

# EVALUATION DE L'EFFET DES VARIATION CLIMATIQUES SUR L'AQUIFERE DE LA CHAOUIA COTIERE (MAROC)

NAJIB S.<sup>1</sup>, FADILI A.<sup>1</sup>, MEHDI K.<sup>1</sup>, SALOUI A.<sup>2</sup>, ILMEN R.<sup>3</sup>, SEBBAR A.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Géosciences Marines et Sciences des Sols (LGMSS, URAC 45), Faculté des Sciences d'El Jadida. Université Chouaib Doukkali, Km 1, Route Ben Maachou, BP. 20, El Jadida. [najibsalih07@gmail.com](mailto:najibsalih07@gmail.com)

<sup>2</sup> Laboratoire de recherche Espace, Société et Développement durable, Faculté des lettres et sciences humaines-Mohammedia. Université Hassan II, Mohammedia-Casablanca. [saloui.abdelmalik@gmail.com](mailto:saloui.abdelmalik@gmail.com)

<sup>3</sup> Département Hydraulique, Environnement et Climat (HEC), Ecole Hassania des Travaux Publics (EHTP) Km 7, Route d'El Jadida, BP. 8108- Casablanca- Maroc. [ilmenrachid@gmail.com](mailto:ilmenrachid@gmail.com)

<sup>4</sup> Direction de la Météorologie Nationale (D.M.N.), BP 8106-Casa Oasis ; Bd Mohamed Taïb Naciri Hay Hassani, Casablanca. Maroc. [sebbar202@gmail.com](mailto:sebbar202@gmail.com)

**Résumé :** L'aquifère de la Chaouia côtière qui constitue une ressource importante pour le secteur agricole, est caractérisée par une exploitation intensive à des fins d'irrigation. Cette zone enregistre une variabilité climatique qui montre une alternance de périodes humides, normales et sèches. De plus, les fluctuations saisonnières et annuelles de la nappe sont importantes dans la partie intérieure de la zone ; elles sont liées principalement aux éventuelles modifications de la recharge par la pluie. Tandis que dans la frange côtière, la nappe est plus affectée par l'intrusion marine. La qualité des eaux souterraines est très dégradée avec une minéralisation très forte.

**Mots-Clés :** Climat ; piézométrie ; intrusion marine ; Chaouia côtière ; Maroc.

**Abstract:** The aquifer of the coastal Chaouia constitutes an important resource for the agricultural sector, characterized by intensive exploitation for irrigation purposes. This area shows a climate variability which shows an alternation of wet periods, Normal, and dry. In addition, seasonal and annual level fluctuations of groundwater are important in upstream part of the area; they are primarily related to possible changes of the recharge of aquifer by the rain. While in the coastal fringe the groundwater is most affected by the marine intrusion. The quality of the water is very degraded with high mineralization.

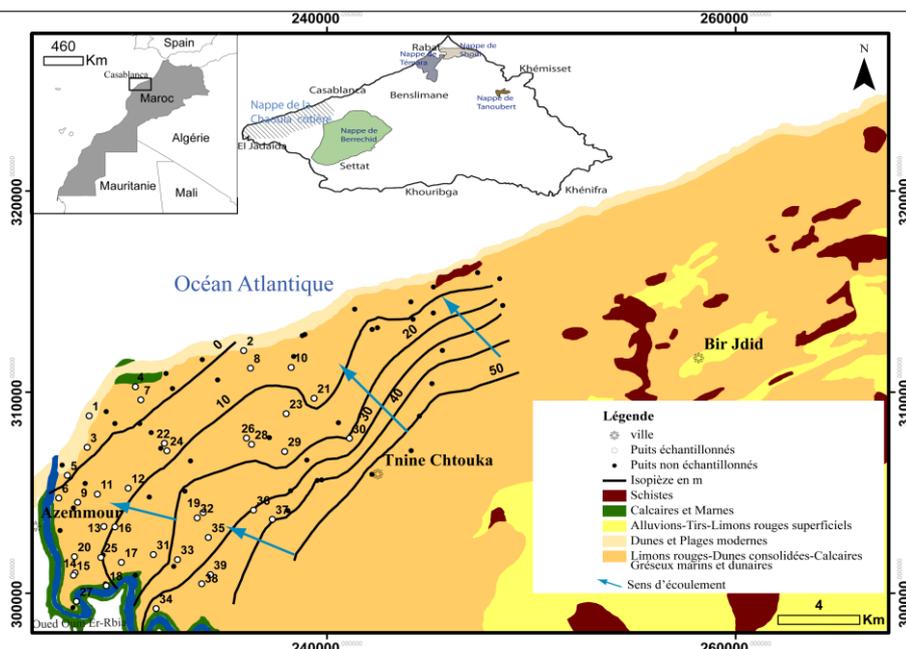
**Keywords:** Climate; piezometric level; seawater intrusion; coastal Chaouia; Morocco

