

# Quantification et Cartographie Automatique des Bilans Hydrologiques en Zone Semi-aride : Les Bassins de l'Algérie orientale

**Mebarki Azzedine**

Université Mentouri, Faculté des Sciences de la terre,  
Géographie et Aménagement du territoire, Route d'Ain El bey - 25000 Constantine, Algérie  
[mebarki\\_azzedine@yahoo.fr](mailto:mebarki_azzedine@yahoo.fr)

## Abstract

The surface flows are characterized by major contrasts, because of the North-South opposition which distinguishes the drainage basins in the East of Algeria. The automatic mapping is used to represent spatial elements of balance water, evaluated in every node of a regular grid (grid of 2 km of side created from Digital Elevation Model). Surface runoff (E) is evaluated as the difference between rainfall (P) and runoff deficit ( $D = ETR$ ). In order to assess month by month flows values, an other method is developed, using "LOIEAU" model (derived from GR2M) which is supplied with a data base of monthly rainfall and potential evapotranspiration (ETP). So potential surface water is evaluated and presented in the form of automatic maps ready to be used in G.I.S.

## I. Introduction

L'Algérie orientale est une vaste région, marquée par un fort contraste climatique (climat méditerranéen au Nord et continental subdésertique au Sud). L'inégale répartition des ressources en eau de surface s'inscrit dans ce contexte très varié des bassins : cours d'eau tributaires de la mer Méditerranée (*Côtiers constantinois, Kébir-Rhumel, Seybouse, Medjerda, Soummam*) et cours d'eau reliés à des dépressions fermées (*Hauts Plateaux constantinois, Chott Melrhir, Chott Hodna*). La quantification des éléments du bilan hydrologique est établie grâce à l'exploitation des séries hydroclimatologiques observées. La mise en oeuvre de méthodes modernes (analyse des données, Modèle Numérique de Terrain, géostatistique) conduit à la valorisation spatiale de l'information disponible. Après la cartographie automatique des précipitations [1, 2, 3] et celle des évapotranspirations potentielles [4] et réelles [5], il devient aujourd'hui possible de généraliser l'information spatiale sur les apports des cours d'eau algériens, calculés en chaque noeud d'une grille du MNT [5, 6, 7].

## II. Méthodes : des outils modernes pour la valorisation de l'information hydrologique

### 1. Contexte hydrologique : les apports des cours d'eau jaugés

L'analyse sommaire des chroniques de débit issues de 33 stations hydrométriques (bassins jaugés d'une superficie variant de 16 à 8 735 km<sup>2</sup>) fait ressortir [5] :

- les abondants apports fournis par les bassins telliens, bien arrosés et aux formations peu perméables. Ils sont à l'origine d'un accroissement rapide de l'écoulement des grands cours d'eau (Kébir-Rhumel à El Ancer : 26,2 m<sup>3</sup>/s, Seybouse à Mirebek : 10,1 m<sup>3</sup>/s, Kébir-Est à Ain El Assel : 6,4 m<sup>3</sup>/s...);
- les débits manifestement modestes produits par les bassins méridionaux, semi-arides à arides. Les oueds, peu soutenus à l'aval, finissent dans des sebkhas, soumises à une forte évaporation (oued El Arab à Khangat Sidi Nadji : 0,67 m<sup>3</sup>/s ; Oued El Abiod à Mchounèche : 0,48 m<sup>3</sup>/s...).

La gamme étendue des débits spécifiques (compris entre 0,32 et 16,1 l/s/km<sup>2</sup>) met en évidence des zones à rendement hydrologique très différencié, en regard du rôle prépondérant du facteur climatique, pluviométrique en particulier.

