

Connaissance régionale de la ressource en eau de surface: application au quart sud-est français

J. LAVABRE, N. FOLTON, C. FOUCHIER & B. GRAFF

Cemagref Aix-en-Provence, BP 31, F-13612 Aix-en-Provence Cedex 1, France

jacques.lavabre@cemagref.fr

Résumé L'objectif du travail est la connaissance des débits de référence (module et débit mensuel minimal de fréquence quinquennale) en tout point du réseau hydrographique de la zone d'étude. Une approche par modélisation des écoulements à partir de la pluie au pas de temps mensuel a été adoptée. Le modèle retenu est réglé par deux paramètres et permet de prendre en compte le stockage et le déstockage de la neige. Sa précision est excellente pour l'estimation des modules. Bien qu'une certaine dispersion affecte les débits d'étiage, les performances du modèle restent très correctes. Une régionalisation des deux paramètres du modèle a pu être proposée.

Mots clefs modèle; régionalisation; ressource en eau

Key words model; regionalization; water resource

INTRODUCTION

Dans le cadre de la loi sur l'eau de 1992 et de son décret d'application no. 93-742 de mars 1993, le débit mensuel d'étiage de fréquence quinquennale sèche (QMNA5) constitue la norme pour l'instruction des dossiers d'autorisation ou de déclaration des rejets et des prélèvements en rivière. Le débit minimal des cours d'eau à l'aval des aménagements, défini par l'article L 232-5 du Code rural (loi no. 84-512 du 29 juin 1984), s'exprime quant à lui comme un pourcentage du débit annuel moyen ou module.

Les dispositions prises par le législateur posent toutefois le problème de la connaissance de ces débits de référence en tout point du réseau hydrographique du territoire. Le débit de quelques cours d'eau est certes connu au droit des stations de jaugeage. Mais l'hydraulicité reste une inconnue pour la majorité d'entre eux. Les Directions régionales de l'environnement (DIREN) et les services de l'Etat (Missions interservice de l'eau, MISE) ayant en charge la police des eaux sont confrontés à cette méconnaissance. En l'absence de réelle étude de synthèse, ces services font appel à leurs connaissances du terrain qui leur permettent une extrapolation des informations déduites du réseau de mesure. Les DIREN des régions Corse, Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Rhône-Alpes et Auvergne ainsi que la MISE Aveyron ont souhaité disposer d'une méthode d'estimation un peu plus élaborée. Dans ce sens, elles ont confié au Cemagref une étude méthodologique et de synthèse pour répondre au problème posé.

METHODOLOGIE

Quel que soit leur degré de sophistication, les méthodes hydrologiques ont en commun qu'elles ne peuvent se passer de l'information des réseaux de mesure et que leurs

performances sont étroitement liées à la disponibilité des chroniques d'information dans le temps et dans l'espace. Toutefois, la connaissance régionale de variables hydrologiques telles que le module ou le QMNA5 peut être abordée selon différentes méthodes parmi lesquelles on peut citer:

- (a) les méthodes basées sur une analyse statistique simple des chroniques observées après échantillonnage des variables sur une période commune ou non d'observation. Le traitement régional des quantiles déduits est souvent réduit à un simple report cartographique sur papier ou fond de carte digitalisé pour une visualisation informatique. La cartographie de zones homogènes proposée par agglomération manuelle ou automatique présente quelques difficultés inhérentes au fait que la mesure ponctuelle d'un débit intègre l'ensemble du bassin versant. Des variables exogènes (comme la pluviométrie, la description physique du bassin) peuvent être introduites pour augmenter la précision des estimations. La régionalisation repose alors sur la cartographie de ces variables généralement plus facile à établir que celle des débits.
- (b) la modélisation des écoulements à partir de la pluie. Cette approche présente l'avantage d'être globale et non limitée à une variable hydrologique. La régionalisation est essentiellement reportée sur les paramètres du modèle pluie-débit. Elle permet alors de générer, pour l'ensemble du réseau hydrographique de la zone d'étude, des chroniques d'écoulement, desquelles sont déduites les variables hydrologiques à étudier.

