



Année Universitaire : 2015-2016



Licence Sciences et Techniques : Géorressources et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

Etude climatologique de la région de Fès

Présenté par:

**Fahd Fatima Ezzahra
El Rhaffouli Oumayma**

Encadré par:

**Pr. LAHRACH ABDERRAHIM
Pr. BENJELLOUN FAIZA**

Soutenu Le 13 Juin 2016, devant le jury composé de:

**Pr. LAHRACH ABDERRAHIM, FST Fès
Pr. CHAOUINI ABDEL-ALI, FST Fès
Pr. BENAABIDTE LAHCEN, FST Fès
Pr. BENJELLOUN FAIZA, FST Fès
Dr. EL HASSANI FARAH, Inspection Régionale de l'urbanisme et de l'aménagement de
Terrain**

Stage effectué à : Station météorologie Fès-Sais

Dédicace

A nos très chers parents pour leur amour, leur tendresse et leurs sacrifices.

A nos chers frères et sœurs pour leurs soutiens, Leurs aides et leurs encouragements.

A tous nos amis à la faculté des sciences et Techniques de Fès et nos collègues de stage.

A toute personne qui a pris le soin de feuilleter ce rapport par curiosité.

Remerciement

Nous tenons à remercier vivement la Faculté des sciences et techniques de Fès de nous avoir accueillis pour effectuer cette formation, en nous s'offrons ainsi la possibilité d'acquérir une expérience professionnelle très enrichissante.

On tient à remercier notre encadrant le professeur LAHRACH ABDERRAHIM pour ses conseils précieuses et pour la confiance qui nous a donnée, afin de prouver que nous pouvons réalisés une recherche scientifique sur un sujet récent.

Nous tenons à remercier aussi tous les enseignants du Géoressources et Environnement pour les efforts qu'ils ont fourni pour notre formation.

Nos remerciements s'adresse aussi à tous les chefs d'établissement et à toutes les personnes ou nous avons effectué notre stage surtout notre encadrant monsieur MHA, ainsi qu'à toutes les personnes qui nous ont aidé de près ou de loin, qui nous ont entouré de leur gentillesse et assistées positivement à enrichir notre connaissance, qui nous ont aidé aussi durant la période de notre stage et qui nous ont traité comme l'une de leurs membres, aussi qu'à tout le corps professionnel de la station métrologies Fès .

Liste des figures

Figure 1 : Carte de situation administrative de la ville de Fès

Figure 2 : Relief de la zone d'étude

Figure 3 : Carte du réseau hydrographique de la ville de FES (Reynard et al, 2011 ; modifiée)

Figure 4 : Cadre géologique, extrait de la carte géologique du Maroc, Feuille du Gharb et pré-rif Occidental au 1/200.000ème

Figure 5 : Précipitation moyennes annuelles de la période de 2013 à 2015(Station Fès-Sais)

Figure 6 : Précipitation par saison (station fés 2013-2015)

Figure 7 : Précipitation moyennes mensuelles. (Station Fès-Sais, 2013-2015)

Figure 8 : Température moyenne annuelles pour la période entre 2013 et 2015(station Fès Sais)

Figure 9 : Températures moyennes mensuelles pour la période entre 2013 2015(station Fès Sais)

Figure 10 : Variation de l'ETP , de la Température et des Précipitations

Figure 11: Variation mensuelle des différents termes du bilan hydrique

Figure 12 : Diagramme ombrothermique de Gaussen au niveau des 3 années (station Fès)

Liste des tableaux

Tableau 1 : Surface des bassins versant élémentaires (P.D.P.C.I ville de Fès .octobre 2000)

Tableau 2 : Le mois le plus pluvieux et le plus sec dans chaque année

Tableau 3 : Résumé le calcul de l'ETP (mm) pour chaque mois.

Tableau 4 : Calcul de l'ETR par la méthode de comparaison de Thonhwaite

Tableau 5 : Calcul de la valeur moyenne de l'ETR

Tableau 6 : Classification de De Martonne de climat

Sommaire

Remerciement

Introduction générale..... 5

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I.	<u>Présentation de la région de Fès</u>	
1.	<u>Situation géographique</u>	6
2.	<u>Relief</u>	7
3.	<u>Station Fès- sais</u>	8
	➤ <u>Station climatologique</u>	8
II.	<u>Contexte hydrogéologique</u>	9
III.	<u>Contexte hydrologique</u>	11
	1) <u>Les principaux oueds qui traversant la ville de Fès</u>	12
	2) <u>Les bassins versants</u>	13
IV.	<u>Contexte géologique</u>	14

Chapitre II : Etude climatique de la plaine Sais

I.	<u>Description générale du climat de la région</u>	15
II.	<u>Etude des facteurs climatiques</u>	15
	1) <u>Précipitations</u>	15
	a) <u>Précipitations moyennes annuelles</u>	16
	b) <u>Précipitations moyennes saisonnières</u>	16
	c) <u>Précipitations moyennes mensuelles</u>	17
	2) <u>Températures</u>	18
	a) <u>Températures moyennes annuelles</u>	18
	b) <u>Températures moyennes mensuelles</u>	19
	c) <u>Estimation d'évapotranspiration</u>	19
III.	<u>Relation entre Température Précipitation</u>	
	1) <u>Indice xérothermique de Gausse</u>	24
	2) <u>Indice de De Martonne</u>	25
	<u>Conclusion</u>	26
	<u>Bibliographique</u>	27
	<u>Résumé</u>	28

Introduction générale

La **climatologie** a pour objectif de décrire, d'analyser et d'expliquer les climats dans leur répartition spatiale. Le climat est donc ainsi défini comme l'état moyen de l'atmosphère (température, pluviométrie, précipitation, humidité) en un lieu donné, considéré dans sa succession habituelle.

Le **climat** est la distribution statistique des conditions de l'atmosphère terrestre dans une région donnée pendant une période donnée. Il se distingue de la météorologie qui désigne l'étude du temps à court terme et dans des zones ponctuelles. L'étude du climat est la climatologie. la détermination du climat est effectuée à l'aide de moyennes établies à partir de mesures statistiques annuelles et mensuelles sur des données atmosphériques locales : température, pression atmosphérique, précipitations, ensoleillement, humidité, vitesse du vent. Sont également pris en compte leur récurrence ainsi que les phénomènes exceptionnels.

Dans **le monde** le climat est parmi les ressources naturelles, il constitue un patrimoine dont la connaissance est primordiale tant par son côté positif, c'est-à-dire comme source de richesse renouvelable (eau – production agricole- énergie solaire – etc....) que par les contraintes qui l'impose (variabilité – phénomènes dangereux – transport de polluants).

Le **climat au Maroc** est caractérisé par un climat très différent selon les régions. En effet, les zones littorales bénéficient d'un climat tempéré, alors que le climat est désertique dans le sud et l'est du pays. Le climat marocain comporte beaucoup de nuances : méditerranéen au Nord, océanique à l'Ouest, continental à l'intérieur des terres et saharien au Sud. Le climat varie aussi en fonction des saisons.

Le **climat de la région de Fès** est défini selon les données météorologiques offertes par les stations de la région, le climat de Fès – sais est assez variable, mais de prédominance pendant la durée de notre stage : sec et assez chaud avec présence d'orages d'été.

Le but de notre travail est d'étudier le climat de la plaine de Sais en se basant sur les données de Température et Précipitation de la station Fès-Sais.

Notre projet est divisé en deux chapitres :

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

Chapitre II : Etudes climatologie de la région plaine-sais

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I. Présentation de la région de Fès :

1) Situation géographique

Capitale spirituelle du Maroc, la ville de Fès est l'une des quatre villes impériales du Maroc (avec Marrakech, Meknès et Rabat). Elle se situe au centre du Royaume, et fait partie de la région de Fès Meknès.

