



ANALYSE STATISTIQUE DU REGIME HYDROLOGIQUE SUR LA PLAINE DE MEJJATE ET SA BORDURE OCCIDENTALE, (MAROC)

BOUKHARI K.¹, ER-ROUANE S.², A. GOUZROU A.²

*Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Semlalia,
Département de géologie, Avenue Moulay Abdellah,
Marrakech, 40000, Maroc*

¹k.boukhari@ucam.ac.ma , ²errouane@ucam.ac.ma

I. INTRODUCTION

Le domaine étudié comprend la plaine du Mejjate et sa partie occidentale, situé à 70 Km au Sud Ouest de Marrakech, il est délimité au Nord par les chaînons des Jbilet, au Sud par le Haut Atlas Occidental, à l'Est par l'oued N'Fis et à l'Ouest par le grand bassin d'Essaouira – Meskala, (Fig. 1). Il s'étend sur 2800 km² de superficie.

La zone est une vaste étendue à relief modéré (l'altitude moyenne est de 600m) ; et qui devient plus accentué vers le Sud au voisinage de la chaîne atlasique. Elle se présente sous forme d'une succession de crêtes anticlinales de direction Est - Ouest à Nord Est – Sud Ouest, séparées par des synclinaux à fonds plats, (AMBROGGI et THUILLE, 1987).

Le climat qui règne la région est de type aride à semi-aride, la température moyenne annuelle est d'environ 20°C. La population est très inégalement répartie entre des centres ruraux et urbains. La principale activité socio-économique est l'élevage et la céréaliculture en bour, la superficie totale irriguée dans toute la région est de l'ordre de 7500 ha (DRHT, 1987).

La plaine est traversée par de nombreux oueds atlasiques, d'orientation Nord – Sud, ce sont tous des affluents rive gauche de l'oued Tensift (Fig.1), et qui s'organisent de l'Ouest vers l'Est comme suit :

- L'oued Chichaoua considéré comme le principal cours d'eau drainant la plaine de Mejjate. C'est le collecteur des oueds Ameznas, Imintanout et Seksaoua qui prennent naissance dans le Haut Atlas et dont le point de confluence est à environ 15 Km au Sud de Chichaoua.
- Un deuxième oued, prend naissance également dans le Haut Atlas occidental, c'est l'oued Assif El Mal.
- Enfin, l'oued N'Fis, constitue la limite Est du secteur.

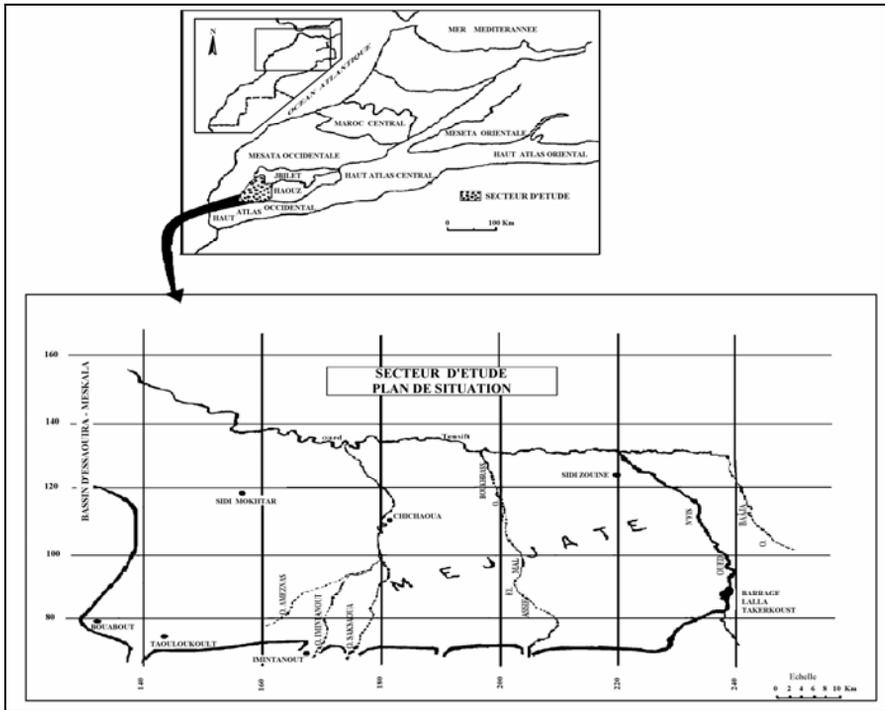


Fig. 1 : Carte de situation géographique de la région étudiée

II. CARACTÉRISTIQUES DES BASSINS VERSANTS

L'étude lithologique des bassins versants des oueds du Mejjate montre qu'ils sont issus de formations calcaires ou marno-calcaires d'âge Crétacé ou Jurassique supérieur, formations perméables susceptibles d'emmagasiner les eaux et de diminuer le taux de ruissellement. Les caractéristiques de ces bassins sont résumées dans le tableau.1. Ils ont, généralement, des superficies moyennes en comparaison avec ceux du reste du Haouz. Ainsi le bassin versant de Chichaoua avec 1317 Km², présente la plus grande superficie. Les principaux apports d'eau proviennent des oueds de Seksaoua, Assif El Mal et N'Fis. Ils montrent des débits spécifiques importants, se sont les bassins versants les plus actifs du secteur d'étude.

