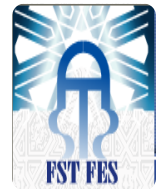




Université Sidi Mohammed Ben Abdallah

Faculté des Sciences et Techniques

www.fst-usmba.ac.ma



Année Universitaire : 2011-2012



Master Sciences et Techniques : Hydrologie de Surface et Qualité des Eaux

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

***IMPACT DES CHANGEMENTS
CLIMATIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT
DU BASSIN DU TENSIFT***

Présenté par:

BRIDI Karima

Encadré par:

Abdallah DRIDRI.FSDM, Fès

Hassane BRIRHET.D.R .P.E , Rabat

**Soutenu Le 25 Juin 2012 devant le jury
composé de:**

**Pr. Abdellah Dridri
Pr. Abderrahim Lahrach
Pr. Hassan Benaabidat
Hassane Brirhet**

**Stage effectué au : Ministère des Mines, de l'Energie,
de l'Eau et de l'environnement, Rabat**

Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de
l'Environnement
Département de l'Eau


المملكة المغربية
ROYAUME DU MAROC



وزارة الطاقة والمعادن والماء والبيئة
فكصاع الماء

du bassin du Tensift

Page 1



Je dédie ce travail à :

A ceux qui m'ont donné leurs vies pour la seule

Raison de me voir heureuses dans ma vie

« Mes PARENTS »

A ceux qui m'ont donné l'exemple pour continuer

Mon parcours avec vivacité et ambition

« Mes profs »

A tous les membres de la FEST

A toute la famille BRIDI et FERTAT

« A mes amis »

A tous ceux qui me sont chers

MERCI BEAUCOUP

BRIDI Karima

REMERCIEMENT

D'abord je tiens à remercier chaleureusement mes parents et frères pour leur soutien moral et matériel et pour tous ce qu'ils ont fait pour mon éducation et ma formation aussi bien scolaire qu'universitaire.

Je tiens à adresser mes sincères remerciements à tous les enseignements du Master Hydrologie de Surface et Qualité des Eaux de la faculté des sciences de Fès et particulièrement à mon encadrant, **Mr. DRIDRI Abdallah** qui m'a donné de précieux conseils tout au long de ce stage. Sa disponibilité, sa patience et le partage de ses connaissances m'ont permis d'étudier dans des voies de recherche particulièrement intéressantes pour ce sujet.

J'exprime ma profonde gratitude à **Mr BRIREHT Hassan**, mon encadrant au département de l'eau-Ministère des Mines, de l'Energie de l'Eau et de l'Environnement à Rabat, pour son soutien, son aide et ses conseils durant la période du stage

Je tiens à remercier **Mr. BABQIQI Abdelaziz** qui m'a accueilli au sein l'Observatoire Régional de l'Environnement et du Développement Durable

Et toutes les personnes du Département de l'Eau que j'ai eu la chance de rencontrer : **Mr A.BENABDELFADEL**, **Mlle S.MOUTAOUAKKIL** et **Mme M.El MECHTALI**; qu'ils trouvent ici l'expression de mes grâtes et reconnaissances.

Je prends aussi un réel plaisir à remercier chaleureusement **Mr ELFAKIRI.M**, **Mr HIYANI.A** et **Mr SAMIH.N** pour leur aide, leur soutien moral permanent, encouragement incessant.

Enfin, je tiens à adresser mes vifs remerciements à **BOUAYAD.N**

Sommaire

RESUME.....	9
1- Les changements climatiques au niveau international	12
1-1- Les changements climatiques récents	12
1-2- Les facteurs naturels et anthropiques du changement climatique	12
2- Les changements climatiques au niveau national.....	13
3- Engagement du Maroc.....	14
CHAPITRE I.....	16
PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE.....	16
1- Localisation géographique et administrative.....	16
1-1- Situation géographique	16
1-2- Situation administrative	17
2- Description de la zone d'étude	18
2-1- Milieu physique	18
2-1-1. Géologie	18
2-1-2. Climat	20
2-1-3. Ressource en eau	21
2-2- Milieu biologique	25
2-2-1. La flore	25
2-3- Milieu Humain	26
2-3-1. Population	26
2-4- Activités socio- économiques	27
CHAPITRE II.....	30
ETUDE DE L'EVOLUTION DU CLIMAT RECENT DU BASSIN VERSANT DU TENSIFT	30
1- Caractérisation climatologique de la zone d'étude.....	30
1-1- Indice Xérothermique de Gaussen	30
1-2- Indice d'aridité de Du Martonne	33
1-3- Indice de Paul Moral	35
2- Etude de l'évolution des facteurs climatiques du Tensift.....	36
2-1- Température	36
2-2- La pluviométrie	38
2-3- Débit	41
2-3-1 Débit moyen annuel	41
2-3-2 Corrélation pluie -débit	413

CHAPITRE III	46
INDICATEURS DE CHANGEMENT CLIMATIQUE RELATIFS AUX PARAMETRES THERMIQUES, PLUVIOMETRIQUES ET HYDROLOGIQUES.....	46
1- Indicateurs de changement climatique relatifs aux paramètres thermiques	46
1-1- Indice de froid ID15	46
1-2- Nombre de jours chauds : Indice SU35	46
2- Indicateurs de changement climatique relatifs aux paramètres pluviométriques	47
2-1- Indice de l'écart à la moyenne	47
2-2- Rapport à la normale (RN)	50
3-1- Indice d'hydraulicité.....	53
CHAPITRE VI.....	56
LES PROJECTIONS FUTURES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES AVEC SDSM.....	56
1- Présentation général du modèle « SDSM »	56
1-1- Source de données	58
1-2- Description des scénarios de changements climatiques	59
2- Les principales étapes pour la production des scenarios de changements climatiques	60
2-1- Contrôle des données et transformations	61
2-2-Screening des prédicteurs	61
2-3- Calibration du modèle	61
2-4- Génération des scénarios de changements climatiques A2 et B2 à haute résolution . 62	
3- Evolution du climat futur à Marrakech (2011 - 2099)	63
3-1- Tendence des précipitations annuelles	63
3-2- Tendence des températures moyennes annuelles	64
4- Interprétation des résultats	66
CHAPITRE V	68
ETUDE D'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT	68
1-1- Définition	68
1-2- Identification et évaluation des impacts	68
1-3- Méthodologie	68
1-4- Evaluation des impacts	69
CONCLUSION	77
PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCEUIL	79
1- Département de l'eau - Ministère des Mines, de l'Energie de l'Eau et de l'Environnement	79

2- Les missions principales du Département de l'Eau.....	79
3- La structure et les attributions de Département de l'Eau :	79
4- La Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau.....	80

Liste des figures

Figure 1 : Evolution du climat semi-aride vers le nord du Maroc (GIEC 2007)	144
Figure 2: Situation géographique du bassin versant du Tensift.....	166
Figure 3 : Situation géographique du bassin versant du Tensift	17
Figure 4 :Découpage administratif et quelques centres et villes de bassin du Tensift.....	18
Figure 5 : Carte géologique de bassin versant du Tensift	20
Figure 6 : Carte des nappes du bassin hydraulique du Tensift.....	23
Figure 7: réseau hydrographique du bassin hydraulique du Tensift.....	24
Figure 8 : Végétations de la zone d'étude.....	25
Figure 9 : Faune de la zone d'étude	26
Figure 10: Carte de la population du bassin du Tensift en 2004.....	27
Figure 11: Diagramme Ombrothermique de la station de Marrakech	32
Figure 12 : Diagramme Ombrothermique de la station de Sidi Rahal	32
Figure 13 : Diagramme Ombrothermique de la station de Lalla Takerkoust.....	33
Figure 14: Evolution de l'indice d'aridité mensuel au niveau du Tensift	35
Figure 15: Evolution de la température moyenne annuelle de la station de Marrakech période (1961/2010).....	37
Figure 16 : Evolution de la température moyenne annuelle de la station de Sidi Rahal (1983/2010) .	38
Figure 17 : Evolution de la température moyenne annuelle de la station de Lalla Takerkoust (1983/2010).....	39
Figure 18 : Evolution de la température maxima, minima et moyenne annuelle de Marrakech.....	39
Figure 19 : Evolution des précipitations annuelles de la station de Marrakech	39
Figure 20 : Evolution des précipitations annuelles de la station d' Abadla (1969-2010).....	390
Figure 21 : Evolution des précipitations annuelles de la station de Taferiat (1988-2010)	400
Figure 22 : Evolution des précipitations annuelles de la station de Talmest (1985-2010)	400
Figure 23 : Evolution des débits moyens annuels au niveau de la station de Sidi Rahal (1964/2010)	411
Figure 24 : Evolution des débits moyens annuels au niveau de la station d'Abadla (1969/2010)	422
Figure 25 : Evolution des débits moyens annuels au niveau de la station de Talmest (1985/2010) ..	422
Figure 26 : Evolution des débits moyens annuels au niveau de la station de Taferiat (1987/2010) .	433
Figure 27 : Corrélatio pluie-débit de station de Talmest(1985-2010).....	464
Figure 28 : Corrélatio pluie-débit de station de Taferiat(1987-2010).....	44
Figure 29 : Corrélatio pluie-débit de station de Sidi Rahal(1969-2010).....	44
Figure 30 : Corrélatio pluie-débit de station d'Abadla(1967-2010)	44
Figure 31 : Evolution de nombre total de jours frais à Marrakech (1961-2010).....	466
Figure 32 : Evolution De nombre de jours chauds à Marrakech (1961– 2007).....	477
Figure 33 : Evolution de l'écart la moyenne de la station de Taferiat (1988/2010).....	49
Figure 34 : Evolution de l'écart à la moyenne de la station de Talmest, (1985 :2010)	49
Figure 35 : Evolution de l'écart à la moyenne de la station 'Abadla(1961/2010).....	49

Figure 36 : Evolution de l'écart à la moyenne de la station de Marrakech (1961/2010).....	49
Figure 37 : Evolution de l'écart à la moyenne de la station de Sidi Rahal.....	50
Figure 38 : Evolution du rapport à la normal de la station de Talmest (1985-2010)	512
Figure 39 : Evolution du rapport à la normale de la station De Sidi Rahal (1969/2010).....	52
Figure 40 : Evolution du rapport à la normale de la station De Sidi Rahal (1969/2010).....	522
Figure 41 : Evolution du rapport à la normale de la station de Taferiat (1988/2010).....	52
Figure 42 : Evolution du rapport à la normale de la station de Marrakech,(1961/2010) . Erreur ! Signet non défini.	
Figure 43 : Evolution de l'indice d'hydraulicité de la station d'Abadla (1969/2010).....	54
Figure 44 : Evolution de l'indice d'hydraulicité de la station de Talmest (985/2010)	544
Figure 45 : Evolution de l'indice d'hydraulicité de la station de Sidi Rahal (1988/2010).....	54
Figure 46 : Evolution de l'indice d'hydraulicité de la station de Tafériat (1988/2010).....	544
Figure 47 : Page d'accueil du modèle SDSM	56
Figure 48 : Les principales étapes pour la production des scénarios de changements climatiques...	611
Figure 49 : Interface du SDSM	622
Figure 50 : tendance des précipitations annuelles prévues par le scénario A2 pour la période 2012-2099.....	633
Figure 51 : Tendance des précipitations annuelles prévues par le scénario B2 pour la période 2012-2099.....	644
Figure 52 : Tendance de la température moyenne annuelle prévue par le scénario B2 pour la période 2011- 2099.....	655
Figure 53 : Tendance des températures moyennes annuelles prévues par le scénario A2 pour la période 2011- 2099	65
Figure 54: Critères d'évaluation d'impact des changements climatiques	69
Figure 55 : Cartes des zones plus infectées par changement climatiques sur l'agriculture	711

Liste des tableaux

Tableau 1: Evolution de la population du Tensift	266
Tableau 2: Répartition de la superficie agricole du Tensift.....	28
Tableau 3 :Coordonnées spatiales des stations climatologiques du Tensift.....	30
Tableau 4 : Précipitation moyenne mensuelle et température moyenne mensuelle	31
Tableau 5 : Précipitation moyenne mensuelle et température moyenne mensuelle de Sidi Rahal et Lalla Takerkoust.....	311
Tableau 6 :Indice d'aridité annuel des trois stations :Marrakech, Sidi Rahal et Lalla Takerkoust.....	333
Tableau 7 : Indice d'aridité mensuelle des trois stations : Marrakech, Sidi Rahal et Lalla Takerkoust	344
Tableau 8 :Indice de Paul Moral des trois stations : Marrakech, Sidi Rahal et Lalla Takerkoust	355
Tableau 9 :les variables prédictives et prédicants utilisés dans le modèle statistique de réduction d'échelle	588
Tableau 10: Températures moyennes annuelles prévues pour les 2012-2055et 2055-2099	666
Tableau 11 : les moyennes de la hausse des températures pour les horizons 2012-2055 et 2055/2099	666
Tableau 12 : précipitations annuelles prévues pour les 2012-2055 et 2055-2099	666

Tableau 13 : les moyennes de la baisse des précipitations pour les horizons 2012-2055 et 2055/2099	666
Tableau 14 Matrice de l'évolution des impacts prévisionnels.. Erreur ! Signet non défini.	45
Tableau 15 Mesures d'atténuation des changements climatiques	75
Tableau 16 Mesures d'adaptation des changements climatiques.....	766

Liste des abréviations

CCIS	: Scénarios Canadiens de Répercussions Climatiques
D.E	: Département de l'eau.
<i>D.R.P.E</i>	: <i>La Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau</i>
EIE	: Etude d'Impact sur l'Environnement
GES	: Gaz à Effet de Serre
GIEC	: Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat.
NCAR	: Centre national de recherche atmosphérique
NCEP	: Centres nationaux de prévision environnementale
P.D.A.I.R.E	: Plan Direction de l'Aménagement Intégré des Ressource en Eau
SEE	: Secrétariat de l'eau et de l'Environnement.
SDSM	: Statistical DownScaling Model

RESUME

Le changement climatique est l'un des défis les plus complexes du 21ème siècle. Aucun pays n'est à l'abri de ses effets et aucun pays ne peut, seul, faire face aux décisions politiques controversées, aux profondes transformations technologiques et autres enjeux indissociables et lourdes de conséquences à l'échelle de la planète.

Le sujet qui que j'ai été confié se résume comme suit : l'impact des changements climatiques sur l'environnement du Tensift. Concrètement, ma mission se décompose en cinq grandes phases :

La première phase consiste à déterminer les caractéristiques climatologiques du bassin du Tensift par le calcul de différentes indices (Indice de Du Martonne, Indice de Paul Moral et Indice Xérothermique de Gaussen), montre que le bassin versant du Tensift se caractérise par un climat aride à semi-aride.

La seconde phase consiste à étudier l'évolution des facteurs climatologiques (température moyenne annuelle et précipitations annuelles) et hydrologiques (débit moyen annuelle), qui nous a permis de constater la variabilité et l'irrégularité de ces facteurs. L'analyse de l'évolution des températures montre une tendance vers l'augmentation de ces dernières, une tendance vers la baisse des précipitations et des débits

La troisième phase consiste à confirmer l'évolution du climat du Tensift vers le réchauffement et vers la sécheresse, en calculant des indicateurs de changement climatique relatifs aux paramètres thermiques, pluviométriques et hydrologiques.

La quatrième phase consiste à produire des projections futures des changements climatiques à l'aide du modèle SDSM par la génération de deux scénarios futurs du climat à Marrakech comme exemple, une qui est pessimiste A2 et une autre qui est optimiste B2 .

la tendance au réchauffement est visible dans les deux cas :

- 0,9 °C (4.5%) à 1 °C (5.02%) à l'horizon 2055
- 2,1°C (10.5%) à 3,2 °C (16.1%) à l'horizon 2099

La tendance au sécheresse est visible aussi dans les deux cas :

- -12,9 mm (- 47 %) à -16,5 mm (-6.03 %) à l'horizon 2055
- -55,1 mm (-20.2%) à -66,4 mm (-24.3%) à l'horizon 2099

La cinquième et la dernière étape consiste à étudier et évaluer l'impact des changements climatiques sur l'environnement de la zone d'étude. Ce réchauffement et cette sécheresse auront des effets dangereux et néfastes sur tous les éléments de l'environnement : dégradation et raréfaction des ressources en eau, diminution de la productivité des cultures et de la productivité animale ..., ce qui entrainera un déséquilibre environnemental et socio-économique de la zone d'étude. Elle consiste aussi à proposer des mesures d'atténuation dont le but de réduire les émissions des GES et des mesures d'adaptation.

Toutes mes tâches et mes missions sont détaillées et commentées par des figures, des tableaux et des schémas.

Mots clé : changement climatique, modèle SDSM, Projection futur, environnement

INTRODUCTION

Depuis des millénaires, le climat de la Terre varie selon les époques et les lieux. Les changements observés s'étalent généralement sur des longues périodes qui atténuent la perception que l'homme peut en avoir à un moment donné. Au cours des dernières décennies cependant, les changements climatiques semblent s'être accélérés. Dans ces conditions, il n'est pas surprenant que le public s'interroge sur la réalité de ces changements, leurs causes, leur devenir et, plus encore, leurs conséquences immédiates et lointaines sur les modes de vie, la santé, les écosystèmes et l'économie.

Le Maroc, à l'instar de l'ensemble des pays de la planète, subit les effets des changements climatiques avec les spécificités que lui confèrent sa position géographique et les particularités de ses écosystèmes. Une diminution au niveau des précipitations qui peut atteindre 20% pour la fin du siècle. L'augmentation au niveau des températures est prévue atteindre 2.5°C à 5.5°C vers la fin du siècle prévoit par le quatrième rapport du GIEC « Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat ».

Ce travail a pour objet de présenter l'impact du changement climatique sur l'environnement du bassin versant du Tensift. La première partie sera consacrée à étudier l'évolution de l'état climatique et hydrologique récent à travers les paramètres, Températures, Précipitations et Débits du bassin versant du Tensift, ainsi que les indicateurs relatifs aux paramètres thermiques, pluviométriques et hydrologiques. En produisant des scénarios de haute résolution dont le but d'analyser l'évolution des projections futurs du climat à l'aide de la méthode statistique appelée « DownScaling ».

Une deuxième partie a pour objectif est analyser spécifiquement le degré d'impact des changements climatiques sur l'environnement (les ressources en eau, l'agriculture, économie,...) du Tensift. En concluant notre travail par citer les mesures d'atténuation et d'adaptation pour lutter contre le réchauffement climatique.

LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES AU NIVEAU NATIONAL ET INTERNATIONAL

1- Les changements climatiques au niveau international

1-1- Les changements climatiques récents

Des progrès ont été réalisés dans la compréhension des changements climatiques à l'échelle spatiale et temporelle, grâce aux améliorations et à l'extension de nombreuses séries de données et des analyses de données, à une couverture géographique plus vaste, à une meilleure compréhension des incertitudes et à une plus grande variété de mesures.

Le réchauffement du système climatique est sans équivoque, car il ressort désormais des observations de l'augmentation des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et de l'océan, de la fonte généralisée des neiges et des glaces, et de l'élévation du niveau moyen mondial de la mer.

Les observations effectuées depuis 1961 montrent que la température moyenne des océans du monde a augmenté jusqu'à des profondeurs d'au moins 3 000 mètres, et que les océans absorbent plus de 80% de la chaleur ajoutée au système climatique. Un tel réchauffement entraîne la dilatation de l'eau de mer, contribuant à la montée du niveau des mers.

Depuis les années 1970, des sécheresses plus sévères et plus longues ont été observées sur de larges étendues, en particulier dans les régions tropicales et subtropicales. Un assèchement accru dû à des températures plus élevées et des précipitations plus faibles a contribué aux modifications des sécheresses. Les modifications des températures de surface des mers, des structures des vents, et la décroissance du pack neigeux et de la couverture neigeuse ont également été associés aux sécheresses. (selon GIEC « Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution climatique »).

1-2- Les facteurs naturels et anthropiques du changement climatique

1-2-1- Les facteurs anthropiques

Les concentrations atmosphériques mondiales de dioxyde de carbone, de méthane et d'oxyde nitreux ont fortement augmenté en conséquence des activités humaines entreprises depuis

1750. Elles dépassent aujourd'hui largement les valeurs préindustrielles déterminées à partir des carottes de glace couvrant plusieurs milliers d'années. L'augmentation mondiale de la concentration en dioxyde de carbone est essentiellement due à l'utilisation des combustibles fossiles et aux changements d'affectation des terres, tandis que la concentration accrue de méthane et d'oxyde nitreux est essentiellement due à l'agriculture.

Le dioxyde de carbone est le plus important gaz à effet de serre d'origine anthropique. La concentration atmosphérique mondiale de dioxyde de carbone a augmenté d'une valeur préindustrielle d'environ 280 ppm à 379 ppm en 2005.

Le rythme d'accroissement annuel de la concentration de dioxyde de carbone a été plus rapide au cours des 10 dernières années (1,9 ppm par an en moyenne pour 1995–2005) que depuis le début des mesures directes atmosphériques continues (1,4 ppm par an en moyenne pour 1960–2005), bien qu'il y ait une variabilité du taux de croissance d'une année sur l'autre.

1-2-2- Les facteurs naturels

Les variations climatiques, courantes, n'ont pas pour seule origine l'espèce humaine. La nature, aussi, a sa responsabilité. Les facteurs naturels les plus importants sont :

L'activité solaire : Elle fluctue en fonction d'un cycle d'une durée d'environ 11 ans qui correspond à celui des taches solaires (régions sur la surface du Soleil marquées par une température inférieure à leur environnement). Plus ces dernières sont nombreuses, et plus le Soleil envoie de l'énergie sur Terre. Un changement de température s'y produit alors. Ce phénomène semble toutefois avoir des effets plutôt limités sur le changement climatique comparé à l'activité anthropique.

L'activité volcanique : De violentes éruptions volcaniques ont probablement eu d'importants effets sur le climat à l'ère préhistorique

Les causes astronomiques : De légères modifications de la trajectoire de la Terre autour du Soleil pourraient être à l'origine des nombreuses périodes glaciaires qui ont marqué son histoire.

2- Les changements climatiques au niveau national

De part sa position géographique particulière, le Maroc est un des pays les plus vulnérables aux changements climatiques dans le monde. Son littoral de 3500 KM, sur lequel sont installés 80% des infrastructures industrielles et énergétiques, peut devenir un grave handicap

en cas de remontée du niveau des mers. La sécheresse, devenue récurrente durant les dernières décennies, risque de devenir structurel. Dans un pays où l'agriculture emploie 40% de la population active, on a de sérieux soucis à se faire. Ajoutez à cela une désertification et une déforestation accentuées, une pollution des nappes phréatiques et l'extermination de dizaines d'espèces animales et végétales.

Les analyses météorologiques au Maroc confirment une augmentation de la température de 0,16°C par décennie, une diminution de la durée des vagues de froid de 11 jours en 45 ans, et une augmentation des vagues de chaleur, en nombre et en durée. Les précipitations se concentrent de plus en plus d'un an, et sont généralement suivies par 3 ou 4 ans de relative sécheresse.

Mais à quel point le Maroc contribue-t-il au réchauffement climatique? Par définition, toute activité humaine émet du CO₂. Un bilan des émissions carboniques réalisé a permis d'établir que le marocain émettait en moyenne 54,6 millions de tonnes-équivalent CO₂ en 1999, 63.4 millions de tonnes-équivalent CO₂ en 2000, représentant 2,1 tonne-équivalent CO₂ par habitant et par an et 75 millions de tonnes-équivalent CO₂ en 2004, représentant 2,5 tonne-équivalent CO₂ par habitant et par an.

Les observations climatiques sur les dernières décennies attestent de la progression du climat semi-aride vers le Nord du pays.

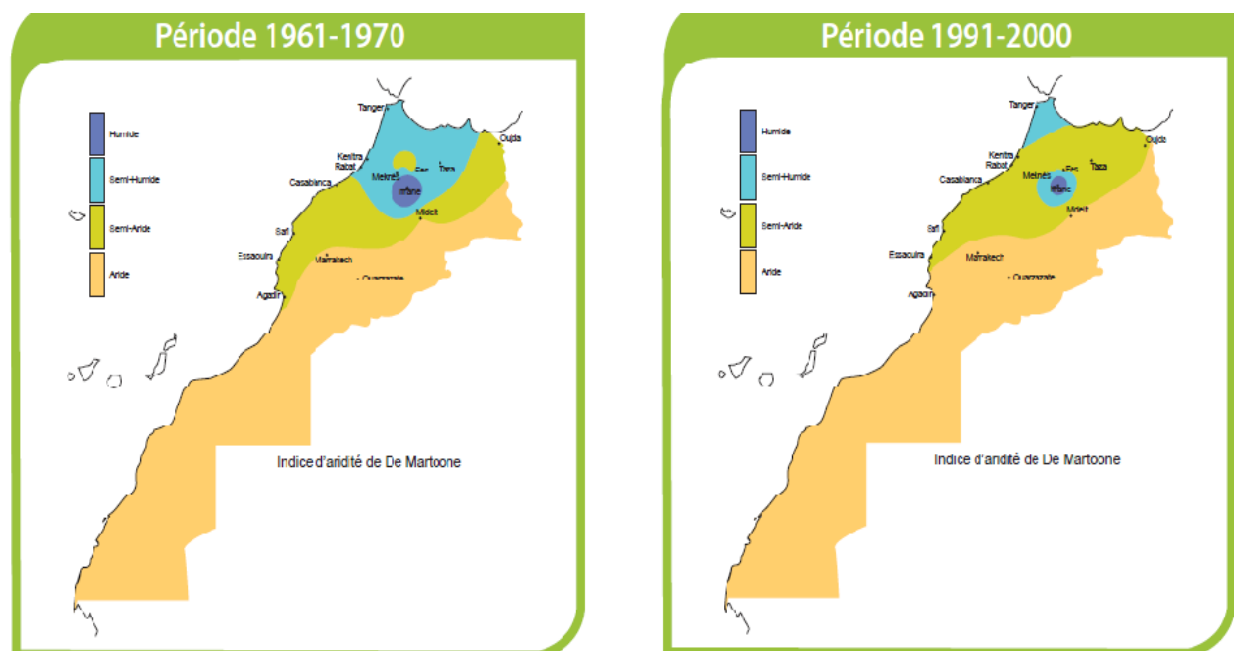


Figure 1 : Evolution du climat semi-aride vers le nord du Maroc (GIEC 2007)

3- Engagement du Maroc

Le Maroc a signé la Convention Cadre sur les Changements Climatiques au Sommet de Rio en 1992, et l'a ratifiée le 28 décembre 1995. Il a également ratifié le Protocole du Kyoto le 25 janvier 2002.