## 2. Valorisation de l'information pluviométrique disponible

### *Cartographie des pluies interannuelles moyennes de l'Est algérien [2, 5]*

Connaissant à la fois les hauteurs de pluies interannuelles observées (information connue de façon discrète) et le relief (connu de façon continu à travers le MNT superposé au quadrillage de Lambert Nord Algérie), il devient possible de valoriser l'information pluviométrique, à l'aide des méthodes statistiques (régression multiple entre les pluies observées et les paramètres géo-topographiques, en particulier l'altitude lissée, la latitude et la longitude). Le krigeage du champ des résidus de la régression permet de procéder à la combinaison de l'équation de régression et du résidu interpolé pour obtenir, au final, la représentation du champ pluviométrique (logiciel SURFER).

### *Cartographie des pluies mensuelles*

Sachant que les distributions statistiques des pluies mensuelles ponctuelles suivent sensiblement des lois « racines- normales », une nouvelle approche a été développée pour cartographier les pluies d'un mois donné d'une année sur l'ensemble de l'Algérie du Nord et sur une série de 30 ans (1965/66 -1994/95) [3]. Il s'agit tout d'abord de cartographier (régression pluies médianes-relief et interpolation des résidus), pour chacun des 12 mois de

l'année, la médiane des pluies, égale au carré de la moyenne des racines carrées de P :  $(\sqrt{P})^2$ .

La relation de l'écart-type, appliquée aux moyennes des racines carrées des pluies de tous les mois et de toutes les stations étudiées sur l'Algérie du Nord (soit 6224 valeurs), ayant été déjà déterminée au départ, l'on procède à l'évaluation ponctuelle de la variable réduite de Gauss U

et à son interpolation spatiale : 
$$U(P) = \frac{\sqrt{P} - \overline{\sqrt{P}}}{\sqrt{P}} = \frac{\sqrt{P} - \overline{\sqrt{P}}}{0,2188\overline{\sqrt{P}} + 1,5852(1 - e^{-\overline{\sqrt{P}}/0,5489})}$$

La cartographie de U d'un mois d'une année donnée conduit à cartographier les pluies du mois considéré, calculées sur l'ensemble du maillage comme suit :

$$P = (\overline{\sqrt{P}} + U * 0,2188\overline{\sqrt{P}} + 1,5852(1 - e^{-\overline{\sqrt{P}}/0,5489}))^2$$

La combinaison des 360 grilles de pluies mensuelles permet de dessiner la carte des précipitations annuelles « normales ». Elle reflète une décroissance des précipitations, du littoral vers l'intérieur (de 1 à plus de 1,5 m sur les sommets du Tell maritime ; 300-500 mm sur les Hautes Plaines) suivant un fort gradient latitudinal, altéré toutefois sur l'Atlas saharien (600-700 mm sur les sommets de l'Aurès-Nememcha). Sur le Piémont saharien, les pluies se raréfient (moins de 100 mm par an).

## 3. Quantification et cartographie des écoulements de surface

### *De la connaissance du déficit d'écoulement à la cartographie des apports*

Les contributions à l'écoulement annuel moyen sont quantifiées en soustrayant des précipitations, le déficit d'écoulement [8]. Ce dernier, assimilé en année moyenne à l'évapotranspiration réelle (ETR), est cartographié directement en le calculant, aux

noeuds de chaque maille, par la formule universelle du déficit d'écoulement (D) de Turc, combinant les pluies (P) et les températures (T) :

$$D = P / (0,9 + P^2 / L^2)^{0,5} \quad \text{où : } L = 300 + 25 T + 0,05 T^3$$

La bonne concordance entre D cartographiés (fig. 1) et D observés (bilans des bassins jaugés de l'Est algérien) autorise de combiner les deux grilles d'information (pluie et déficit d'écoulement) pour cartographier l'écoulement de surface, troisième et dernier terme du bilan hydrologique interannuel moyen d'un bassin [3].