**Tableau 1 : Caractéristiques des oueds du secteur étudié (DPA de Marrakech)
e = a /31,536**

Nom de l'oued	Caractéristiques des bassins versants						
	Superf. (km ²)	Apports (mm) (a)	Pluies (mm) (b)	Déficit d'écoulem. (mm) (c=a-b)	Coeff. d'écoulem. (%) (d=100×a/b)	Débit moyen annuel estimé (l/s)	Débit spécif. (l/s/km ²) (e)
N'Fis	1290	102	579	-477	17.62	4167	3.23
Amez Miz	345	186	546	-360	34.07	678	1.96
Assif El Mal	514	110	578	-468	19.03	1794	3.49
Seksaoua	538	110	562	-452	19.72	1878	3.49
Imintanout	276	80	472	-392	16.95	701	2.54
Ameznas	573	35	422	-387	8.29	510	0.89
Chichaoua	1317	-	412	-	-	-	-

III. ANALYSE DES DÉBITS

Afin de connaître le régime des oueds drainant le secteur étudié, différentes stations hydrométriques bien équipées, sont installées pour assurer le contrôle et le suivi des débits, leurs caractéristiques sont consignées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Caractéristiques des stations de jaugeage, (DRHT, 1987).

Station	Oueds	N°IRE	Date de fonctionnement	Coordonnées			Superficie contrôlée (Km ²)
				X	Y	Z	
Illoudjane	Seksaoua	628/52	1974	176.240	70.525	757	560
Sidi Bouothman	Assif El Mal	1976/53	1984	209.400	74.300	820	514
Abadla	Tensift	1675/44	1968	200.000	129.500	250	10152
Imine El Hammam	N'Fis	1566/53	1966	241.400	72.400		1290
Sidi Hssaïn	Amez Miz	2431/53	1987	229.100	70.170		115

III.1 Débits mensuels

Les débits sont généralement faibles (Fig. 2), avec un régime très irrégulier au cours de l'année, ils commencent à augmenter à partir du mois d'octobre pour atteindre le maximum au mois de novembre (automne). Pendant les mois de l'hiver, les cours d'eau recueillent les précipitations importantes et engendrent une augmentation du débit qui se poursuit pour atteindre son maximum au mois de mars et avril (le printemps) avec la fonte des neiges. Au cours des mois d'été, les débits diminuent brutalement (période d'été) et les oueds sont pratiquement à sec.

En comparant les débits mensuels des différentes stations, on constate que les stations d'Abadla et d'Imine Hammam présentent des valeurs très supérieures à celles des autres stations. Ainsi, les oueds de Tensift et de N'fis reçoivent des quantités d'eau importantes, par contre la station de Sidi Hssaïn se caractérise pas des débits faibles qui ne dépassent pas $1\text{m}^3/\text{s}$.