Le vendredi 05 décembre 2008, le pacte d'actionnaires du Fonds Capital Carbone Maroc (FCCM) a été lancé. Cette convention a pour mission de contribuer au développement de projets marocains se rattachant à la mise en œuvre du Protocole de Kyoto sur les changements climatiques et entrant dans le cadre du Mécanisme pour un Développement Propre (MDP).

Dans le cadre du respect de ses engagements en tant que Partie à la Convention Cadre sur les Changements Climatiques, le Maroc a déjà établi un inventaire national des sources d'émission et des puits des gaz à effet de serre pour l'année de référence 1994 selon la version 1996 révisée de la méthodologie du GIEC (Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat). Il en ressort que ses émissions ne dépassent pas 1.22 tonnes de CO2 par habitant et par an.

Malgré sa contribution très peu significative aux émissions mondiales globales, le Maroc s'efforce de mener une politique environnementale et énergétique vigoureuse basée avant tout sur la sensibilisation du public ainsi que sur la mise en place d'un arsenal juridique et réglementaire adéquat.

CHAPITRE I

PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE

1- Localisation géographique et administrative

1-1- Situation géographique

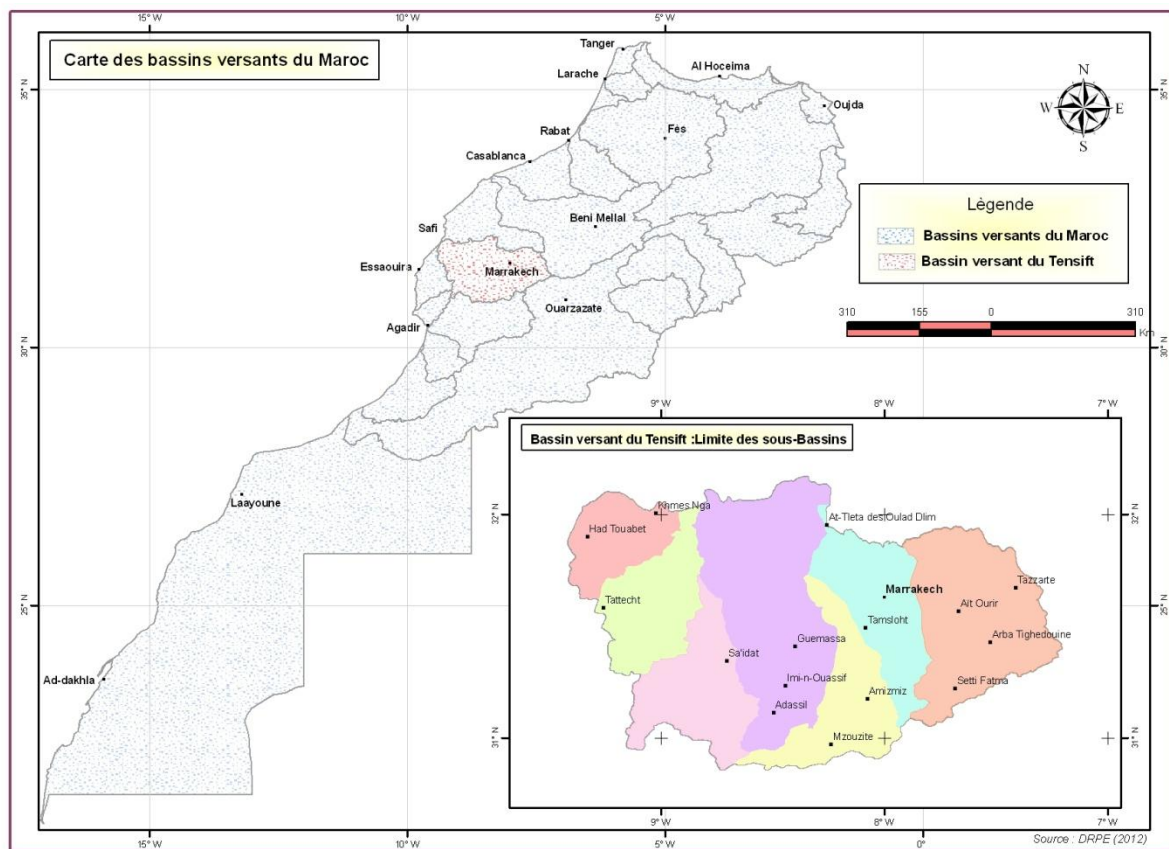


Figure 2: Situation géographique du bassin versant du Tensift

Le bassin du Tensift, situé au centre Ouest du Maroc, s'étend sur le Haouz de Marrakech et une partie des montagnes du Haut Atlas, sur une superficie de 19 800 Km². L'oued Tensift s'écoule d'Est en Ouest de sa source, à une altitude de 550 NGM, à l'embouchure dans l'Océan Atlantique, sur une longueur de 260 km.

Le bassin hydraulique du Tensift est constitué des sous bassins de l'oued ZAT-R'DAT, sous bassin intermédiaire entre les oueds N'FIS-ZAT, sous bassin d'oued N'FIS, sous bassin

d'Essaouira et partiellement les provinces d'El Kalaâ des Sraghna et de Rhamna et de Safi.(figure 4) (P.D.A.I.R.E,2009)

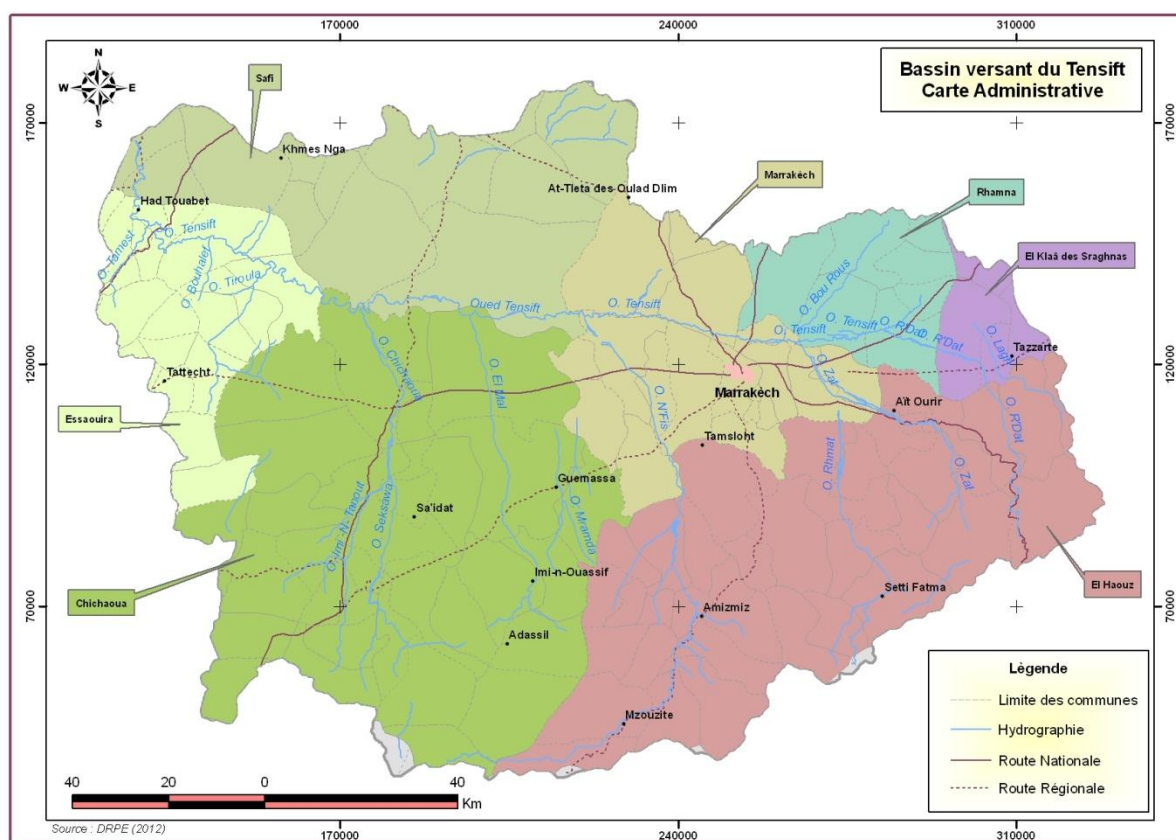


Figure 4 :Découpage administratif et quelques centres et villes de bassin du Tensift

2- Description de la zone d'étude

2-1- Milieu physique

2-1-1. Géologie

Le cadre géologique du bassin du Tensift s'articule sur l'organisation du socle primaire, affleurant dans le Haut Atlas, les Jbilet et les Rehamna, qui se sont structurés au cours des temps géologiques sous l'effet de l'évolution des champs de contraintes, des phases de surrections et d'effondrements, et des époques d'érosion et de sédimentation (Ambroggi & Thuile, 1952). La zone d'étude s'étend sur les unités géographiques suivantes :

Plateau des Gantour et plaine de la Bahira occidentale : la zone des Gantour se présente sous forme d'un plateau monoclinale à pendage sud plongeant des Rehamna vers les Jbilet. La Bahira occidentale se présente sous forme d'une dépression synclinale enserrée entre les Rehamna au Nord et les Jbilet au Sud. Le socle primaire est recouvertes par des formations de

couvertures triasiques, crétacées et éocènes, antérieures aux premiers mouvements atlasiques ; ces formations affleurent au Nord, s'enfoncent sous la plaine vers le Sud et se terminent en biseau au Sud contre le socle paléozoïque. (Problématique des rejets liquides au niveau de la région du Tensift. Mémoire de stage de fin d'étude, Master sciences et techniques Eau et Environnement. FSTG de Marrakech. .2010-2011)

Jbilet et Mouissate : les Jbilet sont des formations paléozoïques comportant de puissantes séries de calcaires, schistes et grès. Les Jbilet s'étirent à l'affleurement selon une direction Est-Ouest, perpendiculaire aux orientations hercyniennes dont les effets se matérialisent par une segmentation de cette structure. Les Mouissate sont complètement formés par les formations du jurassique supérieur, transgressif sur le paléozoïque ou le stéphano-trias de l'extrémité occidentale des Jbilet. (Problématique des rejets liquides au niveau de la région du Tensift. Mémoire de stage de fin d'étude, Master sciences et techniques Eau et Environnement. FSTG de Marrakech. .2010-2011)

Bassin du Haouz et plaine de Mejjat : le Haouz correspond à un bassin de subsidence d'origine tectonique dans lequel se sont accumulées au Néogène et au Quaternaire d'importantes formations détritiques issues du démantèlement de la chaîne atlasique au cours de son soulèvement. La plaine de Mejjat, comparable dans sa genèse à celle du Haouz, se distingue par la présence de terrains (Problématique des rejets liquides au niveau de la région du Tensift. Mémoire de stage de fin d'étude, Master sciences et techniques Eau et Environnement. FSTG de Marrakech. .2010-2011)

Bassin d'Essaouira – Chichaoua et zone Côtière d'Essaouira : fait partie du grand bassin côtier du Sud-Ouest marocain, s'étendant entre El Jadida au Nord et Agadir au Sud. La partie Sud de ce bassin, comprise entre l'oued Tensift et la plaine du Souss, correspond au Haut Atlas occidental. Les terrains à l'affleurement sont dominés par les formations du Crétacé dont les structures de surface reflètent l'empreinte de l'orogénèse atlasique ; la zone côtière et la partie orientale du bassin sont couvertes par des dépôts du Néogène et du Pléistocène. Le socle paléozoïque, profondément enfoui sous une épaisse série mésozoïque, affleure largement à l'est du bassin, au niveau du Jbilet et du massif ancien du Haut Atlas. (Problématique des rejets liquides au niveau de la région du Tensift. Mémoire de stage de fin d'étude, Master sciences et techniques Eau et Environnement. FSTG de Marrakech. .2010-2011)

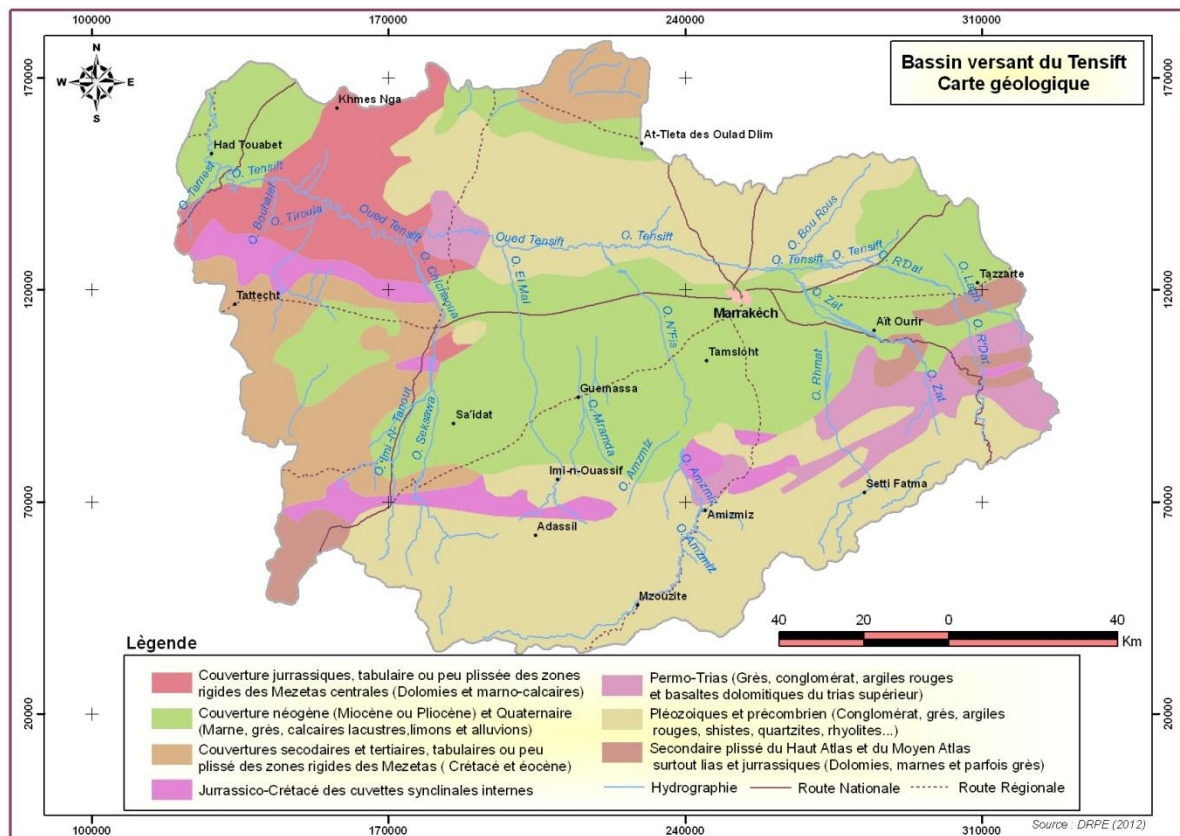


Figure 5 : Carte géologique de bassin versant du Tensift

2-1-2. Climat

▪ Précipitation

Le climat de la région se distingue par une variabilité apparente tant au point de vue température et humidité que de point de vue pluviométrie (faible et irrégulière). Il reste soumis aux influences de l'Océan Atlantique et aux altitudes très élevées du Haut Atlas (Problématique des rejets liquides au niveau de la région du Tensift. Mémoire de stage de fin d'étude, Master sciences et techniques Eau et Environnement. FSTG de Marrakech. .2010-2011)

▪ Températures

Les températures moyennes mensuelles varient entre 17°C et 20°C. Les mois les plus chauds sont généralement Juillet et Août (25,5°C à 29°C sur l'Atlas et dans la plaine du Haouz et 19°C à 24°C dans les zones côtières). Le mois le plus froid est Janvier (12°C sur l'Atlas et dans la plaine du Haouz et 13 à 14,5°C dans les zones côtières).

▪ Evaporation

L'évaporation moyenne annuelle varie de 1 800 mm sur le versant atlasique à 2 600 mm dans la plaine du Haouz. Elle est minimale pendant le mois de Janvier et maximale pendant la saison d'été.

▪ Vents

La région est dominée par deux types de vent : le Chergui soufflant de l'Est et le vent du Sud qui chaud et sec et le Gharbi, humide et porteur de pluie, soufflant de l'Ouest

2-1-3. Ressource en eau

Les ressources en eau dans le bassin hydraulique du Tensift Al-Haouz sont inégalement réparties. Les oueds les plus importants prennent tous naissance dans le Haut Atlas. Sur ce relief montagneux à structures et natures géologiques hétérogènes, se produisent des ruissellements à caractères torrentiel, collectés par le Tensift qui les évacue à l'Océan, Les principales nappes sont celles du Haouz, du Mejjat, de la Bahira et du bassin d'Essaouira-Kourimate (P.D.A.I.R.E, 2009)

2-1-3-1. Eaux souterraines

La diversité de la géologie du bassin versant de Tensift, l'inégalité répartition géographique de la pluviométrie et la répartition des eaux de surface sont à l'origine de l'inégale répartition géographique des eaux souterraines Les unités hydrogéologiques, d'extension notable, sont comprises dans la couverture sédimentaire qui s'étend sous les zones de plaines et de plateaux. Les principales nappes sont celles du Haouz, du Mejjat, de la Bahira et du bassin d'Essaouira-Kourimate (P.D.A.I.R.E,2009).

➤ **Nappe de la Bahira**

La Bahira est un aquifère multicouche situé à une trentaine de kilomètres au Nord de Marrakech, renfermant plusieurs nappes souterraines dont les principales sont :

- La nappe phréatique de remplissage plio-quadernaire.
- La nappe des calcaires lutétiens.
- La nappe de la formation marno-schisteuse de l'Yprésien supérieur et du Lutétien inférieur.
- La nappe des niveaux phosphatés crétaés et paléocènes.

Allongée d'Est en Ouest, la plaine de la Bahira s'étend sur une superficie d'environ 5 000 km².

Les infiltrations directes des eaux pluviales et l'infiltration des ruissellements provenant des Jbilet constituent la principale composante de la recharge naturelle du système aquifère de la Bahira.

➤ **La nappe du Haouz**

La nappe du Haouz s'étendant sur une superficie d'environ 6 000 km², est limitée par la chaîne du Haut Atlas au Sud, les chaînons des Jbilet au Nord, les premiers versants du moyen Atlas à l'Est et La province de Chichaoua à l'Ouest.

L'alimentation de la nappe du Haouz est assurée par l'infiltration des eaux de crues des oueds atlasiques traversant la plaine et par le retour des eaux d'irrigation. L'écoulement général de la nappe se fait du Sud vers le Nord, pour être drainée par l'oued Tensift (P.D.A.I.R.E, 2009)

➤ **La nappe de Mejjat**

D'une superficie de 1 000 km² environ, la plaine du Mejjat est limitée au Nord par l'oued Tensift et au Sud par le Haut Atlas. Elle renferme deux aquifères : la nappe phréatique plio-quaternaire et la nappe éocénocène.

Les principales alimentations de ce système proviennent des infiltrations directes des eaux de pluie sur les aires d'affleurement et des eaux de crue des oueds Imintanout et Ameznas. L'écoulement de l'eau, de direction Sud-Ouest à Nord-Est, donnent naissance aux principales sources de l'oued Chichaoua et contribue à l'alimentation par infiltration de la nappe phréatique de Mejjat (P.D.A.I.R.E, 2009)

➤ **La nappe de Meskala-Kourimate**

S'étendant sur une superficie de l'ordre de 1 600 km², est constituée de deux aquifères superposés, l'un circulant dans les calcaires de l'Eocène, et l'autre dans des terrains dolomitiques du Crétacé d'une superficie respectivement de 100 et 1 600 km². La recharge de ce système se fait par infiltration directe des eaux de pluie et de ruissellement sur les aires d'affleurement (P.D.A.I.R.E, 2009)

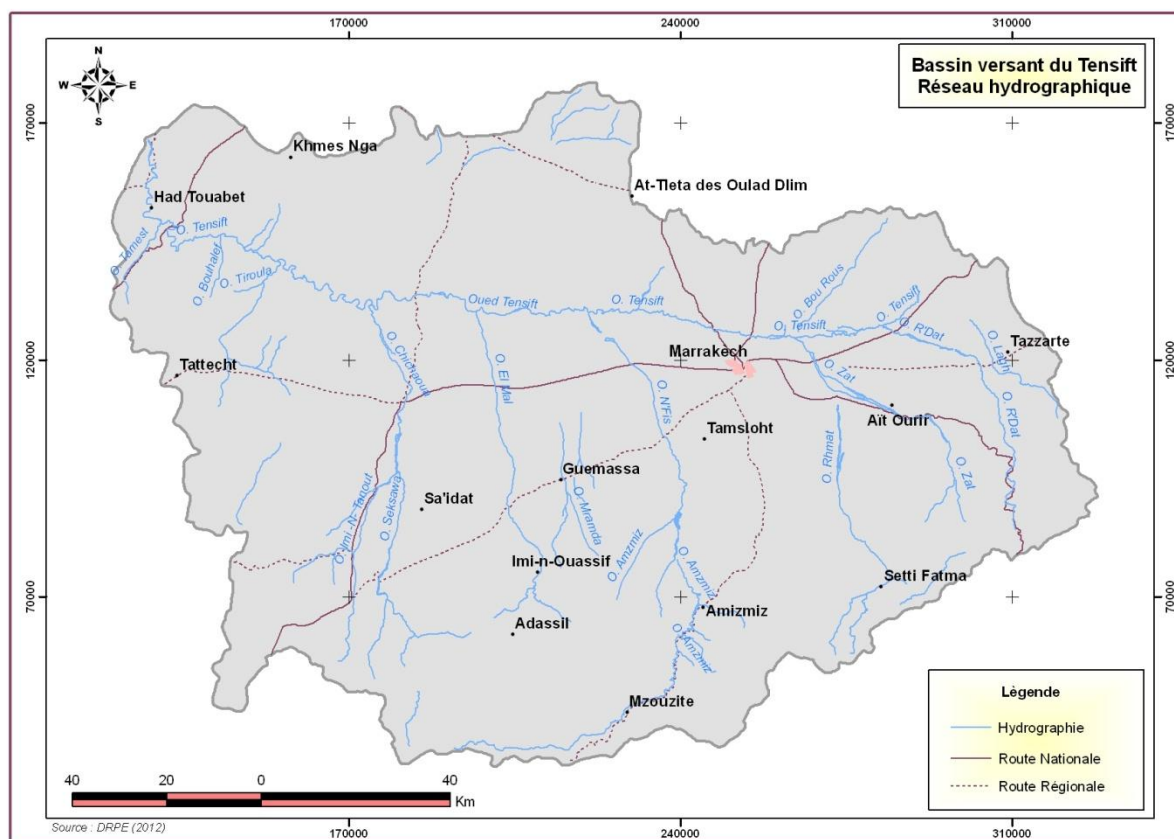


Figure 7: réseau hydrographique du bassin hydraulique du Tensift

Le réseau hydrographique du bassin comporte principalement l'Oued Tensift, qui s'écoule d'Est en Ouest de sa source, à l'embouchure dans l'Océan Atlantique. Cet oued draine, par ses affluents rive gauche, les trois quarts du massif ancien du Haut Atlas. Ces affluents, installés sur un relief montagneux à structure et nature géologique hétérogène, ont des caractères torrentiels. L'aire du bassin peut être subdivisée en deux zones (P.D.A.I.R.E, 2009) : La zone du cours amont du Tensift et ses affluents de la rive gauche, s'étendant sur une superficie de 11 900 Km², constituent un château d'eau efficace pour l'écoulement de surface. C'est la partie hydrologique active du bassin.

La zone du bas Tensift qui englobe le cours aval de l'oued Tensift et le bassin de l'Oued Chichaoua. Elle s'étend sur une superficie de 7 900 Km². Les principaux affluents de l'oued Tensift sont localisés dans le Haouz, essentiellement situés à la rive gauche, et prennent naissance à partir du Haut Atlas. Ceux contribuant aux écoulements de surface de Tensift sont principalement : Oued Ghdat, Oued Zat, Oued Ghmat, Oued N'fis, Oued Reraya, Assif El Mal, Oued Chichaoua, Oued Tiroula et Oued Talmest. Le régime d'écoulement de Tensift est irrégulier. Il est fonction de la pluviométrie dans le bassin, et de la fonte des neiges sur le Haut Atlas.

En outre, le bassin bénéficie d'un transfert de l'ordre de 300 Mm³/an à partir du bassin de l'Oum Er Rbia, via le canal de Rocade, destiné à l'alimentation en eau de la ville de Marrakech et à l'irrigation dans le Haouz central.

2-2- Milieu biologique

2-2-1. La flore

En plus des cultures des arbres fruitiers cultivés ou reboisés (Oliviers, palmiers, Arganiers ...) et des cultures des arbustes et des herbacés habituel (céréales, légumineuses ...).

- **l'étage de végétation méditerranéen aride climacique** (considéré comme l'état d'équilibre final en fonction des conditions de sol et de climat en l'absence de modifications humaines) caractérisé par le jujubier, le pistachier de l'atlas *l'Acacia Gummiifera* et *Argania Spinosa*. Il se présente sous la forme de fourrés épineux discontinus. On ne retrouve plus cette végétation naturelle que de place en place, celle-ci ayant été arrachée pour les besoins de l'agriculture et des activités humaines,
- **l'étage de végétation semi-aride** avec le palmier nain,
- **la couverture forestière** à base d'oléastres mélangés à des lentisques, avec par place, des thuyas,
- **les bas-fonds marécageux**: joncs, peupliers et tamaris.
- **Les Arganiers**



Figure 8 : Végétations de la zone d'étude

La faune de la zone d'étude est caractérisée par la présence des oiseaux : Piégeons, Traquet, Rubiettes, aussi elle est caractérisée par la présence du faune sauvage comme les insectes, petits rongeurs (gerbille), hyènes, scorpions et vipères des sables



Piégeons



Rubiette



Traquet

Figure 9 : Faune de la zone d'étude

2-3- Milieu Humain

2-3-1. Population

Le tableau 1 présente l'évolution de la population du Tensift pour chaque préfecture/province. Il montre que la population urbaine de la zone d'étude Tensift passerait de 2 863 351 en 1994 à 4 121 279 en 2020, soit une augmentation de 43,9 %.