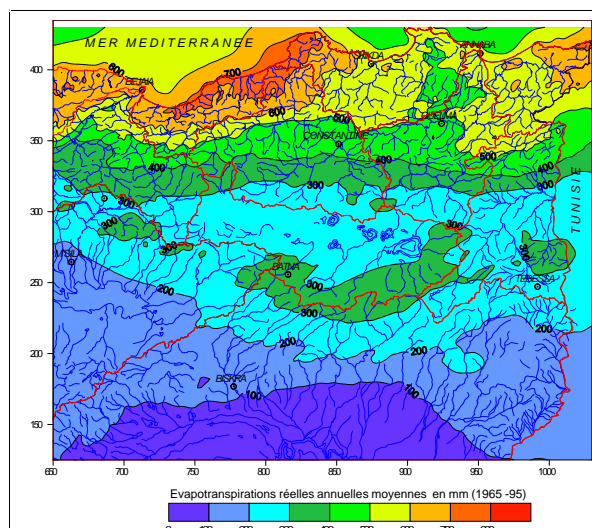


Figure 1 : Déficit d'écoulement annuel « normal » (1965-95) cartographie à l'aide du modèle de Turc

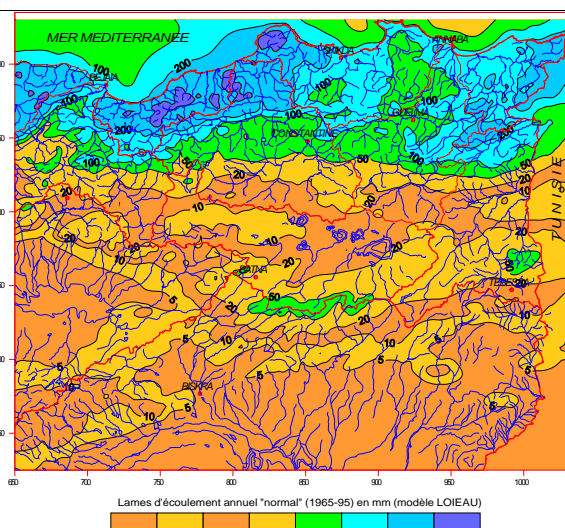


Figure 2 : Ecoulements annuel « normal » (1965-95) cartographie à l'aide du modèle LOIEAU distribué

### Modélisation hydrologique : le modèle LOIEAU distribué

Le modèle « LOIEAU » (dérivé de GR2M) a paru le plus pertinent dans le contexte hydrologique algérien [6]. En l'alimentant de pluies et d'ETP mensuelles, estimées sur le bassin versant, ce modèle global à réservoirs permet de reconstituer, mois par mois, les écoulements mensuels [9]. L'information disponible (360 grilles de pluies mensuelles et 12 grilles des ETP moyennes mensuelles interannuelles, représentant correctement l'ETP pour chaque mois d'une année donnée) a été utilisée pour les entrées du modèle LOIEAU et pour caler les paramètres  $X_1$  et  $X_2$  de ce modèle.

### III. Résultats et discussion

L'interpolation des données climatologiques disponibles et leur cartographie automatique sont un préalable à la connaissance des écoulements de surface. Ces derniers, cartographiés et quantifiés à l'intérieur des limites digitalisées des bassins, sont en définitive validés après leur comparaison aux débits observés.

La bonne corrélation statistique ( $R = 0,94$ ) entre les apports cartographiés et les apports mesurés sur des bassins très différenciés de l'Est algérien, traduit l'intérêt de la méthode du bilan hydrologique (D de Turc) appliquée sur des bassins discrétisés. Les lames d'écoulement n'ont été définitivement cartographiées qu'après avoir borné l'écoulement minimal à 5 mm par an (seuil d'écoulement en zone semi-aride de l'Algérie du Nord, proposé par SOGREAH).

Dans la seconde approche dédiée à la modélisation, le calage a été entrepris de façon satisfaisante sur les stations hydrométriques algériennes, avec toutefois l'incapacité de celui-

ci à reconstituer les débits réels mensuels des stations du milieu désertique (écoulement très faible et fortement aléatoire) [6].