L'intérêt du deuxième type de méthode, retenu ici, est évident. Le lourd travail de compilation des informations et de régionalisation n'est effectué qu'une seule fois, ce qui évite les études en cascade et les cartographies diverses. De plus, grâce aux développements actuels de l'informatique, l'écriture de la méthode sous forme d'un logiciel convivial offre à l'utilisateur un outil général qui synthétise l'ensemble de l'information hydrologique du réseau de mesure et lui permet de traiter très rapidement un grand nombre de problèmes hydrologiques.

TRAITEMENT DES DONNEES

Zone d'étude et données utilisées

La zone d'étude comporte 26 départements et couvre environ 148 000 km². La climatologie de cette zone est extrêmement contrastée, allant du climat méditerranéen côtier au climat de haute montagne. La pluviométrie annuelle moyenne varie dans une fourchette de 500 à 2500 mm, ce qui induit une variabilité hydrologique marquée:

- (a) le module oscille entre quelques l s⁻¹ km⁻² près de la côte et plus de 70 l s⁻¹ km⁻² pour les bassins de montagne;
- (b) le QMNA5 varie de 0 à plus de 15 l s⁻¹ km⁻².

La quasi totalité de l'information hydrologique existante a été traitée, soit: 646 bassins versants, dont 46% ont une surface inférieure à 100 km² et 94% à 1000 km²; environ 2000 stations pluviométriques et 46 points de mesure de l'évapotranspiration potentielle (ETP). Nous disposons aussi des cartes pixélisées à la maille du km² des températures mensuelles moyennes et des pluies mensuelles moyennes, cartographiées selon la méthode AURHELY développée par Météo-France (Benichou & Le Breton,

1987). L'information température a été utilisée pour établir une cartographie de l'ETP (Folton & Lavabre, 2001). L'information relief contenue dans la cartographie des pluies mensuelles moyennes a été utilisée pour calculer les pluies de bassin de chaque mois (Folton & Lavabre, 2001).

Calage du modèle pluie-débit

Le modèle retenu, de type conceptuel, fonctionne au pas de temps mensuel. Préalablement développé au Cemagref, groupement d'Antony, par C. Michel (Makhlouf *et al.*, 1994; Lavabre *et al.*, 1997), le modèle a été légèrement modifié dans le cadre de cette étude afin de mieux reproduire les débits d'étiage et pour mieux restituer les écoulements des bassins de montagne (cf. Fig. 1). Deux paramètres, XV1 et XV2, règlent la génération des débits mensuels. Les valeurs de ces deux paramètres sont déduites d'une période d'apprentissage durant laquelle sont comparés les débits observés et les débits calculés par le modèle grâce à la seule connaissance des pluies de chaque mois. A travers ces valeurs, on vise à réduire l'écart entre débits observés et calculés.

Classiquement, la modélisation de la pluie en débit comporte deux fonctions principales. La fonction de production équilibre au mieux le bilan en volume du bassin versant. Elle traduit la plus ou moins bonne aptitude du bassin versant à produire des écoulements. La distribution des débits dans le temps, ici au pas de temps mensuel, est assurée par la fonction de transfert. Cette fonction rend compte du décalage dans le temps entre la pluie et les écoulements. Le modèle impose une formulation numérique à ces deux fonctions, qui sont toutefois dépendantes des valeurs numériques des deux paramètres de calage:

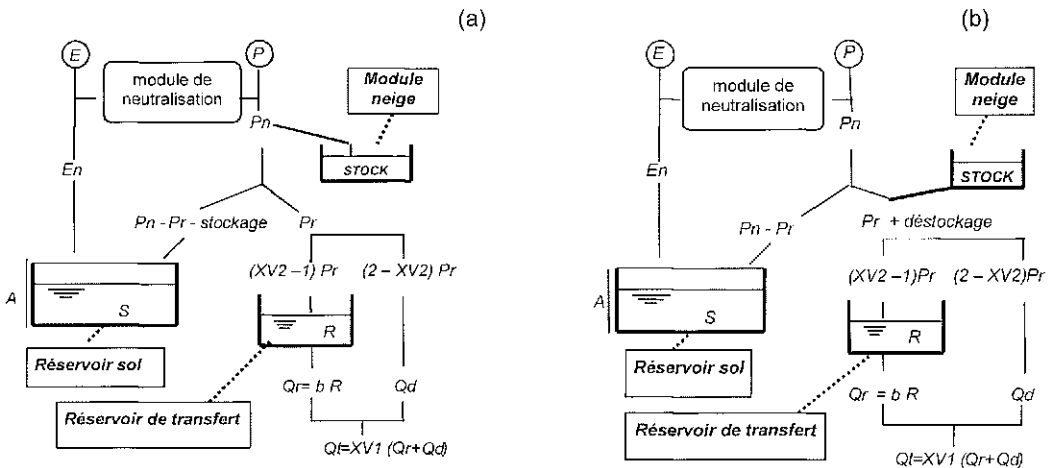


Fig. 1 Architecture du modèle retenu avec (a) stockage d'une partie de la pluie nette P_n dans le module neige dans le cas où la température est inférieure à la température critique; et (b) déstockage d'une partie du module neige dans le cas où la température est supérieure à la température critique. P_n : pluie nette après neutralisation des précipitations P par l'évapotranspiration E ; A : niveau maximal du réservoir sol fixé à 250 mm; S : niveau du réservoir sol; Pr : pluie disponible pour l'écoulement direct ou par l'intermédiaire du réservoir de transfert; Q_d : débit issu de l'écoulement direct; Q_r : débit issu du réservoir de transfert; b : paramètre de vidange du réservoir de transfert, fixé à 0.4; R : niveau du réservoir de transfert; Q_t : débit total à l'exutoire du bassin versant.

(a) XV1 qui est le paramètre de réglage de la fonction de production. Il gère le bilan du bassin versant par un facteur multiplicatif des débits de chaque mois. Selon la structure imposée par le modèle, ce paramètre ne corrige en fait que le débit total sortant. XV1 est positif et non borné. Des valeurs proches de 0 indiquent une faible tendance à l'écoulement du bassin, alors que des valeurs supérieures à 2 sont le fait de bassins versants de montagne pour lesquels les entrées météoriques, pluie et neige, sont sous-estimées par le réseau d'observation pluviométrique.

(b) XV2 qui est le paramètre de réglage de la fonction de transfert du modèle. Il règle la partie de l'écoulement qui s'écoule directement sans passer par le réservoir de transfert. XV2 est compris entre 1 et 2. Le bassin réagit d'autant plus rapidement que XV2 est proche de 1. A la limite, si XV2 est égal à 1, toute la pluie nette est directement transférée à la rivière pendant le mois durant lequel elle est observée. Dans ce cas, il n'y a aucun stockage dans le réservoir de transfert. De telles valeurs caractérisent les bassins versants très réactifs. Si $XV2 = 2$, toute la pluie nette du mois pénètre dans le réservoir de transfert. Ceci caractérise des bassins versants qui possèdent une grande inertie.

Un module de stockage et de déstockage de la neige a été ajouté pour mieux représenter les écoulements des bassins à régime hydrologique de type montagnard ou glaciaire. L'activation de ce module s'effectue en fonction d'une température critique qui est fixée à 0°C pour le Massif Central et à une valeur dépendante de l'altitude pour la zone alpine.

Performances du modèle après calage

Après calage, le comportement hydrologique de chacun des 646 bassins versants est représenté par une valeur de XV1 et de XV2 (Folton & Lavabre, 2001). Ceci permet de simuler une chronique de débits mensuels à partir des pluies mensuelles. La Fig. 2 permet de comparer les modules et débits mensuels d'étiage de fréquence quinquennale de la chronique observée à ceux de la chronique simulée par le modèle. Elle illustre la capacité du modèle à restituer correctement les débits de référence.