La ville de Fès se trouve à 170 Km à l'Est de la capitale administrative du royaume « Rabat » et à 54 km à au Nord-Est de la ville de Meknès.

La ville de Fès est traversée par plusieurs routes nationales. Elle est accessible par la RN 8 à environ 63 km à partir de la ville d'Ifrane, par la RN6 à environ 56 km à partir de la ville de Meknès et par la RN4 à environ 96 km à partir de la ville de Sidi Kacem.



Figure 1 : situation de la ville de Fès extraite de l'atlas routier (étude d'aménagement des cours d'eau de la ville de Fès)

2) Relief

Les reliefs de la Région Fès-Meknes prennent différentes formes englobant : les collines, les montagnes et les plaines. Les différents reliefs se regroupent sous forme de trois unités qui sont connues par leurs vues naturelles

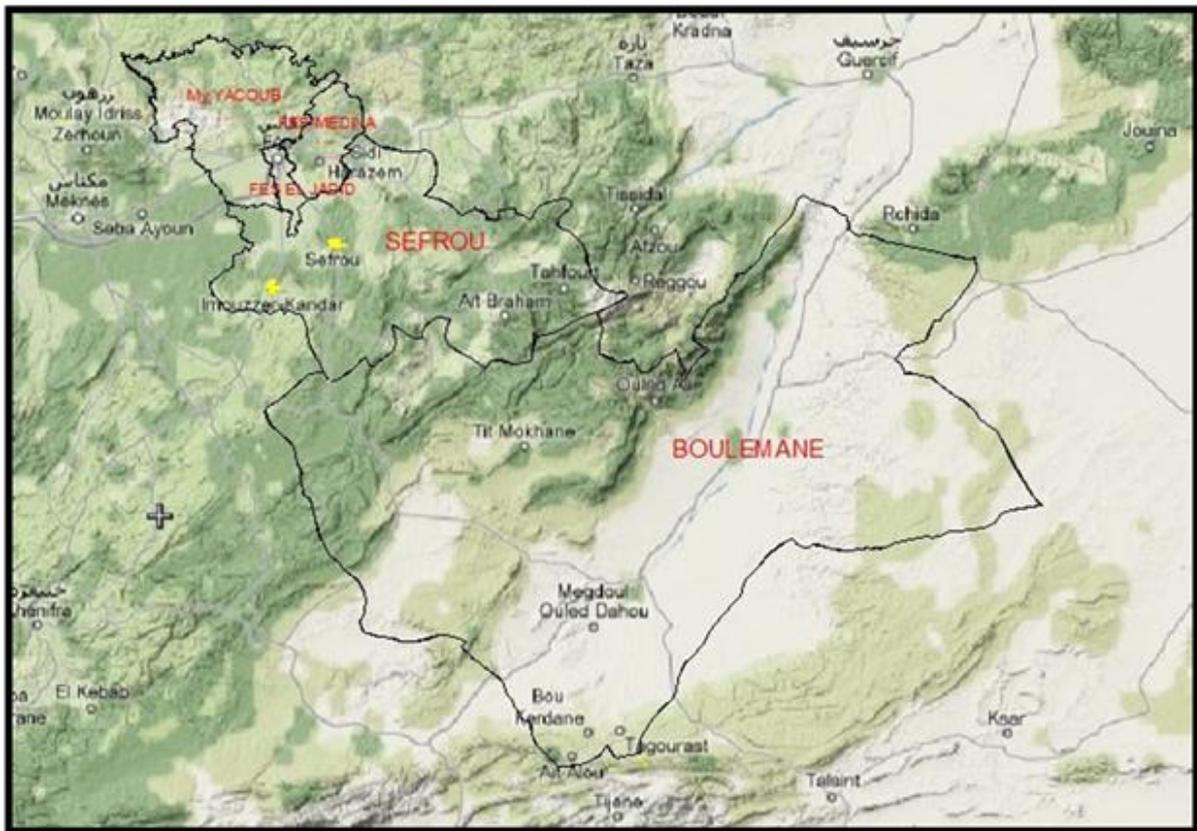


figure 2 : relief de la zone d'étude (étude d'aménagement des cours d'eau de la ville de Fès)

- Au nord se trouve les collines du prè-Rif hautes de 400 à 500m avec des pics culminants à 900m comme la montagne Zalagh qui a une vue sur le nord de la ville de Fès. La colline du Saïs se situe entre le début des collines du Rif et les montagnes du Moyen-Atlas, et progresse du sud vers le nord à une hauteur de 400 jusqu'à 700m. Ce passage se rétréci vers l'Est dans la direction de la ville de Taza qui est connue comme un axe de passage entre l'Est et l'Ouest du Maroc.

- A l'Est et au Sud-Est du Moyen-Atlas se situent les plaines de Moulouya centrale qui prennent de la hauteur du Sud vers le Nord (700 à 1200m). Dans ce secteur à dominance rocheuses, la terre végétale est faiblement représentée. Quand elle existe, elle est recouverte d'une couche dure (encroutement calcaire), sauf au fond des vallées où on retrouve des terres alluviales et agricoles de grandes envergures.
- Le Moyen-Atlas présente un groupe de reliefs de grandes envergures qui a une vue sur la colline du Saïs et les plaines de la Moulouya. Il est constitué de deux entités qui se distinguent sur la base de leur altitude :
 - Le côté Nord-Ouest constitué de collines avec des hauteurs de 1000 à 1200m.
 - Le côté Sud-Est constitué de montagnes inclinées où on trouve les sommets les plus hauts (montagne de Tichoukt culminant à 2796m). On trouve aussi dans la région de larges dépressions avec places creuses riches en terres agricoles et où les eaux pour l'irrigation sont abondantes.

La zone de l'étude, comprenant la ville de Fès, s'étend sur le secteur Nord, elle fait partie de la plaine de Saïs

La plaine de Saïs a une altitude décroissante du Sud vers le Nord qui se relève au contact des rides prérfaines.

L'altitude de la zone d'étude varie entre 400 à 700m.

3) Station Fès- saïs

➤ **Station climatologique :**

Ce sont des stations qui assurent la surveillance atmosphérique dans le but d'étudier le climat le climat et de divisé en :

- des stations de climatologie principale.
- des stations de mesure des précipitations.
- Des stations réservées pour la surveillance spécifique.

II. Contexte hydrogéologique

La plaine de Saïs est drainée principalement par l'Oued Fès traversant la ville de Fès de l'Est vers l'Ouest et les affluents rive droite de l'Oued Mikkès.

Les cours d'eau sont généralement peu encaissés dans le Saïs sauf dans les zones de flexures qui ont provoqué la surimposition des vallées.

- Il existe deux lacs temporaires situés dans le Saïs :
- Dayet El Kochtam, à 7km au Nord de l'Ain Bittit, est situé dans une zone semi fermée, sur un substratum marneux imperméable ;
- L'étang de Douyet à 10 km à l'Ouest de la ville de Fès correspond à une cuvette synclinale subsidente, comblée par des dépôts quaternaires limoneux, très peu perméables, qui rendent captive la nappe de calcaires lacustres. La superficie de ce lac atteint 100 ha en hiver.

Hydro géologiquement, on distingue deux réservoirs aquifères importants dans le bassin de Meknès – Fès, la nappe profonde du Lias et la nappe Phréatique qui circule dans les formations lacustres du plio-Villafranchien. Les eaux infiltrées sur le causse dans les calcaires dolomitique du Lias, alimentent une nappe libre dans le causse et en bordure du bassin de Meknès – Fès.

Cette nappe s'enfonce ensuite sous les terrains imperméables du Tertiaire et constitue la nappe captive profonde sous la plaine. Elle peut communiquer directement par des flexures, ou indirectement par drainante, avec la nappe phréatique des calcaires lacustres qui constituent le réservoir le plus accessible du bassin de Meknès – Fès.

