

**Licence Sciences et Techniques
Eau et Environnement**

Département des sciences de la Terre

Projet de fin d'études

**IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES
SUR L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE
MARRAKECH**

**Réalisé par : FADILA AIT EZZINE ET CHRISTIAN
BIGIRIMANA**

Soutenu le : 23 JUIN 2022

**Devant la commission d'examen composée de :
Prof MOHAMED ERRAGRAGUI, Encadrant interne, FST Marrakech**

Prof ALI RHOJJATI, Examineur FST Marrakech



2021-2022

REMERCIEMENTS

En premier lieu Dieu merci de nous avoir donné la force et la patience pour avoir effectué ce modeste travail, nous tenons à remercier nos chers parents, frères et sœurs. Merci de nous avoir inculqué une forte passion pour l'apprentissage et de nous faire tout votre possible pour nous mettre sur la voie de la grandeur. Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance et notre profonde gratitude à Madame Nadia EL ILALI la directrice générale de la Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de Marrakech (RADEEMA), pour sa permission d'effectuer ce stage. nous devons également apprécier Monsieur Kondah, chef du département Exploitation Eau Potable, pour son accompagnement et sa disponibilité tout au long de ce mois , et pour avoir mis à notre disposition tous les documents et moyens nécessaires à la réussite de cette expérience professionnelle .nous tenons aussi à remercier Monsieur ABDESSATAR ABBID ,chef de de la division mesures et amélioration de rendement pour son encadrement et son soutien nous avons énormément appris aussi bien théorique que pratique . NOUS adressons nos remerciements les plus distingués à Monsieur NEDALI JAOUAD ingénieur au sein de la RADEEMA qui a eu l'amabilité de répondre à nos problématiques durant notre travail. Nous remercions toute l'équipe de département Exploitation Eau Potable ainsi que tout le personnel de la RADEEMA.

Nous saisons également cette occasion pour adresser mes profondes remerciements au membres du département de la science de la terre au sein de la faculté des sciences et techniques de Marrakech , Monsieur IGMOULLAN BRAHIM le chef de département et notre cher professeur , Madame YAMINA BOURGEOUANI ,notre chef de filière pour son soutien sans faille et son suivie durant toute l'année .Nous désirons aussi à remercier notre encadrant interne Monsieur MOHAMED ERRAGRAGUI pour ses conseils avisés à propos de notre travail et sans oublier Monsieur Saidi Mohamad El Mahdi pour sa disponibilité et sa gentillesse. Nous tenons aussi à remercier Monsieur ALI RHOJJATI d'avoir accepté d'évaluer notre projet de fin d'étude.

Nous voudrions enfin exprimer notre reconnaissance envers les amis et les collègues pour leur soutien moral et intellectuel.

Un grand merci à tout ceux qui ont participé à l'élaboration de ce modeste travail et tous ceux qui nous sont chers.

RESUME

Contrairement aux changements climatiques passés purement naturels, le climat terrestre actuel mute à cause des activités humaines émettrices des gaz à effet de serre dont la concentration dans l'atmosphère croît progressivement avec des symptômes variables par endroits.

Au Maroc, les changements climatiques généralisés et inégaux du Nord au Sud se traduisent par une augmentation de la température moyenne et une baisse des précipitations moyennes annuelles cumulées.

Inégalement réparties sur le territoire, les ressources hydriques du Maroc représentent le moteur du développement économique du pays à travers le secteur agricole. Ces ressources en eau sont redoutablement réduites par le réchauffement climatique exacerbant ainsi la pénurie d'eau.

La région de Marrakech-Safi est dans une situation plus inquiétante de rareté d'eau. La demande en eau augmente et les ressources disponibles sont en baisse suite à la diminution des débits moyens annuels et le rabattement des niveaux piézométriques des nappes. Le bilan hydrique étant de plus en plus déficitaire, l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech n'est pas garantie. Les barrages Lalla Takerkoust et Hassan 1er ainsi que les nappes exploités voient leurs réserves chuter et cela risquerait de perturber l'alimentation en eau potable du géant touristique.

En vue d'assurer un développement durable et équilibré de tous les secteurs sans favoritisme, des solutions ont été adoptées par le Maroc notamment la réutilisation des eaux usées, les transferts des eaux entre bassins hydrauliques, instauration des techniques d'irrigation économes d'eau mais le pays doit se préparer au pire d'après les projections climatiques.

Table de matières

REMERCIEMENTS

RESUME

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LA REGION DE MARRAKECH ET LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES.....	2
I. Présentation de la RADEEMA.....	2
1. Mission et actions entreprises.....	2
2. Organigramme de la RADEEMA.....	2
3. Département exploitation eau	3
II. PRESENTATION DE LA VILLE DE MARRAKECH DANS SON CONTEXTE REGIONAL.....	5
1. Situation géographique	5
2. Contexte géologique	5
3. Contexte Climatique.....	7
4. Hydrologie	7
5. Hydrogéologie.....	8
6. Cadre administrative.....	8
7. Démographie	9
8. Les activités économiques	9
III. LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	10
1. Notion du climat.....	10
2. Les changements climatiques dans le monde	10
3. Evolution des changements climatiques futurs dans le monde et notion de modèle climatique.....	12
CHAPITRE 2: LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LA REGION D'ETUDE.....	16
I. Les changements climatiques au Maroc.....	16
1. La temperature	16
2. Précipitations	16
II. Les changements climatiques dans la région de Marrakech-Safi.....	17
1. La température	17
2. Précipitations	18
III. Les facteurs qui influencent les changements climatiques.....	19
1. Les facteurs naturels	19
2. Les facteurs anthropiques.....	23
CHAPITRE 3: LES RESSOURCES EN EAU ET LES BESOINS EN EAU DANS LA REGION D'ETUDE	25
I. Les ressources hydriques au Maroc.....	25

II.	Les ressources hydriques dans la région	27
1.	Eaux superficielles.....	27
2.	Les eaux souterraines	29
III.	L'analyse réglementaire d'exploitation des ressources en eau.....	30
IV.	Besoins en eau dans la région.....	31
1.	Les eaux destinées à l'irrigation.....	31
2.	Besoins en eau potable	32
V.	La situation hydrique de la région Marrakech-Safi.....	33
CHAPITRE 4: IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES RESSOURCES EN EAU ET L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE LA VILLE DE MARRAKECH.....		34
I.	Impact sur le cycle de l'eau.....	34
II.	Aperçu sur l'impact les changements climatiques sur les ressources en eau du Maroc	35
III.	Impact des changements climatiques sur les ressources en eau dans la région.....	37
1.	Impact sur les ressources en eau de surface.....	37
2.	Impact sur les ressources en eau souterraine.....	41
IV.	Impact des changements climatiques sur la qualité des ressources en eau	46
CHAPITRE 5 : LES SOLUTIONS D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES.....		47
I.	Solutions adoptées	47
1.	Les solutions d'investissement	47
II.	Solutions futures.....	48
1.	Solutions d'investissements.....	48
Conclusion.....		50
Bibliographie.....		52
Webographie.....		53

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme de la RADEEMA	3
Figure 2: Organigramme du Département exploitation eau.....	4
Figure 3: : Localisation de la région de Marrakech-Safi (Abouddrar, 2016)	5
Figure 4: Schéma géologique de Marrakech	6
Figure 5: Carte géologique schématique de l'Atlas de Marrakech (Léon Moret, 1958).....	6
Figure 6: : Répartition des régions marocaines (La monographie Générale de la région de Marrakech-Safi)	8
Figure 7: : Répartition de la population provinciale dans la région de Marrakech-Safi (Monographie de la région de Marrakech-Safi, 2021).....	9
Figure 8: Moyenne mondiale des anomalies de température en surface combinant les terres émergées et les océans. (GIEC, 2014).....	11
Figure 9: Moyenne mondiale du changement de niveau de mer. (GIEC, 2014)	11
Figure 10: Evolution des températures moyennes en surface entre 1986- 2005 et 2081-2100. (GIEC, 2014).....	13
Figure 11: Evolution des précipitations moyennes entre 1986-2005 et 2081-2100 à gauche scenario RCP2.6, à droite RCP8.5. (GIEC, 2014)	13
Figure 12: Projections de l'élévation du niveau de mer. (GIEC, 2014)	14
Figure 13: Projections des émissions liées aux énergies fossiles suivant 4 profils d'évolution. (GIEC, 2014).....	14
Figure 14: Evolution de la population mondiale selon les 5 scénarios (Rapport GIEC, 2014).....	15
Figure 15: Evolution temporelle de la température moyenne (Tmoy) annuelle nationale (Ministère de l'Équipement et de l'Eau, 2021).....	16
Figure 16: Evolution temporelle de la pluviométrie annuelle nationale (Ministère de l'Équipement et de l'Eau, 2021)	17
Figure 17: Tendence des températures maximales, minimales et moyennes annuelle de la ville de Marrakech (Imane, Daoudi, 2021).....	17
Figure 18: Tendence des précipitations annuelles en mm dans la station de Marrakech entre 1970-2017	18
Figure 19: Tendence des précipitations moyennes annuelles dans la station d'Aghbalou entre 1970-2017	18
Figure 20: Tendence des précipitations annuelles en mm dans la station de Talmest entre 1985-2017..	19
Figure 21: Facteur de changement climatique: L'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre.....	20
Figure 22: composition de l'atmosphère terrestre	21
Figure 23: Le cycle de l'eau	21
Figure 24: Les courants océaniques.....	22
Figure 25: Le cycle de carbone	23
Figure 26: Les mouvements des plaques lithosphériques et les évènements naturels associés	23
Figure 27: Répartition des ressources en eau du Maroc par bassin (Hachim, 2009).....	25
Figure 28: : Le potentiel hydrique du Maroc (Ministère de l'équipement et de l'eau).....	26
Figure 29: Apports en eau superficielle des bassins hydrauliques du Maroc	26
Figure 30: : Situation géographique des principaux oueds des bassins versants de la région (DGCL, 2015).....	27
Figure 31: Répartition des grands bassins de la région de Marrakech-Safi (Monographie de la région de Marrakech-Safi, 2021)	28
Figure 32: Principales nappes phréatiques du bassin versant du Tensift (Limam, 2005).....	29
Figure 33: Répartition de l'effectif du cheptel dans la région de Marrakech-Safi	31
Figure 34: Evolution des volumes annuels d'eau potable consommée par les abonnés de la RADEEMA entre 2011-2020.....	32
Figure 35: Impacts des changements climatiques.....	34
Figure 36: Impact de changement climatique sur le cycle de l'eau.....	35
Figure 37: Dotations en ressources en eau au Maroc (en m ³ /hab/an)	35
Figure 38: Projections de la situation hydrique du Maroc	36
Figure 39: Tendence des débits moyens annuels dans la station Abadla entre 1970-2019	37

Figure 40: Tendance des débits moyens annuels oued assif al mal entre 1985-2019.....	38
Figure 41: Tendance des débits annuels moyens de l'oued Seksaoua entre 1975-2019.....	38
Figure 42: tendance des débits moyens annuels dans la station Imine El Hammam de l'oued N'fis sur la période de 1970-2017	39
Figure 43: Pluviométrie dans les bassins de Lakhdar, N'fis et Tassaout entre septembre-Mars sur la période 2020-2021 et 2021-2022. (vigilance, 2022).....	39
Figure 44: Apports au niveau des bassins entre le 01/09/2021 et le 31/03/2022.....	40
Figure 45: Evolution du taux de remplissage et des réserves dans le barrage Hassan 1er	40
Figure 46: Evolution du taux de remplissage et des réserves dans le barrage Lalla Takerkoust	41
Figure 47: Recharge naturelle d'une nappe phréatique (source: Les eaux souterraines des systèmes aquifères.....	41
Figure 48: Décharge naturelle d'une nappe phréatique (Les eaux souterraines des systèmes aquifères)	42
Figure 49: Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 4010/53 de Loudaya entre 2007 et 2014 (ABHT, 2015).....	43
Figure 50: Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 4442/44 de Sidi Zouine entre 2006 et 2014 (ABHT, 2015).....	43
Figure 51: Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 1113/52 de la plaine de Mejjat entre 2006 et 2014 (ABHT, 2015).....	44
Figure 52: Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 2008/52 de la plaine de Mejjat entre 2006 et 2014 (ABHT, 2015).....	44
Figure 53: Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 4053/53 de l'oued Imin zat entre 2010 et 2014 (ABHT, 2015).....	45
Figure 54: : Evolution des volumes en % des eaux superficielles et souterraines mobilisées pour l'AEP de la ville de Marrakech entre 2002-2016 (RADEEMA).....	45

Liste des tableaux

Tableau 1: Les caractéristiques des grands barrages de la région de Marrakech-Safi (Monographie de la région de Marrakech-Safi, 2021)	28
Tableau 2: Indicateurs d'activité de la RADEEMA.....	33
Tableau 3: Bilan des principales nappes du bassin hydraulique de Tensift	43
Tableau 4 : Evolution des ressources en eau mobilisées pour l'AEP (RADEEMA).....	

INTRODUCTION

La crise mondiale du changement climatique est inextricablement liée à l'eau. Le changement climatique augmente la variabilité du cycle de l'eau, provoquant ainsi des événements climatiques extrêmes, réduisant la prévisibilité de la disponibilité de l'eau, diminue la qualité de l'eau et menace le développement durable, la biodiversité et la jouissance des droits de l'homme à l'eau potable et à l'assainissement dans le monde entier.

La demande mondiale croissante en eau accroît les besoins en pompage, transport et traitement de l'eau, qui consomment beaucoup d'énergie.

En outre, certaines mesures d'atténuation du changement climatique comme l'utilisation accrue des biocarburants, peuvent aggraver la pénurie d'eau.

