

ÉTUDE DE L'IMPACT DES VARIATIONS PLUVIOMÉTRIQUES SUR LES FLUCTUATIONS PIÉZOMÉTRIQUES DES NAPPES PHRÉATIQUES SUPERFICIELLES EN ZONE SEMI-ARIDE (CAS DE LA PLAINE DE SAÏSS, NORD DU MAROC)

El ibrahimi Abdelhamid, Dr.

Abdennasser Baali, Prof.

Couscous Amine, Dr.

El kamel Touria, Dr.

Laboratoire de Géodynamique et Ressources Naturelles,
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Maroc

Abstract

Looking at their climate regime, the plain of Saïss is part of semi-arid areas of Morocco which are subject to the influences of the rapid increase in population and their needs for water and the effects of climate change increasingly worrisome. This situation represents a strong constraint for the reserves of sensitive groundwater in the plain. The aim of this contribution is to highlight the existence of climate variability, manifested primarily by variability in the amount of rainfall and irregularities in the plain studied and highlight its impact on food of groundwater reserves, in the surface water table. To do this, various data (rainfall and piezometry) and methods (The Standardized Precipitation Index (SPI), homogeneity test and cumulative rainfall, Statistics Buishand, test PETTIT, Bayesian method LEE and HEGHINIAN and procedure Hubert segmentation) were used. In the light of the results obtained, a climate variability characterized by alternating wet, normal and dry phases were identified in the study area. The indices and statistical methods indicate the existence of a break in 2008-2009 manifested by changes in rainfall patterns. The symptoms of this climatic variability from affecting groundwater resources. A significant decrease in the static level of the surface water table appears in the piezometers witnesses to a low level in 2002/2003, indicating an anomaly in the sampling report / recharging the superficial aquifer

Keywords: Climatic changes, superficial aquifers, semi-arid plain of Saïss

Résumé

Vu son régime climatique. La plaine de Saïss fait partie des zones semi-arides du Maroc qui sont soumises aux influences de l'accroissement rapide des populations et de leurs besoins en eau et aux effets des changements climatiques de plus en plus inquiétantes. Cette situation représente une forte contrainte aux réserves d'eaux souterraines sensibles de la plaine. L'objectif de cette contribution vise à mettre en exergue l'existence d'une variabilité climatique, manifestée principalement par une variabilité dans la quantité des précipitations et leurs irrégularités au niveau de la plaine étudiée et à mettre en évidence son impact sur l'alimentation des réserves d'eaux souterraines, à savoir la nappe phréatique superficielle. Pour atteindre cet objectif, diverses données (pluviométrie et piézométrie) et méthodes (L'Indice Normalisé des Précipitations (SPI), Test d'homogénéité et cumuls pluviométriques, la statistique de Buishand, test de PETTIT, méthode bayésienne de LEE et HEGHINIAN et procédure de segmentation d'Hubert) ont été employées. A la lumière des résultats acquis, une variabilité climatique caractérisée par une alternance de phases humides, normales et sèches ont été mises en évidence dans la zone d'étude. Les indices et méthodes statistiques indiquent l'existence d'une rupture en 2008-2009 manifestée par des fluctuations des régimes pluviométriques. Les symptômes de cette variabilité climatique se répercutent sur les ressources en eau souterraine. Une diminution importante du niveau statique de la nappe phréatique superficielle apparaît dans les piézomètres témoins pour atteindre un niveau bas en 2002/2003, indiquant ainsi une anomalie dans le bilan prélèvement / recharge de la nappe superficielle.

Mots clés : Variations climatiques, nappes phréatiques superficielles, semi-arides, plaine de Saïss

Introduction

Au Maroc, la demande en eau et la sécheresse associée, ont causé une diminution de la quantité des eaux souterraines. La pénurie des ressources hydriques en surface a entraîné, pendant les dernières décennies, une exploitation intense des nappes souterraines qui se traduit, en fait, par un abaissement du niveau piézométrique de la nappe phréatique superficielle. L'occurrence d'épisodes secs plus ou moins longs est une caractéristique maitrise du régime des ressources en eau au Maroc . Le développement rapide des concentrations urbaines et leurs activités industrielles et du secteur agricole dans cette région ont aussi été des facteurs aggravant la situation hydrogéologique de la plaine de Saïss. Il est à craindre

que, dans un avenir proche, ces ressources en eaux souterraines, ne seront plus compatibles, en termes de quantité et qualité, non seulement avec l'alimentation humaine, mais aussi avec d'autres usages (tourisme, industrie...). La nappe phréatique de la plaine de Saïss a été l'objet de plusieurs études (Margat J. et Taltasse P., 1952; Taltasse. 1953 ; Margat J., 1960; Essahlaoui A., 2000; Benaabidate, 2000 et Amraoui, F. 2005). L'objectif de cette étude est de mettre l'accent sur l'évolution de la variabilité et le changement climatique et leur impact sur la variation du niveau piézométrique de la nappe d'eau souterraine au cours de ces dernières années.

Cadre général

La plaine de Saïss fait partie du bassin de Saïss . Ce dernier se situe, au Nord du Maroc, entre le Moyen-Atlas au Sud et les collines préifaines au Nord avec une superficie totale de l'ordre de 6000km² (coordonnées lambert: 467 < X < 552 km et 320 < Y < 390 km).