## Introduction

Le système aquifère du bassin côtier de la Chaouia est composé principalement de trois niveaux aquifères (figure 1). L'ensemble de ces terrains perméables présente une continuité hydraulique verticale et latérale (Moustadraf et al., 2008) et repose sur des schistes sains qui en constituent le substratum imperméable. La variabilité des paramètres hydrodynamiques, à savoir la conductivité hydraulique, la transmissivité ainsi que la porosité efficace confirme l'hétérogénéité des terrains aquifères.

L'aquifère libre de la Chaouia côtière constitue un exemple des aquifères les plus exploités au Maroc. Il est situé sur le littoral atlantique marocain sous un climat semi-aride (Sebbar et al., 2012), caractérisé par la dominance de périodes de sécheresse importantes accompagnées d'une forte demande en eau. Ceci a entraîné une sollicitation accrue des eaux souterraines (Najib, 2014). La nappe libre de la Chaouia côtière est peu profonde dans la frange côtière, sa profondeur minimale est inférieure à 1 m par rapport au sol, alors que dans le secteur sud-ouest, où la nappe circule principalement dans des formations cénomaniennes, la profondeur varie de 10 jusqu'à 58 m par rapport au sol. Vers la zone de Bir Jdid, la profondeur de la nappe atteint les 40 m à l'intérieur des terres (Najib et al., 2016).

L'objectif de ce travail consiste à étudier, la variabilité et l'évolution pluviométrique comme source principale de la recharge de la nappe, ainsi que d'évaluer leur effet sur le niveau piézométrique, le potentiel et la composition chimique de la nappe.



**Figure 1.** Localisation géographique, géologique et l'état piézométrique de la nappe de la Chaouia côtière (Najib et al, 2016)

## 1. Matériels et méthodes

Les cartes piézométriques ont été établies à partir des mesures dans 350 puits durant la campagne d'avril 2009, réalisées par l'Agence du Bassin Hydraulique de Bouregreg et Chaouia (ABHBC), et la campagne de mesure de 96 puits réalisée en mai 2011. Les mesures piézométriques sont faites dans des puits ouverts cimentés destinés à l'usage domestique et agricole en situation statique à l'aide d'une sonde piézométrique de 100 m à double signalisation (sonore et lumineuse). Les cartes piézométriques ont été produites en utilisant la méthode géostatistique, à l'aide des interpolations spatiales entre les points de données échantillonnés (sous ISATIS©). Les données climatiques utilisées dans cette étude (tableau 1) proviennent de la Direction de la Météorologie Nationale et concernent trois stations : Casablanca (nord-ouest), El Jadida (sud-ouest) et Settat (sud-est). Les données du suivi des piézomètres sont obtenues auprès de l'Agence du Bassin Hydraulique de Bouregreg et Chaouia (ABHBC).

