

## Département des Sciences de la Terre

### Licence en Sciences et Techniques Eau & Environnement

#### MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDE

# IMPACT DES RECHAUFFEMENTS CLIMATIQUES SUR LES RESSOURCES EN EAU DANS LA REGION DE MARRAKECH-SAFI

Réalisé par :

- **DAOUDI HAJAR**
- **OUAARDA HASNA**
- **QADIRI IMANE**

Soutenu le : **01 Juillet 2021**

Devant la commission d'examen composée de :

Encadrant interne : **M. Lahcen DAOUDI**, FST Marrakech  
Encadrant externe : **M. Said ERRACHIDI**, ABHT  
Examineur : **M. Mohamed ERRAGRAGUI**, FST Marrakech

Année universitaire 2020-2021



## **Présentation du cadre administratif de l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift :**

La planification des ressources en eaux au Maroc a été amorcée dès les années 1980 et améliorée en 1995 à travers le décret de la loi de l'eau 10-95 qui a donné naissance aux Agences du Bassin Hydraulique « ABH » qui sont au nombre de neuf. Ces agences ont pour but d'évaluer, de planifier et de gérer les ressources en eaux au niveau des bassins hydrographiques et cela par l'élaboration et la mise en œuvre des Plan Directeurs d'Aménagements Intégrés des Ressources en Eaux « PDAIRE ». L'ABHT est instaurée par le décret du 14 Novembre 2000, en application de l'article 20 de la loi sur l'Eau, afin d'assurer une gestion intégrée et concertée des ressources en eau pour un développement durable du bassin hydraulique du Tensift.

Objectifs de création des Agences de Bassins Hydrauliques :

- Elaborer un plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau relevant de sa zone d'action.
- Veiller à l'application du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau à l'intérieur de sa zone d'action.
- Fournir toute aide financière et toute prestation de service, soit pour prévenir la pollution des ressources en eau, soit en vue d'un aménagement ou d'une utilisation du domaine public hydraulique.
- Réaliser toutes les mesures piézométriques et de jaugeages ainsi que les études hydrologiques, hydrogéologiques, de planification et de gestion de l'eau tant sur le plan quantitatif que qualitatif.
- Réaliser toutes les mesures de qualité et d'appliquer les dispositions de la présente loi et des lois en vigueur relatives à la protection des ressources en eau et à la restauration de leur qualité, en collaboration avec l'autorité gouvernementale chargée de l'environnement.
- Proposer et exécuter les mesures adéquates, d'ordre réglementaire notamment, pour assurer l'approvisionnement en eau en cas de pénurie d'eau déclarée.
- et contrôler l'utilisation des ressources en eau mobilisées.
- Gérer Réaliser les infrastructures nécessaires à la prévention et à la lutte contre les inondations.

# REMERCIEMENT

Aucun mot ne saurait exprimer notre très haute considération et notre grande admiration pour toute personne qui a participé de près ou de loin de l'élaboration de ce travail.

Nous adressons nos remerciements les plus sincères à notre encadrent pédagogique **M. Daoudi Lahcen** qui nous a bénéficié de son savoir-faire, de sa disponibilité, de ces remarques et surtout ces judicieux conseils qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Nous tenons à remercier **M. Er Rachidi Said** et **M. Benaddi Rabia**, nos encadrants au sein de l'agence du bassin hydraulique Tensift pour leur temps, leur encadrement et leurs conseils.

Nos gratitude vont également à **M. Saidi Mohammed El Mehdi** pour son soutien et ses recommandations qui n'ont été indispensables pour finaliser ce travail.

Nous tenons également à présenter, notre profonde et immense gratitude, à nos professeurs et enseignants de la faculté des sciences et techniques de Marrakech (FSTG) qui ont partagé leur savoir-faire tout au long de notre période de formation, tout en espérant que ce travail sera à la hauteur de leurs attentes.

Un grand merci également aux collègues de promo, pour les très bons moments partagés. Enfin on ne peut clore cette page sans adresser nos remerciements profonds à nos parents qui ont été et sont toujours là pour nous.

Merci à tous !

# RESUME

Le bassin de Tensift est susceptible d'être à haut risque de pénurie d'eau en raison du réchauffement climatique et vu sa situation dans une zone aride à semi-aride.

Le bassin de Tensift d'une superficie d'environ 20.000 km<sup>2</sup> présente trois parties dont le fonctionnement hydrologique est contrasté et complémentaire, une partie montagneuse faisant office de château d'eau (le Haut-Atlas) qui alimente une plaine irriguée en aval (le Haouz de Marrakech), ainsi qu'une partie côtière.

Le bassin de Tensift se caractérise par un climat aride à semi-aride avec des précipitations moyennes annuelles comprises entre 300 mm et 800 mm, et des températures moyennes de 20 °C. Vu l'importance de ce bassin dans l'approvisionnement en eau des villes et agglomérations avoisinantes, cette étude tente d'étudier l'effet du réchauffement climatique sur la ressource en eau dans cette zone. Une série de graphes de températures, de pluviométries et débits (1970-2017) ainsi que de piézométries (2006-2014) a été réalisé.

Cette étude a permis de montrer que la baisse des pluies et l'augmentation de la température ont globalement généré une diminution des ressources en eau superficielles et souterraines. Cette étude a produit des résultats importants à l'échelle régionale et locale. Elle nous a permis d'affiner nos connaissances et compréhension de la structure spatiotemporelle des régimes hydro-climatiques moyens et extrêmes à Tensift.

# TABLE DE MATIERES

Présentation du cadre administratif de l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift : .....	2
REMERCIEMENT .....	3
RESUME .....	4
LISTE DES TABLEAUX .....	7
LISTE DES FIGURES .....	7
LISTE DES PRINCIPAUX ACRONYMES .....	8
<b>INTRODUCTION : .....</b>	<b>9</b>
<b>CHAPITRE 1 : CONTEXTE CLIMATIQUE .....</b>	<b>10</b>
1 NOTION DU CLIMAT : .....	10
1.1 DEFINITION : .....	10
1.2 PALEOCLIMAT .....	11
1.3 NOTION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE : .....	11
2 ORIGINES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES : .....	11
2.1 ORIGINES NATURELLES : .....	11
2.2 ORIGINES ANTHROPIQUES : .....	13
3 DISTRIBUTION CLIMATIQUE : .....	14
3.1 ECHELLE MONDIALE : .....	14
3.1.1 CLIMAT MONDIAL : .....	14
3.1.2 EVOLUTION CLIMATIQUE MONDIAL : .....	15
3.1.2.1 Température : .....	15
3.1.2.2 Pluviométrie : .....	16
3.2 ECHELLE NATIONALE : .....	17
3.2.1 PRESENTATION DU CADRE GENERAL : .....	17
3.2.2 SITUATION CLIMATIQUE NATIONALE : .....	18
3.2.3 EVOLUTION DU CLIMAT AU MAROC : .....	19
3.2.3.1 Température .....	20
3.2.3.2 Pluviométrie .....	20
<b>CHAPITRE 2 : CONTEXTE HYDRIQUE .....</b>	<b>22</b>
1 DEFINITION DES RESSOURCES EN EAU : .....	22
1.1 CYCLE DE L'EAU .....	22
2 RESSOURCES EN EAU MONDIALE : .....	23
2.1 REPARTITION INEQUITABLE DE L'EAU DANS LE MONDE : .....	24
2.2 STRESSE HYDRIQUE MONDIAL : .....	25
3 RESSOURCES EN EAU AU MAROC : .....	25
3.1 EAUX DE SURFACE .....	26
3.2 EAUX SOUTERRAINES .....	26

3.3	RISQUE HYDRIQUE AU MAROC : .....	26
3.3.1	STRATEGIE DU MAROC FACE AU STRESS HYDRIQUE : .....	27
3.3.1.1	Projets de barrages : .....	27
3.3.1.2	Stations d'épuration des eaux usées : .....	27
3.3.1.3	Stations de dessalement : .....	27
<b>CHAPITRE 3 : ETUDE DE L'EVOLUTION CLIMATIQUE ET HYDRIQUE DANS LA REGION DE MARRAKECH-SAFI .....</b>		<b>28</b>
1	PRESENTATION DU CADRE REGIONAL : .....	28
2	DIAGNOSTIQUE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LA REGION D'ETUDE : .....	29
2.1	CLIMAT DE LA REGION : .....	29
2.1.1	EVOLUTION CLIMATIQUE DE LA REGION : .....	29
2.1.1.1	Evolution de la température : .....	29
2.1.1.2	Evolution pluviométrique : .....	31
3	RESSOURCES EN EAU DE LA REGION : .....	33
3.1	EAUX DE SURFACE : .....	33
3.2	EAUX SOUTERRAINES : .....	34
4	SITUATION HYDRIQUE DANS LA REGION ENTRE L'INSUFFISANCE DES RESSOURCES ET L'AUGMENTATION DE LA DEMANDE : .....	35
<b>CHAPITRE 4 : ANALYSE DES IMPACTS DU RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE SUR LES RESSOURCES EN EAU .....</b>		<b>38</b>
1	EFFET DU CLIMAT SUR LE CYCLE DE L'EAU : .....	38
2	INDICE PLUVIOMETRIQUE : .....	39
2.1	INDICE STANDARDISÉ DES PRÉCIPITATIONS .....	39
2.1.1	CLASSIFICATION DU SPI : .....	39
3	INFLUENCE DU CLIMAT SUR LES RESSOURCES EN EAU .....	41
3.1	RESSOURCES EN EAU SUPERFICIELLES .....	41
3.1.1	COMPARAISON DES TROIS STATIONS .....	45
3.2	RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINES .....	45
3.2.1	LE CHOIX DES SITES : .....	46
3.3	ANALYSES DES DONNEES .....	47
3.4	INTERPRETATION ET DISCUSSION .....	50
<b>CONCLUSION : .....</b>		<b>52</b>
BIBLIOGRAPHIE : .....		53

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Classifications de l'indice standardisé des précipitations .....	39
Tableau 2 : Séquences sèches, humides et normales de la région de Marrakech (1970-2017) .....	40
Tableau 3 : Valeurs moyennes, maximales et minimales des débits moyens.....	45

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma des différents compartiments de la terre et leur interactions (OIEau, 2019) .....	10
Figure 2 : : Variation de la teneur en CO2 atmosphérique en fonction de la Température lors des glaciations et des déglaciations du dernier million d'années (Aurélien et Cédric, 2013). .....	12
Figure 3 : Taux de CO2 dans l'atmosphère en date du 12/01/2021 à partir de 1968. Mesuré à Mauna Loa (Hawaï) - Scripps Institution of Oceanography (Damien, 2021).....	13
Figure 4 : Carte simplifiée des climats mondiaux (Brahmanand, 2019).....	14
Figure 5 : Évolution des températures mondiales depuis 1850 (MEDD, 2021).....	15
Figure 6 : Températures moyennes de l'air en surface de 2011 à 2020 par rapport à une moyenne de référence de 1951 à 1980 (Éric, 2020).....	16
Figure 7 : Répartition des précipitations à la surface du globe (Maestre, 2005). .....	17
Figure 8 : Carte topographique du Maroc (Sebbar, 2013).....	18
Figure 9 : Carte des bioclimats selon la classification d'Emberger (Moukhtari et al, 2013) .....	19
Figure 10 : Evolution climatique dans des différentes stations au Maroc (Jaa, 2019).....	20
Figure 11 : Carte des précipitations annuelles National (El ajhar et al, 2018). .....	21
Figure 12 : le parcours de l'eau, sous différentes formes, entre les grands réservoirs de la nature (Mayer, 2016). .....	22
Figure 13 : Répartition de l'eau douce dans le monde (OIEau, 2017). .....	23
Figure 14 : Disponibilité en eau douce par bassin 1995-2025 (Revenga et al, 2000).....	24
Figure 15 : Répartition des ressources en eau par bassin (Hachimi, 2009).....	26
Figure 16 : Localisation de la région de Marrakech-Safi (Abouddrar, 2016) .....	28
Figure 17 : Evolution de la température moyenne des mois de janvier de 1970 à 2018 dans la ville de Marrakech .....	29
Figure 18 : Evolution de la température moyenne des mois de juillet de 1970 au 2018 dans la ville de Marrakech .....	30
Figure 19 : Evolution annuelle de la température de 1970 au 2018 dans la ville de Marrakech .....	30
Figure 20 : Tendances des précipitations annuelles en mm dans la station de Talmest (1985-2017) .....	31
Figure 21 : Tendances des précipitations annuelles en mm dans la station de Marrakech (1970-2017). .....	32
Figure 22 : Tendances des précipitations moyennes annuelles dans la station d'Aghbalou (1970-2017). .....	32
Figure 23 : Ressources en eau superficielles de la région de Marrakech-Safi (DGCL, 2015).....	34
Figure 24 : Carte des principales nappes de la zone de l'ABHT (Smajj, 2011) .....	35
Figure 25 : Evolution des besoins en eau de la population en milieu urbain (ABHT, 2007) .....	37
Figure 26 : Graphique montrant la répartition des années selon leur degré de SPI dans la région de Marrakech (1970-2017). .....	41
Figure 27 : Variation des débits mensuels moyens à Chichaoua entre 1971 et 2015 .....	42
Figure 28 : Variation des débits annuels moyens à Chichaoua entre 1971 et 2015 .....	42
Figure 29 : Variation des débits mensuels moyens à Aghbalou entre 1970 et 2017.....	43
Figure 30 : Variation des débits annuels moyens à Talmest entre 1970 et 2017.....	43
Figure 31 : Variation des débits mensuels moyens à Talmest entre 1970 et 2017 .....	44
Figure 32 : Variation des débits annuels moyens à Talmest entre 1985 et 2017.....	44
Figure 33 : Carte topographique de la nappe de Haouz-Mejjate et localisation des piézomètres étudiés .....	46

Figure 34 : Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 4442/44 entre 2006 et 2014 (ABHT, 2015).....	47
Figure 35 : Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 4010/53 entre 2007 et 2014 (ABHT, 2015) .....	47
Figure 36 : Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 3849/53 entre 2005/2014 (ABHT, 2015) .....	48
Figure 37 : Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 2008/52 entre 2006 et 2014 (ABHT, 2015).....	48
Figure 38 : Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 1113/52 entre 2006 et 2014 (ABHT, 2015).....	49
Figure 39 : Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 766/53 entre 2006 et 2014 (ABHT, 2015).....	49
Figure 40 : Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 4053/53 entre 2010 et 2014 (ABHT, 2015).....	50

## LISTE DES PRINCIPAUX ACRONYMES

- ABHT : Agence de Bassin Hydraulique de Tensift
- BRGM : Bureau de recherches géologiques et minières
- CERED : Centre d'Etudes et de Recherches Démographiques
- CESE : Conseil Economique Social et Environnemental
- CIEAU : Centre d'Information sur l'Eau
- DGCL : Direction générale des collectivités locales
- GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
- MEDD : Ministre de l'Écologie et du Développement Durable
- MEMEE : Ministre de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement Chargé de l'Environnement
- NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration (l'Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique)
- OIEAU : Office International de l'Eau
- PDAIRE : Plans Directeurs d'Aménagement Intègre des Ressources en Eau
- PNA : Programme National d'Assainissement liquide et d'épuration des eaux usées
- RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat
- SAU : Surface Agricole Utilisée
- WRI : World Resources Institute (Institut des Ressources Mondiales)

## **INTRODUCTION :**

L'eau est un élément indispensable à la vie. Sans eau, aucun organisme qu'il soit végétal ou animal, ne peut vivre. Sur notre planète, les ressources en eau sont très rare, leur fragilité et leur répartition inégale aussi bien spatiale que temporelle pose un risque majeur qui s'accroît continuellement.

Cette situation de « stress hydrique » est due à plusieurs facteurs à savoir : l'accroissement démographique, les projets urbanistiques, touristiques, industriels et le réchauffement climatique. Ce dernier impose une nouvelle vision du monde, il est désormais l'une des plus grandes menaces de notre époque.

Lors du dernier siècle, la communauté scientifique internationale s'est beaucoup intéressée à l'étude des changements climatiques. Dans plusieurs régions du globe, les événements météorologiques extrêmes sont devenus de plus en plus fréquents et de plus en plus répandus. Cela a rappelé à la communauté scientifique internationale une évidence première : le climat de notre planète est très variable dans le temps et dans l'espace.

Le réchauffement climatique est donc devenu un sujet fertile pour la recherche fondamentale en climatologie. Cependant, pour mieux connaître le climat il est nécessaire de bien étudier et de caractériser la variabilité de ses éléments. Car cette variabilité peut devenir une contrainte économique pour les activités qui dépendent en grande partie des apports atmosphériques, notamment, les secteurs liés à la disponibilité en eau comme l'agriculture mais aussi les besoins en eau potable pour les populations.

Situé dans l'une des régions les plus arides de la planète, le Maroc subit de plein fouet le changement climatique où les impacts concerneraient de plus en plus l'amplification et l'augmentation de la fréquence des phénomènes extrêmes (sécheresses et inondations), la dégradation des écosystèmes, la raréfaction des ressources en eau,... (GIEC, 2014).

La région Marrakech-Safi qui est située au centre ouest du pays sous un climat aride à semi-aride est l'une des régions les plus affectées par ces phénomènes extrêmes, du coup elle subit une gamme de réchauffement climatique et de menaces environnementales importantes.

L'objectif spécifique de notre étude est de déterminer les éléments qui caractérisent la variabilité du climat de la région Marrakech-Safi, étudier l'évolution du climat récent à travers les deux principaux paramètres (température et précipitations) ainsi que l'évolution hydrique pour ressortir l'impact des changements climatiques sur les ressources en eau (superficielles et souterraines) dans le bassin de Tensift.

# CHAPITRE 1 : CONTEXTE CLIMATIQUE

## 1 NOTION DU CLIMAT :

### 1.1 DEFINITION :

Le climat peut être défini comme étant les conditions météorologiques moyennes qui règnent dans un endroit donné (température, précipitations, ...) calculées d'après les observations d'au moins 30 ans (défini par l'Organisation Météorologique Mondiale). Pour être exact, le climat ne concerne pas seulement les températures et les précipitations. Il prend également en considération la force et la direction des vents, l'humidité de l'air et beaucoup d'autres paramètres.

Le climat représente une machinerie complexe qui est le produit, dans l'espace et dans le temps, de toute une série d'interactions entre les éléments qui composent les différents compartiments (figure 1) :

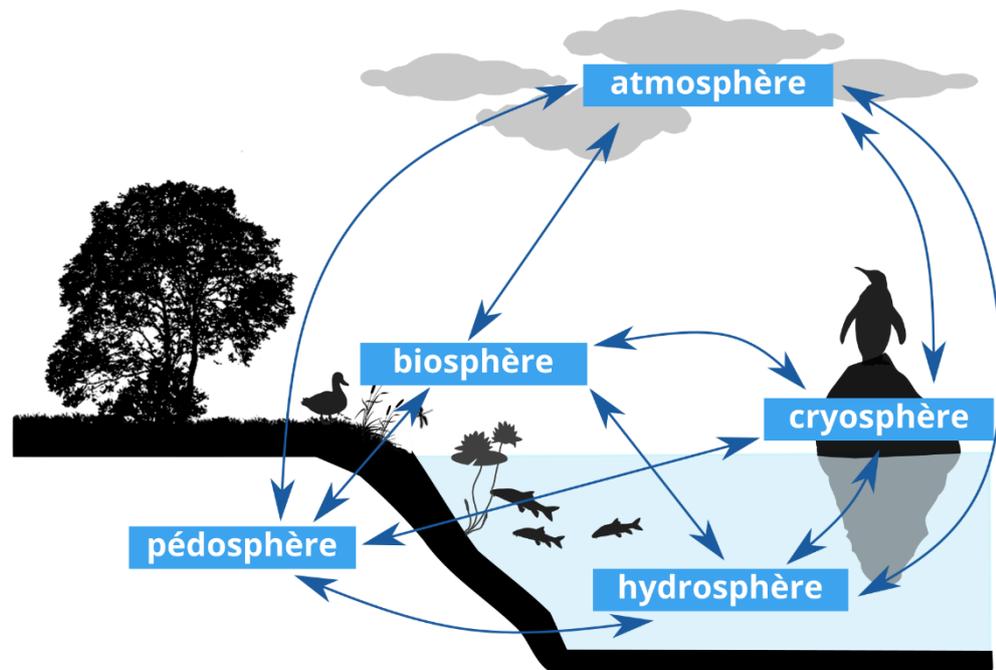


Figure 1 : Schéma des différents compartiments de la terre et leur interactions (OIEau, 2019)

## 1.2 PALEOCLIMAT

L'histoire du climat de la Terre est un écheveau de processus physiques dominants à différentes échelles de temps, mais toujours imbriqués. On peut représenter cette évolution comme une valse à quatre temps.

Celui du milliard d'années, où c'est essentiellement l'évolution de la luminosité du Soleil qui l'emporte. Puis, à l'échelle de dizaines de millions d'années, c'est la tectonique des plaques qui, par son effet sur le climat et sur la teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère, va jouer un rôle prépondérant. Le troisième temps est celui de la variation des paramètres orbitaux à des périodes de la dizaine à la centaine de milliers d'années. Enfin, le quatrième et ultime temps est celui de l'Homme qui, en quelques centaines d'années, s'est hissé au rang d'acteur majeur du changement climatique.

C'est en étudiant le climat du passé et en le comparant au climat d'aujourd'hui que les scientifiques ont pu comprendre les mécanismes du réchauffement climatique actuel.

## 1.3 NOTION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE :

D'une façon générale les changements climatiques désignent l'ensemble des variations des caractéristiques climatiques au cours du temps en un endroit donné : réchauffement ou refroidissement. Mais aujourd'hui la notion de changement climatique est associée au réchauffement climatique qui a débuté dans le monde il y a quelques décennies. Ces effets se font sentir sur toute la planète : le niveau de la mer monte, les tempêtes tropicales ravagent les côtes, des terres anciennement fertiles sont à présent inondées ou totalement desséchées et le permafrost fond dans les régions polaires.

## 2 ORIGINES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES :

### 2.1 ORIGINES NATURELLES :

Quand on sait que la Terre a déjà environ 4,6 milliards d'années, et que l'homme n'y vit que depuis seulement 200 000 ans il est clair que les précédents changements climatiques sont survenus de manière naturelle.