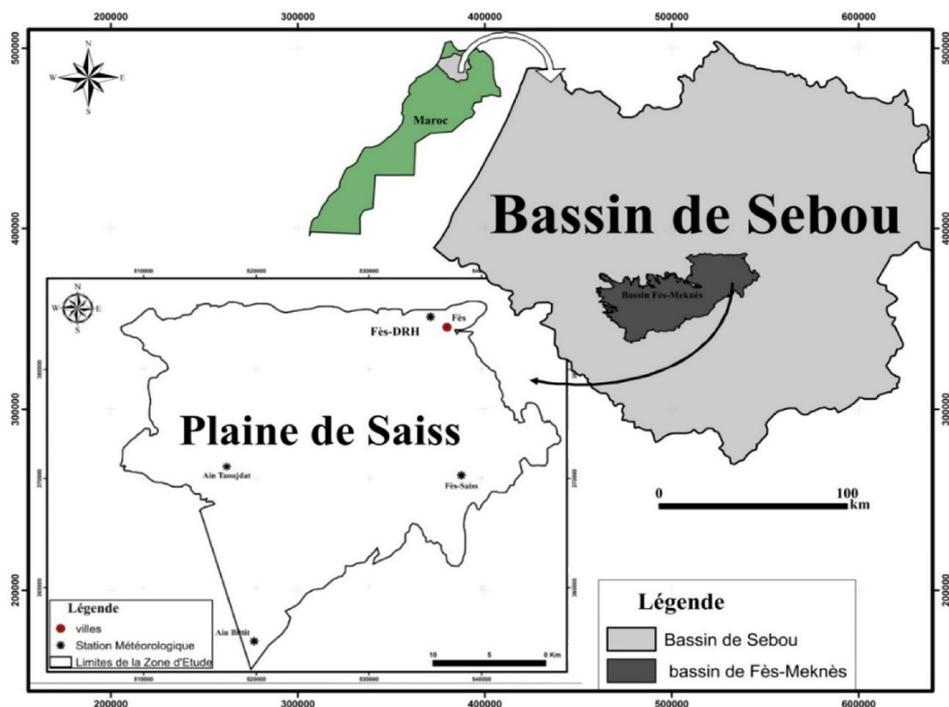


Fig. 1 : Situation géographique de la plaine de Saïss

D'après Chamayou (1975), la plaine de Saïss est caractérisée par une altitude décroissante du Sud vers le Nord, de 700m au Sud à 400m dans la région de la ville de Fès. La pente des cours d'eau est nettement plus faible

par rapport à celle du plateau de Meknès. Cette pente peut causer par endroit la stagnation des eaux, notamment dans la région de Douyet.

D'après l'Agence de Bassin Hydraulique de Sebou (ABHS,2006), la région est caractérisée par un étage climatique méditerranéen avec un climat semi-aride d'un hiver tempéré et humide et d'un été chaud et sec sous un régime semi-continentale. La pluviométrie est parmi les paramètres ayant une grande utilité pour la définition des différents paramètres climatiques. Les précipitations moyennes annuelles dans la plaine de Saïss sont en moyenne de 600 mm avec un maximum de 1000 mm et un minimum de 300 mm sur les reliefs au Nord . Dans la plaine de Saïss, la température maximale moyenne annuelle est de l'ordre de 23 °C alors que la température minimale est d'environ 11°C (ABHS,2006).

Les eaux de cet aquifère circulent essentiellement dans les sables, les grès et les conglomérats du Pliocène et localement dans les calcaires lacustres. Les marnes bleues du Tortonien constituent le substratum imperméable de l'aquifère (Chamayou et al, 1975).

La plaine de Saïss, est drainée par l'oued Fès et les affluents en rive droite de l'oued Mikkès tel que l'oued N'ja. Tous ces oueds sont des affluents de l'oued Sebou. Le sens d'écoulement de ces oueds est généralement du SSW au NNE à l'exception de l'oued N'ja qui a une direction générale NS et l'oued Fès qui coule de l'Ouest vers l'Est. Ces deux derniers prennent naissance dans le du bassin Fès-Meknès, et ils sont presque exclusivement alimentés par les eaux de pluie (ABHS,2006). Les principaux oueds qui drainent la plaine de Saïss sont : l'oued Fès qui prend naissance à la source de Ras El Ma, il draine la nappe jusqu'à la sortie de la plaine de Saïss, ainsi que l'oued N'ja qui traverse le milieu de la plaine de Saïss.

En effet, la plaine de Saïss est connue par la coexistence de deux grands réservoirs aquifères : la nappe phréatique superficielle qui circule dans les formations du Plio-villa-franchien et la nappe profonde qui circule dans les calcaires et dolomies liasiques (ABHS,2006). Cette nappe peut communiquer directement à travers des flexures, ou indirectement par drainance, avec la nappe phréatique profonde de calcaires lacustres qui constituent le réservoir le plus accessible du bassin de Meknès-Fès (Chamayou et al, 1975).

Materiels et Methodes

Les facteurs climatiques sont connues par leur grande importance dans la détermination des fluctuations du niveau piézométrique, cependant les données climatiques sont importantes à évoquer dans ce travail. Les données des précipitations et des niveaux piézométriques de la nappe utilisées , sont obtenues auprès de l'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou (A.B.H.S).

L'étude hydrogéologique d'une nappe souterraine superficielle nécessite un traitement des observations et données climatiques. Toute fois, nous disposons d'un certain nombre de stations pluviométriques (Tab.1). Sur la plaine de Saïss les données de deux stations pluviométriques ont été utilisées. Ces stations sont réparties selon les coordonnées indiqués dans le tableau 1.

Tab. 1 : Coordonnées des stations pluviométriques de la plaine de Saïss

Stations	Coordonnées Lambert		Altitude (m)
	X (km)	Y (km)	
Fès - DRH	535,4	384,8	415
Ain Bittit	519,8	355,12	760

L'évolution de l'état de la nappe phréatique de la plaine de Saïss a été identifiée par l'observation de sa fluctuation d'un nombre piézomètres. Parmi les résultats des mesures effectuées au niveau de 14 piézomètres, quatre piézomètres témoins ont été choisis afin de suivre l'évolution des niveaux piézométriques au sein de la plaine de Saïss dans l'espace et dans le temps (Tab.2).

