

Analyse des relations entre écoulements superficiels et souterrains à partir des hydrogrammes des cours d'eau Application au bassin du Kebir-Rhumel dans le Constantinois (Algérie)

Azzedine MEBARKI et C. THOMAS (1)

RÉSUMÉ

L'analyse des hydrogrammes journaliers des cours d'eau apporte des informations sur les échanges entre les écoulements superficiels et souterrains.

A ce jour, ces relations ne sont pas connues de façon précise dans le bassin du Kebir-Rhumel (Algérie), lequel est caractérisé par une grande complexité hydrogéologique. Cette note tente de les spécifier grâce à l'analyse des courbes de tarissement et des débits classés sur la période 1973-1978.

Par ce moyen, un soutien abondant et d'origine double des débits d'étiage des cours d'eau a été mis en évidence:
— *par les aquifères karstiques des calcaires néritiques dans la partie supérieure du bassin;*
— *par la nappe alluviale dans la partie inférieure.*

Pour mieux quantifier les apports souterrains en période d'étiage, on propose un modèle d'évolution spatiale des débits spécifiques d'étiage.

MOTS-CLÉS: Ecoulement superficiel — Ecoulement souterrain — Tarissement — Débits caractéristiques d'étiage.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE RELATION BETWEEN SURFACE AND GROUNDWATER FLOWS FROM DAILY STREAM FLOW HYDROGRAPHS. BASIN OF KEBIR-RHUMEL (ALGERIA)

The analysis of daily stream flow hydrographs provides information on the relation between surface and groundwater flows. At present, these relations are not known precisely in the basin of Kebir-Rhumel (Algeria), which is hydrogeologically very complex. This paper attempts to deduce them from analysis of flows and recession curves during 1973-78.

A significant contribution to low flows has been deduced from the karstic aquifers in the upper part of the basin and from the alluvium in the lower basin.

To quantify groundwater contributions to low flows, the spatial distribution of low flows has been modelled.

KEY WORDS: Surface flow — Groundwater flow — Recession curve — Characteristic low flow.

INTRODUCTION

Dans l'étude hydrologique du bassin du Kébir-Rhumel (A. MEBARKI, 1982), l'analyse des liaisons eaux superficielles-eaux souterraines, ne faisant pas l'objet direct du travail, n'a pu être approfondie.

A partir des données hydrométriques disponibles sur ce bassin, nous tentons d'apporter, à l'aide d'une approche différente, des compléments d'information sur le soutien des débits d'étiage des cours d'eau par les aquifères.

(1) Maîtres Assistants d'Hydrologie, Institut des Sciences de la Terre, Université de Constantine. Campus de Zovaghi, Route d'Aïn-el-Bey — Algérie.

Dans ce but, trois outils d'analyse différents (courbes de tarissement, courbes des débits spécifiques d'étiages et courbes des débits journaliers classés de Galton) ont été confrontés pour quantifier les réserves régulatrices d'origine souterraine aux différentes stations hydrologiques.

L'originalité d'une telle méthode réside dans la rapidité de sa mise en œuvre laquelle peut constituer par ailleurs une première approche d'une étude hydrogéologique classique nécessitant un temps et des moyens plus conséquents. Les résultats obtenus dans le bassin du Kébir-Rhumel laissent supposer une large applicabilité de cette méthode à d'autres bassins disposant d'un minimum de données hydrométriques.

1. CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN

Le bassin du Kébir-Rhumel qui s'étend sur une superficie totale d'environ 8 800 km², est drainé par deux cours d'eau importants: dans la partie sud, l'oued Rhumel et dans la partie ouest, l'oued Enndja. Leur confluence à l'aval de Grarem donne l'oued El Kébir, lequel rejoint plus au nord la Méditerranée.

Ces principaux oueds s'inscrivent dans un contexte géographique qui présente de l'amont à l'aval des aspects nettement contrastés: au relief plat et dénudé et au chevelu hydrographique assez lâche des hautes-plaines, succèdent de basses collines telliennes aux vallées encaissées, lesquelles se prolongent au nord par des massifs montagneux (massifs anciens de la petite Kabylie) affectés par une densité de drainage importante.

1.1. LE CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE

1.1.1. Les données disponibles

Les données hydrométriques utilisées dans cette note, lesquelles ont subi par ailleurs une analyse critique (A. MEBARKI, 1982), relèvent de 7 stations limnigraphiques gérées par l'INRH (fig. 1a).

Elles couvrent une période commune de six années civiles (1973-1978), exceptée la station de Oued Athménia qui dispose d'une série plus longue (1965-1978).

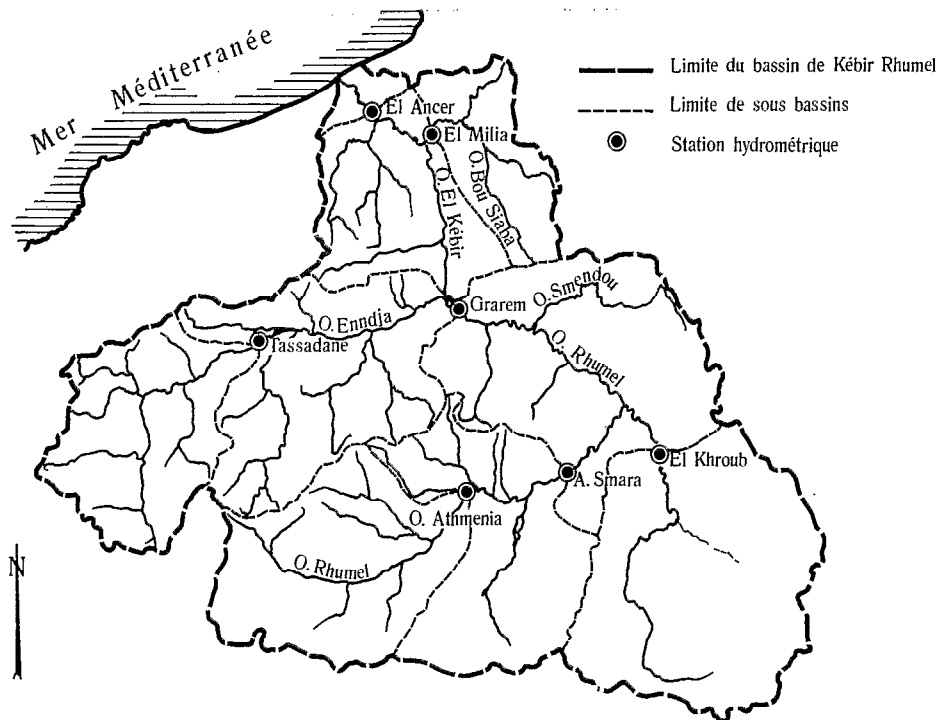


FIG. 1a. — Réseau hydrographique et stations hydrométriques

Parmi les postes pluviométriques existant sur le bassin (une quarantaine), seuls 20 postes fournissent une série commune et homogène comparable à celle des débits (fig. 1b).

Les autres données climatologiques (température et évaporation notamment) se limitent à celles fournies par la station météorologique de l'aéroport d'Aïn El Bey à Constantine; partout ailleurs, elles sont inexistantes sur la période étudiée.

Pour des raisons pratiques, l'ensemble de ces données est analysé dans le cadre des années civiles et non climatiques ou hydrologiques.

