

Relation entre hydrologie et climat dans le bassin versant de l'Oued Inaouène (pré-Rif marocain)

ABDELKADER EL GAROUANI¹ & ABDELLATIF TRIBAK²

¹ *Laboratoire de Géosciences et Environnement, Faculté des Sciences et Techniques de Fès, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Route d'Imouzzar, BP 2202, Fès, Maroc*
abdelkader.elgarouani@fst-usmba.ac.ma

² *Laboratoire d'Analyse Géo-environnementale et d'Aménagement, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Route d'Imouzzar, BP 59, Fès, Maroc*

Résumé La présente étude concerne le bassin versant de l'Oued Inaouène situé entre le Moyen Atlas et le pré-Rif couvrant une superficie de 3320 km². Le climat de la zone est marqué par de forts contrastes saisonniers et des irrégularités très nettes des précipitations. Une tendance à la baisse très significative débute en 1980 annonçant une sécheresse exceptionnelle qui s'étend jusqu'à nos jours. La période de sécheresse a accentué les processus de dégradation et, par conséquent, les mouvements migratoires des populations. Afin de mieux gérer une telle situation, la connaissance des facteurs climatiques et la caractérisation de la sécheresse par l'estimation des indicateurs météorologiques et hydrologiques sont indispensables. Au regard des résultats obtenus nous constatons que la variation des écoulements de surface est plus importante que celle des pluviométries, 2.41 pour les apports et 0.92 pour les précipitations.

Mots clés climat; sécheresse; hydrologie; Oued Inaouène; Maroc

Relationship between hydrology and climate in the Inaouene River basin, pre-Rifian Morocco

Abstract The Inaouene River has a watershed covering an area of 3320 km² located between the Lower Atlas and Pre-Rif mountains. In this region, the climate is marked by strong seasonal contrasts and very clear rainfall irregularities. A very significant downward trend begins in 1980 announcing an exceptional drought which extends to the present day. The longer drought period accentuated the degradation processes and, consequently, the migratory movements of the population. In order to manage this situation, it is important to study the climatic and drought factors and to estimate the hydrological indicators. The results indicate that the runoff variation is more significant than that of rainfall (2.41 for the flow contributions and 0.92 for precipitation).

Key words climate; drought; hydrology; Inaouene River; Morocco

INTRODUCTION

Dans une perspective de gestion intégrée des ressources naturelles des bassins versants, les enjeux principaux portent sur: les effets attendus d'un changement climatique sur la ressource en eau et sur le couvert végétal, une meilleure gestion des risques liés aux catastrophes naturelles (inondation, sécheresse), l'analyse spatialisée des effets anthropiques sur le transfert des eaux au niveau des versants et les débits des écoulements des oueds (El Garouani, 2004). Les sécheresses sont plus difficiles à définir que les inondations en termes quantitatifs. En plus, l'état des ressources en eau ne dépend pas uniquement des facteurs météorologiques mais aussi de la manière de gérer cette ressource. Des études sur l'évolution de la fréquence des basses eaux des rivières ont obtenu des résultats assez différents selon l'évolution des précipitations dans le bassin versant (Ducharne *et al.*, 2003; Krasovskaia *et al.*, 2003).

Le travail présenté dans cet article concerne le bassin versant de l'Oued Inaouène qui constitue un affluent principal de l'oued Sebou couvrant une superficie de 3320 km². Il est limité à l'est par le bassin versant de la Moulouya, au nord-ouest par les bassins d'Ouargha et Leben et au sud par le bassin du haut Sebou (Fig. 1). Le climat est marqué par de forts contrastes saisonniers et des précipitations très irrégulières. Le total annuel se situe, selon les stations, entre 400 mm (Ain Boukellal) et 1200 mm (Bab Bou Idir). Une tendance à la baisse très significative débute en 1980 annonçant une sécheresse exceptionnelle qui s'étend jusqu'à nos jours (Afkir, 1985; Obda, 2004). Les abats d'eau sont généralement brutaux et l'essentiel des pluies se concentre en quelques semaines de la saison humide (Sibari *et al.*, 2001; Sibari, 2002). Avec la sécheresse des années 1980, la ressource en eau fait défaut dans l'ensemble de la région (plus particulièrement dans le pré-Rif) et constitue un facteur de déstabilisation des populations locales. La période de sécheresse a accentué les processus de dégradation, et par conséquent, les mouvements migratoires des populations (Janati, 2005; Nejjari, 2002; Tribak, 2002).