L'histoire des climats de la Terre est d'autant plus difficile à reconstituer que l'on s'éloigne dans le temps. Nous allons néanmoins plonger dans l'histoire climatique de notre petite planète jusqu'à il y a environ 4 milliards d'années. Le climat sur la planète terre a connu plusieurs perturbations durant toutes les ères géologiques dont on peut citer les variations glaciaires-interglaciaires qui ont eu lieu pendant le Quaternaire (figure 2).

**la glaciation** est caractérisée par un climat froid dont l'insolation polaire estivale détermine l'entrée en glaciation : lorsque la neige de l'hiver précédent n'arrive pas à fondre, elle s'accumule et, en réfléchissant le rayonnement solaire, provoque un refroidissement et ainsi une rétroaction positive pouvant aller jusqu'à la formation d'inlandsis.

**L'inter-glaciation** est caractérisée par un climat au moins aussi chaud que l'actuel, (par actuel, il faut comprendre non perturbé par les activités humaines, c'est-à-dire avant la révolution industrielle).

Ainsi, ces alternances entre phases froides et chaudes sont associées respectivement à des bas niveaux (200 ppm) ou à des hauts niveaux (280 ppm) de CO<sub>2</sub> atmosphérique.

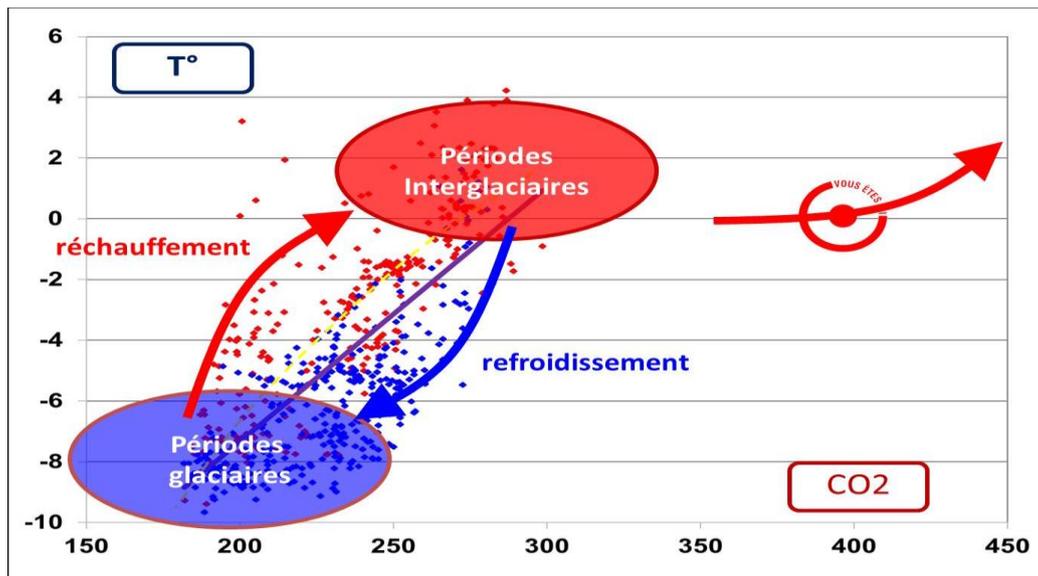


Figure 2 : : Variation de la teneur en CO2 atmosphérique en fonction de la Température lors des glaciations et des déglaciations du dernier million d'années (Aurélien et Cédric, 2013).

Cette récurrence des cycles glaciaires–interglaciaires est expliquée par la théorie astronomique du fait que l'intensité du rayonnement solaire arrivant sur Terre n'est pas toujours la même au fil du temps cette variation dépend de plusieurs paramètres dont les principaux peuvent être :

– le nombre et l'étendue des taches solaires qui se développent à sa surface ; dans ce cas, l'activité du Soleil varie selon un cycle de 11 ans qui dépend du nombre et de l'étendue des taches solaires qui se développe a sa surface. D'autre facteurs naturels on aussi une influence :

- les cendres et les particules de soufre projetées dans l'atmosphère lors de grosses éruptions volcaniques interceptent une partie du rayonnement solaire pendant plusieurs années, ce qui a pour conséquence un refroidissement de la surface terrestre.
- l'orbite de la Terre n'étant pas circulaire, la distance entre le Soleil et notre planète varie à l'échelle de quelques millénaires. Elle influence ainsi la quantité d'énergie que reçoit la Terre en fonction des saisons.
- Il existe encore d'autres facteurs, parmi lesquels les impacts de météorites, la position des continents...

## 2.2 ORIGINES ANTHROPIQUES :

L'effet de serre est à l'origine un phénomène naturel qui a pour but d'assurer une température optimale afin de garantir la vie sur la terre cela est dû à la présence d'une quantité d'un certain nombre de gaz qui se trouvent naturellement dans l'atmosphère et qui absorbent une partie de la chaleur émise par la Terre. Cependant, suite aux activités humaines, la concentration de certains de ces gaz augmente, ce qui renforce l'effet de serre naturel. En effet, depuis plus de 250 ans, les développements technologiques et économiques ont un impact croissant sur le système climatique, et depuis 150 ans au moins, les sociétés humaines sont devenues un facteur prépondérant du réchauffement climatique.

Les sociétés humaines ont profondément modifié le cycle du carbone durant cette période. Cela est dû en premier lieu à l'utilisation des combustibles fossiles (le pétrole, le gaz naturel et le charbon). Des gaz à effet de serre, en particulier du CO<sub>2</sub>, sont libérés lors de l'extraction et de la production de combustibles fossiles, comme carburants ou comme produits à base de pétrole dans l'industrie, ainsi que pour le chauffage ou le refroidissement des bâtiments. La déforestation et les cultures sur brûlis émettent également des gaz à effet de serre, de même que la riziculture et l'élevage, ces deux dernières activités produisent notamment de grandes quantités de méthane. Au total, plus de 50 gigatonnes d'émissions de gaz à effet de serre (en équivalent CO<sub>2</sub>) dues aux activités humaines sont produites chaque année et ajoutées au cycle naturel du carbone. Depuis les débuts de l'industrialisation, aux environs de 1750, les émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine ont entraîné une augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub>, en méthane (CH<sub>4</sub>) et en protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) dans l'atmosphère. Les émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique des deux dernières décennies sont les plus élevées de toute l'histoire de l'humanité. La croissance économique et démographique et la mobilité en progression constante sont les principaux facteurs de cette situation. Ces gaz à effet de serre en plus grandes quantités dans l'atmosphère renforcent l'effet de serre naturel et provoquent une augmentation de la température des couches inférieures de l'atmosphère et de la surface de la Terre (figure 3).

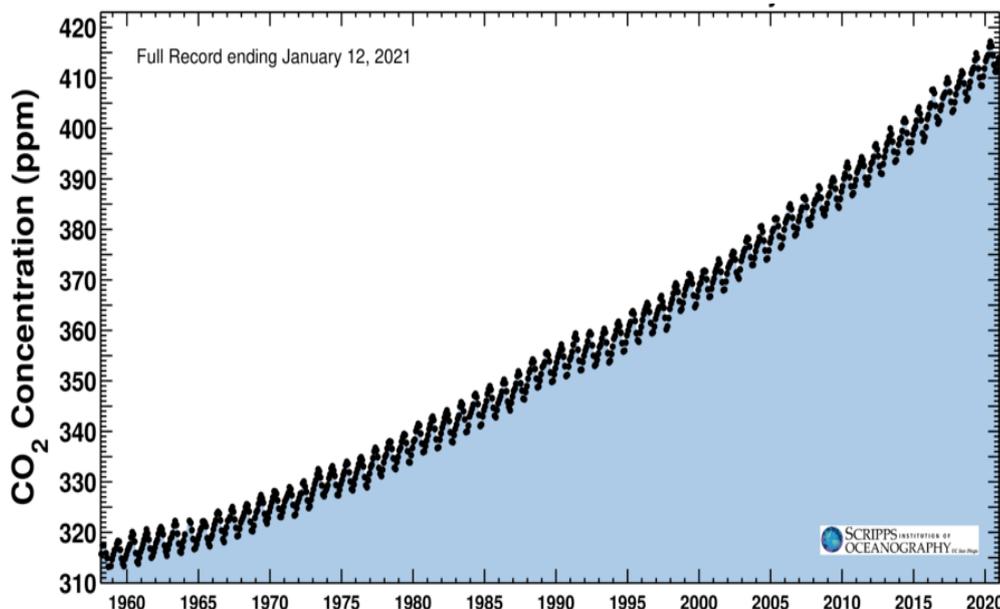


Figure 3 : Taux de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère en date du 12/01/2021 à partir de 1968. Mesuré à Mauna Loa (Hawaï) - Scripps Institution of Oceanography (Damien, 2021)

### 3 DISTRIBUTION CLIMATIQUE :

#### 3.1 ECHELLE MONDIALE :

##### 3.1.1 CLIMAT MONDIAL :

Les variations climatiques dépendent étroitement de la position astronomique de la Terre qui se situe approximativement à 150 millions de Km du soleil qui nous apporte une chaleur et une lumière indispensable à la vie, et qui assure les conditions climatiques optimales dans tout le globe terrestre.

Les régions de la Terre n'ont pas les mêmes conditions météorologiques. Cela peut se mesurer par des températures différentes, mais aussi par les précipitations, l'ensoleillement, les vents, etc...

Tout cela nous indique qu'il existe sur notre planète des climats différents.

C'est à cause de la forme ovoïde de la terre que l'angle d'incidence des rayonnements solaires diffère d'une latitude à une autre et d'une zone à une autre, cela engendre la présence de plusieurs zones climatiques sur le globe terrestre ; climat polaire (domaine arctique, domaine antarctique), climat chaud (zone désertique, zone tropicale et zone équatoriale), zone tempérée (figure 4).

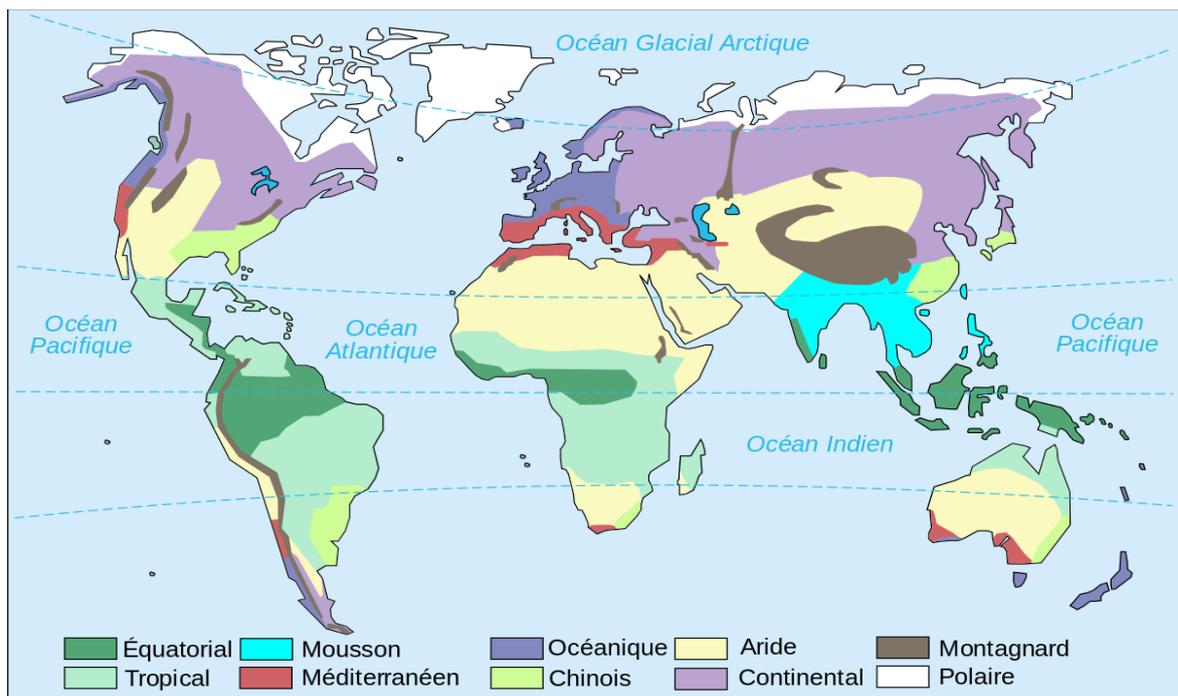


Figure 4 : Carte simplifiée des climats mondiaux (Brahmanand, 2019).

### 3.1.2 EVOLUTION CLIMATIQUE MONDIAL :

Les régions de la Terre n'ont pas les mêmes conditions météorologiques. Cela peut se mesurer par des températures différentes, mais aussi par les précipitations, l'ensoleillement, les vents, etc...

#### 3.1.2.1 Température :

Après des études sur l'évolution du climat, le GIEC (Groupe d'Expert Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) a confirmé un réchauffement statistiquement significatif à l'échelle de toutes les régions du globe durant ces dernières années (figure 5) et (figure 6).

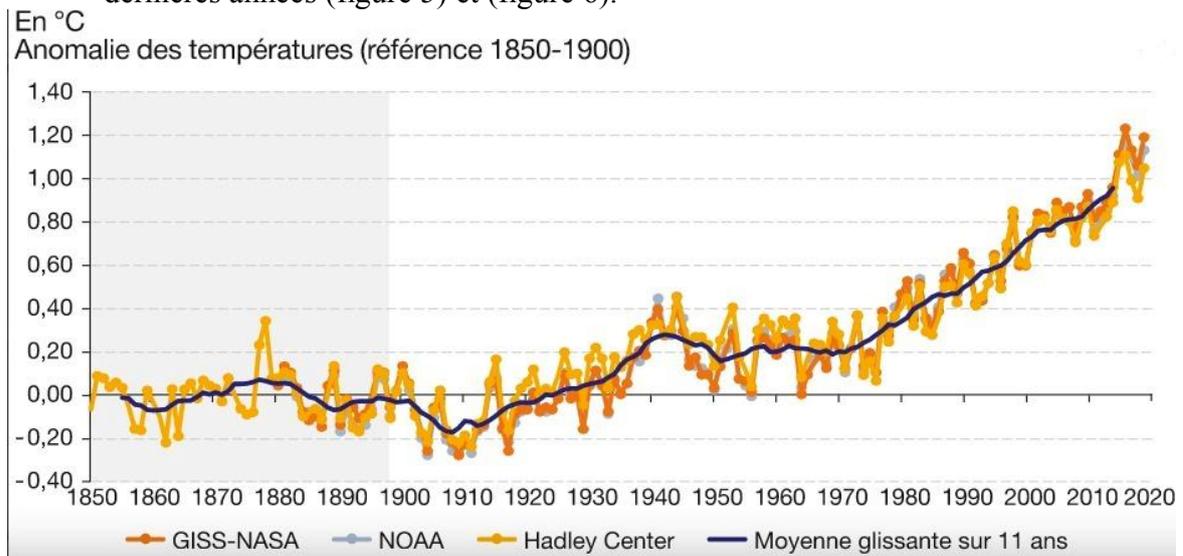


Figure 5 : Évolution des températures mondiales depuis 1850 (MEDD, 2021)

Le réchauffement de la température moyenne mondiale est très net : écart fortement négatif jusqu'en 1940, écart ensuite le plus souvent négatif jusque vers 1980, puis réchauffement net, l'écart est presque systématiquement positif depuis le début des années 1980. La décennie 2000-2019 (avec une température supérieure de 0,66°C à la moyenne 1961-1990) a été plus chaude de 0,19 °C que la décennie 2000-2009 (0,47°C au-dessus de la moyenne 1961-1990). Les 5 dernières années sont les plus chaudes observées depuis 1850. Avec une température supérieure de 0,86 °C à la moyenne 1961-1990, l'année 2016 se classe au premier rang parmi les années les plus chaudes depuis 1850 (Données Nasa, NOAA et Hadley Centre, 2021), l'année 2020 se classe au deuxième rang des années les plus chaudes avec seulement 0,02 °C d'écart surpassant ainsi l'année 2019 qui passe au troisième rang. Depuis la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle la température moyenne mondiale a augmenté de presque 1°C (0,97 °C pour la moyenne 2010-2019) (MEDD, 2021).

## Changement de température lors des 50 dernières années

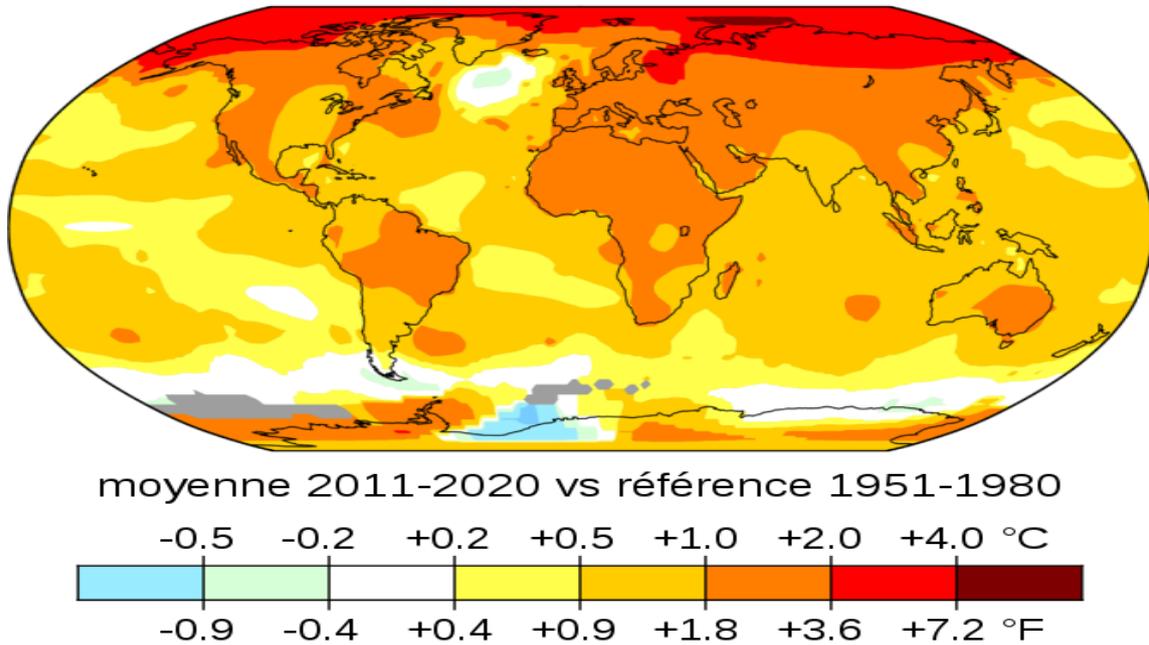


Figure 6 : Températures moyennes de l'air en surface de 2011 à 2020 par rapport à une moyenne de référence de 1951 à 1980 (Éric, 2020)

### 3.1.2.2 Pluviométrie :

L'augmentation des températures réchauffe les eaux de surface océaniques, ce qui entraîne plus d'évaporation, surtout aux basses latitudes (p.ex. zones tropicales). Cette vapeur d'eau est ensuite prise dans la circulation atmosphérique et entre dans le cycle de l'eau. Des températures plus élevées entraînent donc globalement une augmentation des précipitations, mais réparties de manière non uniforme sur la planète et dans le temps. Certaines régions ont reçu plus de précipitations (p. ex. Amérique du Sud, Europe du Nord, etc.) alors que d'autres en recevaient moins (p.ex. Sahel, sud de l'Afrique, Méditerranée, etc..) (figure 7). Les événements de précipitations sont plus violents qu'auparavant dans toutes les régions, ce qui favorise les inondations (Gaëlle, 2012).

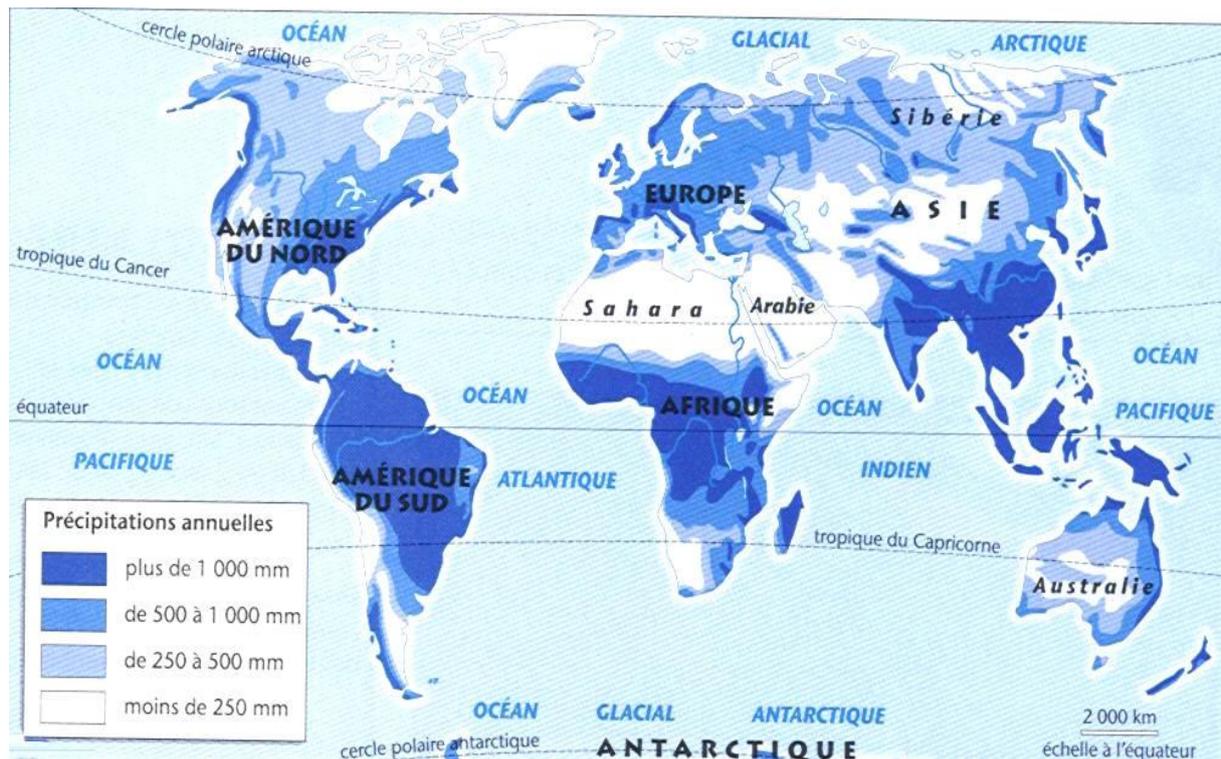


Figure 7 : Répartition des précipitations à la surface du globe (Maestre, 2005).