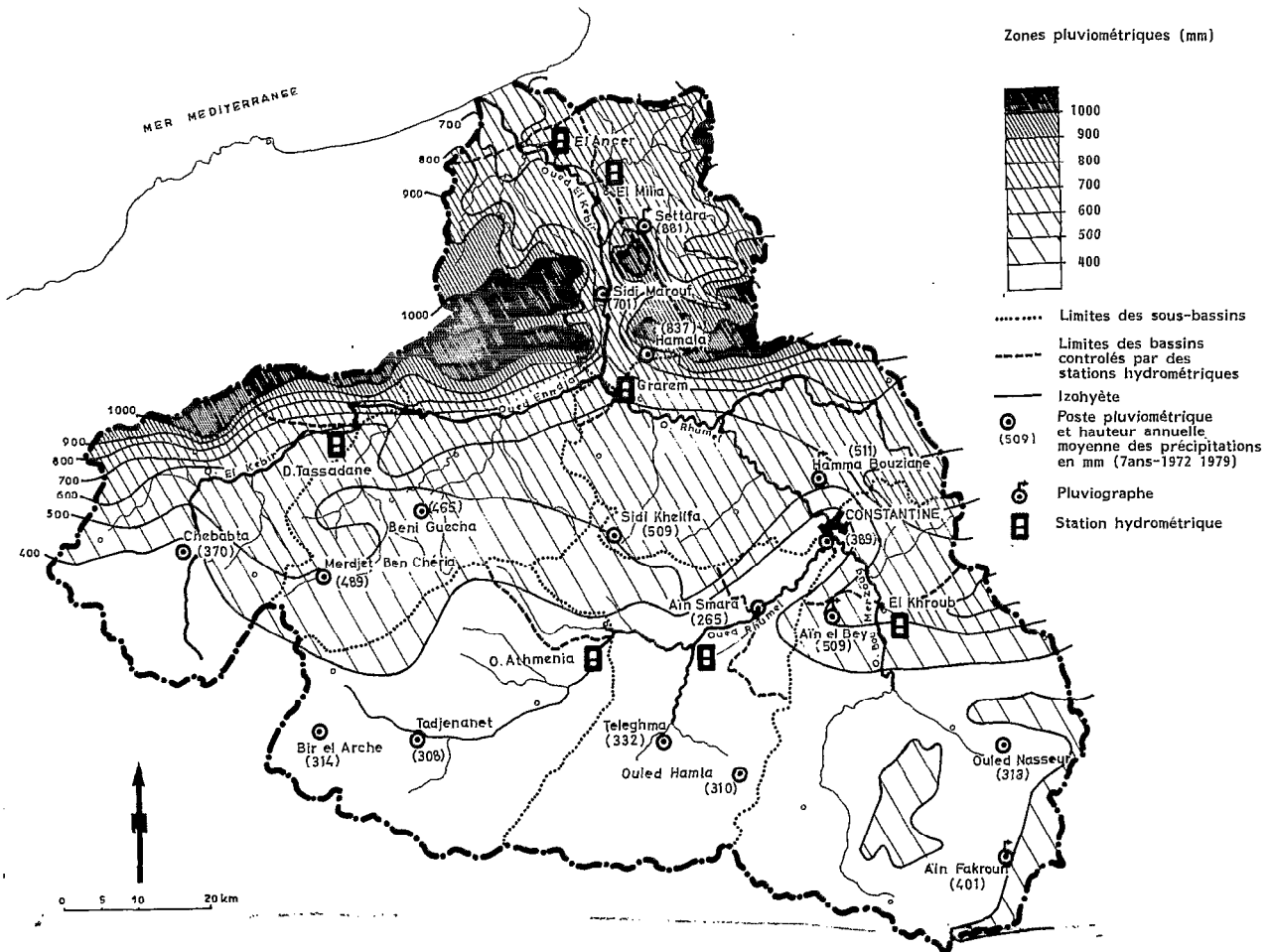


FIG. 1b. — Bassin versant du Kebir Rhumel — Esquisse pluviométrique: moyenne de 7 ans (septembre 1972-août 1979)

1.1.2. Climatologie

Précipitations

Pour avoir une vision globale sur la pluviométrie de la région, nous nous référons aux données de 3 stations-types réparties du sud au nord: Téléghma, Aïn El Bey (Constantine) et Settara (El Milia).

Le tableau I et les figures 1b et 2a,b permettent les remarques suivantes:

a) Les précipitations annuelles s'accroissent de l'amont vers l'aval avec un rapport pouvant passer du simple au double (tabl. I et fig. 1b).

Par ailleurs, les totaux pluviométriques annuels sont assez variables dans le temps; l'année 1976 est de loin celle qui présente la plus forte pluviosité. Du sud au nord et pour les 3 stations considérées, le coefficient de variation (CV) est respectivement de 0.33, 0.26 et 0.20.

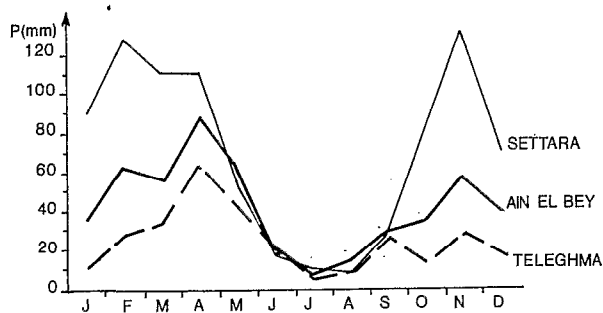


FIG. 2a. — Régime pluviométrique de 3 stations-typés (moyennes mensuelles 1973-1978)

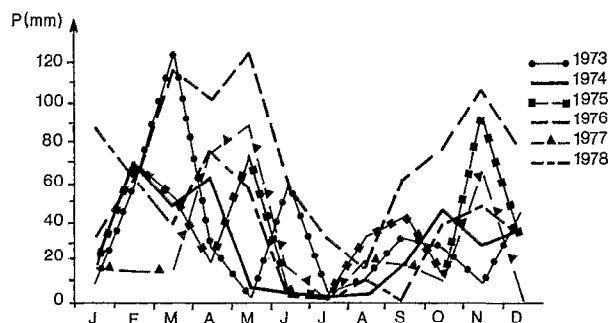


FIG. 2b. — Station d'Ain el Bey (Constantine). Répartition mensuelle des précipitations

TABLEAU I
Totaux pluviométriques annuels (en mm)

Poste	Année	1973	1974	1975	1976	1977	1978	Moy. 73-78
Téleghma		384	252	252	509	264	202	311
Ain El Bey		405	337	445	859	346	457	475
Settara		975	744	719	1186	451	941	836

b) La représentation graphique du régime pluviométrique (fig. 2a) met en évidence une certaine variation de ce régime sur le plan géographique et surtout l'individualisation partout nette de la saison sèche (juin, juillet et août).

c) La répartition mensuelle des pluies au poste d'Ain El Bey montre l'importance de la variabilité des apports pluviométriques (fig. 2b). Le coefficient de variation calculé sur la période considérée est de 0.39 en février (mois le plus humide) et atteint 1.64 en juillet (mois le plus sec).

Température et évaporation

La température annuelle moyenne (période 1973-78) sous abri est de 14.8° à Ain El Bey (6.8° en janvier, 25° en juillet). Les valeurs absolues extrêmes enregistrées sont de - 5.5° et + 41.4°.

L'évaporation annuelle moyenne observée sur la même période par l'évaporomètre Piche est de l'ordre de 1 200 mm (43 mm en janvier, 213 mm en juillet). Le calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) par la méthode de TURC donne des valeurs proches: 1 182 mm/an (33 mm en janvier et 275 mm en juillet).

1.1.3. Hydrologie

Les modules hydrologiques Q enregistrés aux stations de jaugeage et les valeurs calculées des lames d'eau écoulées E (1) permettent de saisir l'évolution spatiale de l'écoulement superficiel annuel moyen (tableau II). Cette évolution est étroitement liée aux disparités climatiques et physiographiques du bassin versant.

La comparaison des lames d'eau écoulées avec les lames d'eau précipitées P (2) conduit à estimer les valeurs moyennes du coefficient d'écoulement C. Ce dernier reflète bien le rôle de l'évapotranspiration et secondairement celui de la lithologie: pour les sous-bassins semi-arides drainés par le Rhumel et le Bou Merzoug au niveau des hautes-plaines, il n'atteint guère que 5% alors que pour un sous-bassin tellien humide et très peu perméable comme celui de Bou Siaba, il s'élève à plus de 30%.