Les modules sont très bien reproduits. En effet, le coefficient de détermination de la droite de régression entre valeurs simulées et observées est très proche de 1. D'autre

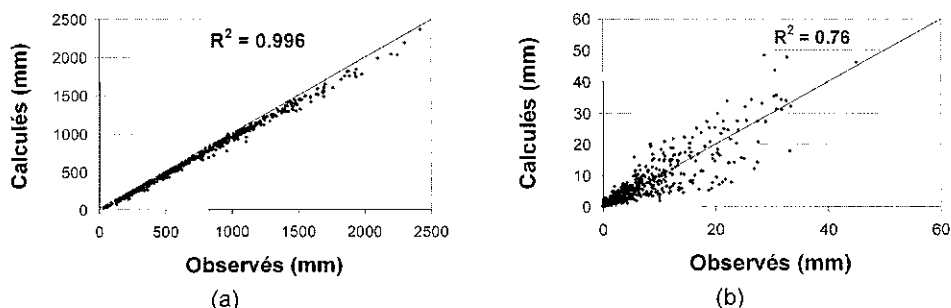


Fig. 2 Comparaison des débits de référence des séries observées et calculées avec XV1 et XV2 optimisés; (a) modules; (b) QMNA5. La droite représente la bissectrice.

part, bien que des écarts soient notables sur les QMNA5, le modèle n'entraîne pas de biais systématique: le coefficient de détermination de la droite de régression entre QMNA5 simulés et observés atteint 0.76.

REGIONALISATION DE LA METHODE

Régionalisation des paramètres du modèle.

La valeur médiane de XV1 sur l'ensemble des bassins versants est de 1.06. Deux tiers des bassins ont une valeur de XV1 comprise entre 0.75 et 1.25. Un peu plus de 3% des bassins ont des valeurs très faibles, inférieures à 0.5. A l'inverse, plus de 6% des bassins, principalement de montagne, présentent des valeurs de XV1 élevées, supérieures à 1.5 (Fig. 3).

La valeur médiane de XV2 sur l'ensemble des bassins est de 1.43. Pratiquement deux tiers des bassins versants présentent une valeur de XV2 entre 1.2 et 1.6, fourchette qui caractérise un comportement hydrologique "classique". Les bassins versants restants se caractérisent par un écoulement soit très retardé, pour 9% d'entre eux, essentiellement montagnards, soit très rapide, pour 15% d'entre eux.

Les essais de régionalisation de XV1 et XV2 en fonction de critères hydro-géologiques et d'occupation de l'espace se sont avérés plutôt décevants. Différents essais de régionalisation de XV1 et XV2 ont été essayés. Ils sont basés sur la cartographie de l'occupation de l'espace (CORINE Land Cover) et sur la cartographie des principaux aquifères. Les meilleurs coefficients de Nash obtenus sont faibles: 32% d'explication de la variance de XV1 et 22 % pour XV2. Ceci nous a conduit à proposer

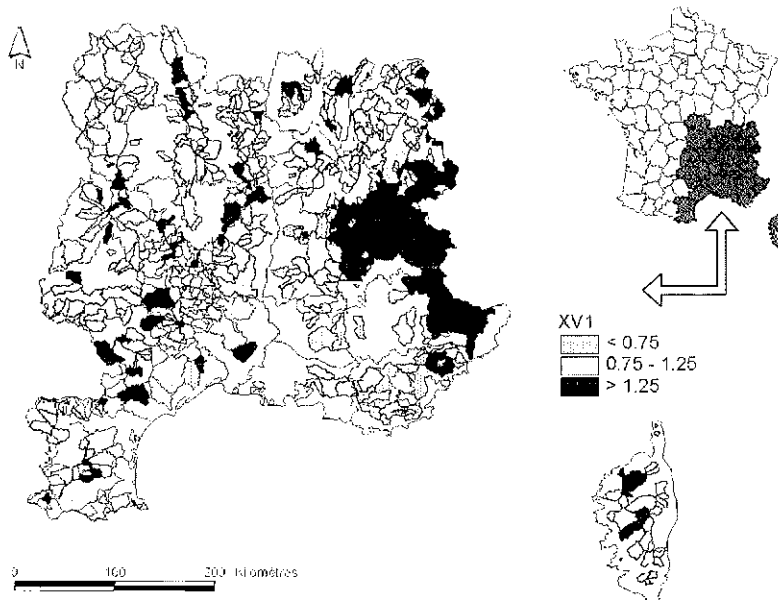


Fig. 3 Cartographie des valeurs de XV1 sur les bassins versants étudiés.