Ces changements climatiques affectent la plupart des pays du monde, présente des disparités régionales. La région de l'Afrique du Nord serait, à ce titre, particulièrement touchée puisqu'elle devrait subir un réchauffement supérieur à la moyenne du globe et une diminution plus importante des précipitations. Ainsi, le Maroc subit l'impact du changement climatique, comme il ressort des études nationales réalisées à ce jour. Celles-ci ont montré que durant les quarante-cinq dernières années, les régions qui étaient classées sous climat humide et subhumide régressent au profit des régions à climat semi-aride et aride. Les régions marocaines sont affectées par la sécheresse, l'augmentation des températures moyennes, les vagues de chaleur, l'élévation du niveau de la mer, le changement du régime des pluies, dont les effets sur les ressources et les demandes en eau se font déjà sentir, va à la fois modifier les précipitations dans leur répartition temporelle et spatiale, et augmenter les besoins de la végétation forestière et agricole.

Notre travail a pour objectif l'étude de l'évolution des changements climatiques dans le monde et aussi notre la région en premier lieu et d'étudier leur impact sur l'alimentation en eau en deuxième lieu.

CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LA REGION D'ETUDE ET LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

I. Présentation de la RADEEMA

La régie autonome de distribution d'eau et d'électricité de Marrakech dénommée RADEEMA est un établissement public à caractère communal doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Il est chargé notamment d'assurer à l'intérieur de son périmètre d'action les services publics de distribution d'eau et d'électricité ainsi que la gestion de service d'assainissement liquide.

1. Mission et actions entreprises

La RADEEMA assure la distribution d'eau et d'électricité et la gestion du service d'assainissement liquide au sein de la ville de Marrakech.

Les trois métiers couvrent une zone d'action de 23 000 ha et une population d'environ 909 000 habitants.

La mission de la RADEEMA et sa préoccupation majeure est d'accompagner le développement important que connaît la ville de Marrakech, assurer la sécurité de l'approvisionnement et la bonne gestion des services assurés.

Le volet environnemental et écologique est au centre des actions engagées par la RADEEMA notamment le traitement et la réutilisation des eaux usées.

Ainsi les principales actions entreprises ont porté sur le renforcement des infrastructures de base, la sécurisation de l'alimentation en eau et en électricité, la lutte contre la pollution du milieu récepteur et la protection de l'environnement et la généralisation de l'accès aux services assurés et ce dans le cadre de l'initiative nationale du développement humain.

2. Organigramme de la RADEEMA

Dans le cadre du contrat de programme avec l'Etat, la régie s'est engagée à disposer d'une nouvelle organisation et d'un manuel des procédures couvrant la totalité de ses activités. Afin de respecter ces engagements dans les délais impartis, la RADEEMA a conçu une nouvelle organisation en tenant compte des essors du secteur qui sont devenus plus significatifs dans les investissements, les services et les prestations rendus. En parallèle, le manuel des procédures organisationnelles de la régie est établi dans le but de satisfaire les contrôles réglementaires

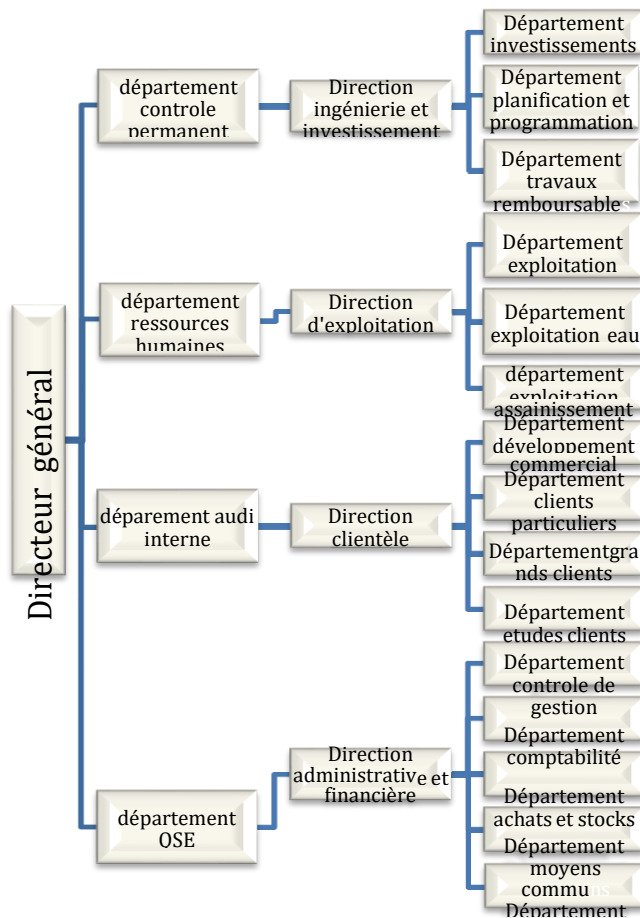


Figure 1: Organigramme de la RADEEMA

3. Département exploitation eau

a) Présentation

Le rôle du département exploitation eau potable est d'exploiter le réseau d'eau potable dans le respect du niveau de qualité de service, réparer les fuites sur branchement et sur conduites dans les bons délais, assurer une bonne qualité de l'eau distribué et assurer une qualité de service en termes de pression d'assurer la pérennité et la bonne gestion du patrimoine et d'accompagner la mise en place des projets et des outils d'exploitation.

Le département est composé de deux divisions : la division conduite de réseaux responsable de l'exploitation du réseau et la division mesures et détection de rendement qui a pour but l'amélioration du rendement des réseaux.

Les ressources en eau potable mobilisées pour l'AEP de Marrakech sont constituées d'eaux superficielles et de ressources souterraines respectivement de 99% et 1% pour la ville de Marrakech, l'eau est puisée au niveau du :

- ✓ Barrage sidi Driss lui-même alimenté par le barrage Hassan 1er
- ✓ Barrage Lalla Takerkouste comme adduction de secours
- ✓ Barrage al Massira (future adduction de future)

L'eau est ensuite véhiculée par le canal de Rocade (capacité de transit 12 m³/s) qui approvisionne en eau brute la station de traitement de l'ONEP d'un débit produit de 2300 l/s.

b) Organisation

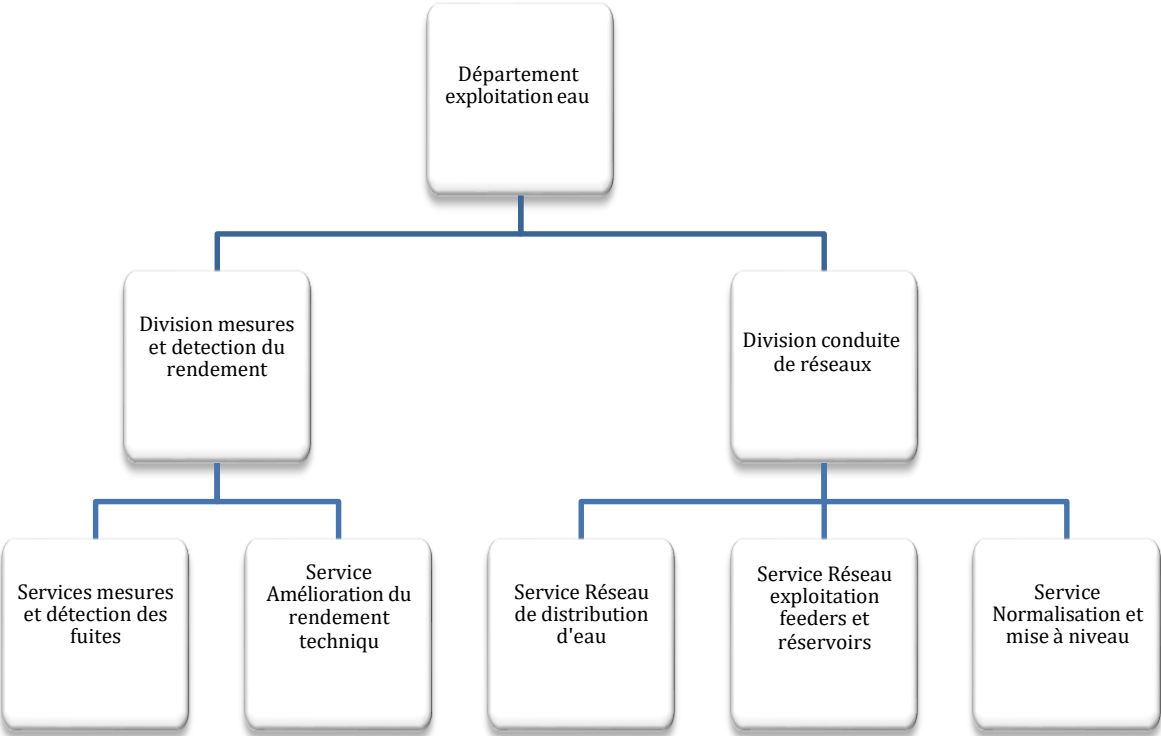


Figure 2: Organigramme du Département exploitation eau

II. PRESENTATION DE LA VILLE DE MARRAKECH DANS SON CONTEXTE REGIONAL

1. Situation géographique

Marrakech s'étend sur une superficie de 2625 Km². Il est limité au Nord par la Province d'El Kelaa des sgharna et la province de R'hamna, au Sud par la Province d'Al Haouz, à l'Est par la Province de R'hamna et à l'Ouest par la Province de Chichaoua et la province de Youssoufia. L'agglomération de Marrakech se situe dans la plaine de Haouz central entouré par le massif du Haut Atlas au sud et celui des Jbilet au Nord et qui s'étend sur une superficie de 230km². Le site de Marrakech est une plaine uniforme qui s'incline doucement selon une pente d'environ 8% orienté du Sud-Est au Nord-Ouest depuis 500 NGM (zone touristique de la route d'Ourika) jusqu'à la cote 380 NGM (oued Tensift). Les seuls reliefs sont constitués par les collines Guéliz et Koudiat Al Abid. (CID-EMM, 2016)

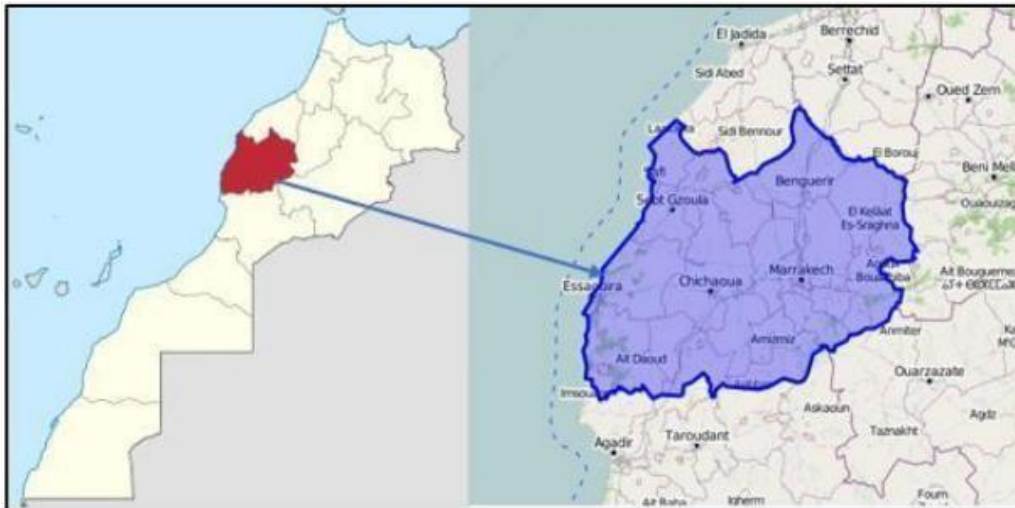


Figure 3 : Localisation de la région de Marrakech-Safi (Abouddrar, 2016)

2. Contexte géologique

La plaine de Haouz s'étale entre les chaînes du Haut Atlas au Sud et les Jbilet au Nord. Elle s'est formée sur un socle paléozoïque essentiellement schisteux et imperméable. Elle est recouverte d'alluvions graveleuses du Quaternaire. Ce dépôt résulte de l'érosion des roches de l'Atlas par réseau hydrographique au régime torrentiel. Ces dépôts insérés dans une matrice souvent argileuse sont extrêmement hétérogènes. Les collines calcaires de Jbel Guéliz et Koudiat Al Abid sont les seuls reliefs de cette plaine issus de l'érosion du socle paléozoïque. (CID-EMM, 2016)