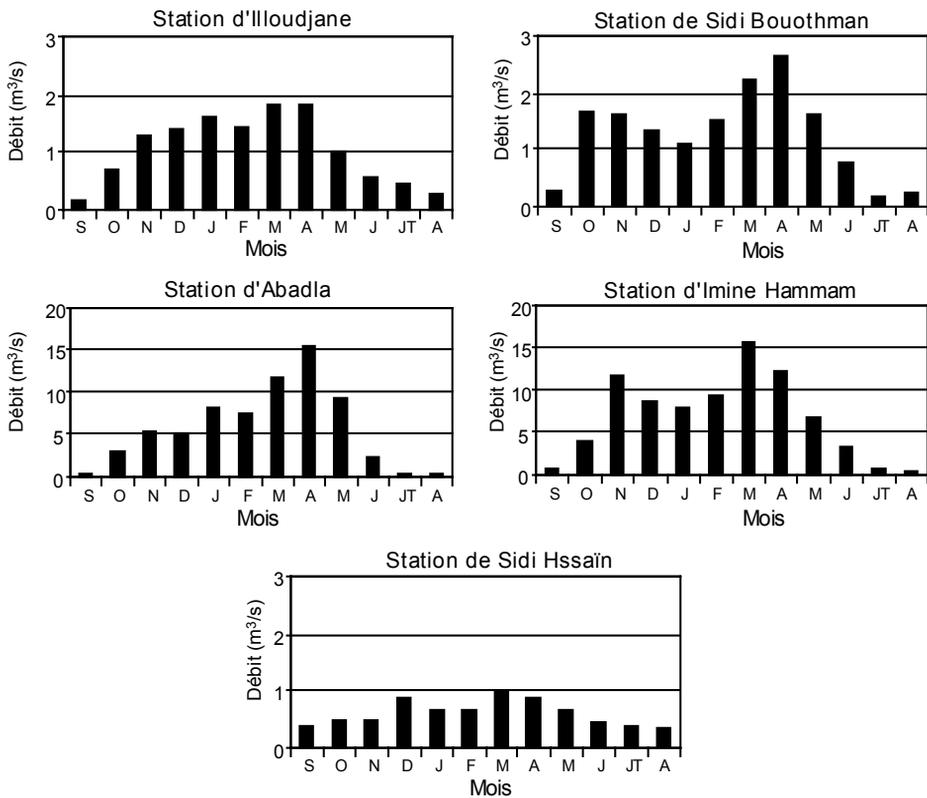


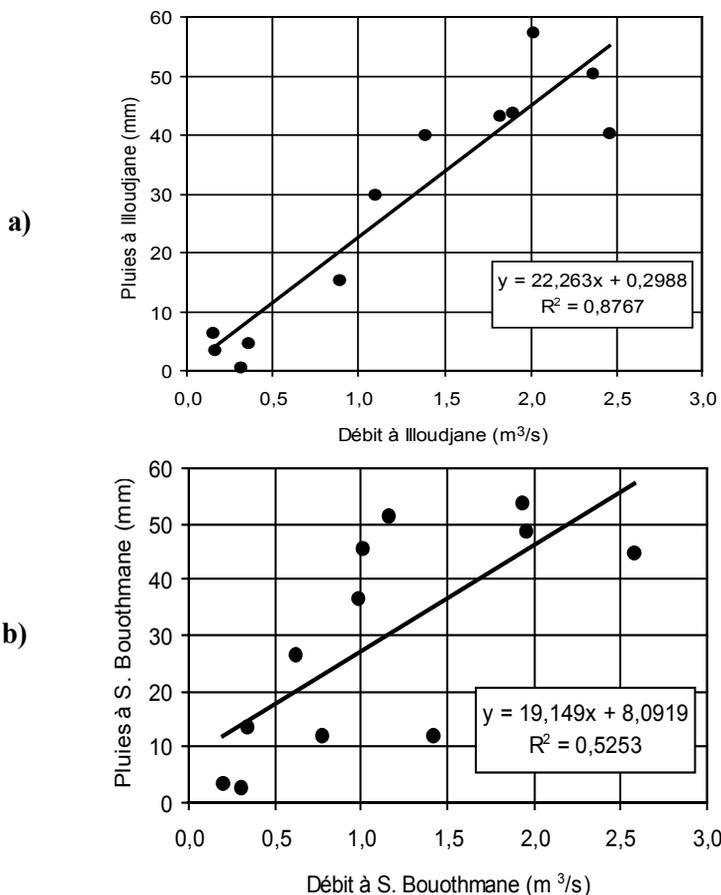
Fig. 2 : Histogrammes des débits moyens mensuels interannuels, (DRHT, 1987).

Pour s'assurer de l'homogénéité des débits et la cohérence de l'information qu'ils présentent, on a eu recours à des essais de corrélation linéaire entre débits/débits afin de mieux juger les relations liant les différentes stations hydrométriques. Ces essais consistent à examiner la tendance d'un nuage de points à s'aligner selon une droite oblique. Les corrélations moyennes mensuelles débits/débits (Tableau 3), sont moyennes à fortes pour certains couples, ceci peut être expliqué par une forte liaison saisonnière entre les stations.

**Tableau 3 : Coefficients de corrélations des débits mensuelles (l/s) des
oueds étudiés**

	Coefficient de corrélation r				
	Illoudjane	Sidi Bouothmane	Abadla	Imine El Hammam	Sidi Hssaïn
Illoudjane	1				
sidi Bouothmane	0,73	1			
Abadla	0,76	0,86	1		
Imine El Hammam	0,89	0,86	0,91	1	
sidi Hssaïn	0,80	0,81	0,82	0,84	1

Un autre essai de corrélation linéaire entre les débits et la pluviométrie (Fig. 3), qui permet de déduire une bonne relation linéaire mensuelle avec des coefficients de corrélation supérieurs à 0,70 pour toutes les stations témoignant d'une étroite dépendance saisonnière.