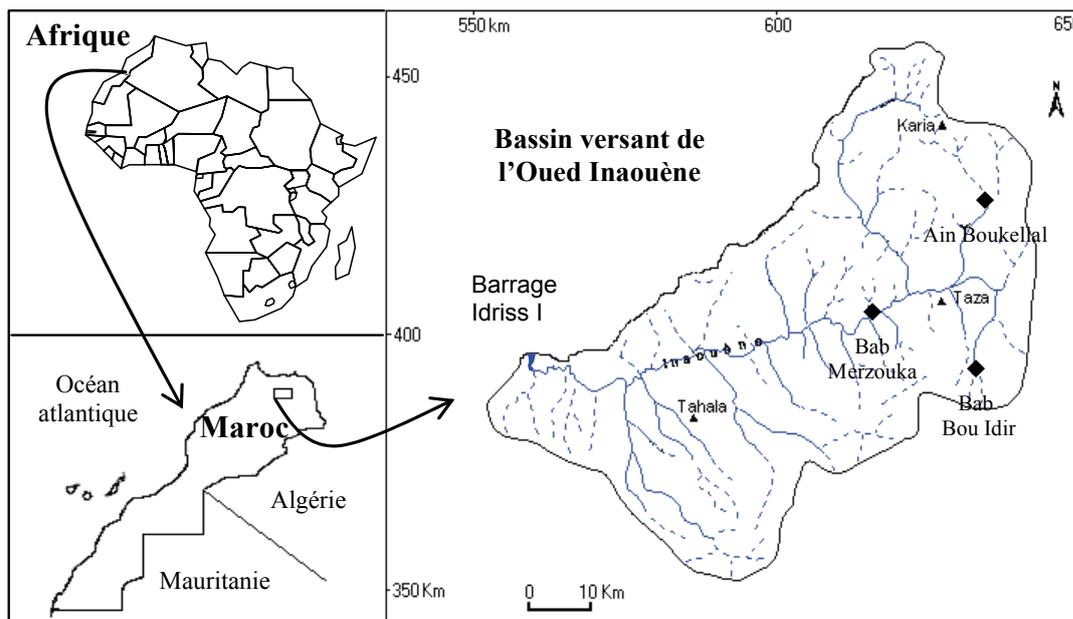


Fig. 1 Situation géographique de la région d'étude.

Afin de mieux gérer une telle situation, la connaissance des facteurs climatiques et la caractérisation de la sécheresse par l'estimation des indicateurs hydrologiques et climatologiques sont indispensables.

L'aspect novateur de cette recherche est la mise au point d'un ensemble d'indicateurs spécifiques pour la description de la sécheresse dans la région d'étude. Cette phase prévoit une première évaluation d'un ensemble d'indices existants dans la littérature, une étude d'adaptation de ces indicateurs à la situation marocaine et enfin la recherche de nouveaux indicateurs capables de la décrire. Dans cette première étape de ce travail, nous proposons de faire l'étude des données pluviométriques et hydrologiques observées sur le bassin d'Inaouène afin de dégager les caractéristiques de la sécheresse météorologique et hydrologique et d'étudier les conséquences de la réduction des précipitations sur l'écoulement.

MATERIEL ET METHODE

Région d'étude

Par sa position géographique, le bassin versant de l'Inaouène présente un climat de type méditerranéen à influence océanique. Les précipitations du bassin d'Inaouène montrent une répartition temporelle qui peut être mise en évidence à partir des données recueillies à la station pluviométrique de Bab Marzouka, située en amont du bassin à une altitude de 365 m. L'analyse des séries pluviométriques montre une succession d'années sèches et d'années humides.

En réponse aux caractéristiques du climat semi-aride, le régime de l'Oued Inaouène montre des variations saisonnières avec une période de crues et une période d'étiage. L'essentiel de l'écoulement correspond à la période d'octobre à avril qui concentre les trois quarts de l'écoulement annuel. Parmi les crues exceptionnelles observées dans le bassin d'Inaouène, on peut citer la crue du 31 janvier 1987 où le débit de pointe enregistré à El Kouchat a atteint $1280 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, de même importance que celle enregistrée à la station de Touaba ($1120 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) le 27 février 1969 (Sibari *et al.*, 2001).