**Tableau 1.** Stations météorologiques

Stations	Altitude (m)	Coordonnées géographiques		Paramètres utilisés et longueurs de séries	
		Longitude Ouest	Latitude Nord	Précipitations	Températures min et max
Casablanca	62	-7,67	33,57	1931-2015	1984-2015
El Jadida	28	-8,52	33,23	1931-2015	1984-2015
Settat	375	-6,62	33,01	1931-2015	1984-2015

L'indice de précipitation standardisé (SPI) (McKee et al., 1993) est appliqué dans cette étude pour estimer les périodes/cycles humides et les périodes/cycles secs. La formule mathématique de SPI est la suivante :

$$SPI = (Pi - Pm) / \sigma (1)$$

avec  $P_i$  : Précipitation de l'année  $i$ ,  $P_m$  : Précipitation moyenne et  $\sigma$  : Ecartype.

La méthode utilisée pour déterminer le bilan hydrique est plus adaptée pour les zones sub-humides et semi-arides (Marjoua, 1995) ; elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). Vu la nature du sol (argileux-sableux) dans la région, l'estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et réelle (ETR) est calculée par la formule de Thornthwaite à l'échelle mensuelle pour la période (1984-2015) dans les trois stations.

## 2. Résultats et discussions

### 2.1. Evolution pluviométrique

La pluviométrie est un paramètre important, elle conditionne l'écoulement saisonnier, le régime des cours d'eau et la recharge des nappes souterraines libres. Le test Buishand a été appliqué pour l'homogénéité des séries. Les données de précipitations de la station de Casablanca ont montré une rupture entre 1956 et 1978. Les moyennes des cumuls annuels sont respectivement de 419,6 mm à Casablanca, de 389 mm à El Jadida et de 339,5 mm à Settat. Ces cumuls pluviométriques annuels ont baissé au cours de cette période pour les trois stations. L'évolution de l'indice standardisé (SPI) montre une alternance des périodes humides et sèches (figure 2). Au cours des années de 1980 à 1990, les cumuls annuels enregistrés sont les plus faibles durant les 100 ans, c'est une période de sécheresse persistante qu'a connue le Maroc ; en conséquence, une surexploitation des eaux souterraines lors de ces épisodes secs.