## 3.2 ECHELLE NATIONALE :

### 3.2.1 PRESENTATION DU CADRE GENERAL :

Situé entre l'Atlantique et la Méditerranée, le Maroc se trouve à l'extrême Nord-Ouest du continent Africain. Grâce à sa grande extension en latitude, il bénéficie d'une importante façade sur l'océan Atlantique (2934 km), à laquelle s'ajoutent, au Nord, 512 km de côtes sur la Méditerranée (figure 8). Cette situation lui confère une position géographique et stratégique de premier ordre avec un territoire qui s'étend sur une superficie de 710 850 km<sup>2</sup> (MEMEE, 2016).

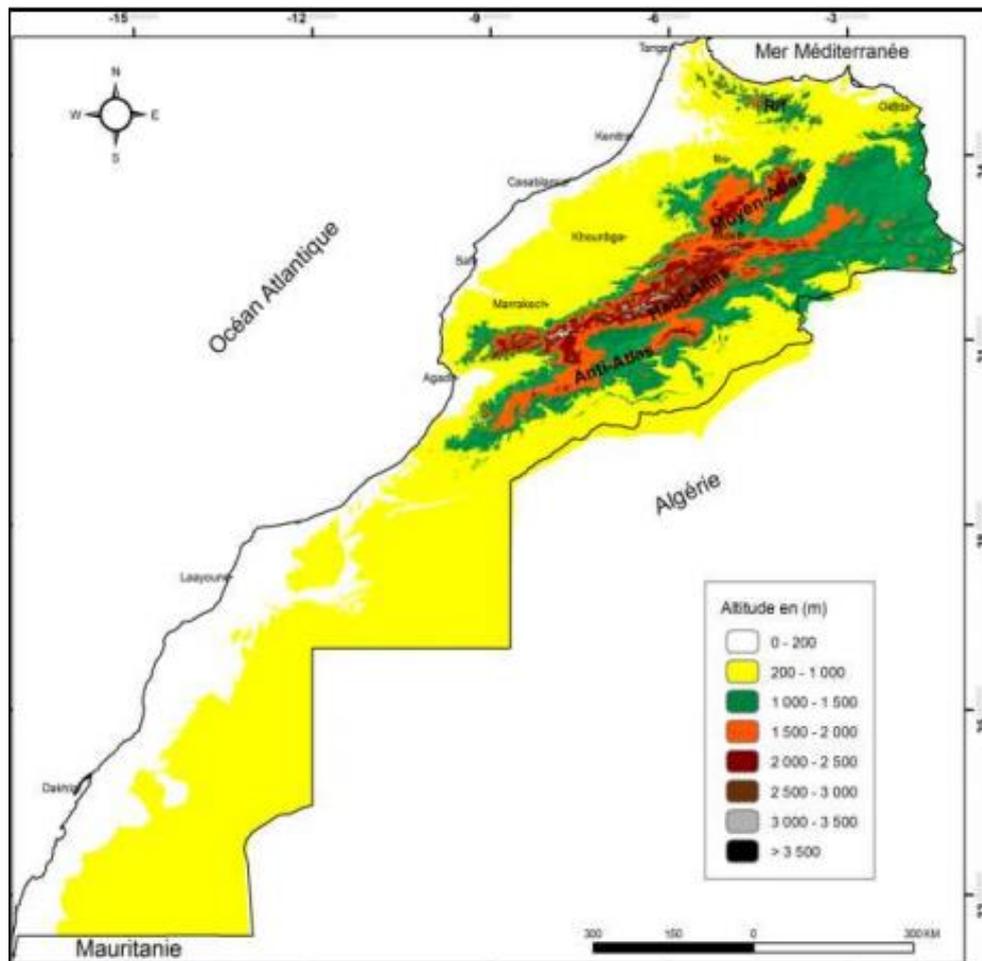


Figure 8 : Carte topographique du Maroc (Sebbar, 2013).

### 3.2.2 SITUATION CLIMATIQUE NATIONALE :

Le climat au Maroc est ainsi à la fois méditerranéen et désertique, le royaume siège entre deux grandes zones climatiques qui sont le climat tempéré au nord et les climats sahariens et tropicaux au sud. Par ailleurs, l'influence des deux étendues maritimes que sont l'océan Atlantique et la mer Méditerranée ainsi que les reliefs de l'Atlas et le Rif accentue localement l'instabilité et la variabilité du climat, avec des températures douces le long des côtes et un climat plus sec et plus chaud à l'intérieur du pays. Plus on s'éloigne des côtes, plus les températures deviennent extrêmes.

Le Maroc assure la transition entre le désert et la zone tempérée humide, et son climat est caractérisé par toute la gamme des intermédiaires entre le totalement sec et l'humide. Son régime pluviométrique est dominé par une forte irrégularité dans l'espace et dans le temps et par une alternance de séquences d'années de forte hydraulicité et de séquences de sécheresse sévère, pouvant durer plusieurs années.

Outre la forte variabilité interannuelle des précipitations et l'augmentation de la fréquence des sécheresses depuis le début des années 1980, la distribution des précipitations du Maroc a bien connu un changement au cours de la période 1961-2008. Ce changement, consistant en une évolution vers des conditions plus sèches, a coïncidé avec une augmentation de la température moyenne en toutes saisons.

Les températures sont également très contrastées dans l'espace et dans le temps ; elles peuvent dépasser 50°C dans le Sahara pendant l'été et descendre en dessous de 0°C dans les zones intérieures en hiver (figure 9).

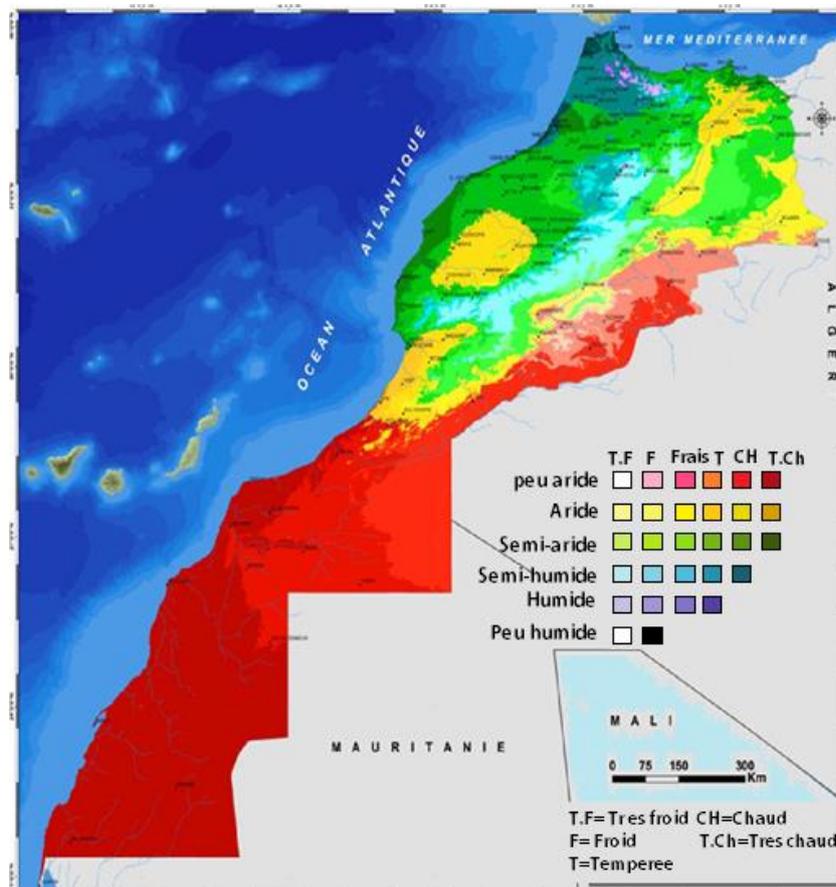


Figure 9 : Carte des bioclimats selon la classification d'Emberger (Moukhtari et al, 2013)

### 3.2.3 EVOLUTION DU CLIMAT AU MAROC :

Au cours des dernières décennies, le climat du Maroc s'est caractérisé par une diminution des précipitations (1976-2006), une tendance nette à la hausse des températures (1960-2010), et une augmentation significative de la fréquence des événements extrêmes (sécheresses et inondations), de leur sévérité et de leur champ de couverture spatiale.

Toutes les données météorologiques disponibles indiquent un réchauffement significatif durant les dernières décennies avec une augmentation importante de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes du type sécheresses et inondations.

### 3.2.3.1 Température

L'analyse des données fournies par la Direction de la météorologie nationale montre qu'entre les deux périodes 1971-1980 et 2009-2017, les températures annuelles moyennes ont augmenté dans la majorité des villes marocaines, ce qui suggère une accélération évidente du réchauffement climatique (figure 10).

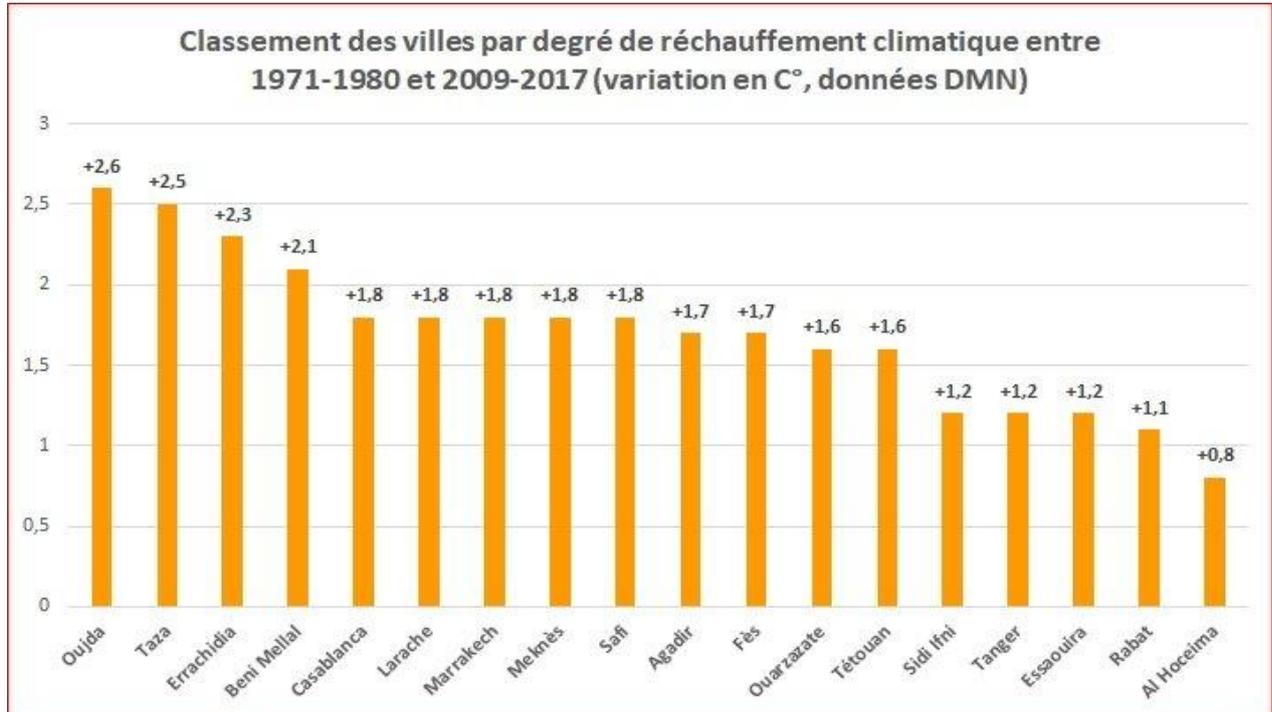


Figure 10 : Evolution climatique dans des différentes stations au Maroc (Jaa, 2019).

### 3.2.3.2 Pluviométrie

La carte de la figure 11 représente la répartition de la pluviométrie annuelle au Maroc prenant en considération l'influence de la latitude et l'altitude sur cette répartition. On remarque que sur toutes les côtes atlantiques, les précipitations diminuent en allant vers le sud du pays. Alors que la région de Tanger est caractérisée par des précipitations de l'ordre de 550 mm, la région de Casablanca est caractérisée par des précipitations de l'ordre de 350 mm, alors que la région de Lagouira ne dépasse pas 150 mm.

A l'intérieur les chaînes de montagnes sont caractérisées par une pluviosité importante que les autres régions mais toujours avec une diminution des précipitations en allant vers le sud.

Au nord du pays, le rif est la chaîne la plus humide avec une pluviométrie annuelle qui dépasse 550 mm et ces valeurs diminuent vers le sud. Le sud et le sud-est du Maroc, les régions étudiées sont caractérisées par une forte sécheresse avec des précipitations inférieures à 100 mm.

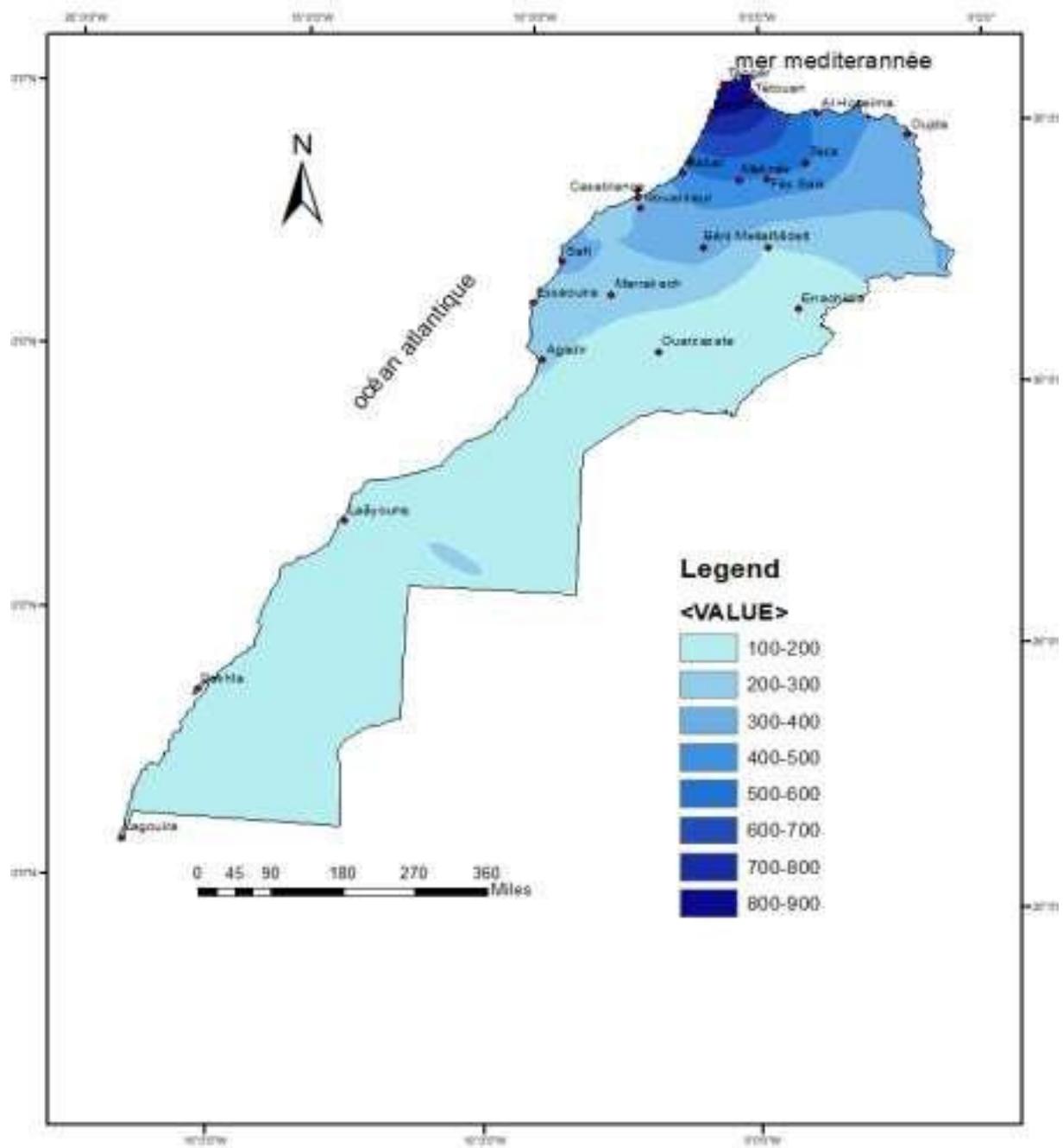


Figure 11 : Carte des précipitations annuelles National (El ajhar et al, 2018).

## CHAPITRE 2 : CONTEXTE HYDRIQUE

### 1 DEFINITION DES RESSOURCES EN EAU :

On appelle ressource en eau ou ressource hydrique, toutes les eaux accessibles dont nous disposons pour satisfaire et couvrir tous nos besoins domestiques et économiques et pour le bon fonctionnement de nos écosystèmes.

Ils sont présentés sous forme de nappes souterraines, de cours d'eau, de lacs...qui sont des ressources naturelles. Une source créée par l'homme sera, elle, considérée comme étant artificielle ; c'est le cas des plans d'eau ou des canaux. Les eaux littorales peuvent aussi constituer une ressource en eau notamment dans certaines régions côtières pour, par exemple, un usage domestique après dessalement ou pour alimenter des bassins d'aquaculture marine.

#### 1.1 CYCLE DE L'EAU

L'eau opère un circuit fermé qui est le même depuis des milliards d'années en circulant sur terre sous différentes formes : nuages, pluie, rivières et océans.

Elle va passer de la mer à l'atmosphère, de l'atmosphère à la terre puis de la terre à la mer, en suivant un cycle qui se répète indéfiniment. Au sein d'un même bassin, tous les milieux aquatiques (lacs, rivières, mer, nappes souterraines...) sont interdépendants durant ce cycle (C.I.EAU).

L'eau des mers s'évapore dans l'atmosphère sous l'effet de la chaleur du soleil. Elle forme ensuite des nuages qui vont se déplacer sous l'impulsion des vents.

Aidées par l'effet de gravité, les gouttelettes qui constituent les nuages s'alourdissent et retombent sur le sol sous forme de précipitations (pluie, grêle, neige). Ces eaux pluviales vont permettre d'alimenter les nappes phréatiques souterraines qui vont recharger les cours d'eau, lesquels se jetteront à leur tour dans la mer. Et ainsi, de la mer au ciel, du ciel à la terre et de la terre à la mer, le voyage de l'eau recommence à l'infini (C.I.EAU).

Durant son cycle, l'eau va passer dans différents réservoirs naturels pour y rester plus ou moins longtemps avant de reprendre son voyage vers les mers et les océans (figure 12).

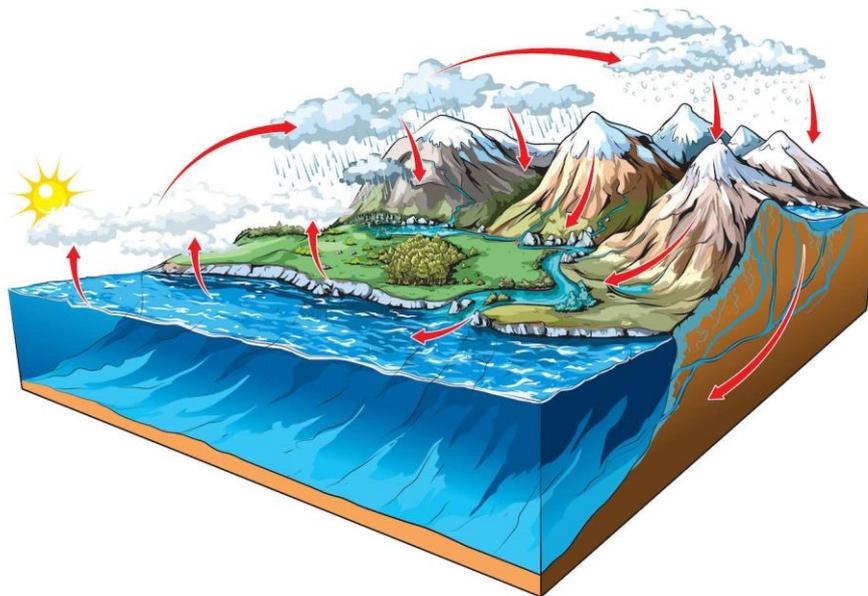


Figure 12 : le parcours de l'eau, sous différentes formes, entre les grands réservoirs de la nature (Mayer, 2016).

Le terme de « cycle de l'eau » évoque la permanence des échanges entre l'eau de surface et l'eau atmosphérique, par le jeu combiné de l'évaporation et des précipitations, c'est en effectuant ce voyage que la répartition des ressources en eau sur la planète est contrôlée.

## 2 RESSOURCES EN EAU MONDIALE :

La planète Terre est couverte à plus de 70% d'eau. Malgré cette abondance, seulement 1% de cet eau est disponible pour les besoins de l'humanité, car la majorité de cette eau est salée, donc non potable (figure 13).

L'eau sur Terre se répartit comme suit :

- 97 % d'eau salée.
- 3 % d'eau douce.

L'eau douce se répartit comme suit :

- 69,6 % de l'eau douce se retrouve sous forme solide (comme dans les glaciers);
- 30,0 % de l'eau douce se retrouve dans les eaux souterraines;
- 0,4 % de l'eau douce est disponible en surface de la Terre sous forme liquide ou gazeuse (vapeur d'eau).

Cette eau douce disponible à la consommation n'est pas répartie de façon équitable sur Terre. Certains pays se retrouvent donc confrontés à des problèmes d'approvisionnement en eau douce et potable. La carte de la figure 14 illustre la disponibilité de l'eau douce dans les différentes régions du monde.