En plus de leur forte variation spatiale, les débits des oueds sont très irréguliers dans le temps: les débits instantanés varient, pour le Kébir-Rhumel à El Ancer, de 1 m³/s (étiage de l'été 1978) à 1 341 m³/s (crue de janvier 1973).

$$(1) E = \text{lame d'eau écoulée} = (Q \text{ (m}^3/\text{s)} * T \cdot 10^{-6} \text{ (s)}) / 10^{-3} * S \text{ (km}^2) \\ = q \text{ (l/s/km}^2) * T \cdot 10^{-6} \text{ (s)}$$

(2) P = lame d'eau précipitée = moyenne de 20 postes pluviométriques obtenue par la méthode des isohyètes. L'établissement de la carte d'isohyètes a pris en compte un certain nombre de paramètres, en particulier: l'hypsométrie, l'exposition aux vents dominants, la végétation...

TABLEAU II
Bilans moyens annuels de l'écoulement (1972/73 à 1978/79 — Mebarki, 1982)

	BASSIN	S (km ²)	P (mm)	Q (m ³ /s)	E (mm)	C (%)
Cours d'eau principal	Rhumel à O.ATHMENIA	1130	335	0,39	11	3,3
	Rhumel à AIN SMARA	2197	347	0,99	14	4,0
	Rhumel à GRAREM	5293	423	5,13	31	7,3
	Kebir-Rhumel à EL ANGER	8710	525	27,3	99	19
Affluents	Bou-Merzoug à EL KHROUB	1626	392	0,31	6	1,5
	Enndja-amont à DOUAR TASSADANE	936	542	3,67	124	23
	Bou Siaba à EL MILIA	470	830	4,15	279	34

1.2. LE CADRE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

L'oued Kébir-Rhumel, long de 200 km, draine plusieurs domaines géologiques et hydrogéologiques très différents.

Il va de soi que cette hétérogénéité du bassin versant provoque des influences différentes sur le régime des cours d'eau conjointement à celles dues à la répartition des précipitations.

De la source à la mer, on rencontre schématiquement 5 grands domaines géologiques et hydrogéologiques (fig. 3).

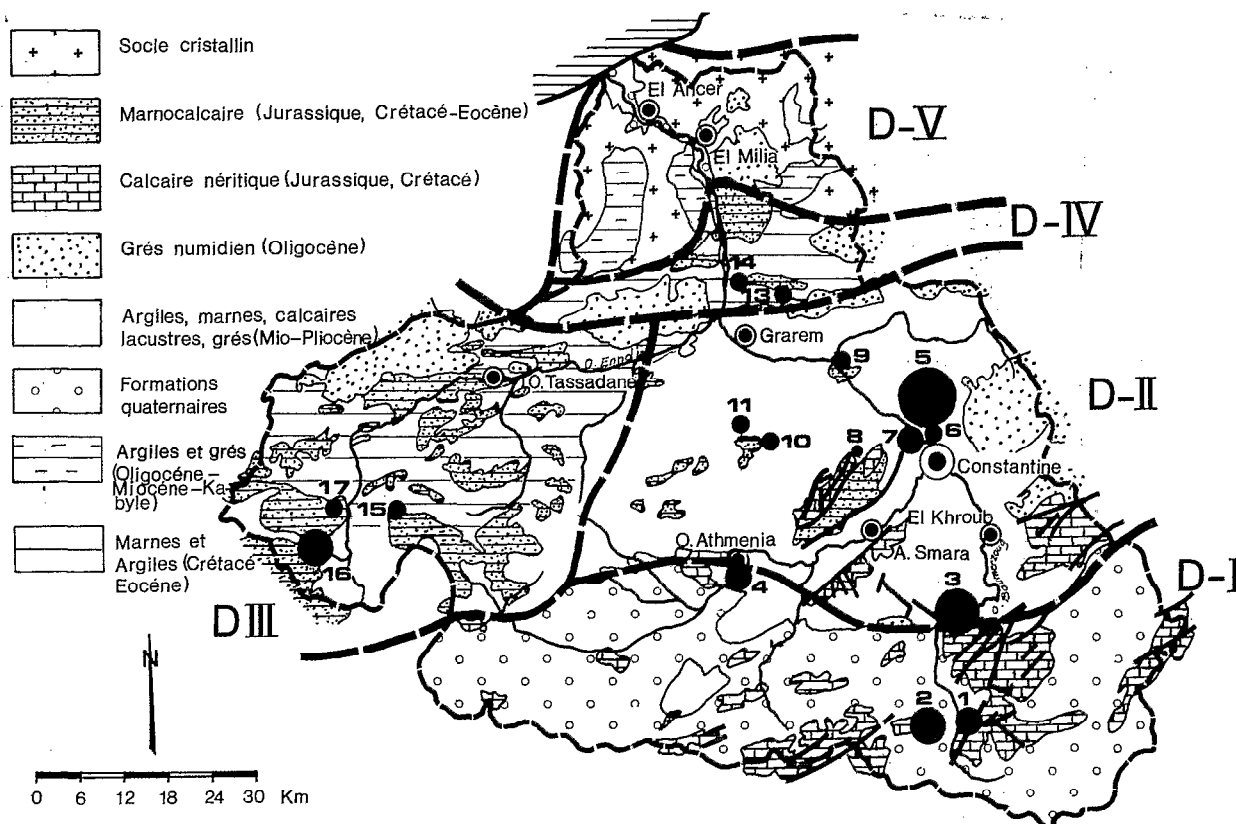


FIG. 3. — Les grands domaines hydrologiques

Sources de débit > 10 l/s — 1: Aïn Fesguia (90 l/s) — 2: Aïn Fourchi (300 l/s) — 3: A. Boumerzoug (450 l/s) — 4: H. Grouz (40°, 110 l/s) — 5: H. Bouziane (32° 5', 700 l/s) — 6: Sidi MCid (29°, 10 l/s) — 7: Salah Bey (29°, 20 l/s) — 8: Ibn Ziad (10 l/s) — 9: A. Kheneg (10 l/s) — 10: Aïn Tinn (32°, 14 l/s) — 11: Marchau (13 l/s) — 13: A. Gamra (12 l/s) — 14: Bedsi (15 l/s) — 15: A. Djemila (11 l/s) — 16: A. Hammam (21°, 150 l/s) — 17: A. Mechaâl (10 l/s)

1.2.1. Le domaine des Hautes-Plaines Sud-Constantinoises

Il est constitué de deux grandes unités lithologiques:

— *Les massifs carbonatés du néritique constantinois:*

Composés de 1 000 à 1 200 m de calcaires jurassiques et crétacés, ils émergent en horsts très karstifiés de 10 à 100 km² limités par des abrupts imposants.

Au pied de ces massifs, dans la zone d'éboulis, émergent de grosses sources karstiques: Aïn Fesguia (90 l/s: AEP d'El Khroub et de Constantine) à la base du Guérioun, Aïn Fourchi (pompages de 300 l/s aux fins de l'irrigation) au sud d'Aïn M'lila et à l'est du Djebel Nif Ennser, Aïn Bou-Merzoug (400 l/s: AEP de Constantine) au nord du massif du Fortas.

— Les trop-pleins non captés alimentent les oueds (haut-Rhumel et Bou Merzouz) qui drainent *les différentes plaines quaternaires* cloisonnées par les djebels calcaires.

Sur l'ensemble de ces plaines, les nappes phréatiques sont activement exploitées pour l'irrigation par gravité des cultures maraîchères.

1.2.2. Le bassin néogène de Constantine-Mila

Ce bassin mio-pliocène est à dominance argileuse à l'exception de quelques affleurements de calcaires lacustres renfermant des ressources exploitées localement. Par ailleurs, émergent de nombreux horsts de calcaires néritiques d'âge jurassique-crétacé donnant lieu à des aquifères karstiques hydrothermaux tel le système de Hamma Bouziane-Constantine.

La station de Grarem, sur le bas-Rhumel, reçoit les écoulements issus de l'ensemble des domaines 1 et 2.

1.2.3. Le domaine des «nappes» tectoniques de Djemila

A l'ouest de Ferjioua, en position occidentale par rapport au domaine 2, les «nappes» de Djemila sont formées d'une alternance de marnes et de calcaires marneux (Jurassique-Crétacé-Eocène). Les niveaux calcaires les plus épais donnent des sources à débit relativement faible, exceptée la source faiblement thermique de Aïn Hamman (21°-150 l/s) qui contribue en partie à l'alimentation de l'oued El Kébir-amont (oued Enndja).