La nappe phréatique prend naissance au niveau des formations plio-quaternaires, en s'alimentant à partir des eaux météoriques. De ce fait, elle est fortement influencée par les variations pluviométriques et elle est très sensible aux sources de pollution. Elle est facilement exploitable, toutefois, elle est peu utilisée pour l'alimentation en eau potable vue les fluctuations et le risque de pollution qu'elle présente. Son utilisation se limite au secteur d'Ain Cheggag au niveau duquel elle assure l'alimentation en eau du bourg et de plusieurs douars localisés à proximité (Ait Amar Ikkou, Ait Hakki, Ait Yacoub, Ait Hami, et Ait Hssaine)

Cette nappe se manifeste par de nombreuses sources et a été reconnue par près de 100 forages dont 25 l'ont traversé et atteignent la nappe profonde. Dans la plaine de Saïs, les sables et grès du Pliocène de faciès dit « sahélien », recouverts par les calcaires lacustres, s'étendent jusqu'au Bour'Keiss à l'Est et sous la vallée de l'oued N'ja. Leur épaisseur, beaucoup plus faible que dans le plateau de Meknès, va en diminuant d'Ouest en Est et ne dépasse pas trois mètres près de Rass El Ma. Plus à l'Est, ils disparaissent et les calcaires lacustres reposent directement sur les marnes bleues du Tortonien. Dans le Saïs Est, les calcaires lacustres passent latéralement à des conglomérats qui reposent aussi directement sur des marnes bleues. Dans le Saïs Nord, en particulier dans la basse plaine de Douyet, la nappe circule dans une série de remplissage, d'âge quaternaire, qui peut atteindre 70 m d'épaisseur.

Ces dépôts argilo-sableux deviennent parfois franchement marneux et provoquent la mise en charge de la nappe phréatique. Les marnes du Tortonien, très faiblement perméables suivant leur épaisseur qui peut atteindre 900m, constituent la séparation entre la nappe libre et la nappe captive profonde. La puissance de l'aquifère est essentiellement fonction du modèle du toit du Miocène, les épaisseurs les plus importants se trouvent au droit des cuvettes miocènes (entre Ain Lorma et Boufekrane, région de Douyet, au Nord de Ain Chegag), cette épaisseur est comprise entre 10 et 20 m sur plus de 1200 km² (60% de la superficie totale du bassin).

La nappe profonde du Saïs est une très importante ressource en eau, comme susmentionné, elle est localisé sous le plateau du Saïs et se développe dans les formations calcaires et dolomitiques du Lias en charge sous les argiles du Miocène, son toit est généralement localisé entre 800 et 1000m de profondeur.

L'alimentation de la nappe est assurée par les eaux d'infiltration des causses du moyen atlas situé en amont et elle est exploitée au moyen de forages artésiens.

Les forages qui captent la nappe profonde sont localisés dans le secteur Ain Chkef et assurent l'alimentation en eau des populations urbaines de la ville de Fès.

Outre ces ressources en eau, on signalera que la zone du projet fait partie du bassin versant de Sebou équipés par plusieurs aménagements hydrauliques et hydro-électriques dont les plus proches de Fés sont : Barrages Idriss I, Allal El Fassi & Sidi Chahed.

III. Contexte hydrologique

La ville de Fès est traversée par un important réseau hydrographique qui prend naissance à partir du massif de kandar et qui coule suivant une direction générale Nord-Sud. La plus part des oueds ,qui constituent ce réseau ,sont soutenus par des sources éternelles telles que : Ain Smen , Ain chkef , Ain Amier ,Ain cheggag , et autre :plus au Nors , tous ces affluents convergent vers la vallée de l'oued fès ,qui constitue ainsi le collecteur principale qui achemine les eaux des deux versants ,qui encadrent la ville de Fès ,vers l'oued sebou .

1) Les principaux oueds qui traversant la ville de Fès

- Oued Fès : Son régime est irrégulier. Il est le plus important et prend naissance à la source de Ras El Ma et Collecte les eaux de plusieurs sources dans son cours amont plus en aval. Il draine la nappe jusqu'à sa sortie de la plaine de Saïs et reçoit suivant les saisons soit la totalité, soit l'excédent d'irrigation des eaux des autres oueds comme Bourkaïz, Ain Smèn, Ain Chkef, il reçoit également des émergences et sources qui améliorent son débit.
- Oued Mahraz : La superficie de son bassin versant est de 122 km². Il se situe entre Moulay Arafà et Dhar El Mahraz. L'oued Mahraz a un régime hydrologique différent de celui de l'oued Fès (amont).
- Oued Boufekrane : La superficie de son bassin versant est de 49 km² avec une pente globale qui est de 3.9%. Il a un écoulement simple qui draine le bassin versant de l'oued Fès l'irrigation.
- Oued El Himmer : La superficie du bassin versant de l'oued El Himmer est de 71 km². Le cours de l'oued est une gorge profonde dans le massif du Kand
- Ain Chkef : C'est une source située dans la plaine du Saïs et alimente l'Oued Ain Chkef. C'est une source d'émergence de la nappe phréatique soutenue par l'apport des eaux de la nappe profonde du Lias carbonaté à travers des failles.

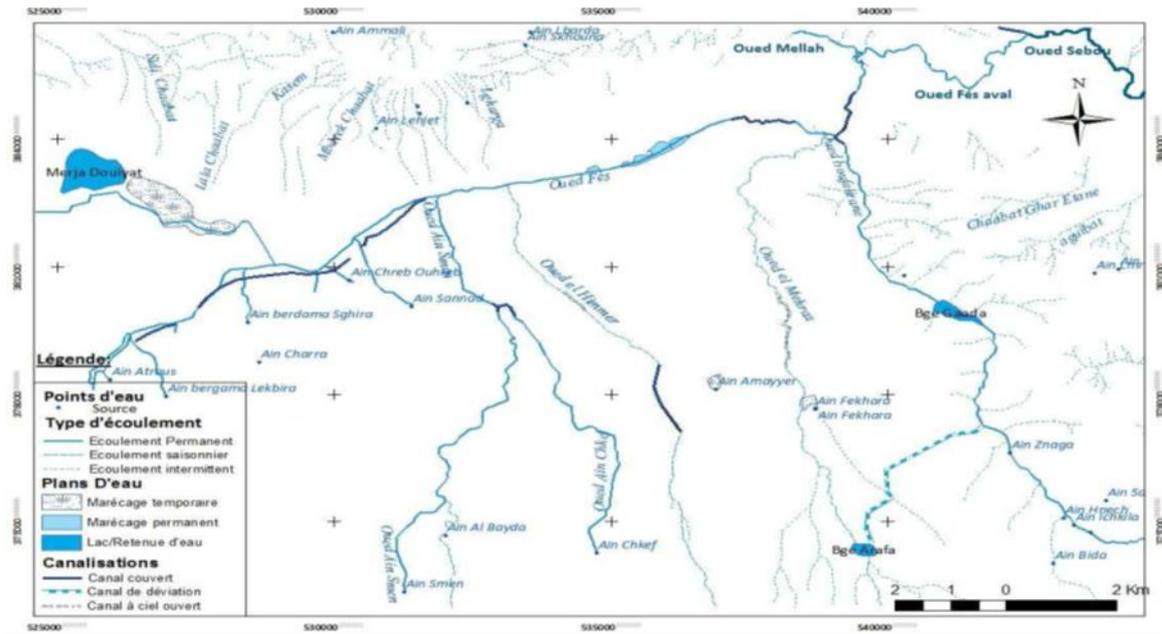


Figure 3 : Carte du réseau hydrographique de la ville de FES (Reynard et al, 2011 ; modifiée)