Pendant la période d'étiage les fortes températures atmosphériques peuvent occasionner une évaporation importante et par conséquent un tarissement parfois précoce des lits des affluents de l'Oued Inaouène. Les étiages sont assez sévères; les débits moyens pour les mois les plus secs (juillet et août) sont respectivement de 0.54 et $0.7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Au cours des périodes très sèches, le débit mensuel minimal peut être de $0.02 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ comme celui enregistré en août 1994 (Haida *et al.*, 1999).

Méthodologie

L'analyse des ressources en eau dans la région d'étude a fait l'objet de travaux antérieurs qui ont souvent segmenté la problématique des ressources en eau pour la traiter soit en termes de facteurs géomorphologiques (Heusch, 1970) ou en termes de facteur de risque (Obda, 2004).

Notre approche dans cette étude repose sur l'utilisation des données météorologiques et hydrométriques relatives à une longue série de mesures des paramètres journaliers, mensuels et annuels, aux deux stations hydrométriques (Bab Marzouka et Idriss I) situées respectivement en amont et en aval du bassin versant (Fig. 1). Ces données ont été obtenues principalement à partir des annuaires hydrologiques et des dossiers hydrométriques établis à l'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou (ABHS). Les apports mensuels au barrage Idriss I sont calculés à partir des éléments fournis par les bordereaux d'exploitation de ce barrage (ABHS, 2005a,b). Cette démarche est basée sur deux opérations essentielles:

- (a) application des méthodes de calcul d'indices existants dans la littérature scientifique (Bergaoui & Alouini, 2001; Beran & Rodier, 1987; McKee *et al.*, 1995) aux séries chronologiques des données hydroclimatiques en se référant en particulier aux périodes historiquement significatives pour la vérification d'épisodes de sécheresse de grande intensité;
- (b) mise en place d'une base de données spatiales et non spatiales intégrées, à l'aide des outils de système d'information géographique (SIG) du bassin versant d'Inaouène (occupation du sol, paramètres hydrologiques et climatiques, infrastructures, géographie, etc.) permettant l'élaboration d'indicateurs pertinents pour identifier les conditions de sécheresse et l'étude des conséquences de la réduction des précipitations sur l'écoulement.

CARACTERISATION DES SECHERESSES METEOROLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE

La gravité d'une sécheresse est fonction à la fois de l'ampleur du déficit et de la longueur de la période de déficit. Les indicateurs de sécheresse peuvent être multiples, avec en premier lieu des déficits pluviométriques, mais également des débits faibles dans les cours d'eau, des niveaux bas des nappes phréatiques, des situations prolongées de stress hydrique de la végétation, ces différents indicateurs étant généralement liés. Les caractéristiques principales des séries de données pluviométriques et des apports sont récapitulées dans le Tableau 1.

Tableau 1 Caractéristiques des données hydro-pluviométriques.