### La part d'eau douce sur Terre

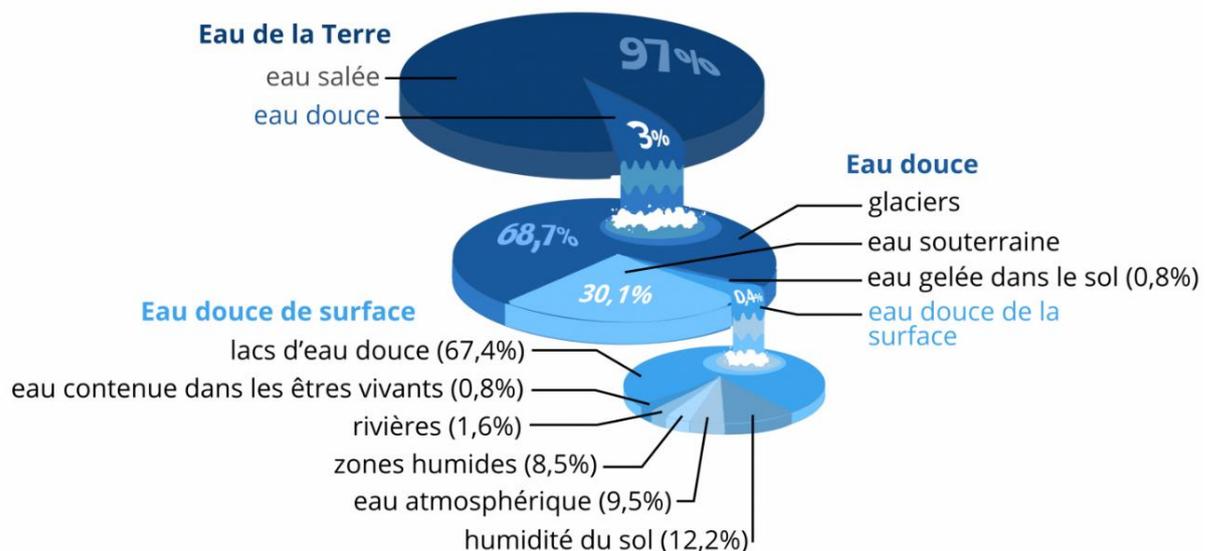


Figure 13 : Répartition de l'eau douce dans le monde (OIEau, 2017).

## 2.1 REPARTITION INEQUITABLE DE L'EAU DANS LE MONDE :

L'eau est très inégalement répartie sur notre planète. Actuellement, 1.1 milliards de personnes n'ont toujours pas accès à l'eau salubre (= eau propre) et un tiers de la population mondiale est privée d'eau potable, c'est-à-dire celle que l'on peut consommer.

Neuf pays détiennent 60 % des ressources naturelles renouvelables d'eau douce du monde : le Canada, la Chine, la Colombie, le Pérou, le Brésil, la Russie, les Etats-Unis, l'Indonésie et l'Inde.

Environ 80 pays, c'est-à-dire 40 % de la population souffrent de pénurie d'eau. Parmi eux, certains pays n'ont quasi pas de ressources en eau : le Koweït, Bahreïn, Malte, Gaza, les Emirats Arabes Unis, Singapour, la Jordanie, la Lybie (figure 14).

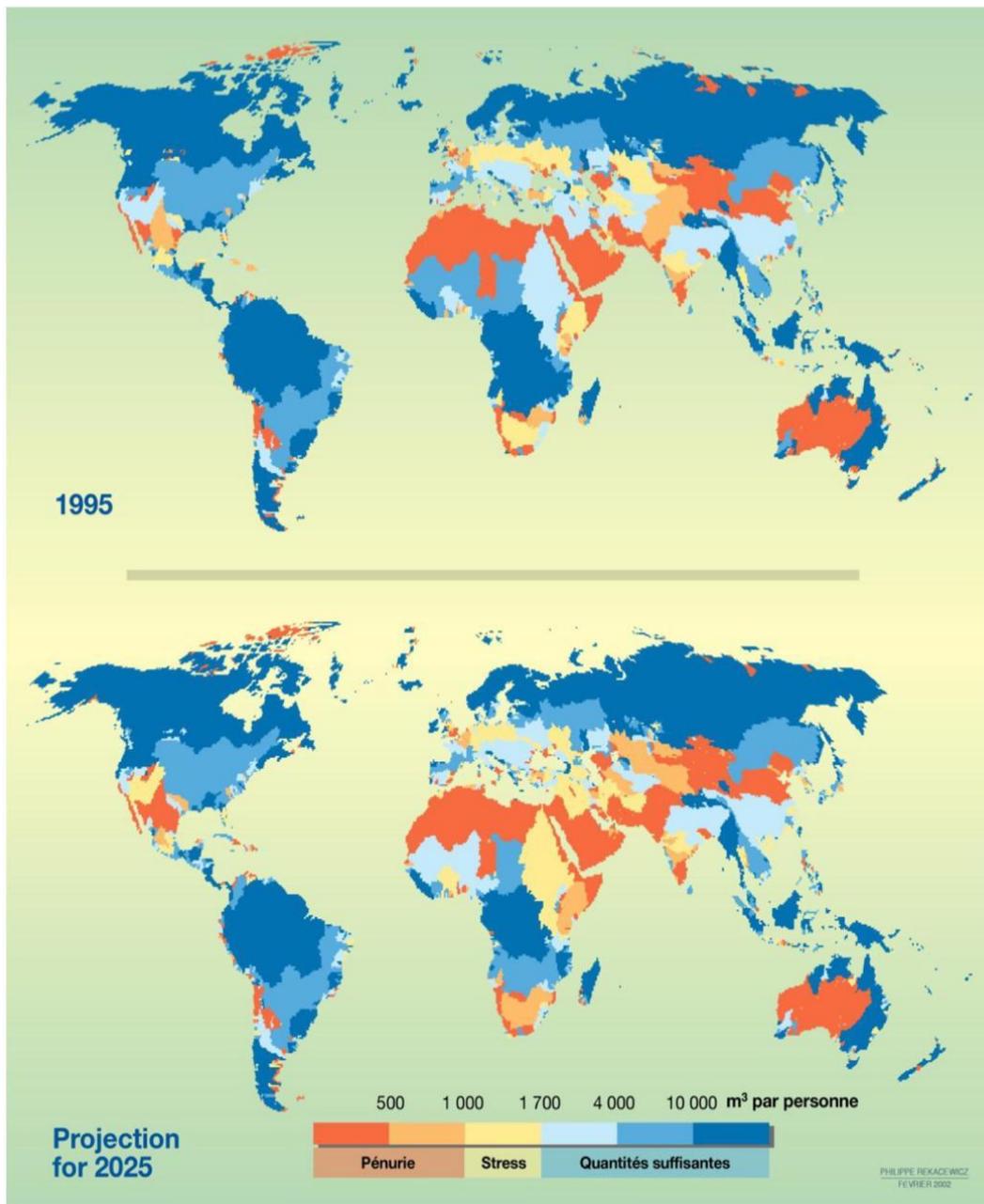


Figure 14 : Disponibilité en eau douce par bassin 1995-2025 (Revenga et al, 2000)

## 2.2 STRESSE HYDRIQUE MONDIAL :

L'utilisation de l'eau dans le monde augmente annuellement d'environ 1% depuis les années 1980.

La ressource mondiale en eau était estimée à 17 000 mètres cubes par personne et par an. La forte croissance démographique, l'industrialisation, l'urbanisation, l'intensification agricole ont changé la donne. En 1995, on estimait que la ressource en eau renouvelable et disponible n'était plus que de 7 500 m<sup>3</sup> par personne et par an. Elle devrait chuter à moins de 5 100 m<sup>3</sup> en 2025.

Au final, l'homme ne peut utiliser que moins d'1% du volume total d'eau présent sur Terre, soit environ 0,028 % de l'hydrosphère. Ceci englobe les cours d'eau, les réservoirs naturels ou artificiels (baies côtières, lacs, fleuves, cours d'eau, barrages...) et les nappes d'eau souterraine (aquifères) dont la faible profondeur permet l'exploitation à des coûts abordables (BRGM, 2011).

## 3 RESSOURCES EN EAU AU MAROC :

Le Maroc bénéficie de nombreux atouts naturels : des rivières pérennes comme le Sebou ou l'Oum er Rbia, d'importantes nappes souterraines, même dans les régions méridionales, un château d'eau montagneux à larges espaces d'infiltration et aux sommets enneigés...

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappes), des eaux de surface stagnantes (lacs, retenues de barrages) ou en écoulement (rivières, fleuves) et des eaux de mer (figure15).

Actuellement, au Maroc, les ressources en eau sont évaluées à 22 milliards de m<sup>3</sup> par an répartis entre l'eau de surface (18 milliards de m<sup>3</sup>) et l'eau souterraine (4 milliards de m<sup>3</sup>). Malgré le retard de précipitations constaté en début d'année, les apports d'eau enregistrés ont amélioré le niveau de remplissage des barrages qui a atteint, à l'heure actuelle, un taux moyen de 51,3 % à l'échelle nationale soit une réserve de 8,27 milliards de m<sup>3</sup>.

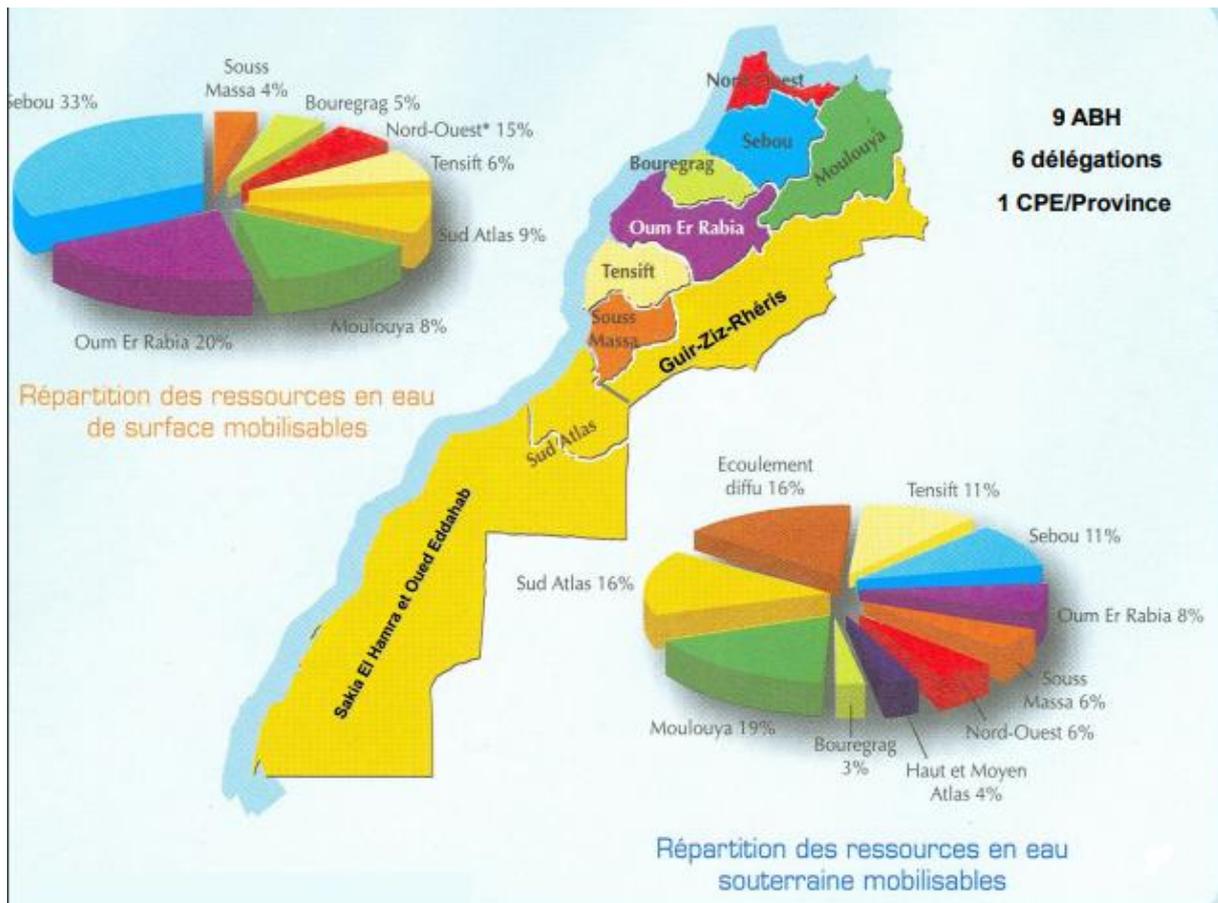


Figure 15 : Répartition des ressources en eau par bassin (Hachimi, 2009)

### 3.1 EAUX DE SURFACE

Les écoulements des eaux de surface sont étroitement liés aux précipitations. Le potentiel des eaux de surface est très vulnérable aux aléas climatiques. En effet, pendant les années de sécheresses sévères, ce potentiel peut baisser de 30 à 90% de sa valeur moyenne.

Le patrimoine marocain possède plus de 48 nappes superficielles qui sont facilement accessibles mais plus vulnérables à la pollution et à la sécheresse.

### 3.2 EAUX SOUTERRAINES

Les eaux souterraines constituent une part importante du patrimoine hydraulique du Maroc. Il s'agit aussi d'une ressource moins vulnérable aux aléas climatiques et à la pollution. Sur le territoire national, on compte 32 nappes profondes qui sont difficiles d'accès avec un coût de mobilisation et d'exploitation assez élevé, mais elles peuvent être plus riches et plus durables.

### 3.3 RISQUE HYDRIQUE AU MAROC :

Selon l'Institut des Ressources Mondiales (WRI), le Maroc connaît une situation hydrique inquiétante ; il compte parmi les pays les plus menacés par une pénurie d'eau. Le Maroc occupe la 23<sup>ème</sup> place sur 165 contrées exposées aux risques hydriques (Di Roma, 2020). Les ressources du pays en eau sont évaluées à 650 mètres cubes par habitant et par an. Ce

volume le situe dans une situation de détresse aigue. Cet indicateur représentait 2500 m<sup>3</sup>/habitant/an en 1960, et selon le CESE (Conseil Economique Social et Environnemental) il est prévu que cet indicateur devrait baisser au-delà de 500 m<sup>3</sup> à l'horizon de 2030.

### 3.3.1 STRATEGIE DU MAROC FACE AU STRESS HYDRIQUE :

Pour faire face à la situation alarmante à la pénurie de l'eau, le Maroc s'est mobilisé en adoptant une politique de l'eau ambitieuse. Cette dernière tend à garantir la sécurité de l'eau suivant plusieurs stratégies :

#### 3.3.1.1 Projets de barrages :

Afin d'améliorer l'offre hydrique le Maroc a opté pour la construction de 144 barrages d'une capacité de stockage avoisinant 18 milliards de m<sup>3</sup>. Ce nombre est appelé à évoluer au cours des prochaines années pour porter le nombre de ces ouvrages à 179 à l'horizon 2027 et la capacité des réserves à 27 milliards de m<sup>3</sup>.

#### 3.3.1.2 Stations d'épuration des eaux usées :

Cette stratégie s'inscrit dans le cadre d'une démarche globale d'amélioration de la gestion de l'eau dans tout le royaume qui possède un total de 70 stations d'épuration.

Les objectifs du PNA (Programme National d'Assainissement Liquide et d'Épuration des Eaux Usées) sont ambitieux : en milieu urbain, le taux de raccordement global au réseau d'assainissement devra atteindre 80% en 2020 et 100% en 2030.

#### 3.3.1.3 Stations de dessalement :

A ce jour, le Maroc compte 9 stations de déminéralisation d'eaux saumâtres et 6 stations de dessalement d'eau de mer actives, avec une capacité totale de production d'eau déminéralisée de 90.400 m<sup>3</sup> par jour et une capacité totale de production d'eau potable dessalée d'environ 55.080m<sup>3</sup> par jour. Deux stations de dessalement d'eau de mer sont aussi en activités dans les complexes de l'OCP, situés à Laâyoune et à Jorf Lasfar.

Dans le cadre du programme 2020-2027, il y aura trois nouvelles stations l'une dans la région du Grand Casablanca, d'une capacité de 300 millions de m<sup>3</sup> par an, une dans la région de Safi, et une autre dans la région de Dakhla.

# CHAPITRE 3 : ETUDE DE L'EVOLUTION CLIMATIQUE ET HYDRIQUE DANS LA REGION DE MARRAKECH-SAFI

## 1 PRESENTATION DU CADRE REGIONAL :

La région de Marrakech Safi a un cadre géographique très varié, composé de 7 grands ensembles naturels : le massif de Rhamna, la plaine de Bahira-Gantour, la chaîne des jbiilet, le Haouz de Marrakech, le Bassin d'Essaouira-Chichaoua, l'ancien massif du Haut Atlas, le Haut Atlas Occidental et enfin les plaines de Doukala, Abda et Ahmar.

Elle s'étend sur une superficie de 39 167 km<sup>2</sup> et compte 4,520,569 habitants (RGPH, 2014), soit une densité de 115 habitants au km<sup>2</sup> et une superficie de 5,5% du territoire national.

Sur le plan administratif, la région est composée d'une préfecture et de cinq provinces et une préfecture : Chichaoua, Al Haouz, El Kalâa des Sraghna, Rhamna, Essaouira, Safi et Youssoufia puis la préfecture de Marrakech chef-lieu de la région (figure 16).

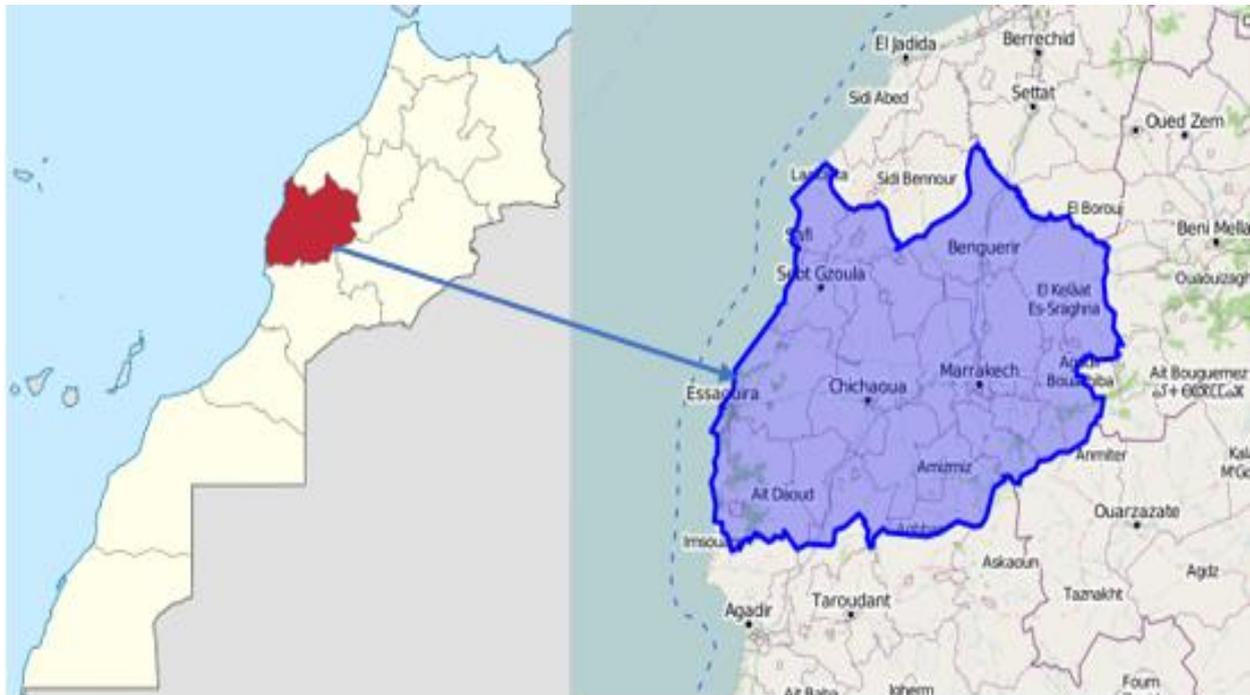


Figure 16 : Localisation de la région de Marrakech-Safi (Abouddrar, 2016)

## 2 DIAGNOSTIQUE DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE DANS LA REGION D'ETUDE :

### 2.1 CLIMAT DE LA REGION :

Le climat de la région se distingue par une variabilité climatique apparente (température estivale moyenne des maxima 37.7C° et des minima 4.9C°) avec une pluviométrie faible et irrégulière. La pluie varie de 800mm en région de montagne à 190mm dans la plaine. Le climat reste soumis aux influences de l'Océan Atlantique et aux altitudes très élevées du Haut Atlas. Le caractère aride et semi-aride domine dans toute la région, le subhumide apparaît seulement dans le Haut Atlas à une altitude comprise entre 1500 et 2000m. Presque la moitié de la superficie régionale présente des précipitations inférieures à 300 mm/an en moyenne dans la chaîne atlasique. Les basses températures permettent des précipitations de flocon de neige à partir de 2500m d'altitude.

#### 2.1.1 EVOLUTION CLIMATIQUE DE LA REGION :

Avec un caractère aride à semi-aride, le climat de la région de Marrakech-Safi est assujetti à des influences océaniques et continentales. Cette situation climatique s'est aggravée ces dernières années face aux changements climatiques.

##### 2.1.1.1 Evolution de la température :

L'été et l'hiver sont les deux périodes de l'année qui enregistrent des températures extrêmes. C'est pourquoi on a choisi de traiter le mois le plus chaud et le plus froid de l'année qui sont janvier et juillet pour bien étudier l'influence des changements climatiques sur les conditions météorologiques régionales.