2) Les bassins versants

les principaux oueds qui contribuent à la formation des débits de pointe les plus importants à l'entrée de la ville sont oued Boufekrane, oued mehrez et oued Himmer. Ce dernier ont des bassins versants de surface comprise entre 50 et 130 km², de longueurs avoisinant une trentaine de kilomètres et des dénivelées de 800 à 1000 m (tableau suivant)

Tableau 2 surface des bassins versant élémentaires (P.D.P.C.I ville de Fès .octobre 2000)

Oued	Point de calcul	Superficie du bassin versant (km ²)	Longueur du plus long thalweg (km)	Dénivelé(m)
Boufekrane	Barrage bled gaada	39	695	24
	Entrée de la ville	48	775	28
El Mehrez	Barrage My Arafat	103	645	18
	Entrée de la ville	122	700	22
	Digue Dhar El Mehrez	130	770	27
El Himmer	Sortie des reliefss	19	631	10
	Aéroport	49	940	24
	Barrage projeté	66	996	28
	Entrée de la ville	80	1084	36
Ain chkef	Confluence avec .smen	11	131	9
Chkok	Amont .smen	38	1450	62
Sernen	Barrage	7	75	6
	Confluence avec 0.Ainchekef	14	140	12
Fès amont	Confluence avec Smen	145	516	34
	Confluence avec .el Himmer	185	629	43

IV. Contexte géologique

La zone de l'étude se trouve dans le bassin de Meknès Fès, qui fait partie du couloir sud rifain. Ce dernier s'étend de la plaine du Rharb à l'Ouest Jusqu'au col du Touahar à l'Est. Entre les deux grandes unités structurales qui forment les limites nord et Sud du bassin (Pré-rif et Moyen Atlas) une transgression marine a déposé au Miocène une série marneuse très puissante, suivie au Plio-villafranchien et au Quaternaire par des dépôts continentaux.

Les grandes unités du pré-rif et du Moyen Atlas, influencent directement la structure actuelle du bassin : le Moyen Atlas se prolonge sous le bassin et correspond au substratum anté-

Néogène dans les accidents ont joué en déterminant toutes les flexures de direction SW-NE. Le Pré rif, ou plus précisément la tectonique rifaine, crée toutes les flexures de direction SE-NW.

Le substratum anté-Néogène est formé essentiellement par le Lias calcaire et dolomitique, les argiles bariolées du Trias ou les Schistes du primaire, suivant l'importance de l'érosion ou les lacunes de sédimentation.

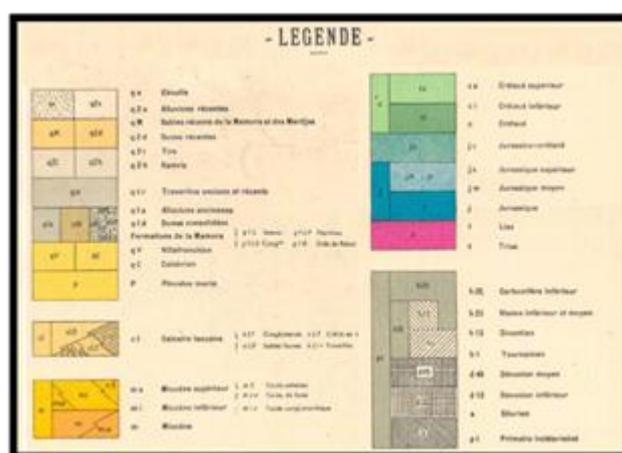
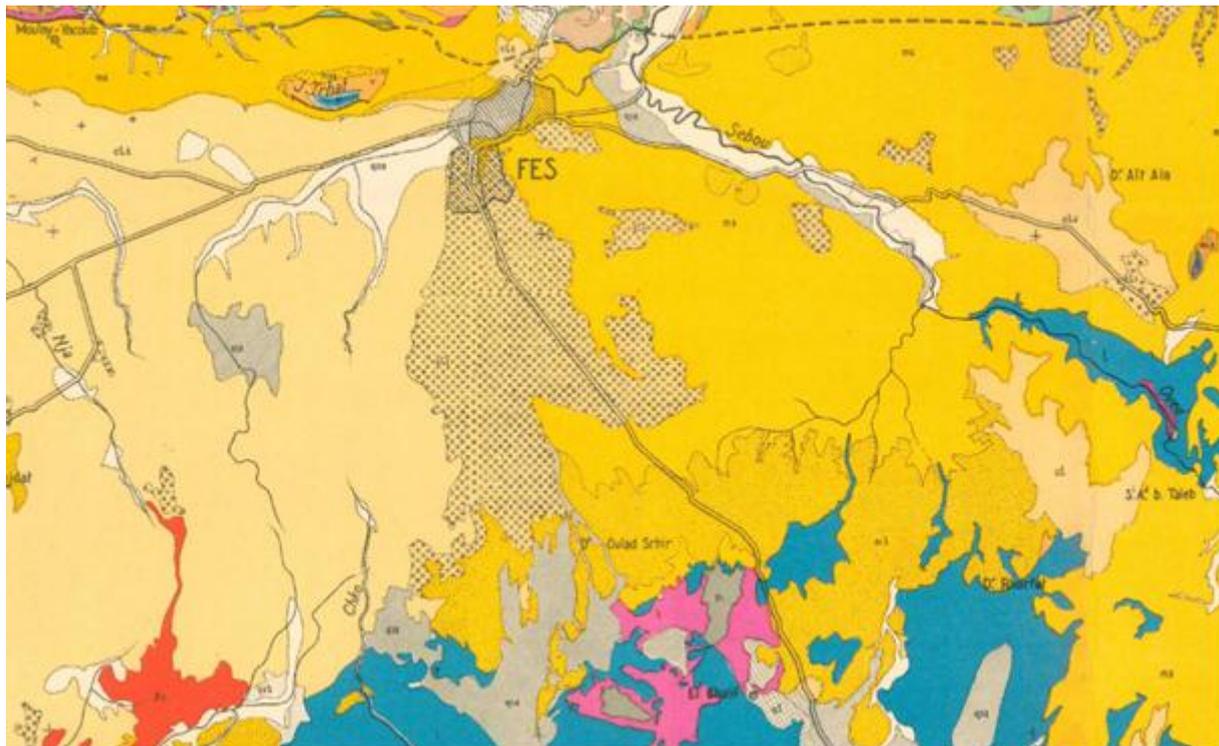


Figure 4 : Cadre géologique, extrait de la carte géologique du Maroc, Feuille du Gharb et pré-rif Occidental au 1/200.000ème

Chapitre II : Etude climatique de la plaine Sais

I. Description générale du climat de la région

La ville de Fès est située dans le bassin de Meknès-Fès ; elle bénéficie d'un climat méditerranéen mais fortement mâtiné de continentalité et subissant l'effet des versants des montagnes. Le froid hivernal rappelle très souvent la neige abondante du Moyen Atlas à quelques kilomètres au sud de la ville.

L'hiver peut, en fonction de l'altitude, s'avérer très froid et l'été très chaud et sec.

Les précipitations peuvent atteindre 573 mm/an à raison de 70 jours de pluie. Les mois les plus chauds sont Juillet et Août où les moyennes des maximas extrêmes est de 35,7°C tandis que les moyennes des minimas extrêmes se situent en janvier et février, mois les plus froids, avec des valeurs comprises entre 4,5 et 5,4°C.

II. Etude des facteurs climatiques

La caractérisation du climat d'une zone donnée à l'aide d'indices ou diagrammes permet de comparer les climats d'une région à l'autre. Ils prennent généralement en compte l'offre pluviométrique, la demande évaporative et les températures.