Tableau 1: Evolution de la population du Tensift

Provinces	Population		TAMA	Population projetée			
	1994	2004		%	2005	2010	2015
MARRAKECH	861 205	1 070 838	2,4	1 096 904	1 237 067	1 395 140	1 573 411
AL HAOUZ	435 090	484 312	1,1	489 791	518 130	548 109	579 823
CHICHAOUA	311 800	339 818	0,9	342 872	358 556	374 958	392 110
ESSAOUIRA	433 681	452 979	0,4	454 995	465 208	475 651	486 329
SAFI	139 061	158 015	1,4	160 169	171 386	183 389	196 232
EL KELAA DES SRAGHNAS	418 268	466 268	1,1	471 619	499 308	528 624	559 660
RHAMNA	264 246	288 437	1	291 078	304 647	318 850	333 715
Total	2 863 351	3 260 667	8	3 307 427	3 554 303	3 824 720	4 121 279

TAMA : Taux d'accroissement moyen annuel

La formule utilisée pour le calcul des projections est la suivante :

$$P_n = P_0 * (1 + T)^{An - A_0} \quad (1)$$

avec :

- Pn, la population projetée
- P0, la population de référence

- T, le TAMA/100
- An, l'année identifiée pour la projection
- A0, l'année de référence

Pour la province de Rhamna nouvellement créée, les données sont générées par ARCGIS. Les communes concernées par le texte sont groupées et rassemblées géographiquement de façon à déduire la nouvelle province avec leurs données respectives (RGPH)

2-4- Activités socio- économiques

2-4-1. Agriculture

L'agriculture représente le secteur clef de l'économie régionale, elle occupe plus de 50% de la population active la superficie agricole utile s'étend sur 1,4 millions d'hectares répartie comme suit :

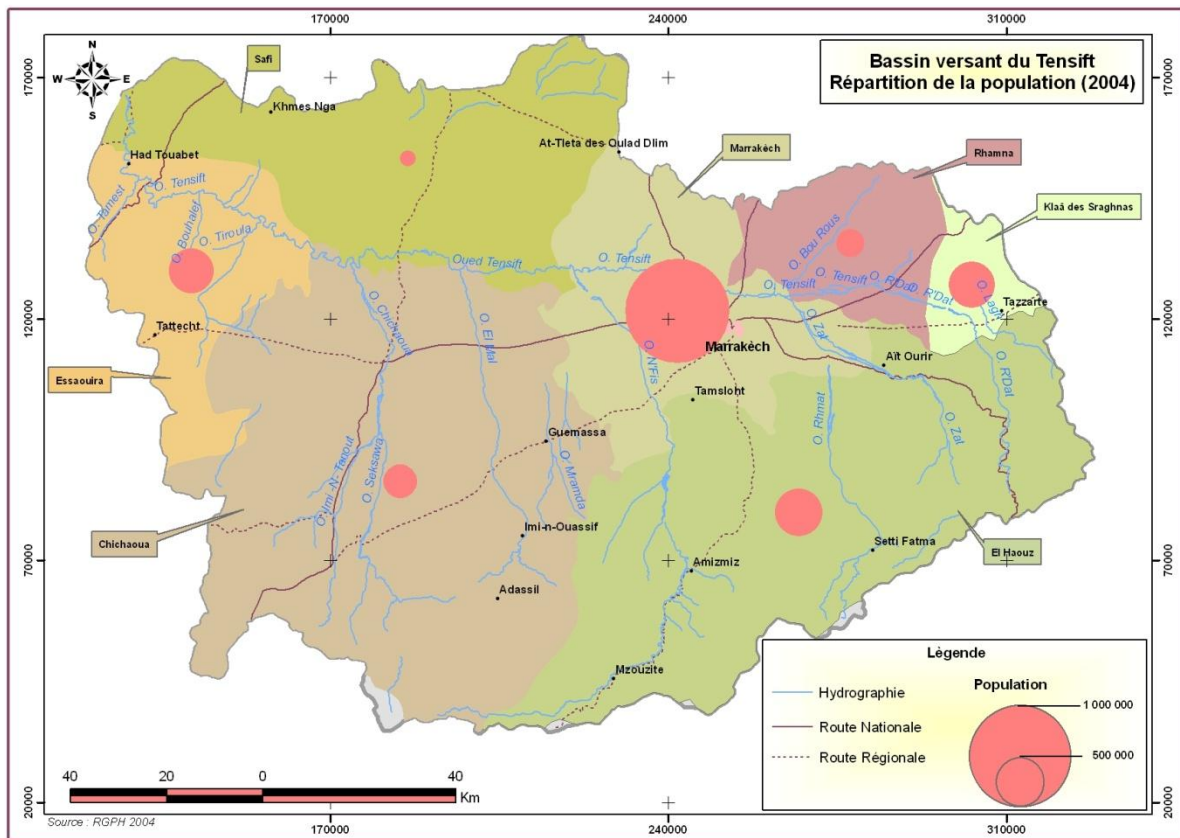


Figure 10: Carte de la population du bassin du Tensift en 2004

Tableau 2: Répartition de la superficie agricole du Tensift

	<i>Superficie (ha)</i>
<i>Superficie agricole utile (SAU)</i>	1 440 000
<i>Bour</i>	1 080 000
<i>Irrigué</i>	360 000
<i>Parcours</i>	1070 000
<i>Forêts</i>	630 000

Les céréales et l'olivier sont les deux principales cultures qui occupent la superficie agricole de la région de zone d'étude. L'olivier occupe près de 136.000 ha soit 20% de la superficie nationale, il présente 25% de la production et 75% des exportations nationales des olives

Céréales : 800.000 ha dont 51 000 ha en irrigué avec 10% de la production nationale (1ère région de production au niveau national en 2008/2009).(Direction Régional Agricole Marrakech-El Haouz)

Abricotier : 5.500 ha soit 50% de la superficie nationale et 50% des exportations nationales de conserves

Agrumes : 9 200 ha soit 8% de la superficie nationale

Cactus : 26.000 ha soit 30% de la superficie nationale

Noyer : 2000 ha soit 34% de la noyeraie nationale

Arganier : 136.000 ha soit 20% de l'arganeraie nationale

2-4-2. L'élevage

Il constitue l'une des sources les plus importantes des revenus de la population rurale, la région dispose d'un cheptel important de 194.000 vache vaches laitières avec une production commercialisée de 228.000 tonnes soit 15% ;de la production nationale, les viande rouge présente 3.3 millions de têtes avec une production de 36.000 tonnes soit 8 % de la production nationale et les Viandes blanches qui assurent 62.000 T soit 12% de la production nationale

2-4-3. La pêche

Le secteur de la pêche maritime est concentré dans la province d'Essaouira dont la côte s'entend sur 150 km environ.

Le port d'Essaouira commercialise en toutes saisons une importance diversité de poisson tels que les sardines, les maquereaux, les saules, les anchois, les thonines.

2-4-4. Tourisme

Pole touristique par excellence, la région de la zone d'étude et la ville de Marrakech en particulier, ont connu un essor touristique sans précédent et affiche aujourd'hui les meilleures performances du Royaume. Cela s'explique par le fait que la région dispose des ressources touristique parmi les plus attractives et les plus diversifiées du Maroc. En effet, grâce à son patrimoine naturel et culturel d'exception caractérisé par une grande variété géographique et climatique et un patrimoine culturel la région peut accueillir plusieurs types de tourisme (culturel, montagne, ski, rural).

2-4-5. Industrie

Avec 383 unités en activité, représentant 6% du nombre des entreprises industrielles nationales, la région du Tensift contribue au industrie national de 3% des exportations industrielles, 4% de l'effectif total (1 6560 personnes) et 3% de la production industrielle.

2-4-6. Les routes

Le réseau routier de la Région s'étend sur 4.921 Km dont 758 Km de routes nationales, 767 Km de routes régionales et 3.396 Km de routes provinciales. Ce qui couvre en moyenne 16 Km par 100 Km² et nécessite l'amélioration de l'existant et l'ouverture de nouvelles routes permettant de voyager plus profondément à l'intérieur de la région et toucher les points les plus reculés dans le monde rural et surtout dans les montagnes.

CHAPITRE II

ETUDE DE L'EVOLUTION DU CLIMAT RECENT DU BASSIN VERSANT DU TENSIFT

Données utilisées :

Les données climatiques utilisées sont celles disponibles des stations du bassin Tensift utilisées dans cette étude (La pluviométrie et la température), issues de base de données de Bader 21 (D.R.P.E 2009) et la station météorologique de Marrakech pour étudier la variabilité climatique des stations du bassin versant Tensift.

1- Caractérisation climatologique de la zone d'étude

Les données de températures et de précipitations mesurées au niveau de quelques stations du bassin versant de Tensift : (station de Marrakech, Sidi Rahal et Lalla Takerkoust, nous permettra de caractériser le climat de ce bassin à partir du calcul de quelques indices d'aridité.

Tableau 3 :Coordonnées spatiales des stations climatologiques du Tensift

Station	X (km)	Y (km)
Marrakech	252 765	118 950
Sidi Rahal	303 000	117 700
Lalla Takerkoust	238 850	87550
Talmest	133 800	147 700
Abadla	200 000	129 500
Taferiat	291 250	10700

1-1- Indice Xéothermique de Gaussen

L'indice xéothermique permet de distinguer les périodes sèches des périodes humides. Ainsi une période est considérée comme sèche, lorsque la précipitation moyenne mensuelle (en millimètres) est inférieure ou égale au double de la température moyenne mensuelle.

$P \leq 2T$ (2)

Dans le cas contraire la période est considérée comme humide, par contre lorsque il y'aura égalité ($P = 2T$) les besoins en eau satisfaisante. cet indice est figuré par le diagramme Ombrothermique de Gaussen.

Tableau 4 : Précipitation moyenne mensuelle et température moyenne mensuelle de Marrakech, période (1961-2010)

<i>Mois</i>	<i>P (mm)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>2T (°C)</i>
Janvier	33,7	12,2	24,4
Février	38,8	13,9	27,8
Mars	39,3	16,4	32,8
Avril	35,3	18	36
Mai	19,8	21	42
Juin	5,1	24,4	48,8
Juillet	2,1	28,6	57,2
Aout	3,8	28,3	56,6
Septembre	10	25	50
Octobre	20,8	21,3	42,6
Novembre	37,2	16,4	32,8
Décembre	30,5	12,9	25,8

Tableau 5 : Précipitation moyenne mensuelle et température moyenne mensuelle de Sidi Rahal et Lalla Takerkoust, période (1983-2010)

Mois	Sidi Rahal			Lalla Takerkoust		
	<i>P (mm)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>2T (°C)</i>	<i>P (mm)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>2T (°C)</i>
Janvier	46	12,4	24,8	29,6	11,5	22,9
Février	40,8	14,1	28,1	29,5	13,3	26,7
Mars	41,5	16	34,7	39,8	15,7	31,5
Avril	34,1	17,4	34,8	29,5	16,9	33,7
Mai	23,2	19,9	39,8	16,7	19,7	39,5
Juin	10,1	24,4	48,9	9,3	23,8	47,6
Juillet	1,9	28,8	57,7	2,7	28	56
Août	7	28,2	56,5	4,6	27,2	54,5
Septembre	11,1	25	50	9,7	23,6	47,3
Octobre	36,5	21	42	31	15,2	31,4
Novembre	45,1	18,8	37,7	27,8	14,5	29
Décembre	35,1	13,7	27,4	22,9	11	22

On constate que la saison sèche des trois stations (Tableau 4 et 5) est formée par plusieurs mois sec consécutifs qui s'étendent du mois d'Avril à Octobre, où le total mensuel des précipitations est inférieur au double de la température mensuelle.

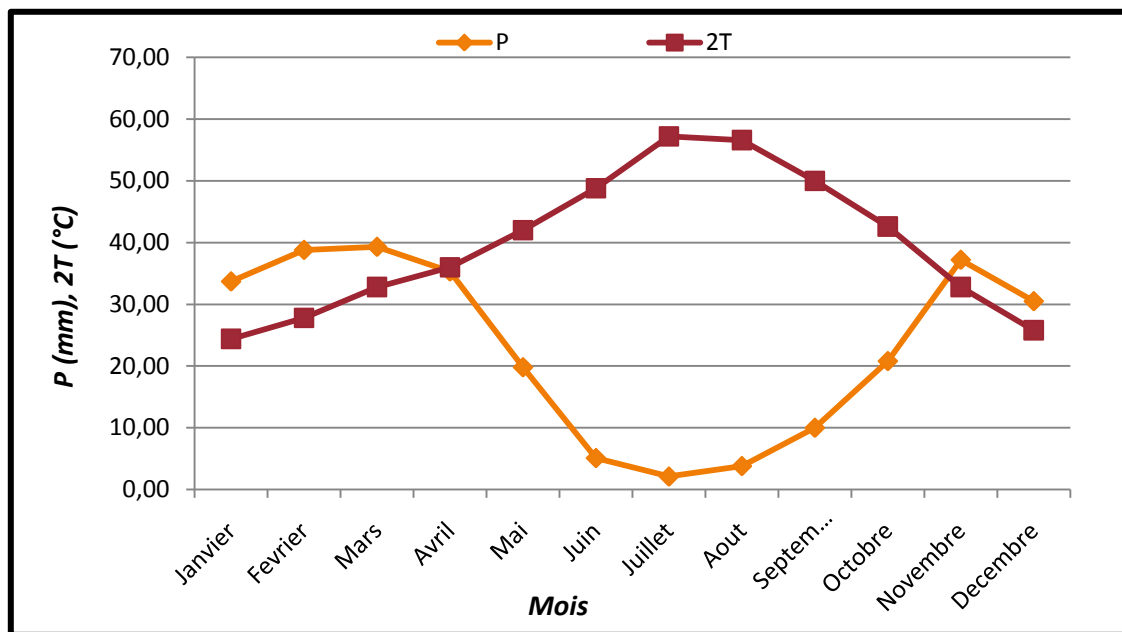


Figure 11: Diagramme Ombrothermique de la station de Marrakech

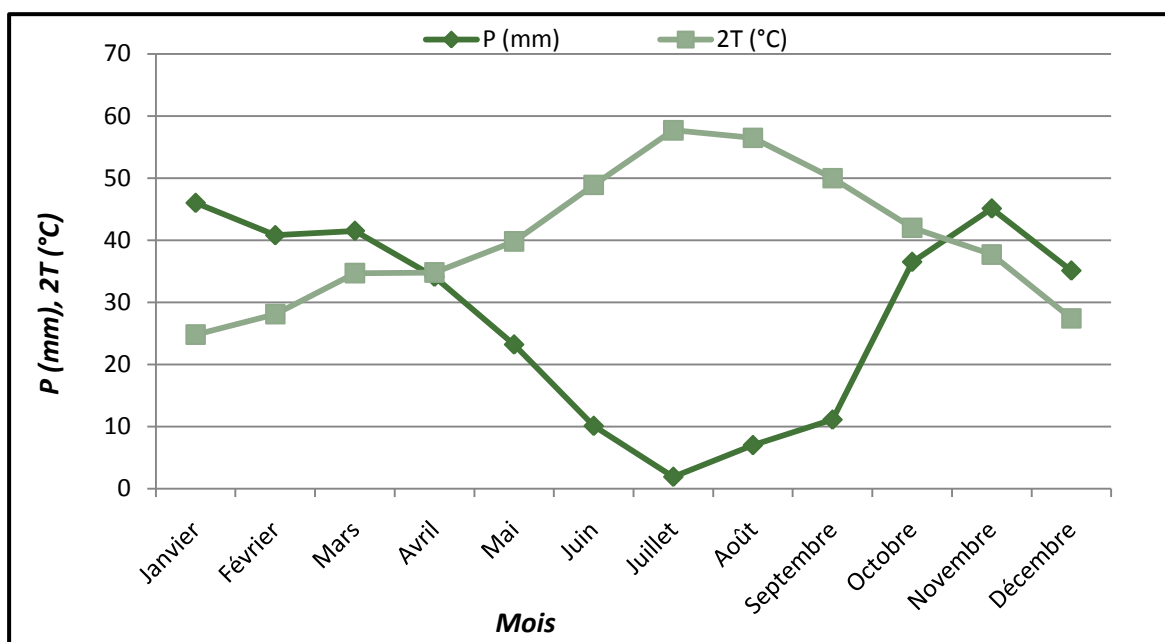


Figure 12 : Diagramme Ombrothermique de la station de Sidi Rahal

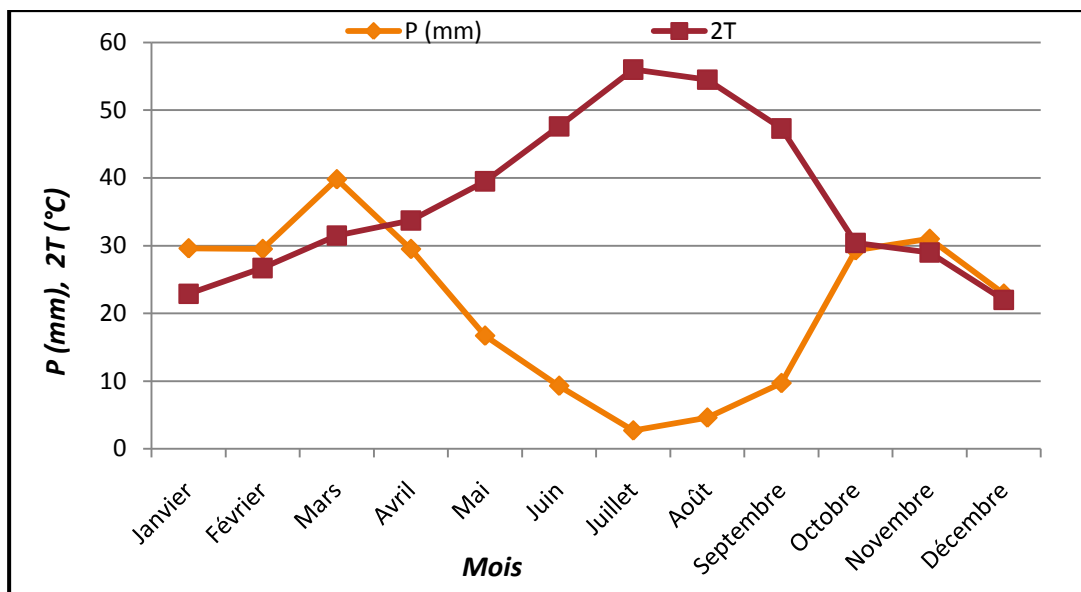


Figure 13 : Diagramme Ombrothermique de la station de Lalla Takerkoust

Les diagrammes Ombrothermiques (figure 11, 12 et 13) permettent de mettre en évidence une saison sèche débutante au mois du Mai qui se termine au mois d'Octobre pour les trois stations et une saison humide qui s'étale du mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril

1-2- Indice d'aridité de Du Martonne

1-2-1. Indice d'aridité annuel

Cet indice est fonction des températures et des précipitations ; il est pour exprimer l'aridité d'une région, calculé par la relation suivante :

$$I = P / T + 10 \quad (3)$$

où :

I : indice d'aridité

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

T : températures moyennes annuelles en °C

Ce qui donne :

Tableau 6 : Indice d'aridité annuel des trois stations : Marrakech, Sidi Rahal et Lalla Takerkoust

Station	P (mm)	T (°C)	I	Période
Marrakech	273.1	19.9	9.1	(1961-2010)
Sidi Rahal	330.6	20	11	(1983-2010)
Lalla Takerkoust	246.8	19	8.4	(1983-2010)

Suivant les valeurs de (I), De Martonne a établi la classification suivante :

Si $I < 5$, le climat est hyperaride

Si $5 < I < 10$, le climat est aride

Si $10 < I < 20$, le climat est semi-aride

Si $20 < I < 50$, le climat est froid, tempéré ou tropical

Si $I > 50$, le climat est équatorial

L'indice d'aridité annuel des trois stations, nous permet de dire que la région se caractérise par un climat aride à semai aride.

1-2-2. Indice d'aridité mensuel:

L'indice d'aridité mensuel est défini par la relation suivante :

$$I = 12 * P / T + 10 \quad (4)$$

Où :

I : Indice d'aridité mensuel

P : Précipitations moyennes mensuelles en mm

T° : Température moyenne mensuelle en °C.

L'application de la formule (4) a permis de dresser le tableau suivant :

Tableau 7 : Indice d'aridité mensuelle des trois stations : Marrakech, Sidi Rahal et Lalla Takerkoust

Station	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>	<i>Jan</i>	<i>Fév</i>	<i>Mar</i>	<i>Avr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jui</i>	<i>Juil</i>	<i>Aout</i>
<i>Marrakech</i>	3.2	8	17.2	15.8	17.6	18.8	17.7	16	8.1	1.2	0.6	1.1
<i>Sidi Rahal</i>	3.8	14.1	18.8	17.8	24.6	20.3	19.1	15	9.3	3.5	0.5	2.2
<i>Lalla Takerkoust</i>	3.5	11.8	13.1	11.7	16.5	15.2	16.7	13.2	6.7	3.3	0.9	1.5
<i>Indice D'aridité du bassin</i>	3.5	11.3	16.3	15.3	19.5	18.1	17.8	14.7	8.1	2.6	0.7	1.6

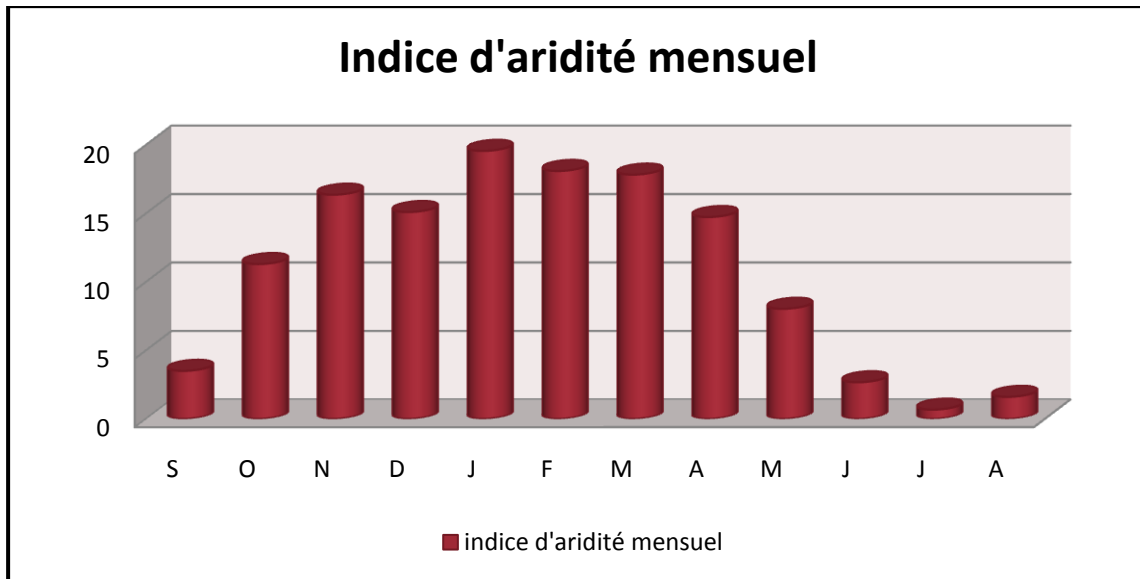


Figure 14: Evolution de l'indice d'aridité mensuel au niveau du Tensift

L'évolution de l'indice d'aridité mensuel du bassin versant du Tensift, montre que les mois de Septembre, Juin, Juillet et Aout se caractérise par un climat hyperaride ($I < 5$), le mois de Mai est aride ($5 < I < 10$) et un climat semi aride pour les mois d'Octobre jusqu'au Avril ($10 < I < 20$).

1-3- Indice de Paul Moral

Les résultats précédents sont confirmés par l'indice pluviométrique de Moral (IM), qui utilise aussi la hauteur annuelle des précipitations (en mm) et les températures moyennes annuelles en °C. Cet indice permet de dire :

Si $IM < 1$ on a climat sec,

Si $IM > 1$ on a climat humide.

$$IM = \frac{P}{T^2 - 10T + 200} \quad (5)$$

Tableau 8 :Indice de Paul Moral des trois stations : Marrakech, Sidi Rahal et Lalla Takerkoust

Station	P (mm)	T (°C)	I
Marrakech	273.1	19.9	0.7
Sidi Rahal	330.6	20	0.8
Lalla Takerkoust	246.8	19	0.6

A partir du résultat l'indice de Paul de Moral (tableau 8), on peut dire que le climat du bassin de Tensift est sec.

2- Etude de l'évolution des facteurs climatiques du Tensift

Dans cette partie, nous allons intéresser à identifier les changements et les variabilités climatiques observées au niveau du bassin versant du Tensift, à partir de la donnée disponible.

2-1- Température

2-1-1. Variation des températures moyennes annuelles

Les valeurs moyennes annuelles de la température de quelques stations disponibles permettent de suivre l'évolution moyenne du régime thermique au niveau du bassin versant du Tensift.

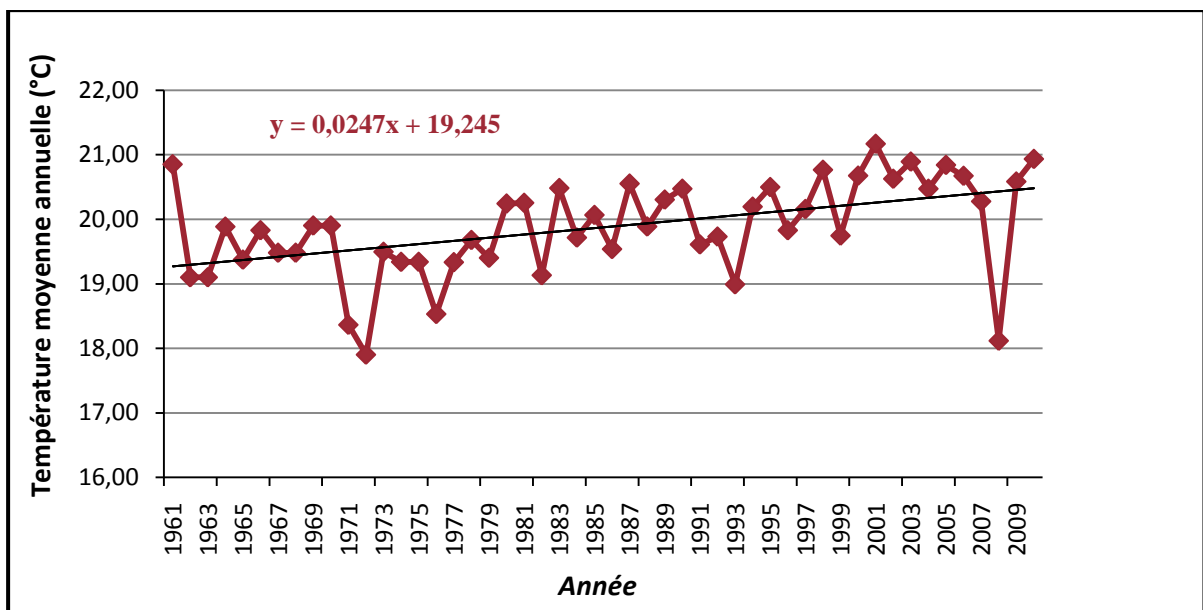


Figure 15: Evolution de la température moyenne annuelle de la station de Marrakech période (1961/2010)

L'analyse de la courbe de variations moyenne annuelles de la température (figure 15), montre que la température se caractérise par une variabilité temporelle, elle varie entre 17,8°C en 1972 et 21,2°C en 2010 dans la région de la plaine du Haouz.