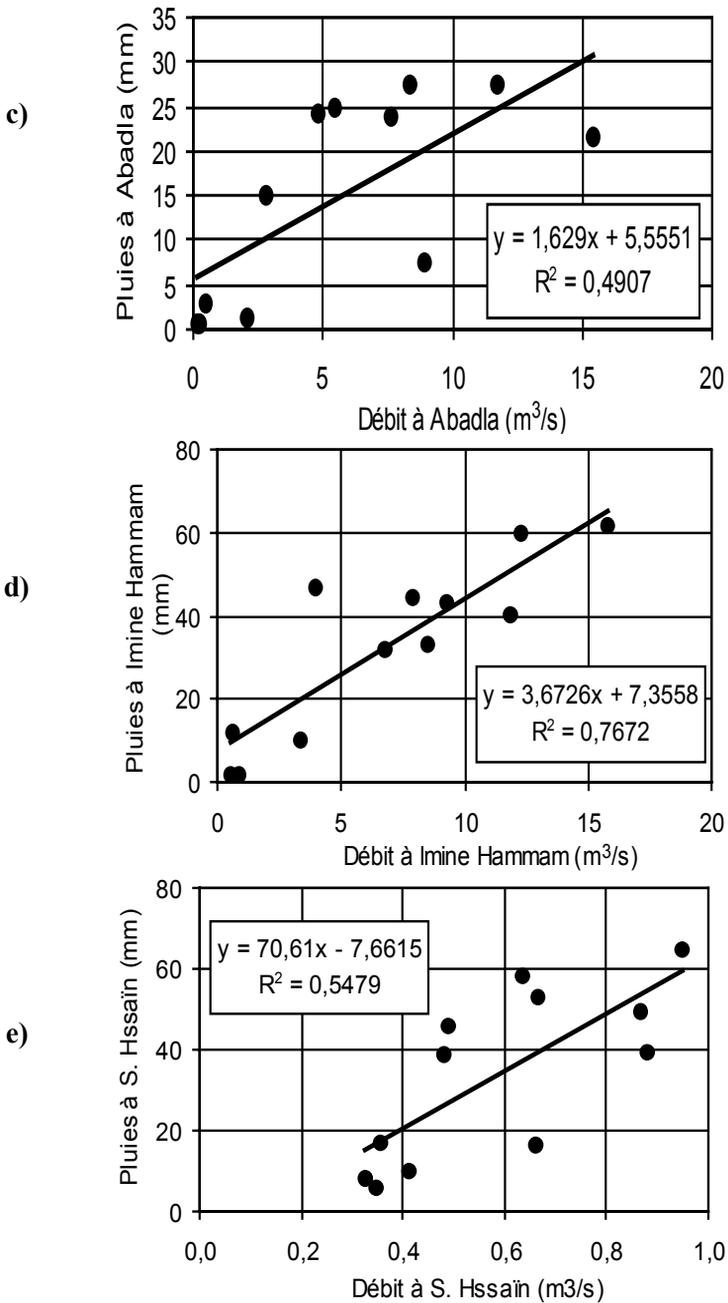


Fig. 3 : Corrélation linéaire entre les pluies moyennes mensuelles et les débits moyens mensuels. Stations : a) Illoudjane, b) Sdi Bouothmane, c) Abadla, d) Imine El Hammam, e) Sidi Hssaïn

La variation mensuelle est donc semblable à celle des précipitations, montrant une bonne corrélation entre les deux variables, certaines stations montrent un décalage au niveau des mois de mars et avril, le temps de réponse peut être évalué à quelques jours seulement.

III.2 Débits annuels

Le régime annuel est très irrégulier d'une année à l'autre, les années 1987-90, 1991-92 et 1993-94 correspondent à des années humides avec un maximum au cours de 1995-96, année très humide pour tous les stations. Alors que celles de 1982-83, 1986-87, 1992-93, 1994-95, 1998-99 et 2000-01 sont plutôt sèches correspondant généralement aux périodes de sécheresses qui ont sévi dans la région. D'ailleurs durant ces dernières années, ces oueds sont pratiquement à sec, (Fig. 4).

Les corrélations moyennes annuelles débits/débits (Tableau 4), diffèrent d'un couple à l'autre, mais on note toujours cette corrélation moyenne à forte qui témoigne d'une importante liaison hydrologique entre les oueds.

Tableau 4 : Coefficients de corrélations des débits annuelles (l/s) des oueds étudiés

	Coefficient de corrélation r				
	Illoudjane	Sidi Bouothmane	Abadla	Imine El Hammam	Sidi Hssaïn
Illoudjane	1				
sidi Bouothmane	0,79	1			
Abadla	0,81	0,72	1		
Imine El Hammam	0,84	0,80	0,57	1	
sidi Hssaïn	0,68	0,61	0,62	0,81	1

Pour déterminer la relation entre les précipitations annuelles et les moyennes annuelles des débits des oueds, la figure 5 montre une bonne relation linéaire pour la station d'Abadla avec un coefficient de corrélation linéaire $r = 0,74$. Pour les autres stations, la liaison linéaire est moins marquée, avec des coefficients plus faible, voire même absente pour la station d'Illoudjane qui a un coefficient $r = 0,06$, ceci peut être expliqué probablement aux données non fiables des précipitations ou des débits, qui laisse cette corrélation moins faible.