1) Précipitations

La connaissance de la répartition des précipitations permet en particulier de calculer la lame d'eau tombée sur la région, cette opération qui reste relativement délicate, nécessite la combinaison de différentes méthodes afin de prendre en considération les contraintes géographiques existantes telles l'altitude, topographie et l'exposition.

a) **Précipitations moyennes annuelles**

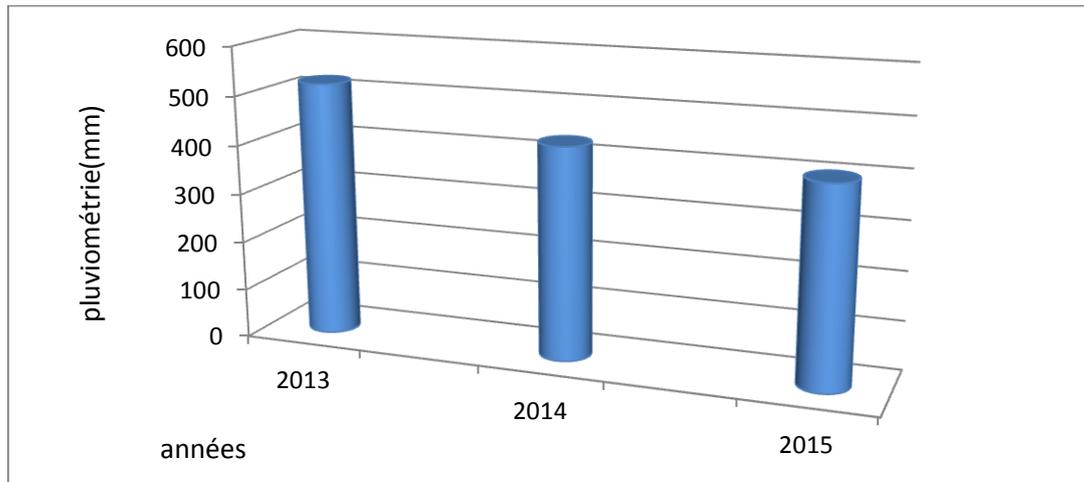


Figure 5 : précipitation moyennes annuelles de la période de 2013 à 2015 (Station Fès-Sais)

La pluviométrie moyenne annuelle obtenue durant la période allant de 2013 ,2014 et 2015 est de 510.50mm, les années les plus pluvieuses étaient celles qui montrent des valeurs nettement supérieure à la moyenne interannuelle ,tandis que les années les plus sèches et les plus sévères sont celles qui révèlent des moyennes annuelles très basses à la moyenne interannuelle comptée égale à 510.50 mm .

b) **Précipitations moyennes saisonnières**

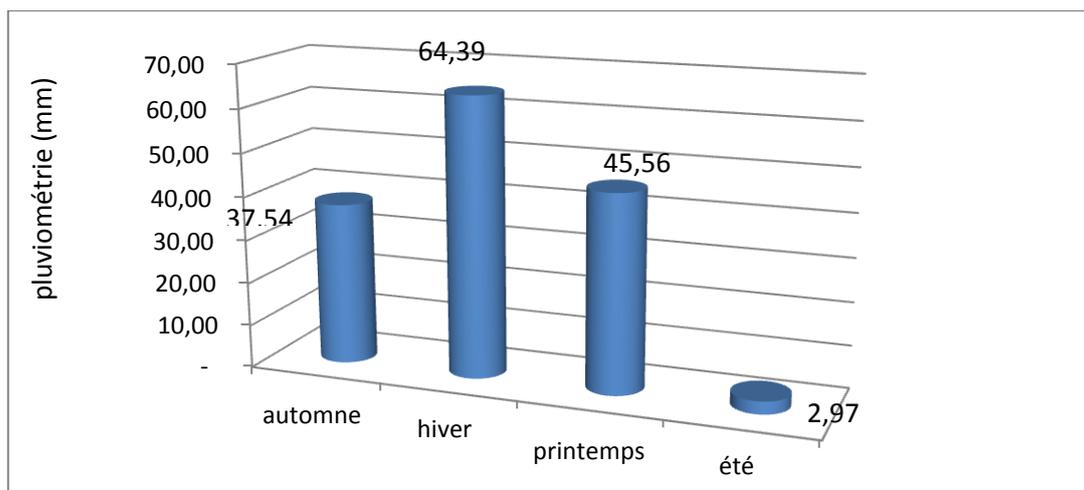


Figure 6 : Précipitation par saison (station de Fès 2013-2015)

L'histogramme de la figure 6, présente la répartition saisonnière des précipitations et montre que la Saison la plus pluvieuse est celle de l'hiver, suivie de l'automne et du printemps alors que la saison sèche est celle de l'été ; ce qui implique que le régime pluviométrique est Méditerranéen.

c) Précipitations moyennes mensuelles

L'étude des précipitations moyennes mensuelles permet la connaissance de la répartition des pluies au cours de l'année, la variation des pluies est représentée dans l'histogramme ci-dessous ; celui-ci montre que pour Les 3 années il existe une période pluvieuse qui s'étend Du mois d'Octobre jusqu'au Mai

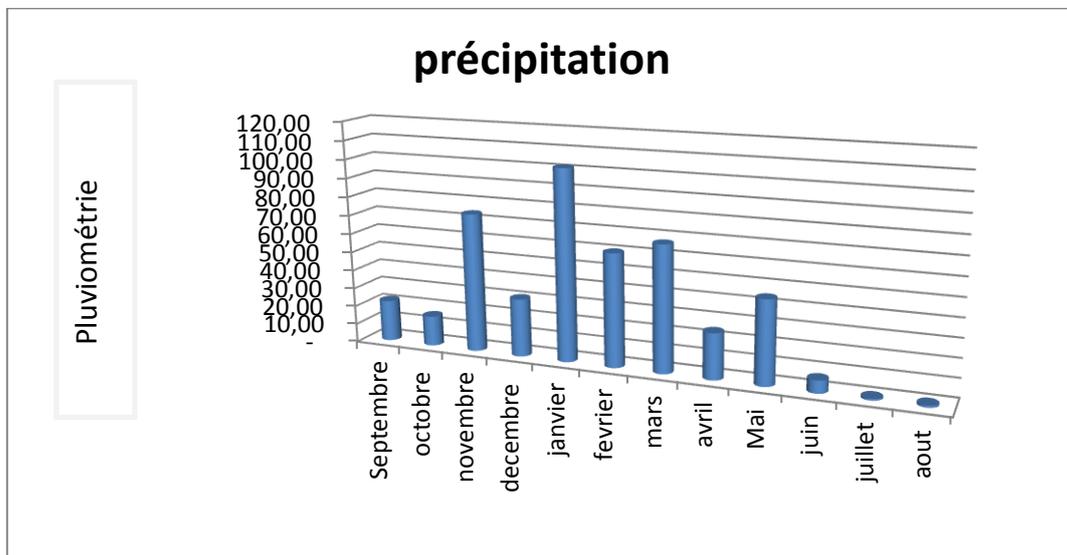


Figure 7 : Précipitation moyennes mensuelles. (Station Fès-Sais, 2013-2015)

Table 2 : le mois le plus pluvieux et le plus sec dans chaque année

	Le mois le plus pluvieux	Le mois le plus sec	Pluie maximale	Pluie minimale
2013	Mars	Aout	137.1	0
2014	Novembre	Aout	131.4	0.2
2015	Janvier	Juillet	123.0	1.4

A l'échelle des années, le tableau 2 montre que le mois le plus pluvieux est mars pour la station en 2013, novembre pour l'année 2014 et janvier pour l'année 2015.