Tab. 2 : Coordonnées des piézomètres utilisés

Piézomètre (Pz)	N°IRE*	Localisation	Ordonnées Lambertes		
			X (km)	Y (km)	Z (m)
Pz1	1197/15	Plaine de Saïss(W)	531,75	380,25	385,9
Pz2	2253/15	Plaine de Saïss(SW)	520,9	378,84	394
Pz3	2762/15	Plaine de Saïss(S)	537,325	372,6	525
Pz4	2278/15	Plaine de Saïss(SSW)	529,2	378,6	403

*Numéro d'Inventaire des Ressources en Eau

L'approche adoptée implique les méthodes suivantes :

- i. **La méthode du cumul de l'écart proportionnel à la moyenne**, appliquée à la longue série pluviométrique de la station de Fès-DRH et Ain Bittit (1978 -2014). Cette méthode a l'avantage de dégager les grandes tendances en négligeant les faibles fluctuations. Quand la somme des indices croît, il s'agit d'une tendance humide, quand elle décroît la tendance est sèche.
- ii. **L'indice normalisé des précipitations (SPI)** (McKee T.B., & al. 1993) est un indice simple et robuste à la fois basé sur des données pluviométriques adopté par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) en 2009, comme instrument mondial pour la mesure des sécheresses météorologiques. Il permet de vérifier aussi bien les périodes/cycles humides que les périodes/cycles secs. Le SPI est appliqué pour estimer les séries pluviométriques des deux stations (Fès-DRH et Ain Bittit) pour la période (1978-2014). Toutefois, il faut au moins des relevés

pluviométriques mensuels étalés sur 20 à 30 ans (de préférence, sur 50 à 60 ans) pour calculer le SPI (Guttman, 1994).

McKee et al. (1993) ont utilisé le système de classification des valeurs de l'indice SPI figurant dans le tableau 3 pour définir l'intensité des épisodes de sécheresse en fonction de la valeur des indices. La formule mathématique de SPI est la suivante :

$$SPI = (P_i - P_m) / \sigma \quad (1)$$

P_i : Précipitation de l'année i

P_m : Précipitation moyenne

σ : Écartype

Ils ont aussi défini les critères d'un épisode de sécheresse pour une échelle de temps:

Tab. 3 : les valeurs de l'indice normalisé des précipitations (SPI) (McKee et al. 1993)

Valeurs du SPI	Catégories de sécheresse
2,0 et plus	Extrêmement humide
1,5 à 1,99	Très humide
1,0 à 1,49	Modérément humide
-0,99 à 0,99	Proche de la normale
-1,0 à -1,49	Modérément sec
-1,5 à -1,99	Très sec
-2 et moins	Extrêmement sec

iii. **Les méthodes d'homogénéisation (Beaulieu et al., 2007).** Les ruptures indiquant une modification du régime pluviométrique dans les deux séries Ain Bittit et Fès-DRH, qui sont décelées par les méthodes d'homogénéisation, le test de Pettitt (Pettitt A. N. 1979), la statistique de Buishand (Buishand, T. A. 1982), la procédure bayésienne de Lee et Heghinian (Lee, A. F. S. & Heghinian, S. M., 1977) et la procédure de segmentation de Hubert (Hubert, P. & al, 1989).

iv. **L'analyse de l'évolution interannuelle du niveau de la nappe,** cette technique est basée, sur les mesures des quatre piézomètres témoins, Pz1, Pz2, Pz3 et Pz4 (1980-2014) d'une part, et sur une corrélation entre les variations pluviométriques et les fluctuations piézométriques durant la période (1980/2014), d'autre part.

Les logiciels utilisés sont les suivants :

- EXCEL version 2007 a servi à la réalisation de la statistique descriptive (le calcul des moyennes, des minimums et des maximums, l'écartype, le coefficient de variation, la standard déviation ...). Ce logiciel a servi également à saisir les données pluviométriques, à regrouper les données en décade et à tracer les histogrammes ;
- Khronostat (1998) développé par l'IRD (Lubès H. & al., 1994) (logiciel libre), il propose plusieurs tests statistiques. Le choix a porté sur ceux qui permettent de déterminer des dates de ruptures : méthode non paramétrique

de Pettitt, méthode Bayésienne de Lee et Heghinian et la segmentation de Hubert (Lubès H. & al., 1994).

Vue leur situation, la richesse des données et la possibilité de comparaison, seules les données des stations de Fès - DRH et Ain Bittit sont prises en considération.

Resultats et analyses

Évolution pluviométrique

a. Pluviométrie annuelle

Dans la plaine de Saïss, où l'agriculture est l'activité principale avec irrigation intense, les fluctuations interannuelles sont déterminées à partir de l'analyse de la pluviométrie annuelle pour la période (1978 – 2014) des deux stations météorologiques (Fès-DRH et Ain Bittit).

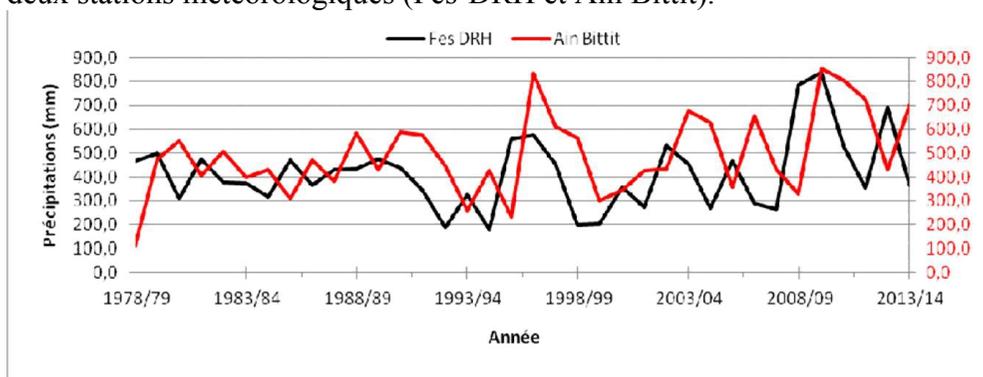


Fig. 2 : Variation des précipitations moyennes annuelles dans les deux stations de Fès-DRH et Ain Bittit au cours de la période 1978-2014

La Figure 2, montre que les cumuls les plus élevés sont enregistrés dans le département d'Ain Bittit au Sud et les plus faibles au Nord-Est (Fès-DRH). Pendant l'année humide, les cumuls peuvent atteindre 800 à 850 mm, tandis que l'année sèche, ils se caractérisent par une baisse pour atteindre les valeurs de 110 à 250 mm.