La droite de tendance de la température montre une augmentation avec une pente régulière de 1961 à 2010 de l'ordre de 1.2°C.

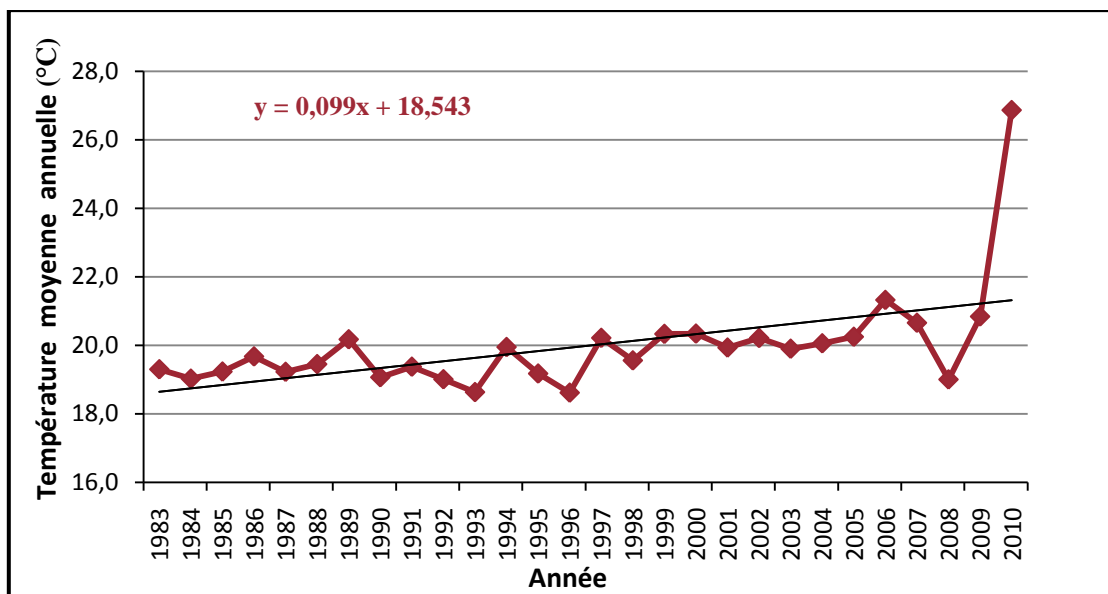


Figure 16 : Evolution de la température moyenne annuelle de la station de Sidi Rahal (1983/2010)

La courbe de la station de Sidi Rahal, montre une variabilité interannuelle de la température moyenne, cette variabilité est illustrée par la figure (16).

La température aurait augmenté d'une valeur initiale d'environ 19,3° C à une température de 26,9 °C, soit 7,6°C d'élévation en 27 ans.

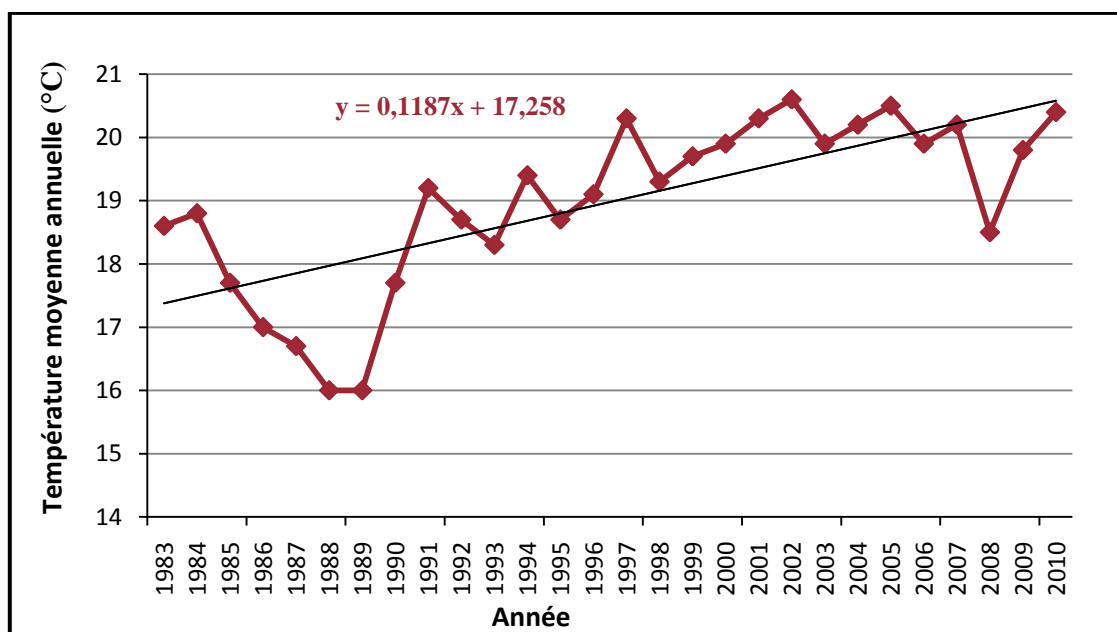


Figure 17 : Evolution de la température moyenne annuelle de la station de Lalla Takerkoust (1983/ 2010)

L'évolution des températures moyennes annuelles (figure 17), tend vers la hausse avec une importante variabilité interannuelle. Une valeur de la température moyenne annuelle de 16 °C en 1988 et 1989 et de 20,6° C en 2002 enregistrée à la station de Lalla Takerkoust, près atlas. La tendance vers l'augmentation de ces températures au cours des 27 ans de mesure est de l'ordre de 3.1°C

2-1-2. Variation des températures maximales et minimales de la station de Marrakech

La température maxima et minima est égale la moyenne de toutes les températures journalières mesurées à l'aide du thermomètre à maxima et du thermomètre à minima.

Les données de ces températures sont issues de la direction météorologique de Marrakech.

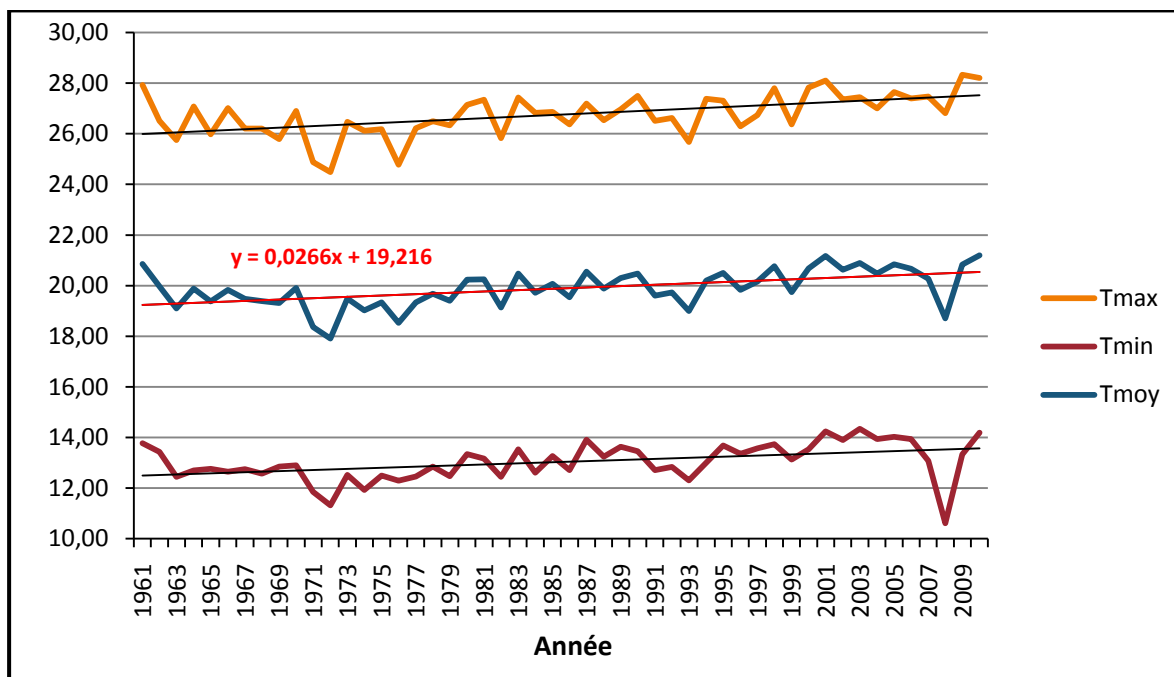


Figure 18 : Evolution de la température maxima, minima et moyenne annuelle de Marrakech

En étudiant les séries des températures minima ou maxima ou moyennes sur la période 1961-2010, nous obtenons la figure (18) qui montre que ces températures sont caractérisées par une variabilité interannuelle qui confirme l'irrégularité de ce paramètre.

La figure montre aussi une tendance à la hausse de l'ordre de 1,4°C pour la température moyenne, de l'ordre de 1,9°C degrés pour les températures maxima et l'ordre de 2°C pour les températures minima sur la période (1961-2010).

2-2- La pluviométrie

2-2-1. Variations des précipitations annuelles

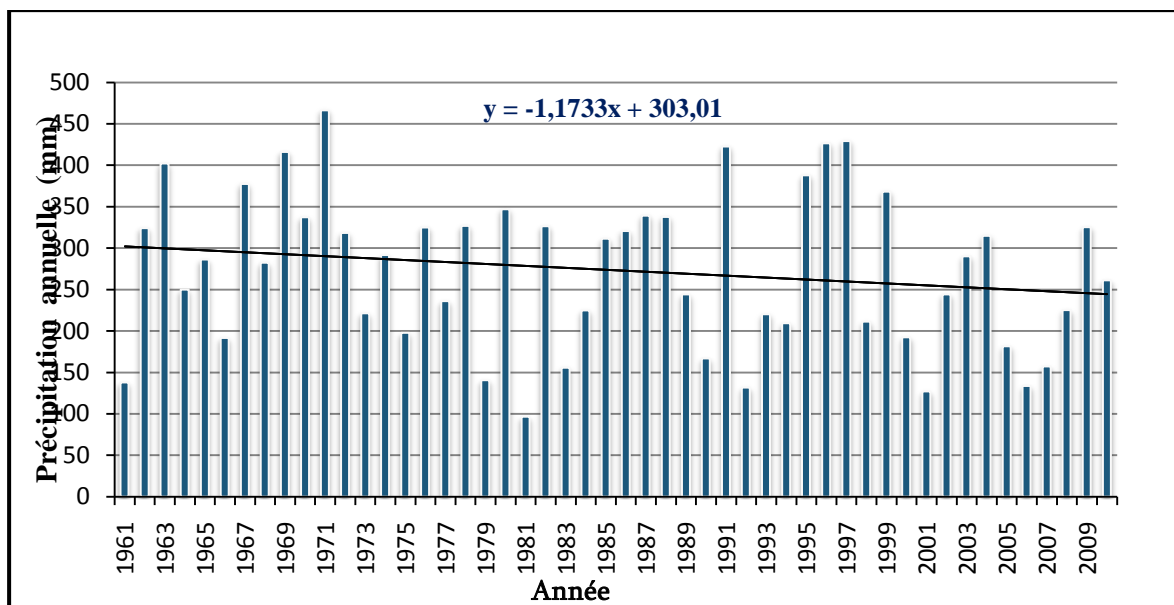


Figure 19 : Evolution des précipitations annuelles de la station de Marrakech

Les précipitations annuelles de la station de Marrakech, (figure19) sont irrégulières d'une année à l'autre, pendant les années 60, les précipitations annuelles étaient de l'ordre de 298 mm alors que en 2000 est de 248 mm avec un coefficient de variation de 40.6%.

Une baisse des hauteurs annuelles de l'ordre de 50 mm est bien illustrée par la droite de tendance.

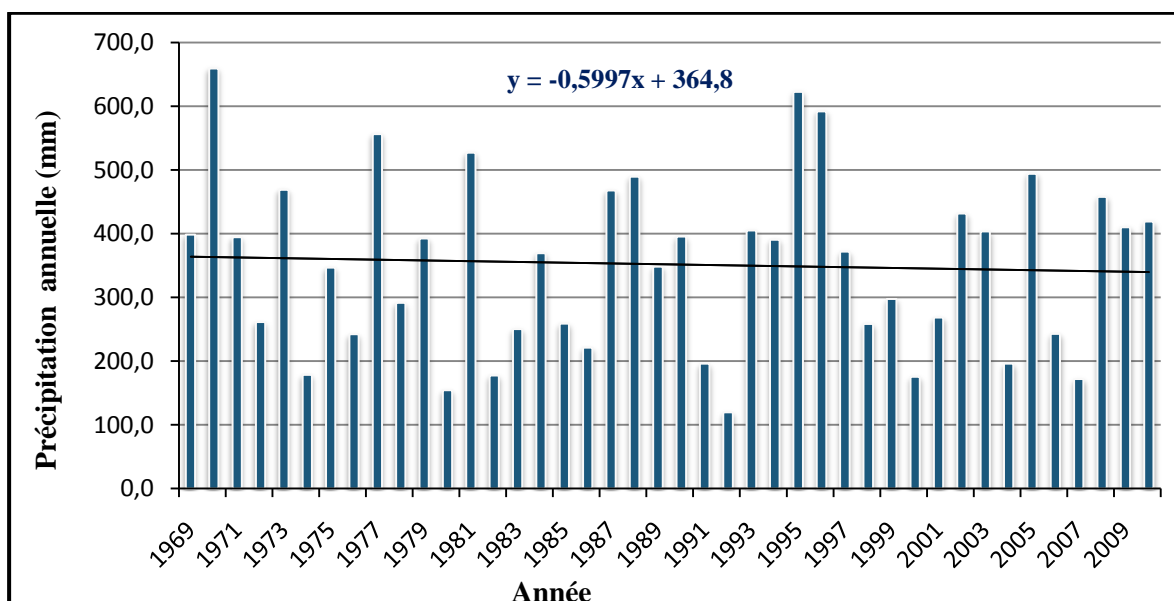


Figure 20 : Evolution des précipitations annuelles de la station d' Abadla (1969-2010)

La station d'Abadla enregistre une irrégularité des précipitations annuelles, coefficient de variation est de 38.7% et une évolution de faible tendance à la baisse, (figure 20).

Le cumul annuel était de l'ordre de 679 mm comme valeur maximale pendant les années 70 et de l'ordre de 243 mm pendant les années 2000-2010.

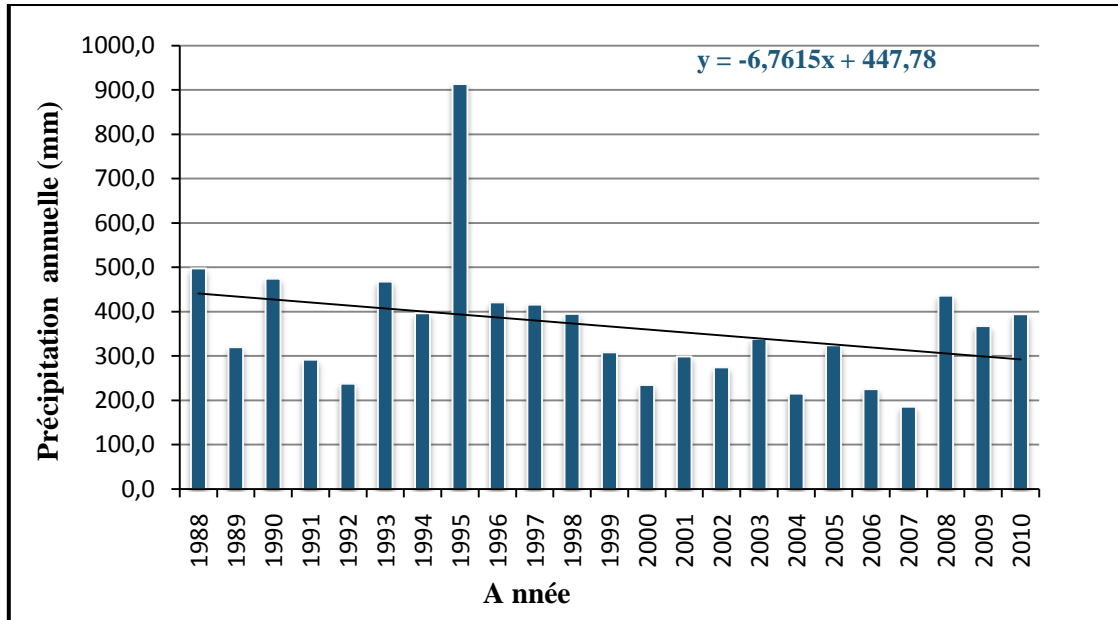


Figure 21 : Evolution des précipitations annuelles de la station de Taferiat (1988-2010)

Une évolution des précipitations annuelles vers la baisse avec une tendance nette pour la station de Taferiat. Une valeur de 900 mm marquée en 1995 et une valeur de 400 mm en 2010 (figure 21).

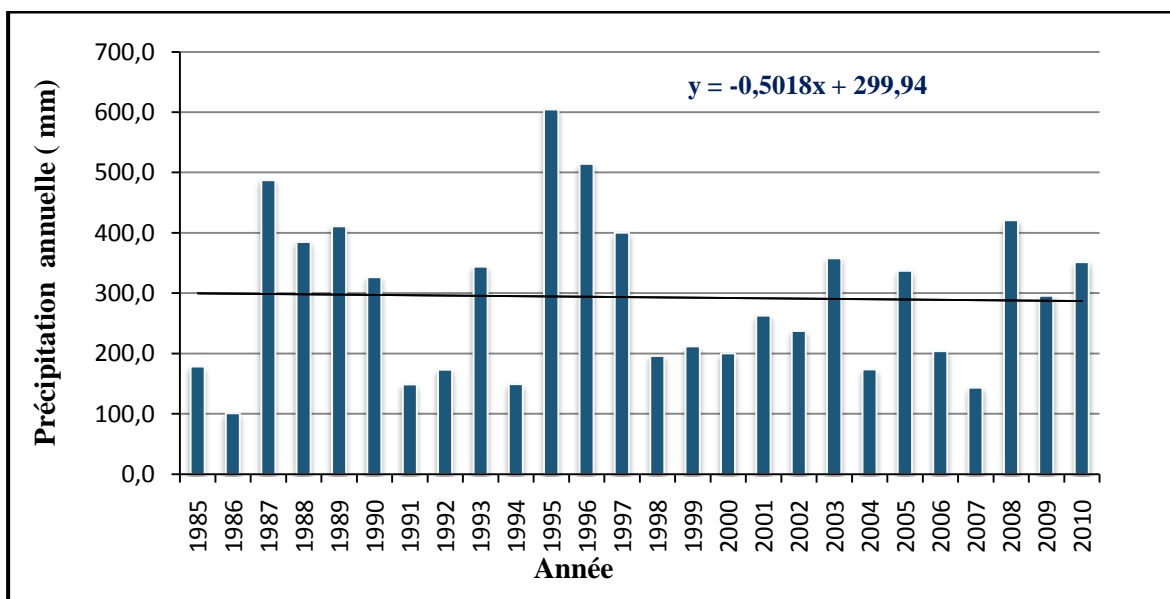


Figure 22 : Evolution des précipitations annuelles de la station de Talмест (1985-2010)

La station de Talmest connaît des précipitations annuelles irrégulières, avec un coefficient de variation de 44.5% (figure 22).

D'autre part, l'évolution de ce paramètre montre une tendance certes négative mais très faible.

2-3- Débit

2-3-1. Variation des débits moyens annuels

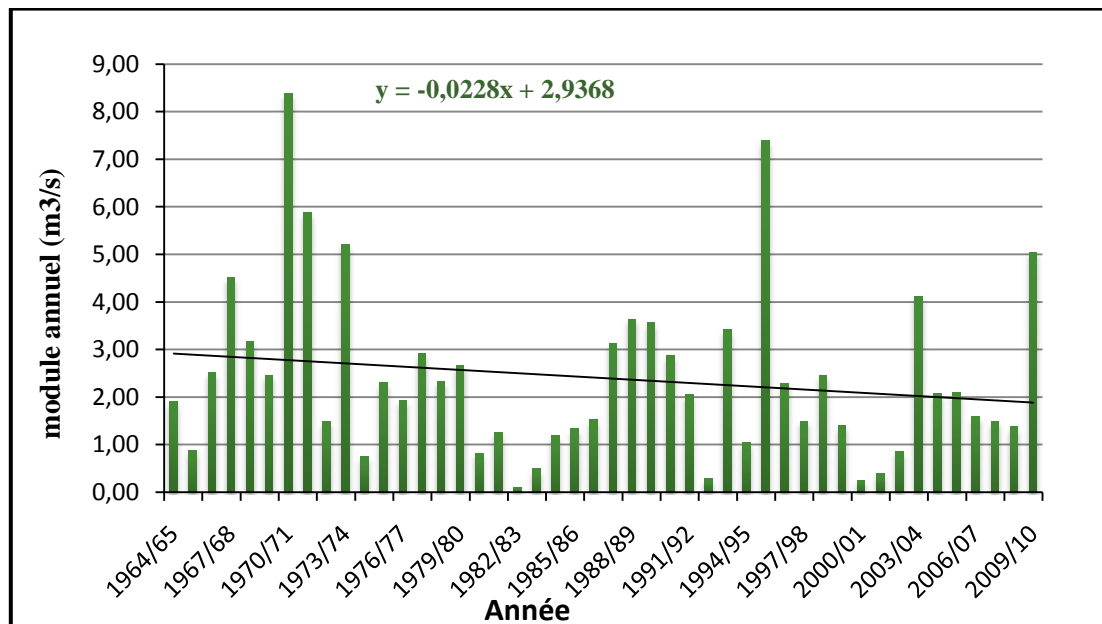


Figure 23 : Evolution des débits moyens annuels au niveau de la station de Sidi Rahal d'oued R'Dat (1964/2010)

L'évolution des débits moyens annuels au niveau de la station hydrologique de Sidi Rahal (figure 23), reflète tout d'abord une variabilité interannuelle, un écart-type de 1.8 et ceci confirme l'irrégularité de ce paramètre, Un débit de 8,4 m³/s en 1970 qu'il est devenu 5 m³/s en 2010.

Une tendance à la baisse des débits d'eau par l'équation de la droite de tendance est de l'ordre de 2m³/s.

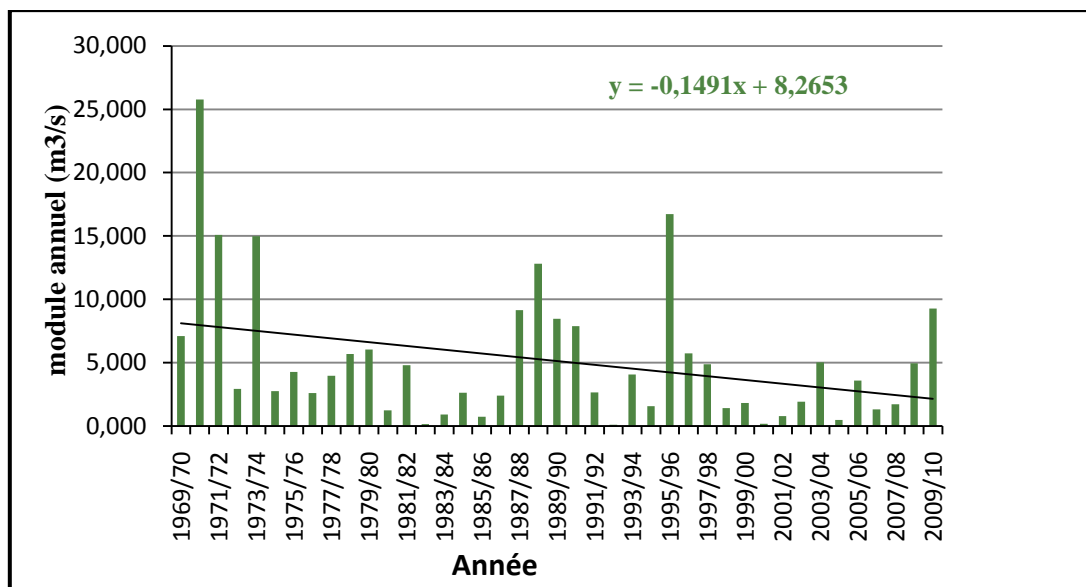


Figure 24 : Evolution des débits moyens annuels au niveau de la station d'Abadla d'oued N'Fis(1969/2010)

La station hydrologique d'Abdala, montre une irrégularité, ainsi qu'une variabilité caractérisant le débit moyen annuel de la région de la plaine du Haouz (figure 24), avec une dispersion de la moyenne de 5.3. L'ajustement linéaire exprime une tendance vers la baisse du module annuel.

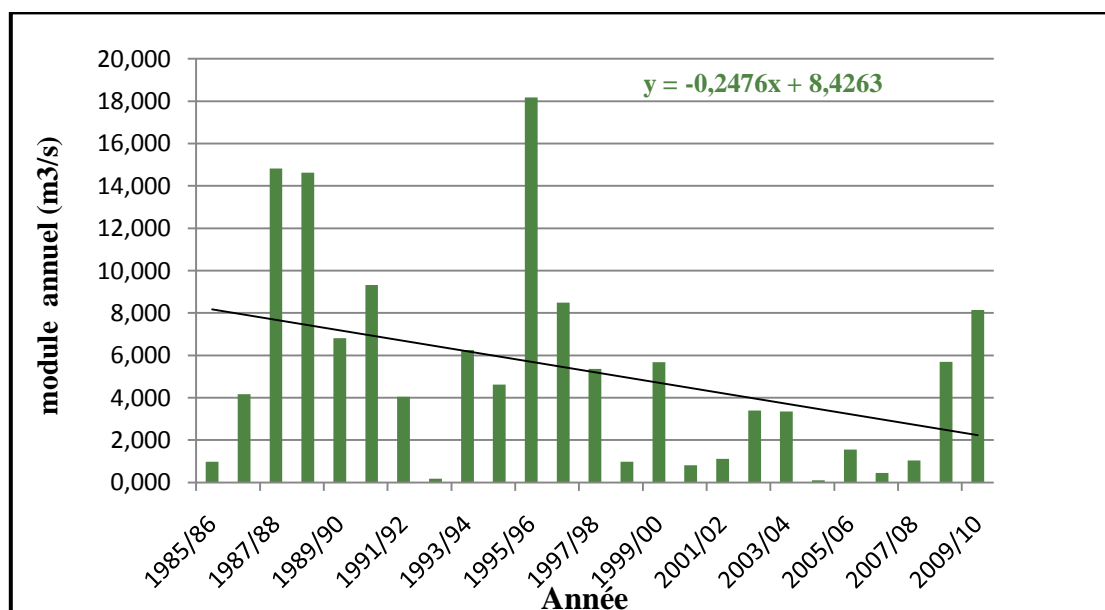


Figure 25 : Evolution des débits moyens annuels au niveau de la station de Talmest d'oued N'Fis(1985/2010)

Un écart-type de 4.9 et un coefficient de variation de 94.1% ces valeurs de dispersion confirment l'irrégularité du module annuel de la station de Talmest (figure 25). Cette irrégularité des modules annuels engendre une tendance significative à la baisse de l'ordre de 6 m³/s.

