

ETUDE DES RESSOURCES EN EAU DANS LE BASSIN VERSANT DE LA SOUMMAM

Hamenni N.¹, Mesbah M.², Semar A.³

¹ INRAA - Centre de recherche de Mehdi Boualem.

² Professeur à FSTGAT-USTHB.

³ Maître de conférences à l'ENSA.

RÉSUMÉ

Le traitement et l'analyse des chroniques des précipitations de 35 stations sur une période de 36 années ont été étudiés à l'échelle du bassin versant de la Soummam vaste de 9125 Km² afin d'établir un bilan hydrologique. L'objectif de l'étude est d'établir des cartes spatiales du bassin de la Soummam. La cartographie des précipitations a été réalisée à l'aide du Modèle Numérique d'Altitude et une interpolation spatiale a été étendue aux principaux termes du bilan hydrologique (déficit d'écoulement et écoulement). L'interprétation des graphes montre une large variabilité spatiale sur l'ensemble du bassin. Chaque terme du bilan change dans l'espace d'étude sous l'effet des paramètres physiques et diminue en s'éloignant du littoral vers l'intérieure.

Mots Clés : Ressources en eau, pluviométrie, Bilan hydrologique, SIG, cartographie.

SUMMARY

The treatment and the analysis of chronic rainfall of 35 stations over a period of 36 years were studied at Soummam watershed scale vast of 9125 km² in order to establish a water balance. The aim of the study is to establish space cards of the basin of Soummam. The cartography of precipitations was carried out using the Digital Model of Altitude and a space interpolation was extended to the principal terms of the water balance (deficit of flow and flow). The graphic interpretation shows broad space variability at all the basin. Each term of balance change in study space with the effect of the physical factors and decrease moving on the littoral to inside.

Key Words : Water resources, pluviometry, water balance, GIS, cartography.

INTRODUCTION

L'Algérie est confrontée à un manque d'eau important dû à la semi-aridité de son territoire et aux faibles précipitations (Kerdoun, 1998). Les ressources en eau requièrent une gestion précise et une connaissance détaillée des différents éléments du bilan d'eau et des processus hydrogéologiques à savoir la ressource et la demande, leur distribution spatiale et temporelle et leur qualité. En plus des facteurs morphologiques, lithologiques et biogéographiques, les conditions climatiques d'un bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau (Roche, 1963).

L'Est algérien est la région la plus variée du pays sur le plan climatique. Aussi, tout bilan hydrologique se trouve-t-il directement influencé par les nuances du climat. En effet, de petits changements de température ou de pluviosité sont susceptibles d'entraîner d'importantes répercussions sur le ruissellement des eaux de surface ; si les ressources en eau de surface doivent être mobilisées pour les différents besoins (agriculture, implantations de barrages et de retenues collinaires), en revanche, elles posent un problème majeur lorsqu'il s'agit de quantifier rigoureusement les éléments du bilan hydrologique au niveau d'un bassin versant. Le bassin de la Soummam situé dans la partie Nord Est a été choisi, en plus de la disponibilité des données, pour sa vocation agricole qui nécessite une connaissance spatio-temporelle approfondie des ressources hydriques. Ainsi, cette étude permettra d'apporter une contribution utile.

L'objectif de cette étude est de réaliser des cartes hydroclimatiques (pluviométrique, température, déficit hydrique et écoulement) du bassin versant de la Soummam en vue de déterminer, par le biais de l'outil statistique et des systèmes d'informations géographiques, les zones sujettes aux déficits hydriques à l'échelle annuelle.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Le bassin versant de la Soummam qui a une superficie de 9125 Km² est subdivisé en 10 sous bassins versants. Il est situé dans la partie Nord-Est de l'Algérie (figure 1) entre les méridiens 3° 38' et 5° 38' et les parallèles de 35° 45' et 36° 45' et accède à la Méditerranée par le Golfe de Béjaïa. Il est limité par les chaînes montagneuses du Djurdjura et ses contreforts qui s'étendent jusqu'à la mer au Nord, les contreforts du mont du Hodna au Sud, les chaînes des Babors et le plateau de Sétif à l'Est et le plateau de Bouira à l'Ouest.

Le bassin versant de la Soummam est dans ses grandes lignes constitué, sur la rive gauche, par l'Oligocène qui est traversé par des formations du Crétacé inférieur et par le Miocène qui apparaît dans la partie aval, en bordure de l'oued. Des terrasses alluviales importantes tapissent en général le pied des pentes sauf dans la région de Sidi-Aïch où le Crétacé apparaît jusque dans le lit de l'oued. Sur la rive droite il est en majeure partie formé de Crétacé inférieur moyen et supérieur.

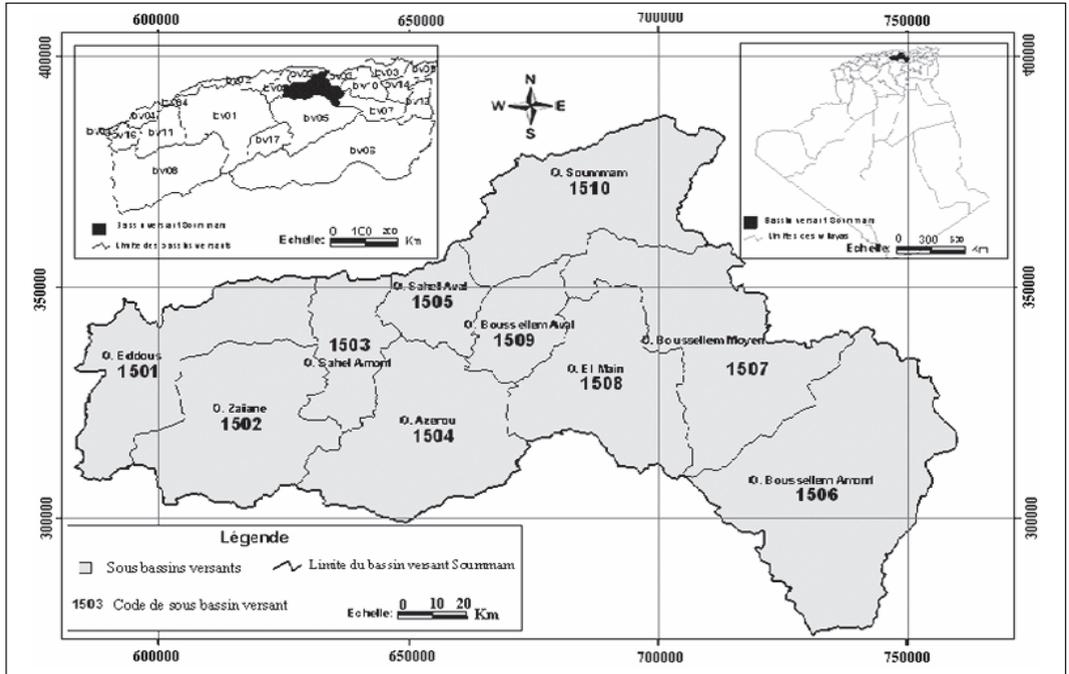


Figure 1 : Situation géographique du bassin versant de la Soummam.