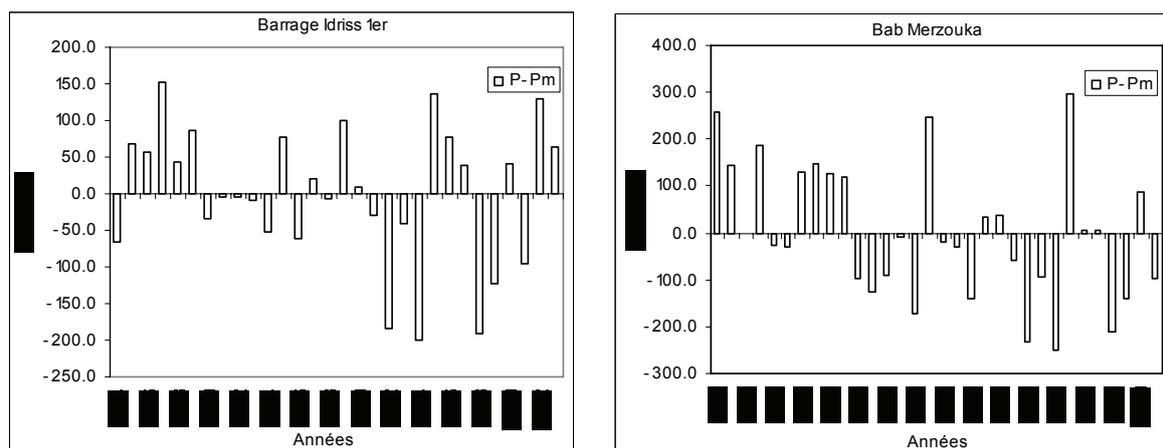
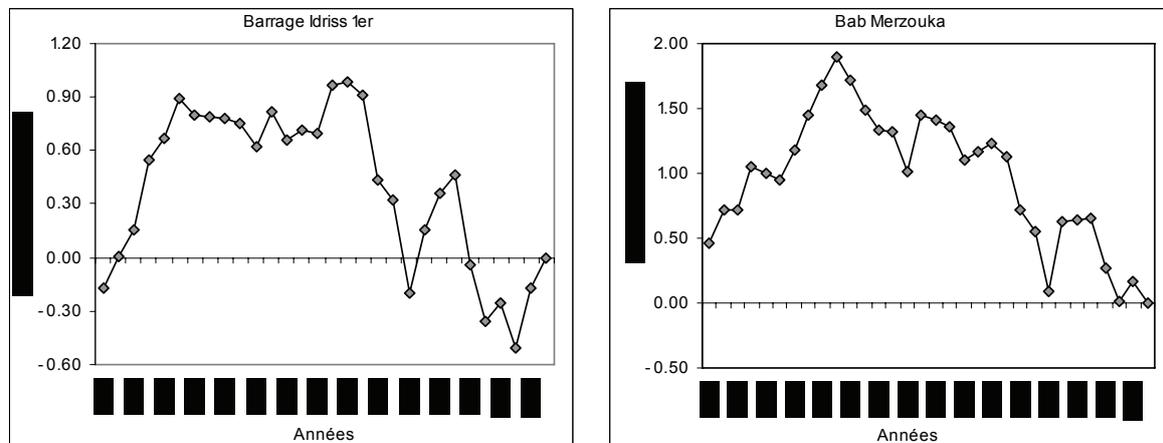
Stations	Pluviométrie annuelle (mm)		Apports annuel (mm)
	Bab Marzouka	Barrage Idriss I	Barrage Idriss I
Périodes	1970–2001	1974–2003	1973–2002
Effectif (années)	31	29	29
Minimum (mm)	305.3	181.5	37.7
Maximum (mm)	854.1	534.5	370.3
Moyenne (mm)	557.0	382.6	137.9
Médiane (mm)	543.3	385.2	109.2
Ecart type (mm)	143.6	93.8	91.5

Sécheresse météorologique

Le calcul des écarts par rapport à la moyenne, sur les données pluviométriques observées au niveau des deux stations (sur une période de 31 ans pour la station de Bab Marzouka et de 29 ans pour celle du barrage Idriss I) a permis de constater que 45% d'années sont humides et 55% d'années sont sèches au niveau de la station Bab Marzouka et 50% d'années sont humides et 50% d'années sont sèches au niveau de la station Idriss I. Le déficit le plus important enregistré durant toute la période d'observation est respectivement de -251.7 et -201.1 mm à Bab Marzouka et Idriss I (Fig. 2 et Tableau 2). Pour mettre en évidence des épisodes de sécheresse nous avons dégagé les tendances en calculant le cumul des indices d'écart proportionnel à la moyenne

Tableau 2 Caractérisation de la sécheresse météorologique (Barrage Idriss I).

No.	Début	Fin	Durée (an)	Déficit (mm)	Intensité (mm an ⁻¹)
1	1974	1974	1	64.9	64.9
2	1980	1984	5	104.4	20.9
3	1986	1986	1	62.1	62.1
4	1988	1988	1	5.8	5.8
5	1991	1994	4	453.7	113.4
6	1998	1999	2	314.0	157.0
7	2001	2001	1	96.6	96.6

**Fig. 2** Ecart par rapport à la moyenne des précipitations: stations de Bab Merzouka et du Barrage Idriss I.**Fig. 3** Indices de pluviosité: stations de Bab Merzouka et du Barrage Idriss I.