2) Températures

L'étude du facteur température est primordiale pour caractériser le contexte climatique dans une région ; la combinaison de celui-ci aux précipitations permet de contrôler plusieurs paramètres du cycle de l'eau surtout les indices climatiques et l'évapotranspiration.

a) Températures moyennes annuelles

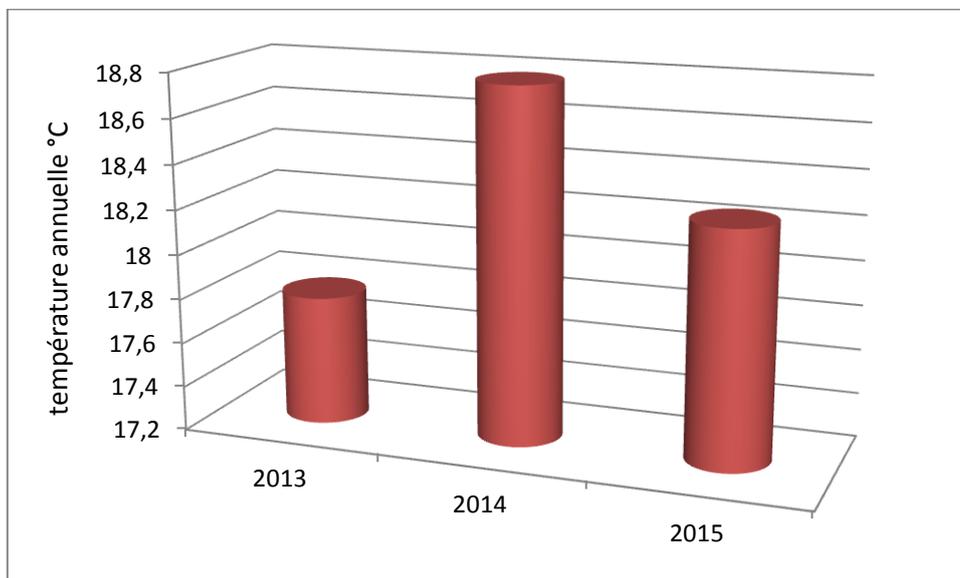


Figure 8 : Températures moyennes annuelles pour la période entre 2013 et 2015 (station Fès-sais)

Les données disponibles et les plus complètes sont celles qui nous ont été communiquées par la station Fès-sais, elles correspondent à la période qui s'étale sur 3 ans, allant de 2013-2015. La température moyenne interannuelle calculée sur cette période est de l'ordre de 18,2°C.

Les années les plus chaudes sont celles qui montrent des valeurs nettement supérieures à la moyenne interannuelle retenue égale à 19°C, tandis que les années les plus modérées sont celles qui révèlent des moyennes annuelles relativement basses.

b) Températures moyennes mensuelles

La figure 9 montre une croissance thermique progressive du mois le plus froid (Février) jusqu'aux mois les plus chauds, soient Juillet et Août.

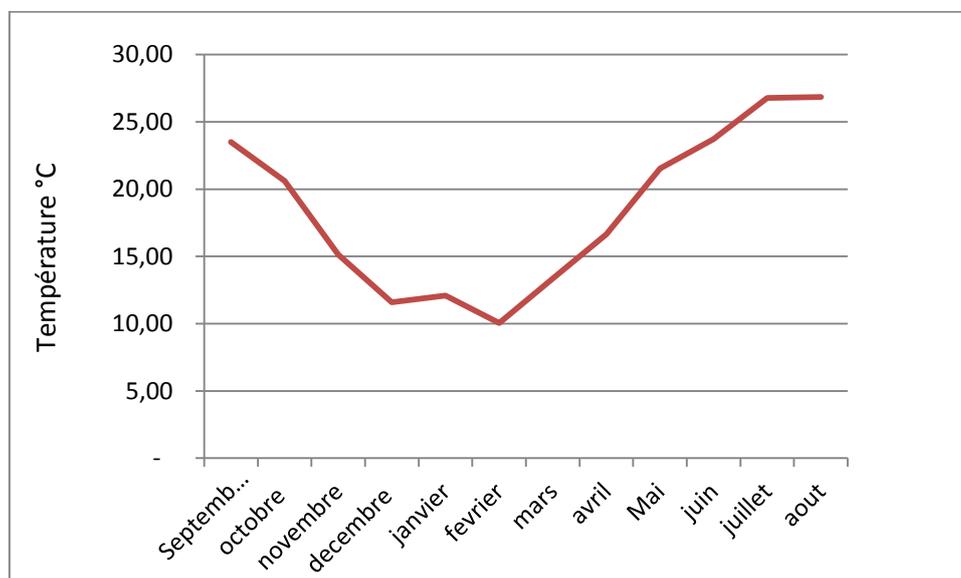


Figure 9 : Températures moyennes mensuelles pour la période entre 2013-2015 (station Fès-Sais)

Les mois Décembre, Janvier et Février constituent les mois les plus froids (saison froide), avec une moyenne minimum au mois Février (10.05°C). Les mois Juin, Juillet et Août forment la saison chaude avec une moyenne maximum au mois d'Août (26.85°C).

c) Estimation d'évapotranspiration

Le phénomène d'évaporation constitue une étape importante dans le cycle hydrologique des l'arrivée des premières gouttes de pluies à la surface du sol. Ce processus peut se produire à la surface des plans d'eau, des sols humides ou bien à la surface d'un couvert végétal, ce dernier cas est appelé transpiration ; ces deux termes ont été regroupés sous le nom d'évapotranspiration.

On distingue :

- **Evapotranspiration potentielle ETP**

ETP est la quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur, sous un climat donné, par un couvert végétal continu spécifique (gazon) bien alimenté en eau et pour un végétal sain en pleine croissance.

Pour son estimation, *Thornthwaite* (1948) a établi une équation qui se base sur la température moyenne mensuelle qui s'écrit comme suit :

$$\underline{\underline{ETP=16*(10T/I)^\alpha}}$$

ETP : évapotranspiration potentielle (mensuelle) en mm

T : température moyenne mensuelle (°C)

I : La somme des indices mensuels (i) de l'année, $i=(T/5)^{1.514}$; **I=88.61**

α : Le coefficient 'α' est un facteur de correction caractéristique pour chaque mois
 $\alpha=1.6(I/100)+0.5$; **α=1.92**

Tableau 3 : résumé le calcul de l'ETP (mm) pour chaque mois.

	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Av	Mai	Jui	Juil	Août
T (°C)	23,50	20,60	15,12	11,59	12,08	10,05	13,34	16,63	21,5 3	23,72	26,77	26,85
i (°C)	10,41	8,53	5,34	3,57	3,80	2,88	4,42	6,17	9,12	10,56	12,68	12,74
ETP (mm)	102,83	79,61	43,55	26,01	28,18	19,72	34,16	52,39	86,4 6	104,34	131,94	132,7

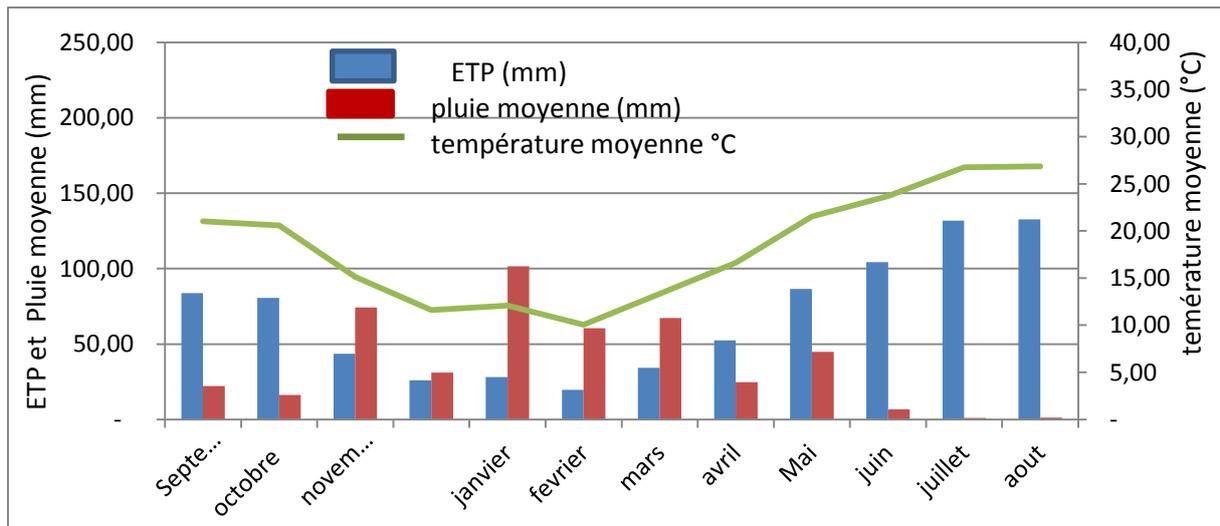


Figure 10 : Variation de l'ETP , des températures et des précipitations

Les valeurs de l'ETP calculées par la formule de *Thornthwaite* à l'échelle mensuelle sont en générale supérieure à la lame d'eau précipitée (figure 10).