Les débits de ce cours d'eau sont contrôlés par la station de Douar Tassadane.

1.2.4. Le domaine de la dorsale kabyle et des massifs gréseux numidiens

Ce domaine, situé à la confluence de l'oued Enndja et de l'oued Rhumel au nord de Grarem, est constitué essentiellement de grès numidiens sous lesquels apparaissent des calcaires jurassiques très tectonisés de la dorsale kabyle. Ces calcaires donnent naissance à des émergences à débit non négligeable.

1.2.5. Le domaine du socle granitique et cristallophylien de la petite Kabylie d'El Milia

Au sud d'El Milia, la vallée du Kébir-Rhumel s'encaisse dans les formations du socle.

Cette vallée, large de 1 à 2 km, renferme des graviers et sables alluviaux abondants. La nappe alluviale, en partie exploitée, constitue à l'opposé des formations du socle, la ressource hydraulique la plus importante du secteur.

2. ANALYSE DES LIAISONS ENTRE ÉCOULEMENTS SUPERFICIEL ET SOUTERRAIN

En période non influencée (absence d'apports pluviométriques), les cours d'eau sont alimentés uniquement par les écoulements souterrains. Cette vidange des aquifères est appréciée dans ce qui suit par l'analyse des courbes de tarissement et des débits classés.

2.1. ÉTUDE DES COURBES DE TARISSEMENT A L'AIDE DE LA LOI DE MAILLET

Les courbes de tarissement sont obtenues graphiquement (Q en fonction de t) à partir des hydrogrammes de basses-eaux des stations hydrométriques du bassin sur la période 1973-1978.

Elles expriment la loi de vidange de l'aquifère, laquelle peut être quantifiée à l'aide de la formule de Maillet. Cette dernière admet la décroissance du débit selon une fonction exponentielle de type:

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

Le coefficient de tarissement α (pente de tarissement) traduit le pouvoir régulateur de l'aquifère: la valeur de α est d'autant plus faible que la décroissance du débit de la vidange est lente.

Pour certaines stations, il n'a pas été possible de tracer les droites de tarissement faute de données ou en raison de la perturbation du régime hydrologique par des apports pluviométriques pendant la période d'étiage retenue (mai à septembre). En revanche, nous avons pu exploiter les données de 1971 et 1972 disponibles aux stations de Oued Athménia et d'El Khroub.

La figure 4 rassemble l'ensemble des courbes de tarissement obtenues.

La confrontation des coefficients de tarissement calculés d'après ces courbes (tabl. III) avec les caractères hydrogéologiques connus des sous-bassins nous permet de faire les interprétations suivantes en distinguant 4 classes de coefficients.

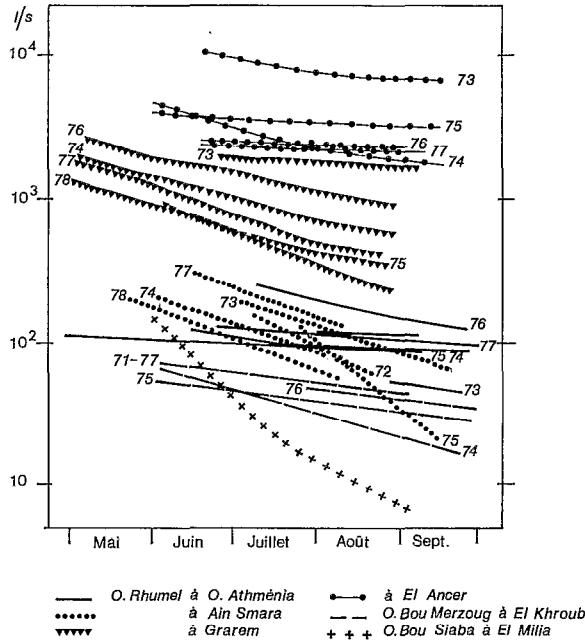


FIG. 4. — Droites de tarissement du Rhumel et de ses affluents

TABLEAU III
Coefficients de tarissement ($10^{-3} J^{-1}$)

BASSIN		1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	\bar{M}
Oued Kebir-Rhumel	O. ATHMENIA	1.6	2.1	3.5	1.5	2	4	1.1	1.3	2
	AIN SMARA	-	16.1	8.9	9	24	11	11	12	13
	GRAREM	-	-	2.25	5.9	7.8	7.7	6.7	11.5	7
	EL ANCER	-	-	1.6	3.1	1.3	2.1	1.8	?	2
Affluents	O. BOU MERZOUG à EL KHROUB	2.5	-	-	9.9	4.8	3.7	2.2	?	5
	O. ENNDJA-AMONT à D. TASSADANE	-	-	11	8.6	14	?	13	19	13
	O. BOU SIABA à EL MILIA	-	-	17.2	-	-	-	-	-	-

- Hydrogrammes non disponibles
? Coef. non déterminé

Coefficient de tarissement inférieur à $5.10^{-3} j^{-1}$

Les stations d'Oued Athménia (haut-Rhumel), d'El Ancer (exutoire du Kébir-Rhumel) et d'El Khroub (Oued Bou Merzoug) se rangent dans cette catégorie. La faiblesse et la relative constance du tarissement à Oued Athménia peuvent être attribuées à l'apport pérenne des émergences thermales de Hammam Grouz.

Les précipitations exceptionnelles de fin de printemps de l'année 1976 expliquent le caractère particulièrement élevé du soutien d'étiage de ladite année.

Au niveau de la station d'El Ancer, les valeurs de α (1.3 à $3.1 \cdot 10^{-3} j^{-1}$) ne peuvent être justifiées que par un soutien interannuel tout à la fois abondant et variable lié aux fortes capacités de stockage de la nappe alluviale du bas-Kébir.

En outre, l'explication d'un coefficient de tarissement relativement faible (proche de $5.10^{-3} j^{-1}$ en moyenne) obtenu à la station d'El Khroub n'est pas à chercher dans les apports souterrains naturels (sources karstiques totalement captées) mais vraisemblablement dans les rejets de la ville située en amont immédiat de la station.

Coefficient de tarissement compris entre 5 et $10.10^{-3} j^{-1}$

α , avec une valeur moyenne de $7.10^{-3} j^{-1}$ à la station de Grarem traduit un pouvoir régulateur moyen lié d'une part à un soutien constant important par les sources thermales de Hamma Bouziane (auxquelles s'ajoutent les écoulements de l'Oued Smendou et des hautes-plaines) et d'autre part à l'absence d'aquifère notable dans le bassin intermédiaire de Constantine-Grarem.

La forte valeur de 1978 est, semble-t-il, due à l'exploitation à partir de cette année de l'aquifère du Hamma pour l'AEP de Constantine (230 l/s).

Coefficient de tarissement compris entre 10 et $15.10^{-3} j^{-1}$

Le coefficient interannuel moyen de $13.10^{-3} j^{-1}$ obtenu à Aïn Smara (ht-Rhumel) caractérise un soutien médiocre, s'opposant nettement à celui beaucoup plus constant observé immédiatement en amont (Oued Athménia). Cette opposition anormale entre deux bassins voisins des hautes plaines sera éclaircie à partir de l'analyse des courbes de débits spécifiques d'étiage. En revanche, le fort coefficient de tarissement (24.10^{-3}) constaté en 1975 ne peut être apparemment expliqué.

Pour des raisons de clarté du graphique, les droites de tarissement de la station de Douar Tassadane n'ont pas été reportées sur la figure 4. Ces droites ont des allures sensiblement identiques à celles d'Aïn Smara et se traduisent par des coefficients de tarissement variant fortement entre 9 et $19.10^{-3} j^{-1}$. Ces derniers mettent en évidence une vidange assez rapide, à rattacher aux caractères lithologiques particuliers du bassin versant (prédominance des calcaires marneux).

Coefficient de tarissement supérieur à $15.10^{-3} j^{-1}$

Faute d'hydrogrammes fiables à la station d'El Milia (O. Bou Siaba), seule une droite de tarissement à décroissance très rapide a pu être tracée (fig. 4). Elle peut être considérée comme représentative des caractères hydrogéologiques du bassin versant de l'affluent. En effet, l'Oued Bou Siaba traverse un ensemble granitique et cristallophylien très peu perméable, d'où une chute brutale des débits en étiage ($17.10^{-3} j^{-1}$).