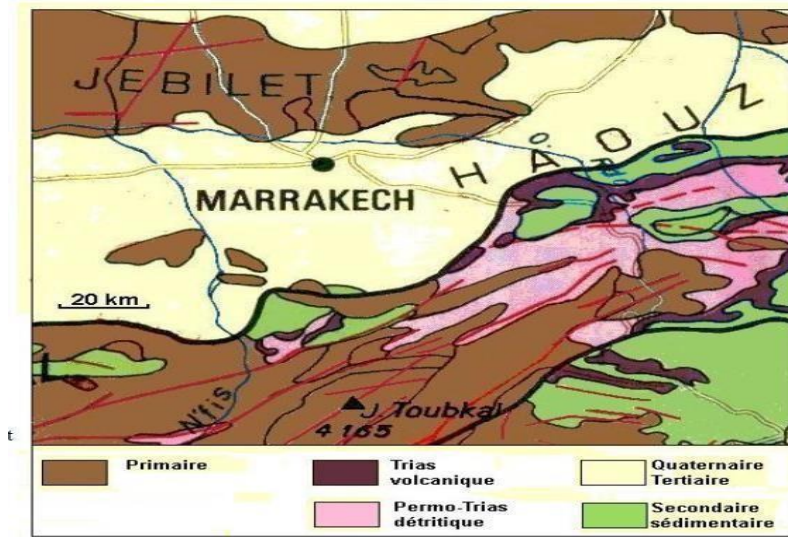


Figure 4: Schéma géologique de Marrakech

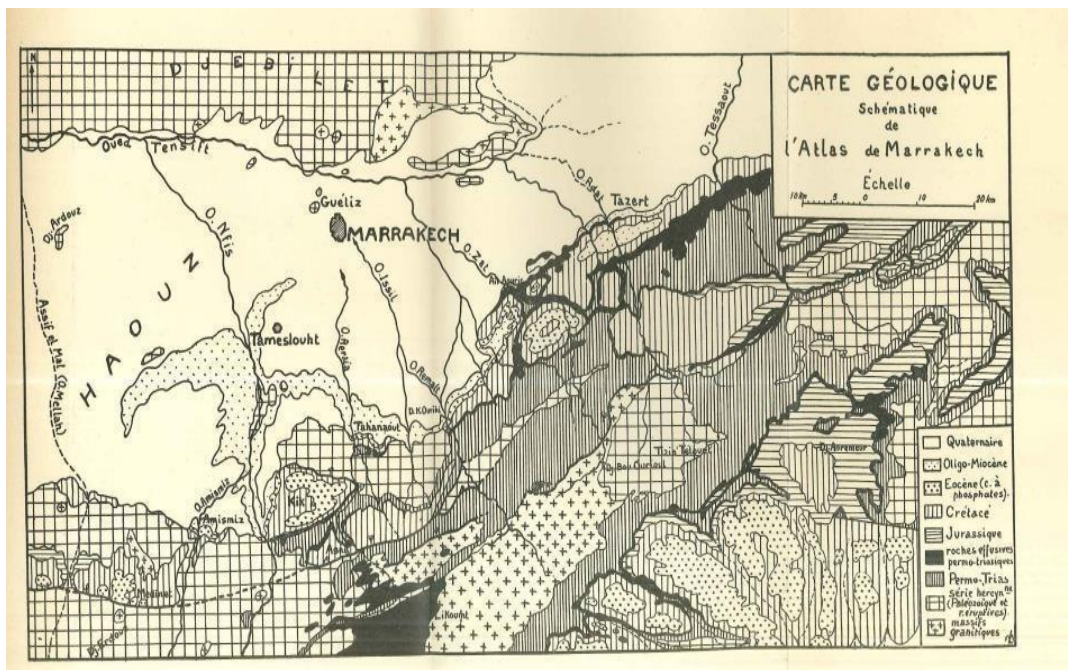


Figure 5: Carte géologique schématique de l'Atlas de Marrakech (Léon Moret, 1958)

3. Contexte Climatique

a) Précipitations

La zone de Marrakech se situe dans l'étage bioclimatique semi-aride caractérisé par des précipitations peu abondantes. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 240 mm. Elles sont concentrées pendant la période humide du mois d'octobre au mois d'Avril. L'analyse pluviométrique du poste de la ville de Marrakech permet de constater que depuis 1930, la région est caractérisée par 5 périodes homogènes, soit sèches, soit humides. (CID- EMM, 2016)

b) Température

Les contrastes de température sont remarquables en raison des variations diurnes, saisonnières et annuelles. A Marrakech, la moyenne annuelle calculée est de 19,90°C avec des extrêmes pouvant varier entre -3⁰C en février 1935 et 48.1⁰C en juillet 1929. (CID-EMM, 2016) Un nouveau record de température maximale moyenne de 22.85 ⁰C a été enregistré en 2020. (Ministère de l'Equipement, du Transport, de la Logistique et de l'Eau, 2021)

c) Hygrométrie

Soulignant la sécheresse du climat, l'humidité relative passe en moyenne de 73% en janvier à 33% en juillet. Durant cette période, elle peut s'annuler lorsque souffle les vents descendants Chergui et Sirocco. (CID-EMM, 2016)

d) Evaporation

Au cours de la période 2006-2015, l'évaporation moyenne minimale enregistrée dans la station de MARRAKECH est de 63 mm en janvier 2009, tandis que la moyenne maximale qui atteint 449 mm est observée pendant le mois d'Aout 2013. (CID-EMM, 2016)

4. Hydrologie

Marrakech est parcouru par un réseau hydrographique organisé autour de l'Oued Tensift et comprend les cours d'eau suivants :

- ✓ L'oued Tensift au Nord
- ✓ L'oued Taroumit qui se jette dans l'oued Tensift au Nord
- ✓ L'oued Issil qui alimente l'oued Tensift au Nord
- ✓ Le Chaaba Al Bali qui traverse Menara Guéliz pour se jeter au nord dans l'oued Tensift

L'oued Tensift est un cours d'eau orienté Est-Ouest prenant sa source à Ras-el-ain dans la nappe phréatique et qui se jette dans l'océan au sud de Safi. Il est alimenté toute l'année par la nappe et son apport est estimé à 80 millions de m³ par an. Il reçoit en hiver l'apport de ses affluents de sa rive gauche prenant leur source dans le versant nord du Haut Atlas dont les principaux oueds sont R'dat, Zat, Ourika, Rheraya, N'fis, Assif el mal, Chichaoua. Ces oueds génèrent dans leur ensemble un apport moyen annuel de 600 millions de m³, soit 80% des ressources en eau de surface du bassin de Tensift. Les affluents de la rive droite donnent lieu à des écoulements intermittents de faible importance. L'apport moyen annuel de l'oued ElHaouz, principal affluent est évalué à 1,4 millions de m³ par an et sans influence sur le bilan de l'oued Tensift. (CID-EMM, 2016)

5. Hydrogéologie

Les caractéristiques géologiques et structurales de la région sont à l'origine de l'inégale répartition des nappes phréatiques. On distingue les nappes de Haouz-Mejjate, de Bousbaa, de Meskala, la nappe d'Essaouira et la nappe de Bahira occidentale. (Ministère de l'Équipement, du Transport, de la Logistique et de l'Eau, 2021)

6. Cadre administrative

La région de Marrakech-Safi a une superficie de 41404 km² (Monographie de la Marrakech-Safi, 2021) correspondant à 6% de la superficie nationale et compte 4520,569 habitants (RGPH2 2014), soit une densité de 115 hab/km². Elle est limitée au Nord par la région du Grand Casablanca-Settat, à l'Est par la région de Beni Mellal-Khénifra, au Sud-Est par la région de Drâa-Tafilalet, au Sud par la région de Souss Massa et à l'Ouest par l'Océan Atlantique. La région est constituée de 8 provinces et une préfecture : Chichaoua, Al Haouz, ElKelâa des Sraghna, Essaouira, Rehamna, Safi, Youssoufia et la préfecture de Marrakech. Le nombre de communes s'élève à 215, 18 urbaines et 197 rurales soit à peu près 14 % de l'ensemble des communes du territoire. Le chef-lieu de la région est la préfecture de Marrakech.

L'aire d'étude concerne l'ensemble de l'agglomération de Marrakech dont le réseau d'eau potable et d'assainissement est géré par la RADEEMA qui est composé du territoire des arrondissements à savoir Menara, Guéliz, Médina, Sidi Youssef Ben Ali et Nakhil et de communes rurales à savoir : Tassoultant, Saada, Widane et Ouahat Sidi Brahim. (CID-EMM, 2016)



Figure 6 : Répartition des régions marocaines (La monographie Générale de la région de Marrakech-Safi)

7. Démographie

La population de Marrakech s'élève à 1 330 468 (RGPH 2014). La population urbaine est évaluée à 980548 alors que les zones rurales compte 349920 habitants.

	Population : Urbain/Rural
Marrakech	1 330 468
Chichaoua	369 955
Al Haouz	573 128
ELKelaâ des Sraghna	537 488
Rhamna	315 077
Essaouira	450 527
Safi	691 983
Youssoufia	251 943
Marrakech-Safi	4 520 569

Figure 7 : Répartition de la population provinciale dans la région de Marrakech-Safi (Monographie de la région de Marrakech-Safi, 2021)

8. Les activités économiques

a) L'agriculture

Le secteur agricole représente le moteur de l'économie non seulement du pays mais également de la région d'étude car il occupe plus de 50 % de la population active. Le pays occupe une position géographique stratégique proche de l'Europe et l'Amérique, cela incite au développement de ce domaine agricole pour plus d'exportation. Toutefois, la situation climatique de la région représente une contrainte pesante pour l'expansion du secteur agricole. Les précipitations se raréfient d'avantage et le stress hydrique s'accroît. La SAU représente près de 50% de la superficie régionale. (CID-EMM, 2016)

b) Elevage

L'élevage constitue l'une des principales sources des revenus de la population rurale de la région avec un effectif du cheptel s'élevant à 506400 en 2022 et représentant 18% de l'effectif national. (CID-EMM, 2016)

c) Industrie

Les emplois dans l'industrie constituent 2.8% de l'emploi à l'échelle nationale. 28.5% de cette production est destinée à l'exportation et les exportations industrielles originaires de Marrakech représentent 2.9% des exportations industrielles réalisées au niveau national. Le nombre d'unités industrielles implantées dans Marrakech en 2005 s'élève à 351 établissements dont 32 % dans l'industrie agroalimentaire (conserverie, huilerie, minoterie, laiterie, embouteillage de boissons), 18% dans l'industrie de textile et du cuir (tannerie) et 12% dans l'industrie parachimique (transformations plastiques, imprimerie, laboratoire photographique). 60% des actifs du secteur secondaire travaillent dans l'industrie agroalimentaire. Ce secteur comprend les conserveries d'olive et d'abricots avec une main d'œuvre saisonnière détenue surtout par des femmes. Les autres secteurs d'importance sont le textile, fabrication de tapis (14% des emplois) et l'industrie chimique (12%) qui consiste en la transformation de matières plastiques pour la fabrication des chaussures. Le reste des activités concerne la confection, l'ameublement, l'industrie mécanique et électrique et l'industrie de matériaux de construction.

d) Tourisme

La ville de Marrakech est une zone d'attraction touristique de première importance. L'agglomération doit son expansion économique au développement du secteur touristique notamment par la création d'emplois dans le secteur secondaire et surtout tertiaire. Ce secteur participe également à la promotion d'autres secteurs tels que l'artisanat, le transport, l'industrie etc. L'infrastructure hôtelière de la région est constituée en 2012 de 1297 établissements hôteliers soit 51% du total national de 68953 lits soit 31% du total national et assure 35% % de l'offre nationale en termes de chambres 32369 chambres. (CID-EMM, 2016)

III. LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

1. Notion du climat

a) Le Climat

Le climat correspond aux conditions météorologiques moyennes (température, précipitations, ensoleillement, humidité de l'air, vitesse du vent, etc.) qui prévalent sur une longue période de temps dans une zone donnée. Pour l'Organisation météorologique mondiale, le climat est également caractérisé par des extrêmes et une variabilité telle qu'elle se traduit par des moyennes. Elle est le résultat de l'interaction de trois réservoirs principaux : l'océan, l'atmosphère et la surface continentale (dont la calotte polaire).

b) Les changements climatiques

Le changement climatique désigne les variations à long terme des températures et des régimes climatiques. Ces changements peuvent être naturels, par exemple à cause des variations du cycle solaire. Mais depuis les années 1800, les activités humaines ont été le principal moteur du changement climatique, principalement en raison de la combustion de combustibles fossiles comme le charbon, le pétrole et le gaz. Cependant, lorsqu'il s'agit d'identifier les causes spécifiques de ces changements, le consensus est moins grand. Certains affirment que les variations naturelles des conditions atmosphériques réchauffent la planète, tandis que d'autres prétendent que l'homme est le principal responsable de cette augmentation. Et, comme c'est le cas dans de nombreuses situations controversées, d'autres pensent qu'un mélange des deux est le coupable.

2. Les changements climatiques dans le monde

a) Historique des changements climatiques

Depuis sa naissance, le climat de notre planète a subi des modifications répétitives comprenant des ères glaciaires comme celle que nous vivons aujourd'hui et des ères non glaciaires. La première ère glaciaire date de 2,5 milliards d'années et la plus récente est celle que nous vivons aujourd'hui. Depuis le Quaternaire, il y a environ 2,6 millions d'années, le climat de la Terre est particulièrement froid ce qui nous amène à affirmer que nous vivons une ère glaciaire. Toutefois, une ère glaciaire comprend des périodes plus froides appelées période glaciaire et des périodes plus chaudes nommées périodes interglaciaires.

A titre d'exemple, la Terre a connu depuis 600000 ans 4 périodes glaciaires entrecoupées par des périodes interglaciaires. L'écart de température entre une période glaciaire et interglaciaire pouvait atteindre une moyenne de 5°C. Ces variations climatiques du passé sont relativement liées à des phénomènes naturels. Par exemple, l'alternance des périodes glaciaires et interglaciaires du Quaternaire est due à des facteurs astronomiques (excentricité de l'orbite terrestre, obliquité de l'axe de rotation de la Terre et la précession des équinoxes) comme cela a été proposée par Milutin Milankovic. (Frédéric Courant, 2012)

première ère glaciaire date de 2,5 milliards d'années et la plus récente est celle que nous vivons aujourd'hui. Depuis 600000 ans, la Terre a connu 4 périodes glaciaires entrecoupées par des périodes interglaciaires. L'écart de température entre une période glaciaire et interglaciaire pouvait atteindre une moyenne de 5°C. Ces variations climatiques du passé sont relativement liées à des phénomènes naturels comme le volcanisme, l'activité solaire, les facteurs astronomiques (L'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre, les variations de l'orbite de la Terre, etc.....). (Frédéric Courant, 2012)

b) Les changements climatiques actuels

Le changement climatique dans le monde, se poursuit, mais il est accentué par les activités humaines. Le changement climatique actuel est associé à une augmentation de la température mondiale moyenne, souvent appelée réchauffement climatique. Contrairement au changement climatique passé, le changement climatique actuel est purement anthropique. Depuis la révolution industrielle, l'homme a commencé à exploiter les combustibles fossiles pour ses activités, ce qui a entraîné une augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Ces gaz agissent comme une serre, piégeant la chaleur sur la Terre. En fait, si ces gaz n'existaient pas dans l'atmosphère, la température sur terre serait d'environ -20°C. (Frédéric Courant, 2012)

La température de la Terre n'a pas cessé d'augmenter depuis que l'homme utilise les énergies fossiles comme le montre la figure suivante. La température moyenne de la Terre a augmenté de 1°C depuis que l'homme utilise les combustibles fossiles pour produire de l'énergie.