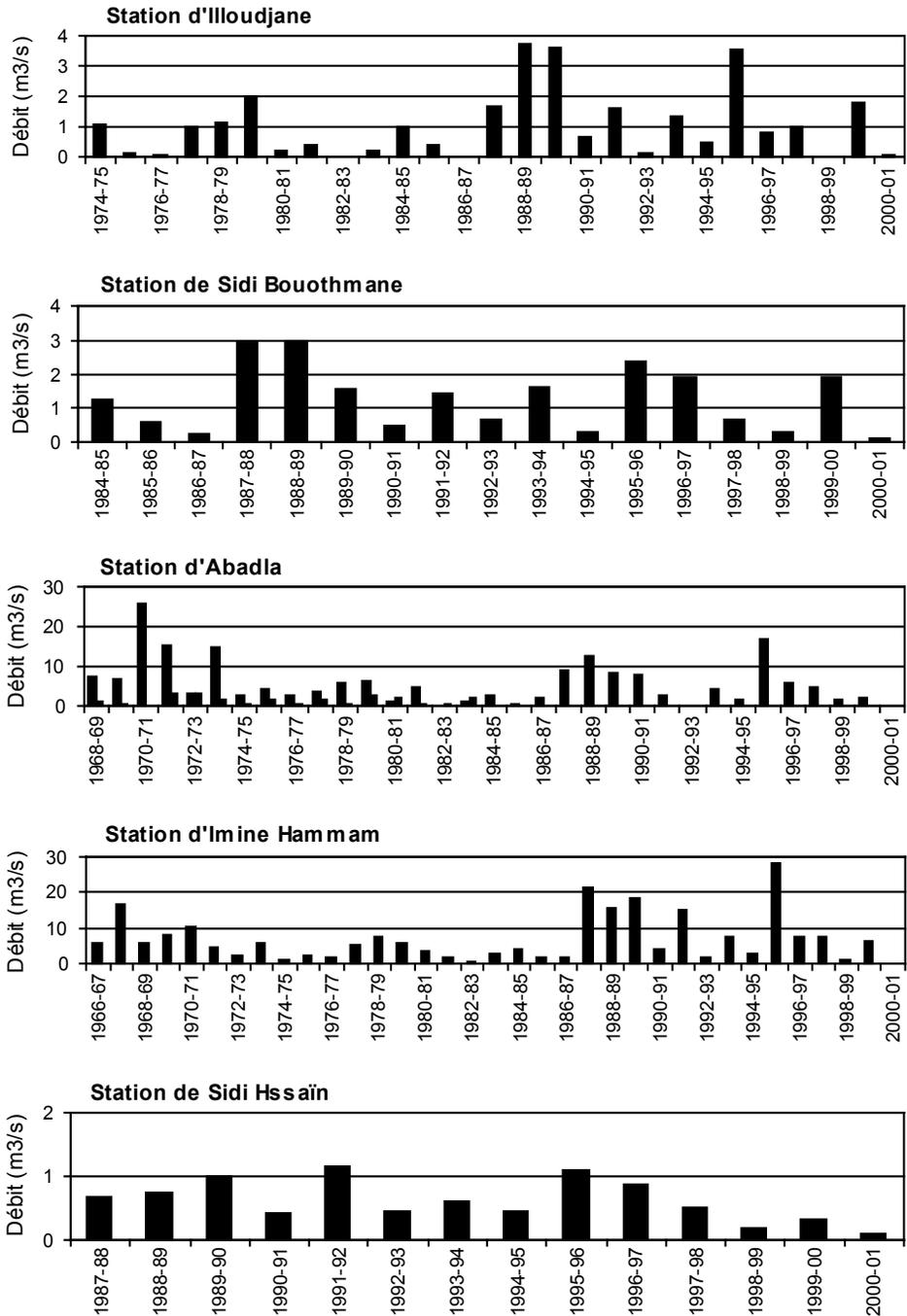
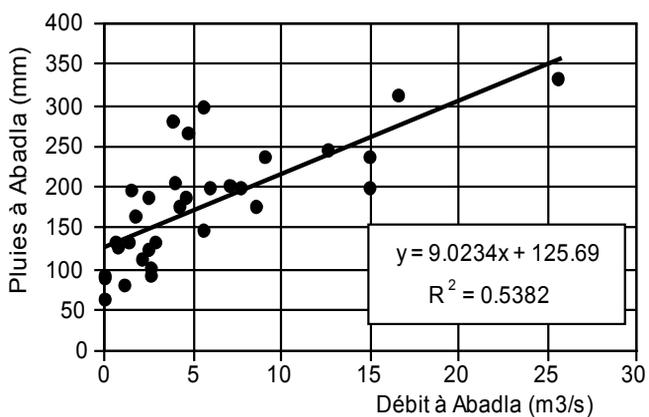
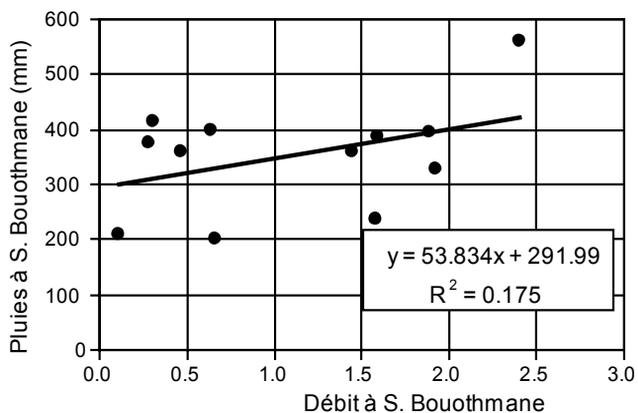
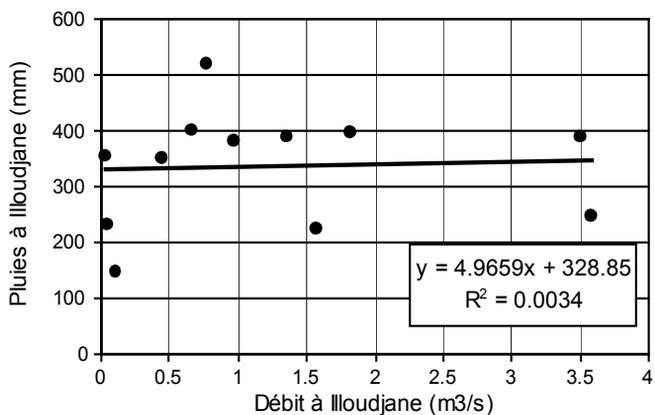