2.2. ÉTUDE DES DÉBITS CLASSÉS; AJUSTEMENT A UNE LOI DE GALTON*Présentation théorique et signification pratique*

Parmi les nombreuses lois de probabilité existantes en hydrologie, nous avons utilisé la loi de Galton pour des raisons de simplicité de traitement (1).

Notre but n'étant pas de faire une étude statistique du régime des cours d'eau mais d'analyser la partie inférieure des courbes des débits journaliers classés en sachant que cette fraction des débits (étiages) provient, en l'absence de

(1) La loi de Galton ou gausso-logarithmique est de type :

$$F(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u}{2}} \quad \text{avec } u = a \log(x_m - x_0) + b.$$

pluies, des eaux souterraines. Comme le montre l'exemple de Oued Athménia, cette fraction des débits n'obéit pas à la même loi de distribution de probabilité des moyens et forts débits (fig. 5a). C'est par le biais de changement de variable ($x_0 = q_0 =$ paramètre de Galton) que l'on obtient par tâtonnement, sur papier gaussien-logarithmique, un ajustement linéaire de toute la population des débits.

La valeur de q_0 est donc directement liée au tarissement: q_0 est d'autant plus grand que les réserves d'origine souterraine sont importantes et donc le tarissement faible.

La figure 5b présentée à titre d'exemple pour la station d'Oued Athménia montre, à partir des droites représentatives, les différentes formes des courbes d'ajustement théorique (les valeurs de $x_0 = q_0$ nécessaires pour obtenir un bon ajustement sont indiquées sur ces courbes).

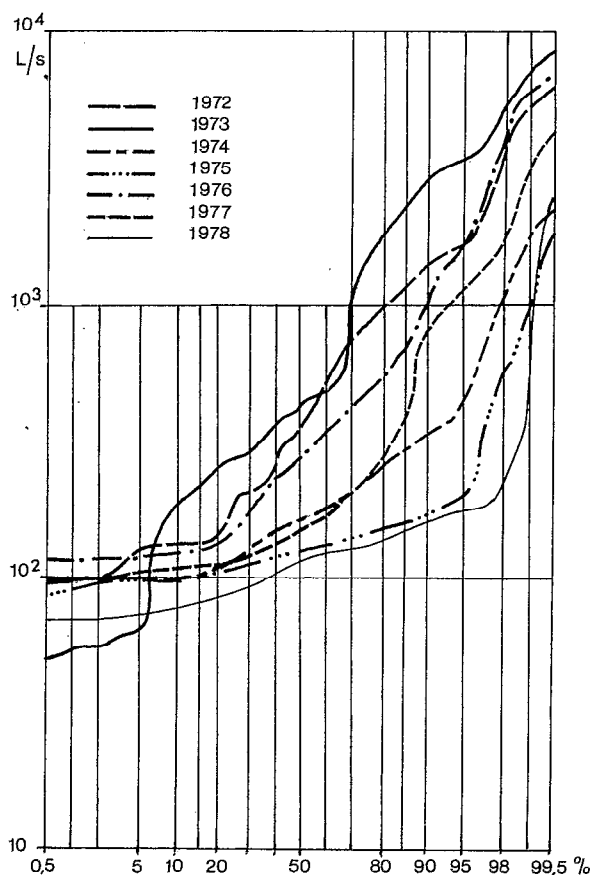


FIG. 5a. — Débits 1972 à 1978

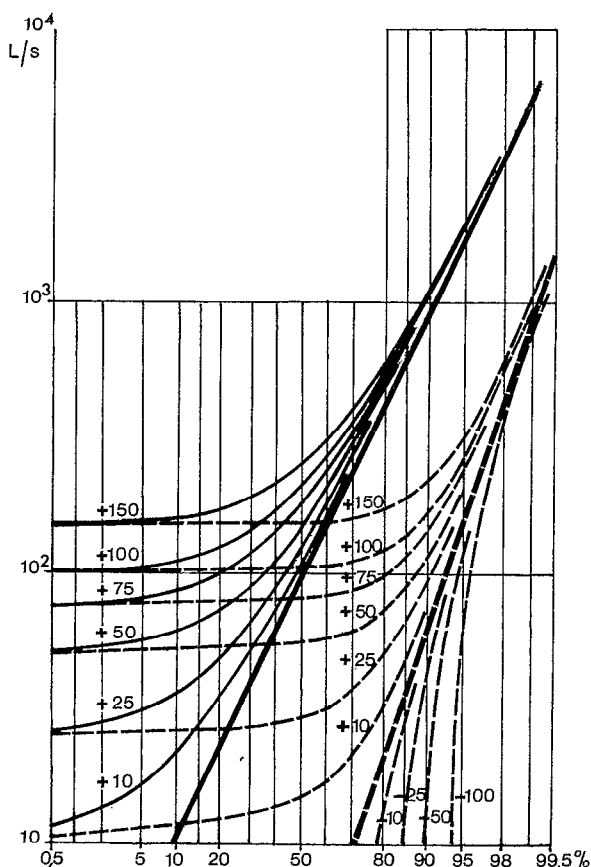


FIG. 5b. — Courbes $u = a \log(x - x_0) + b$

FIG. 5. — Ajustement à une loi de Galton des débits classés à Oued Athmenia

Par ailleurs, les courbes établies pour deux années particulières (1975 et 1978) sur l'ensemble du bassin permettent d'apprécier les variations spatiales des écoulements liées aux différences lithologiques des sous-bassins et de leur extension (fig. 6a et 6b).

D'après les valeurs de q_0 (tabl. IV), il ressort que celles-ci peuvent être regroupées en plusieurs classes se calculant nettement sur les grands domaines hydrogéologiques définis précédemment.