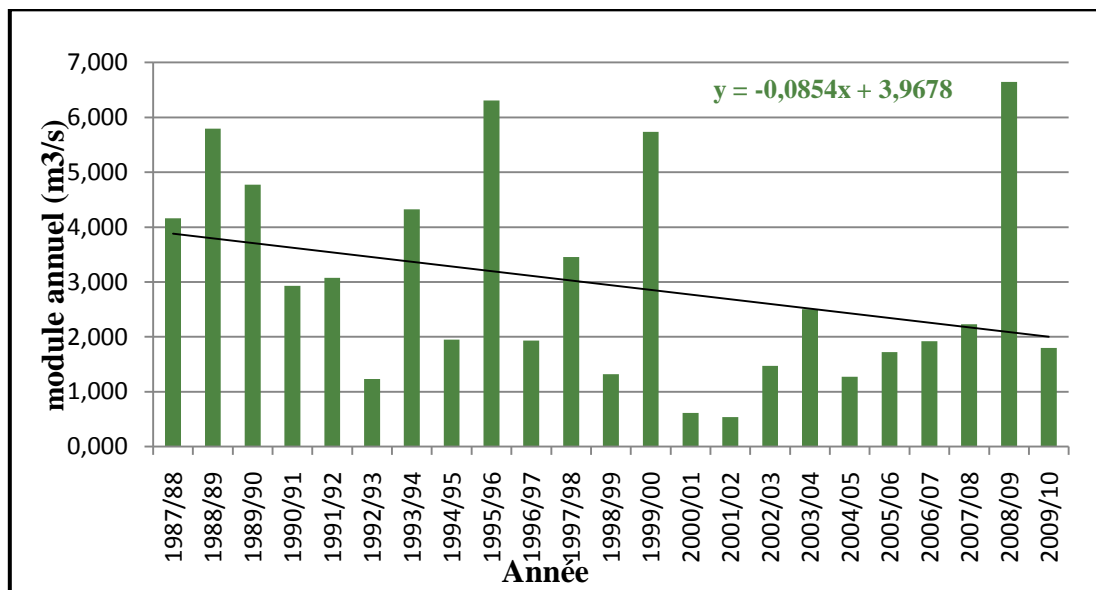


Figure 26 : Evolution des débits moyens annuels au niveau de la station de Taferiat d'oued Zat (1987/2010)

La figure (26) qui correspond à la station de Taferiat, montre que les débits moyens annuels sont très variables et irréguliers, La tendance au cours des 23 ans de mesure est vers une importante diminution des débits moyens annuels.

2-3-2 Corrélation pluie- débit

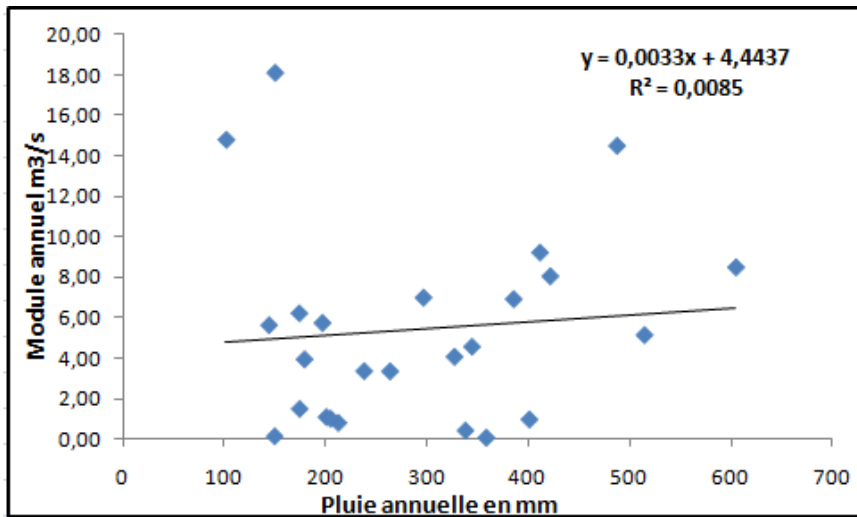


Figure 27 : Corrélation pluie-débit au niveau de la station de Talkest (1985/2010)

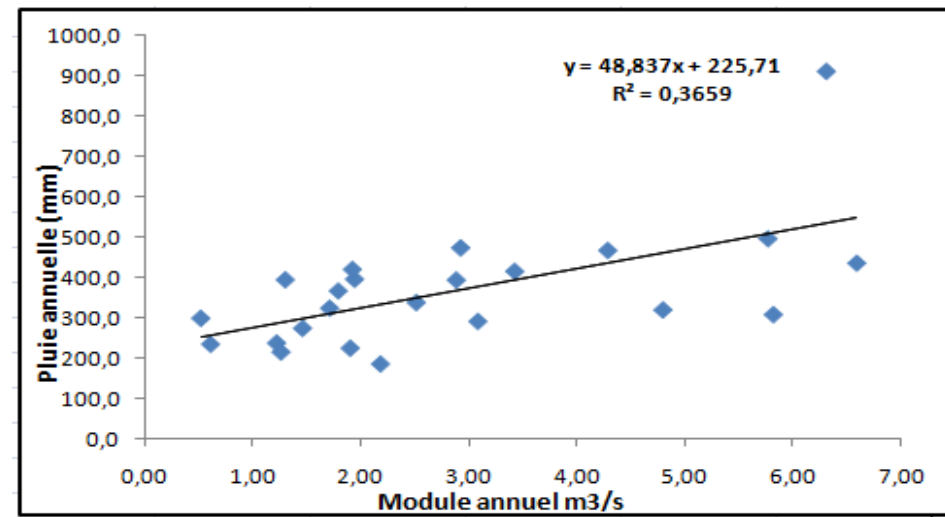


Figure 28 : Corrélation pluie-débit au niveau de la station de Taferiat (1987/2010)

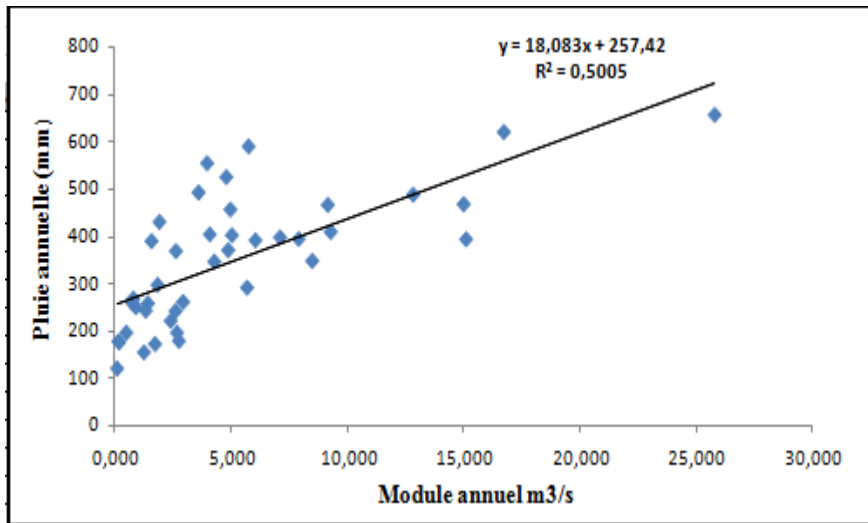


Figure 29 : Corrélation pluie-débit au niveau de la station de Sidi Rahal (1969/2010)

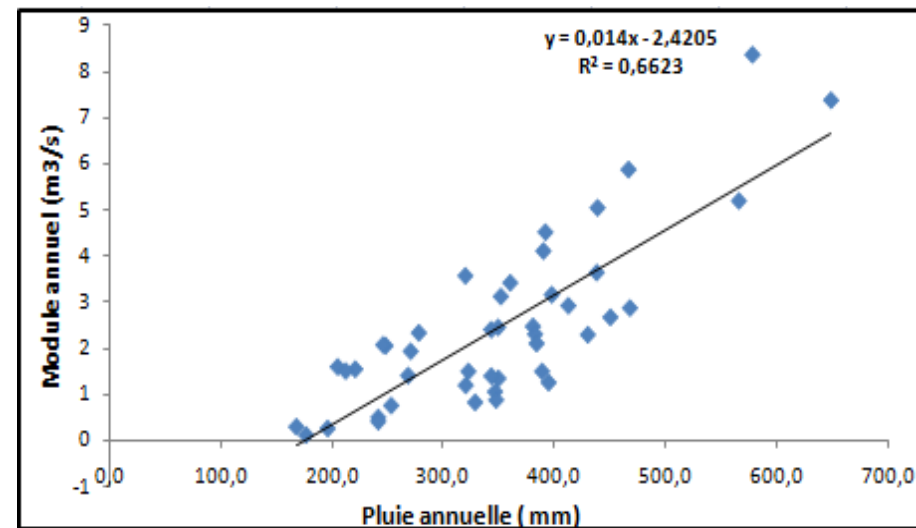


Figure 30 : Corrélation pluie-débit au niveau de la station d'Abadla (1967/2010)

Les figures (27,28 , 29 et 30) illustrent les corrélations entre la pluie et le débit. La tendance à la baisse des débits dans différentes stations du Tensift est attribuable à la réduction des précipitations, puisqu'il existe une liaison saisonnière et annuelle étroite entre les précipitations et les régimes des oueds, et les précipitations constituent évidemment le facteur essentiel qui conditionne les régimes hydrologiques.

Conclusion

L'analyse de l'évolution des données climatiques du bassin versant du Tensift aboutit aux conclusions suivantes :

- la combinaison entre la température et la précipitation, par différentes méthodes (Indice de De Martonne, Indice de Paul Moral et Indice Xérothermique de Gaussen), montre que le bassin versant du Tensift se caractérise par un climat aride à semi-aride.
- le bassin versant du Tensift a une variabilité et une irrégularité spatio-temporelle des températures, des précipitations et des débits.
- l'analyse de l'évolution des températures moyennes annuelles a permis de constater une tendance vers l'augmentation.
- l'analyse de l'évolution des précipitations annuelles et des modules annuels des débits montre que ces deux facteurs ont tendance à la baisse.

CHAPITRE III

INDICATEURS DE CHANGEMENT CLIMATIQUE RELATIFS AUX PARAMETRES THERMIQUES, PLUVIOMETRIQUES ET HYDROLOGIQUES

1- Indicateurs de changement climatique relatifs aux paramètres thermiques

L'absence des températures journalière du station de Sidi Rahal et Lalla Takerkoust , nous ne permet que traiter la température de la station de Marrakech période (1961-2010) que nous dispose.

1-1- Indice de froid ID15

Il correspond au nombre total annuel de jours frais ayant une température maximale inférieure à 15°C).

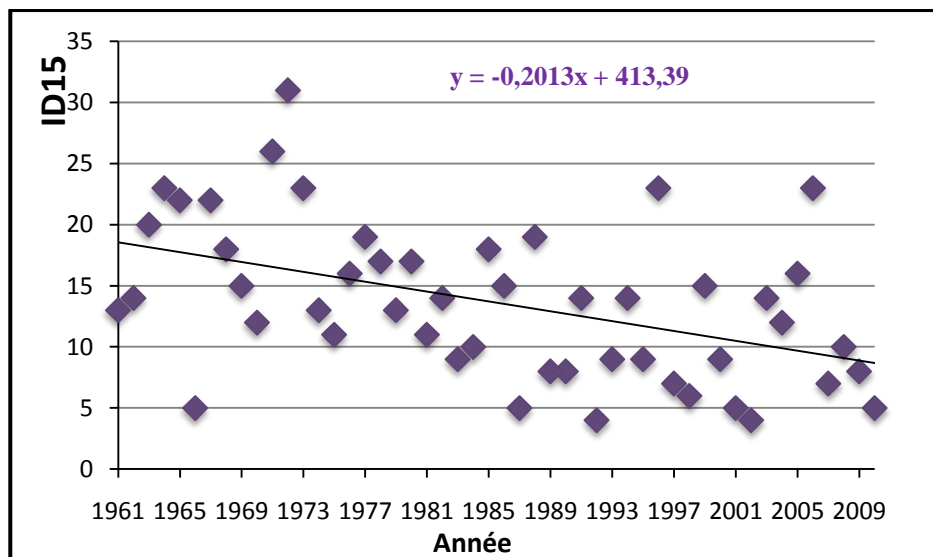


Figure 27 : Evolution de nombre total de jours frais à Marrakech (1961-2010)

On voit que le nombre total annuel de jours frais ont une variable répartition sur la période (1961-2010) avec une tendance à la baisse bien marquée.

Les deux premières décennies sont marquées par des valeurs importantes de ce nombre qui a dépassé 30 jours, alors que les dernières décennies présentent des faibles valeurs de ce nombre qui arrive à 4 jours

1-2- Nombre de jours chauds : Indice SU35

Cet indice correspond au nombre total annuel de jours chauds : (le nombre total annuel de jours ayant une température maximale supérieure à 35°C).

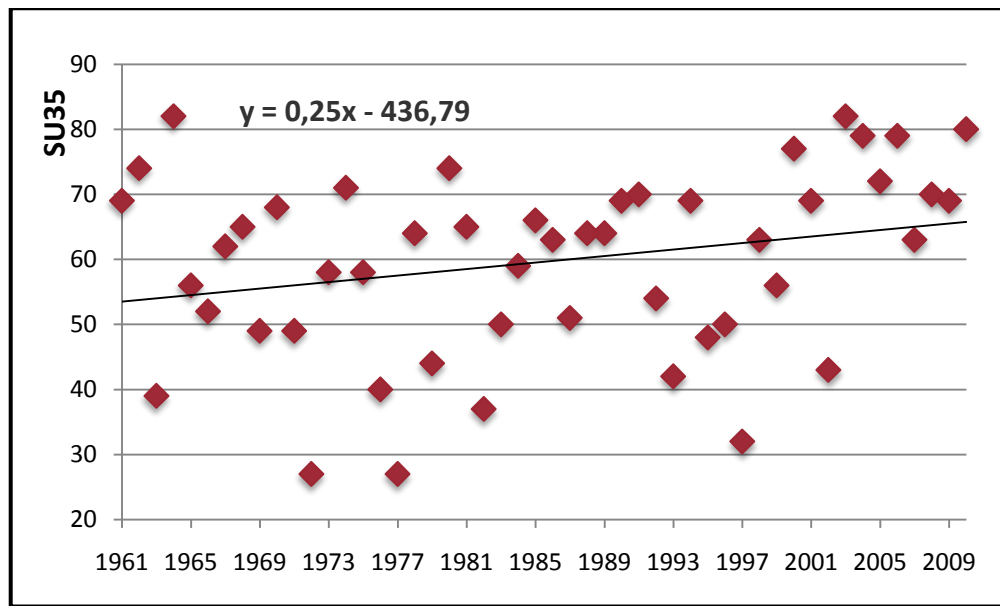


Figure 3228 : Evolution De nombre de jours chauds à Marrakech (1961– 2007)

Le résultat de la figure (32), montre une répartition hétérogène de jours chauds dépasse 35°C sur la période (1961-2007), on constate que le nombre total annuel de ces jours a dépassé 50 jours sont en augmentation à la hausse et sont plus fréquents pendant les derniers 27 ans (1980-2007), alors que le nombre de jours inférieurs à 50 étaient fréquents pendant les premiers 31 ans (1961-1991), alors qu'ils sont rares pendant les dernières années.

2- Indicateurs de changement climatique relatifs aux paramètres pluviométriques

2-1- Indice de l'écart à la moyenne

L'écart à la moyenne est la différence entre la hauteur de précipitation annuelle (P_i) et la hauteur moyenne annuelle de précipitation (P_m).

$$E_m = P_i - P_m \quad (6)$$

L'écart est positif pour les années humides et négatives pour les années sèches. On parle d'année déficitaire quand la pluie est inférieure à la moyenne et d'année excédentaire quand la moyenne est dépassée. Cet indice permet de visualiser et de déterminer le nombre d'années déficitaires et leur succession.

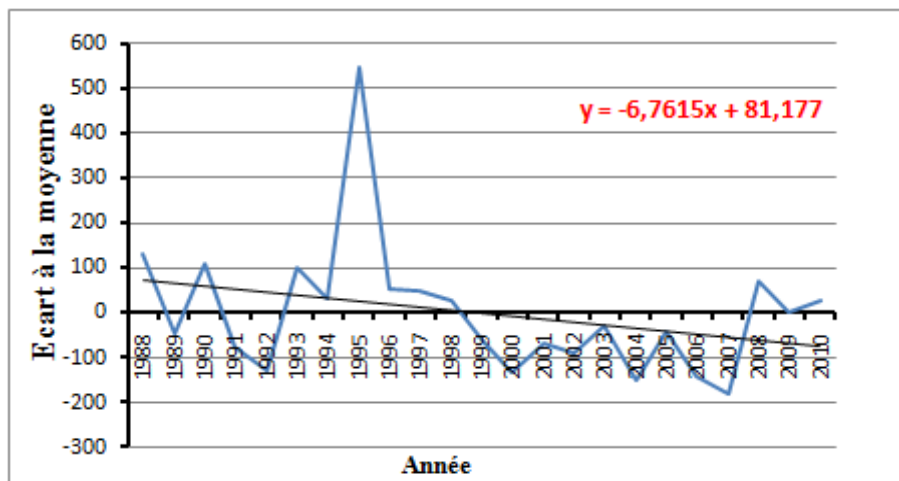


Figure 3329 : Evolution de l'écart la moyenne de la station de Taferiat (1988/2010)

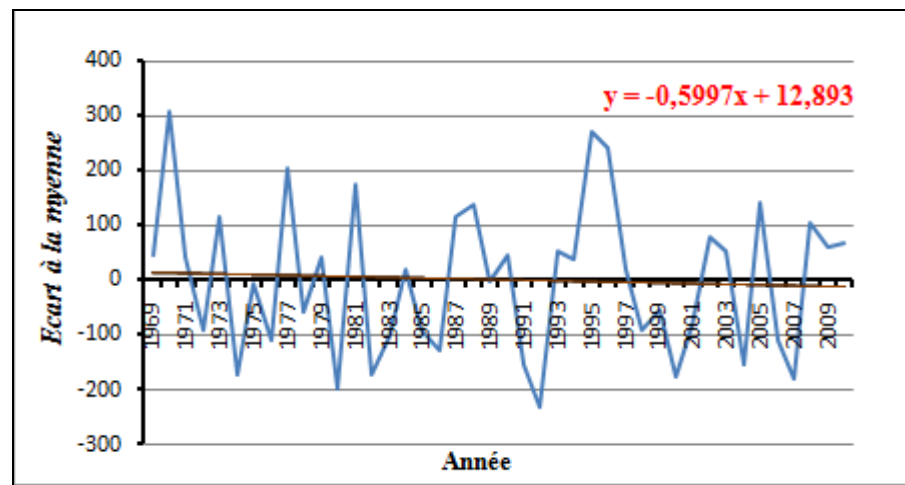


Figure 304 : Evolution de l'écart à la moyenne de la station de Talmest, (1985 :2010)

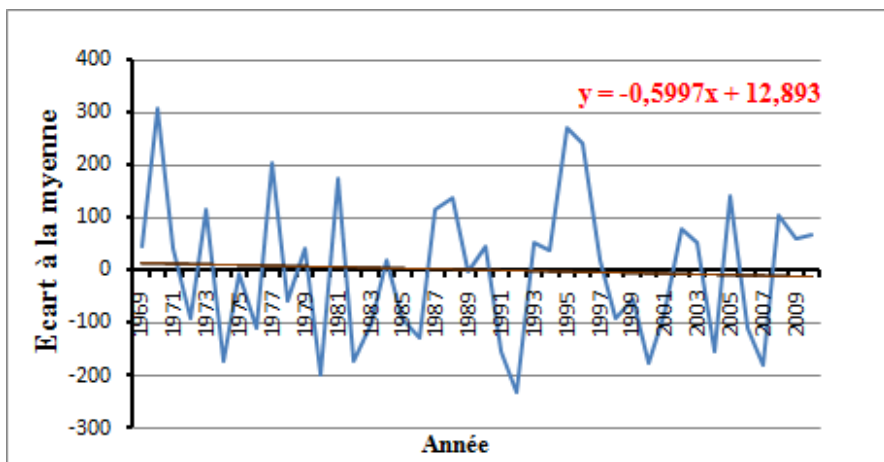


Figure 32 : Evolution de l'écart à la moyenne de la station d'Abadla (1961/2010)

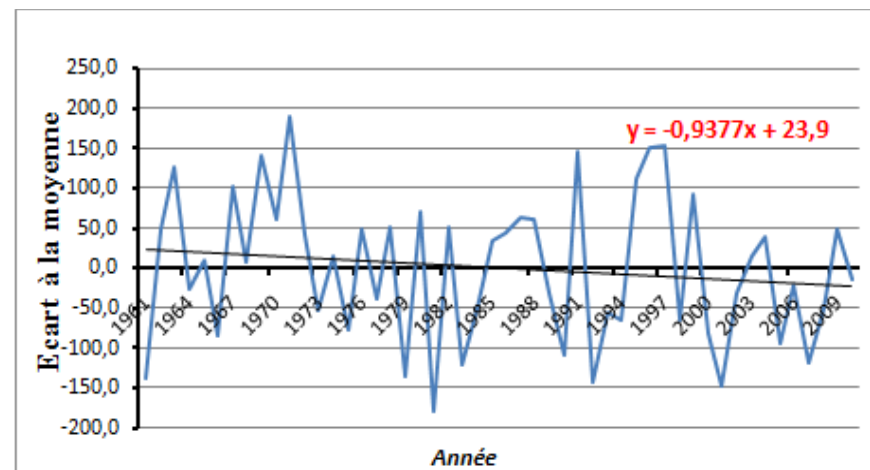


Figure 31 : Evolution de l'écart à la moyenne de la station de Marrakech (1961/2010)

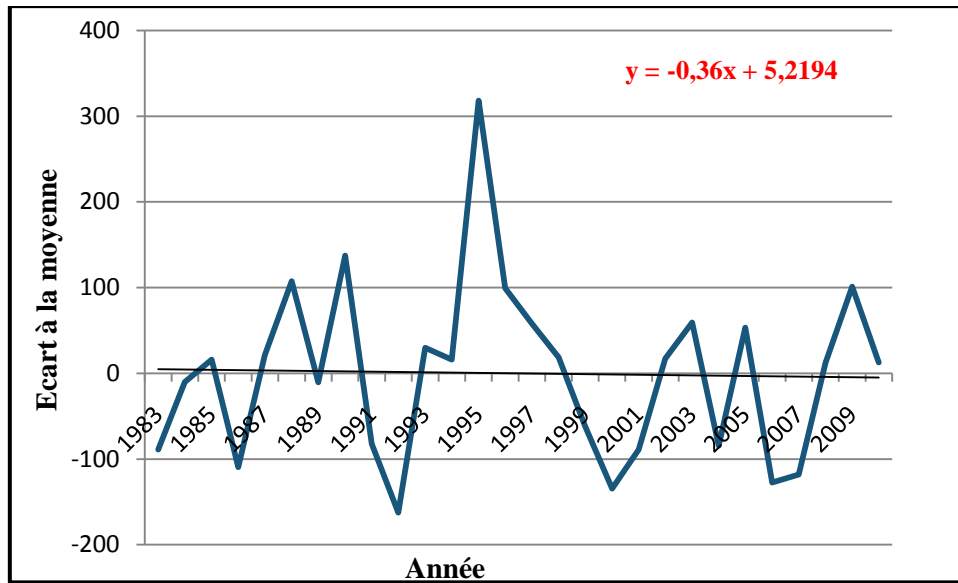


Figure 37 : Evolution de l'écart à la moyenne de la station de Sidi Rahal

L'analyse des figures (23, 34, 35,36, 37), montre que le nombre des années sèches sont devenu plus importantes aux dix premiers années du XXI siècle par rapport aux années 80 et 90.

Selon les équations de la droite de tendance, l'écart à la moyenne présente une tendance vers la baisse qui confirme la diminution de la pluviométrie, On en déduit donc une tendance vers la diminution du nombre d'années humides (année excédentaire) et l'augmentation du nombre d'années sèches ou déficitaires. Par conséquent l'état de la pluviométrie évolue vers un assèchement au niveau du bassin de Tensift.

2-2- Rapport à la normale (RN)

Cet indice, qui est exprimé en pourcentage, est obtenu en divisant la précipitation annuelle par la précipitation normale et en multipliant le résultat par 100 %. Il est exprimé mathématiquement comme suit :

$$RN (\%) = (Pi/Pn)*100 \quad (6)$$

Où :

RN : rapport à la normale des précipitations (en pourcentage).

Pi : précipitation annuelle (en mm).

Pn : précipitation normale (en mm).