Il est apparu possible d'utiliser « LOIEAU » comme modèle distribué pour générer la lame écoulée sur chacune des mailles de 2 km x 2 km couvrant la région. La carte tracée à l'aide de la somme des 12 grilles de l'écoulement mensuel interannuel d'une période trentenaire, permet d'estimer, en tout point de l'espace, les apports annuels moyens avec 70 % de chance de rester dans une fourchette "multipliée ou divisée par 1,2" [6].

Cette carte ne diffère pas fondamentalement de celle tracée à l'aide du bilan hydrologique. Elle relate de grandes disparités géographiques : de moins de 50 mm sur les Hautes Plaines et le Piémont saharien à plus de 500 mm par an (voire 1000 mm) sur le Tell maritime (fig. 2). Le potentiel annuel total en eaux de surface de la région, de l'ordre de 5 milliards de m<sup>3</sup>, est très inégalement réparti d'un bassin à l'autre.

#### **IV. Conclusion**

Conjuguée à l'essor de l'outil informatique, la multiplication des approches, depuis quelques années, conduit à une information hydrologique traitée, interpolée et numérisée, dont la fiabilité reste malgré tout tributaire de la qualité des mesures effectuées sur le terrain. Les différentes cartes obtenues constituent, à la base, des grilles d'information (grid data) prêtes à être utilisées dans un Système d'Information Géographique (S.I.G.). Elles sont indispensables pour une connaissance, en tout point de l'espace et continuellement mise à jour, des ressources en eau et de leur variabilité dont dépend le dimensionnement des aménagements hydrauliques. A ce titre, les ressources en eau de surface de la région de l'Est algérien font l'objet d'un vaste programme de mobilisation par barrages-réservoirs (le volume régularisé annuel devrait dépasser les 2,3 milliards de m<sup>3</sup> à l'horizon 2020-2030), complété par un réseau conséquent de retenues collinaires.

#### **Références bibliographiques**

- [1] Laborde J-P., 1997, Les différentes étapes d'une cartographie automatique : exemple de la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord, *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 8 : 37-46
- [2] Mebarki A., 2003, Cartographie automatique des précipitations : application à l'Est algérien, *Revue des Sciences et Technologie* (série B), 20 : 100-107
- [3] Laborde J-P., Assaba, M. et Belhouli L., Les chroniques mensuelles de pluies de bassin : un préalable à l'étude des écoulements en Algérie, Colloque SHF « *Gestion du risque en eau en pays semi-arides* », Tunis, 21-22 mai 2003, 10 p.
- [4] A.N.R.H., 2002, *Carte des évapotranspirations potentielles du Nord de l'Algérie au 1/500 000*, Ministère des Ressources en Eau, Alger, (2 feuilles, notice de 42 p.)
- [5] Mebarki A., 2005, Hydrologie des bassins de l'Est algérien : ressources en eau, aménagement et environnement, *thèse de doctorat d'état*, Université de Constantine, 306 p.
- [6] A.N.R.H-G.T.Z., 2003, *Etude de synthèse sur les ressources en eaux de surface de l'Algérie du Nord*, Alger, A.N.R.H., 36 p.
- [7] Mebarki A. et Laborde J-P., 2005, Ressources hydrologiques et stratégie d'aménagement et de protection des eaux : cas de l'Algérie orientale, Congrès international : « *De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen* », Alger, E.N.Polytechnique, 21-22-23 mai 2005, *Algerian Journal of Technology*, n° spécial : 21-31

[8] Montmollin (De) F., Olivier R. et Zwahlen F., 1979, Utilisation d'une grille d'altitudes digitalisées pour la cartographie d'éléments du bilan hydrique, *Journal of Hydrology*, 44 : 191-209

[9] Makhlouf Z., Michel C., 1994, A two-parameter monthly water balance model for French watersheds, *Journal of Hydrology*, 162 : 299-318.