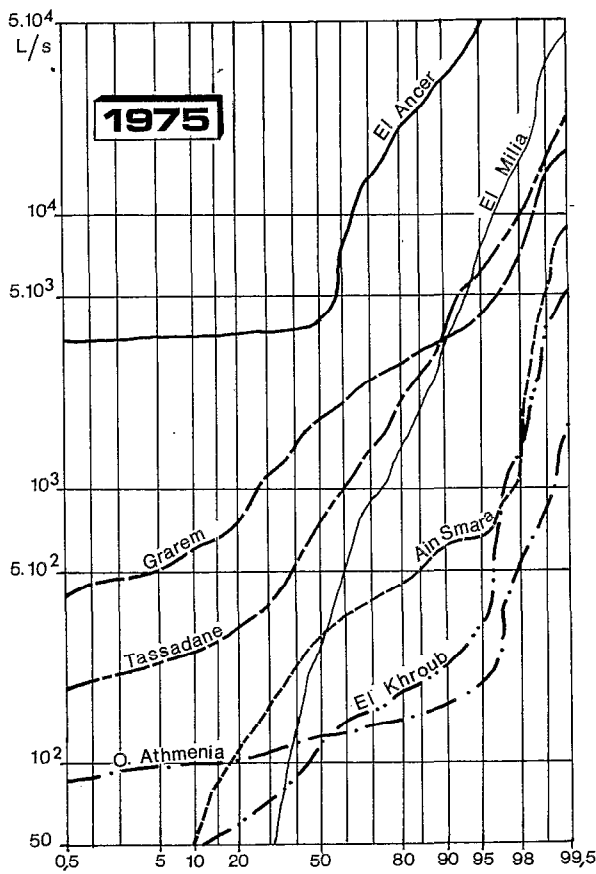


FIG. 6a. — année 1975

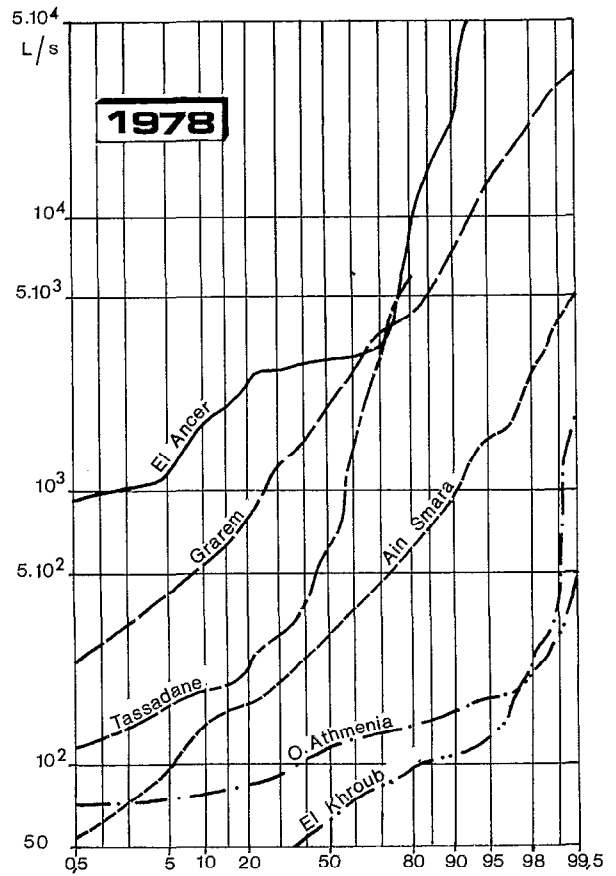


FIG. 6b. — année 1978

FIG. 6. — Ajustement à une loi de Galton des débits classés du Rhumel

TABLEAU IV

Valeurs de x_0 en l/s des droites $u = a \log(x - x_0) + b$ pour l'ajustement à une loi de Galton.
 (\bar{M} bis = moyenne, année 1976 exclue)

	BASSIN	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	\bar{M}	\bar{M} bis
Cours d'eau principal	O. ATHMENIA	96	70	91	90	110	97	70	90	87
	AIN SMARA	65	70	65	10	250	150	60	95	69
	GRAREM	-	1800	750	400	1200	450	200	686	600
	EL ANCER	-	7800	1900	3300	-	2500	1070	3800	3800
Affluents	O. BOU MERZOUG à EL KROUB	35	50	22	39	70		32	35	30
	O. ENNDJA AMONT à DOUAR TASSADANE	-	-	480	210	455	150	120	290	250
	O. BOU SIABA à EL MILIA	-	30	4.5	8	16	20	-	16	16

q₀ inférieur à 20 l/s (Oued Bou Siaba)

L'allure générale des courbes obtenues à la station d'El Milia (exemple de l'année 1975; fig. 6a) est caractéristique d'un bassin très peu perméable (socle granitique) et soumis à une forte pluviosité (836 mm à Settara).

Les débits des hautes-eaux, liés principalement aux précipitations, sont très élevés (supérieurs à ceux observés à Grarem malgré une superficie de bassin 10 fois plus faible) et remarquablement linéaires alors que les débits d'étiage, marqués par une certaine rupture de pente, sont très faibles (q_0 variant de 4.5 à 30 l/s) car très peu soutenus par les eaux souterraines, lesquelles n'apparaissent que sur une période réduite. Il faut toutefois rester prudent quant à la fiabilité des débits de base (assimilables à q_0) obtenus en raison des imprécisions des mesures en basses-eaux.

q₀ compris entre 20 et 100 l/s

Cette classe correspond aux 3 relations contrôlant les bassins des hautes-plaines.

Le soutien à la station d'El Khroub reste relativement faible, avec une moyenne de 35 l/s. L'indigence pluviométrique en période d'étiage n'est pas compensée par les ressources souterraines entièrement captées (ne transitant pas par la station).

Au niveau de Oued Athménia, les parties inférieures des courbes ont une pente faible et quasi-constante traduisant un fonctionnement interannuel identique de l'aquifère de Hamman Grouz. D'une année à l'autre, les débits q_0 calculés se situent autour de 90 l/s (fig. 5a, b et fig. 6 a,b).

A l'exception de l'année humide de 1976, les débits q_0 à la station d'Aïn Smara sont légèrement plus faibles que ceux de Oued Athménia (70 l/s en moyenne).

Comme la station d'Aïn Smara est implantée à l'aval de Oued Athménia, contrôlant un bassin de superficie double, cette diminution de q_0 entre les deux stations laisse supposer des phénomènes d'effluence («pertes» par soutirage souterrain).

La courbe de l'année 1975 est caractéristique de ces phénomènes ($q_0 = -10$ l/s) (fig. 6a).

Il est à remarquer que, sur l'ensemble des trois stations, pour l'année 1976, les débits q_0 sont les plus élevés, conséquence de la forte recharge des aquifères provoquée par une pluviosité exceptionnelle.

q₀ compris entre 100 et 1 000 l/s

Le débit q_0 à la station de Douar Tassadane (Oued Enndja-amont) fluctue entre 120 et 480 l/s. Cet apport conséquent est à lier avec la source d'Aïn Hamman (soutien d'une centaine de l/s) et aux nombreuses petites sources émergeant dans cette région des «nappes» de Djemila.

A la station de Grarem (bas Rhumel), l'importance des débits d'origine souterraine ($q_0 = 680$ l/s en moyenne) trouve son explication essentiellement dans les apports des sources thermales de Hamma Bouziane (600-700 l/s).

La faiblesse relative du soutien lors de l'étiage 1978 (fig. 6b) est liée probablement à la mise en exploitation par forage de l'aquifère hydrothermal (AEP de Constantine, 230 l/s).

q₀ supérieur à 1 000 l/s (bas Kébir)

Les courbes des débits classés à la station d'El Ancer (Oued Kébir-Rhumel) laissent apparaître une forte rupture de pente consécutive à des débits de soutien considérables (q_0 compris entre 2 500 et 7 800 l/s). Ces derniers sont issus des importantes réserves régulatrices que recèle la nappe alluviale du bas-Kébir et auxquelles s'ajoutent les écoulements cumulés du bassin versant.

La même remarque que celle faite pour Grarem peut être effectuée ici: l'étiage de 1978 est marqué par un plus faible soutien (1 000 l/s). Ni l'hypothèse des pompages du Hamma, ni la pluviosité de l'année considérée ne peuvent suffire à expliquer un tel fléchissement.

3. MODÈLE HYDROLOGIQUE DES ÉCHANGES EAUX SOUTERRAINES-EAUX SUPERFICIELLES (approche à l'aide de l'évolution spatiale des débits spécifiques d'étiage)

Les graphiques représentant les débits d'étiage en fonction de la superficie drainée (débits spécifiques) permettent de visualiser l'évolution spatiale du soutien et de déterminer le rendement hydraulique de chaque sous-bassin (fig. 7a,b et fig. 8a).