En considérant les besoins en eau des zones cultivées et la recharge de la nappe phréatique superficielle par infiltration, dans la plaine de Saïss, on peut déduire que le territoire sud, le plus pluvieux, est potentiellement plus performant à satisfaire les exigences hydriques des cultures et l'alimentation de la nappe souterraine à cycle relativement long. Alors que celui de la partie nord, moins arrosé, seules les années humides peuvent satisfaire les mêmes besoins en eau.

b. Pluviométrie mensuelle

Afin de présenter une situation détaillée du degré de variabilité de la pluviosité et de faire ressortir la variation dans sa distribution spatiale

, des courbes de pluviosité mensuelles moyennes ont été établies pour les deux stations (Figure. 3).

L'examen des précipitations mensuelles permet de mettre en évidence une longue saison plus pluvieuse d'octobre à mai. Les valeurs maximales sont observées au mois de novembre de 62,9 à 74,2 mm, suivies d'une courte saison sèche durant le reste de l'année. Le minimum est enregistré au mois de juillet avec 0,6 à 3,1 mm (Figure3).

Cette Figure a aussi montré qu' au cours de cette longue période pluvieuse, les pluies sont inégalement réparties dans le temps et dans l'espace. Les pluies qui commencent en septembre, augmentent jusqu'au mois de novembre, mois qui enregistre le cumul le plus important. A partir de fin février, le cumul pluviométrique décroît graduellement jusqu'à la fin d'août .

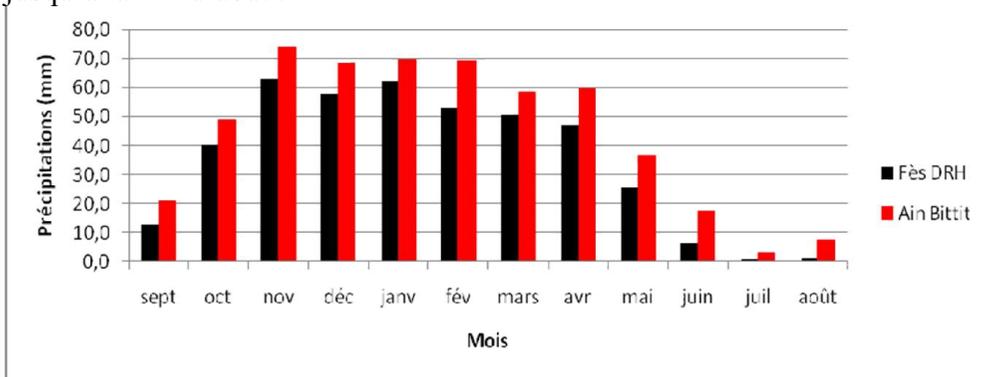


Fig. 3: Variation des précipitations moyennes mensuelles des deux stations de Fès-DRH et Ain Bittit au cours de la période 1978-2013

c. Variations des cumuls pluviométriques annuels

Les cumuls pluviométriques annuels ont varié au cours des trente dernières années dans les deux localités (Fès-DRH et Ain Bittit) avec des coefficients de variation de l'ordre de 35% à Ain Bittit et de 37% à Fès-DRH (Tab.4) . Les moyennes des cumuls pluviométriques sont respectivement de 415,5 mm à Fès-DRH et de 491,2 mm à Ain Bittit .

Tab. 4 : Variations des cumuls pluviométriques annuelles dans les deux stations de Fès-DRH et Ain Bittit au cours de la période (1978-2013)

	Station Fès-DRH	Station Ain Bittit
Minimum (mm)	181	111
Maximum (mm)	838	854
Moyenne (mm)	415,5	491,2
Écartype	153	169,5
Coefficient de variation	37%	35%
Coefficient d'Asymétrie	85%	28%
Étendue	657	743

Le coefficient de variation est plus significatif pour le secteur de Fès-DRH que pour celui de Ain Bittit, il est caractérisé par une importante fluctuation. Ce coefficient permet d'apprécier le degré de variabilité dans les deux séries de mesures et la dispersion des valeurs par rapport à la moyenne (Jouilil I & al, 2013). L'écart entre le minimum et le maximum est très important, les valeurs minimales sont de 181 mm à Fès-DRH et de 111 mm à Ain Bittit et les maximales ont varié de 838 mm à Fès-DRH à 854 mm à Ain Bittit. L'étude des coefficients d'asymétries des deux séries de mesures pluviométrique indique qu'elles sont relativement dissymétriques. Ce qui illustre une irrégularité spatio-temporelle des précipitations dans la plaine de Saïss.

Indice de précipitations standardisé

En vue de caractériser le niveau de sévérité des sécheresses vécues, le calcul de l'indice standardisé de précipitations (SPI) pour les deux stations au cours de la période d'étude (1978-2014) s'est avéré essentiel.

La variation de l'indice pluviométrique normalisé (SPI) (Figure. 4) pour les deux stations Fès-DRH et Ain Bittit, montre :

- une période sèche de 1978 à 1996, représentée par des indices négatifs (- 2,3) et par un nombre faible d'événement pluvieux, indiquant une sécheresse forte à extrême ;
- une période de sécheresse modérée entre 1997 et 2002, les taux pluviométriques ne sont pas élevés et les indices sont répartis de façon équilibrée de part et d'autre du zéro de l'axe des abscisses ;
- la période de 2003 jusqu'au 2008, peut être considérée comme une période normale. Les excédents sont représentés par des indices positifs faibles (0,25 à 1,1). Le nombre des événements pluvieux est moyen, mais de faible intensité ;
- la période humide s'étend de 2009 à 2014, elle est représentée par un nombre important d'événements pluvieux avec des valeurs positives élevées (+2,8).