$(P_i/P_m) - 1$ (indice de pluviosité) d'années successives sur toute la période d'observation au niveau des deux stations (Bab Merzouka et Barrage Idriss I) (Fig. 3). On constate des périodes à tendance sèche et des périodes à tendance humide:

- de 1974 à 1979, une tendance humide,
- de 1980 à 1984, une tendance à la sécheresse, et
- de 1985 jusqu'à 2003, une tendance à la sécheresse entrecoupée de trois courtes périodes à tendance humide.

Sécheresse hydrologique

L'étude de la sécheresse hydrologique en termes d'identification et de caractérisation est effectuée sur les apports d'eau observés au Barrage Idriss I. Les variations des écarts par rapport à la

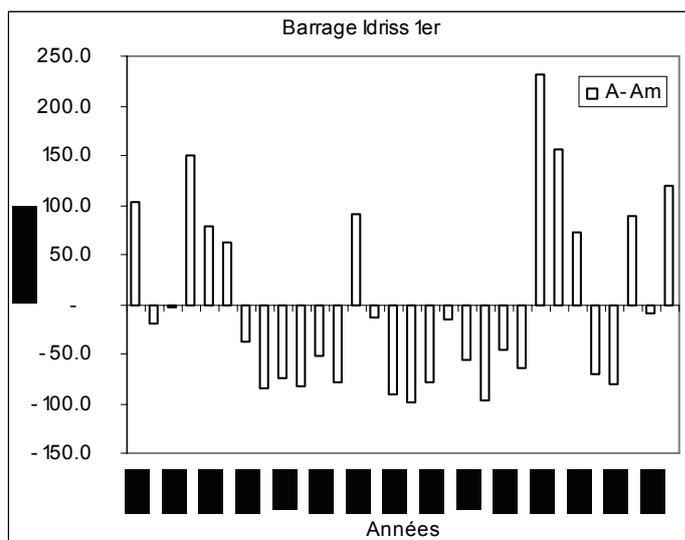


Fig. 4 Ecarts par rapport à la moyenne des apports au Barrage Idriss I (1973–2002).

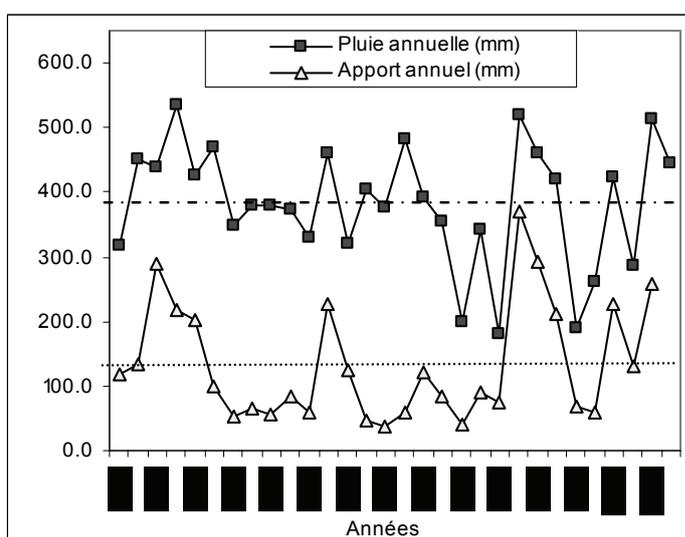


Fig. 5 Variations des précipitations et des apports annuels au Barrage Idriss I.

Tableau 3 Caractérisation de la sécheresse hydrologique (Barrage Idriss I).

No.	Début	Fin	Durée (an)	Déficit (mm)	Intensité (mm an ⁻¹)
1	1974	1975	2	23.3	11.6
2	1979	1984	6	410.9	68.5
3	1986	1994	9	560.3	62.3
4	1998	1999	2	150.9	75.4
5	2001	2001	1	8.7	8.7

moyenne des apports montre qu'il y a plus d'années sèches que d'années humides (66% d'années sèches) (Fig. 4 et Tableau 3). La durée et l'intensité des sécheresses varient considérablement. La sécheresse peut se produire à l'échelle de l'année comme elle peut durer deux ou plusieurs années consécutives. De même, la Fig. 5 montre la chronologie des pluies et des apports d'eau et permet de faire une comparaison entre les deux séries. Le long de la série chronologique, il apparaît que les fluctuations au cours des années hydrologiques par rapport aux deux variables sont presque les mêmes et ceci peut s'expliquer par:

- la forte proportion du ruissellement superficiel lors des crues,
- la présence de terrains imperméable (marnes) qui limitent l'infiltration des pluies.