Le rapport à la normale en pourcentage permet d'estimer la variation ponctuelle des précipitations par rapport à la normale

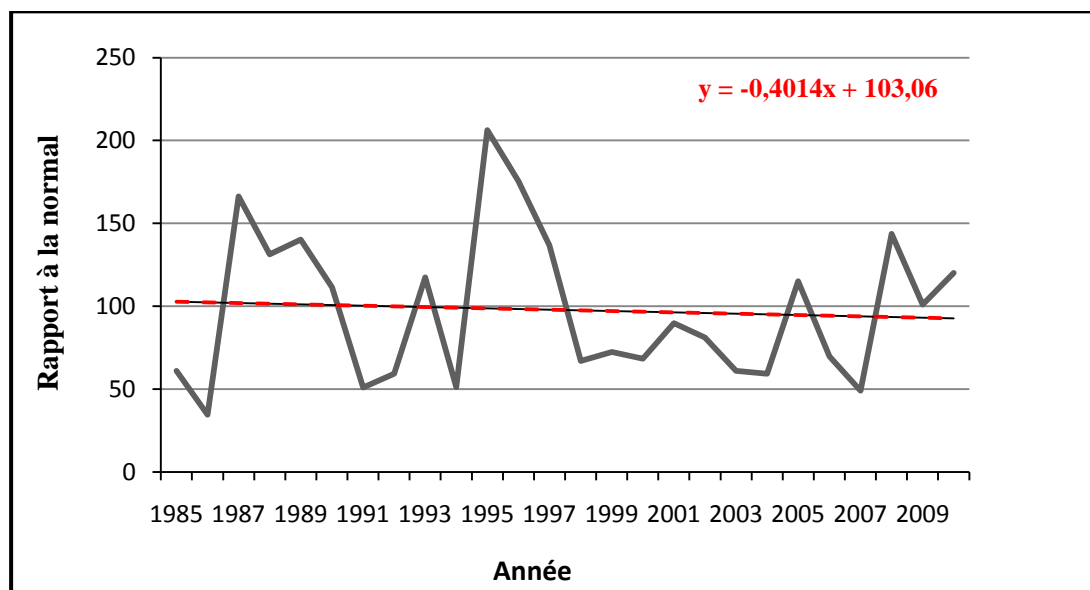


Figure 38 : Evolution du rapport à la normale de la station de Talmest (1985-2010)

L'analyse des séries du rapport à la normale au niveau de différentes station, montre une tendance à la baisse des valeurs de cet indice illustrée par les figures (38, 39, 40, 41,42) ,confirme encore la diminution de la pluviométrie mesurée sur la période étudiée.

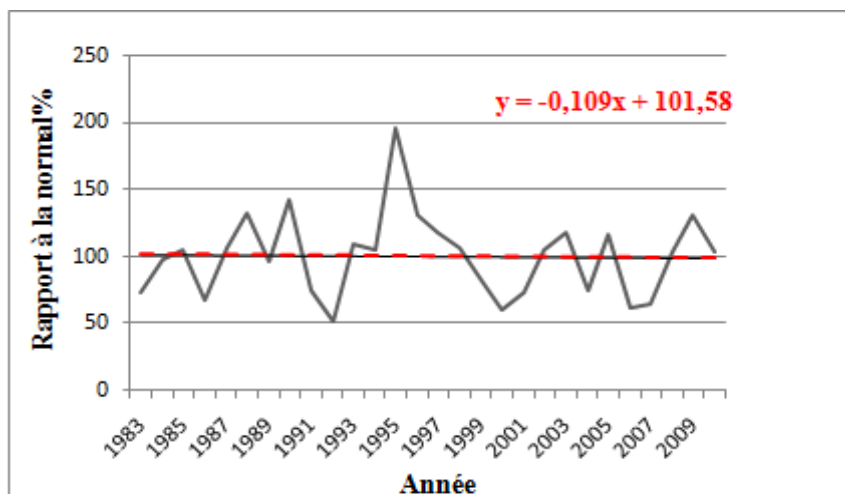


Figure 34 : Evolution du rapport à la normale de la station De Sidi Rahal (1969/2010)

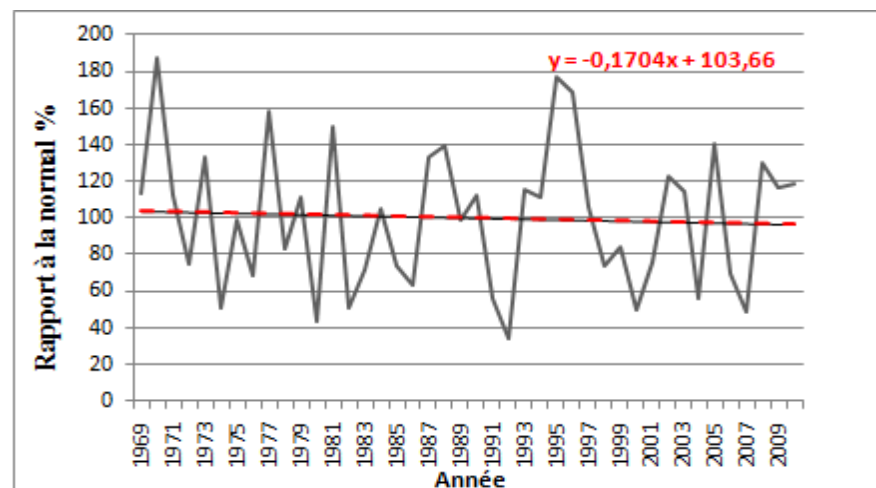


Figure 33 : Evolution du rapport à la normale de la station De Sidi Rahal (1969/2010)

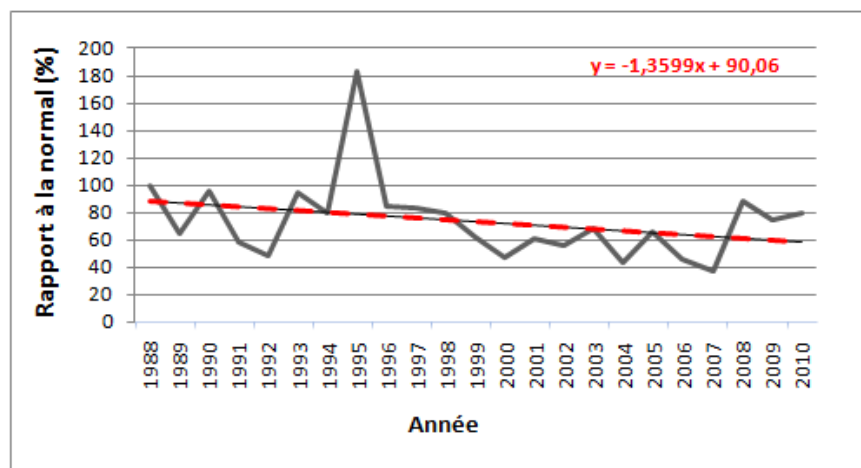


Figure 41 : Evolution du rapport à la normale de la station de Taferiat (1988/2010)

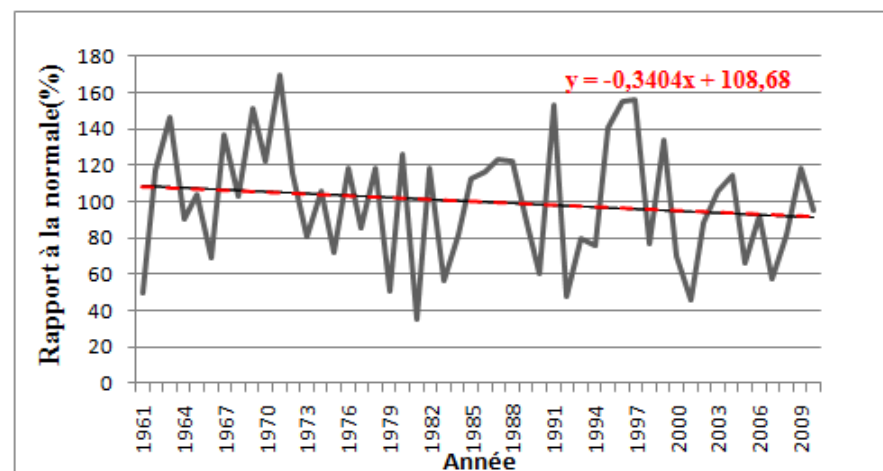


Figure 42 : Evolution du rapport à la normale de la station de Marrakech,(1961/2010)

3- Indicateurs des changements climatiques relatifs aux paramètres hydrologiques

3-1- Indice d'hydraulicité

Pour un cours d'eau, le coefficient d'hydraulicité est défini par la relation suivante :

$$C.H = P/P_m \quad (7)$$

P : débit d'une année

P_m : débit moyen interannuel

Pour un coefficient C.H > 1, c'est une année humide à écoulement important, dans le cas contraire c'est une année de faible débit du cours d'eau

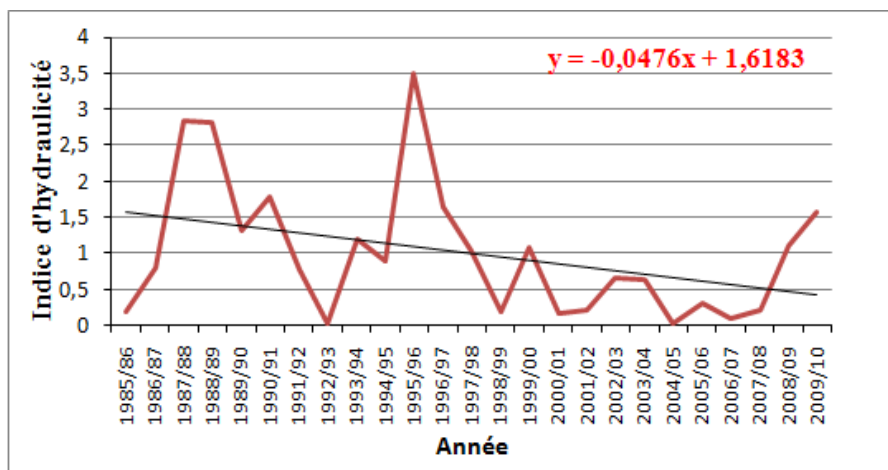


Figure 435 : Evolution de l'indice d'hydraulicité de la station d'Abadla d'oued N'Fis (1969/2010)

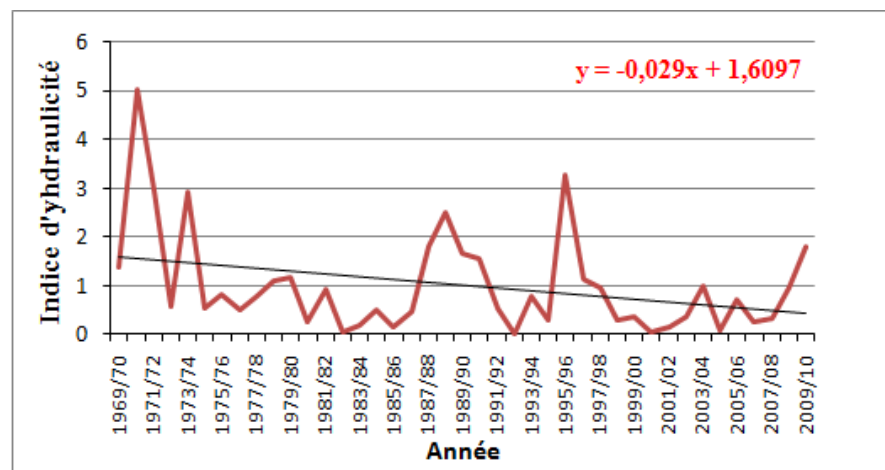


Figure 364 : Evolution de l'indice d'hydraulicité de la station de Talmezt d'oued N'Fis (1985/2010)

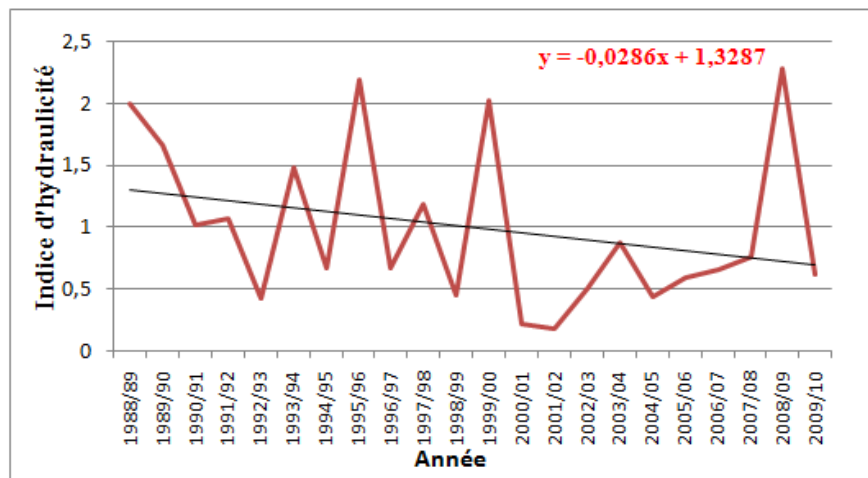


Figure 375 : Evolution de l'indice d'hydraulicité de la station de Sidi Rahal d'oued R'Dat (1988/2010)

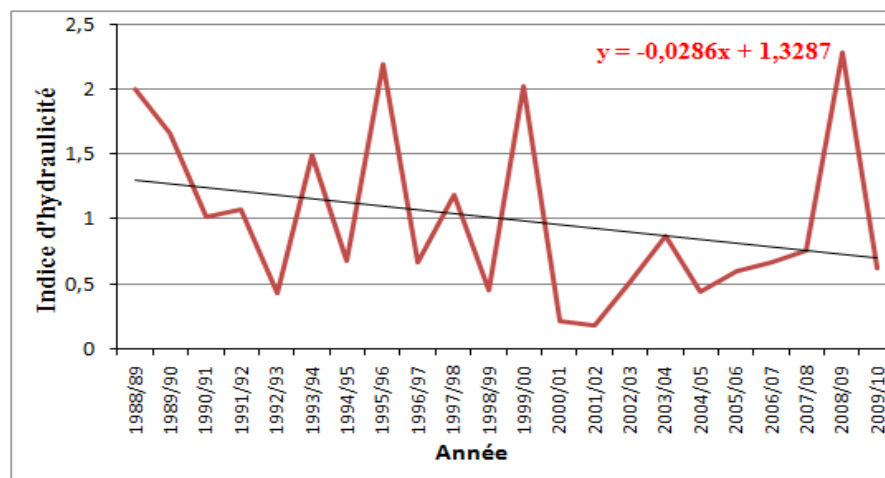


Figure 386 : Evolution de l'indice d'hydraulicité de la station de Tafériat d'oued Zat (1988/2010)

Les résultats du coefficient d'hydraulicité pour les stations d'oued Tensift confirment les fluctuations hydroclimatiques.

La tendance à la baisse des années humide des stations hydrologique d'oued Tensift, confirme la diminution du débit

Conclusion

La tendance vers la hausse de nombre de jours chauds (jour annuel a une température $>35^{\circ}\text{C}$) et l'augmentation du nombre de jours frais (température $<15^{\circ}\text{C}$) pendant la période étudiée, confirment que la le facteur thermique est tend vers un réchauffement.

La tendance vers la diminution de l'indice « rapport à la normal », du nombre d'années humides et l'augmentation du nombre d'années sèches et la tendance confirment la diminution da la pluviométrie

CHAPITRE VI

LES PROJECTIONS FUTURES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES AVEC SDSM

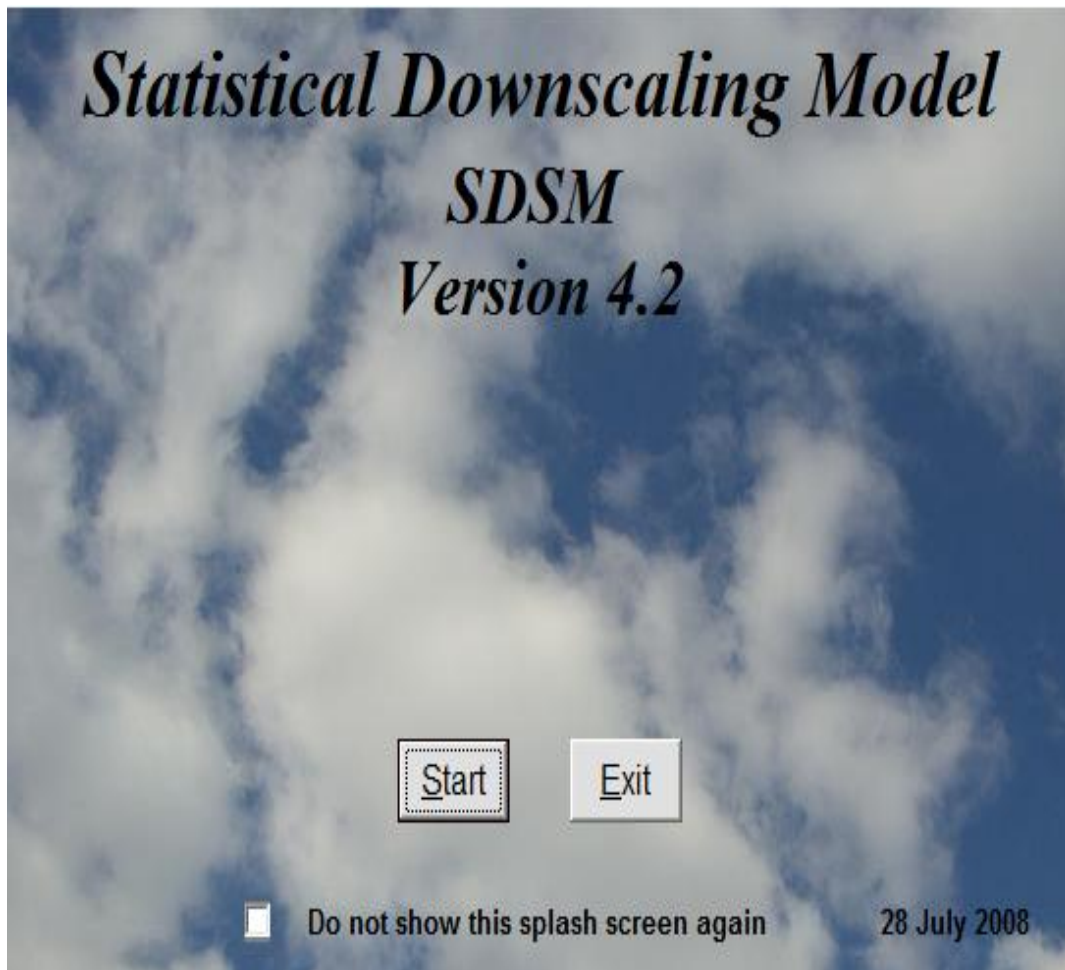


Figure 397 : Page d'accueil du modèle SDSM

Dans ce chapitre nous allons étudier l'évolution du climat futur du bassin versant de Tensift à partir de l'évolution du climat observées uniquement au niveau de la ville de Marrakech comme exemple. Cette étude se fait par l'analyse des projections futurs créés à l'aide de la technique statistique de la réduction d'échelle SDSM (Statistical DownScaling Model).

1- Présentation général du modèle « SDSM »

Le Modèle de réduction d'échelle statistique (Statistical DownScaling) est un outil d'aide à la décision conçu par les Drs. Robert Wilby et Christian Dawson, basé sur les

techniques statistiques de réduction d'échelle, développé par l'Agence de l'environnement de l'Angleterre (Agence de l'Environnement d'Angleterre et du Pays de Galles) (Wilby, Dawson, et Barrow 2002). Ce modèle est recommandé par la Banque mondiale et les scénarios canadiens de répercussions climatiques (CCIS), bailleurs de fonds internationaux de projets de changements climatiques. La technique de réduction d'échelle utilise des relations empiriques entre les variables observées appelés prédictands (Tableau 9) et à grande échelle des variables appelées variables explicatives (données provenant de NCEP ou HadCM3) (Tableau 9). Ceci permet la construction des scénarios de changement climatique à haute résolution avec pas de temps journalier. Ces scénarios ont été élaborés pour les quatre paramètres au cours de la période 1961-2099: la température moyenne, la température maximale, température minimale, et les précipitations. Scénarios à haute résolution au cours de la période 1961-2000 (climat actuel) sont créées uniquement pour des raisons scientifiques. Nous avons besoin d'avoir un référence (1961-2000) pour les mêmes conditions de création de scénarios pour la période 2001-99 (climat futur). L'avantage majeur de SDSM, c'est qu'il permet de prendre en compte des facteurs locaux tels que la topographie, la végétation et des sols par des observations locales. Elle produit également rapidement les paramètres météorologiques journaliers (température moyenne, la température maximale, température minimale, et les précipitations) pour toute la période de 1961-2099. Cela facilite l'interprétation des tendances de la variabilité interannuelle de ces paramètres. Toutefois, cela n'est possible que dans les zones où les observations sont disponibles de façon cohérente et fiable. La figure (43) montre les opérations appropriées pour la création de scénarios à haute résolution du changement climatique. Ces opérations sont résumées en cinq étapes principales.

Tableau 9 :les variables prédictives et prédicants utilisés dans le modèle statistique de réduction d'échelle

<i>Variables quotidiens</i>	<i>Observations pour 1961-2000</i>	<i>NCEP (1961-2000)</i>	<i>HadCM3 (1961-2099)</i>
Mean temperature	*		
Maximum temperature	*		
Minimum temperature	*		
Precipitations	*		
Mean sea level pressure			*
Near surface velocity Near surface zonal wind		*	*
Near surface meridional wind		*	*
Near surface vorticity Near surface wind direction		*	*
Near surface divergence		*	*
Zonal velocity component at 500 hpa		*	*
Meridional velocity component at 500 hpa		*	*
Vorticity at 500 hpa Geopotential height 500 hpa		*	*
Wind direction at 500 hpa		*	*
Divergence at 500 hpa Relative humidity at 500 hpa		*	*
Near surface specific humidity		*	*
Velocity at 850 hpa		*	*
Zonal velocity at 850 hpa		*	*
Meridional velocity at 850 hpa		*	*
Vorticity at 850 hpa		*	*
Geopotential height at 850 hpa			*
Wind direction at 850 hpa			*
Divergence at 850 hpa			*
Relative humidity at 850 hpa			*

1-1- Source de données

1-1-1. Données observées

Les données quotidiennes observées depuis 40 ans (1960-2000) pour des températures moyennes et les précipitations est étudiée dans cette étude pour élaborer des scénarios de haute résolution des changements climatiques. Ces observations ont été compilées à partir de station météorologique de Marrakech qui seront utilisées dans ce travail pour l'étude du changement climatique récent et ensuite pour la réalisation des scénarios de changements climatiques futurs à haute résolution

1-1-2. NCEP Re-analyse à basse résolution

Les données ont été fournies par le projet de réanalyse du NCEP / NCAR est un projet conjoint entre les Centres nationaux de prévision environnementale (NCEP, anciennement «NMC») et le Centre national de recherche atmosphérique (NCAR). Cette nouvelle atmosphère re-analyse a été produite en utilisant des données historiques (toutes les observations) et le système d'assimilation de données, avec une résolution de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ et est disponible pour toutes les 6 heures depuis 1948. Dans cette étude, nous nous sommes intéressés uniquement dans les données quotidiennes entre 1961 et 2000, après interpolation pour HadCM3 grille du modèle décrit dans le paragraphe suivant.

1-1-3. Scénarios de changements climatiques de HadCM3 à basse résolution

Ces scénarios de changement climatique décrivent le climat futur possible, en s'appuyant sur le fonctionnement du système climatique, l'évolution de la population, l'activité économique, et de gaz à effet de serre. Dans cette étude, nous avons utilisé deux scénarios de changement climatique A2 et B2 produites par le modèle anglais HadCM3. Ces scénarios ont été utilisés au cours de la période 1961-2099 avec une résolution de $2,5^\circ \times 3,75^\circ$.

1-2- Description des scénarios de changements climatiques

Les projections sont calculées par les climatologues à partir de modèles atmosphériques qui transforment des hypothèses d'émissions de gaz à effet de serre (notamment, le CO₂) en projections climatiques. Les modèles sont en fait des représentations simplifiées et manipulables de l'atmosphère. Ces projections climatiques se basent sur des représentations de ce que pourrait être le monde jusque l'an 2099.

Les membres du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) ont appelé scénarios ces représentations du futur, qui conduisent chacun à des trajectoires d'émissions mondiales de gaz à effet de serre très différentes. Il faut cependant bien

comprendre que les scénarios ne sont ni des prédictions ni des prévisions. Les scénarios ne sont qu'une partie plausible des futurs possibles.

Dans cette étude, nous avons eu recours à deux scénarios de changements climatiques : un scénario A2 et un scénario B2.

1-2-1. Le scénario de changement climatique A2

Il s'agit d'un scénario pessimiste qui décrit un monde où la population est en rapide augmentation, avec une croissance économique forte qui repose sur des technologies polluantes dans un monde devenu protectionniste avec des inégalités croissantes entre le Nord et le Sud.

1-2-2. Le scénario de changement climatique B2

Il s'agit d'un scénario optimiste (moins pessimiste) qui décrit un monde où l'accent est placé sur les solutions locales, dans un sens de viabilité économique, sociale et environnementale. La population mondiale s'accroît de manière continue mais à un rythme plus faible que dans A2. Il y a des niveaux intermédiaires de développement économique et l'évolution technologique est moins rapide et plus diverse.