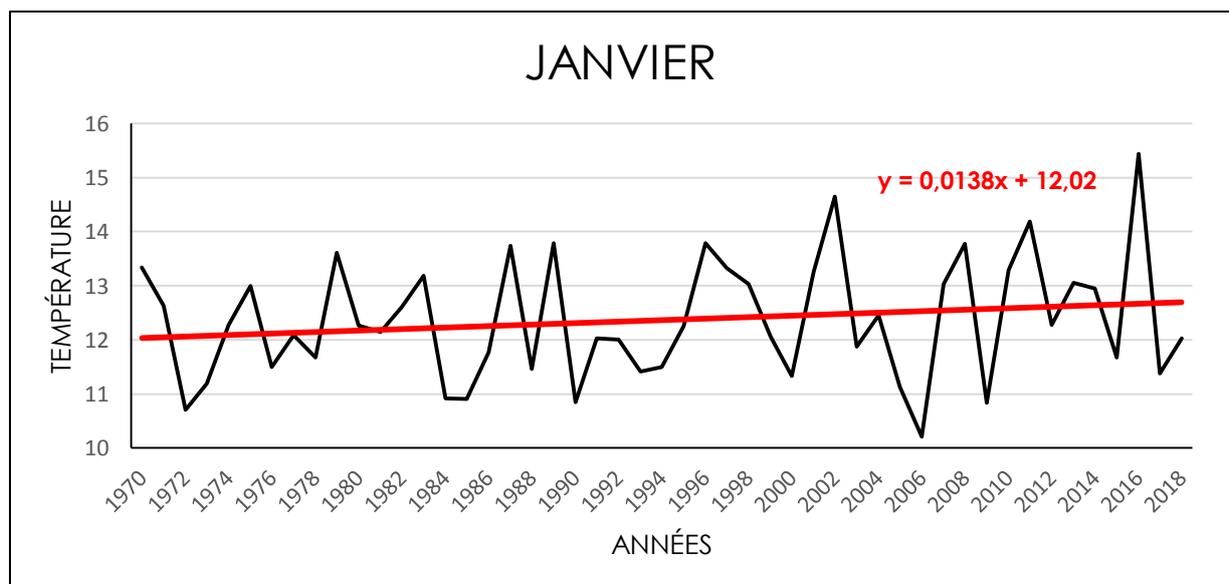


Figure 17 : Evolution de la température moyenne des mois de janvier de 1970 à 2018 dans la ville de Marrakech

L'évolution de la température moyenne des mois de janvier de 1970 à 2018 dans la ville de Marrakech (Figure 17) montre une pente positive qui matérialise montre une légère élévation de la température allant de 12°C à 12,7°C. L'évolution de la température est marquée par deux extrêmes, une température la plus élevée de l'ordre de 15.43°C pendant l'année 2016 et une température la plus basse de 10,21°C à 2006.

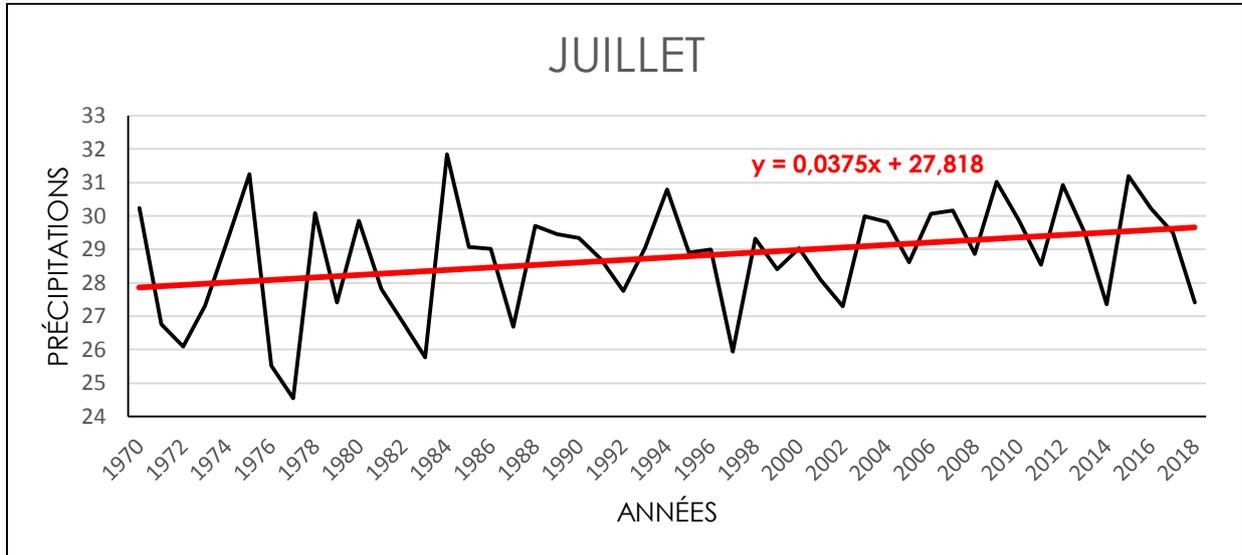


Figure 18 : Evolution de la température moyenne des mois de juillet de 1970 au 2018 dans la ville de Marrakech

Pour la même période, l'évolution des températures du mois de juillet montre une augmentation de 1,8 °C pendant les 48 ans. Le mois de juillet de l'année 1984 est classé comme le mois le plus chaud avec une valeur de 31.84°C alors que le mois de juillet de l'année de 1977 a enregistré la valeur minimale qui est de 24.55°C.

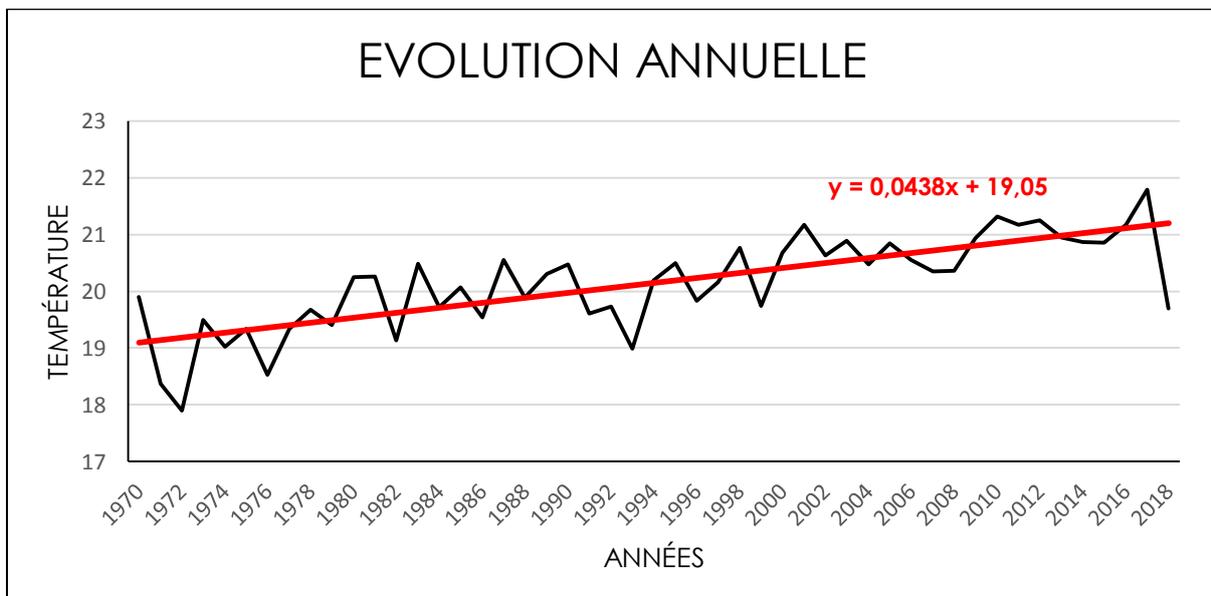


Figure 19 : Evolution annuelle de la température de 1970 au 2018 dans la ville de Marrakech

L'évolution des températures moyennes annuelles de la ville Marrakech tend vers une hausse de 2,2°C en 48 ans.

Cette évolution est dominée par l'année 2017 qui a enregistré 21,79°C comme maximum, et 17.90°C en 1972 comme minium.

### 2.1.1.2 Evolution pluviométrique :

Sur le bassin hydraulique du Tensift, vaste de 19800 km<sup>2</sup>, le régime des pluies est très irrégulier dans le temps et dans l'espace.

Pour mettre en évidence l'impact du réchauffement climatique sur la pluviométrie de la région de Marrakech-Safi, nous avons collecté une base de données climatique de l'Agence du Bassin Hydraulique du Tensift (ABHT). Les données dont nous disposons sont des séries pluviométriques mensuelles et annuelles pour 3 stations. Ces séries s'étalent sur des périodes variables de 1970-2017 pour les 2 stations Marrakech (zone de plaine) et Aghbalou (zone montagneuse) et sur une période de 32 ans à compter du 1985 jusqu'à 2017 pour la station Talmest (zone côtière).

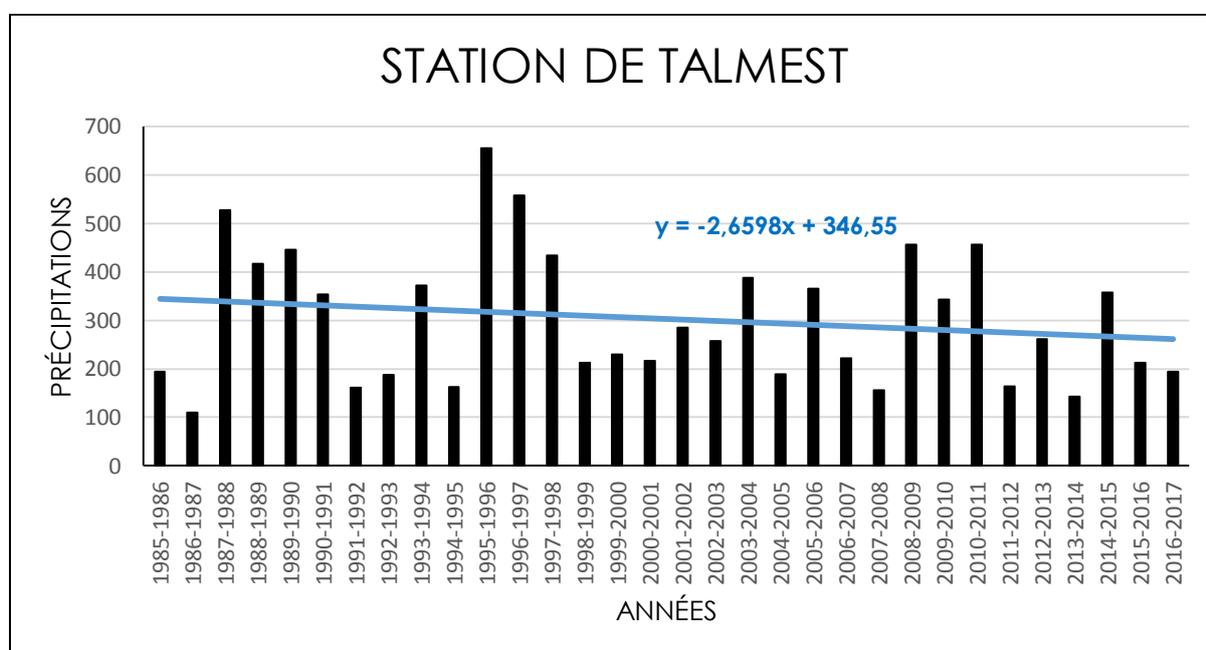


Figure 20 : Tendence des précipitations annuelles en mm dans la station de Talmest (1985-2017)

La tendance des précipitations annuelles de la station Talmest se caractérise par une diminution en allant de l'année 1985-1986 à 2016-2017.

-18 années parmi la totalité (32 années) sont inférieures à la moyenne.

- l'année la plus pluvieuse est 1995-1996 avec un taux de précipitations de 655.09 mm, tandis que l'année la plus sèche est 1986-1987 avec une valeur minimale de 109.85 mm.

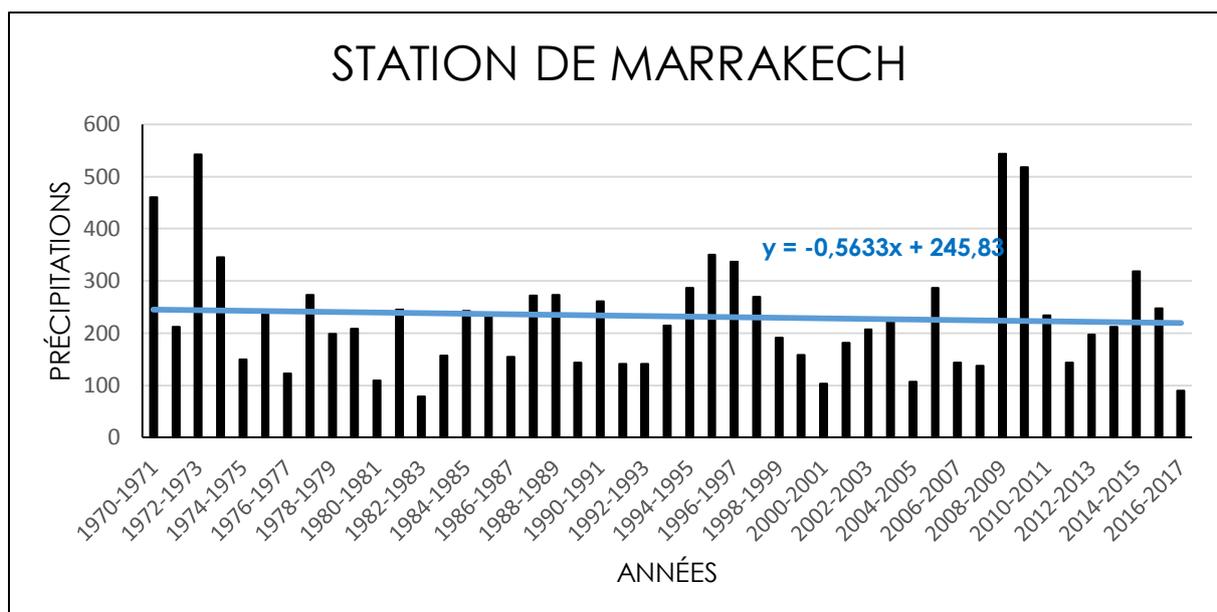


Figure 21 : Tendence des précipitations annuelles en mm dans la station de Marrakech (1970-2017).

La station de Marrakech a connu une légère diminution des précipitations sur la période qui s'étend de 1970 à 2017, avec une dominance d'années inférieures à la moyenne qui sont au nombre de 26.

- l'année 2008-2009 est la plus pluvieuse dans cette série avec une valeur de 543.9 mm, contrairement à l'année 1982-1983 qui reçoit le minimum de précipitations, avec une valeur minimale de 78.7 mm.

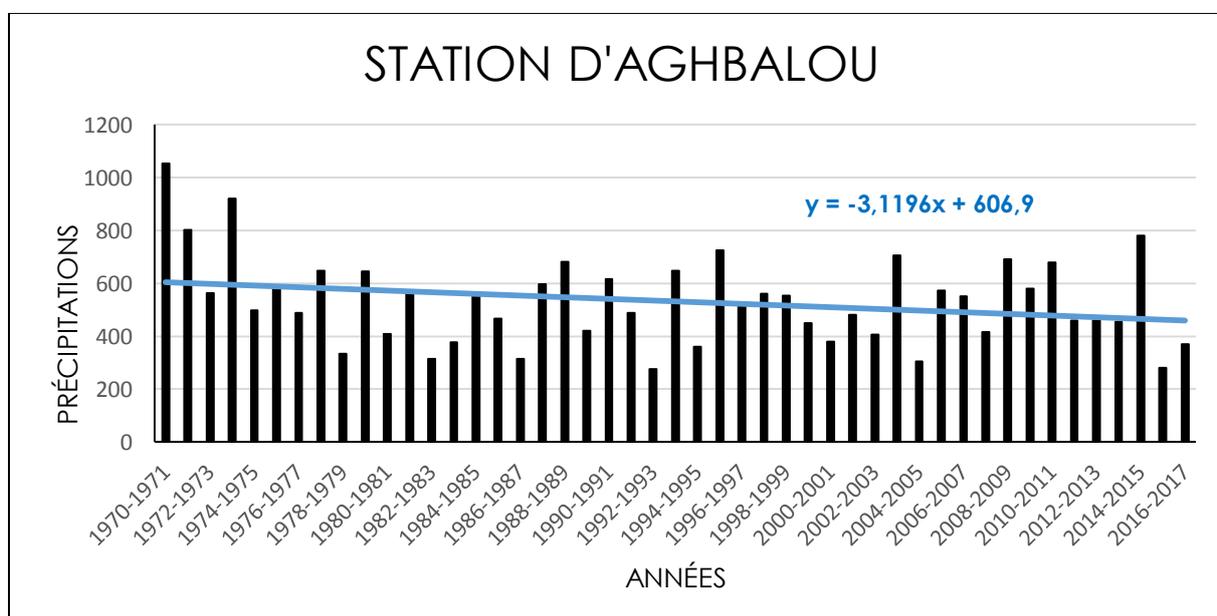


Figure 22 : Tendence des précipitations moyennes annuelles dans la station d'Aghbalou (1970-2017).

Cette station située dans une région montagneuse, est caractérisée par une diminution remarquable des précipitations durant la période étudiée (1970-2017).

- Il n'y a que 19 ans qui sont supérieurs à la moyenne.
- D'une part, 1970-1971 est l'année la plus pluvieuse, elle enregistre 1053.5 mm;
- D'autre part, 1992-1993, est l'année la plus sèche avec une valeur de 276.9 mm.

- **Comparaison entre les trois stations**

Selon les résultats pluviométriques obtenues, la tendance décroissantes des apports pluviométriques est remarquable pour toutes les stations qu'on a étudié.

Cette baisse est dominée par la station d'Aghbalou de la zone montagnard qui est la plus affectée, elle présente la pente la plus importante (-3,1196) contre la station de Talmest de la zone côtière avec une pente de -2,6598. La station de Marrakech de la plaine est la moindre station affectée par la diminution des précipitations, avec une pente que de -0,5633.

### **3 RESSOURCES EN EAU DE LA REGION :**

La région de Marrakech - Safi est située au centre du Maroc. L'essentiel de ses ressources en eau provient des oueds « rivières » descendants du massif montagneux du Haut Atlas (et notamment de l'Oued Tensift) ainsi que de nappes phréatiques peu profondes. Ces ressources sont relativement importantes, mais pas inépuisables.

La région dispose d'eaux superficielles et souterraines assez importantes: en effet, on note l'existence de deux grands bassins versants: le Tensift et Oum Erabia, formés à leur tour par plusieurs sous-bassins versants qui drainent le versant Nord du Haut Atlas avec des apports d'origine pluvio-nival.

#### **3.1 EAUX DE SURFACE :**

Le réseau hydrographique de la région comprend un grand bassin versant, celui du Tensift, et une partie du bassin versant d'Oum Erabia, formés par plusieurs sous-bassins versants et drainant le versant Nord du Haut Atlas, avec des apports d'origine pluvionivale. Les eaux des Oueds, dont le volume est évalué à 23,64 m<sup>3</sup>/s, sont captées à la sortie de la montagne par des séguias et ne coulent que rarement dans les plaines lors des crues. Les affluents les plus importants de l'Oued Tensift sont constitués des Oueds N'Fis, R'dat, Zat, Ourika, Rhéraya et Assif El Mal. Le réseau hydrographique de la Province d'Essaouira se réduit à quelques oueds dont le plus important est l'Oued Ksob. Ce dernier prend sa source au niveau du Haut Atlas occidental et constitue le principal collecteur d'eau de la Province, son débit moyen est estimé à 1,44 m<sup>3</sup>/s. La partie orientale de la Région, relevant de la zone d'action de l'Agence de Bassin d'Oum Er Rbia, est drainée par le système hydrographique des Oueds Tassaout - Lakhdar, leur régime est moins irrégulier que ceux des affluents de l'Oued Tensift. Ils présentent un débit moyen annuel respectif de 11,7 et 16,1 m<sup>3</sup>/s.

Les ressources en eau de surface sont irrégulières et inégalement réparties. Les montagnes constituent le château d'eau des écoulements de surface. Les apports moyens annuels sont évalués à près de 824,5 Mm<sup>3</sup>. Ces apports varient entre un minimum de 116 Mm<sup>3</sup> et un maximum de l'ordre de 2 677 Mm<sup>3</sup>. En outre, le bassin de Tensift bénéficie d'un transfert de l'ordre de 300 Mm<sup>3</sup> à partir du bassin de l'Oum Er Rbia destinés à l'alimentation en eau de la ville de Marrakech et à l'irrigation dans le Haouz central.

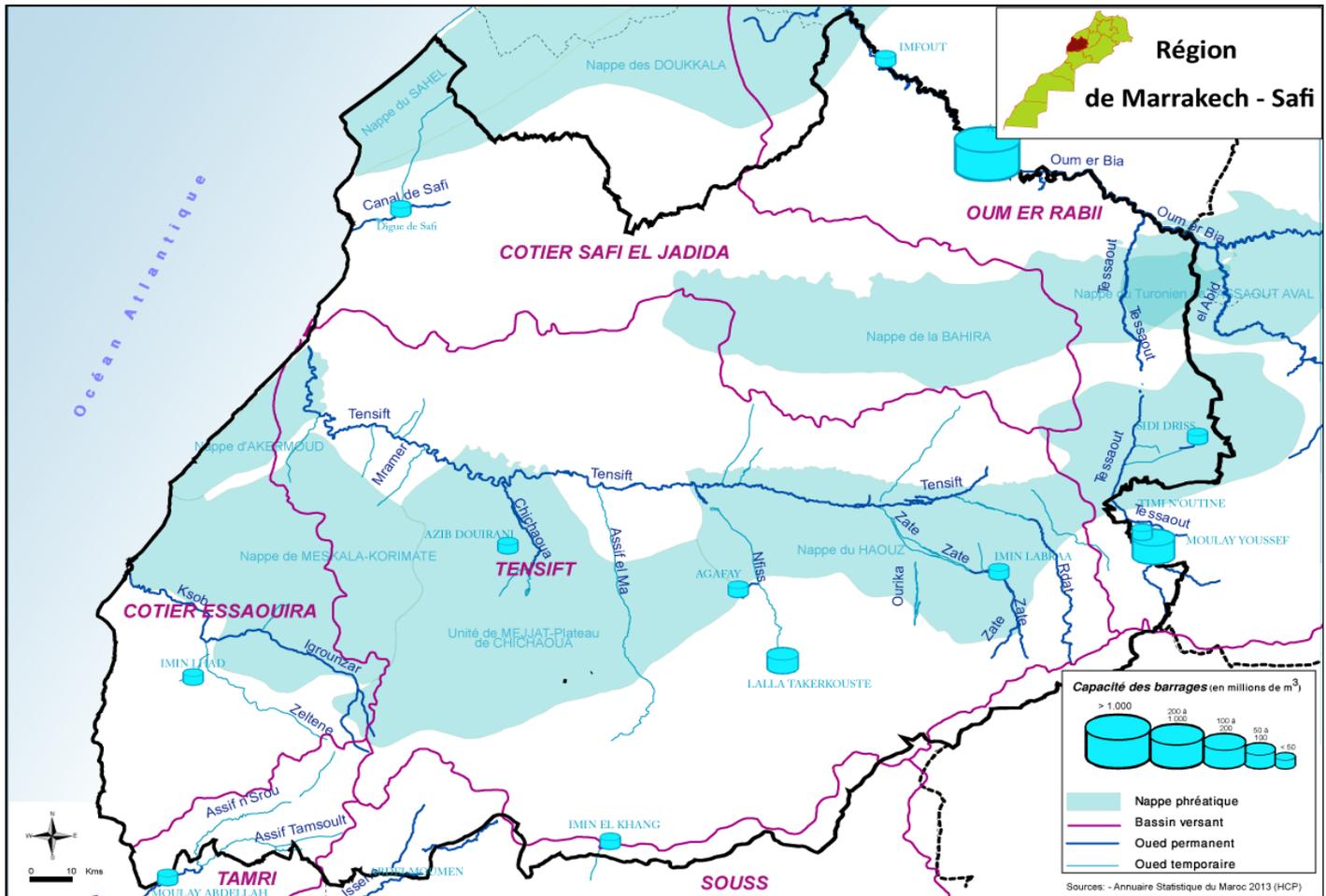


Figure 23 : Ressources en eau superficielles de la région de Marrakech-Safi (DGCL, 2015)

### 3.2 EAUX SOUTERRAINES :

Les réservoirs d'eau souterraine dans lesquels s'accumulent ou transitent les eaux pluviales infiltrées sont d'extension inégale (figure 24). Les plus importants sont :

- **La nappe du Haouz** qui s'étend d'Est en Ouest entre les deux reliefs de l'Atlas et des Jbillets sur une superficie d'environ 6 000 Km<sup>2</sup>.
- **La nappe du Mejjat** qui s'étend sur une superficie de 1 000 Km<sup>2</sup> environ entre le Tensift au nord et le Haut Atlas au sud.
- **la nappe de Meskala-Kourimate**, s'étendant sur une superficie de l'ordre de 1 600 km<sup>2</sup>, entre El-Jadida au nord et Agadir au sud.
- **La nappe d'Akermoud** s'étend le long de la côte, sur une bande large de 20 km et d'une longueur de 40 km, avec une profondeur variable entre 40 et 60 mètres.