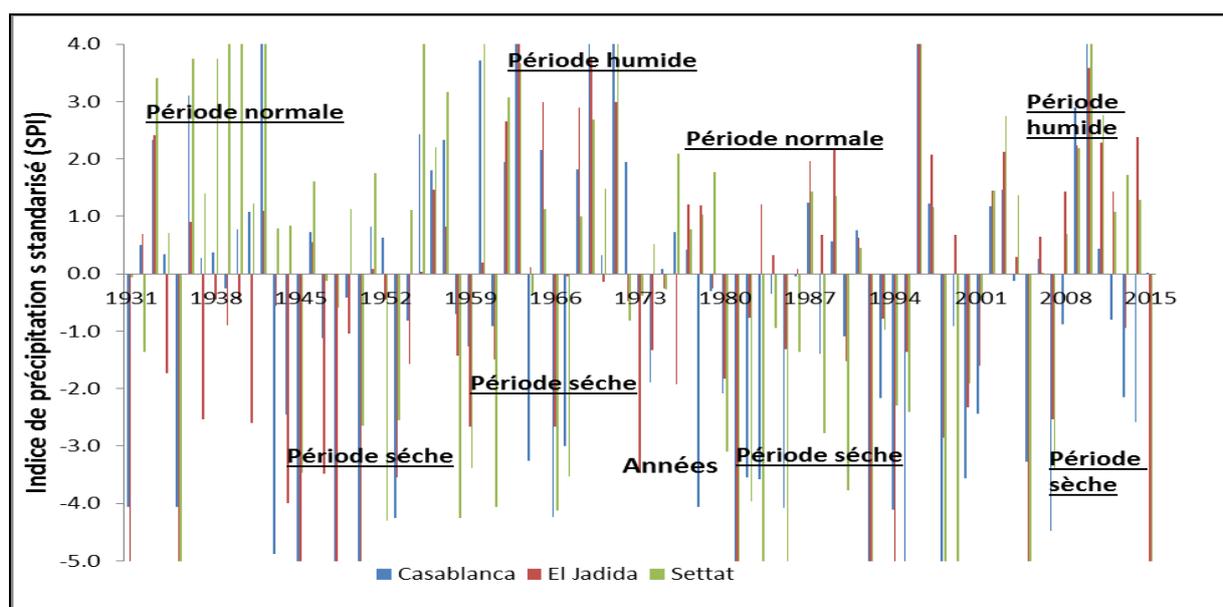


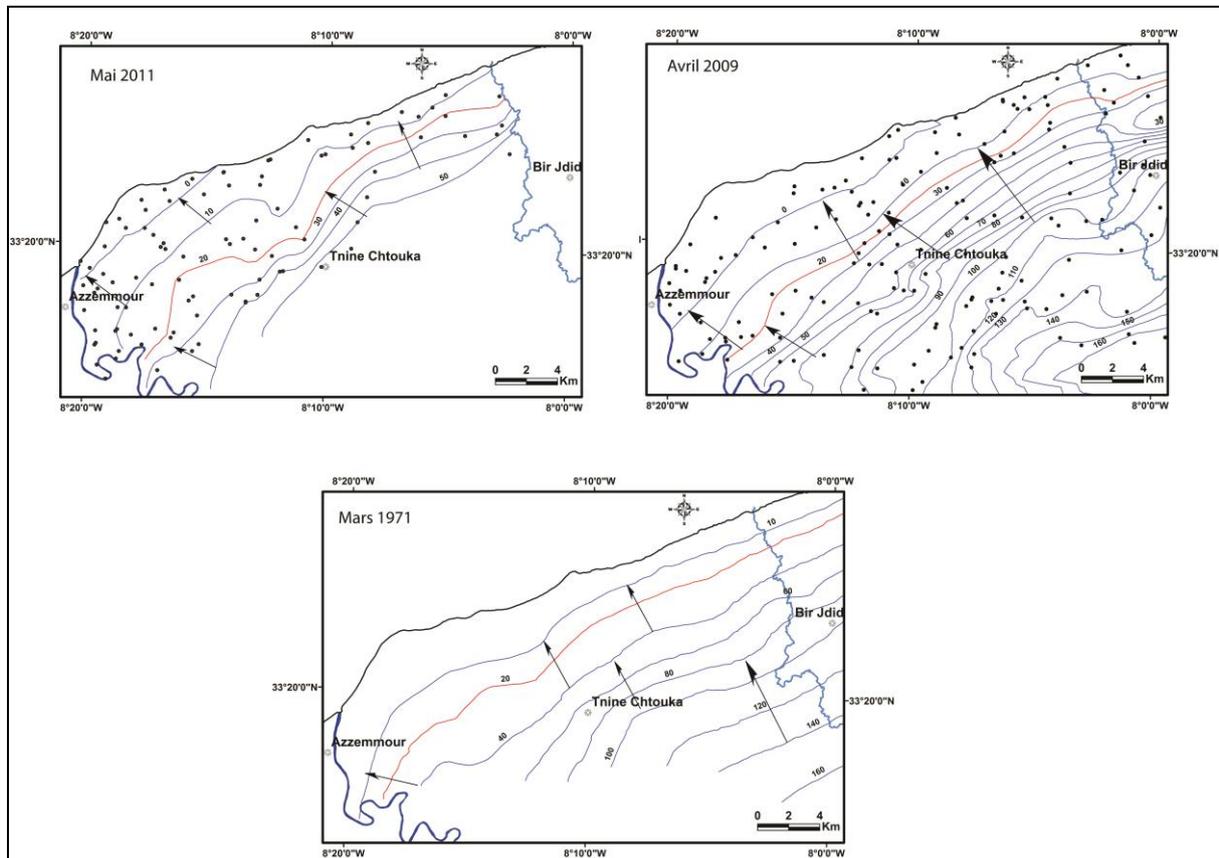
Figure 2. Indice de précipitation standardisé des trois stations climatiques (1931-2015)