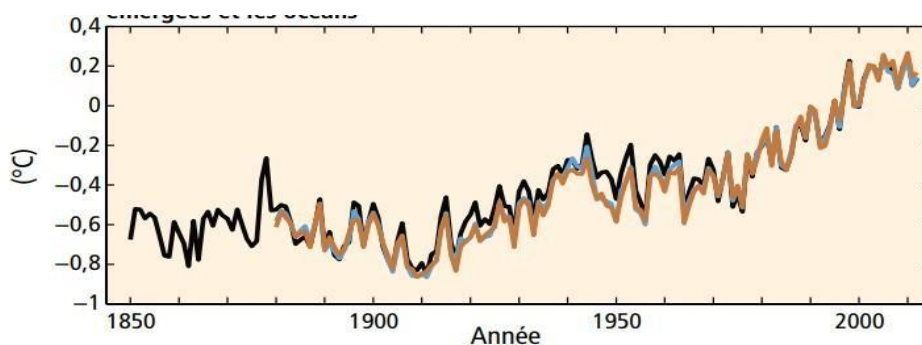


Figure 8: Moyenne mondiale des anomalies de température en surface combinant les terres émergées et les océans. (GIEC, 2014)

Le niveau de mer a également augmenté de quelques centimètres et cela est en étroite relation avec la fonte des glaciers.

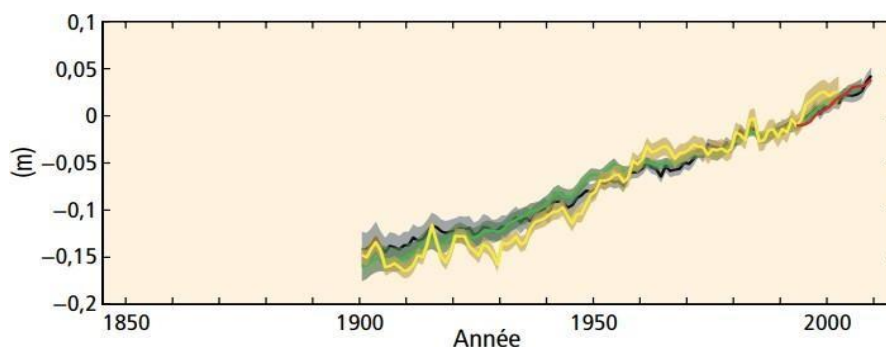


Figure 9: Moyenne mondiale du changement de niveau de mer. (GIEC, 2014)

3. Evolution des changements climatiques futurs dans le monde et notion de modèle climatique

a) Les modèles climatiques

Définition :

Les modèles climatiques s'appuient sur des processus physiques bien documentés pour simuler le transfert d'énergie et de matière dans le système climatique. Les modèles climatiques, également appelés modèles de circulation générale ou MCG, utilisent des équations mathématiques pour caractériser la façon dont l'énergie et la matière interagissent dans différentes parties de l'océan, de l'atmosphère et des terres. Afin d'obtenir une représentation numérique de la planète des différents paramètres climatiques à savoir la température, le vent et précipitation. La construction et l'exécution d'un modèle climatique est un processus complexe qui implique d'identifier et de quantifier les processus du système terrestre, de les représenter par des équations mathématiques, de détacher les changements ultérieurs du forçage climatique et de résoudre les équations de manière répétée à l'aide de puissants superordinateurs.

Ils résultent du couplage de modèle atmosphérique, continental et océanique

Le GIEC est un groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Il évalue l'état des connaissances sur l'évolution du climat, ses causes et ses impacts. Il identifie également les possibilités de limiter l'ampleur du réchauffement et la gravité de ses impacts et de s'adapter aux changements attendus. Les rapports du GIEC fournissent un état des lieux régulier des connaissances les plus avancées. Cette production scientifique est au Cœur des négociations internationales sur le climat et permet d'alerter les décideurs politiques et la société civile.

Le GIEC est organisé en trois groupes de travail :

le groupe 1 étudie les aspects scientifiques du changement climatique

le groupe 2 étudie les conséquences, la vulnérabilité et l'adaptation, pour les systèmes socio-économiques

comme pour les systèmes naturels

le groupe 3 étudie l'atténuation du changement climatique.

b) Les projections des changements climatiques

• Température

Les projections montrent une situation plus critique avec un réchauffement climatique global qui affectera une grande partie des régions de la Terre de manière non uniforme. La zone polaire verra sa température monter de 10⁰C ce qui aura des répercussions sur la banquise. En effet, l'augmentation de la température entraînera la fonte des glaciers qui provoquera l'élévation du niveau de mer. Cela aura des impacts sur les écosystèmes marins et l'homme qui vit dans les environnements côtiers qui sera contraint de se trouver une nouvelle demeure.

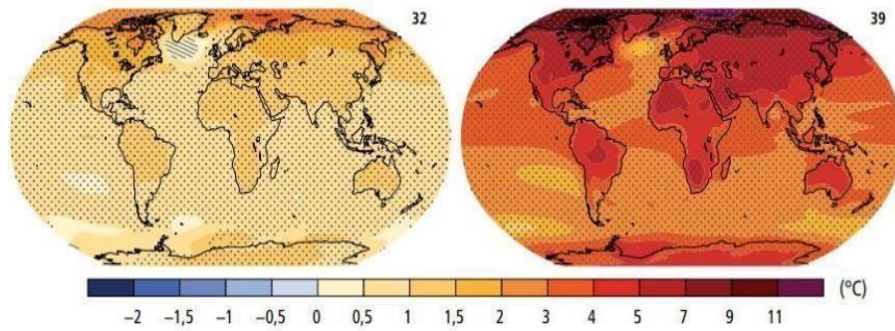


Figure 10: Evolution des températures moyennes en surface entre 1986- 2005 et 2081-2100. (GIEC, 2014)

- **Précipitation**

Au niveau mondial, le changement climatique se traduit par une modification non uniforme des précipitations terrestres. En effet, les zones subtropicales tendent à s'assécher alors qu'une augmentation des précipitations au niveau des faibles et moyennes latitudes est attendue.

Une des constatations faites par les experts du GIEC est une augmentation de la fréquence ou de l'intensité des précipitations intenses en Amérique du Nord et en Europe. Le contraste des précipitations saisonnières entre régions sèches et humides devrait augmenter dans la majeure partie du globe au cours du au XXIème siècle, de même que le contraste entre les saisons sèches et humides.

Les précipitations extrêmes sur les continents des moyennes latitudes (comme l'Europe) et dans les régions tropicales humides deviendront probablement plus intenses et plus fréquentes.

En revanche, dans de nombreuses régions sèches subtropicales et de moyennes latitudes (comme la Méditerranée et l'Afrique du Nord), les précipitations moyennes sont susceptibles de diminuer. (Climat.be, 2022)

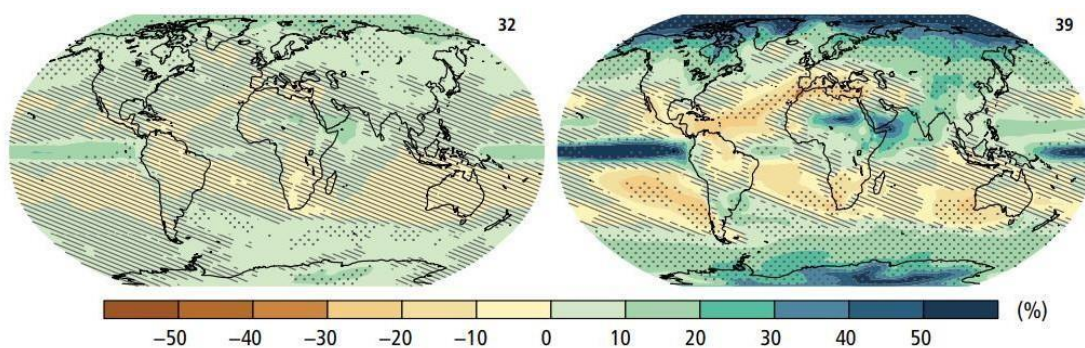


Figure 11: Evolution des précipitations moyennes entre 1986-2005 et 2081-2100 à gauche scenario RCP2.6, à droite RCP8.5. (GIEC, 2014)

- **Le niveau de la mer**

Les changements de température ont une influence sur les variations du niveau des mers à travers deux processus principaux : la dilatation de l'eau de la mer (puisque les océans se réchauffent) et la fonte des glaces terrestres. On prévoit que le réchauffement climatique va causer des augmentations significatives du niveau de la mer au cours du 21ème siècle. On estime actuellement que la hausse du niveau des océans, est liée pour 1/3 à la dilatation des océans, et pour 2/3 à la fonte des glaciers de montagne et des calottes polaires (conservation-nature, 2010)

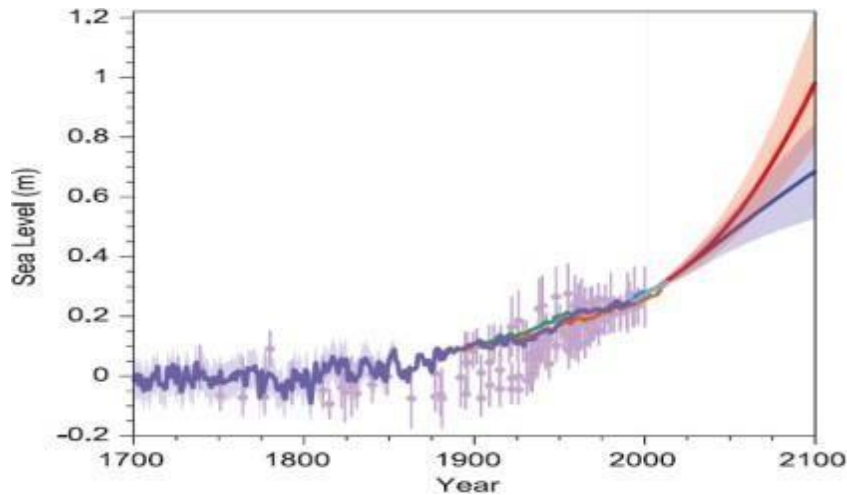


Figure 12: Projections de l'élévation du niveau de mer. (GIEC, 2014)

- **Projections de la concentration des GES dans l'atmosphère**

4 scénarios d'évolution des gaz à effet de serre et aérosols ont été utilisés pour forcer les modèles: Un scénario avec concentrations très limitées (ssp126) qui nécessite une réduction des émissions dès le milieu du siècle et des émissions négatives à partir de 2080; Un scénario avec une augmentation des émissions au rythme actuel (ssp585) qui prévoit des concentrations en CO₂ de 1135 ppm en 2100; Entre ces 2 extrêmes, le scénario ssp245, qui représente un futur intermédiaire où les sociétés s'adaptent partiellement, et le scénario ssp370, un intermédiaire à plus forte concentration mais avec la particularité de prévoir une plus faible réduction des émissions d'aérosols. (David, 2020)

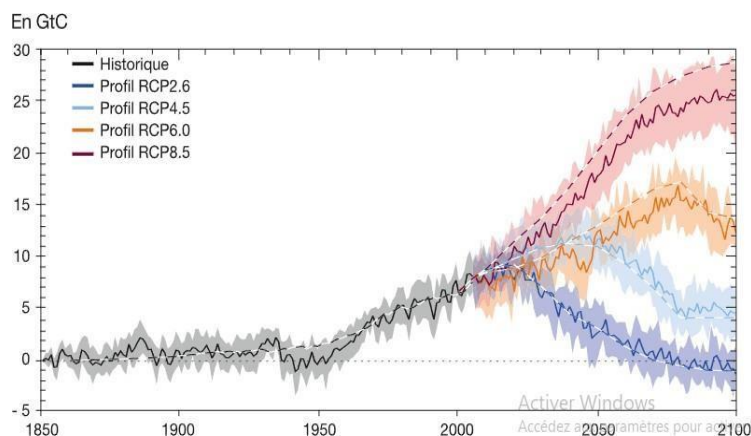


Figure 13: Projections des émissions liées aux énergies fossiles suivant 4 profils d'évolution. (GIEC, 2014)

- **La démographie**

L'éventail des possibilités de croissance démographique couvertes par le SSP est bien plus large que les projections publiées par les Nations unies en 2019, qui tablaient sur 9,5 à 12,5 milliards d'habitants en 2100. En plus de cela, il y a les scénarios SSP1 et SSP5 estimés par l'ONU, avec une population beaucoup plus petite en 2100, à peu près aux niveaux de 2010. Les deux scénarios semblent parfaitement correspondre à la vision politique généralement affichée portée par l'Union européenne et certaines ONG d'un côté et les États-Unis de l'autre.

La fécondité et la croissance démographique futures sont largement déterminées par les niveaux d'éducation, qui influent sur les taux de mortalité et de natalité. Les données empiriques existantes suggèrent que la fécondité féminine diminue avec le niveau d'instruction dans presque toutes les populations.