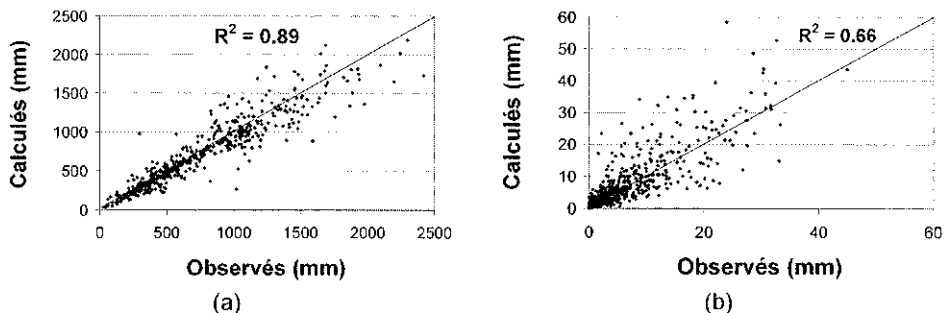


Fig. 4 Comparaison des débits de référence des séries observées et calculées avec XV1 et XV2 régionalisé; (a) modules; (b) QMNA5. La droite représente la bissectrice.

des plages d'isovaleurs des deux paramètres, basées sur les valeurs déduites de phase d'apprentissage (Folton *et al.*, 2002). La procédure de construction des plages d'isovaleurs de XV1 et XV2 est la suivante:

- report dans l'espace des bassins versants en affectant à XV1 et XV2 la valeur déduite dans la phase d'apprentissage;
- comblement des espaces non renseignés (pas de bassins versants jaugés) par interpolation.

Performances du modèle après régionalisation

Comme précédemment, nous comparons les modules et QMNA5 des séries observées et des chroniques simulées par le modèle utilisé avec les paramètres régionaux (Fig. 4). Les résultats se dégradent mais restent très corrects:

- (a) explication de 89% de la variance des modules, avec une tendance à la sous-estimation de l'ordre de 6%;
- (b) explication de 66% de la variance des QMNA5, avec une surestimation de l'ordre de 8%.

Utilisation de la méthode

La méthode a atteint les objectifs fixés. Il est ainsi possible de simuler, en tout point du réseau hydrographique de la zone d'étude, des chroniques de débit mensuel daté desquelles sont déduits les débits de référence. Les utilisateurs disposent ainsi d'un outil d'aide à la décision pour l'application des directives liées à la police de l'eau.

Remerciements Les DIREN des régions Corse, Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Rhône-Alpes et Auvergne ainsi que la MISE Aveyron se sont fortement mobilisées autour de ce travail de synthèse. Outre le soutien financier, leur implication a été permanente tout au long de l'étude. Nous tenons à les remercier de leur collaboration.

REFERENCES

- Benichou, P. & Le Breton, O. (1987) Prise en compte de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques. *La Météorologie* 7 série 19, 23–34.
- Folton, N. & Lavabre, J. (2001) Estimation des débits de référence d'étiage: cartographie régionale de l'évapotranspiration potentielle, calcul des pluies de bassin, modélisation des écoulements mensuels. Rapport interne Cemagref.
- Folton, N., Lavabre, J. & Fouchier, C. (2002) Estimation des débits de référence d'étiage: régionalisation du modèle des écoulements mensuels. Rapport interne Cemagref.
- Lavabre, J., Cambon, J. P., Folton, N., Makhlouf, Z. & Michel, C. (1997) LOIFAU: un logiciel pour l'estimation régionale de la ressource en eau. Application à la détermination des débits de référence de la région méditerranéenne française. *Ingénieries EAT* 12 (décembre 1997), 59–66.
- Makhlouf, Z. & Michel, C. (1994). A two-parameter monthly water balance model for French watersheds. *J. Hydrol.* 162(3–4), 299–318.