L'étude morphologique de la région a permis de déterminer les caractéristiques physiographiques du BVS. Celui-ci est de forme allongée favorisant de faibles débits de pointe et un relief modéré.

Le climat est essentiellement méditerranéen ; la vallée de la Soummam est sous un climat humide avec un léger changement saisonnier de la température. Sur les plateaux de Sétif et de Bouira, le climat est continental et sec avec des hivers froids et des étés chauds. La partie sud de plateau de Sétif est sub-humide à semi-aride.

Le réseau hydrographique du BVS est très développé et compte 09 principaux oueds totalisant une longueur de 726 km, dont

l'Oued Soummam (226 km). Le principal système de drainage du BVS comprend vers l'Ouest, l'Oued Sahel et ses affluents, et vers l'Est, l'Oued Boussellem et ses affluents. Ces deux Oueds se réunissent près d'Akbou pour former l'Oued Soummam qui se jette dans la Méditerranée.

Les potentialités en eau du bassin (ABH, 2003) sont évaluées à 837 Hm³ dont 684 Hm³ pour les eaux superficielles et 153 Hm³ pour les eaux souterraines. Le volume des forages en exploitation est de 179.30 Hm³/an en tenant compte de la capacité des retenues collinaires, en nombre de 73, qui est de l'ordre de 12,4 Hm³. Le volume mobilisé au niveau des quatre barrages de la Soummam est de 314 Hm³.

1. Méthode d'étude

Les outils d'analyse statistique utilisés dans cette étude sont les logiciels XLSTAT et HYDROLAB. Le premier est un logiciel de statistique (1993) qui permet d'obtenir les matrices de corrélation entre les différentes stations de l'étude par la régression linéaire.

Le deuxième est une méthode « Bouche trou » (Programme développé par Laborde en 1998, écrit en basic et présenté sous forme de macros sur Excel). Cette technique de comblement des lacunes consiste à établir des régressions multiples successives entre les valeurs mensuelles observées et les valeurs régionales issues d'une ACP (Assaba et Laborde, 2000 ; Laborde, 1997).

Les données pluviométriques et hydrométriques proviennent de la banque de données de l'ANRH (2005) et les paramètres climatiques sont extraits des bulletins de l'Office Nationale de Météorologie (ONM) entre 1988 et 2004. Une sélection de 35 stations pluviométriques réparties sur le BVS et sa périphérie, a été retenue. La période d'étude s'étale de 1968 à 2004, soit une série de mesure de 36 ans tel que préconisé par l'Office Mondiale de Météorologie (OMM) (Castany, 1963). Il existe un certain nombre de tests statistiques pour détecter l'existence des hétérogénéités parmi lesquels les tests de SPEARMAN, WILCOXON, MANN WITHNEY. Les méthodes des doubles cumuls et des cumuls des résidus font ressortir les hétérogénéités, permettant de les dater et de les chiffrer, ce qui peut conduire à corriger les observations originales.

1.1. Bilan hydrologique

Le calcul et l'analyse du bilan hydrologique conduisent à appréhender les termes essentiels du cycle de l'eau à l'échelle du bassin d'étude (déficit d'écoulement, ruissellement et infiltration). Le but principal de l'estimation du bilan hydrologique est d'établir une équation d'équilibre entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves d'eau du sol. L'évapotranspiration réelle (ETR) est déterminée à l'aide de trois méthodes (la formule de Turc, formule de Coutagne et le bilan hydrique de Thornthwaite) alors que le ruissellement a été évalué par l'application de la formule de Tixeront-Berkaloff.

L'étude pédologique de la vallée de la Soummam élaborée par l'ANRH (Kessasra, 2006) avait révélée l'existence de sept (7) classes de sol, la plus répandue est celle des sols peu évolués d'apport alluvial modaux et hydromorphes. Ces derniers sont soumis à une présence d'eau permanente plus ou moins longue dans leur profil et ces sols sont en générale profonds à texture moyenne à fine, raison pour laquelle nous fixons la valeur de la RFU à 100 mm. Dans une approche schématique du bilan, nous supposons que $ETR = ETP$ (évapotranspiration) tant que les réserves d'eau du sol ne sont pas épuisées, et que $ETR = P$ (précipitation) lorsque les réserves d'eau sont épuisées. Si la RFU est nulle, la quantité ($ETP - ETR$) représente le déficit agricole.

1.2. Cartographie numérique

La première phase de cartographie a consisté en l'établissement d'un modèle numérique d'altitude (MNA) à partir des courbes de niveau du BVS à l'échelle 1/50.000. Connaissant à la fois les hauteurs de pluies enregistrées aux points de mesure et leurs coordonnées, il devient possible de valoriser l'information pluviométrique à l'aide de la régression multiple.

Les régressions multiples sont d'un grand intérêt en hydrologie pour étudier les relations entre les variables hydrologiques, climatologiques et morphologiques entre autres (Touchebeuf De Lussigny, 1971). La régression multiple permet de décrire la liaison entre la variable dépendante et un ensemble de variables explicatives. Il s'agit d'une analyse statistique dans un espace à plusieurs dimensions et constitue une simple extension des régressions polynomiales et de l'analyse des tendances de surface (Holder, 1985, in Riad, 2003).

La méthode qui consiste dans la technique d'interpolation par 'Krigage' en tenant compte des trois facteurs topographiques (longitude, latitude et altitude) est mise en œuvre dans le cadre de ce travail pour calculer la pluie estimée (P) par l'équation suivante :

$$P \text{ (en mm)} = a X + b Y + c Z + d + \varepsilon$$

X : la longitude du poste exprimée en coordonnées kilométriques Lambert ;

Y : la latitude du poste exprimée en coordonnées kilométriques Lambert ;

Z : l'altitude du poste exprimée en m.

a, b et c représentent les coefficients relatifs aux variables X, Y et Z ; d est le terme constant de la régression et ε représente le résidu de régression.