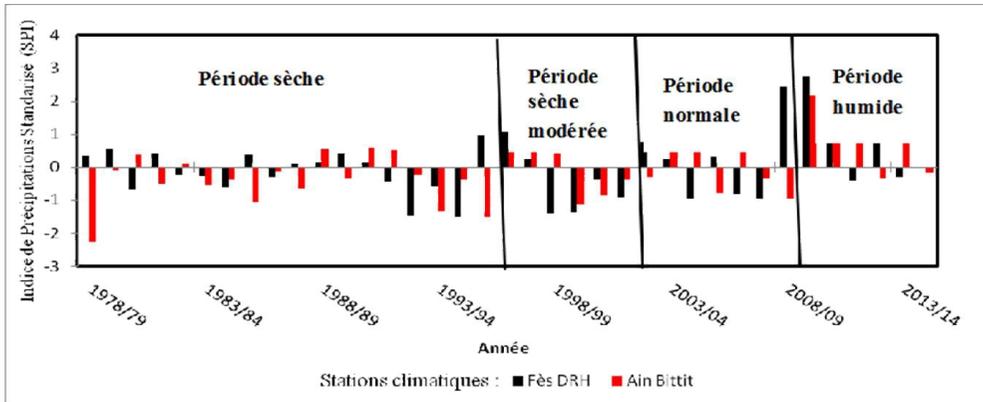


Fig. 4 : Indice de précipitation standardisé des deux stations climatiques au cours de la période 1978-2014

Test d’homogénéité des données

Les séries climatiques sont composées de données climatiques réelles et de ruptures artificielles dues à des modifications des conditions de mesure. Ces ruptures peuvent être du même ordre de grandeur que le signal climatique réel. La correction de ces ruptures artificielles est nécessaire avant d’entreprendre toute étude, notre test d’homogénéité est basé sur la méthode cumulative, qui consiste à représenter la série de données annuelles cumulées relatives à chaque station.

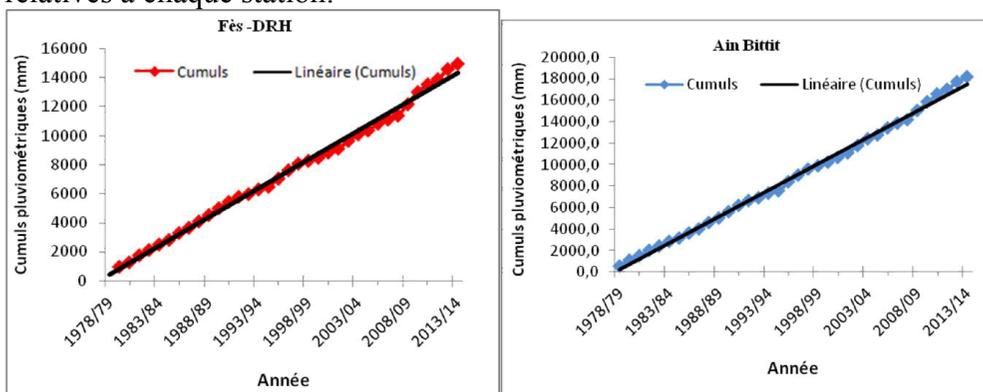


Fig. 5 : Cumuls pluviométriques et homogénéité des deux séries de mesures (Fès-DRH et Ain Bittit) au cours de la période 1978/2014

Les résultats obtenus (tendance linéaire) montrent que les précipitations mesurées au niveau des stations choisies sont homogènes.

Détection de ruptures sur les séries chronologiques de pluviométrie

Une « rupture » peut être définie par un changement dans la loi de probabilité des variables aléatoires dont les réalisations successives

définissent les séries chronologiques étudiées (Lubès H. & al., 1994). L'approche statistique par les tests de rupture a été réalisée pour analyser les séries chronologiques des précipitations annuelles en utilisant celles des stations (Fès-DRH, Ain Bittit). Le choix a porté sur ceux qui permettent de déterminer des dates de ruptures : test de Buishand, méthode non paramétrique de Pettitt, méthode Bayésienne de Lee et Heghinian, et la segmentation de Hubert (Lubès H. & al., 1994). Les résultats ont confirmé l'analyse graphique (Figure.4).

Tab. 5 : Ruptures détectées par les tests de Khronostat

Station	Buishand	Pettitt	Lee et Highinian
Ain Bittit	2009	non significiant	2009
Fès-DRH	2008	non significiant	2008

La procédure de segmentation d'Hubert indique :

– une rupture en 2009, représentant une modification du régime pluviométrique, avec un bénéfice de 35% pour la série de mesures d'Ain Bittit;

Tab. 6 : Segmentation d'Hubert pour la série de mesures d'Ain Bittit

Début	Fin	Moyenne	Écartype
1979	2009	456,935	148,661
2010	2014	703,6	163,973

– une rupture en 2008, représentant une modification du régime pluviométrique, avec un bénéfice de 36.1% pour la série de mesures de Fès-DRH ;

Tab. 7 : Segmentation d'Hubert pour la série de mesures de Fès-DRH

Début	Fin	Moyenne	Écartype
1979	2008	379.6	112,437
2009	2014	703,6	209,439

– aucune rupture n'est détectée par le test de Pettitt qui peut être dû à une insuffisance de données durant cette période d'étude courte.

En effet, ce suivi sur une période d'une trentaine d'années ne permet pas d'obtenir des statistiques robustes en termes de tendances. On ne peut donc rien conclure sur un éventuel changement dans les séries chronologiques des précipitations au niveau de la plaine de Saïss depuis la fin des années soixante-dix.