De même, il a été établi empiriquement que la croissance économique est principalement déterminée par le niveau d'éducation des personnes en âge de travailler. Pour les auteurs des scénarios, l'éducation est censée progresser davantage dans les sociétés mondialisées (scénarios SSP1 et SSP5) que dans les sociétés plus fragmentées (scénarios SSP3 et SSP4). Les scénarios font aussi souvent l'hypothèse d'une convergence générale des revenus par habitant, mais ceci constituerait un autre sujet de réflexion. (Gillet, 2021)

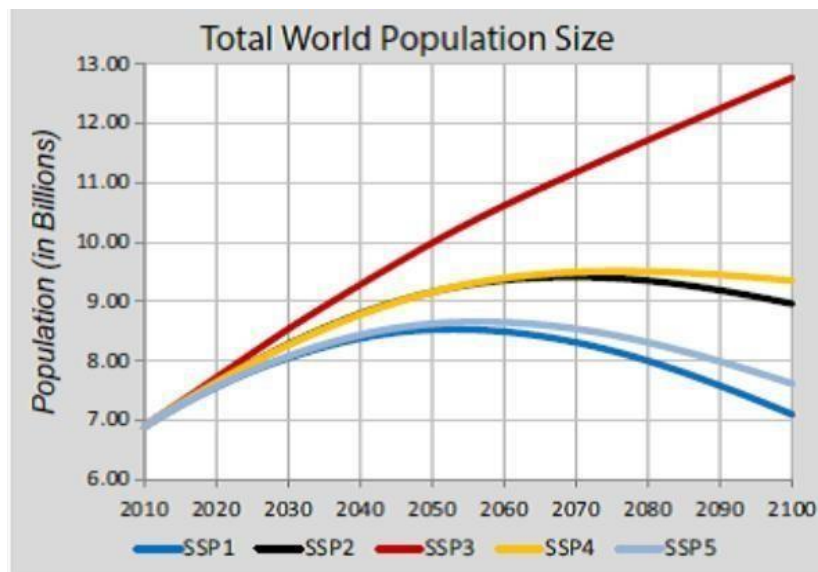


Figure 14: Evolution de la population mondiale selon les 5 scénarios (Rapport GIEC, 2014)

<http://economiedurable.over-blog.com/2021/12/la-demographie-une-absence-dans-les-rapports-du-giec.html>

CHAPITRE 2: L3S CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LA REGION D'ETUDE

I. Les changements climatiques au Maroc

Comme tant d'autres pays du monde, le Maroc a aussi été sinistré par les changements climatiques. Depuis plusieurs décennies, le pays a subi des événements extrêmes notamment la sécheresse, des inondations, des canicules, symptômes des changements climatiques. La température a augmenté dans presque toutes les régions mais de manière inégale. Les précipitations moyennes annuelles ont tendance à la baisse.

1. 1. La température

En 2020 par exemple, la température moyenne annuelle nationale a dépassé de 1.4⁰C la normale calculée sur la période 1981-2010. Les températures maximale et minimale annuelles ont également subi une augmentation spectaculaire. (Ministère de l'Équipement, du Transport, de la Logistique et de l'Eau, 2021)

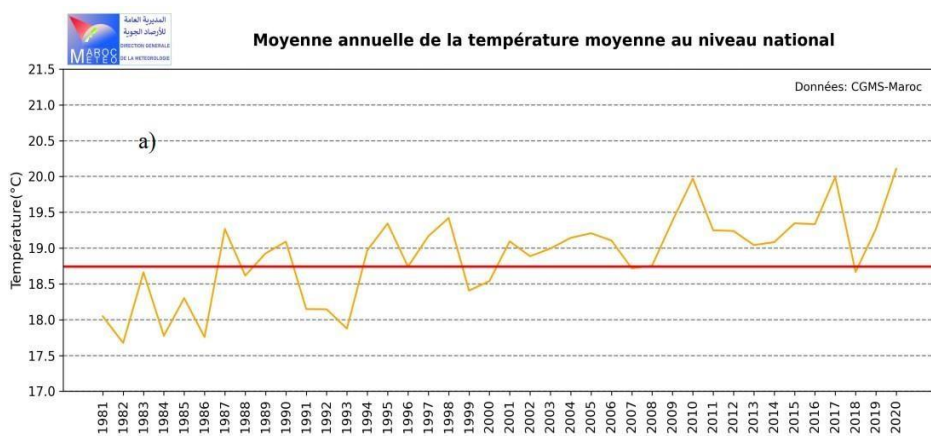


Figure 15: Evolution temporelle de la température moyenne (Tmoy) annuelle nationale (Ministère de l'Équipement et de l'Eau, 2021)

2. Précipitations

Les précipitations annuelles cumulées au Maroc en 2020 sont inférieures à plus de 50% au nord de Marrakech et des régions de Souss-Massa et de l'Anti-Atlas tandis que les régions du sud ont enregistré une pluviosité presque nulle. L'année 2020 est parmi les 4 années les plus sèches depuis 1981. (Ministère de l'Équipement, du Transport, de la Logistique et de l'Eau, 2021)

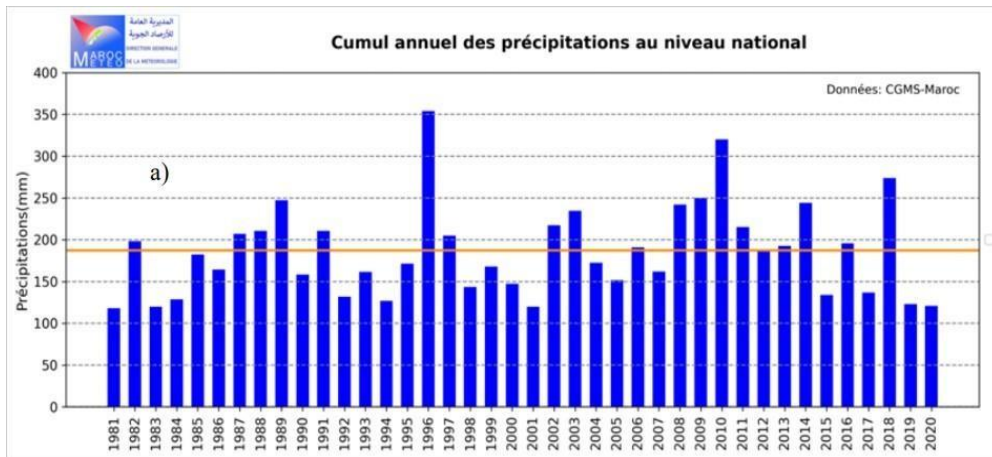


Figure 16: Evolution temporelle de la pluviométrie annuelle nationale (Ministère de l'Équipement et de l'Eau, 2021)

II. Les changements climatiques dans la région de Marrakech-Safi

La région de Marrakech-Safi étant caractérisée par une variabilité spatiale du climat, le changement climatique n'est pas par conséquent senti de manière uniforme sur toute la région

1. La température

Les données des températures moyennes annuelles de la ville de Marrakech ont permis de mettre en évidence une tendance à la hausse des températures maximale, minimale et annuelle de Marrakech.

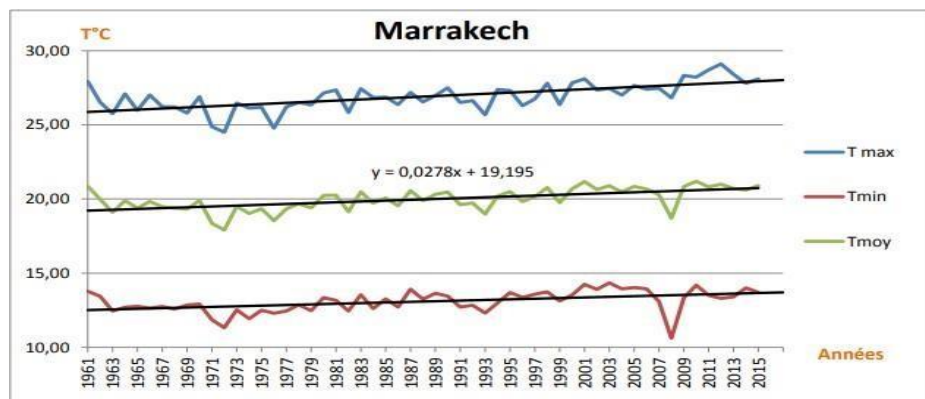


Figure 17: Tendence des températures maximales, minimales et moyennes annuelle de la ville de Marrakech (Imane, Daoudi, 2021)

La figure montre la tendance à la hausse des températures maximales, minimales et moyennes annuelle de la ville de Marrakech depuis les années 60 jusqu'à 2015

Selon cette analyse annuelle, on peut remarquer que les trois courbes montrent pratiquement la même tendance avec une hausse de la température annuelle maximale plus prononcée pendant les dernières années

2. Précipitations

La région de Marrakech-Safi montre une variabilité climatique dans le temps et surtout dans l'espace entre les zones côtières, le Haut atlas et la plaine d'Al Haouz. Les changements climatiques ne se manifestent pas de la même manière au sein de la région.

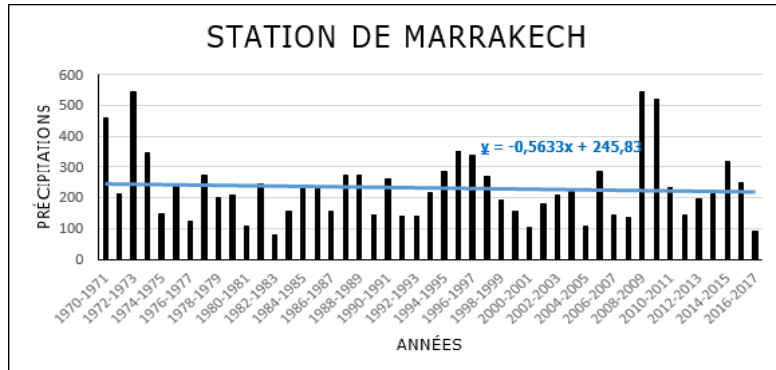


Figure 18: Tendence des précipitations annuelles en mm dans la station de Marrakech entre 1970-2017

Constats :

- Tendence à la baisse des précipitations moyennes annuelles au niveau de cette station sur la période d'analyse
- L'année 2008-2009 détient la pluviosité maximale de 543.9 mm, contrairement à l'année 1982-1983 qui représente l'année la plus sèche avec une pluviosité de 78.7 MM.

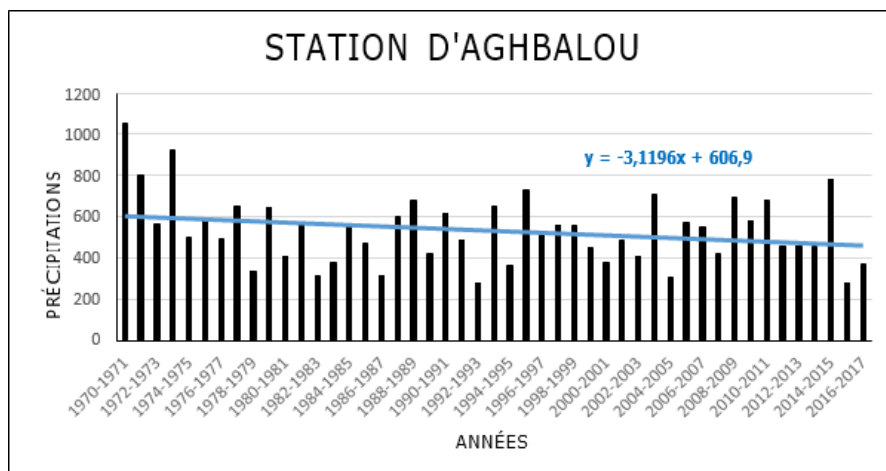


Figure 19: Tendence des précipitations moyennes annuelles dans la station d'Aghbalou entre 1970-2017

Constats :

- Cette station située dans une région montagneuse est caractérisée par une diminution remarquable des précipitations durant la période étudiée (1970-2017) comme le montre l'équation de la courbe de tendance
- 28 années sur 47 ont des pluviosités inférieures à la normale calculée sur la période 1970-2017
- D'une part, 1970-1971 est l'année la plus pluvieuse avec 1053.5 mm ; d'autre part, 1992-1993, est l'année la plus sèche avec une valeur de 276.9 mm

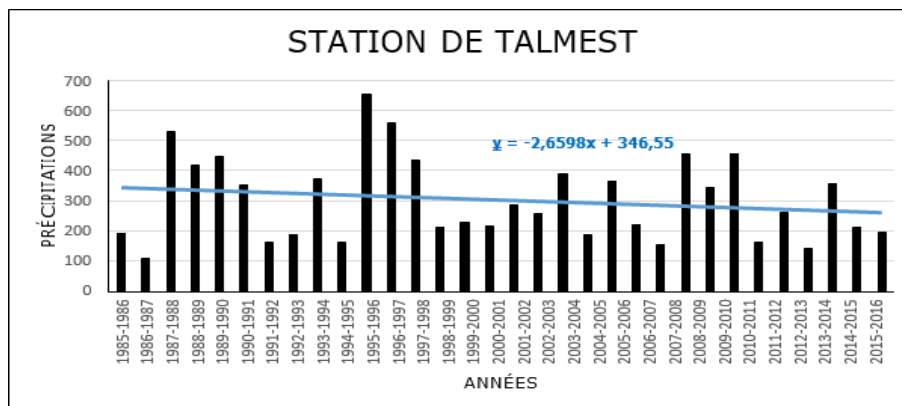


Figure 20: Tendence des précipitations annuelles en mm dans la station de Talmest entre 1985-2017

Constats :

- La tendance des précipitations annuelles de la station Talmest se caractérise par une diminution sur la période de 1985-2017
- 18 années sur 32 ont des pluviosités inférieures à la normale calculée sur cette période
- L'année la plus pluvieuse est 1995-1996 avec une pluviosité de 655.09 mm, tandis que l'année la plus sèche est 1986-1987 avec une pluviosité de 109.85 mm

III. Les facteurs qui influencent les changements climatiques

Le climat de la Terre n'est pas stable, il fluctue constamment. Ces variations se déploient à l'échelle des temps géologiques, donc sur des milliers voire des millions d'années, mais aussi sur des périodes plus courtes qui s'expriment en décennies ou en siècles. Les facteurs à l'origine de ces fluctuations climatiques sont multiples. Nous distinguerons ci-après les facteurs naturels externes et internes et les facteurs anthropiques, donc liés aux activités humaines

1. Les facteurs naturels

a) Les facteurs astronomiques

Les théories astronomiques du climat sont basées sur l'idée que les changements à long terme des paramètres d'orbite de et rotation de la Terre entraînent des changements de la lumière solaire ou insolation reçue par la surface de la Terre. Ces changements peuvent entraîner des changements climatiques dont les traces sont parfois enregistrées ou inscrites dans certains indicateurs paléo climatiques et séquences géologiques.