Les gradients thermométriques utilisés pour le BVS sont ceux mis au point dans l'étude de synthèse des évapotranspirations potentielles (ETP) de l'Algérie du Nord (ANRH, 2002) en considérant la faible variabilité des températures d'une année à l'autre. Elle est la résultante des 12 grilles mensuelles de températures donnant lieu à la représentation finale du champ des températures annuelles moyennes.

En tout point du réseau hydrographique, les contributions à l'écoulement (E) sont calculées en soustrayant le déficit d'écoulement (D) des précipitations (P). En effet, le calcul des bilans globaux sur une période moyenne de plusieurs années consécutives autorise à appliquer la relation $E = P - D$, les pertes et gains par infiltration se compensant mutuellement sur un cycle hydrologique plus ou moins long (Réménieras, 1982). Cette méthode conduisant à la quantification des éléments du bilan hydrologique et à sa représentation cartographique avait été déjà initiée en 1979 par l'Université de Lausanne (Montmollin *et al.*, 1979 in Mebarki, 2005). Aujourd'hui, cette technique est aisément et assez rapidement utilisable à l'aide d'un logiciel qui facilite l'interpolation des données et leur cartographie automatique. La prise en compte du relief à travers le MNA constitue un atout supplémentaire dans le cadre

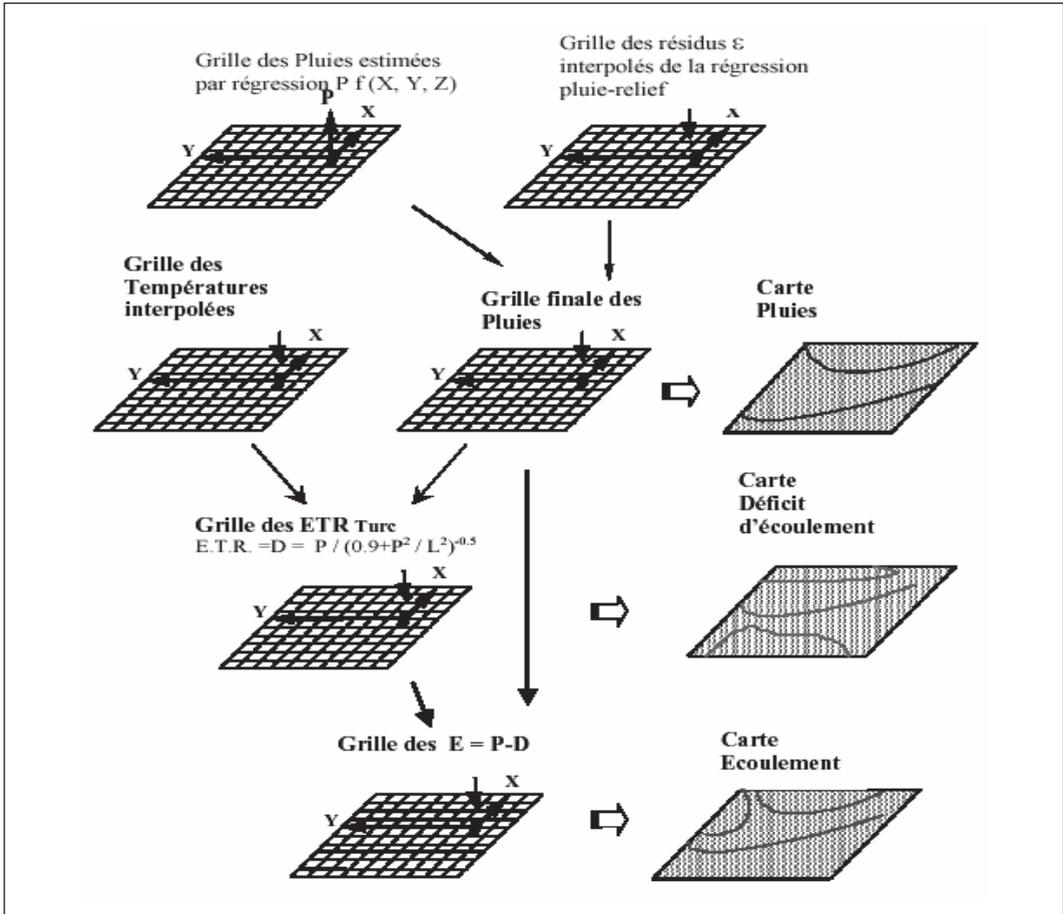


Figure 2 : Schéma de construction de la carte de l'écoulement annuel par combinaison des grilles de P et DTurc.

de cette étude hydrologique du bassin de la Soummam. La combinaison de la grille du déficit d'écoulement à celle des précipitations déjà disponibles permet d'obtenir par différence une grille des lames d'écoulement annuel moyen (figure 2).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les données pluviométriques mensuelles et annuelles relatives au BVS sont très hétéro-

gènes. Le test statistique de WILCOXON (Sari, 2002) a été employé pour vérifier l'homogénéité des séries d'observations plus ou moins douteuses et, grâce au logiciel HYDROLAB, nous avons pu obtenir les ellipses de bois. D'après les graphiques, dont un exemple est présenté à titre d'illustration (figure 3), les séries ne présentent pas d'anomalies et le résultat est en parfaite concordance avec ceux du test.

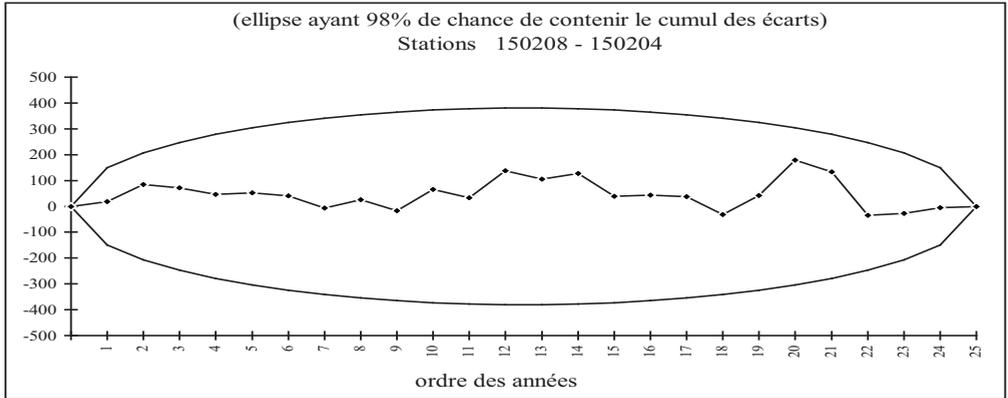


Figure 3 : Détection des anomalies systématiques des valeurs à tester par rapport à la valeur de référence (Stations Homogènes).