Variation du niveau piézométrique

Afin de suivre l'évolution des niveaux piézométriques dans la plaine de Saïss, l'analyse des niveaux statiques est effectuée pour quatre piézomètres témoins (Tab.2). Les observations montrent l'existence d'une baisse générale moyenne sur l'ensemble des piézomètres Pz1, Pz 2 et Pz3 (Figure.6), les fluctuations sont de l'ordre de 3m, 20 m et 7 m respectivement

pour Pz1, Pz 2 et Pz3 (Figure.6). Cette baisse remarquable du niveau d'eau de la nappe est observée durant les périodes 1982-1983, 1994-1995, 1998-2000, 2006-2007 et 2009-2011 à l'exception du piézomètre et Pz4 qui a connu une certaine stabilité avec de légères élévations jusqu'au 2011. Cette hausse d'eau est due à une recharge liée aux précipitations, confirmée par les indices pluviométriques positifs (Figure.2) .

En effet , à partir de 1995, une augmentation bien marquée de la pluviométrie, notamment, au cours de la saison 96/97 qu'est exceptionnellement pluvieuse avec 834 mm, plus du double de la moyenne pluviométrique calculée sur 31 ans. Cette situation pluviométrique exceptionnelle se répercute bien évidemment sur la recharge efficace annuelle. L'évolution du niveau piézométrique Pz1 témoigne d'une remontée légère du niveau d'eau de la nappe. Le phénomène d'accroissement continu au niveau de ce piézomètre suggère l'existence d'un réservoir constitué de formations ayant de bonnes caractéristiques hydrodynamiques, par contre la diminution illustrée dans les autres piézomètres Pz2 et Pz3 est principalement due à la diminution des précipitations et à l'augmentation du nombre de points d'eau au niveau des champs de captage et des puits, implantés sur toute la partie orientale de la plaine de Saïss, induite suite à l'expansion des superficies agricoles irriguées.

Le volume total prélevé dans toute la nappe phréatique superficielle a été évalué de 212 à 260 Mm³/an (Sendide O., 2002) et (El MSADDAQ. K, 2004). Le taux des prélèvements anthropiques destinés aux différents secteurs est faible, il est estimé de 16 à 20 Mm³/an (7% du volume total). Les exhaures naturelles, représentées par drainage des cours d'eau sont très élevée (70% du volume total). les émergences et sources de déversement restent moyenne avec (23% du volume total). Les apports sont inférieurs aux débits extraits, ils sont évalués de 180 à 205,9 Mm³ /an, dont l'apport par les précipitations constitue le facteur important de la recharge, il est estimé à 38%, l'autre partie vient de la réinfiltration des eaux d'irrigation avec 14% et 48% constitue l'apport de la nappe profonde par abouchement (2,3%) et 97,7%) par drainance ascendante. La nappe présente un déséquilibre suite au taux des prélèvements supérieurs aux apports.

En effet, la différence de recharge de la nappe par endroits peut être expliquée d'une part par la différence des coefficients de perméabilité des terrains traversés par l'eau d'infiltration et d'autre part, par l'intensité des pompages et le taux pluviométrique dans les différentes parties de la plaine de Saïss.