Les périodes sèches du point de vue météorologique sont de courte durée par rapport à aux sécheresses hydrologiques. En effet, pour les années de pluviométrie annuelle inférieure ou égale à 400 mm, les apports sont très faibles (années déficitaires). En se basant sur les données observées au niveau de la station du Barrage Idriss I, on peut dire que les irrégularités des précipitations à l'intérieur du bassin se traduisent ainsi par des fluctuations plus importantes au niveau des écoulements. L'écart relatif (différence entre le maximum et le minimum) rapporté à la moyenne est de 2.41 pour les apports et de 0.92 pour les précipitations. Ces analyses statistiques montrent que la variation dans les écoulements de surface est plus importante que celle des pluviométries.

Pour mettre en évidence la capacité du bassin versant à ruisseler, on a calculé le coefficient de ruissellement pour la période d'observation (Fig. 6). On remarque une tendance à la hausse de ce coefficient. Cela peut s'expliquer par la forte poussée démographique dans la région qui a entraîné un déséquilibre entre les besoins de la population et les ressources naturelles disponibles. Phénomène qui a eu pour corollaire une emprise humaine considérable sur le milieu naturel et une accélération des processus de dégradation de l'environnement (Aghrab, 2006; Fikri Ben Brahim *et al.*, 2004). Le recul des espaces boisés est très spectaculaire; certaines collines pré-Rifaines sont totalement défrichées et les pertes en sols sont, par conséquent énormes.

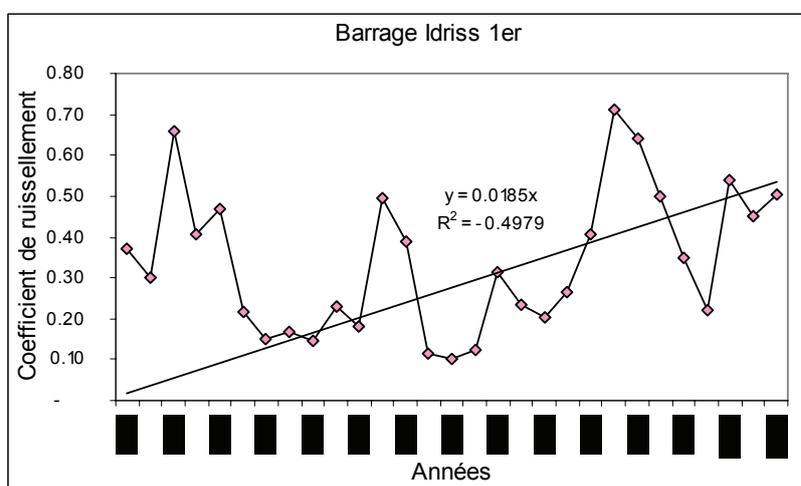


Fig. 6 Coefficient de ruissellement à la station du Barrage Idriss I.

CONCLUSION

Après le dépouillement, la saisie et l'analyse des données nous avons déterminé les caractéristiques statistiques de base des séries pluviométriques et hydrométriques telles que l'effectif, la moyenne, l'écart type, le minimum, le maximum, la médiane, etc. Ensuite, plusieurs indices de sécheresse sont calculés. D'après l'analyse des résultats des deux stations du bassin versant d'Inaouène, nous pouvons retenir que la sécheresse est un phénomène récurrent. L'indice des écarts à la moyenne des apports au niveau du barrage Idriss I donne un pourcentage de 66% d'années sèches. La durée et l'intensité des sécheresses varient considérablement. Les caractéristiques statistiques des séries montrent également que la variation des écoulements de surface est plus importante que celle des pluviométries, montrant ainsi que la sécheresse météorologique se trouve amplifiée dans les écoulements. La sécheresse peut se produire à l'échelle de l'année comme elle peut durer deux ou plusieurs années consécutives. Ces résultats constitueront un support aux décisions en matière de gestion des ressources hydriques, du choix des pratiques agricoles et de la planification de l'environnement pour la réduction de l'impact d'un épisode de sécheresse.