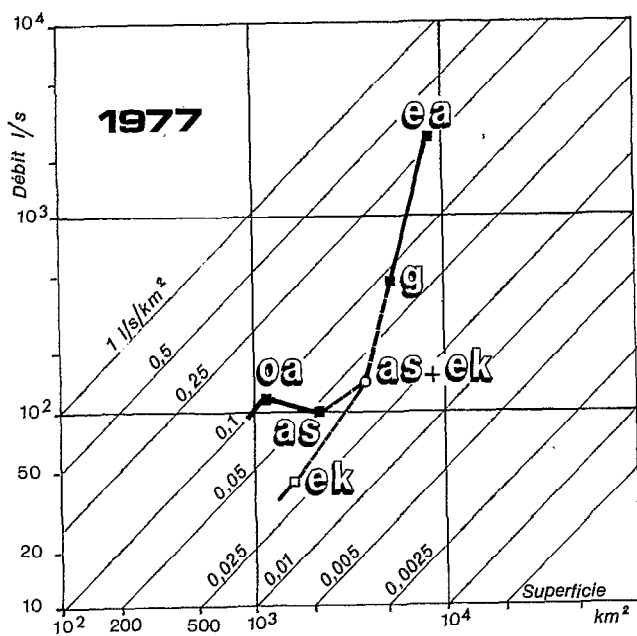


FIG. 7a. — année 1977

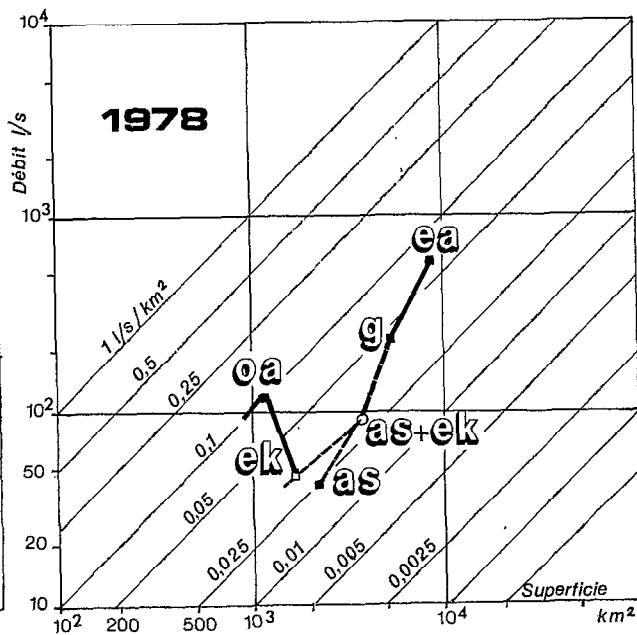


FIG. 7b. — année 1978

FIG. 7. — Evolution spatiale des débits spécifiques d'été au 1^{er} septembre
 OA = Oued Athmenia, AS = Ain Smara, G = Grarem, EA = El Ancer, EK = El Khroub, DT = Douar Tassadane

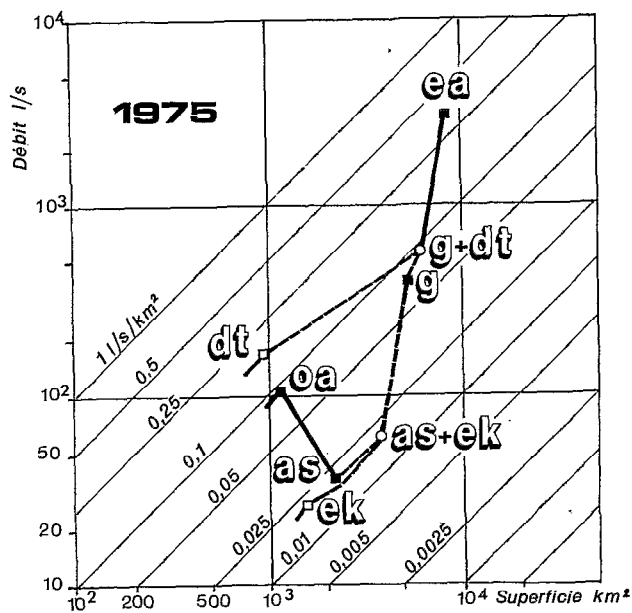


FIG. 8a. — 1^{er} septembre (année 1975)

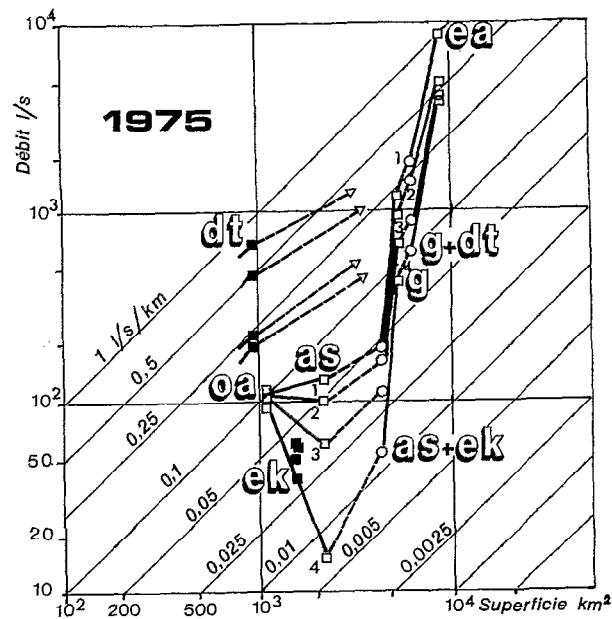


FIG. 8b. — 1^{er} mai (1), 1^{er} juin (2),
 1^{er} juillet (3), 1^{er} août (4)

FIG. 8. — Evolution spatiale des débits spécifiques d'été

3.1. ÉVOLUTION SPATIALE (ET INTERANNUELLE) DES DÉBITS SPÉCIFIQUES D'ÉTIAGE

L'idée de base est que les points des débits spécifiques d'étiage représentatifs des bassins ayant les mêmes caractéristiques lithologiques s'aligneront selon les droites d'iso-débits spécifiques. Or, à partir des graphiques, nous pouvons établir les constatations suivantes :

L'absence d'alignement des débits spécifiques du cours d'eau principal (Rhumel en amont et Kébir à l'aval) notamment au niveau des parties inférieures des profits (bassins des hautes-plaines constantinoises).

La chute des débits spécifiques entre Oued Athménia et Aïn Smara confirme les phénomènes de pertes déjà mis en évidence par l'analyse des débits classés. Par ailleurs, la station de oued Athménia, avec un débit spécifique de 0.1 l/s/km², s'individualise très nettement des deux autres stations contrôlant les débits des hautes-plaines (qs moyen de 0,03 à 0.035 l/s/km² à Aïn Smara et El Khroub).

Cette remarque rend compte :

— du rôle important de l'aquifère karstique hydrothermal de Hamman Grouz qui soutient les débits d'étiage du Haut-Rhumel;

— de l'importance des prélèvements naturels et artificiels sur les bassins des hautes-plaines constantinoises que traduisent les faibles débits spécifiques aux autres stations. En effet, le bassin intermédiaire d'Aïn Smara est marqué par des phénomènes de pertes, vraisemblablement naturelles, à l'aval de Oued Athménia; d'autre part, au niveau du bassin du Bou Merzoug à l'amont d'El Khroub, les sources karstiques (800 l/s) sont détournées de la station hydrométrique car captées pour l'AEP de Constantine (70%) et l'irrigation du périmètre de Fourchi (30%).

L'accroissement régulier des débits spécifiques à partir de Constantine, témoin d'un bon rendement hydraulique

Les plus gros apports d'origine souterraine (600 l/s entre Constantine et Grarem et 2 600 l/s entre Grarem et El Ancer) sont liés respectivement aux émergences du système karstique hydrothermal de Hamma Bouziane — Constantine et à la nappe alluviale du bas-Kébir.

3.2. ÉVOLUTION INTERANNUELLE DES DÉBITS SPÉCIFIQUES (tableau V)

Les restitutions souterraines sont relativement constantes ($\pm 20\%$ d'écart à la moyenne) dans le bassin du haut-Rhumel à l'amont de Oued Athménia: d'une année à l'autre, elles tournent autour de 75 l/s. Il en est de même pour les pertes au sein du bassin intermédiaire d'Aïn Smara ($\pm 25\%$) dont la moyenne intermédiaire est de 140 l/s.

En revanche, de nombreuses variations sont intervenues au fil des années, principalement pour les sous-bassins Constantine-Grarem-El Ancer. Elles se traduisent par une baisse continue des débits restitués, en raison vraisemblablement d'une mauvaise recharge des aquifères par les pluies, d'un accroissement des prélèvements directs dans les oueds ou dans les nappes (irrigation, industries) et d'une nouvelle exploitation de l'aquifère de Hamma Bouziane (AEP de Constantine).

A ce sujet, la comparaison entre les figures 7a (1977) et 7b (1978) est significative: en 1978, le débit spécifique à El Ancer n'atteint même pas celui observé à Oued Athménia, le rendement de l'aquifère alluvial du bas-Kébir a très nettement baissé.

TABLEAU V
Gains et pertes déduits de l'analyse des débits spécifiques d'étiage (1^{er} septembre-débits en l/s)

BASSIN	1973	1974	1975	1977	1978	Moyenne
de O. ATHMENIA à AIN SMARA	- 102	- 138	- 144	- 122	- 177	- 140 (1)
de CONSTANTINE (AS + EK) à GRAREM	-1750	+ 480	+ 320	+ 270	+ 100	avant 1977 +700 (2) +100
du Nord de GRAREM (G + DT) à EL AN CER	+5500	+1000	+2300	+1800	+ 400	avant 1977 +2600 (2) +400

OA = oued Athmenia, AS = Aïn Smara, EK = El Khroub, G = Grarem, DT = Douar Tassadane.