2- Les principales étapes pour la production des scénarios de changements climatiques

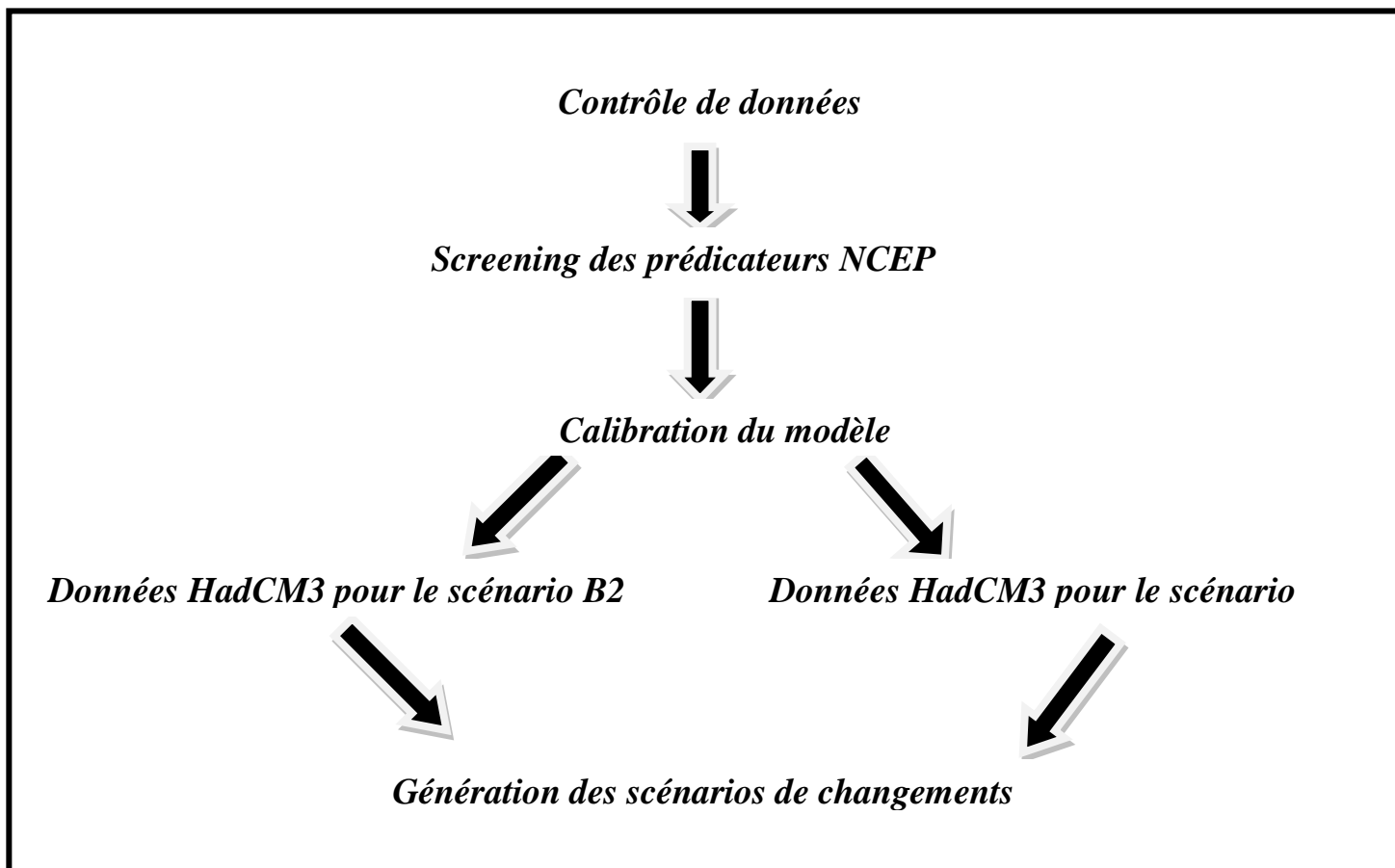


Figure 48 : Les principales étapes pour la production des scénarios de changements climatiques

2-1- Contrôle des données et transformations

La première étape de la technique SDSM est la vérification des données observées avant la calibration du modèle, pour vérifier les données manquantes et les valeurs suspectes d'un fichier d'entrée, il est nécessaire de procéder à un contrôle de qualité des données.

2-2-Screening des prédicateurs

Identification des relations empiriques entre les prédicateurs (comme la pression niveau de la mer moyenne) et les paramètres prévus est très important pour les méthodes statistiques de réduction d'échelle. Le but principal de l'opération est d'aider l'utilisateur à faire une sélection optimale des prédicateurs appropriés.

2-3- Calibration du modèle

Ce processus a pour effet de construire les modèles de réduction d'échelle en fonction des équations de régression linéaire multiple, compte tenu des prédicants quotidiens et des variables prédicteurs atmosphériques (Ré-analyses NCEP)

Dans cette opération la structure du modèle est choisie entre trois types: mensuel, saisonnier ou annuel. Un choix est aussi fait entre un modèle inconditionnel et un modèle conditionnel. Si le modèle est inconditionnel, un lien direct est assumé entre le prédicant et les prédicteurs. Si le modèle est conditionnel, un processus intermédiaire existe entre les prédicants et les prédicteurs (par exemple : précipitations dépendent de l'occurrence des jours humides qui dépend à son tour de l'humidité et de la pression atmosphérique).

2-4- Génération des scénarios de changements climatiques A2 et B2 à haute résolution

Une fois les modèles de régression calibrés, l'étape suivante du processus de réduction d'échelle de SDSM consiste à utiliser ces modèles pour générer des séries de données météorologiques quotidiennes futur sur la période (2012-2099) à l'échelle de la station météorologique, en utilisant les variables prédicteurs atmosphériques de grande échelle HadCM3 comme des inputs.

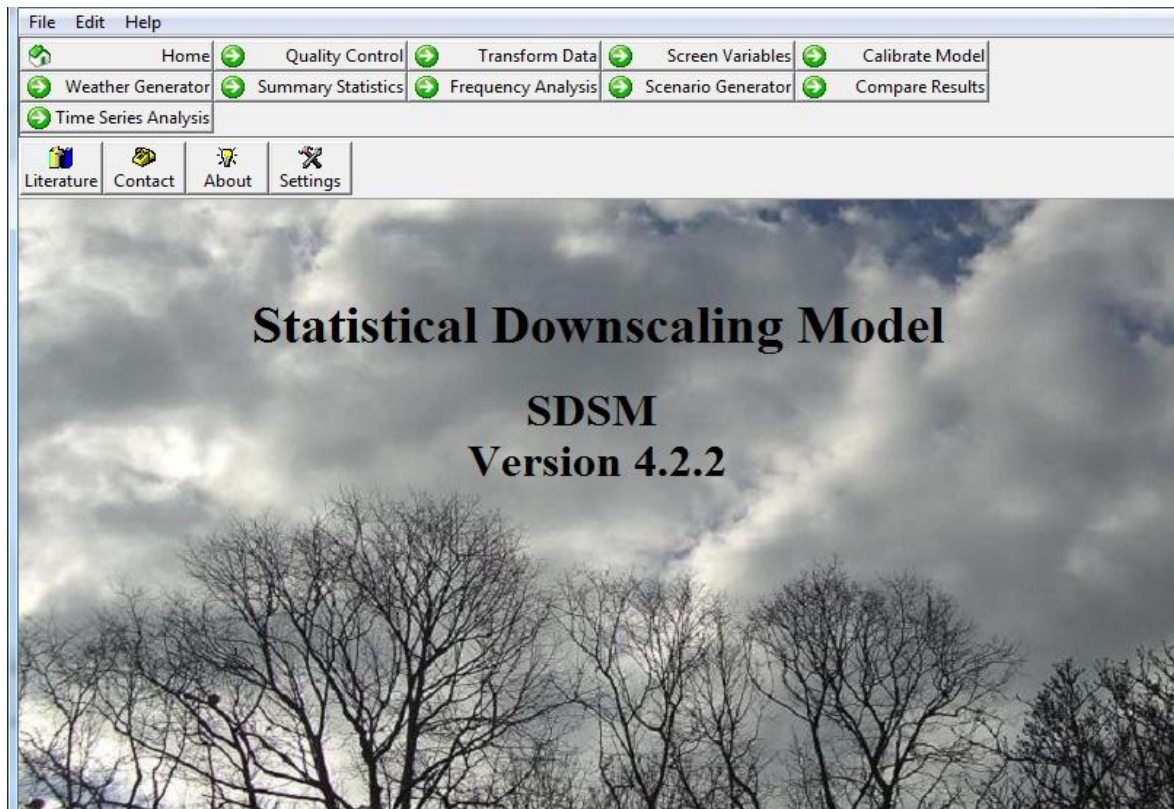


Figure 49 : Interface du SDSM

3- Evolution du climat futur à Marrakech (2011 - 2099)

Après qu'on a :

- Contrôlé les données des températures et des précipitations observées
- Identifié les relations entre prédicateurs et prédicants
- Calculé les paramètres de l'équation de régression multiple entre prédicateurs et prédicants
- Généré les scénarios de changement climatique A2 et B2

Le modèle SDSM nous a donné des séries des températures et des précipitations quotidiennes que les on a calculé pour obtenir des précipitations annuelles et des températures moyennes annuelles.

Les simulations futures faites par le logiciel sur la base des scénarios A2 et B2 donnent les résultats suivants

3-1- Tendence des précipitations annuelles

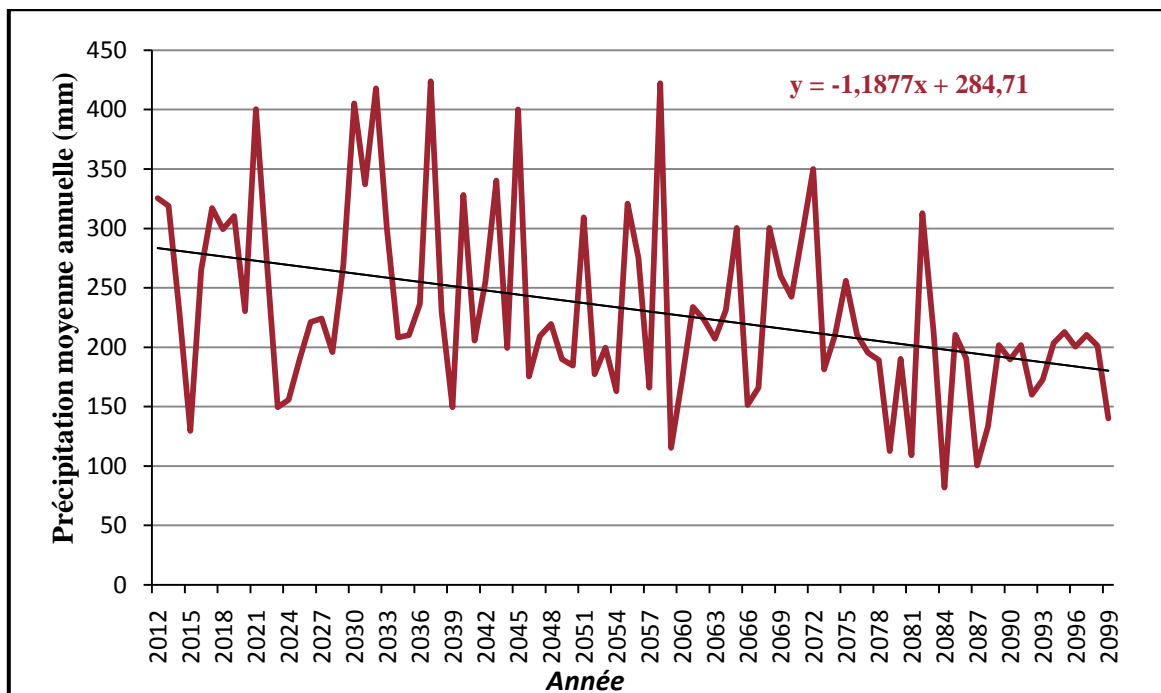


Figure 50 : tendance des précipitations annuelles prévues par le scénario A2 pour la période 2012-2099

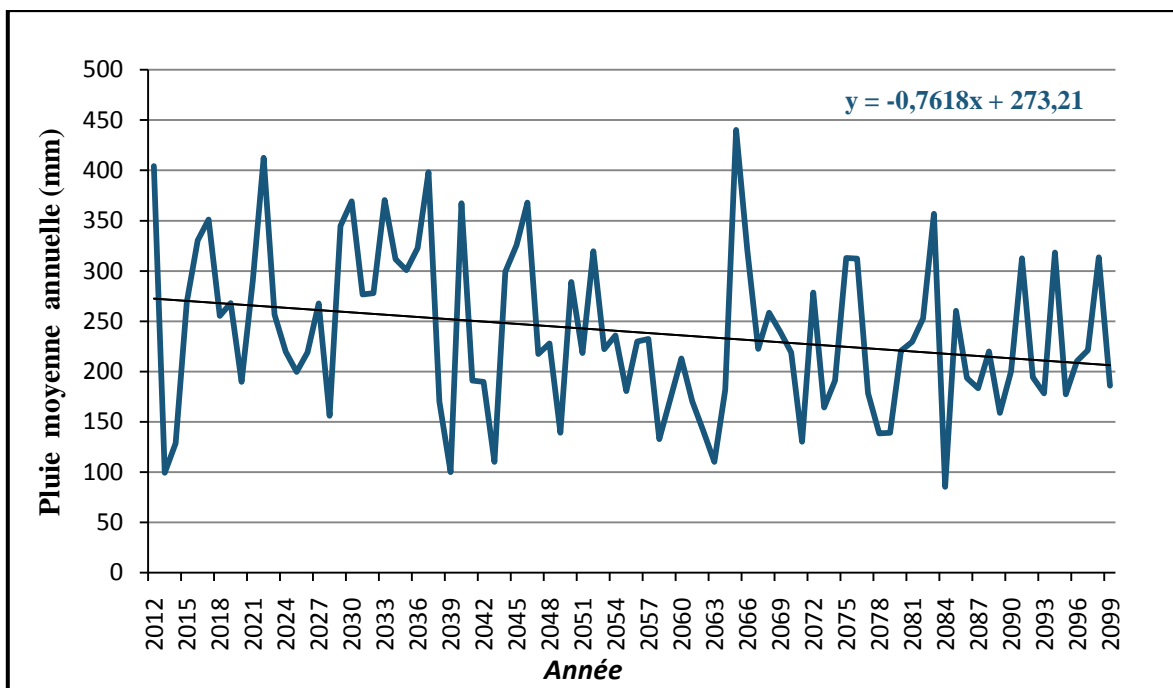


Figure 51 : Tendence des précipitations annuelles prévues par le scénario B2 pour la période 2012- 2099

L'analyse de la tendance des précipitations annuelles prévues par le scénario A2 et B2 (figure 50 et 51) montre que ces deux scénarios climatiques A2 et B2 ont une tendance des à la baisse, cette diminution des précipitations est plus importante pour le scénario pessimiste A2 que le scénario optimiste B2.

Selon le scénario pessimiste, la pluviométrie annuelle diminuera de 170mm à l'horizon 2099, alors que le scénario optimiste aura une baisse des précipitations annuelles d'environ 190 mm en 2099.

3-2- Tendence des températures moyennes annuelles

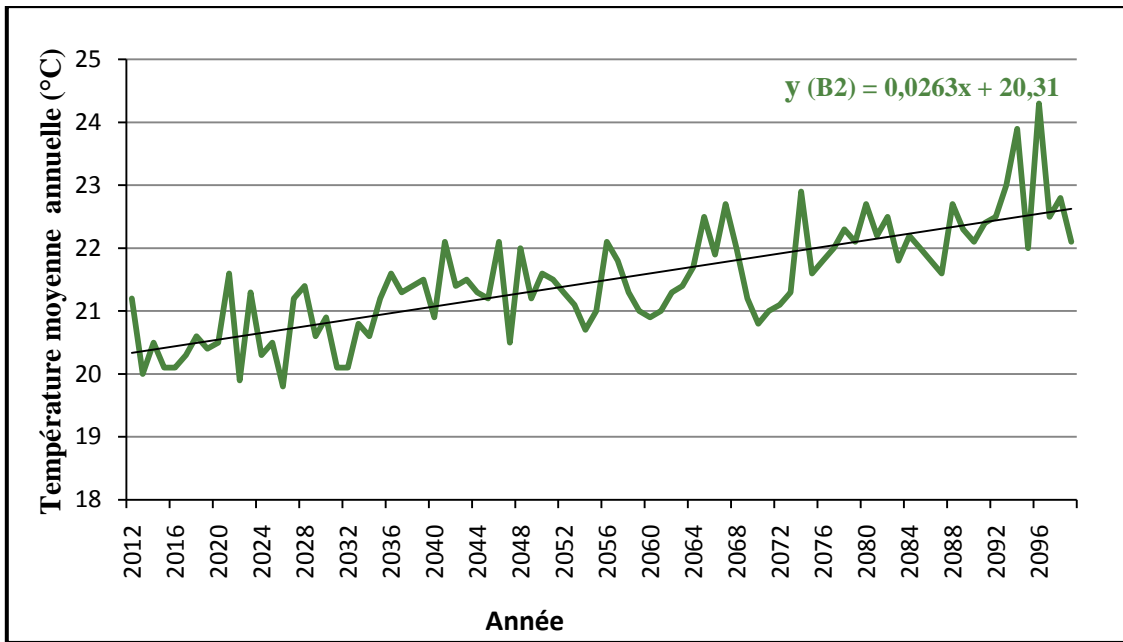


Figure 52 : Tendence de la température moyenne annuelle prévue par le scénario B2 pour la période 2011- 2099

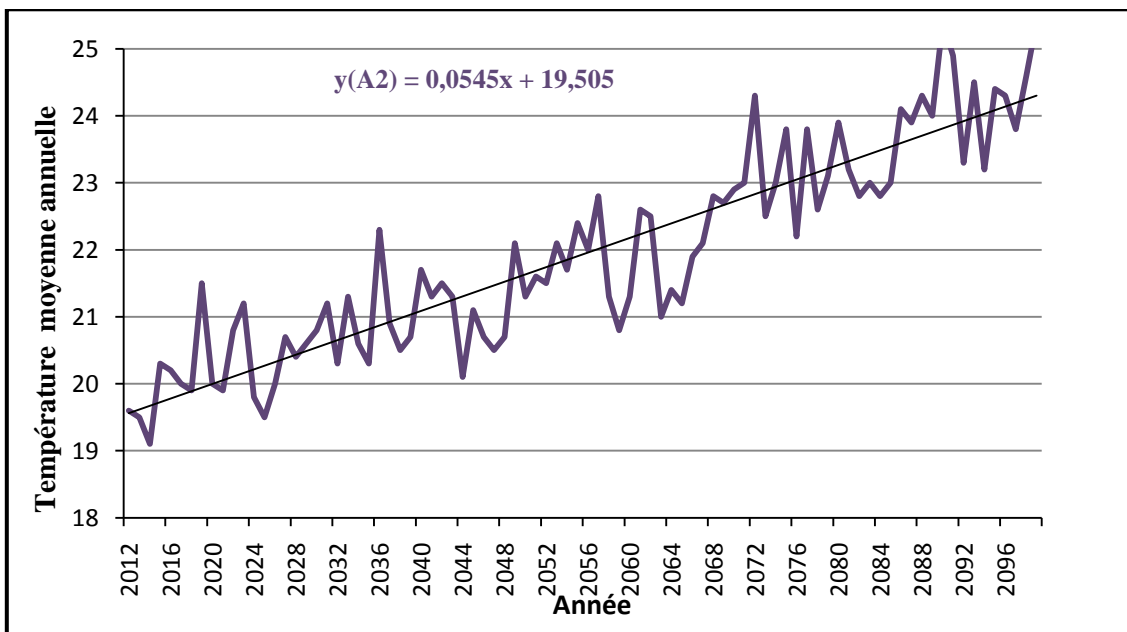


Figure 53 : Tendence des températures moyennes annuelles prévues par le scénario A2 pour la période 2011- 2099

L'analyse des modèles numériques simulant le climat futur, montre que les tendances thermiques du futur ne sont pas stables, notamment pour les premières prochaines décennies, ou le scénario modéré (B2) (figure 52) pourra donner certaines années des fréquences d'apparition de températures moyennes annuelles plus importantes que le scénario pessimiste (A2) (figure 53).

Le scénario A2 se traduira par une augmentation des températures avec une valeur maximale qui pourra atteindre 25° C .

Le scénario B2 se traduira une forte augmentation des températures avec une valeur maximale qui dépassera 24,5 °C.

4- Interprétation des résultats

L'analyse des simulations pour les horizons 2055 et 2099, a montré un futur climatique caractérisé par une augmentation des températures et une diminution des précipitations.

Tableau 10: Températures moyennes annuelles prévues pour les 2012-2055 et 2055-2099

Horizons	Scénario A2 (°C)	Scénario B2 (°C)
2012-2055	20.9	20.8
2055-2099	23.1	22



Tableau 11 : les moyennes de la hausse des températures pour les horizons 2012-2055 et 2055/2099

Horizon	Scénario A2 (°C)	Scénario B2 (°C)
2012-2055	1	0.9
2055-2099	3.2	2.1

La moyenne de la hausse des températures par rapport à 1961 – 2011 à Marrakech est comprise entre :

- 0,9 °C (4.5%) à 1 °C (5.02%) à l'horizon 2055
- 2,1°C (10.5%) à 3,2 °C (16.1%) à l'horizon 2099

Tableau 12 : précipitations annuelles prévues pour les 2012-2055 et 2055-2099

Horizon	Scénario A2 (mm)	Scénario B2 (mm)
2012-2055	256,8	260,4
2055-2099	206,9	218,2



Tableau 13 : les moyennes de la baisse des précipitations pour les horizons 2012-2055 et 2055/2099

Horizon	Scénario A2 (mm)	Scénario B2 (mm)
2012-2055	-16,5	-12,9
2055-2099	-66,4	-55,1

La moyenne de la diminution des précipitations par rapport à 1961-2011 à Marrakech comprise entre :

- -12,9 mm (- 47 %) à -16,5 mm (-6.03 %) à l'horizon 2055
- -55,1 mm (-20.2%) à -66,4 mm (-24.3%) à l'horizon 2099

Conclusion

Les résultats des scénarios du modèle SDSM ont permis de constater que le climat futur du bassin versant de Tensift percevra une tendance à la réduction des précipitations annuelles et une tendance à l'augmentation des températures.

- Le scénario pessimiste A2 prévoit une tendance à la diminution des précipitations de moyenne de -16.5 mm à l'horizon 2055, de moyenne de - 66.4 mm à l'horizon 2099 par rapport à 1961-2011 et une tendance à l'augmentation des température de moyenne de 1°C à l'horizon 2055 et une moyenne de 3.2°C à l'horizon 2099.
- Le scénario optimiste B2 prévoit une tendance à la diminution des précipitations de moyenne de -12.9 mm à l'horizon 2055 et de l'ordre de -55.1 mm à l'horizon 2099 par rapport à 1961-2011 et une tendance à l'augmentation des température de moyenne de 0.9°C à l'horizon 2055 et une moyenne de 2.1°C à l'horizon 2099.

L'augmentation des températures et la diminution des précipitations auront des effets néfastes sur l'environnement de la région de Marrakech.

CHAPITRE V

ETUDE D'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT

1- Etude d'impact sur l'environnement

1-1- Définition

Selon la loi 12-03 (établie en 1995 et promulguée le 12 Mai 2003), l'étude d'impact sur l'environnement (EIE) est une étude préalable permettant l'évaluation des effets directs ou indirects pouvant atteindre l'environnement à court, moyen et long terme suite à la réalisation de projets économiques et de développement ou un phénomène et à la mise en place des infrastructures de base et de déterminer des mesures pour supprimer, atténuer ou compenser les impacts négatifs et d'améliorer les effets positifs d'une activité sur l'environnement.

1-2- Identification et évaluation des impacts

Dans cette partie, on traite les impacts (positifs et négatifs) qui pourront être engendrés par le changement climatique propose d'une part les mesures correctives ou d'atténuation résultantes des effets négatifs probables, et d'autre part, les dispositions à prendre pour une bonification des retombés positifs. La présente étude a pour objectif de :

- ❖ Evaluer de manière systématique les répercussions éventuelles directes et indirectes, temporaires et permanentes du changement climatique sur l'environnement ;
- ❖ Proposer des recommandations pour minimiser les facteurs qui ont derrière les changements climatiques, de les atténuer ou de les compenser dans le cas échéant.

1-3- Méthodologie

Ce chapitre consiste à présenter la méthode utilisée pour identifier les impacts des changements climatiques sur l'environnement de la région du Tensift.

1-3-1. Méthode d'évaluation des impacts

Pour identifier les impacts potentiels du changement climatique sur l'environnement à court et à long terme, nous allons essayer de traiter ces impacts sur chaque secteur environnemental à part :

- Le milieu physique : les ressources en eau
- Le milieu biologique

- Le milieu humain

Les impacts du projet sur l'environnement ont été identifiés, inventoriés et évalués en utilisant les critères illustrés dans le diagramme suivant :

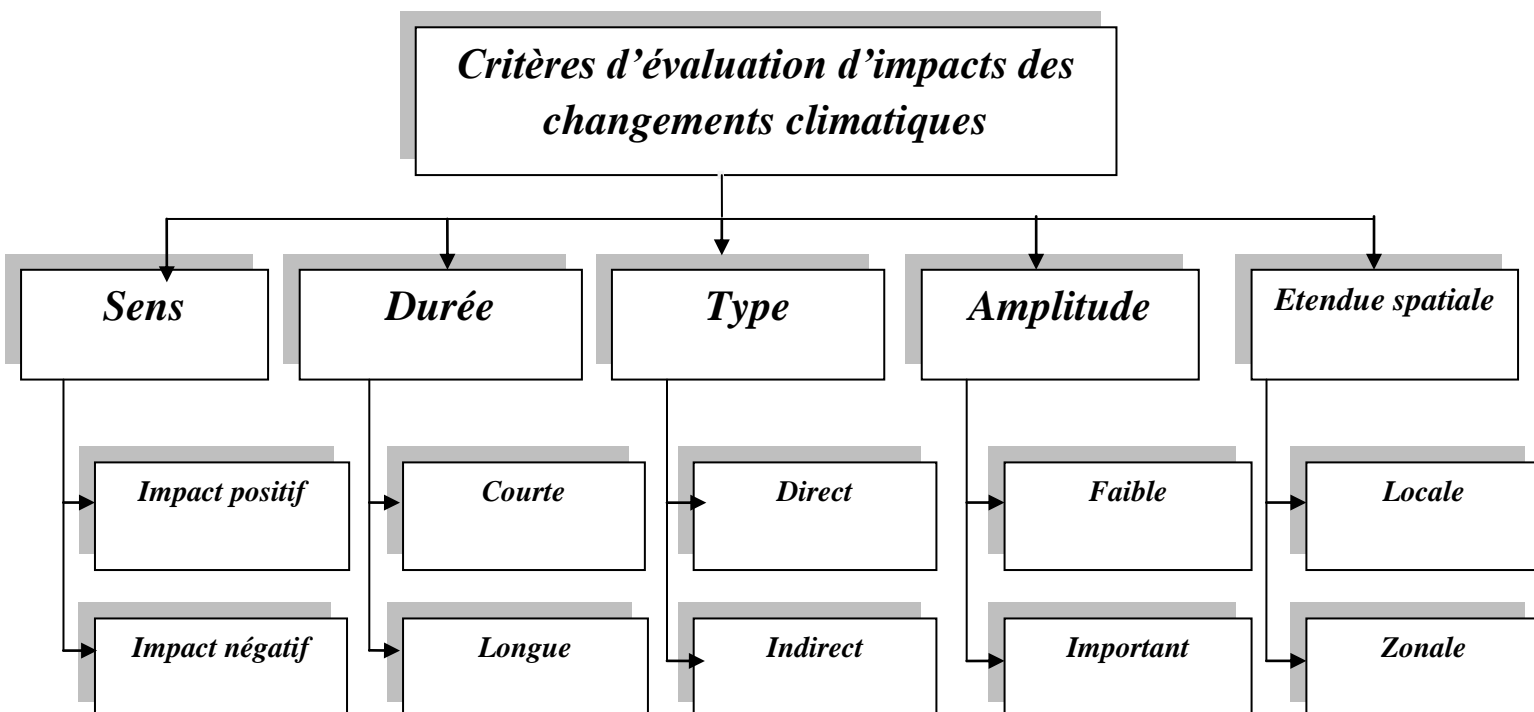


Figure54: Critères d'évaluation d'impact des changements climatiques

- ❖ **Sens** : le changement climatique peut affecter les milieux récepteurs négativement ou positivement.
- ❖ **Durée** : Courte ou longue. Un impact est caractérisé par une certaine persistance qui peut être pérenne, longue, courte ou éphémère
- ❖ **Type** : Un impact peut être le résultat direct du projet ou au contraire peut y être associé de manière indirecte.
- ❖ **Amplitude** : Pour traduire l'intensité de l'impact.
- ❖ **Etendue spatiale** : Un impact peut avoir une étendue spatiale restreinte et très localisée ou au contraire une étendue beaucoup plus large affectant une zone ou une région donnée.