### 2.2. Variation de la piézométrie

#### 2.2.1 Evolution interannuelle de la piézométrie

Dans cette partie, trois situations piézométriques relatives aux trois périodes sont examinées : mars 1971 (Bentayeb, 1971), avril 2009 et mai 2011 (Najib, 2014) (figure 3). Ceci est dans le but de faire ressortir l'évolution spatio-temporelle de la piézométrie de la nappe étudiée jusqu'à 2011. La piézométrie de 1971 représente un état naturel de la nappe est considérée comme un état de référence. Cette carte a permis d'identifier le sens de l'écoulement naturel des eaux souterraines, qui se fait du sud-est vers le nord-ouest en direction de la mer, avec un drainage de la nappe par la rivière Oum Er-Rbia au sud-ouest.

Durant la période de sécheresse 1980-1985 (figure 2), l'aquifère a connu une pression agricole très importante et par conséquent une installation de nouveaux puits et l'augmentation du volume des pompages. Cette situation peut expliquer la baisse du niveau piézométrique observée surtout dans la zone côtière. En avril 2009 et ce malgré la recharge importante de la nappe par les pluies ; une nouvelle avancée du biseau est due essentiellement à la sollicitation continue de l'aquifère et l'irrégularité des précipitations. La piézométrie du mois de mai 2011 souligne une régression de l'izopieze zéro vers la mer ceux-ci est liée probablement aux précipitations importantes enregistrées en 2010 (figure 3), dans la zone nord-est la nappe reste stable avec des lignes de courant parallèles à l'océan.



**Figure 3.** Evolution spatio-temporelle de la piézométrie en 1971, 2009 et 2011

### 2.2.2 Chronique piézométrique en fonction de la pluviométrie

Une série de huit piézomètres disposent de longues périodes d'observation représentant les trois formations aquifères, dans cette partie le piézomètre 1358/19, qui contrôle la nappe cénomaniennne a été étudié. L'enregistrement de la profondeur des eaux dans ce piézomètre (figure 4) montre une alternance de baisses et remontées importantes de la nappe, le rabattement le plus important est de 6 m, il a été enregistré depuis les années 1968 jusqu'à 1982, cette période est caractérisée par le début de la surexploitation de la nappe. Après, une remontée du niveau de la nappe a été remarquée, qui est liée principalement à la forte pluie de l'année 1996 (991,6 mm cumul annuel et 313,8 mm enregistrés en janvier). Une tendance vers la diminution a été enregistrée suivie par une stabilité de la profondeur d'eau jusqu'à 2008. La nappe dans la frange côtière ne montre pas de fluctuations importantes qui peuvent être liée aux précipitations à cause de l'avancement du biseau salé qui atteint une distance de 3 km à l'intérieur des terres (Najib et al., 2017). Par contre les fluctuations observées dans les

piézomètres qui se localisent vers l'intérieur de la zone sont principalement liés à l'évolution de la pluviométrie (Najib et al., 2017).