❖ L'excentricité

Il caractérise la planéité d'une ellipse par rapport à un cercle

L'attraction gravitationnelle du soleil fait que la Terre se déplace dans un mouvement elliptique de premier ordre mais l'attraction gravitationnelle des autres planètes tend à déformer cette ellipse.

Chaque planète, en fonction de sa position et de sa distance, modifie légèrement l'excentricité de la Terre au fil du temps. Puisqu'il existe huit autres planètes très différentes, il n'y a aucune raison pour que ces perturbations se compensent et gardent intacte l'ellipse d'origine.

Une autre conséquence est que les variations d'excentricité modulent les contrastes des saisons qui sont dus au premier ordre à l'existence d'une inclinaison de l'axe de rotation de la planète sur elle-même.

❖ L'obliquité

L'inclinaison, la rotation et l'orbite de la Terre

Les saisons sont dues à l'inclinaison de la Terre et son orbite autour du soleil. En été, nous sommes inclinés vers le Soleil, diminuant l'angle d'incidence. En hiver quand nous sommes inclinés loin du Soleil, le rayonnement solaire a un grand angle d'incidence.

L'inclinaison varie entre 22.3° et 24.5° (présentement 23.5°). Si l'inclinaison de la Terre était maximale, les changements saisonniers seraient plus extrêmes.

La Terre oscille lorsqu'elle tourne sur son axe.

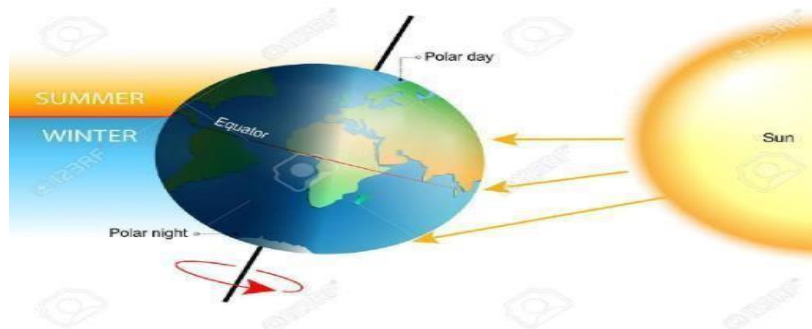


Figure 21: Facteur de changement climatique: L'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre

Les facteurs qui influencent le climat : L'inclinaison, la rotation et l'orbite de la Terre.

La Terre oscille lorsqu'elle tourne sur son axe. Puisque l'axe change selon un cycle d'ans, l'angle d'incidence des rayons solaires sera influencé aussi. L'hémisphère Nord recevra moins de rayonnement solaire l'hiver qu'actuellement et beaucoup plus l'été. L'orbite de la Terre est elliptique. Quand l'orbite est plus elliptique, la Terre s'éloigne du soleil. La quantité de rayonnement solaire qui atteint la surface diminue.

b) La composition de l'atmosphère terrestre

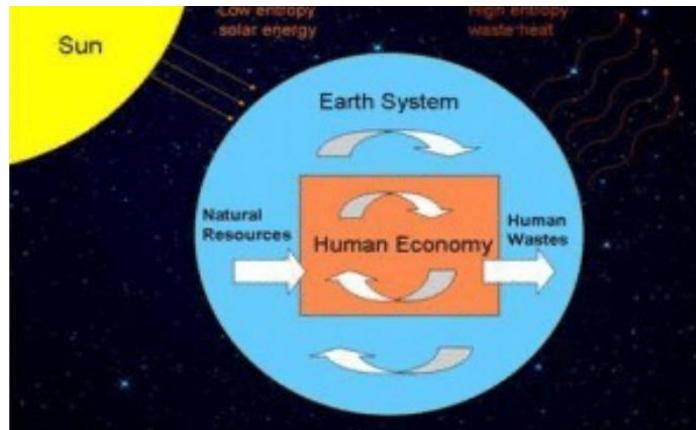


Figure 22: composition de l'atmosphère terrestre

La Terre est un système fermé. Un système est un groupe de différentes parties qui fonctionne ensemble comme un tout. Très peu d'énergie quitte ou entre le système. L'atmosphère terrestre est la frontière externe. Une serre chaude est un système fermé qui absorbe l'énergie thermique. L'effet de serre naturel permet de garder la température de la Terre dans une certaine gamme. Le rayonnement solaire est absorbé et envoyé dans l'atmosphère. Les gaz à effet de serre dans l'atmosphère absorbent l'énergie thermique. Si ces GES n'existaient pas, la température moyenne de la Terre serait de -20°C . Plus il y a de gaz à effet de serre, plus il serait chaud.

c) Le cycle de l'eau

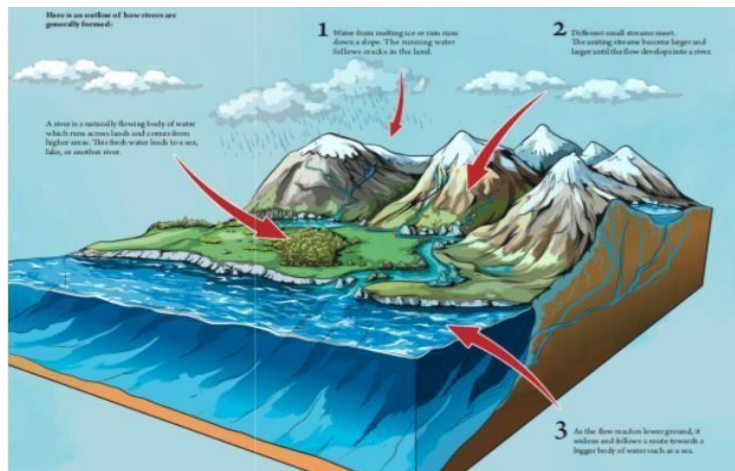


Figure 23: Le cycle de l'eau

70 % des gaz à effet de serre dans l'atmosphère est l'eau. Quand la température augmente, plus de vapeur d'eau s'accumulent dans l'atmosphère. Plus de rayons solaires seront absorbés par ce gaz à effet de serre. Plus de rayons solaires pourraient être réfléchis dans l'espace et n'atteindraient jamais la Terre (The water cycle stores and transferts large amounts of thermal energy)

d) Les courants océaniques

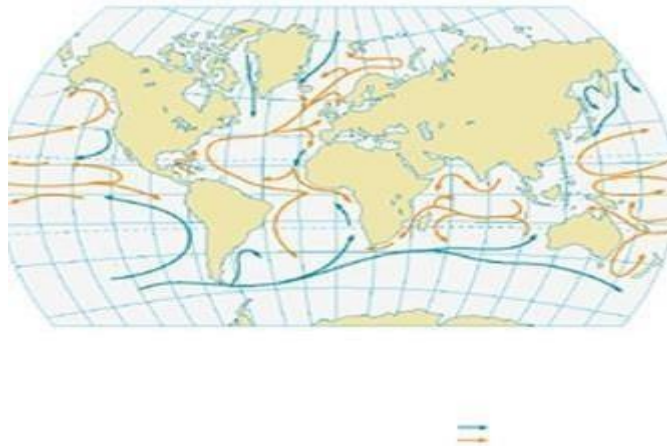


Figure 24: Les courants océaniques

La descente et la remontée des eaux océaniques profondes produisent des courants de convections géants, qui transportent l'eau et l'énergie thermique autour du globe. Les courants océaniques profonds (200 m et plus profonds) coulent à cause des différences de densité. Ils forment des courants de convections massives. L'eau chaude monte des tropiques et l'eau froide des latitudes plus élevées la remplace. Les courants océaniques profonds déplacent l'eau froide et salée sous la surface de l'eau et l'eau chaude et moins salée près de la surface de l'eau. La salinité de l'eau change également la densité. L'eau froide (trouvée aux pôles) est plus dense que l'eau chaude. L'eau salée (trouvée aux pôles) est plus dense que l'eau douce. Les grands changements de la densité de l'eau d'océan peuvent renverser la direction courante.

Les courants de surface (m) sont chauffés par le rayonnement solaire. La thermocline est une région qui sépare les eaux de surface (chaudes) et les eaux profondes (froides). La remontée d'eau profonde se déroule lorsque les eaux profondes montent et se mélangent avec les eaux de surfaces.

e) Le cycle du carbone

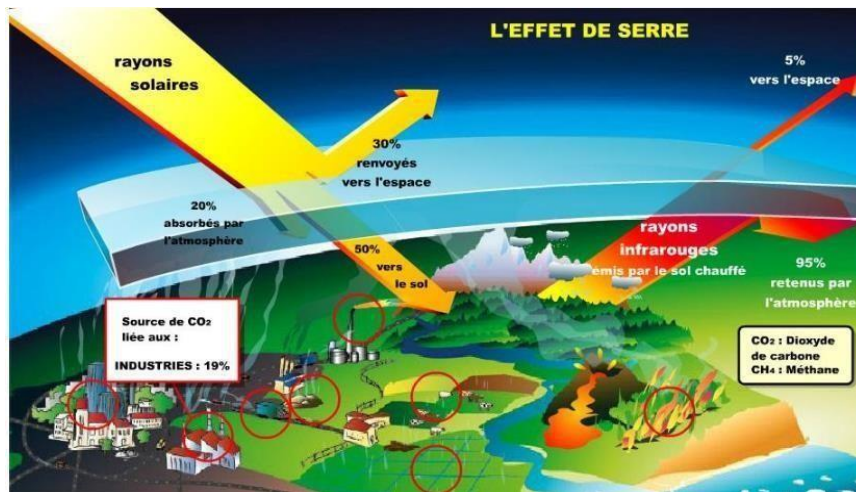


Figure 25: Le cycle de carbone

Le déplacement du carbone, sous ses diverses formes, se fait entre la surface de la Terre, son intérieur et l'atmosphère. Les principaux mécanismes de l'échange de carbone sont la photosynthèse, la respiration et l'oxydation.

Le CO₂ est un gaz à effet de serre IMPORTANT. Sans CO₂ pour emprisonner le rayonnement infrarouge de la surface terrestre, la température moyenne de la Terre serait au-dessous de zéro. Le cycle de carbone maintient l'équilibre du CO₂ dans l'atmosphère.

f) Les mouvements des plaques tectoniques et les événements catastrophiques

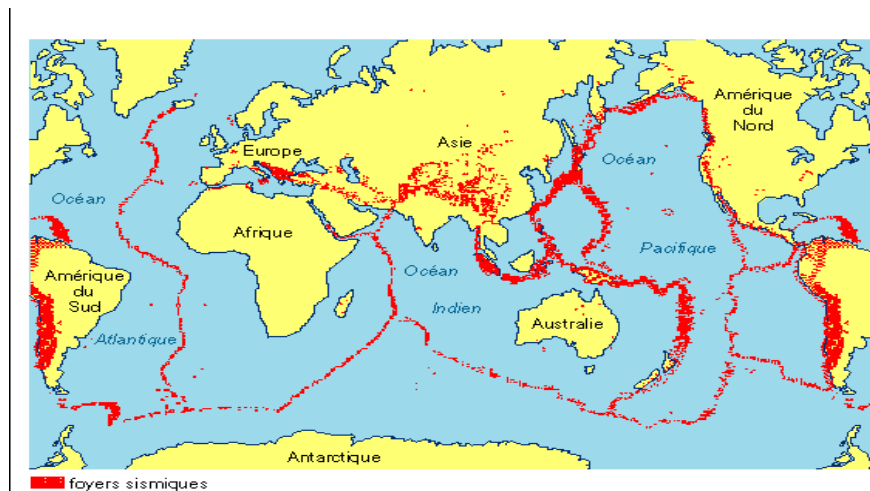


Figure 26: Les mouvements des plaques lithosphériques et les événements naturels associés

Un désastre à grande échelle ajoute de la poussière, des débris, et des gaz surchauffés dans l'atmosphère. A titre d'exemple :

- ✓ Les éruptions volcaniques : la libération de la cendre et la roche fondue bloquent le rayonnement. Le vapeur d'eau et le dioxyde de soufre (forme l'acide sulfurique) reflètent le rayonnement solaire qui retourne vers l'espace.
- ✓ Météorites et comètes : Des collisions d'immense comètes et météorites peuvent créer des débris qui bloquent le rayonnement et perturbent le climat pendant de nombreuses années

II. Les facteurs anthropiques

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 (par exemple le pétrole, le gaz naturel, la houille, le lignite, la tourbe). Des gaz à effet de serre, en particulier du CO₂, sont déjà libérés lors de l'extraction et de la production de combustibles fossiles. Les combustibles fossiles sont principalement utilisés comme carburants pour les transports, 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 mettent 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.