1-4- Evaluation des impacts

Cette partie traduit l'évaluation des impacts des changements climatiques sur l'environnement de la zone d'étude.

1-4-1. Impact positif

Le changement climatique au niveau de la zone d'étude, via l'augmentation des températures, permettra la récupération des rayonnements solaires dont le but de produire l'énergie thermique à travers l'implantation des centrales thermiques solaires. Ces derniers seront une alternative de la production d'énergie au lieu de celle produite à partir des eaux de barrage qui vont avoir un déficit résultant d'une diminution des précipitations.

1-4-2. Impacts négatifs

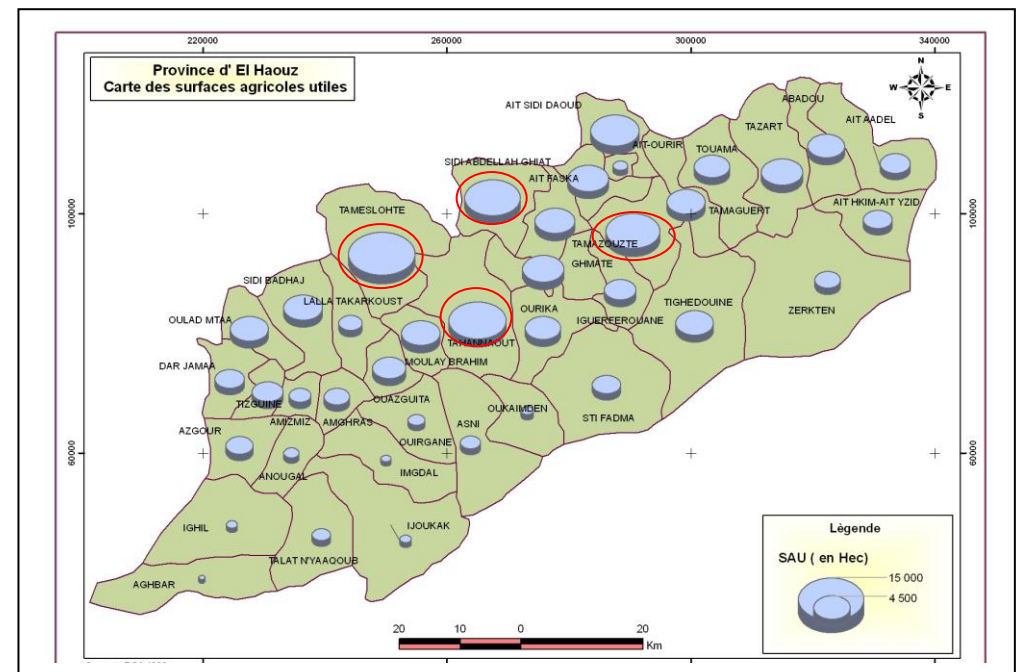
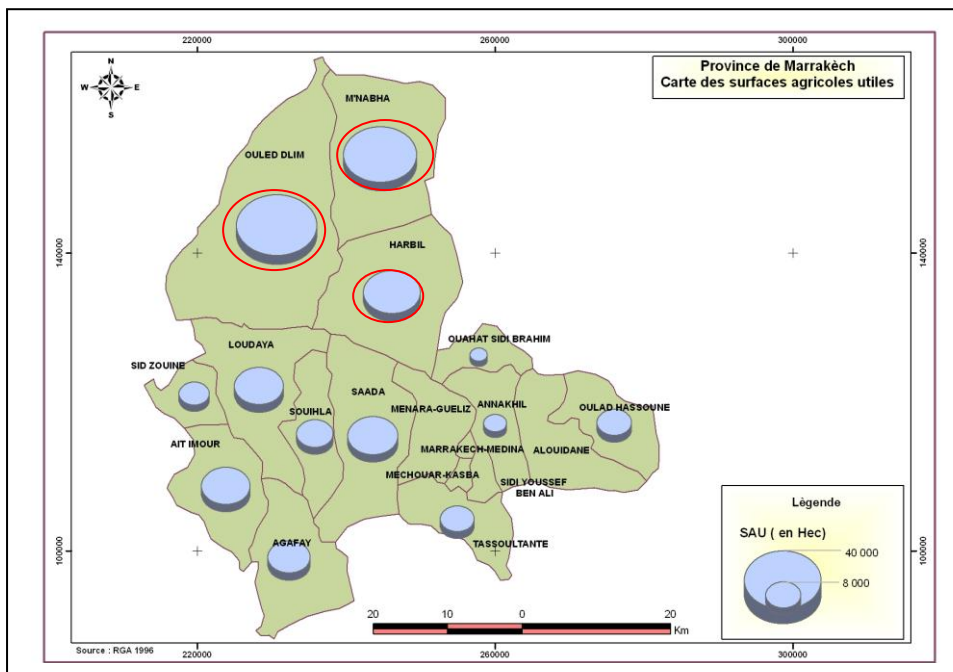
1-4-2.1. Impact sur les ressources en eau :


La diminution des précipitations au niveau de la zone d'étude entrainera la réduction des débits d'écoulement des cours d'eaux, ce qui fera durer plus les périodes d'étiage de ces derniers. Ainsi, une grande partie des précipitations vont s'évaporer suite à l'élévation de la température du milieu et par conséquent le taux d'infiltration des eaux vers la nappe va diminuer, ce qui minimisera la charge hydraulique des eaux souterraine et augmentera la salinité des eaux de surface.

Le réchauffement climatique et les impacts qui lui associés auront également des conséquences à cours terme sur la qualité des eaux stagnées au niveau des oueds et des lacs, suite à la diminution de la capacité des écoulements d'eau ce qui entrainera une augmentation de la charge en agents pathogènes ou en substances chimiques notamment les eaux qui reçoivent des rejets pollués. Ce qui aura un effet sur la santé humaine.

1-4-2.2. Impact sur l'agriculture

L'agriculture qui représente le secteur clé de l'économie régionale et à laquelle se consacre la majorité de la population (271 332 nombre d'agriculteur), cependant la diminution des précipitations durant cette période vont diminuer la productivité des cultures, aussi la dégradation de la fertilité des sols causée par l'augmentation de la température ont donc des impacts négatifs sur le rendement agricole et sur la nutrition des populations.



 Impact important

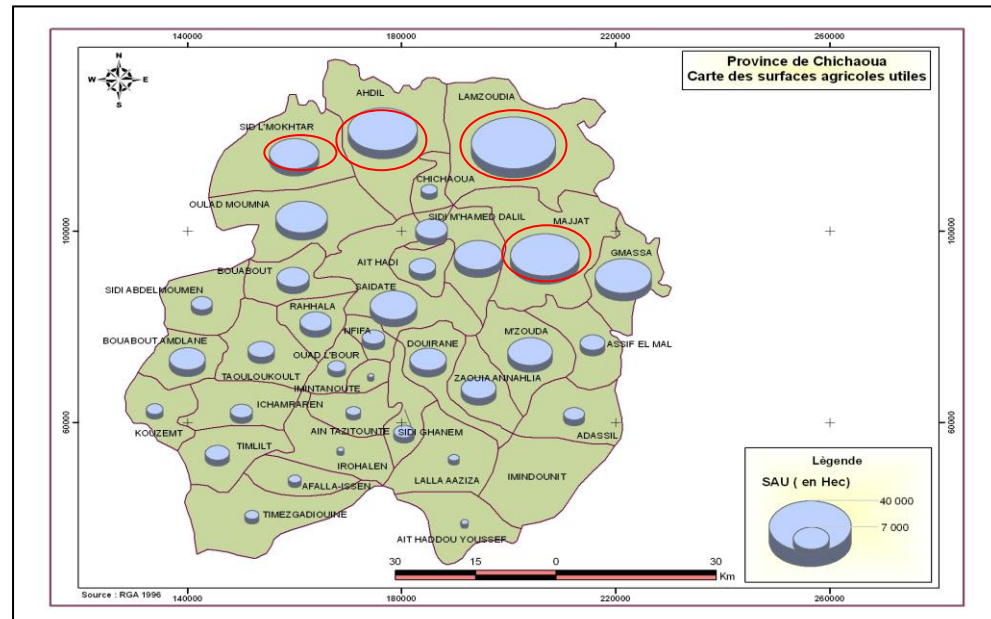


Figure 40 : Cartes des zones plus infectées par changement climatiques sur l'agriculture

1-4-2.3. Impact sur le sol

Une élévation de la température accompagnée de la sécheresse va diminuer la teneur du sol en matière organique et sel minéraux suite au manque de la végétation qui lui compose, ce qui introduit une destruction de la faune et la flore y vivent en symbiose et qu'il abrite. Et par conséquent une destruction des cycles des gazes essentiels notamment celle du Carbone, Azote et Oxygène. Ainsi la mise en place de l'ensemble de ces facteurs auront une action directe sur la structure et la texture du sol et rendre ce dernier face au différent type de dégradation et d'érosion essentiellement l'érosion éolienne vu le climat aride de la zone.

1-4-2.4. Impact sur l'élevage

Toute diminution future des ressources en eau aura une grande influence sur la quantité et la qualité de l'élevage et une incidence sur la productivité animale qui sera plus influencée suite au manque de la végétation naturelle utilisée pour l'alimentation du bétail (Bovins, Caprins, Chèvres ...) au niveau de la zone. Ce qui perturbera la chaîne alimentaire et entraînera un déséquilibre écologique.

1-4-2.5. Impact sur les forêts

L'augmentation de la température accompagnée de la sécheresse dans cette zone, où le climat est déjà aride, va accentuer l'ampleur et les fréquences des incendies et des feux incontrôlés, cela ajouté au stress hydrique, va mettre les formations forestières et les steppes face aux facteurs naturels agressifs pour la viabilité et la primauté des écosystèmes forestiers au niveau de cette zone.

1-4-2.6. Impact social

En plus des problèmes sociaux directs liés aux changements climatiques (stress hydrique et diminution de la qualité et la quantité de l'eau potable...), suite à l'augmentation des températures et la diminution des précipitations, des incidences sur l'état sanitaire des habitants de la zone d'étude liées aux maladies diarrhéiques et des maladies respiratoires peuvent être avoir lieu. Aussi, la diminution de niveau de vie de la population et la dégradation de la qualité du biotope à l'issue de la pollution atmosphérique hydrique et terrestre (concentration du CO₂ et des gazes à effet de serre...)

En fait, une baisse de rendements agricoles et la croissance démographique engendrera une baisse du niveau de nutrition des populations et élévation du prix des aliments

La sécheresse et l'augmentation de la chaleur de la zone, la disponibilité en approvisionnement en eau, les pertes de la nature et la dégradation de l'environnement pourront menacer le secteur touristique et par conséquent son économie.

1-4-2.7. Impact sur la pêche

Les modifications hydrologiques (baisse du débit d'oued Tensift) et thermiques associées au changement climatique (augmentation de la température, diminution des précipitations) auront un impact sur les espèces faunistiques et floristiques présentes dans l'estuaire d'oued Tensift, par exemple la remontée de la salinité de ce dernier influera sur la distribution des espèces planctoniques côtières estuariennes. Ces modifications pourront se traduire par une réduction de la productivité ou de renouvellement ou par distribution de certains espèces.

En effet, certaines espèces s'adapteront aux changements climatiques dans l'estuaire de la zone d'étude, certains se déplaceront afin de trouver les conditions nécessaires à leur développement ou pourront disparaître.

Les prévisions des conséquences liées aux changements climatiques montrent une tendance à la hausse des températures qui conduirait à une montée du niveau marin.

1-4-2.8. Impact sur la faune et la flore

Les modifications de l'environnement liées au changement climatique affecteront les peuplements de la faune et de la flore de différentes manières et à différents moments de leur cycle de vie ou de leur reproduction, certaines espèces étant plus sensibles que d'autres.

Des évolutions des comportements migratoires des oiseaux pourront être observées

Tableau 14 : Matrice d'impact des changements climatiques

Secteur / Impact	Sens		Durée		Type		Amplitude		Etendue spatial		Signification	
	<i>Positive</i>	<i>Négative</i>	<i>Longue</i>	<i>Courte</i>	<i>Directe</i>	<i>Indirecte</i>	<i>Important</i>	<i>Faible</i>	<i>Zonale</i>	<i>Locale</i>	<i>Grande</i>	<i>Petite</i>
Eau												
quantité de l'eau		*	*		*		*		*		*	
Qualité de l'eau		*	*		*		*		*		*	
Sol												
Sécheresse du sol		*	*		*		*		*		*	
Erosion éolienne		*	*		*		*		*		*	
Paysage												
Destruction de la végétation naturelle		*	*		*		*		*		*	
Economie												
Activité économique		*	*		*		*		*		*	
Production de l'énergie renouvelable	*		*			*	*		*		*	
Santé												
Propagation des maladies		*	*		*		*		*		*	

2- Les mesures d'atténuation et d'adaptation des changements climatiques

En contribution de l'évolution du climat récent, l'évolution du climat futur projetée par le modèle SDSM et les impacts néfastes traités des changements climatiques sur l'environnement obligent la direction de la météorologie et de l'environnement du bassin versant de Tensift, d'élaborer des mesures d'atténuation et d'adaptation aux ces changements. Les causes des changements climatiques résident à 90% dans l'émission des gaz à effet de serre (GES), comme cela a été établi, en 2007, par le quatrième rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

Les mesures d'atténuation des changements climatiques consistent donc à la réduction des Émissions de GES. Qui concernent les secteurs de l'énergie, des transports, de l'industrie, des déchets, de l'agriculture, du forêt, de la construction. Elles reposent fondamentalement sur la Stratégie de l'Énergie lancée en 2008.

Tableau 14 Mesures d'atténuation des changements climatiques

Domaine	Les mesures d'atténuation
<i>Agriculture</i>	*Récupération du méthane du fumier et valorisation des déjections animales en combustible alternatif, *Traitement des margines issues de la trituration des olives vue que la région est dominé par les oliviers
<i>Industrie</i>	*Mesures d'incitation, pour récupérer et valoriser la chaleur émise par les procédés industriels *L'utilisation d'énergie éolienne pour l'alimentation électrique
<i>Transport</i>	*Concernant les carburants, il faut utiliser du Gasoil et de l'essence sans plomb. *Développement de l'usage de la bicyclette en ville
<i>Forêts</i>	* Protection de la forêt vis-à-vis des incendies * Reforestation – reboisement
<i>Déchets</i>	*Valorisation des émanations de méthane des décharges contrôlées, *Valorisation des émanations de gaz à effet de serre provenant des stations de traitement des eaux usées, *Réhabilitation des décharges non-contrôlées et Valorisation des émanations de méthane de ces décharges.

Tableau 15 Mesures d'adaptation des changements climatiques

Domaine	Les mesures d'adaptation
<i>Météorologie</i>	<ul style="list-style-type: none"> *Utiliser du dispositif d'alerte aux événements météorologiques extrêmes (vagues de chaleur et de froid, inondations, désertification etc.), par le renforcement du réseau d'observation au sol et en altitude ainsi que des moyens de la télédétection (radar, satellite, foudre), et par la mise en place de modèles numériques de prévision *Renforcer des capacités humaines et techniques en matière d'observation et de suivi climatique, et en matière de prévision Climatique la recherche (recherche sur l'évolution du climat du bassin du Tensift.
<i>Eau</i>	<ul style="list-style-type: none"> *Education et sensibilisation du public à l'économie d'eau. *Encadrement et sensibilisation des agriculteurs pour l'adoption des techniques modernes de l'irrigation et pour les techniques d'économies d'eau (goutte à goutte) *Adaptation des outils de gestion des barrages aux effets des changements climatiques. *Développement d'usines de dessalement de l'eau de mer utilisant l'énergie solaire *Réutilisation des eaux usées pour l'irrigation.
<i>Agriculture</i>	<ul style="list-style-type: none"> *Développement du cactus par la création variétale, l'amélioration des techniques culturales et la recherche de débouchés agro-industriel, en vue de la lutte contre la désertification et contre la pauvreté. *Création des variétés de blé tendre avec les caractéristiques de tolérance a la sécheresse et de résistance aux principales maladies et parasites
<i>Foret</i>	<ul style="list-style-type: none"> *L'introduction de nouvelles espèces résistantes au stress hydrique comme les palmiers. *La surveillance de la vitalité des forets *Protection des sols contre l'érosion et lutte contre la désertification par le reboisement avec des espèces autochtones.
<i>Pêche</i>	<ul style="list-style-type: none"> *Evaluation des répercussions des changements climatiques sur la distribution et l'abondance des espèces marines, en particulier les espèces de poissons exploitées.
<i>Santé</i>	<ul style="list-style-type: none"> *Renforcement du système de sante à travers le développement et renforcement des capacités des professionnels de santé. Renforcement des programmes de lutte contre les maladies sensibles au climat.
<i>Tourisme</i>	<ul style="list-style-type: none"> *Réalisation d'une Etude d'Evaluation économique de la dégradation environnementale au niveau du secteur touristique *création d'espaces verts de la superficie globale des sites touristiques. *Interdiction des activités touristiques pouvant porter atteinte a l'environnement par exemple activité nautique a moteur mécanique au niveau des lacs et barrages. *Etudes de préservation du tourisme face à la raréfaction de l'eau.

CONCLUSION

Le présent travail constitue une analyse climatologique et hydrologique du bassin du Tensift, dont les températures moyennes annuelles, précipitations annuelles et modules annuels sont caractérisés par une variabilité et une irrégularité bien observée.

La tendance au réchauffement à été marquée par l'analyse de l'évolution des températures, les hauteurs annuelles et les modules annuels ont tendance vers la sécheresse. De plus le calcul des indicateurs climatiques m'a servi comme moyen pour confirmer ces évolutions : rapport à la normale, nombre de jours chauds et coefficient d'hydraulicité ...

Les projections estimées à l'aide du modèle SDSM ont suggéré une hausse des températures moyennes annuelles et une diminution des précipitations annuelles selon deux projections, une qui est pessimiste A2 et une autre qui est optimiste B2.

Le scénario pessimiste A2 prévoit une tendance à la diminution des précipitations de moyenne de (-16.5) mm à l'horizon 2055, de moyenne de (-66.4) mm à l'horizon 2099 par rapport à 1961-2011 et une tendance à l'augmentation des température de moyenne de 1°C à l'horizon 2055 et une moyenne de 3.2°C à l'horizon 2099.

Le scénario optimiste B2 prévoit une tendance à la diminution des précipitations de moyenne de (-12.9) mm à l'horizon 2055 et de l'ordre de (-55.1) mm à l'horizon 2099 par rapport à 1961-2011 et une tendance à l'augmentation des température de moyenne de 0.9°C à l'horizon 2055 et une moyenne de 2.1°C à l'horizon 2099.

Ce réchauffement et cette sécheresse auront des effets dangereux et néfastes sur tous les éléments de l'environnement, a un impact sur les ressources en eau, l'agriculture et l'équilibre de l'écosystème

L'évaluation des impacts des changements climatiques démontre que le réchauffement et la sécheresse de la zone d'étude entraîneront des impacts néfastes sur tous les éléments de l'environnement, produisant à des déséquilibres environnementaux et socio-économiques. Le changement climatique aura également un impact positif qui sera palpable au niveau de la production de l'énergie renouvelable.

Suite à ces impacts des applications des mesures d'atténuation et d'adaptation devront être déployées pour s'adapter face au changement climatique

Références bibliographiques

- ❖ Direction de l'aménagement du territoire de l'eau et de l'environnement :
www.minenv.gov.ma
- ❖ GOUAIDIA Layachi influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico –chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de meskiana nord-est algerien. Thèse de Doctorat. 2008
- ❖ GIEC., 2007: Changements climatiques: Contribution du Groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. P.3-18
- ❖ High Resolution Climate Change Scenarios for Morocco for the 21st Century (Abdelaziz Babqi, Atika Kasmi and Mohamed Messouli. P 6, 7,8).
- ❖ Kourais, K., Ait Brahim, Y., 2010. Changements climatiques à Marrakech
- ❖ Problématique des rejets liquide au niveau de la région du Tensift. 2010
- ❖ Plan Direction de l'Aménagement Intégré des Ressource en Eau (D.A.I.R.E)
- ❖ www.minenv.gov.ma
- ❖ www.ipcc.ch
- ❖ www.cccsn.ec.gc.ca

Annexe

PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCEUIL

1- Département de l'eau - Ministère des Mines, de l'Energie de l'Eau et de l'Environnement

De par son caractère stratégique, la politique nationale de développement du secteur de l'eau constitue une partie essentielle de la politique du développement durable du pays.

Autrefois intégrée dans la famille de l'Equipement pour des raisons politique et d'efficacité, ce secteur qui a acquis expérience et savoir faire est érigé depuis le 7 novembre 2002 en Secrétariat d'Etat chargé de l'Eau (S.E.E). C'est une première étape qui marque l'intérêt prioritaire du Gouvernement à l'accomplissement des missions dévolues à ce Département.

2- Les missions principales du Département de l'Eau

Les principales missions du Département de l'Eau sont :

- la recherche et l'évaluation des ressources en eau
- la veille météorologique et l'information sur l'évolution du climat
- la planification du développement des ressources en eau
- la mobilisation et le transfert d'eau
- la gestion des ressources en eau
- la contribution à la protection des biens et des personnes via la prévision et le suivi du développement des phénomènes météorologiques à risque
- la sauvegarde du patrimoine hydraulique (ressources en eau et infrastructure)
- la recherche-développement dans les domaines du climat et de l'eau

3- La structure et les attributions de Département de l'Eau :

Pour la réalisation de ses missions, D.E dispose de :

- Quatre Directions Centrales : La Direction Générale de l'Hydraulique, la Direction des Aménagements Hydrauliques, la Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau et la Direction des affaires Générales et Techniques.
- Une Direction ayant le statut d'un Service géré de manière autonome (SEGMA) : La Direction de la Météorologie Nationale avec quatre directions régionales déconcentrées

représentant le secteur de la météorologie dans les zones du Nord, du Centre, du Sud et de l'Oriental.

- Des établissements publics territoriaux dotés de la personnalité morale et de l'autonomie financière : une agence au niveau de chaque bassin hydraulique : ABH du Sebou, de l'Oum Er Rbia, du Tensift, du Loukkos, du Souss-Massa, de la Moulouya, du Ziz-Guir-Rheris, du Sahara et de la Chaouia-Bouregreg.
- Un établissement public à caractère industriel et commercial : l'Office National de l'Eau Potable.
- Des entités territoriales : Services de l'Eau chargés, au niveau de chaque province, de représenter le Secrétariat d'Etat chargé de l'Eau en étroite collaboration avec les agences de bassins.

4- La Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau

C'est au sein de cette Direction que mon travail s'est déroulé et plus précisément au service de l'Hydrologie ; Les principales attributions de cette direction sont :

- Inventorier et contrôler l'évolution des ressources en eaux superficielles et souterraines, et contrôler leur qualité;
- Etablir les plans directeurs de développement des ressources en eau en liaison avec les secteurs utilisateurs ;
- Etudier, gérer et contrôler l'emploi des ressources en eau ;
- Etudier et réaliser les projets d'alimentation en eau potable rurale ;
- Etablir les textes législatifs relatifs à la gestion du domaine public hydraulique.

Elle comprend:

- **La Division de la Planification et de la Gestion de l'Eau**, chargée des études de planification et de la gestion des ressources en eau. Elle est, composée du service des Plans Directeurs et du service de la Gestion des Eaux.
- **La Division des Ressources en Eau**, chargée du suivi et de l'évaluation des ressources en eau de surface et souterraines ainsi que de l'annonce des crues. Elle est composée du service de l'Hydrologie et du service de l'Hydrogéologie.
- **La Division de la Qualité de l'Eau**, chargée du suivi de l'état de qualité des eaux, du contrôle des sources de pollution et des études de développement de la qualité des

ressources en eau. La division est composée du service de la Surveillance de la Qualité de l'Eau et du service du Contrôle de la Pollution.

➤ **La Division de la Législation de l'Eau**, chargée de la préparation des textes réglementaires régissant le secteur et de l'administration du DPH. Deux services sont rattachés à cette division à savoir le service des Etudes Juridiques et le service de la Gestion du DPH.

Lois et règlements

Afin de limiter les émissions des polluants atmosphériques; le Ministère en charge de l'Environnement a préparé trois textes de loi qui ont été promulgués par le Parlement le 13 juin 2003. Il s'agit de :

Loi N° 11-03 relative à la protection et la mise en valeur de l'environnement : Enonce les principes directeurs de protection et de gestion de l'Environnement. Il traite des obligations qui présentent un risque pour l'environnement et des dispositions visant à lutter contre les pollutions et les nuisances et traite d'instruments de gestion de l'environnement tels que les normes et standards, les études d'impacts et des plans d'urgence.

Loi N° 12-03 relative aux Etudes d'impact sur l'environnement : Soumet à une étude d'impact sur l'environnement préalable tout projet ou ouvrage qui, en raison de sa nature, de sa dimension ou de ses incidences sur le milieu naturel est susceptible d'avoir un impact sur l'environnement.

Loi N°13-03 relative à la lutte contre la pollution de l'air :

A pour but de prévenir, réduire et limiter les émissions de polluants dans l'atmosphère. Il vise les sources de pollution atmosphérique fixes et mobiles et interdit d'émettre, de déposer, de dégager ou de rejeter dans l'atmosphère des pollutions au-delà des normes qui seront fixées par voie réglementaire.

D'autres projets de lois sont en cours de finalisation et d'adoption. Il s'agit notamment des projets suivants :

Projet de loi relative au littoral.

Projet de loi relative aux carrières.

Projet de loi relative à la gestion des déchets et leur élimination.

Projet d'arrêté sur les sacs en plastique.

Projet relatif à l'application des décrets sur la lutte contre la pollution maritime et accidentelle.