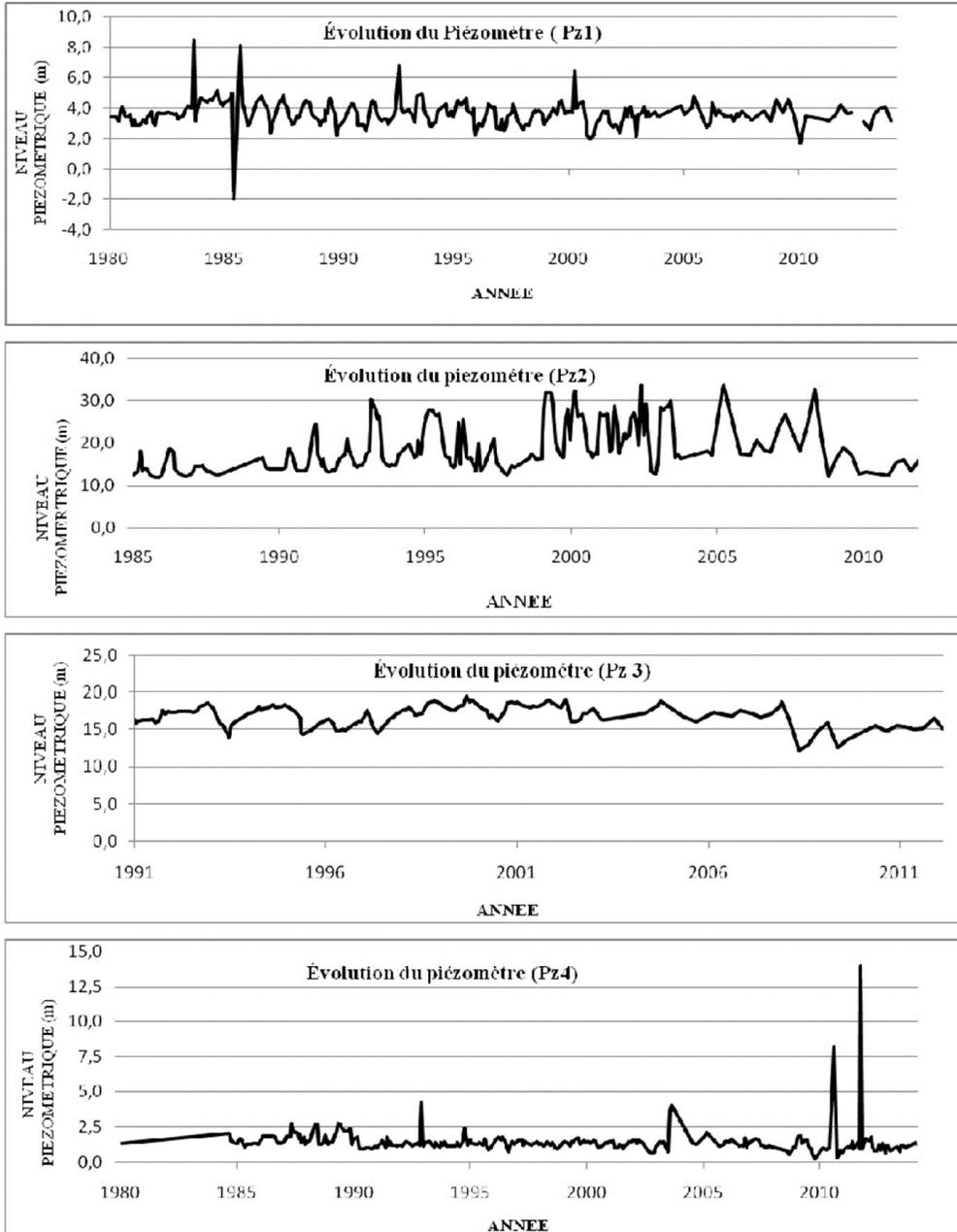


Fig. 6 : historique des quatre piézomètres situés dans la plaine de Saïss, durant la période 1980-2014

Évolution comparative des tendances temporelles des précipitations et de la piézométrie

Le suivi couplé des variations pluviométriques et piézométriques respectivement aux stations Fès-DRH et Ain Bittit et piézomètres Pz1 et Pz2

sur une trentaine d'années a permis de connaître l'évolution et la relation spatio-temporelle de ces deux paramètres et par conséquent d'extraire d'autres effets liés aux activités anthropiques (Figure. 7et 8).

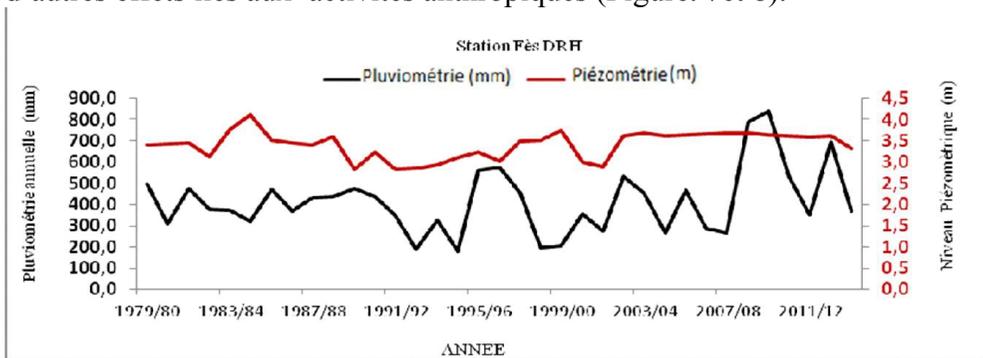


Fig. 7 : corrélation entre les variations pluviométriques moyennes annuelles (station Fès-DRH) et les fluctuations piézométriques moyennes annuelles (Pz1) durant la période 1980/2014

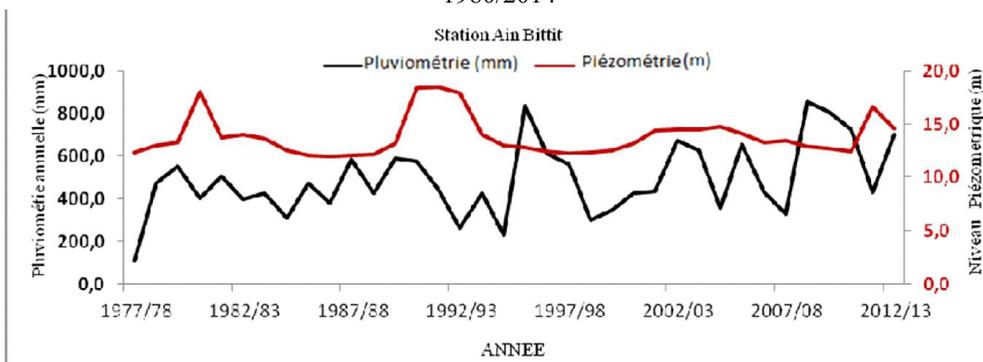


Fig 8 : corrélation entre les variations pluviométriques moyennes annuelles (station Ain Bittit) et les fluctuations piézométriques moyennes annuelles (Pz2) durant la période (1978/2014)

Les Figures 7 et 8 montrent l'influence du facteur pluie sur le niveau piézométrique de la nappe phréatique et son impact sur les fluctuations de celle-ci. L'effet des années des sécheresses qu'a sévi à la plaine de Saïss durant les années 80 et 90, s'observe clairement sur les enregistrements des deux courbes (Figure.7 et 8).

D'après l'analyse des graphiques ci-dessus, on peut distinguer en général une régression du niveau de la nappe durant les périodes sèches et aussi le rôle important des pluies des années humides dans la compensation hydrique et la recharge de celle-ci. Le temps de rabattement concerne généralement la période de mai à septembre où les précipitations se font plus faibles et le pompage est intensif. La nappe est à un niveau stable au cours de la période d'octobre à novembre où les valeurs des pluies connaissent leurs

pics et la demande en eaux de la nappe devient moins. Les Figures 7 et 8 indiquent aussi un décalage de réponse de niveau de la nappe en terme de recharge via à vis des précipitations entre les deux secteurs (Fès-DRH et Ain Bittit), ceci peut être expliqué par le taux de pluviométrie plus élevé dans le secteur de Ain Bittit que dans celui de Fès-DRH, par la différence des coefficients de perméabilité des formations géologiques traversées par les eaux d'infiltration et par le forçage de pompage plus accentué dans la partie nord que dans la partie sud de la plaine de Saïss.

Discussion et conclusion

Cette étude a été effectuée dans la plaine de Saïss, cette localité est recouverte par une irrigation la plus intense dans bassin de Fès-Meknès.