Fig. 4 : Histogrammes des débits moyens annuels en m³/s, (DRHT, 1987)

Analyse statistique du régime hydrologique sur la plaine de Mejjate
et sa bordure occidentale (maroc)



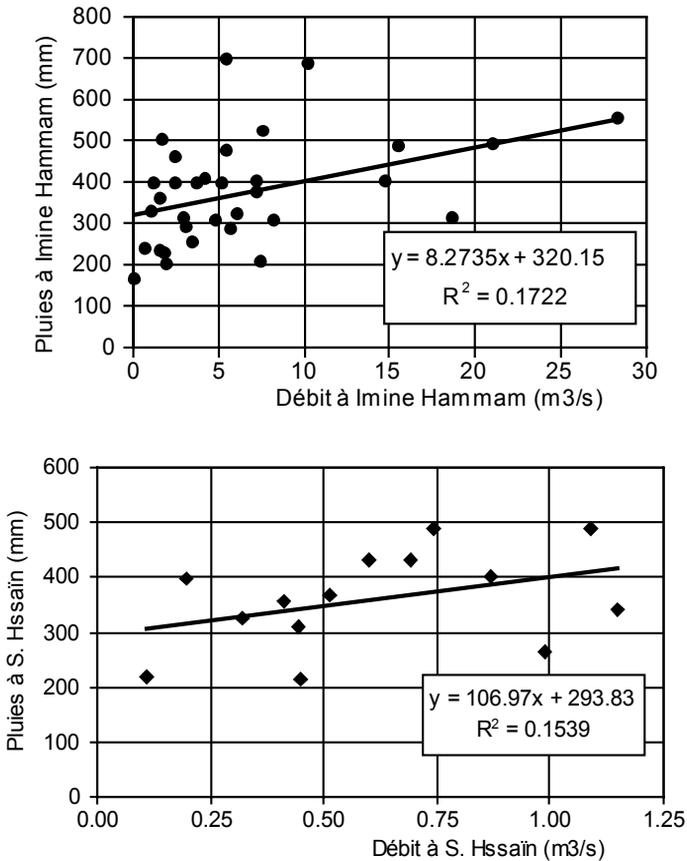


Fig. 5 : Corrélation linéaire entre les pluies moyennes annuelles et les débits moyens annuels des stations étudiées.

En général, on peut dire qu'il existe une liaison saisonnière et annuelle étroite entre les précipitations et les régimes des oueds, puisque les précipitations sont évidemment le facteur essentiel qui conditionne les régimes hydrologiques et qu'elles constituent la matière première des débits du cours d'eau.

Le calcul des rapports des débits extrêmes sur le débit moyen (Tableau 5), permet d'indiquer une très grande irrégularité des régimes des oueds, l'oued Seksaoua avec un rapport $0,20 < r < 1,93$ et l'oued Amezmiz avec un rapport $0,18 < r < 1,88$ présentent une stabilité relativement grande en les comparant aux autres oueds, où le rapport est dans un intervalle plus grand prouvant une grande irrégularité des débits annuels des oueds, ainsi l'oued de N'Fis montre une forte variabilité du régime par rapport aux autres oueds étudiés.