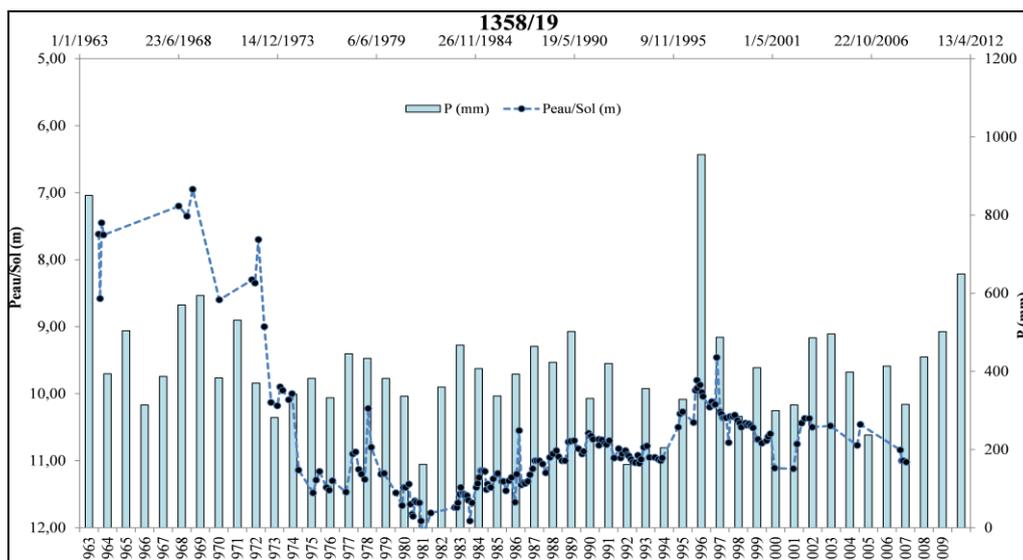


Figure 4. Fluctuation de la nappe cénomaniennne, piézomètre 1358/19 en fonction de la pluie

### 2.2.3 Composition chimique de la nappe

La qualité des eaux souterraines dépendante des propriétés physiques, chimiques et biologiques des aquifères est notamment contrôlée par les fluctuations climatiques (Les Landes, 2014). Les aquifères peu profonds, sont plus sensibles aux variations climatiques, se produisant sur des petites échelles de temps (Kundzewicz et Döll, 2009). L'aquifère côtier libre de la Chaouia en constitue un exemple. En effet, la salinisation des eaux, notamment par l'intrusion marine, est l'une des principales causes de dégradation de la qualité des eaux dans cette zone (Najib et al, 2017). La forte minéralisation des eaux souterraines par TDS et conductivité électrique (figure 5) observée dans la zone côtière suggère l'effet de mélange des eaux douces-eaux marines. Les calcaires marneux qui forment l'aquifère dans la zone sont perméables et facilitent l'intrusion marine vers la nappe.

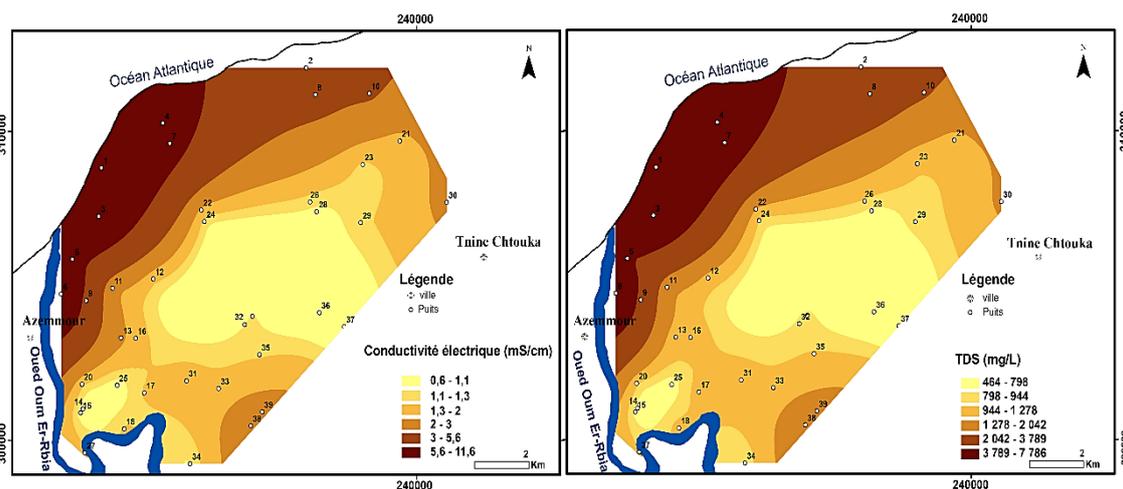


Figure 5. Distribution spatiale de la conductivité et Total des sels dissous (TDS) dans la Chaouia côtière en mai 2011 (Najib et al, 2016)

La composition chimique de la nappe est due à la fois à la nature géologique des formations aquifères et à l'avancé du biseau salé vers l'intérieur des terres. Une étude menée dans la zone (Najib, 2014) a montré que la variation journalière de la marée a un effet direct

---

sur la hauteur des eaux. En marée haute, la hauteur des eaux augmente et par la suite, la conductivité électrique des eaux augmente elle aussi, ce qui change la composition chimique des eaux ; sans oublier que les niveaux de la mer sont susceptibles d'être également affectés par le déferlement de grandes vagues extrêmes et des tempêtes.