- **La nappe de la Bahira** qui s'insère entre les massifs des Jbilet au sud et les plateaux des Rehamna et des Gantour au nord et s'étend sur une superficie d'environ 5000 Km<sup>2</sup> (DGCL,2015).

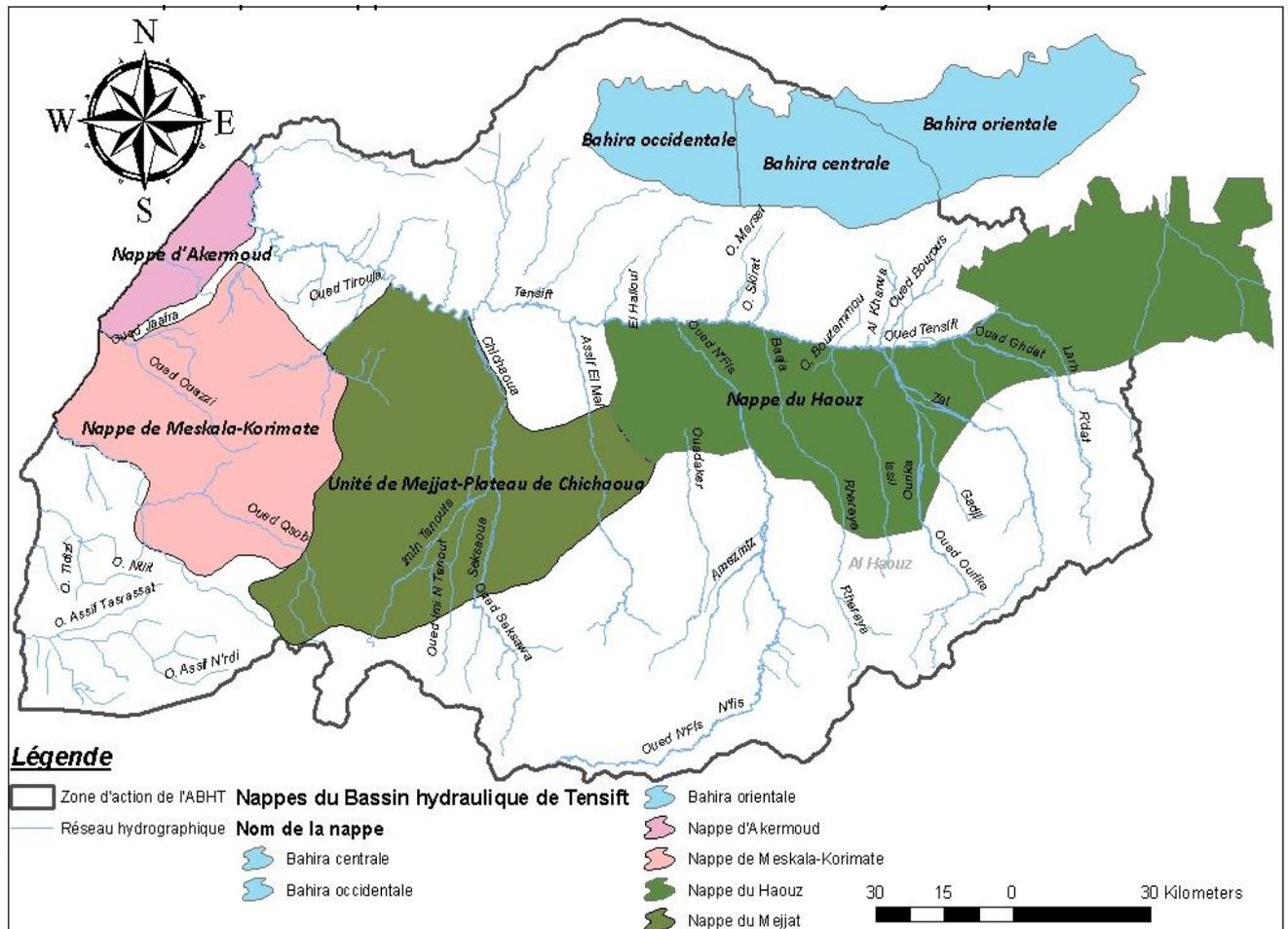


Figure 24 : Carte des principales nappes de la zone de l'ABHT (Smaij, 2011)

#### 4 SITUATION HYDRIQUE DANS LA REGION ENTRE L'INSUFFISANCE DES RESSOURCES ET L'AUGMENTATION DE LA DEMANDE :

L'eau est une pièce maîtresse dans le développement socio-économique, toutes les activités s'articulent autour de cette substance et ressource naturelle : alimentation en eau potable, irrigation, unités industrielle, infrastructures touristique...

Même en l'absence d'un changement climatique, le bassin Tensift subit une grande pression. Cette pression est matérialisée par la concurrence de différents consommateurs. En effet, le développement socio-économique que connaît le bassin a engendré et continue à engendrer une évolution importante des besoins en eau, aussi bien dans le secteur de l'approvisionnement en eau potable et industriel que dans le secteur agricole.

Le bilan hydraulique actuel du bassin de Tensift est négatif, il correspond à un déficit de 564 Mm<sup>3</sup>. Ce déficit est prévu de s'élever au chiffre de 780 Mm<sup>3</sup> en 2050 (ABHT, 2020). En effet, en 2020, les ressources totales sont estimées à 1703 Mm<sup>3</sup> pour des besoins estimés à 2267 Mm<sup>3</sup>. Selon les secteurs consommateurs d'eau, les besoins sont exprimés comme suit.

- **AGRICULTURE ET IRRIGATION :**

Le secteur de l'agriculture est l'un des piliers de l'économie régionale. En effet, près de 42.49% de la main d'œuvre de la région y travaille selon l'enquête nationale sur l'emploi 2017.

L'utilisation non rationnelle des eaux dans ce secteur a enregistré une consommation de 1760 Mm<sup>3</sup> d'eau en 2010 qui s'est élevée de plus en plus surtout avec l'augmentation de la surface agricole utilisée (SAU) au niveau de la région qui est passée de 1.440.000 Ha en 2014 à 2.070.505 Ha en 2017 (Direction régional du plan de la région de Marrakech, 2018). La consommation exprimée augmente de plus en plus pour atteindre une demande de 2094 Mm<sup>3</sup> en 2020 (ABHT, 2021).

L'irrigation continue d'absorber 94% des ressources mobilisées. L'irrigation traditionnelle concerne 75% des superficies irriguées et consomme 33% des ressources hydriques mobilisées.

- **TOURISME :**

La région de Marrakech-Safi dispose d'un potentiel touristique très important la plaçant en tant que premier pôle touristique du Royaume et en tant que second secteur important dans la région avec une part prédominante de la ville de Marrakech qui totalise près de 84% de l'offre touristique.

La consommation d'eau par ce secteur est importante, elle peut atteindre dans un établissement luxueux 880 litres par personne/jour. En effet, les touristes utilisent typiquement plus d'eau que les habitants locaux (Salama, Tahiri, 2010). à titre d'exemple un touriste vivant à l'hôtel peut consommer jusqu'à trois fois plus d'eau par jour qu'un habitant local, sans compter ce qu'on appelle les " facilités touristiques " : piscines, pelouses verdoyantes et terrains de golf. Un green entre 50 et 150 hectares, a besoin de 1 Mm<sup>3</sup> d'eau par an, soit l'équivalent de la consommation d'eau d'une ville de 12000 habitants (Marsaud, 2004).

- **POPULATION ET URBANISME :**

Selon les projections de la population faites par le Centre d'études et recherches démographiques (CERED), la population de la région de Marrakech-Safi s'élevait, en 2020, à environ 4774 milles habitants. D'autre part, la population de la région a connu un taux d'accroissement global de 5,6% durant la période 2014-2020, avec une augmentation annuelle moyenne de 0,9%. Par ailleurs, le taux d'urbanisation dans la région est passé de 41,0% en 2004 à 44,1% en 2020, ce qui est équivalent à un accroissement de 7,6% durant cette période. Suite à cette croissance rapide de la population, la pression démographique amène la réduction de la disponibilité en eau par tête d'habitant (figure 25).

Evolution de la population et la demande en eau

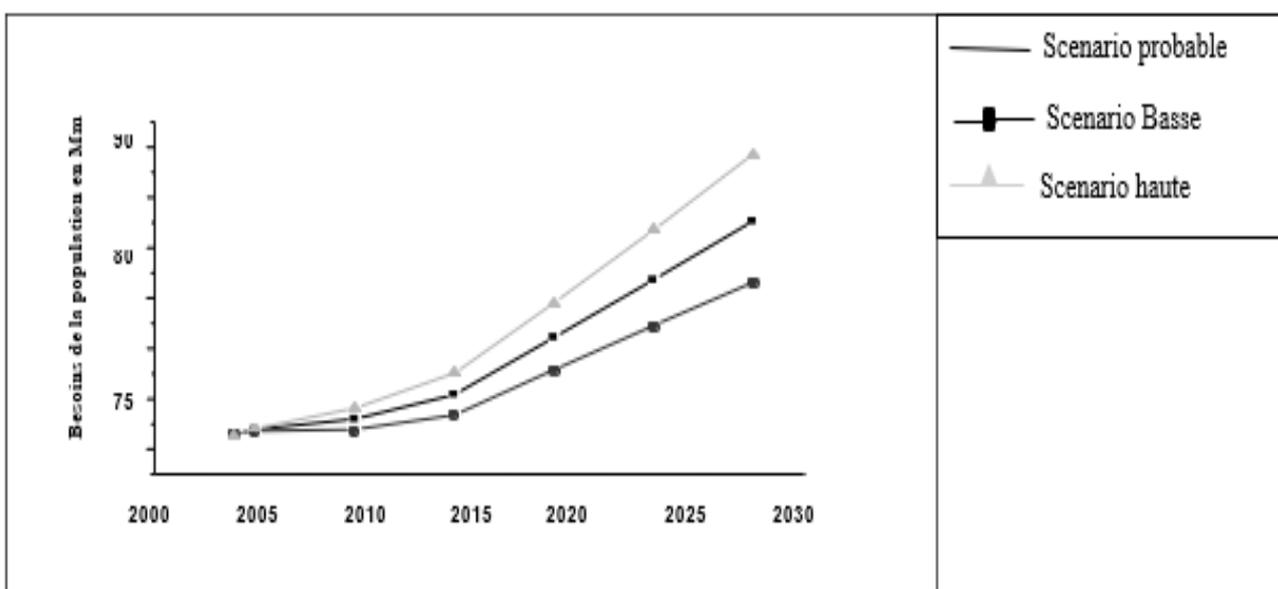


Figure 25 : Evolution des besoins en eau de la population en milieu urbain (ABHT, 2007)

## **CHAPITRE 4 : ANALYSE DES IMPACTS DU RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE SUR LES RESSOURCES EN EAU**

Le changement climatique représente un enjeu global majeur, qui est de plus en plus prégnant sur la scène internationale, du fait qu'il a un impact direct sur les écosystèmes et les sociétés. Ce changement pourra avoir un impact certain sur les ressources en eau, en particulier dans les régions arides à semi-arides, comme c'est le cas du bassin de Tensift.

L'eau est au cœur de ces changements, elle est extrêmement mobile, ce qui lui permet de naviguer entre l'atmosphère et les réservoirs terrestres (océans, nappes souterraines, rivières, lacs ou encore glaciers) selon un cycle qui permet le renouvellement des ressources en eau. Cette présence engendre une relation étroite et réciproque entre l'eau et le climat.

### **1 EFFET DU CLIMAT SUR LE CYCLE DE L'EAU :**

Pour le climat le cycle de l'eau est une composante centrale puisqu'il s'agit d'un couplage entre la circulation atmosphérique et les propriétés des surfaces océaniques et terrestres. L'équilibre du cycle hydrologique est fragile, par conséquent il se trouve au cœur de ces changements affecté dans tous ses aspects; modification des régimes de précipitation, du ruissellement, augmentation du niveau de mer, processus de désertification etc...

De manière globale le changement climatique provoque une accélération du cycle de l'eau, lorsque la température augmente le taux d'évaporation augmente aussi, on retrouve alors plus de vapeur d'eau dans l'atmosphère et moins d'eau à l'état liquide disponible. Cela se traduira par une intensification des phénomènes extrêmes (sécheresse, inondations, tempêtes, vagues de chaleurs..) qui seront alors plus fréquent et plus puissant. Si le réchauffement climatique et planétaire l'intensité des catastrophes naturelles qu'il engendre et variable selon les hémisphères et les régions du monde ; des précipitations violentes et puis des inondations dans les latitudes nord, tandis que des épisodes de sécheresse plus fréquentes dans les régions déjà arides ou semi-arides ; comme le cas de la région Marrakech-Safi. Sur des sols nus, secs ou imperméables, l'eau ne s'infiltré plus dans la terre mais ruisselle à sa surface. L'accélération du ruissellement des eaux de pluie sur le sol et la diminution de l'infiltration qui en découle affecte négativement la recharge des nappes phréatiques et des cours d'eau. La sécheresse affectant la région avec une augmentation de température et diminution des précipitations influencera la quantité d'eau qui alimente les cours d'eau, les rivières et les nappes phréatiques.

En guise de conclusion l'eau et le climat possèdent de fortes interactions : le changement climatique perturbe le cycle de l'eau, de la même manière le cycle de l'eau affecte le climat, et si le cycle de l'eau est perturbé, notre quotidien aussi.

## 2 INDICE PLUVIOMETRIQUE :

### 2.1 INDICE STANDARDISÉ DES PRÉCIPITATIONS

Le SPI (indice standardisé des précipitations) permet de quantifier le déficit des précipitations et de classer les années suivant leur degré de sécheresse et, par suite, il donne une indication sur l'impact de la sécheresse sur la situation des différents types de ressources naturelles sensibles de façon directe à la sécheresse comme les ressources en eau.

Il permet de classer les périodes de sécheresse ainsi que leur sévérité. Cet indice est calculé surtout lorsque les précipitations ne sont pas normalement réparties.

L'indice SPI est calculé en utilisant la formule suivante :

$$\text{SPI} = (\text{Pi} - \text{Pm}) / \Sigma$$

Avec :

- **Pi** = Précipitation de l'année i
- **Pm** = Précipitation moyenne d'une longue série de données
- **Σ** = Ecart type

#### 2.1.1 CLASSIFICATION DU SPI :

Selon la valeur du SPI, on distingue en général des valeurs positives (SPI>0) ou des valeurs négatives (SPI <0).

<b>SPI ≥ 2</b>	<b>Humidité extrême</b>
<b>1.5 ≤ SPI &lt; 2</b>	<b>Humidité forte</b>
<b>1 ≤ SPI &lt; 1.5</b>	<b>Humidité modérée</b>
<b>-1 &lt; SPI &lt; 1</b>	<b>Normal</b>
<b>-1.5 &lt; SPI ≤ -1</b>	<b>Sècheresse modérée</b>
<b>-2 &lt; SPI &lt; -1.5</b>	<b>Sècheresse forte</b>
<b>SPI ≤ -2</b>	<b>Sècheresse extrême</b>

Tableau 1 : Classifications de l'indice standardisé des précipitations

ANNÉES	SPI					
1970-1971	1.8		Humidité modérée	1993-1994	-1.07	Sècheresse modérée
1971-1972	-1.004		Sècheresse modérée	1994-1995	0.03	Normal
1972-1973	0.35		Normal	1995-1996	-0.5	Normal
1973-1974	0.06		Normal	1996-1997	-0.49	Normal
1974-1975	-1.03		Sècheresse modérée	1997-1998	-1.34	Sècheresse modérée
1975-1976	-0.17		Normal	1998-1999	-1.08	Sècheresse modérée
1976-1977	-1.71		Sècheresse forte	1999-2000	-1.59	Sècheresse forte
1977-1978	-1.16		Sècheresse modérée	2000-2001	-1.85	Sècheresse forte
1978-1979	-1.54		Sècheresse forte	2001-2002	-0.94	Normal
1979-1980	-0.71		Normal	2002-2003	-1.07	Sècheresse modérée
1980-1981	-1.43		Sècheresse modérée	2003-2004	-1.09	Sècheresse modérée
1981-1982	-0.39		Normal	2004-2005	-1.51	Sècheresse forte
1982-1983	-1.4		Sècheresse modérée	2005-2006	-0.9	Normal
1983-1984	-1.12		Sècheresse modérée	2006-2007	-1.2	Sècheresse modérée
1984-1985	-1.2		Sècheresse modérée	2007-2008	-1.5	Sècheresse forte
1985-1986	-0.9		Normal	2008-2009	1.01	Humidité modérée
1986-1987	-1.2		Sècheresse modérée	2009-2010	0.07	Normal
1987-1988	-1.2		Sècheresse modérée	2010-2011	-0.75	Normal
1988-1989	-0.9		Normal	2011-2012	-1.41	Sècheresse modérée
1989-1990	-1.3		Sècheresse modérée	2012-2013	-1.23	Sècheresse modérée
1990-1991	0.02		Normal	2013-2014	-1.2	Sècheresse modérée
1991-1992	-1.2		Sècheresse modérée	2014-2015	-1.03	Sècheresse modérée
1992-1993	-1.4		Sècheresse modérée	2015-2016	-0.6	Normal
				2016-2017	-1.6	Sècheresse modérée

Tableau 2 : Séquences sèches, humides et normales de la région de Marrakech (1970-2017)

D'après le tableau 2, il apparaît que la période de sécheresse est présente sur cette séquence statistique avec une fréquence de 29 années contre 16 années pour la période normale et 2 années pour la période humide. Le calcul de l'indice de sécheresse SPI à Marrakech nous a confirmé une dominance d'années sèches.

Les séquences continues d'années sèches sont les plus fréquentes, elles sont au nombre de 8. Les séquences continues d'années normales ne dépassent pas 3 séquences, contrairement aux séquences continues d'années humides qui sont inexistantes tout au long de ces 47 ans.

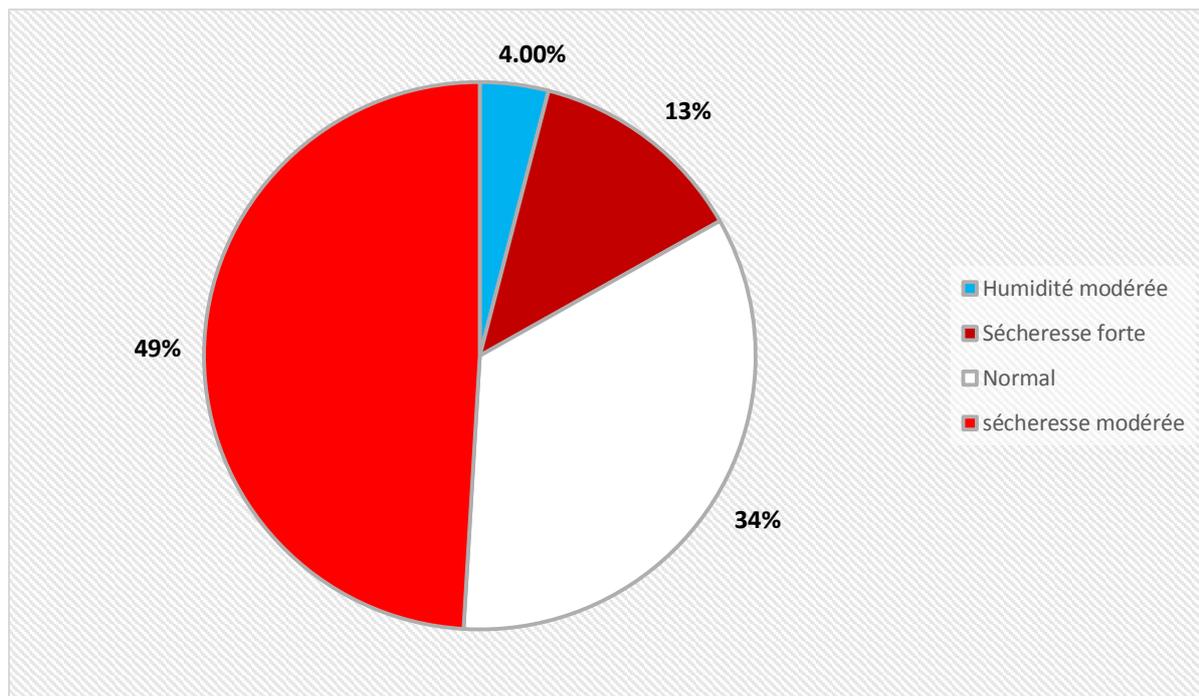


Figure 26 : Graphique montrant la répartition des années selon leur degré de SPI dans la région de Marrakech (1970-2017).