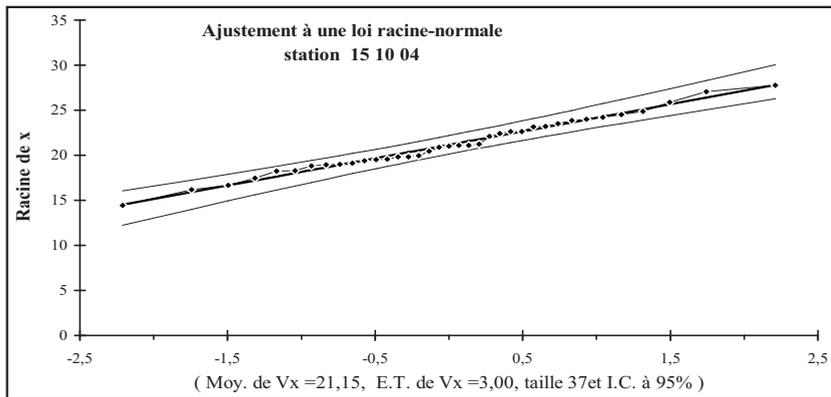


Figure 4 : Ajustement des précipitations annuelles à une loi Racine normale (1968 - 2004).

L'ajustement graphique des séries pluviométriques des différentes stations du BVS pour la période (1968/2004) montre que la pluie s'ajuste en général suivant une loi racine normale de Gauss, la figure 4 étant présentée à titre d'exemple.

Les informations pluviométriques annuelles manquantes ont été reconstituées par le

biais de l'ACP et les séries sont rendues complètes et homogènes. Ainsi, la pluviométrie moyenne interannuelle calculée est de 429 mm et l'écart type de 162 mm.

Le tableau 1 résume le bilan hydrique de Thornthwaite obtenu aux différentes stations.

Tableau 1 : Bilan hydrique d'après Thornthwaite aux différentes stations.

Stations	Mois Paramètres	sept.	oct.	nov.	déc.	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août
Béjaïa	RFU	0	0	42,36	100	100	100	91,6	84,3	16,	0	0	0
	Déficit	46,2	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	121,8	144	134,0
Bouira	RFU	0	0	24,2	79,2	100	100	68,1	30,4	0	0	0	0
	Déficit	72,6	28,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	76,1	150,4	175,5	142,9
Sétif	RFU	0	0	5,8	36,7	60,8	56,1	19,3	0	0	0	0	0
	Déficit	60,3	35,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	52	84,3	139,4	173,4	150,9
BBA	RFU	0	0	0	18,9	38,4	26,1	0	0	0	0	0	0
	Déficit	58,8	40,6	5,2	0,0	0,0	0,0	41,6	56,3	89,9	141,4	178,7	147,3

La pluie ne permet pas un stockage permanent de l'eau dans le sol ce qui induit un déficit agricole plus ou moins long. Ainsi, la saturation de la RFU, pour une année moyenne, ne dure que 03 mois de décembre (janvier au niveau de la station de Bouira) à février pour la station de Béjaïa. Cette situation induit un déficit agricole pendant 05 mois de juin à octobre à la station de Béjaïa, de mai à octobre à la station

de Bouira, d'avril à octobre à la station de Sétif et de mars à novembre à la station de BBA. Les sols agricoles nécessitent donc une irrigation par les eaux de surface qui vont provoquer une recharge supplémentaire de la nappe.

Le tableau 2 résume l'ensemble des résultats des calculs obtenus par les différentes méthodes.

Tableau 2 : Valeurs des ETP et ETR obtenues par différentes méthodes de calcul au niveau des quatre stations.

Paramètres	Méthodes	Stations							
		Béjaïa		Bouira		Sétif		BBA	
		mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
ETP	THORNTHWAITE	895,90		887,19		804,66		844,40	
	SERRA	893,76		899,21		828,23		786,37	
	PENMAN	986,84		1041,52		1080,74		1094,60	
	TURC	1166,3		/		/		/	
ETR	TURC	621,86	84	454,54	93	377,68	94	349,64	97
	COUTAGNE	574,60	78	412,48	84	345,44	86	361,00	100
	B, THORNTHWAITE	553,64	75	425,78	87	346,75	86	361,00	100

Il est utile de comparer les résultats obtenus par les différentes méthodes utilisées afin de connaître celle qui s'adaptent le mieux à la région. Nous constatons que les méthodes de Serra et Thornthwaite donnent les mêmes résultats. Par ailleurs, l'ETP selon la formule de Penman-Monteith enregistre un écart de l'ordre de 93 à 308 mm par rapport à la méthode de Serra aux différentes stations et la valeur maximale est enregistrée à la station de Béjaïa par la formule de Turc. Nous remarquons que les résultats de l'ETR obtenus sont pratiquement similaires. La consommation en pourcentage des pluies est élevée, ceci induit un faible excédent et par conséquent la recharge de la nappe est très limitée. En conclusion, nous avons jugé utile de retenir pour la suite des calculs des différents termes de l'équation du bilan, les valeurs de l'ETR issues de la même méthode pour les quatre stations pluviométriques, en l'occurrence celle de Thornthwaite.

L'évolution des débits d'écoulement des sept stations de mesure retenues durant la période 1968 à 1996 est représentée par la figure 5. Les fortes valeurs sont enregistrées à la station de Sidi Aïch avec un maximum de 50,7 m³/s en 1969 par contre les basses valeurs sont enregistrées au niveau des stations de Fermatou et Aïn Zada. L'estimation de l'écoulement moyen inter-annuel est de 465 hm³ à la station de Sidi Aïch (ABH, 2003), 165 hm³ à Sidi Yahia et de 615 hm³ de la Soummam vers la mer.