7 Gtc de CO₂ sont émis chaque année. Une partie est éliminée par les végétaux via le processus de photosynthèse, environ 3.5 Gtc de CO₂ sur les 7 Gtc et le reste s'accumule chaque année dans l'atmosphère. La quantité de CO₂ atmosphérique est restée stable pendant des milliers d'années (585 Gtc environ). Elle est actuellement estimée à près de 785 Gtc. Les gaz à effet de serre n'ont pas la même capacité de rétention des rayons infrarouges libérés par la Terre. Le méthane retient 20 fois plus des infrarouges que le CO₂, le protoxyde d'azote (N₂O) en détient 300 fois plus. Les chlorofluorocarbures (CFC) peuvent retenir jusqu'à 50000 fois plus de rayons infrarouges que le CO₂. (Frédéric Courant, 2012).

En conclusion, comme dans tant d'autres pays, les changements climatiques sévissent au Maroc. Ce pays de l'Afrique du Nord est touché de façon particulière par le réchauffement climatique généralisé mais variable par endroits. En effet, la température moyenne nationale a augmenté de plus de 1 degré celsius durant ces dernières décennies et les précipitations moyennes cumulées au niveau national ont baissé. Cependant, les symptômes des changements climatiques varient d'une région à une autre. La région de Marrakech-Safi a connu une hausse de la température moyenne et une baisse remarquable des précipitations qui n'est pas non plus uniforme dans toute la région. A titre d'exemple, Marrakech a connu une augmentation de température dépassant 1 degré et une diminution des précipitations. Tous ces changements climatiques sont d'origine anthropique car l'homme continue d'introduire un surplus des GES dans l'atmosphère. Au contraire, les changements climatiques passés étaient en relations avec des phénomènes naturels (volcanisme, astronomique, les variations de l'activité solaire par la présence ou non des taches solaires)

CHAPITRE 3: LES RESSOURCES EN EAU ET LES BESOINS EN EAU DANS LA REGION D'ETUDE

I. Les ressources hydriques au Maroc

Vu sa situation géographique, le Maroc est caractérisé par un climat méditerranéen au Nord et aride au Sud. Le régime pluviométrique est variable dans l'espace et dans le temps avec des précipitations moyennes annuelles dépassant 800 mm dans la région la plus humide du Nord et inférieures à 50 mm dans le bassin de Sakia El Hamra et l'oued Eddahab. Cela se traduit par une répartition inégale des ressources en eau dans les 8 grands bassins hydrauliques du pays. Les bassins du Nord (Loukkos, Tangérois, et côtiers méditerranéens) et le Sebou qui couvrent près de 7% de la superficie totale du pays détiennent plus de 50% des ressources en eau. (Ministère de l'Équipement et de l'Eau, 2022)

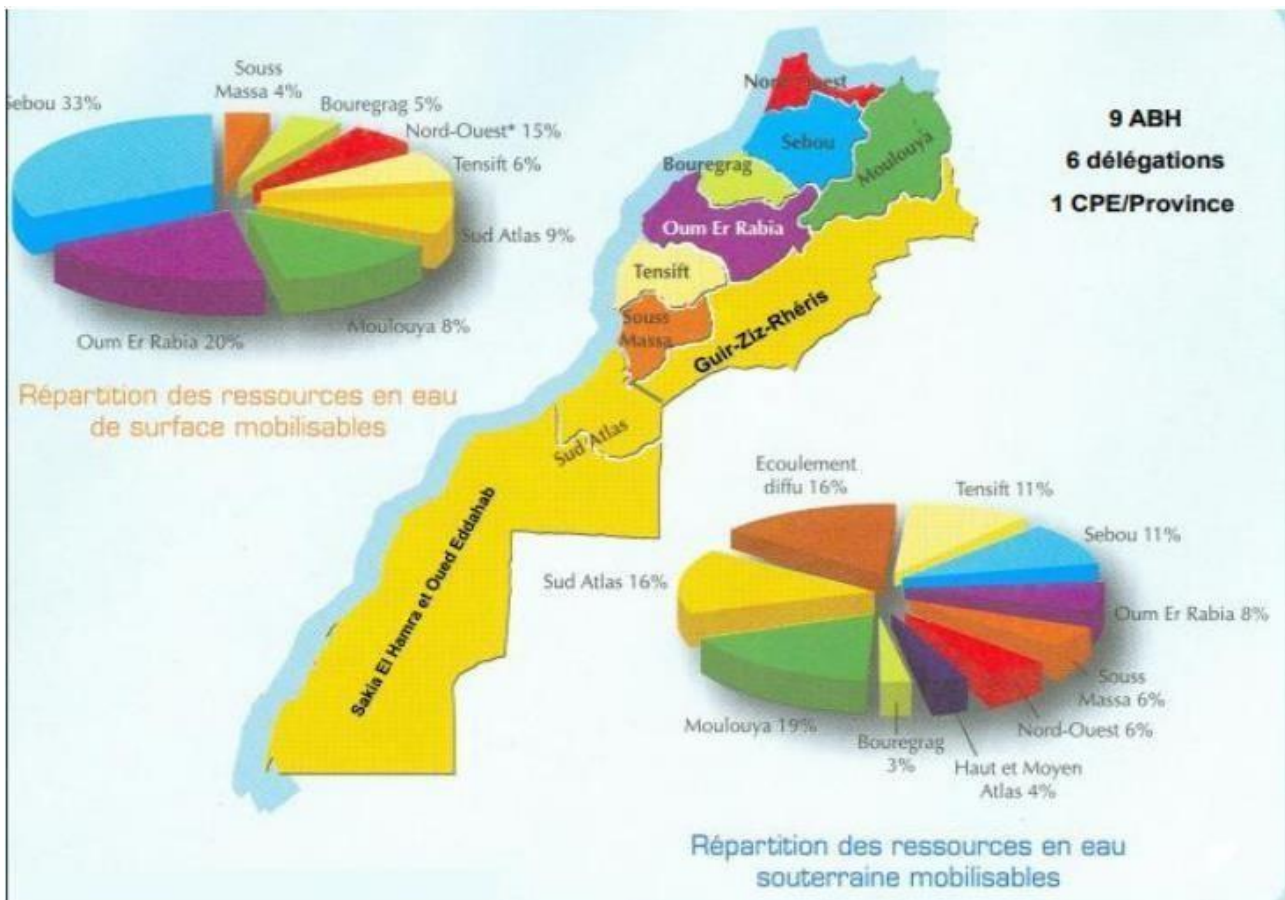


Figure 27: Répartition des ressources en eau du Maroc par bassin (Hachim, 2009)

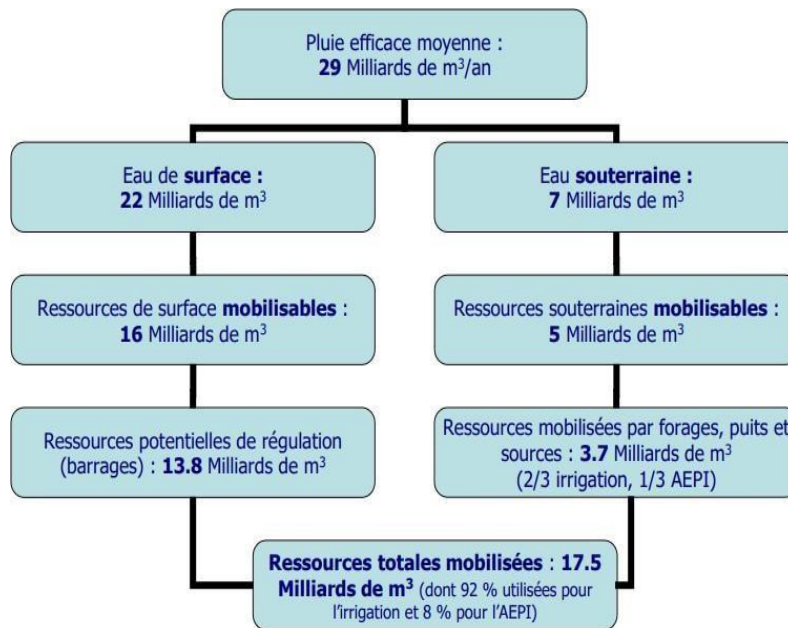


Figure 28: Le potentiel hydrique du Maroc (Ministère de l'équipement et de l'eau)

En termes de productivité, les bassins de Sebou et de Loukkos détiennent en année moyenne près de 9 milliards de m³, le bassin de Tensift détient en moyenne, près de 816 millions de m³. Certains bassins non mentionnés dans ce diagramme ne produisent que quelques dizaines de millions de m³. A titre d'exemple, le bassin du Sahara ne produit que 19 Mm³ en année moyenne

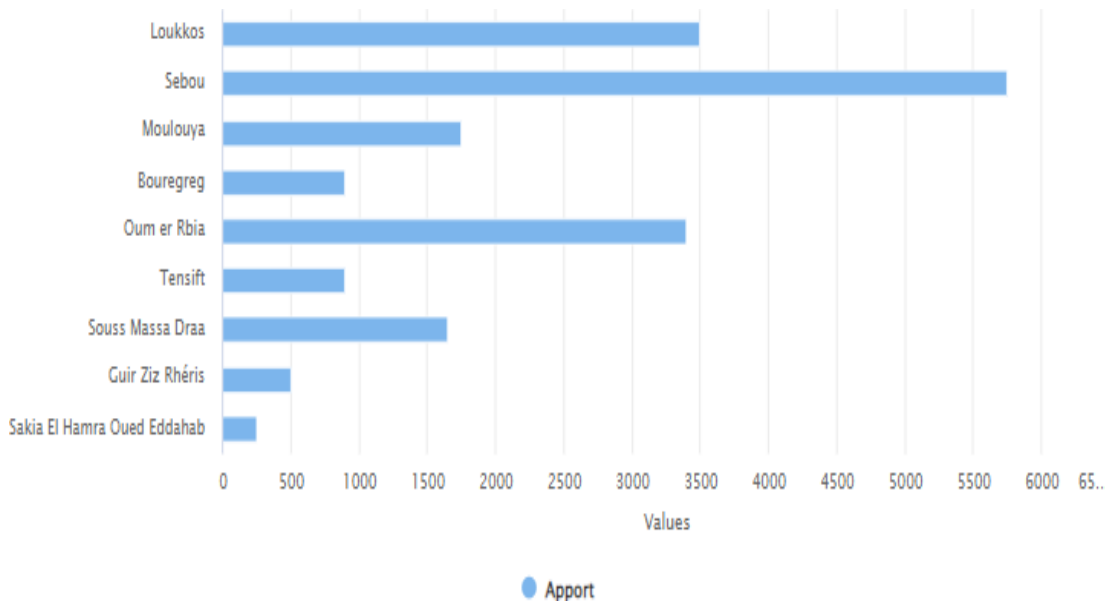


Figure 29: Apports en eau superficielle des bassins hydrauliques du Maroc

II. Les ressources hydriques dans la région

1. Eaux superficielles

Les ressources en eau de surface sont très irrégulières et inégalement réparties. Le Haut Atlas constitue le château d'eau des écoulements de surface, puisque les oueds les plus importants y prennent naissance, alors que la plaine est une zone de transition et d'utilisation de l'eau.

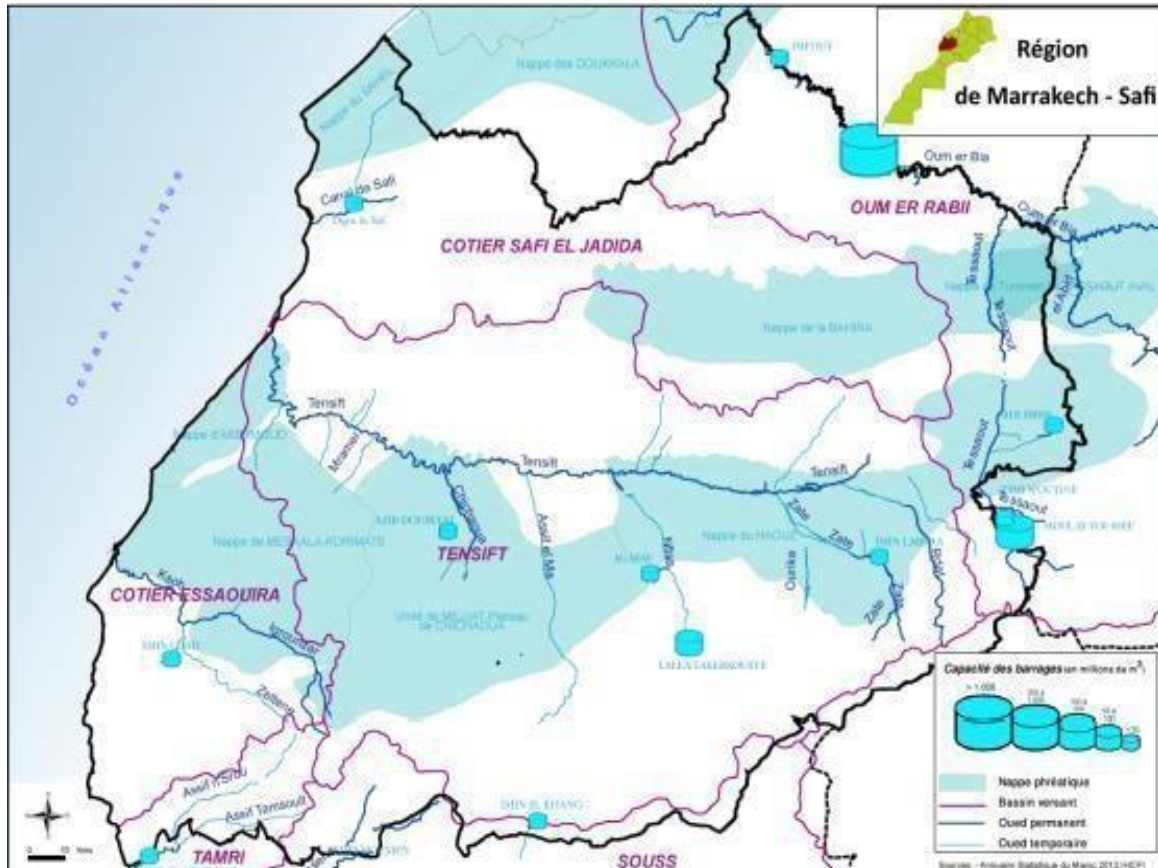


Figure 30 : Situation géographique des principaux oueds des bassins versants de la région (DGCL, 2015)

Les montagnes constituent le château d'eau des écoulements de surface. Les apports moyens sont évalués à près de 824,5 Mm³.