(1) Pertes entre les deux stations ou apports de + de 75 à Oued Athmenia.

(2) A partir de 1977, exploitation des sources thermales de Mamma Bouziane (AE P Constantine 2300 l/s).

3.3. ÉVOLUTION INTERMENSUELLE DES DÉBITS SPÉCIFIQUES PENDANT LA SAISON D'ÉTIAGE (de mai à septembre)

La figure 8b représentant l'évolution intermensuelle des courbes «débits spécifiques» d'une année «moyenne» (1975) laisse apparaître une décroissance généralisée des débits spécifiques d'étiage, consécutive à l'épuisement progressif des réserves aquifères. Elle se manifeste par une accentuation d'un mois à l'autre des phénomènes de pertes entre Oued Athménia et Aïn Smara: - 90 l/s en mai, - 120 l/s en juillet et - 165 l/s en août. La relative remontée au 1^{er} septembre (- 145 l/s) est à lier à des apports pluviométriques.

A partir de Grarem, le tarissement intermensuel s'atténue en valeur relative. Ce phénomène est à rapprocher des faibles coefficients de tarissement calculés à El Ancer pour la nappe alluviale.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Les courbes de tarissement et les débits classés d'une part, les courbes des débits spécifiques d'étiage d'autre part, ont permis de préciser à l'échelle du bassin du Kébir-Rhumel, les relations, jusque-là mal connues, entre les eaux souterraines et les cours d'eau.

Les coefficients de tarissement traduisant les pentes des droites de tarissement ont montré, aux différents points contrôlés du bassin, le plus ou moins important pouvoir régulateur des aquifères, lui-même déterminé par les caractéristiques hydrodynamiques des nappes. Cependant, ces coefficients ne rendent pas systématiquement compte des réserves régulatrices des aquifères (cf. tableau VI) et c'est à l'aide de la variable q_0 (variable nécessaire à un ajustement linéaire des débits classés de Galton) que ces dernières ont pu être quantifiées.

TABLEAU VI

Synthèse des données obtenues par bassin et sous-bassin (moyenne de 1973 à 1978, année 1976 incluse)

BASSIN et SOUS-BASSIN	s	α	q^0	q_s	Q	D
OUED ATHMENIA (OA)	1130	2	87	0,094	106	DI
AIN SMARA (AS)	2197	13	69	0,032	70	DI
AS-OA (1)	1067	-	?	0,034	-36	DI
AS-OA (2)	1067	-	?	0,13	-140	DI
EL KROUB (EK)	1626	(4,6)	30	0,035	57	DI
AS+EK (CONSTANTINE)	3823	-	100	0,034	130	DI
GRAREM (G)	5293	7	600	0,15	794	DI+DII
G-(AS+EK)	1470	-	500	0,45	664	DII
DOUAR TASSADANE (DT)	936	13	250	(0,27)	(253)	DIII
G+DT	6229	-	850	(0,23)	(1433)	DI+DII+DIII
EL MILIA (EM)	470	((17))	16	0,028	13	DV a(socle cristallin)
EL ANCER (EA)	8710	2	3800	0,38	3344	DI à DV
EA-(G+DT+EM)	2011	2	2934	(1,3)	(2600)	DV (nappe alluviale du bas-Kébir)

Il a été ainsi mis en évidence l'existence en basses-eaux moyennes, d'importantes disponibilités en eaux souterraines (près de 4 m³/s) dont la quasi-totalité est fournie par 4 «zones productrices», par ordre d'importance: la vallée du bas-Kébir (2.5 à 3 m³/s), le sous-bassin de Constantine-Grarem (0.5 à 0.6 m³/s), le sous-bassin de l'Oued Enndja ou domaine des «nappes» telliennes de Djemila (0.25 m³/s) et enfin le sous-bassin du Haut-Rhumel à Oued Athménia (0.1 m³/s).

Le sous-bassin du Bou Merzoug à El Khroub ne s'est pas caractérisé par un bon rendement hydraulique car l'ensemble des apports d'origine souterraine (sources karstiques issues des calcaires néritiques: 0.8 m³/s) y est capté et transféré hors du bassin (AEP de Constantine) ou utilisé in-situ (irrigation de Fourchi).

L'importance des ressources restituées par les aquifères a été confirmée et leur évolution spatio-temporelle mieux cernée grâce à l'analyse des courbes de débits spécifiques d'étiage. Ces dernières ont, par là-même, rendu plus visible le phénomène de «pertes» (140 l/s) constaté au niveau du sous-bassin compris entre Oued Athménia et Aïn Smara. Il reste maintenant à savoir si ces pertes qui, indubitablement, réalimentent l'aquifère du néritique constantinois, vont s'acheminer vers le système de Hamma Bouziane ou réintégrer Hammam Grouz.

Faute d'informations suffisantes sur la région (mesures des prélèvements et des rejets, jaugeages différentiels, traçages chimiques et/ou cartes piézométriques...), certains points sont restés inexpliqués.

Il n'en demeure pas moins que les méthodes utilisées dans cette note peuvent être considérées comme un outil susceptible de combler l'absence de données quantifiées sur les réserves en eaux souterraines régulatrices et exploitables.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 27 juin 1988

BIBLIOGRAPHIE

- CASTANY (G.), 1967. — Introduction à l'étude des courbes de tarissement. *Chron. Hydrogéol. BRGM*, n° 10: 23-30.
- CASTANY (G.), 1978. — Effets de la sécheresse sur les eaux souterraines. Vulnérabilité à la sécheresse des nappes. *Bull. BRGM*, Sect. III, n° 3: 225-227.
- COIFFAIT (P.E.), QUINIF (Y.) et VILA (J.M.), 1975. — Synthèse sur l'histoire géologique et les karstifications des massifs néritiques constantinois. Actes Symp. Grenade Ann. Spéléol. XXX, fasc. 4: 619-627.
- DUBREUIL (P.), 1974. — Initiation à l'analyse hydrologique. Masson, Paris, 216 p.
- DUROZOY (G.), 1952. — Hydrogéologie des massifs calcaires crétacés des monts de Constantine. XIX Congrès Géol., Alger: 95-111.
- MANGIN (A.), 1971. — Etude des débits classés d'exutoires karstiques portant sur un cycle hydrologique. *Ann. Spéléol.* 26, fasc. 2: 283-329.
- MANGIN (A.), 1975. — Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Thèse Dijon in *Ann. Spéléol.* 29: 283-332; 29: 495-601; 30: 21-124.
- MEBARKI (A.), 1982. — Le Bassin du Kébir-Rhumel. Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau. Thèse Doct. 3^e cycle, Nancy II, 304 p.
- REMENIERAS (G.), 1972. — Hydrologie de l'Ingénieur. Eyrolles, Paris, 456 p.
- SALADO (J.), LEROUX (J.), LETOUZE (F.) et THOMAS (C.), 1976. — Recherche des relations entre écoulements superficiel et souterrain par l'analyse de l'hydrogramme (débits classés) des cours d'eau. Application aux calcaires du Dogger de Lorraine. II^e Coll. Hydrol. en pays calcaire, *Ann. Sc. Univ. Besançon*, fasc. 25, 3^e série: 353-367.
- THOMAS (C.), 1984. — Evolution des aquifères karstiques hydrothermaux; analyse du système de Hamma-Bouziane — Constantine. Coll. «Eau, clef du développement au Maghreb.», Oran, 19 p.
- THOMAS (C.) et MEBARKI (A.), 1983. — Ressources et utilisation des eaux dans le Constantinois. Coll. «Ressources en eau et utilisation.» Constantine, 26 p., 20 fig.
- ZUMSTEIN (J.F.) et AUER (J.C.), 1978. — Catalogue des débits mensuels d'étiage. Bassin de la Meuse et de la Moselle. Agence Fin. du Bassin Rhin-Meuse. Metz, 92 p.