La figure 6 présente les termes du bilan hydrologique des quatre stations étudiées entre 1988-2004. L'ETP est de l'ordre de 859 mm, les précipitations sont estimées entre 361 et 738 mm et l'ETR est comprise entre 347 et 554 mm. L'application numérique donne un ruissellement moyen de 166 mm à la station de Béjaïa. Par contre, aux niveaux des stations de Bouira, Sétif et BBA, elle est respectivement de 50, 33 et

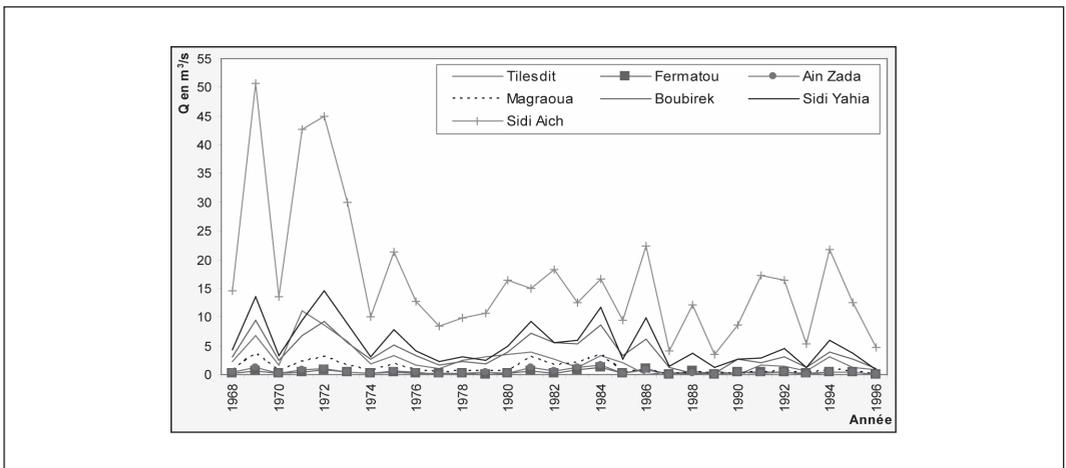


Figure 5 : Evolution des débits moyens interannuels des sept stations pour la période 1968-1996.

22 mm. L'excédent des précipitations qui engendre l'infiltration vers la nappe quand la réserve facilement utilisable est maximale est de 185 et 65 mm respectivement aux stations de Béjaïa et Bouira et nulle aux stations de Sétif et BBA.

Par conséquent, il est apparu nécessaire d'entreprendre des extrapolations spatiales des composantes du bilan à savoir les précipitations, l'ETR et l'écoulement, plus précisément pour les zones géographiques où il existe une absence d'information hydrologique.

1. Cartes thématiques

Dans cette partie nous avons produit des images de synthèse qui illustrent les paramètres climatologiques à partir des données relevées par les 35 stations du réseau de

mesures sur une période de 36 années d'observations. Les cartes produites sont présentées en coordonnées kilométriques Lambert (Hamenni, Mesbah et Semar, 2011).

La figure 7 révèle que le bassin versant est constitué de bandes orientées de l'Est vers l'Ouest. La zone des basses altitudes est située dans la bande jaune, elle correspond à la vallée de la Soummam et la zone des hautes altitudes est située dans le Nord (bande marron), elle correspond à des massifs montagneux importants, dont l'altitude la plus élevée est de 2150 m. Nous trouvons aussi cette bande, dans la chaîne de la basse Kabylie dont l'altitude maximum est de 2004 m (Babors). La zone qui couvre une grande partie du Sud du bassin (bande de couleur moutarde) se trouve à des altitudes comprises entre 800 et 1000 m.

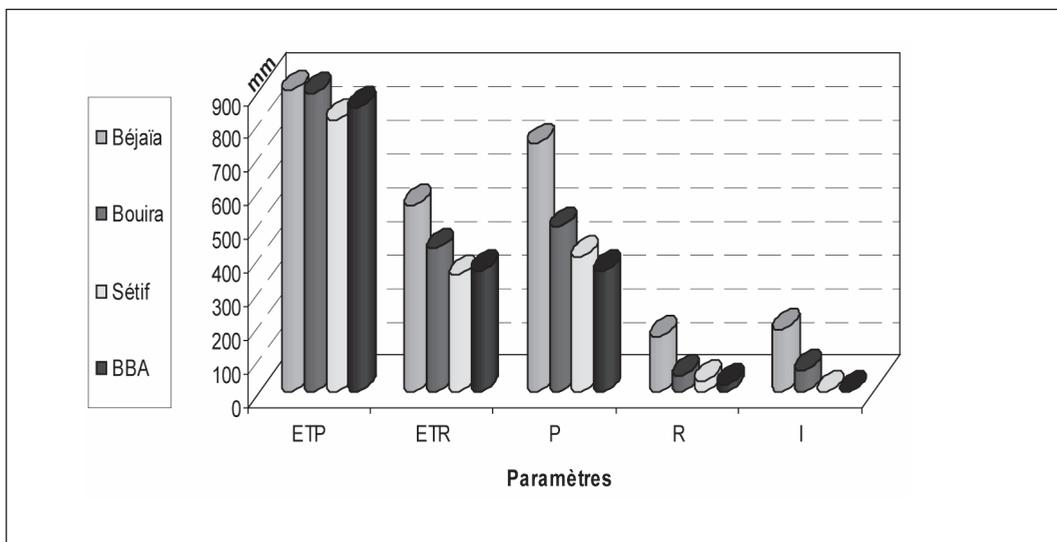


Figure 6 : Valeurs des termes du bilan hydrologique du bassin de la Soummam.

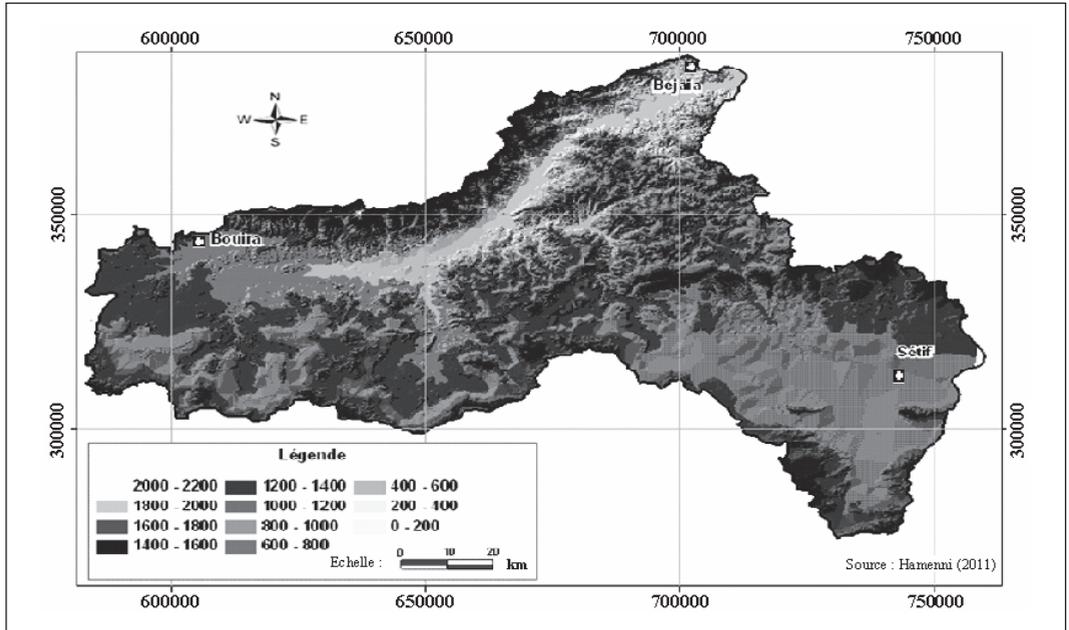


Figure 7 : Carte hypsométrique du bassin versant de la Soummam.