Tableau 5 : Rapport des débits extrêmes sur le débit moyen

Stations	Illoudjane	Sidi Bouothman	Abadla	Imine Hammame	Sidi Hssaïn
Oueds	Seksaoua	Assif El mal	Tensift	N'Fis	Amezmiz
Qmax/Qmoy	1,93	2,33	2,67	4,18	1,88
Qmin/Qmoy	0,20	0,05	0,03	0,02	0,18

IV. AJUSTEMENT STATISTIQUE DES DÉBITS

L'ajustement statistique consiste à vérifier des hypothèses d'homogénéité entre une variable aléatoire et un modèle calculé, si ce modèle est bien superposé à l'échantillon étudié, on peut dire qu'il est bien ajusté. L'objet de la méthode statistique est la réduction de la masse de données, qui si importante, devrait être remplacée par un nombre réduit de paramètres statistiques pouvant représenter correctement cette masse (DADI, 1998).

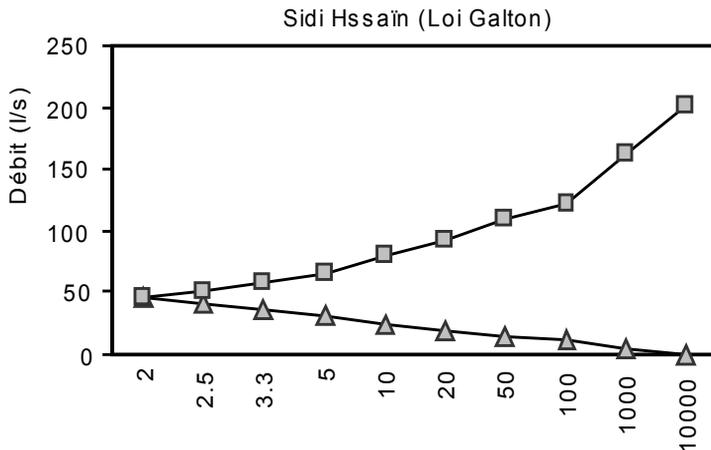
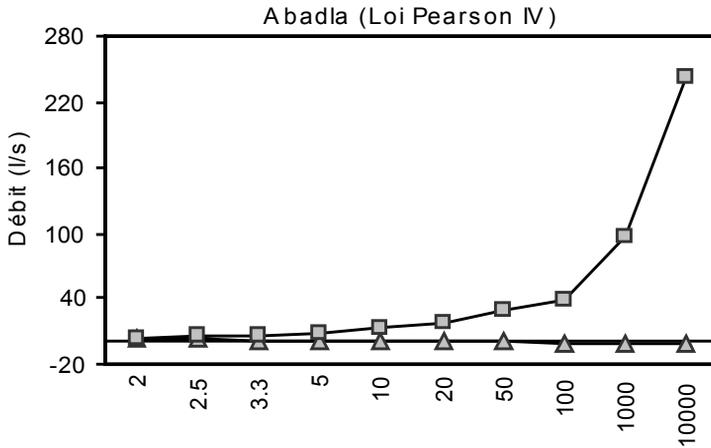
Afin de découvrir la structure des variations des débits annuels et pour faire une analyse détaillée de ces données, l'ajustement statistique a été réalisé grâce au programme BADRE 21. Ce dernier propose neuf ajustements statistiques et détermine le modèle d'une loi ou plus qui ajustent au mieux l'ensemble des données. La méthode de calcul choisi pour l'estimation des paramètres du modèle est la méthode du maximum de vraisemblance, l'ajustement graphique permet de vérifier si la forme de la loi retenue, ayant une valeur de test la plus petite, corrèle bien avec la distribution de la variable étudiée. Le principe de ce programme consiste à classer, tout d'abord, la série en ordre croissant, calculer les fréquences expérimentales correspondantes à chaque ordre, reporter les couples (fréquences - débits) sur les graphiques des diverses lois que l'on veut tester, choisir la loi ou les lois probabilistes qui représentent mieux l'échantillon, ensuite calculer les différentes paramètres de la loi ou les lois choisies pour enfin déduire les variations futures de la variable pour une probabilité donnée.

Les résultats de l'ajustement statistique obtenus montrent que les séries d'observations sont bien corrélées à des lois de type logarithme (Galton et Pearson V) ou exponentiel (Galton), avec des valeurs de test variant de 0,7 à 3, (Tableau 6). La loi normale, par contre, présente des fortes valeurs de test ; ce qui témoigne des distributions asymétriques des débits des sources.