L'étude des séries pluviométriques dans la plaine de Saïss, montre une variabilité et une irrégularité dans le temps et dans l'espace ; les mesures annuelles et mensuelles montrent que les cumuls les plus élevés sont enregistrés dans le secteur d'Ain Bittit au Sud-Ouest et les plus faibles au Nord-Est (Fès-DRH). Pendant une année humide, ces cumuls peuvent atteindre 800 à 850 mm, alors qu'une année sèche, les cumuls retressies aux valeurs 110 à 250 mm.

L'indice pluviométrique standardisé a permis de localiser une phase sèche de 1978 à 1996, une autre période de sécheresse modérée entre 1997 et 2002, une période de 2003 jusqu'au 2008, considérée comme une période normale, et une période humide s'étend de 2009 à 2014.

Les estimations retirées illustrent clairement l'impact de la variabilité pluviométrique, conjuguée aux facteurs anthropiques, sur la nappe phréatique superficielle. Les dates de ruptures obtenues en 2008 (Ain Bittit) et 2009 (Fès-DRH) avec un bénéfice pluviométrique qui varie de 35% à 36 %, indiquent un changement du régime pluviométrique. Une diminution importante du niveau statique apparaît dans les quatre piézomètres pour atteindre un niveau très bas en 2002/2003. La variation du niveau piézométrique est de 1,7 m/an au cours de la période 1978-2013. Cette baisse coïncide avec les années pluviométriques déficitaires répétées entre 1980 et 2005 et avec des prélèvements importants. Un déséquilibre est provoqué dans le bilan prélèvement / recharge de la nappe superficielle.

Par conséquent, le risque de mettre en péril le devenir d'une importante source pour l'alimentation en eau potable, non seulement du point de vue quantitatif mais aussi qualitatif est à envisager. Au terme de cette investigation, il s'avère temps d'intervenir pour sauvegarder cette richesse patrimoniale. Les responsables, les décideurs et les agences chargées, devaient engager dans plus d'efforts et mettre dans leur priorités des programmes de développement d'un modèle hydrodynamique du système

hydrogéologique. Le but est d'actualiser l'évaluation des ressources exploitables de la plaine de Saïss, tenant compte l'évolution climatique et de mettre au point des scénarios de développement d'exploitation future des ressources en eau souterraines dans une approche de développement durable de toute la région.

References:

- ABHS (Agence du bassin hydraulique du Sebou). (2006).Débat Nationale sur l'eau. Rapport., 48p.
- Amraoui F,& J. Moustadraf, 2013. Nouveau plan d'action pour une gestion rationnelle des ressources en eaux souterraines du Maroc .Dix Neuvièmes journées techniques du Comité Français d'Hydrogéologie de l'Association Internationale des Hydrogéologues. Bordeaux, France.
- Benaabidate L., and M. Cholli, 2011. Groundwater Stress and Vulnerability to Pollution of Saïss Basin Superficial Aquifer, Morocco. Fifteenth International Water Technology Conference, IWTC-15 ,Alexandria, Egypt, 2011.
- Buishand, T. A. (1982) Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *J. Hydrol.* 50, 11-27.
- Buishand, T. A. (1984) Tests for detecting a shift in the mean of hydrological time series. *J. Hydrol.* 73, 51-69.
- Chamayou et al, 1975. le bassin de Fès-Meknèse et le couloir de Fès-Taza, « Ressources en Eau du Maroc ».Notes et Mèm.Serv.Géol.Maroc, Tome2, N°231,41-71.
- El MSADDAQ. K, (2004). -Synthèse hydrogéologique dans la plaine de Saïss : secteur Fès – Mém. DESA, Géologie Appliquée, faculté des sciences Dhar el mehrez, Fès ,99p.
- Essahlaoui, A. 2000. Contribution à la reconnaissance des formations aquifères dans le Bassin de Meknès-Fès (Maroc), Prospection géoélectrique, étude hydrogéologique et inventaire des ressources en eau. Thèse 258p. Université Mohammed VI, Rabat, Maroc.
- Guttman, N. B., 1994. On the Sensitivity of Sample L Moments to Sample Size. *J. Clim.* 7:1026-1029.
- Hubert, P. & Carbonnel, I. P. (1987) Approche statistique de l'aridification de l'Afrique de l'ouest. *J. Hydrol.* 95, 165-183.
- Hubert, P. & al (1989) Segmentation des séries hydrométriques .Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'ouest. *J. Hydrol.* 110, 349-367.
- JOUILIL I., BITAR K., SALAMA H., AMRAOUI,, MOKSSIT A., TAHIRI M,(2013), Sécheresse météorologique au bassin hydraulique OUM ER RBIA durant les dernières décennies, *Larhyss Journal*, 12, 109-127

- Khronostat (1998) Logiciel d'analyse statistique de séries chronologiques. ORSTOM Ed. Paris. <http://www.hydrosciences.org>.
- Lee, A. F. S. & Heghinian, S. M. (1977) A shift of the mean level in a sequence of independent normal random variables- A Bayesian approach. *Technometrics* 19(4), 503-506.
- Lubès, H., & al., (1994) Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par applications de tests statistiques .Etude Bibliographique , Orstom , Montpellier, France.
- Margat J. (1965) Terminologie hydrogéologique. Propositions pour un dictionnaire, *Chronique d'Hydrogéologie*, n°6, juin 1965.
- 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.
- Pettitt A. N. (1979) A non-parametric approach to the change-point problem. *Appl. Statist.* 28(2), 126-135.
- Sendide, O., Etude qualitative des eaux de la nappe phréatique du bassin de Fès - Meknès, caractérisation, évaluation, modélisation mathématique et moyen de protection. Thèse de Doctorat. Université Tunis, Tunisie, 2002.
- Taltasse (P), 1953. Recherches géologiques et hydrogéologiques dans le bassin lacustre de Fès-Meknès, Rabat, p. 256.