Les résultats obtenus d'après le calcul du SPI de la région de Marrakech ; permettent de constater que durant les 47 ans étudiées ( 1970-2017), les années sèches sont les plus fréquentes avec un pourcentage de 62 % réparties entre les années à sécheresse modérée (49%) et les années à sécheresse forte (13%), les années à degré normal représentent 34 % alors que les années humides ne sont qu'aux nombre de 2 avec un pourcentage de 4 %.

### 3 INFLUENCE DU CLIMAT SUR LES RESSOURCES EN EAU

#### 3.1 RESSOURCES EN EAU SUPERFICIELLES

L'étude de la variation des débits des eaux superficielles au cours du temps représente une importance capitale dans la gestion des ressources dans un bassin versant. Afin d'étudier les variations des régimes hydrologiques de la région de Marrakech-Safi, nous avons sélectionné 3 stations de jaugeage de différents sous bassins versants du bassin de Tensift :

- Aghbalou comme station d'une région montagneuse ;
- Chichaoua comme station de la plaine ;
- Talmest pour la zone côtière .

Cette partie est consacrée à l'étude et l'analyse de la variabilité, surtout temporelle, des débits, sous l'influence des changements climatiques sur les eaux de surface, notamment les Oueds, pour une période de 45 ans qui s'étend de 1971 à 2016 sauf pour la station de Talmest qui s'étend de 1985 à 2016.

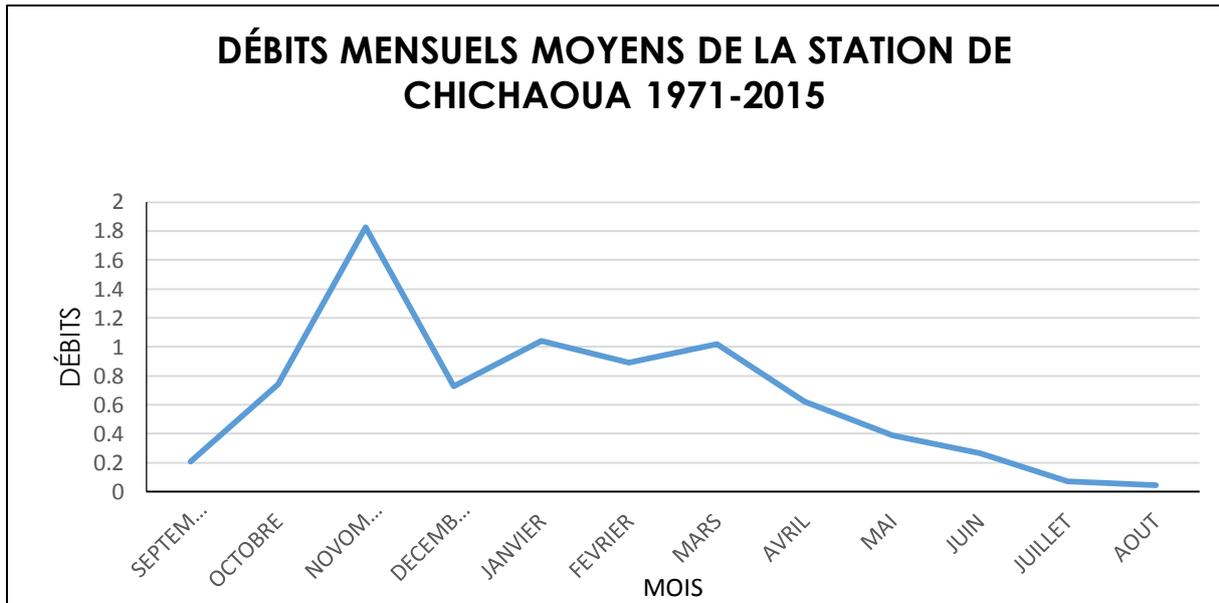


Figure 27 : Variation des débits mensuels moyens à Chichaoua entre 1971 et 2015

Le débit mensuel moyen est caractérisé par une augmentation de débit qui s'étend du septembre à mars avec un maximum de 1,82 m<sup>3</sup>/s pendant novembre, et une tendance à la baisse de mars à août avec un minimum de 0,04 pendant le mois d'août.

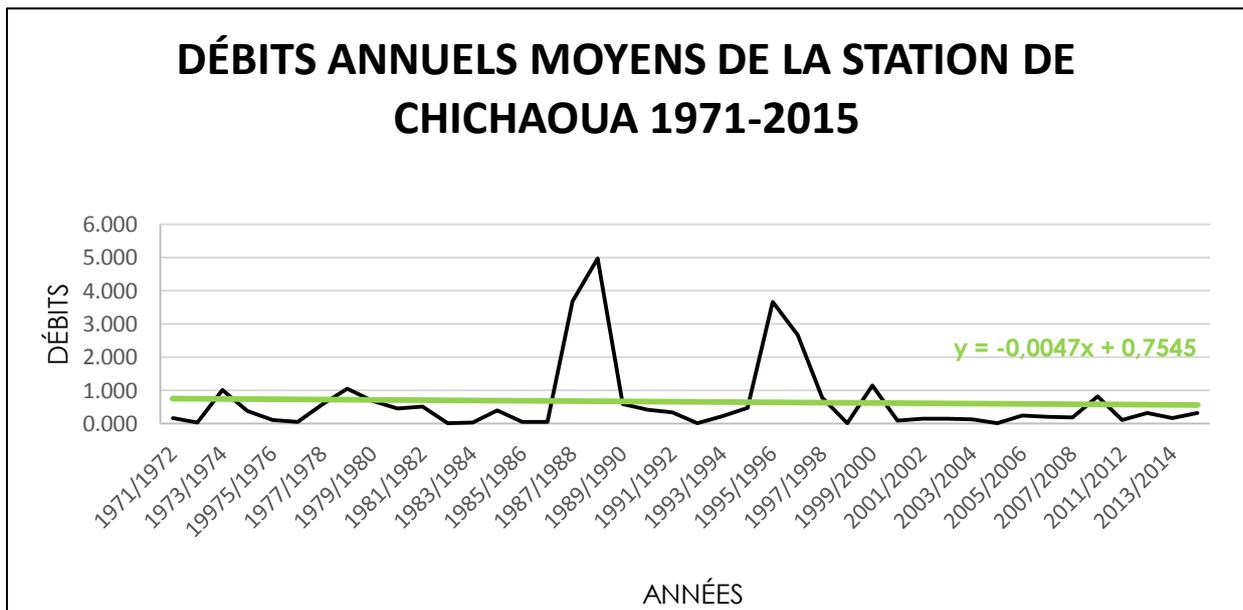


Figure 28 : Variation des débits annuels moyens à Chichaoua entre 1971 et 2015

Le diagramme met en évidence une décroissance progressive (allant de 1972 à 2015) qui est matérialisée par la pente négative représentée par l'équation de la droite  $y = -0,0047x + 0,7545$ . Le diagramme est dominé par 2 maximum: un de 4.962 m<sup>3</sup>/s enregistré durant l'année 1987/1988 et l'autre de 3.666 m<sup>3</sup>/s correspondant à l'année 1996/1997.

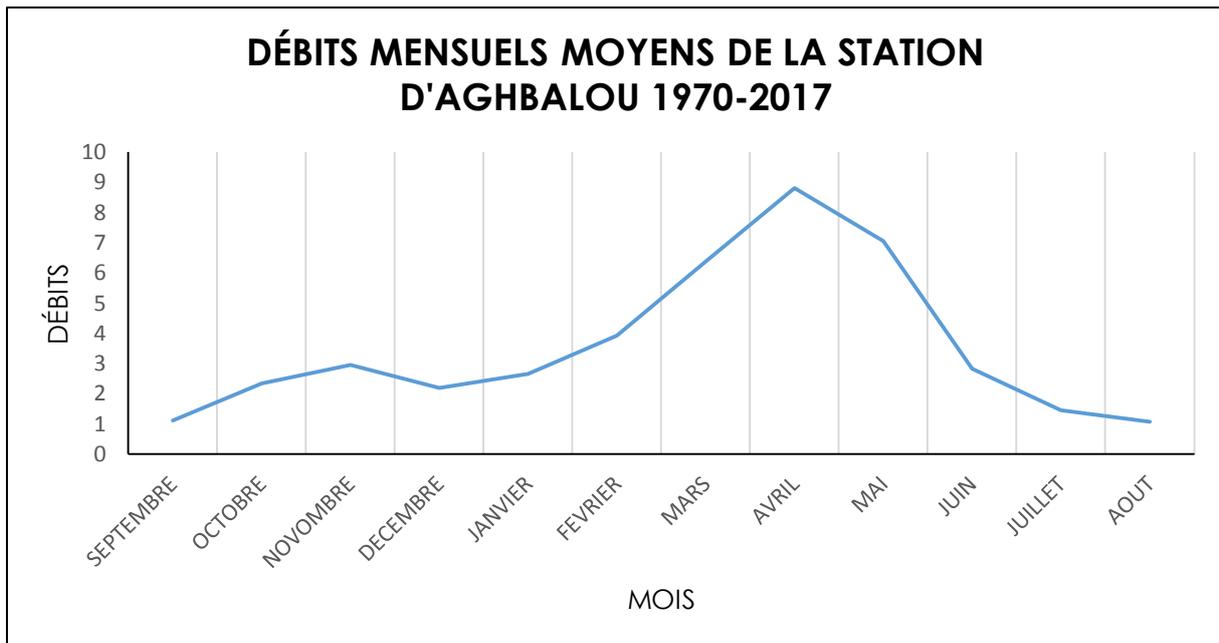


Figure 29 : Variation des débits mensuels moyens à Aghbalou entre 1970 et 2017

Le débit moyen mensuel à la station d'Aghbalou enregistre une nette irrégularité, les faibles débits sont remarqués au cours des saisons d'été et d'automne, et les forts débits sont enregistrés durant les saisons d'hiver et du printemps (du janvier à juin), avec un maximum de 8,79 m<sup>3</sup>/s pendant les mois d'avril et un minimum de 1,07 m<sup>3</sup>/s durant les mois d'août.

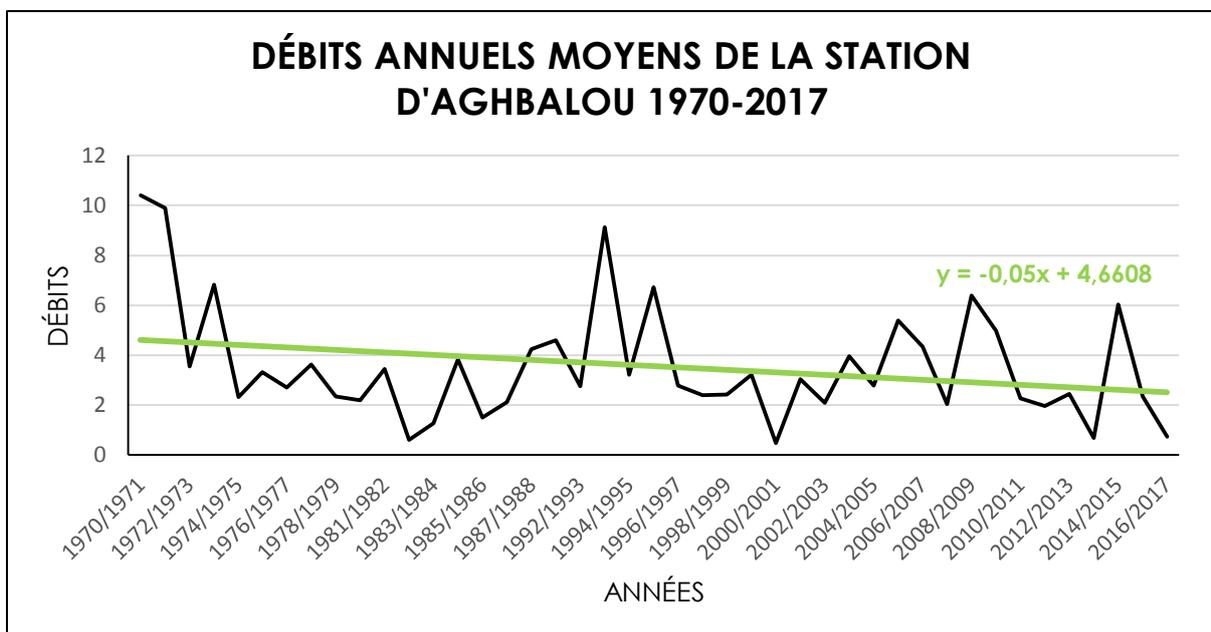


Figure 30 : Variation des débits annuels moyens à Talmest entre 1970 et 2017

La station d'Aghbalou montre une baisse de débits annuels moyens d'une valeur de 2 m<sup>3</sup>/s sur une durée de 47 ans.

Par ailleurs, 29 années ont enregistré des valeurs inférieures à la moyenne contre 13 années qui ont enregistré des valeurs supérieures à la moyenne.

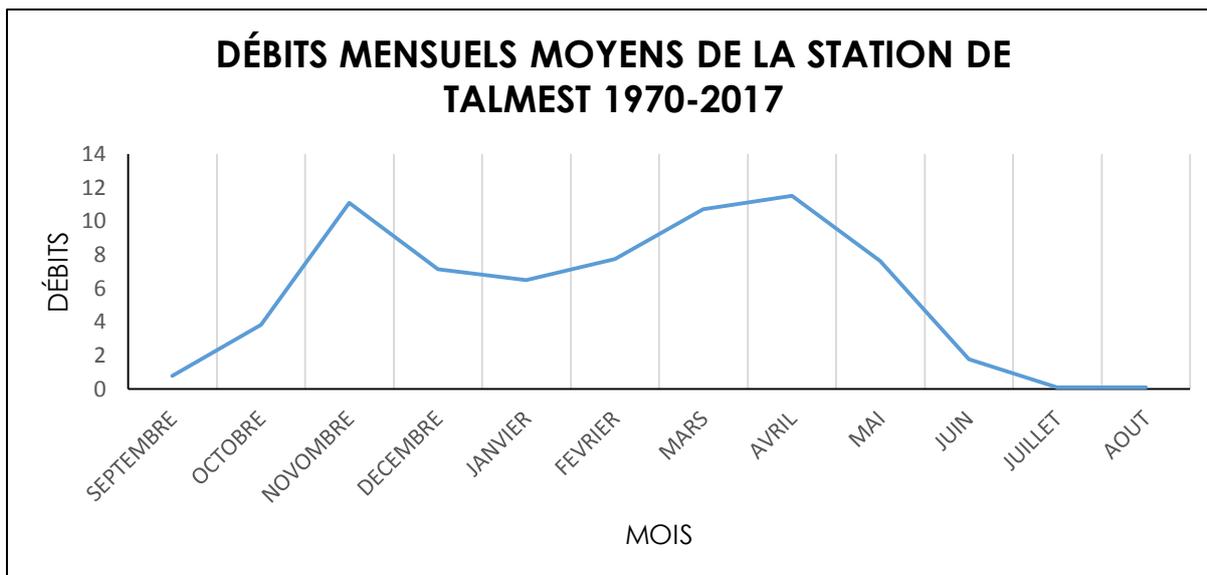


Figure 31 : Variation des débits mensuels moyens à Talrest entre 1970 et 2017

Concernant le débit moyen mensuel de la station de Talrest, on remarque que le débit est fort de novembre à mai, sachant que la moyenne des mois d'avril est la plus élevée avec une valeur qui est de 11,51 m<sup>3</sup>/s face à une valeur de 0,07 m<sup>3</sup>/s qui est enregistrée durant les mois de juillet.

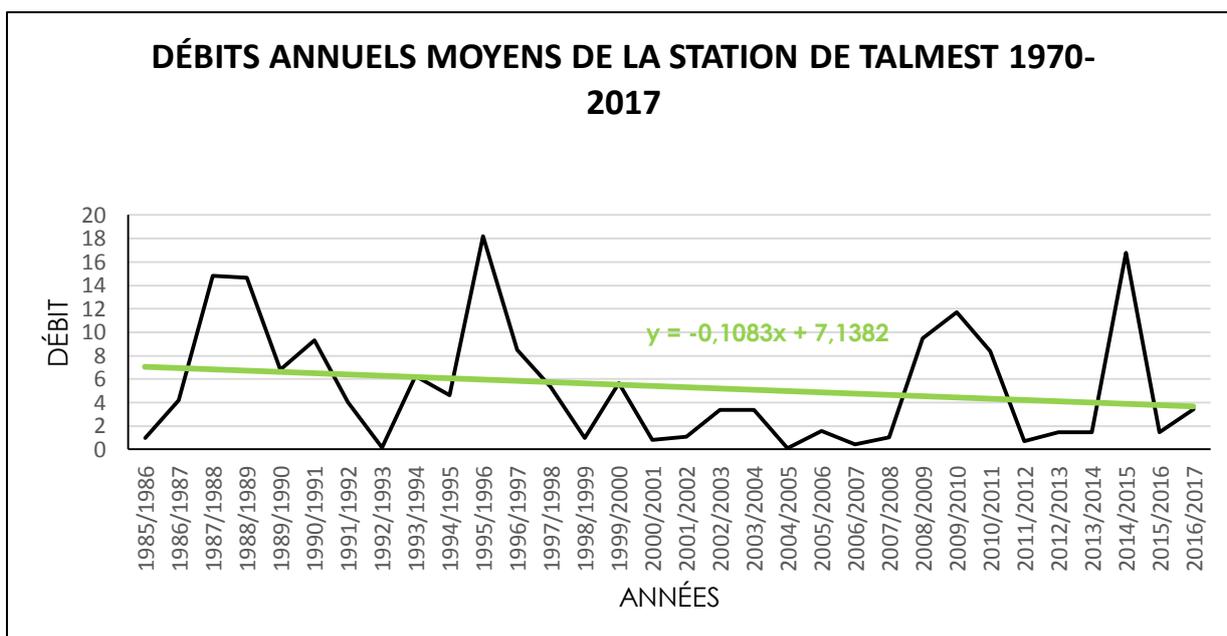


Figure 32 : Variation des débits annuels moyens à Talrest entre 1985 et 2017

Le diagramme de la figure 32 montre une baisse plus rapide des débits moyens annuels de la station de Talrest par rapport aux 2 autres stations avec un déficit de -3.9 m<sup>3</sup>/s pendant 47ans. En effet les valeurs de 15 années montrent des valeurs supérieures à la moyenne avec une valeur maximale de 18.18m<sup>3</sup>/s durant l'année (1995/1996) et une valeur minimale de 0.09 durant l'année (2004/2005).

### 3.1.1 COMPARAISON DES TROIS STATIONS

Le tableau 3 regroupe les résultats obtenus au niveau des 3 stations étudiées et leurs paramètres, à savoir : les moyennes, les valeurs maximales, les valeurs minimales et les pentes calculées. D'après l'analyse des débits dans le paragraphe précédent, la baisse du volume d'eau écoulé est remarquable pour les trois stations étudiées. Cependant le taux de la diminution est variable, il est plus important à Talmest avec une valeur de (-0.1083), modérée à Aghbalou (-0.05) et moins importante à Chichaoua (-0.0047).

STATION	MAX	MOYENNE	MIN	PENTE
TALMEST	18.18	5.3509	0.093	-0.1083
AGHBALOU	10.40	3.5606	0.4621	-0.05
CHICHAOUA	4.962	0.654	0.009	-0.0047

Tableau 3 : Valeurs moyennes, maximales et minimales des débits moyens

La baisse des débits moyens des cours d'eau des trois stations est similaire au déficit des précipitations mis en évidence dans cette région. Ceci confirme l'impact des changements climatiques sur les ressources en eau superficielle qui sont déjà modestes. En perturbant le régime des précipitations alimentent les cours d'eaux superficiels ; les changements climatiques influencent négativement l'évolution spatio-temporel des débits dans les cours d'eau de la région.

### 3.2 RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINES

L'évolution des nappes souterraines constitue l'un des axes majeurs de la réflexion sur la gestion durable des ressources en eau. Les eaux souterraines font partie d'une catégorie des ressources difficiles à être renouvelables qui contribuent dans une large part à l'alimentation en eau potable en permettant l'essor des activités économiques dans la région, et plus particulièrement dans les secteurs agricoles, industriels et touristiques. La recharge de l'eau souterraine est un paramètre majeur qui est encore peu connu du bilan hydrologique. La connaissance des processus et l'estimation précise de la recharge de l'eau souterraine est une condition préalable à une gestion efficace et durable des eaux souterraines dans les régions arides et semi-arides. En plus la recharge de l'eau souterraine est considérée comme le paramètre le plus direct avec lequel le changement climatique peut affecter les ressources renouvelables des aquifères. la relation entre les variables climatiques changeantes et les eaux souterraines est plus compliquée et difficile à quantifier; la difficulté d'étudier l'impact du changement climatique sur la recharge de la nappe est liée à plusieurs raison :

Les effets du changement climatique sur la recharge sont difficiles à évaluer et à examiner. Contrairement aux systèmes d'eau de surface les systèmes souterrains tendent à répondre plus lentement aux variations des conditions climatiques.

Les changements climatiques affectent directement les ressources en eau de surface en modifiant les variables climatiques à long terme comme la température de l'air, les précipitations et l'évapotranspiration (Hajhouji, 2018).

### 3.2.1 LE CHOIX DES SITES :

Dans cette étude, vu le manque de temps et surtout le manque des données, nous n'avons pas pu analyser les données des différentes nappes du bassin de Tensift. Nous avons pris en considération des exemples des piézomètres dans la nappe de Haouz-Mejjate qui est la plus importante parmi les 3 autres nappes dans le bassin de Tensift, en raison de la succession de plusieurs années de sécheresse et la demande croissante en eau des différentes activités socio-économiques (pôle urbain de Marrakech, irrigation) qu'a connaît cette zone.

La figure 33 représente les piézomètres suivis par l'ABHT dans la nappe du Haouz-Mejjat. Le suivi a débuté, pour tous les piézomètres, en 2005-2006, ce qui ne permet pas de visualiser une longue période d'observations.

Parmi ces piézomètres nous avons choisis quelques exemples représentatifs selon deux catégories :

- Des piézomètres alimentés par les apports pluviales de références : 4010/53, 4442/44, 3849/53.
- Des piézomètres dans les zones d'alimentation par les Oueds de références : 1133/52, 2008/52, 766/53, 4053/53.