- **Evapotranspiration réelle ETR**

ETR est la somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique.

Diverses formules, basées sur la température et la hauteur des précipitations moyennes annuelles ou mensuelles ont été élaborées pour l'estimation de cette évapotranspiration.

- **Méthode de Turc**

$$\underline{\underline{ETR = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2}}}$$

ETR : L'évapotranspiration réelle (mm/an)

P : La hauteur de précipitation moyenne annuelle (mm), P= 451.37mm

L : $L=300+25T+0.05T^3$, L=1061.66.

T : La température moyenne annuelle (°C), T=18.27 °C

$$\underline{\underline{ETR=434.17 \text{ mm}}}$$

➤ **Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite**

L'utilisation des différents paramètres hydro-climatiques calculés, auparavant, permet de fournir une base de données nécessaire pour le calcul de l'ETR par la méthode de Thornthwaite. Cette méthode est basée sur la notion RFU qui est défini comme étant la réserve en eau facilement utilisable et qui dépend de la saturation du sol et des précipitations.

La quantité d'eau stockée dans la RFU est bornée par 0 (la RFU vide) et RFU max (capacité maximale de la RFU qui est de l'ordre de 0 à 200mm suivant les sols et sous-sols considérés, en effet dans les zones arides à semi-arides, le sol est considéré saturé quand il absorbe une lame d'eau équivalente à des précipitations de 50mm (Archambault et al, 1975).

Pour établir ce bilan, après avoir donné la RFU maximale (RFU max=50mm), il faut connaître l'état de la RFU à la fin du mois antérieur au début de l'établissement du bilan. On tient alors l'un des deux raisonnements suivants :

- Si la RFU doit être pleine un jour, ce sera à la fin de la période durant laquelle on a pu la remplir, c'est-à-dire à la fin du dernier mois ou $P > ETP$;
- Si la RFU doit être vide un jour, ce sera à la fin de la période durant laquelle on a pu la vider, c'est-à-dire à la fin du dernier mois ou $P < ETP$.

On admet que la satisfaction de l'ETP a priorité sur l'écoulement, c'est-à-dire qu'avant qu'il n'y ait d'écoulement, il faut avoir satisfait le pouvoir évaporant ($ETP = ETR$). Par ailleurs, la complétion de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement.

On établit ainsi un bilan à l'échelle mensuelle, à partir de la pluie du mois P, de l'ETP et de la RFU :

➤ ***Si $P > ETP \rightarrow ETR = ETP$:***

- Si $(P - ETP) + RFU_{i-1} < RFU_{max}$ alors $RFU_i = (P - ETR) + RFU_{i-1}$ et $Exc = 0$.
- Si $(P - ETR) + RFU_{i-1} \geq RFU_{max}$ alors $RFU_i = RFU_{max}$ et $Exc = (P - ETR) + RFU_{i-1} - RFU_{max}$

Dans ce cas, le surplus des précipitations alimentera l'infiltration et/ou le ruissellement.

➤ ***Si $P < ETP$:***

On évapore toute la pluie et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR soit :

- Si $RFU_{i-1} \geq ETP - P$ alors $ETR = ETP$, $RFU_i = RFU_{i-1} + (P - ETR)$ et $Exc = 0$
- Si $RFU_{i-1} < ETP - P$ alors $ETR = P + RFU_{i-1}$, $RFU_i = 0$

RFU : la réserve en eau du sol facilement utilisable par les plantes, RFU_{max}=50 mm

Exc : l'excédent des précipitations par rapport à la mise en réserve (en mm).

Tableau 4 : calcul de l'ETR par la méthode de comparaison de Thornthwaite

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P (mm)	22.20	16.23	74.20	31.13	101.60	60.43	67.27	24.67	44.73	6.80	0.97	1.13
ETP (mm)	102.83	79.61	43.55	26.01	28.18	19.72	34.16	52.39	86.46	104.34	131.94	132.7
RFU (mm)	0	0	30.65	35.77	50	50	50	50	0	0	0	0
ETR (mm)	22.20	26.23	43.55	26.01	28.18	19.72	34.16	24.67	67.01	6.08	0.97	1.13
Exc (mm)	0	0	0	0	59.19	40.71	33.11	27.72	0	0	0	0

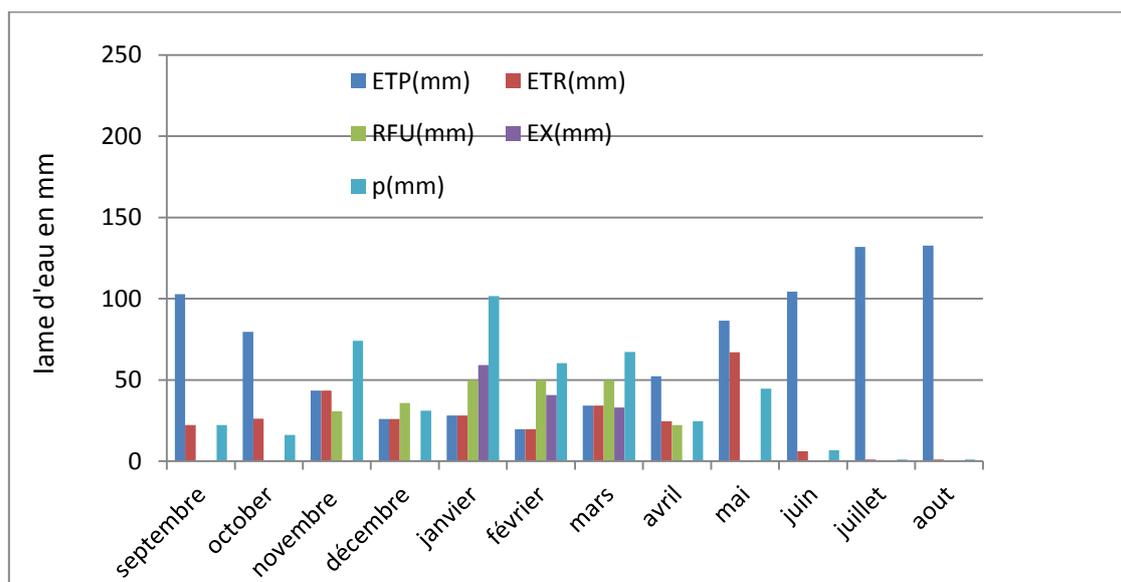


Figure 11 : variation mensuelle des différents termes du bilan hydrique

Ayant établi ce bilan par mois, on évalue l'ETR annuelle par la somme des ETR mensuelles.

Tableau 5 : Calcul de la valeur moyenne de l'ETR

Méthode	Truc	Thornthwaite	Moyenne
ETR (mm)	434.17	299.9	367.04

III. Relation entre Température et Précipitation

Le climat dans une région peut être estimé à travers certains paramètres qui mettent en relation la température et les précipitations caractérisant cette région.