1.1. Cartographie des précipitations annuelles

Al'échelle de toute l'Algérie du Nord, les précipitations se caractérisent par leur forte variabilité spatio-temporelle et constituent le facteur le plus fortement explicatif du régime hydrologique des cours d'eau. Seltzer (1946), Chaumont et Paquin (1971) et l'ANRH (1993) ont étudié la pluviométrie en Algérie et ont montré que le pays est soumis à l'influence conjuguée de la mer, du relief et de l'altitude. Par ailleurs, Seltzer (1946) a montré que la hauteur des pluies augmente avec l'altitude et d'Ouest en Est et qu'elle diminue à mesure que l'on s'éloigne du littoral.

La carte présentée ci-dessous sous forme de courbes isohyètes (figure 8) permet de faire ressortir dans les zones littorales, de

fortes précipitations qui dépassent les 900 mm. La quantité annuelle de pluie tend à diminuer du Nord-Est vers le Sud-Ouest (300 mm) et vers le Sud-Est (200 mm). Les pluies sont moins importantes à mesure que l'on s'éloigne du littoral ; ceci peut être dû à l'appauvrissement progressif de l'atmosphère en vapeur d'eau, lors du passage des courants aériens qui abandonnent leurs pluies en franchissant les chaînes montagneuses. La chaîne de Djurdjura qui s'étend parallèlement à la vallée de la Soummam, constitue une barrière naturelle aux masses d'air humide venant du Nord. Ces masses deviennent sèches dès qu'elles traversent les hauteurs du Djurdjura et en descendant dans la vallée de la Soummam, elles se réchauffent dynamiquement, conduisant ainsi à une faible précipitation.

La régression multiple calculée et observée entre les variables se traduit par un coefficient de corrélation annuel élevé ($R = 0,89$). La variation des précipitations est considérablement expliquée par les paramètres topographiques (longitude, latitude et altitude). L'influence du facteur longitude, exprimée par son coefficient de régression ($a = -0,81$) avec un effet inverse sur les précipitations. Le coefficient relatif à la latitude ($b = 8,44$) est élevé et influe positivement sur la quantité de pluie précipitée dans l'espace étudié, de même face à l'altitude avec un coefficient de $0,35$.

1.2. Cartographie annuelle des températures

Nous remarquons d'après la figure 9 que la température est légèrement plus fraîche au Sud-Est (semi aride) par rapport au Nord (sub-humide) et qu'elle varie entre $13,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Nord de Sétif) et $18,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Nord de Bejaia).

Figure 10 : Carte d'évapotranspirations réelles annuelles moyennes (1968-2004).

Nous constatons aussi que les températures sont proportionnelles aux altitudes sauf au Nord de la région. Ce phénomène serait dû au manque de stations limitrophes qui ont influencé l'interpolation spatiale. Les températures, relativement élevées sur le littoral, diminuent vers l'intérieur c'est-à-dire de la bande de couleur marron (vallée de la Soummam) vers la bande bleue (haute altitude) dans la région Sud-Est.

Les résultats de l'analyse statistique (régression multiple) entre la température moyenne observée aux postes thermométriques et les paramètres du relief susceptibles d'être explicatifs montrent une bonne corrélation ($R = 0,835$). Les coefficients relatifs aux paramètres topographiques sont très faibles. La variabilité spatiale des températures s'explique par des variables connues et qui sont la position et l'altitude.

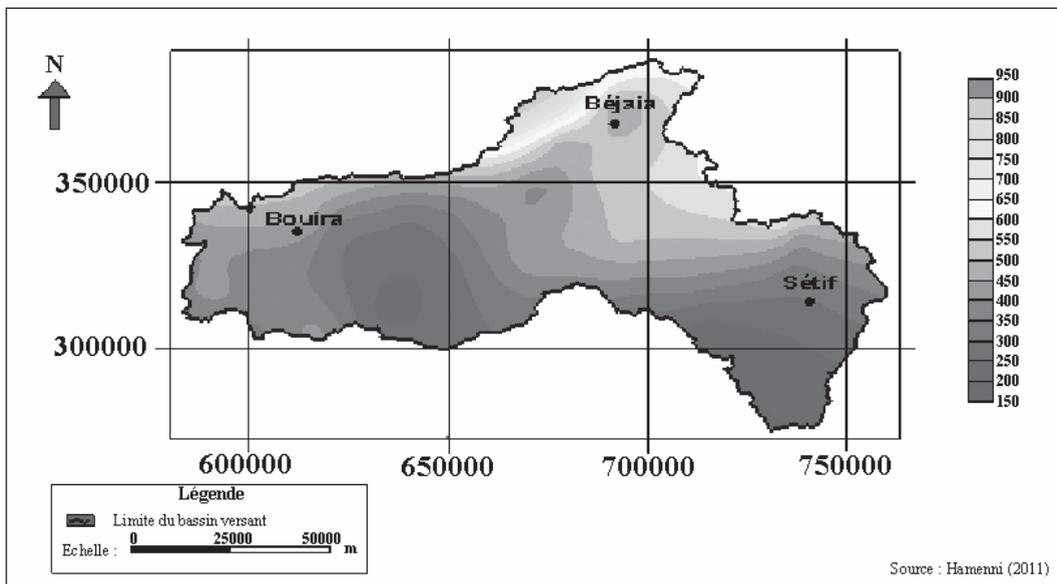


Figure 8 : Carte des précipitations moyennes interannuelles (1968-2004).