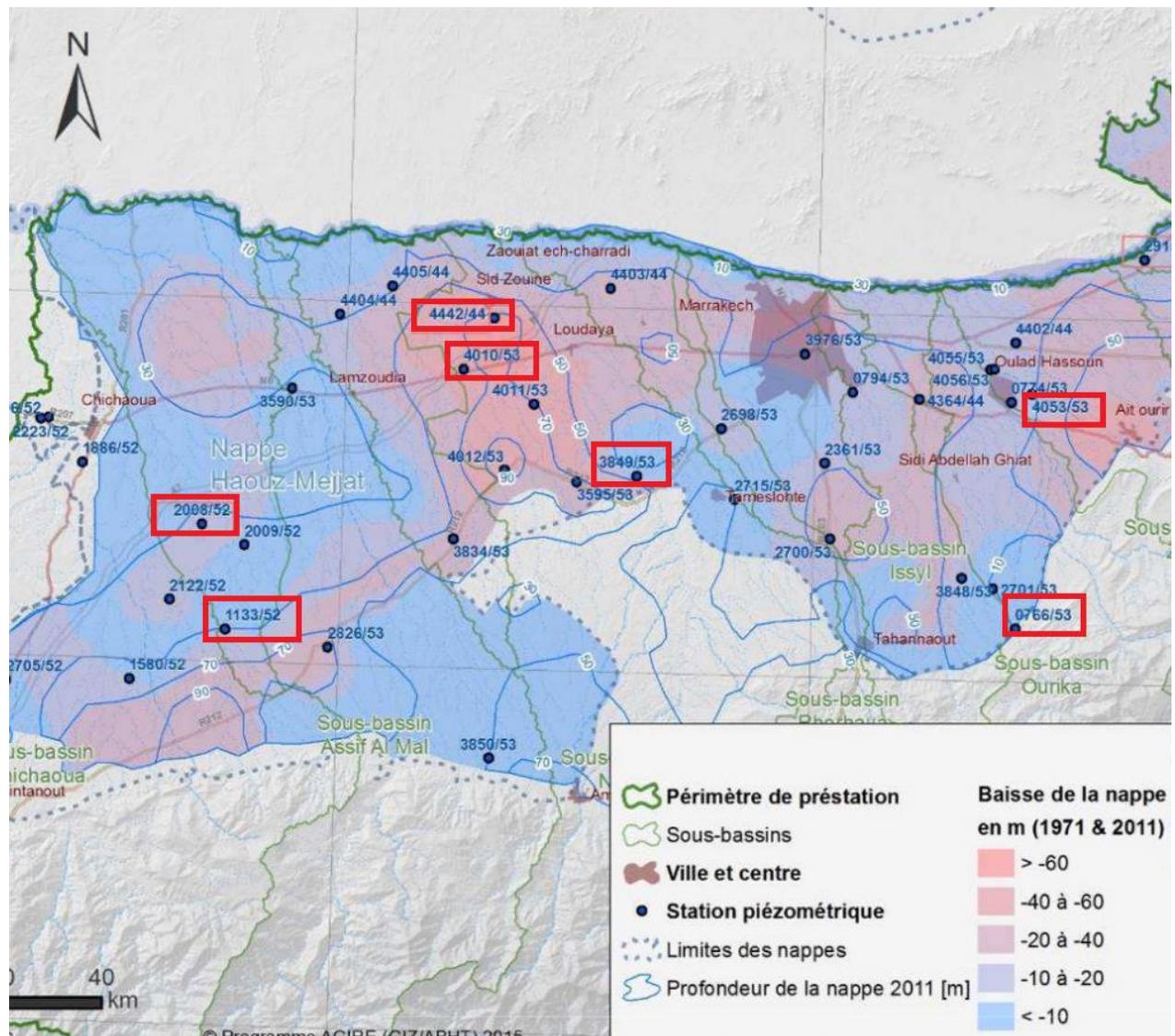


Figure 33 : Carte topographique de la nappe de Haouz-Mejjate et localisation des piézomètres étudiés (ABHT, 2015).

### 3.3 ANALYSES DES DONNEES

Les piézomètres analysés dans cette étude se trouvent dans les secteurs suivants :

- Piézomètre N 4442/44 dans la région de Sidi Zouine,
- Piézomètre N 4010/53 dans la région de Loudaya,
- Piézomètre N 3849/53 dans la rive gauche de oued N'fis
- Piézomètre 2008/52 dans la plaine de Mejjat
- Piézomètre 1113/52 dans la plaine de Mejjat
- Piézomètre 766/53 dans la zone d'alimentation par l'Oued d'Ourika
- Piézomètre 4053/53 dans la zone d'alimentation par l'Oued d'Imi N Zat

les diagrammes des figures 34 à 37 illustrent la variation de la profondeur piézométrique entre les années 2006 et 2014. Dans tous les piézomètres analysés on assiste à une baisse continue de la profondeur piézométrique durant cette période cependant cette baisse ne se fait pas de la même façon au niveau de tous les piézomètres

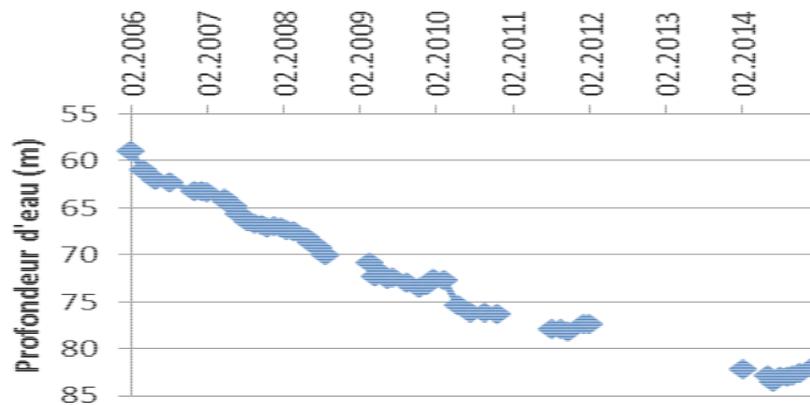


Figure 34 : Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 4442/44 entre 2006 et 2014 (ABHT, 2015).

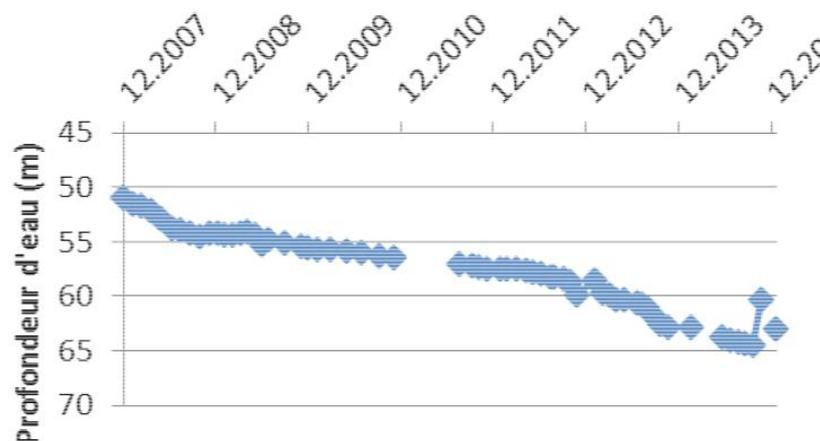


Figure 35 : Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 4010/53 entre 2007 et 2014 (ABHT, 2015)

Dans les secteurs de Sidi Zouine et de Loudaya (Figure 34) et (Figure 35) , on assiste à une baisse saccadée de 2,5 m/an et de 2 m/an en moyenne, respectivement. Ces baisses peuvent s'expliquer par les pompages excessifs qui compensent le déficit de la ressources en eau de surface par des prélèvements d'eau souterraine.

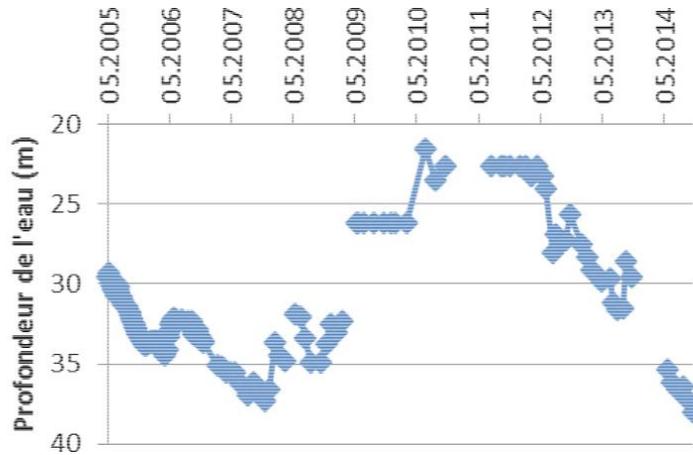


Figure 36 : Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 3849/53 entre 2005/2014 (ABHT, 2015)

En rive gauche dans la partie amont du périmètre du N'Fis, durant la période de 2005 à 2015, on assiste à une succession de baisses et de remontées correspondant à la succession de périodes sèches où les pompages s'accroissent et à des périodes humides où l'irrigation par les eaux de surface régularisées est relativement développée.

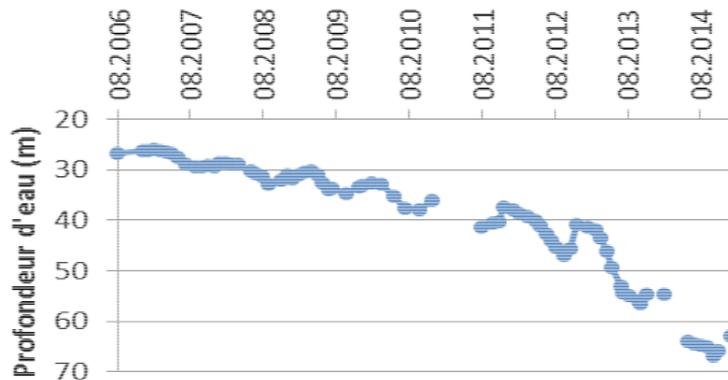


Figure 37 : Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 2008/52 entre 2006 et 2014 (ABHT, 2015).

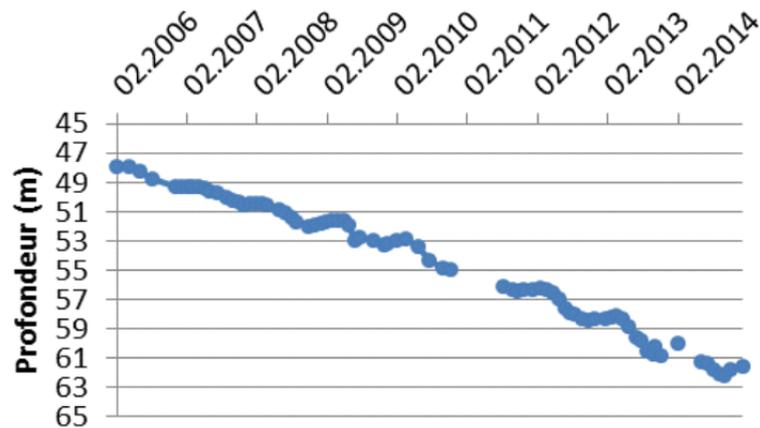


Figure 38 : Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 1113/52 entre 2006 et 2014 (ABHT, 2015).

Dans la plaine de Mejjate, on observe une baisse continue qui varie de 1,5 m/an (piézomètre 1133/52) à 3.5 m/an (piézomètre 2008/52).

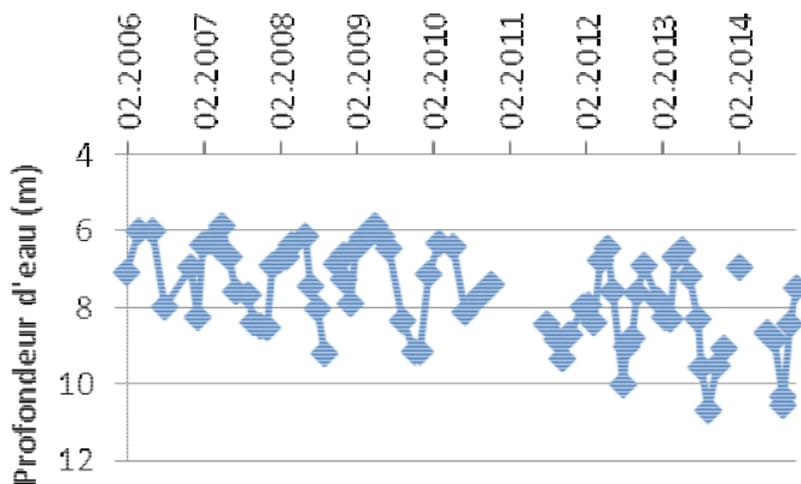


Figure 39 : Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 766/53 entre 2006 et 2014 (ABHT, 2015).

Dans la zone d'alimentation par l'Oued d'Ourika (piézomètre n°766/53), le niveau piézométrique fluctue entre 6 et 11 mètres de profondeur suivant la variance du sous-écoulement de l'oued, selon une tendance saccadée qui témoigne le processus recharge et décharge de la nappe phréatique.

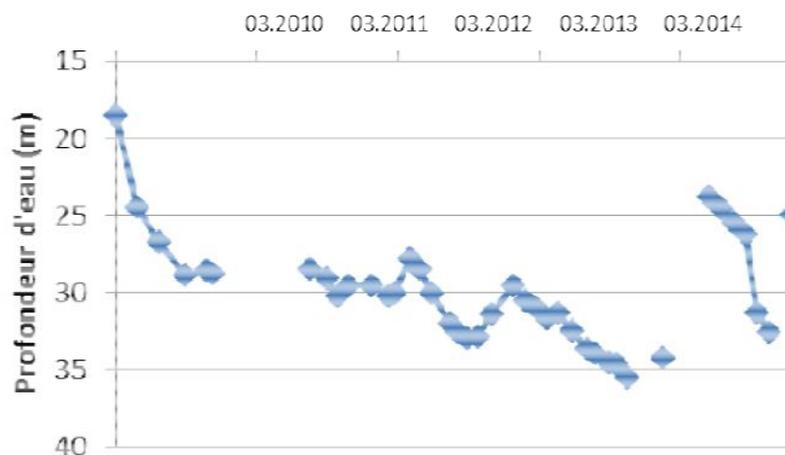


Figure 40 : Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 4053/53 entre 2010 et 2014 (ABHT, 2015).

Au niveau des seuils de recharge sur l'oued Imin zat (piézomètre N° 4053/53), on observe une succession de baisses et de remontées du niveau statique, du fait probablement de l'irrigation à l'aide de l'utilisation des eaux souterraines (tendance de la baisse de la profondeur de l'eau), ainsi des prélèvements au fil de l'eau par des séguias qui compense les prélèvements par pompage (tendance de la remontée de la profondeur d'eau).

### 3.4 INTERPRETATION ET DISCUSSION

L'analyse des graphes des différents piézomètres représentatifs de la nappe du Haouz-Mejjat, permet de mettre en évidence une diminution remarquable de la profondeur des eaux souterraines qui peut être expliqué de différentes façons :

- Une surexploitation de la nappe : la croissance importante de la population et le développement des secteurs socio-économiques consommant l'eau dans la région, ont pour conséquence un besoin accru en eau, et cela conduit à plus de pompage des eaux de la nappe souterraine d'année en année. L'augmentation des prélèvements provoque des situations de surexploitation qui débouchent sur une dégradation progressive des ressources en eau.
- L'impact des changements climatiques qui peut entraîner des modifications à différentes échelles spatiales et temporelles sur les mécanismes des eaux souterraines que sont la recharge, le stockage et la décharge, en influençant l'alimentation de la nappe en premier lieu. Le déclin déjà observé dans l'étude précédente des deux paramètres : la pluviométrie (chapitre 3) et les débits des eaux de surface (chapitre 4), peut confirmer les réflexions sur l'impact des changements climatiques sur la nappe phréatique en engendrant la diminution de la recharge soit en impactant la relation précipitations-recharge ou la relation débits-recharge qui sont responsables de l'alimentation des nappes. Ceci implique une baisse du stock de l'eau souterraine et une mise à risque des ressources.

L'impact du changement climatique sur la décharge des eaux souterraines est en relation avec la baisse du niveau de la nappe, qui est lié au débit de base des rivières et des sources. L'impact peut être plus facilement observé par des changements dans les écosystèmes tributaires des eaux souterraines. Une autre cause de diminution de la décharge est le pompage excessif des eaux souterraines renouvelables, qui peut être pratiqué pour faire face à la pénurie d'eau en raison du changement climatique.

## **CONCLUSION :**

Les changements climatiques sont devenu un sujet de préoccupation majeur pour nos sociétés, ses effets néfastes sur l'environnement, les populations et l'économie étant désormais largement reconnus.

L'impact des changements climatiques sont aujourd'hui une réalité dans la zone d'action de l'ABHT et ses conséquences sont déjà visibles sur les ressources en eau.

L'objectif principal de cette étude consistait à étudier les ressources en eau dans le bassin de Tensift dans le cadre du réchauffement climatique pour affiner au mieux son impact sur les ressources en eau au niveau de cette région de Marrakech-Safi, qui fait partie des plus susceptibles d'être impactés par le réchauffement climatique vu sa tendance aride à semi-aride. D'après les résultats des différents paramètres analysés durant ce travail, nous avons déduit une tendance vers la hausse des trois paramètres (température annuelle, de janvier et de juillet) pour la station de Marrakech.

Par ailleurs, le comportement des précipitations présente une diminution pour les 3 stations choisies (Talmest, Marrakech et Aghbalou). De même pour les débits (Chichaoua, Aghbalou et Talmest ) et la piézométrie dans la nappe Haouz-Mejjat.

D'où on peut tirer que les changements climatiques ont une incidence sur les régimes hydrologiques et hydrogéologiques, du fait de la modification du régime des précipitations et de l'augmentation de l'évapotranspiration liée à celle des températures. Les projections actuelles tablent sur une diminution des précipitations, principalement en été et une plus grande variabilité en termes d'intensité. Cette évolution a un impact sur les débits des eaux de surface ainsi que sur la recharge des aquifères souterraines.

Le Maroc, comme tous les autres Etats, ambitionne de poursuivre ses efforts de lutte contre le réchauffement climatique en adoptant plusieurs plans et politiques, il s'est engagé dans une approche de gestion intégrée des ressources en eau dans le cadre de sa Stratégie Nationale de l'Eau (SNE), du Plan National de l'Eau (PNE) et de la nouvelle loi sur l'eau 36-15 (2016). La SNE (2009) aborde la gestion de la demande et la valorisation de l'eau, le développement et la gestion de l'approvisionnement en eau, la réduction des risques et l'adaptation au réchauffement climatique, la protection des ressources en eau et des écosystèmes.

le Maroc réaffirme sa forte adhésion à l'effort international de lutte contre le phénomène de réchauffement climatique. En fait, la situation a atteint un degré de gravité qui rend impératif un engagement collectif plus fort, pour assurer la survie de l'humanité et sauvegarder notre Planète Terre.

## **BIBLIOGRAPHIE :**

- Aurélien, Deragne. Cédric, Ringenbach (2013). Réchauffement climatique ou non ? D'origine anthropique ou non ?
- Brahmanand, Mohanty (2019). Climat chaud ou tropical : une définition claire mais difficile.
- Damien, Valette (2021). 2021 : 50% de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère en plus qu'avant l'ère industrielle.
- Di Roma, Clément (2020). le Maroc toujours parmi les pays les plus menacés.
- Direction générale des collectivités locales (2015). LA région de Marrakech Safi monographie générale, page 8 et 9
- Données de l'agence de bassin hydraulique de Tensift.
- El ajhar, Laila ; El khachine, Douae ; El bakouri, Ahmed ; El kharrim, Khadija ; Belghyti, Driss (2018). Evolution de la pluviométrie de 1960 à 2015 au Maroc.
- Eric, Fisk (2020). Changement de la température moyenne.
- Gaëlle, Roussel (2012). Quelles sont les connaissances actuelles sur le changement climatique de l'échelle globale aux échelles régionales ?
- Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (2014). Changements climatiques 2014: rapport de synthèse. Contribution des groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Genève: GIEC.
- Hachimi, Mohamed (2009). Agences de Bassins Hydrauliques & Gouvernance de l'eau.
- Hajhouji, Youssef (2018). Modélisation hydrologique du bassin versant de l'oued Rheraya et sa contribution à la recharge de la nappe du Haouz (bassin du Tensift, Maroc).
- Jaa , Youssra (2019). Réchauffement climatique au Maroc: les derniers chiffres
- Maestre, Éric (2005). Le climat de la terre.
- Marsaud, Olivia (2004). Méditerranée : le tourisme assèche les réserves d'eau.
- Mayer, Nathalie (2016). Pourquoi parle-t-on de cycle de l'eau dans la nature ?
- Ministère de l'Energie, des Mines et de l'Environnement (2016), 3<sup>ème</sup> Communication Nationale du Maroc à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques.
- Moukhtari, Noureddine ; Mrabet, Rachid ; Lebailly, Philippe ; bock, Laurent (2013). Spatialisation des bioclimats, de l'aridité et des étages de végétation du Maroc.
- Office International de L'eau (2017). La répartition de l'eau sur la planète Terre.
- Revenga, Carmen ; Brunner, Jake ; Henninger, Norbert ; Kassem, Ken ; Payne, Richard (2000). Analyse pilote des écosystèmes mondiaux : Systèmes d'eau douce.
- Salama, Hind ; Tahiri, Mohamed (2010). La gestion des ressources en eau face aux changements climatiques, cas du bassin Tensift (Maroc), page 135 et 136.
- Sebbar, Abdelali (2013). Etude de la variabilité et de l'évolution de la pluviométrie au Maroc (1935-2005) : Réactualisation de la carte des précipitations.
- Smajj, Zakaria (2011). Typologie de la qualité des ressources en eaux du bassin de Tensift Al-Haouz et cadre juridique de protection et de préservation.
- Ministre en charge de l'Environnement et du Développement Durable (2021), Observations du changement climatique.
- Données Nasa, National Oceanic and Atmospheric Administration et Hadley center (2021).
- Abouddrar, Said (2016).

- Recensement Général de la Population et de l'Habitat (2014).
- Bureau de recherches géologiques et minières (2011). une gestion nécessairement locale dans une approche globale.