1) Indice xérothermique de Gausse

Cet indice xérothermique appelé aussi diagramme ombrothermique de Gausse, il définit le mois sec par la comparaison entre le total des précipitations de ce mois en mm et le double de sa température. $P = 2T$

P : Précipitation mensuelle (mm).

T: Température moyenne mensuelle (°c).

D'après la formule, un mois sec est celui où le total de précipitations est égal ou inférieur au double de la température moyenne mensuelle exprimée en degrés Celsius. Quand la courbe de température est au-dessus de celle des précipitations, la zone délimitée représente la zone sèche.

2) Diagramme ombrothermique :

Le diagramme ombrothermique permet de déterminer la période sèche et la période humide de l'année. Il définit la période humide comme étant celle où les précipitations mensuelles dépassent le double de la température mensuelle, tandis que la période sèche est celle où le double des températures mensuelles dépasse les précipitations mensuelles.

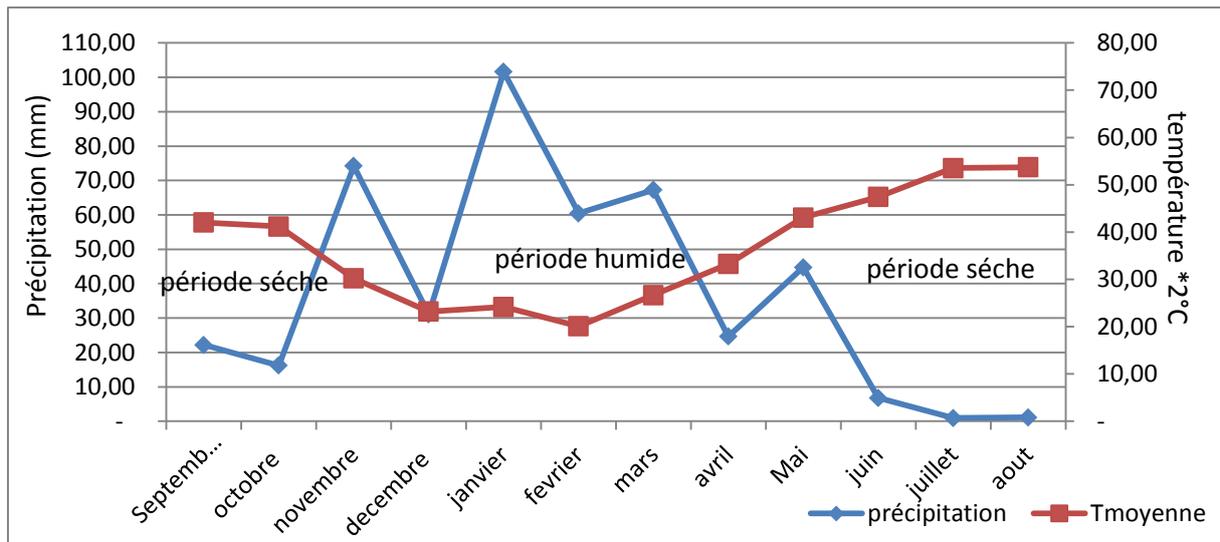


Figure 12 : Diagramme ombrothermique de Gausсен au niveau 3 années (station Fès)

3) Indice de De Martonne

Cet indice est fonction des températures et des précipitations ; il est calculé par la relation suivante :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

$$I = 9.69$$

P : Précipitations moyenne annuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Suivant les valeurs de I, De Martonne a établi la classification suivante.

Tableau 6 : Classification de De Martonne de climat

Valeur de I	Type de climat
$I < 5$	Hyper aride
$5 < I < 10$	Aride
$10 < I < 20$	Semi-aride
$20 < I < 30$	Semi-humide
$30 < I < 40$	Humide
$40 < I < 55$	Humide

Conclusion générale

La présente étude a pour objectif de faire une étude climatique de la région de Fès on décrivant ses différents contextes et on se basant sur les données climatiques précises (Températures et Précipitations), l'exploitation des données sont associées une interprétation et des recommandations pour décrire les conditions climatiques.

Dans ce travail qui permettra de passer en revue les différents enjeux et éléments constitutifs d'une étude climatique, qui sont autant de préalables indispensables à l'exploitation et à l'interprétation des données liées au climat

Afin de traiter les données les analyser et de calculer l'évapotranspiration (Réelle et Potentielle) Ainsi que le bilan hydraulique qui permet de fournir une base de données nécessaire pour déterminer l'évapotranspiration réelle par la méthode Thornthwaite les résultats obtenus nous ont permet :

- De tracer le diagramme ombrothermique qui définit les deux périodes humide en hiver et sèche en été et automne dans la région étudié.
- Ainsi que calculer l'indice De Martonne $I=9.69$ et selon la classification de De Martonne de climat $5 < I < 10$ impliquant le type de climat aride.

En fin cette étude montre que la Région de Fès bénéficie d'un climat méditerranéen mais fortement mâtiné de continentalité et subissant l'effet des versants des montagnes. Le froid hivernal rappelle très souvent la neige abondante du Moyen Atlas à quelques kilomètres au sud de la ville.

L'hiver peut, en fonction de l'altitude, s'avérer très froid et l'été très chaud et sec.

Les précipitations peuvent atteindre 573 mm/an à raison de 70 jours de pluie. Les mois les plus chauds sont Juillet et Août

Bibliographique

- **HAMDANI Nadia** (25 Juin 2015) Diplôme de Master : Monographie des Ressources en Eau de la Région de Fès-Meknes
- [Http://fr.climate-data.org/](http://fr.climate-data.org/)
- **Mission** (janvier 2011) : étude de diagnostic de la situation existante, synthèse des études hydrologiques, études topographiques, études hydraulique et définition des zones inondables et des schémas d'aménagement
- **M. Patrice Dumas** (mémoire master novembre 2006) : introduction du changement climatique dans un model technico-économique de gestion de l'eau
- **Pr.BENAABIDTE** (2013)-Hydrologie, cours DUT GME (2013) Faculté des Sciences et Techniques de Fès



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

Présenté par: Fahd Fatima Ezzahra

El Rhaffouli Oumayma

Titre: Etude climatologique de la région de Fès

Année Universitaire: 2015/2016

Résumé

L'étude climatique a pour objectif de décrire d'analyser et d'expliquer les paramètres climatiques et leur répartition spatiale.

Dans le cadre de notre travail qui consiste essentiellement sur la présentation général de la région de Fès et ses contextes géologiques, hydrogéologiques et hydrologiques existant au niveau de la région ainsi sa situation géographique, d'étudier les facteurs climatiques (Précipitations, Températures) d'après les données climatiques provenant de la station météorologique de Fès-Sais, L'analyse de ces paramètres climatiques que la pluviométrie ne porte essentiellement que sur la température, Un accent particulier sera mis sur la variable pluviométrie qui est l'élément climatique le plus déterminant à nos latitudes.

L'utilisation des différents paramètres hydro climatique permet de calculer le bilan hydraulique qui permet de fournir une base de données nécessaire ainsi de déterminer l'indice xéothermique de gausse et l'indice de DE Martonne dans le but de décrire et comprendre avec de plus en plus de précision la formation du climat de la zone étudié

Les résultats obtenus permettent de définir le Type de climat dominant durant les années (2013-2014-2015) un climat Aride impliquant une pluviométrie faible, ce climat caractérise les régions désertiques comme le Sahara . Toute l'année les températures sont élevées le jour mais assez basses la nuit, avec parfois des gelées, donnant des écarts thermiques très importants entre le jour et la nuit (entre 20 et 30° C parfois supérieurs à 50° C). La pluviométrie annuelle étant plus faible que l'évaporation.

Mots clés : évapotranspiration ,des écarts thermiques ,les facteurs climatiques , l'indice xéothermique ,l'indice de DE martonne