d'avril une situation d'étiage sévère. Compte tenu de la fréquence de pluie utilisée, le risque est particulièrement élevé, justifiant la mise en œuvre conjointe du modèle journalier.

A l'échelle journalière, les prévisions s'appuient sur l'hypothèse d'une absence de précipitations, une évapotranspiration potentielle moyenne et sur trois valeurs de coefficients de vidange extraits de l'analyse statistique des tarissements (fréquences au non-dépassement 0.25, 0.5 et 0.75, Lang *et al.*, 2006). L'intérêt réside à la fois dans la prise en compte de la situation la plus critique (absence totale de précipitations) et dans la proposition d'un rail de prévision (comparable à l'application du modèle MORDOR sur la Loire; Garçon & Lyaudet, 1999). Les niveaux des réservoirs ont été estimés à partir des données de débits journaliers du mois de mai. Si besoin, il existe une bonne corrélation entre les niveaux des réservoirs d'eau gravitaire des modèles journalier et mensuel (Coefficient de détermination, $R^2 = 76\%$). Les paramètres de calage ne sont

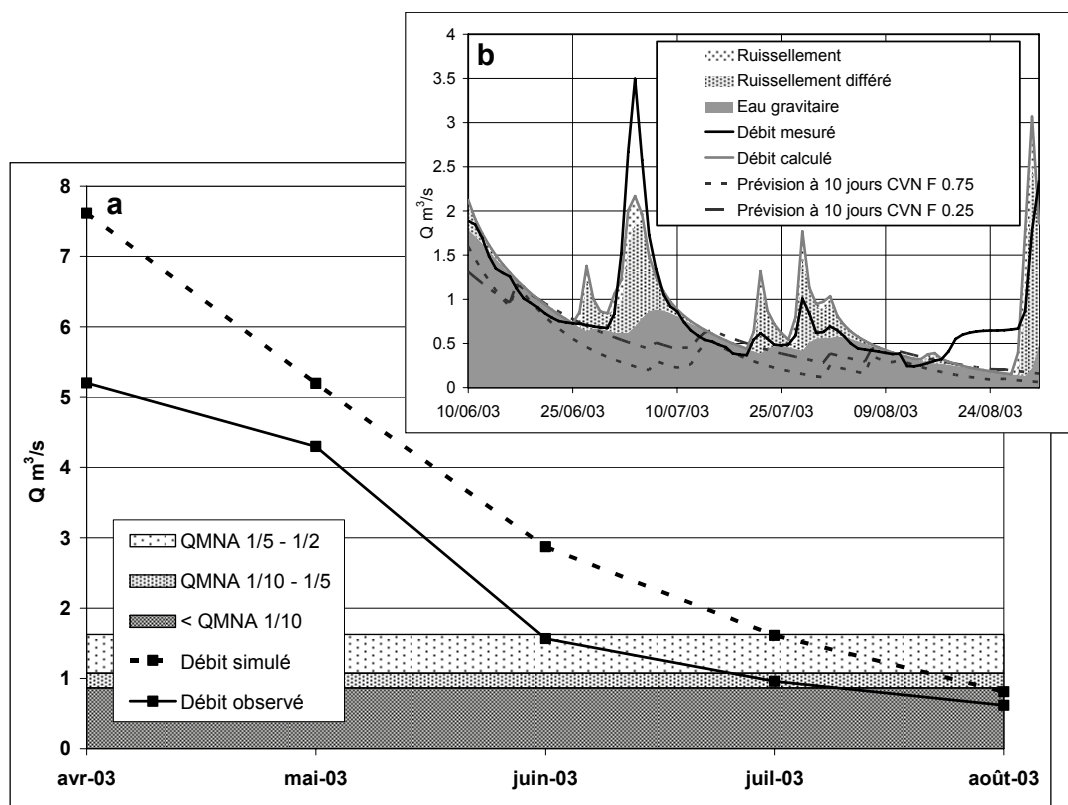


Fig. 5 Validation du dispositif: La Moselotte à Vagney pendant l'étiage 2003. (a) Modèle mensuel ORCHY, QMNA (débit mensuel d'étiage fréquentiels 1971–2000). (b) Modèle journalier GR3j modifié, CVN (coefficient de vidange de nappe de fréquence F).

pas modifiés. Sur la période présentée (juin–août 2003), une correction des valeurs de précipitations a été nécessaire pour se recalibrer après la petite crue du début du mois de juillet.

CONCLUSION

L'analyse des tarissements, peu développée dans cet article, a fait l'objet d'un travail spécifique à chaque station. La connaissance du rythme de vidange des aquifères est déterminante en période d'étiage et permet des prévisions fiables à moyen terme (10 jours maximum). Si la prévision mensuelle à long terme apparaît plus incertaine, elle présente néanmoins l'avantage d'une mise en œuvre moins contraignante qui peut être assumée par les services gestionnaires. Toutefois les outils présentés dans ce travail ne seront véritablement éprouvés que dans une situation de sécheresse hydrologique grave à venir. Il semble que le modèle journalier soit perfectible pour répondre aux conditions hydrométéorologiques particulières à un étiage sévère (type 2003). D'autre part, pour les cours d'eau drainant de grands bassins versants, les influences anthropiques doivent être prises en compte.

REFERENCES

- Alley, W. M. (1985) Water balance models one month ahead stream flow forecasting. *Water Resour. Res.*, **21** (4), 597–606.
- Edijatno, E. & Michel, C. (1989) Un modèle pluie-débit journalier à trois paramètres. *La Houille Blanche* **2**, 113–121.
- Garçon, R. & Lyaudet, P. (1999) Exemple de prévision et de simulation opérationnelle des débits d'étiage pour les besoins d'EDF. *La Houille Blanche* **54**, 37–42.
- Gille, E. & Lang, C. (2003) Problématique d'optimisation des paramètres de calage d'un bilan hydrologique: application aux bassins versants de la Sauer. *Mosella* **28**(1–2), 157–172.
- Lang, C., Freyermuth, A., Gille, E. & François, D. (2006) PRESAGES: un outil pour évaluer et prévoir les étiages. *Géocarrefour* **81** (à paraître).
- Lang, C. & Gille, E. (2005) Une méthode d'analyse du tarissement des cours d'eau pour la prévision des débits d'étiage. Actes du colloque Les rencontres de Géo13: Le risque hydrologique du concept à sa gestion, Villeteuse, 28 octobre 2005.
- Perrin, C. (2000) Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative. Thèse de doctorat, Cemagref, Antony, France.
- Roche, M. (1963) *Hydrologie de surface*. Gauthier-Villars Editeur, Paris, France.