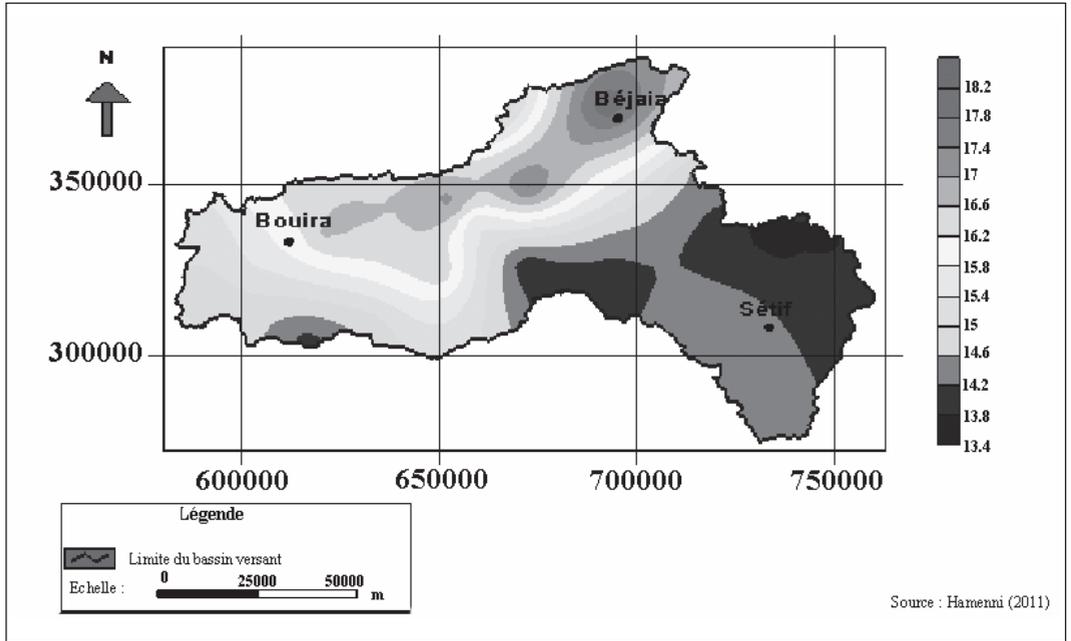


Figure 9 : Carte des températures annuelles moyennes (1968-2004).

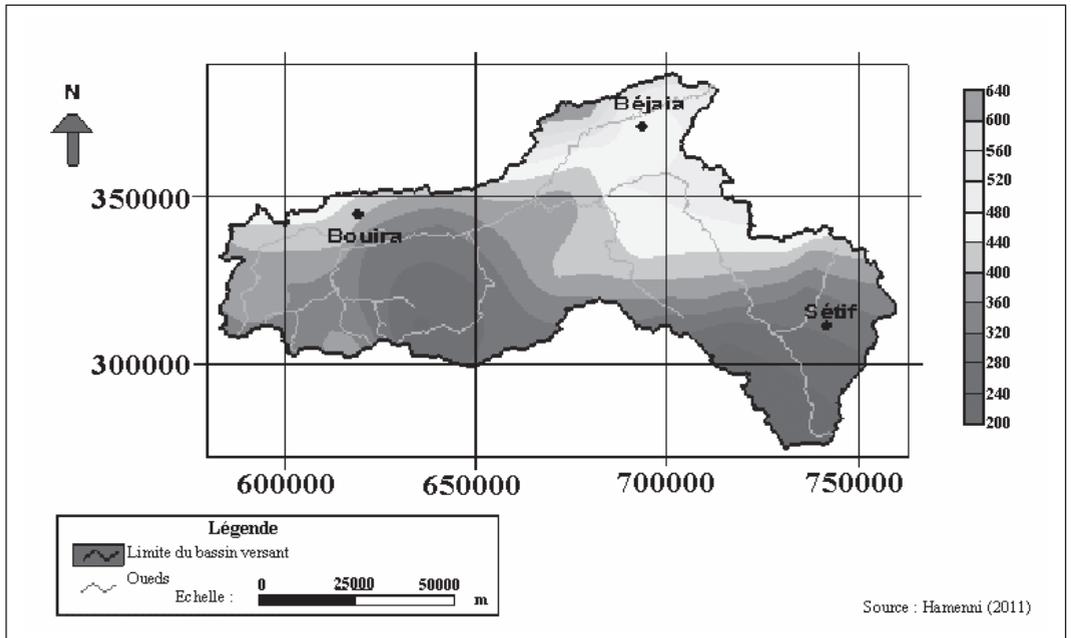


Figure 10 : Carte d'évapotranspirations réelles annuelles moyennes (1968-2004).

1.3. Évapotranspiration réelle (ETR)

La cartographie de l'ETR du bassin de la Soummam (figure 10) selon la formule de Turc montre une variation similaire à celle des précipitations. Les valeurs décroissent du Nord-Est de l'isohyète 600 mm vers le Sud-Ouest et vers le Sud-Est à l'isohyète 200 mm. Ceci illustre bien la dépendance de l'évaporation aux précipitations.

1.4. Carte des écoulements

A partir de la valorisation de l'information sur les précipitations et l'évapotranspiration, elles-mêmes valorisées sur la base des données géo-topographiques, il devient possible d'aboutir à une cartographie des apports hydrologiques des cours d'eau.

Sachant que la variation du stock d'eau est supposée négligeable par rapport aux autres termes composant le bilan hydrologique, il devient, à ce stade, possible de déterminer la tranche d'eau représentant l'écoulement, troisième et dernier terme du bilan. La carte des écoulements (figure 11) traduit bien les contrastes hydrologiques très marqués de la région d'étude. Elle révèle de grandes disparités dans la répartition de la ressource en eau de surface dans le bassin. La quantité annuelle de l'écoulement, pratiquement nul au Sud-Ouest et au Sud-Est (bandes de couleur rouge et marron), augmente vers le Nord-Est (bandes de couleur verte et jaune) jusqu'à atteindre l'isohyète 300 mm.