Tableau 6 : Valeurs de test pour les neuf lois statistiques ajustées
a) Abadla, b) Sidi Hssaïn, c) Illoudjane, d) Sidi Bouothmane, e) Imin El Hammam

	Gauss	Gumbel	Galton	Pearson III	Pearson IV	Goodrich	Fréchet	Log-gamma	Fuites
a	26,547	9,161	1,528	24,616	<u>1,383</u>	1,502	1,515	24,974	6,738
b	1,166	1,327	<u>0,776</u>	0,876	1,079	0,9	1,516	6,694	1,045
c	19,206	10,13	8,815	13,076	6,407	<u>3,487</u>	7,452	13,379	8,021
d	5,028	3,136	3,057	20,484	<u>3,077</u>	4,698	3,184	6,27	2,416
e	29,193	11,969	<u>1,56</u>	4,586	1,506	6,129	1,598	23,912	9,493

Pour des seuils donnés de probabilités de la loi la plus ajustée, (valeur de test la plus petite), les variations des débits futures correspondantes, sont représentées selon le type des années, des années humides ou bien sèches (Fig. 6).



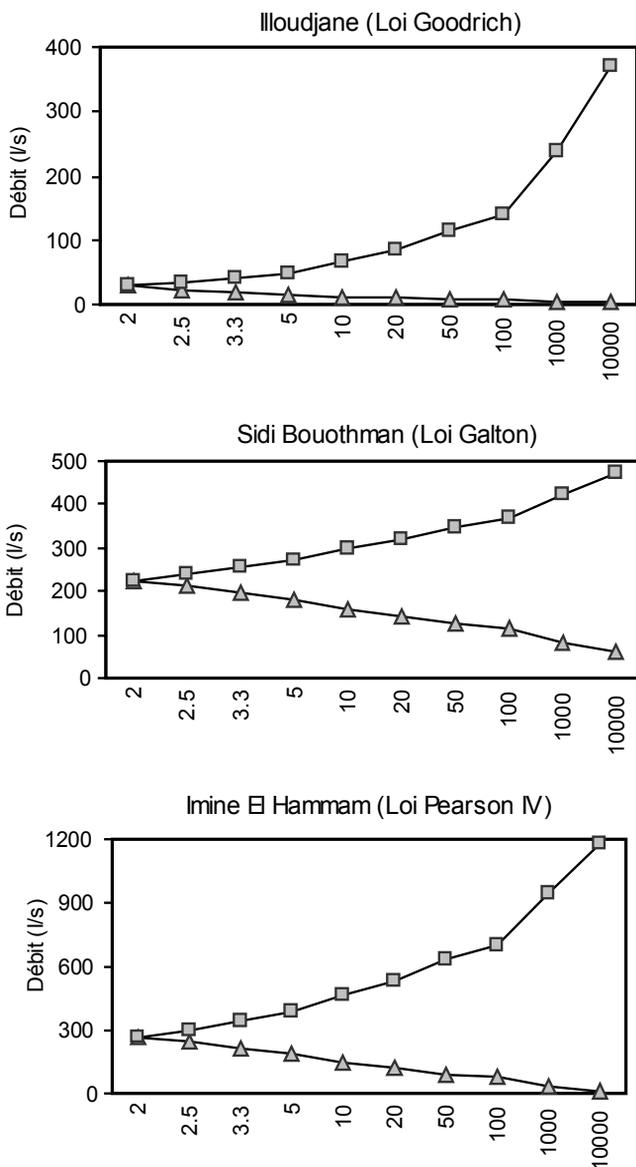


Fig. 6 : Variations des débits selon les années sèches et humides pour la loi retenue

—▲— Années sèches —■— Années humides

Tout ceci permet de mettre en évidence l'impact de la variabilité climatique future sur les potentialités hydriques des eaux superficielles. Ainsi on peut déduire, pour des seuils donnés de probabilités, les variations des débits correspondantes et qui est une donnée nécessaire pour tout aménagement hydraulique futur.

V. CONCLUSION

Le régime des oueds est très irrégulier durant l'année, leur débit reste faible avec un maximum aux mois de mars et avril, aux mois d'été les oueds sont pratiquement à sec.

Les corrélations débits/débits sont moyennes à fortes, c'est-à-dire une importante liaison hydrologique entre les oueds.

Les corrélations débits/pluies montre la liaison saisonnière et annuelle étroite entre les précipitations et les régimes des oueds, avec un décalage dans le temps, qui constitue le temps de réponse.

Les débits annuels des oueds sont bien ajustés à des lois de type logarithme ou exponentiel, ce qui témoigne des distributions asymétriques des débits des sources.

MOTS CLES : Hydrologie, débit, pluie, corrélation, lois, ajustement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMBROGGI R., THUILLE G, (1952). Haouz de Marrakech, hydrogéologie du Maroc. Notes, Mém., Serv. Géol. Maroc, N°97.
- DADI S., (1998). Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique du Plateau d'Oulmès (Maroc Central, Maroc), 153p.
- DE JEKHOWSKY B. (1997). Éléments de statistique à l'usage des géologues, Édition technique.
- DRHT, (1987). Étude du plan directeur intégré d'aménagement des eaux du bassin du Tensift. Eaux souterraines. Étude hydrogéologique de la plaine de Mejjate et de sa bordure occidentale.