## Conclusion

Le niveau des nappes de la Chaouia côtière varie naturellement chaque année en fonction des apports pluviométriques. Cette variation s'inscrit également dans des cycles d'années humides et sèches. L'établissement des cartes piézométriques relatives aux périodes d'avril 2009 et de mai 2011 par la méthode géostatistique a pu mettre en évidence un recul de l'isopièze zéro signalé en 2011. Cette régression est due essentiellement à une recharge importante de la nappe par des pluies abondantes en 2010. L'évolution spatio-temporelle de la piézométrie, étudiée depuis 1971, montre une intense exploitation de la nappe. Les chroniques piézométriques enregistrées dans les formations aquifères indiquent que la recharge de la nappe est liée principalement à la pluviométrie, à l'exception des piézomètres qui se localisent dans la frange côtière où le niveau d'eau ne semble pas être influencé par la variation de la pluviométrie. La qualité des eaux souterraines est liée principalement à la surexploitation par pompage suite à la succession des années sèches et au mélange des eaux douces-eaux marines par l'avancée du biseau salé.

## Bibliographie

- Amraoui, F., 1988 : *Apport de l'analyse hydrogéologique comparative, exemple des nappes côtières de Témara et de la Chaouia (Ouest Marocain)*. USTL Montpellier, France. Thèse de 3ème cycle.
- Bentayeb, A., 1972. *Etude hydrogéologique de la Chaouia Côtière avec essais de simulation mathématique en régime permanent, Maroc*. Université de Montpellier, France. Thèse de 3ème cycle, 151 pp.
- Kundzewicz Z.W., Döll P., 2009. Will groundwater ease freshwater stress under climate change ? *Hydrological Sciences Journal*, 54, 665-675
- Les Landes A., 2014. *Impact des variations climatiques sur les ressources hydrogéologiques*. Université Rennes 1. France. Thèse PhD, 230p.
- Marjoua A., 1995. *Approche géochimique et modélisation hydrodynamique de l'aquifère de la Chaouia Côtière ; Origine de la salinisation des eaux*, Université PM Curie, ParisVI, France. Thèse de 3ème cycle, 179 pp.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. (1993) The relationship of drought frequency and duration at time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, *American Meteorological Society*, Jan 17-23, Anaheim CA, 179-186.
- Moustadraf, J., Razack, M., Sinan, M., 2008. Evaluation of the impacts of climate changes on the coastal Chaouia aquifer, Morocco, using numerical modeling. *Hydrogeology Journal*, 16, 1411–1426.
- Najib S., Fadili A., Mehdi K., Riss J., Makan A., 2017. Contribution of hydrochemical and geoelectrical approaches to investigate salinization process and seawater intrusion in the coastal aquifers of Chaouia, Morocco. *Journal of contaminant hydrology*, 198: 24-36
- Najib S., Mehdi K., Riss J., Fadili A., Pulido-Bosch A., Guessir H., 2016. Salinisation de l'aquifère libre de la Chaouia côtière (azemmour-Tnine Chtouka), Maroc. *Hydrological Sciences Journal*, DOI : 10.1080/02626667.2016.1162906
- Najib, S., 2014. *Etude de l'évolution de la salinisation de l'aquifère de la Chaouia côtière (Azemmour-Bir Jdid, Maroc) : climatologie, hydrogéologie, hydrochimie et tomographie électrique*. Université Chouaïb Doukkali, Maroc. Thèse PhD, 270 pp.
- Sebbar A., Fougrach H., Hsaine M. et Badri W., 2012 : Étude des variations climatiques de la région centre du Maroc. *Actes du XXV<sup>e</sup> colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Grenoble, 709-714.