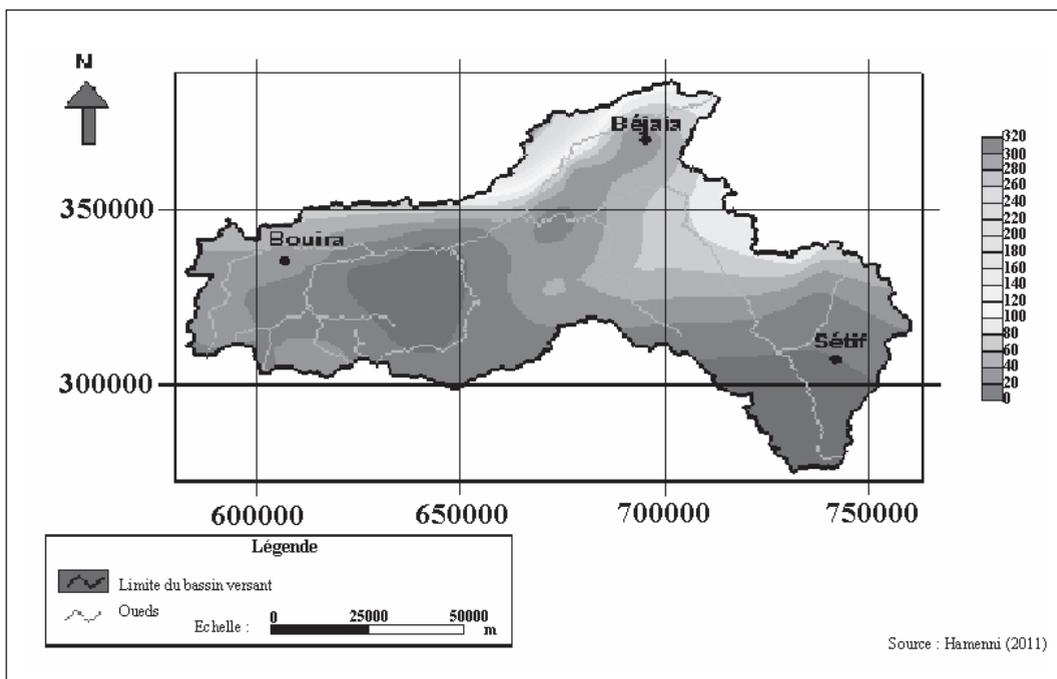


Figure 11 : Carte des écoulements annuels moyens (1968-2004).

CONCLUSION

Les séries pluviométriques des différentes stations du BVS pour la période (1968/2004) s'ajustent en général à une loi racine normale de Gauss. Les pluies annuelles sont caractérisées par un régime pluviométrique très variable d'une année à l'autre avec un coefficient de variation de 0,38, traduisant ainsi une nette irrégularité avec une moyenne annuelle de 429 mm. La saturation de la RFU ne dure que 03 mois pendant l'hiver, les sols agricoles nécessitent donc une irrigation par les eaux de surface qui vont provoquer une recharge supplémentaire de la nappe. L'ETP est quantifiée par l'application de diverses formules empiriques. La moyenne de l'ETP au niveau des quatre stations du BVS est de 859 mm et celle de l'ETR est comprise entre 347 et 554 mm.

La répartition de la pluie subit trois influences, celle de l'altitude, de la longitude et enfin celle de l'éloignement à la mer. Néanmoins, dans la zone d'étude, nous pouvons conclure que les précipitations changent dans l'espace d'étude beaucoup plus sous l'effet de la latitude comme le montrent les résultats de la régression multiple ($R = 0,89$) et la cartographie. La température, effet déterminant de l'évapotranspiration et paramètre essentiel du déficit d'écoulement, diminue vers l'intérieur sous l'influence de l'altitude. La cartographie de l'ETR réalisée au niveau du bassin d'étude montre une variation identique à celle des précipitations dont les valeurs des isohyètes varient entre 600 et 200 mm. L'évolution de l'évapotranspiration et de la température accentue le phénomène de l'évapotranspira-

tion, le tarissement des cours d'eau et l'assèchement rapide des sols et ceci influe négativement sur la disponibilité des ressources en eau dans le bassin. Concernant la grille finale, la carte des écoulements traduit bien les contrastes hydrologiques très marqués, résultat confirmé par la grande variabilité spatiale de ce paramètre sur l'ensemble du bassin. Les écoulements moyens annuels atteignent parfois plus de 400 mm dans les zones montagneuses du Nord de la région d'étude.

Références bibliographiques

- ABH, (2003) - Les Cahiers de l'Agence, Agence de Bassin Hydrographique. Algérois-Hodna-Soummam.
- ANRH, (1993) - Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord au 1/500 000 (2 feuilles, une notice de 49 p.), Ministère de l'Équipement, Alger, Ed. I.N.C.
- ANRH, (2002) - Notice explicative de la carte des évapotranspirations potentielles du Nord de l'Algérie au 1 : 500 000. Projet de coopération Algéro - Allemande. N° 92 21 835. 42 p.
- ANRH, (2005) - Données pluviométriques 1968-2004 et géomorphologiques du bassin de la Soummam.
- ASSABA M., LABORDE J-P., (2000) - La prise en compte du relief dans l'estimation des pluies mensuelles : le cas de la Corse. Publications de l'Association Internationale de Climatologie, vol. 13, pp. 149-157.

CASTANY G., (1963) - Traité pratique des eaux souterraines. Dunod Edition Paris, 641 p.

CHAUMONT M., PAQUIN C., (1971) - Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord à l'échelle 1/500 000e, 4 feuilles + notice. Soc. Hist Nat. Afrique du Nord, Alger, 25 p.

HAMENNI N., MESBAH M., SEMAR A., (2011) - Etude des ressources en eau du bassin versant de la Soummam par l'utilisation du SIG. Mémoire de magister, ENSA, 166 p.

KERDOUN A., (1998) - Education et sensibilisation en vue d'une protection de l'eau en Algérie. Congrès International de Kaslik-Liban-18-20 Juin. 11 p.

KESSASRA F., (2006) - Etude hydrogéologique sous l'aspect de la modélisation mathématique en vue d'une gestion rationnelle des écoulements souterrains de la vallée de la Soummam. Mémoire de magister, IST-USTHB. 173 p.

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, pp. 37-46.

LABORDE J-P., (1998) - Méthodes de détection des anomalies et de comblement des lacunes dans les séries de données, à l'usage des climatologues et de quelques autres - Université de Nice Sophia Antipolis, 25 p.

LABORDE J-P., (2000) - Eléments d'hydrologie de surface. Cours Université de Nice Sophia Antipolis, 192 p.

MEBARKI A., (2005) - Hydrologie des bassins de l'est Algérien : ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de doctorat d'état, 360 p.

RÉMÉNIÉRAS G., (1982) - L'hydrologie de l'ingénieur. Collecte. Dir. Etudes. Rech. Electr. France. Ed., Eyrolles. 465 p., 149 fig.

RIAD S., (2003) - Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles à partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc. Thèse de doctorat d'état, Université des Sciences et Technologies de Lille & Université Ibnou Zohr D'agadir, 154 p.

ROCHE M., (1963) - Hydrologie de surface. Gauthier-Villars Editeur-Paris, 429 p.

SARI A., (2002) - Initiation à l'hydrologie de surface. Edition HOUMA, 224 p.

SELTZER P., (1946) - Le climat de l'Algérie, Alger, Institut de Météorologie et de Physique du Globe, Carbonnel, 219 p.

TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY P., (1971) - Régressions et corrélations multiples en hydrologie. Cahiers ORSTOM. Série Hydrologie, 8 (4), ISSN 0008-0381. pp. 33-62.