REFERENCES

ABHS (Agence du Bassin Hydraulique de Sebou) (2005a) Annuaire hydrologique du bassin du Sebou (Zone de l'Inaouène): 1973-2003. Rapport, Fès, Maroc.

- ABHS (Agence du Bassin Hydraulique de Sebou) (2005b) Bilan hydraulique du barrage Idriss 1er: Situation 1983–2004. Rapport, Fès, Maroc.
- Afkir, E. (1985) Le bassin versant de l'Inaouène: caractéristique climatique et comportement hydrologique. Thèse 3ème cycle, Univ. Toulouse, Toulouse, France.
- Aghrab, A. (2006) Etude de la sécheresse au Maroc: types, impacts, gestion, caractérisation et alerte précoce. *Collection Savoirs*, Paris, France.
- Beran, M. A. & Rodier, J. A. (1987) Aspects hydrologiques des sécheresses. Contribution au programme hydrologique international. *Rapport UNESCO/OMM*.
- Bergaoui, M. & Alouini, A. (2001) Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique: cas du bassin versant de Siliana en Tunisie. *Sécheresse* **12**(4), 205–213.
- Ducharne, A., Théry, S., Viennot, P., Ledoux, E., Gomez, E. & Déqué, M. (2003) Influence du changement climatique sur l'hydrologie du bassin de la seine. *Vertigo* **4**(3), décembre.
- El Garouani, A. (2004) Apport de la télédétection et du SIG à la compréhension du fonctionnement hydrologique de bassins versants: évaluation et cartographie de l'évapotranspiration, de l'érosion hydrique et de la pollution des eaux. *Rapport de recherche de l'Habilitation Universitaire*, Fac. Sciences et Techniques, Fès, Maroc.
- Fikri Ben Brahim, K., Ismaili, M., Fikri Ben Brahim, S. & Tribak, A. (2004) Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation: impact du phénomène au Maroc. *Sécheresse* **15**(4), 307–320.
- Haida, S., Probst, J. L., Ait Fora, A. & Snoussi, M. (1999) Hydrologie et fluctuations hydroclimatiques dans le bassin versant du Sebou entre 1940 et 1994. *Sécheresse* **10**(3), 221–228.
- Heusch, B. (1970) L'érosion du pré-Rif, une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du pré-Rif Occidental. *Annales de la Recherche Forestière du Maroc* **12**, 9–176.
- Janati, M. (2005) Le déficit pluviométrique et son impact sur les ressources en eau superficielles dans le basin de Sebou. Thèse d'État, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc.
- Krasovskaia, I., Gottschalk, L., Leblois, E. & Sauquet, E. (2003) Dynamics of river flow regimes viewed through attractors. *Nord. Hydrol.*, **34**, 461–476.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. & Kleist, J. (1995) Drought monitoring with multiple time scales. In: *Preprints, 9th Conference on Applied Climatology* (Dallas, Texas, USA, 15–20 January), 233–236. Colorado State University, USA.
- Nejjari, A. (2002) La sécheresse, l'eau et l'homme dans le bassin versant du haut Sebou (Moyen Atlas septentrional). Thèse de Doctorat, Université de Metz, Metz, France.
- Obda, K. (2004) Indigences extrêmes des écoulements des Oueds méditerranéens cas des oueds Nekor, et du haut Sebou. Thèse d'État, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc.
- Sibari, H. (2002) Etude hydrologique et hydrochimiques des crues du bassin versant d'Inaouène (Maroc). Thèse de doctorat, Kenitra, Maroc.
- Sibari, H., Haida, S. & Ait Fora, A. (2001) Etude du fonctionnement hydrologique d'un bassin versant méditerranéen (exemple du bassin versant de l'Inaouène: Maroc). *Revue Marocaine de Génie Civil* **95**, Septembre–Octobre.
- Tribak, A. (2002) Contraintes du milieu et fragilité d'un espace montagnard marocain: les montagnes du pré-Rif oriental. *Annales de Géographie* **625**, 227–245. Armand Colin, France.