La région comprenant les cours d'eau suivants :

- ✓ Oued Tensift avec ses affluents : N'fis, Ghmat, Minzat, Assif El Mha. Le débit moyen est évalué à 25.64 m³/s
- ✓ Oued Oum Er Rabiaa : un des principaux cours d'eau à débit moyen de 117 m³/s
- ✓ Oued Ksob : principal collecteur des eaux de la province d'Essaouira avec un débit moyen estimé à 44 m³/s
- ✓ Oued Tassaoute et Lakhdar : drainant la partie orientale de la région relevant de la zone d'action de l'ABH d'Oum Er Rbia avec des débits annuels moyens respectifs de 11,7 m³/s et 16,1 m³/s

❖ Les barrages

La région compte 9 grands barrages opérationnels d'une capacité totale de stockage de 380 Mm³. 2 grands autres barrages sont en cours de construction, il s'agit :

- ✓ Du barrage BOULOOUANE localisé à Chichaoua et qui aura une capacité de stockage de 66 Mm³
- ✓ Du barrage AIT ZIAT localisé à Al Haouz avec une capacité de stockage de 171 Mm³

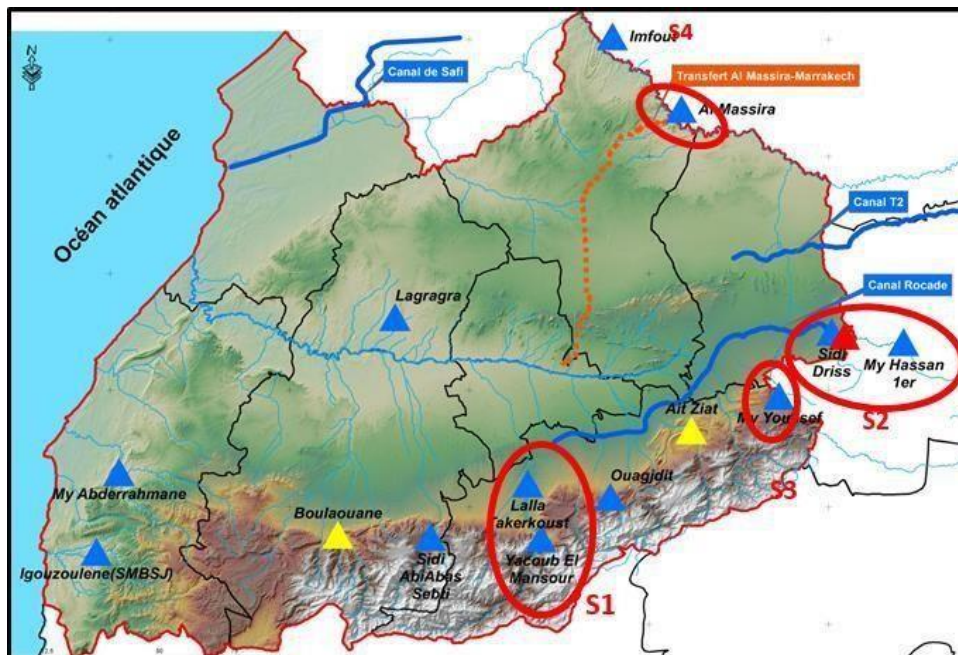


Figure 31: Répartition des grands barrages de la région de Marrakech-Safi (Monographie de la région de Marrakech-Safi, 2021)

Tableau 1: Les caractéristiques des grands barrages de la région de Marrakech-Safi (Monographie de la région de Marrakech-Safi,

BARRAGES	CAPACITE NORMALE (Mm3)	22/01/2021	
		RESERVE (Mm3)	TAUX DE REMPLISSAGE (%)
Yacoub El Mansour	70,000	22,692	32,42
Lalla Takerkoust	53,600	20,260	37,80
Sd Mohamed Ben Slimane El Jazouli	17,000	8,054	47,38
Abou El Abess Sebti	24,834	9,684	38,99
Bge My abdrhmane	65,000	58,981	90,74
Sidi Driss	2,449	1,891	77,22
Moulay Youssef	142,350	48,418	34,01
Draa Lagragra	4,300	-	-
OUGJDITE*	1,000	-	-
TOTAL	380,53	169,98	45,30

2. Les eaux souterraines

Les réservoirs d'eau souterraine dans lesquels s'accumulent ou transitent les eaux pluviales infiltrées sont d'extension inégale. Elles sont alimentées essentiellement par les infiltrations des eaux de pluie sur les affleurements et au niveau des secteurs recouverts directement par le Plio-quaternaire, ainsi que par le drainage des formations supérieures. Les plus importants réservoirs hydriques souterrains sont :

- ✓ La nappe du Haouz qui s'étend d'Est en Ouest entre les deux reliefs de l'Atlas et des Jbilet sur une superficie d'environ 6 000 Km² ;
- ✓ La nappe du Mejjate qui s'étend sur une superficie de 1000 Km² environ entre le Tensift au nord et le Haut Atlas au sud ;
- ✓ 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 5 000 Km² ;
- ✓ La nappe de la plaine de Abda englobant les aquifères du Jurassique (2.000 Km²) et des calcaires du Dridrat (1.000 Km²) ;

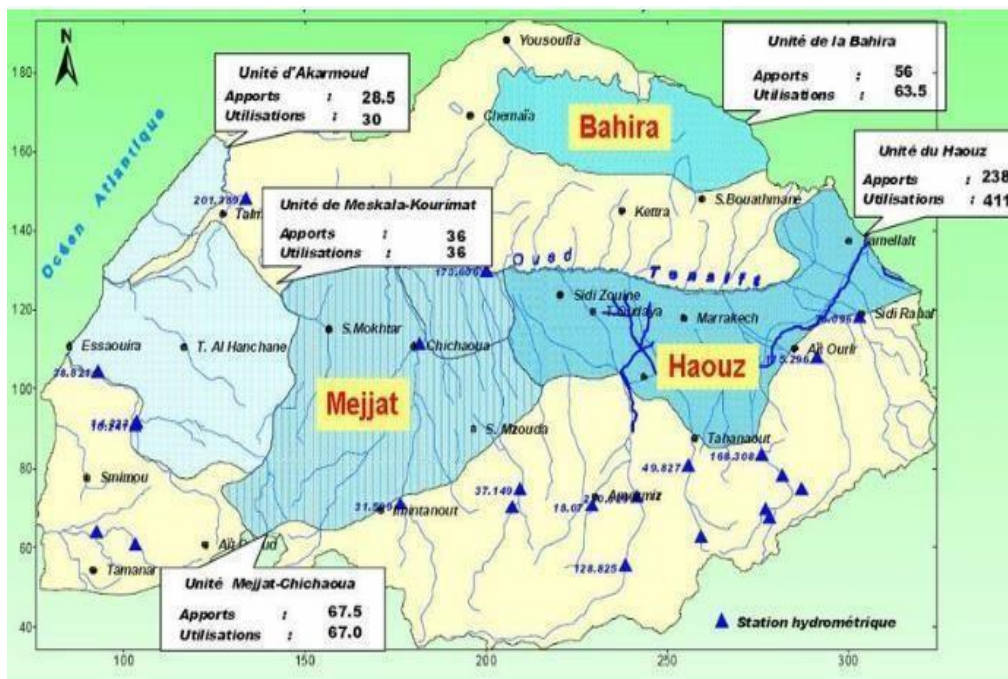


Figure 32: Principales nappes phréatiques du bassin versant du Tensift (Limam, 2005)

seule source qui transite par le canal de la Rocade. L'éloignement des barrages accroît les risques de rupture. Les eaux souterraines sont en chute continue. Les ressources provenant du N'fis sont en baisse et sont surtout destinées à la nouvelle ville de Tamanssourt. La demande en eau est en constante augmentation avec l'accroissement urbain et le développement touristique.

III. L'analyse réglementaire d'exploitation des ressources en eau :

La croissance démographique et l'expansion économique font que les ressources en eau sont de plus en plus âprement disputées lorsqu'il s'agit de répondre aux besoins des ménages, des collectivités, de l'agriculture et de l'industrie. On assiste par ailleurs à une multiplication des lois et des règlements régissant l'utilisation de l'eau des fleuves et des rivières à des fins environnementales et récréatives. Pour fournir l'eau nécessaire aux besoins fondamentaux et concilier l'ensemble des usages et des intérêts souvent conflictuels dans ce domaine. Il est impératif d'instaurer sur la durée un contrôle de toutes les utilisations des ressources en eau et une évaluation de ces mêmes ressources. Cette évaluation est en effet la condition sine qua non d'une mise en valeur durable et d'une gestion rationnelle des ressources en eau partout dans le monde.

Lois de l'eau :

Loi n° 36-15

La présente loi fixe les règles d'une gestion intégrée, décentralisée et participative des ressources en eau pour garantir le droit des citoyennes et des citoyens à l'accès à l'eau et en vue d'une utilisation rationnelle et durable et une meilleure valorisation quantitative et qualitative de l'eau,

La loi sur l'eau repose sur un certain nombre de principes de base :

- Toutes les eaux font partie du domaine public à l'exception des droits acquis et reconnus. Cependant, la nécessité d'une valorisation maximale des ressources en eau imposée par leur rareté a fait que la loi a apporté une limite à ces droits de telle sorte que les propriétaires de droits sur les eaux seulement ou sur des eaux qu'ils n'utilisent qu'en partie seulement pour leurs fonds ne peuvent les céder qu'aux propriétaires de fonds agricoles,
 - La mise au point d'une planification de l'aménagement et de la répartition des ressources en eau basée sur une large concertation entre les usagers et les pouvoirs publics,
 - La protection de la santé de l'homme par la réglementation de l'exploitation, de la distribution et de la vente des eaux à usage alimentaire,
 - La réglementation des activités susceptibles de polluer les ressources en eau, la répartition rationnelle des ressources en eau en période de sécheresse pour atténuer les effets de la pénurie
- ,
- Une plus grande revalorisation agricole grâce à l'amélioration des conditions d'aménagement et d'utilisation des eaux à usage agricole,
 - La prévision de sanctions et la création d'une police des eaux pour réprimer toute exploitation illicite de l'eau ou tout acte susceptible d'altérer sa qualité

IV. Besoins en eau dans la région

1. Les eaux destinées à l'irrigation

Le secteur agricole représente le moteur de l'économie non seulement du pays mais également de la région d'étude car il occupe plus de 50 % de la population active. Les précipitations se raréfient d'avantage et le stress hydrique devient de plus en plus préoccupant. La superficie agricole est de plus 50% (2055977 ha en 2022) de la superficie régionale.

Les surfaces irriguées sont de l'ordre de 301277 ha en 2016 qui est passé à 345032 ha en 2022 (direction régionale du ministère de l'agriculture) correspondant à plus de 16% de la SAU régionale et 24% de la SAU national irriguée. La culture des céréales prédomine avec plus de 78% de la SAU et ces cultures sont gourmandes en eau. Cette superficie ne cesse de s'étendre ce qui accroît les besoins en eau d'irrigation qui s'élève actuellement à plus de 90% des ressources disponibles. Le réchauffement climatique qui affecte intimement cette région risque d'augmenter beaucoup plus les besoins en eau d'irrigation. La région compte au total 13 golfs nécessitant des quantités colossales d'eau d'irrigation. (CID-EMM, 2016)

. Il faut souligner qu'une grande partie de ces ressources hydriques de la région est dédiée à l'agriculture 90% environ.

❖ Elevage

L'élevage constitue l'une des principales sources des revenus de la population rurale de la région avec un effectif du cheptel s'élevant à 5064000 têtes en 2022 et représente près de 18% de l'effectif national

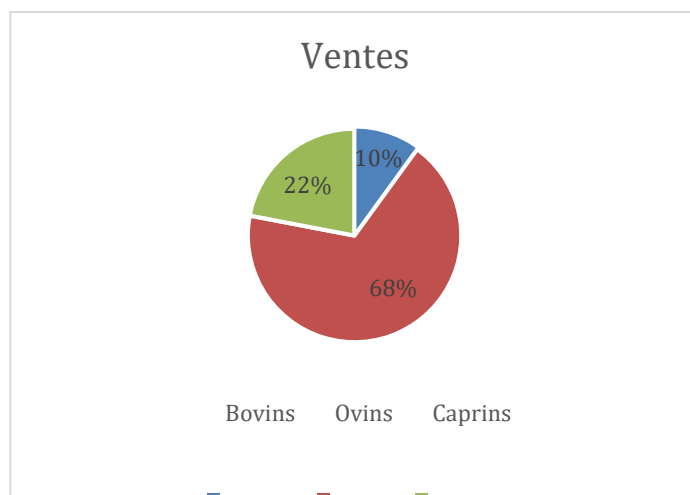


Figure 33: Répartition de l'effectif du cheptel dans la région de Marrakech-Safi

NB : Le bétail a besoin de l'eau comme nous et en consomme plus lorsque les températures deviennent élevées.

2. Besoins en eau potable

La production de l'eau potable est assurée en totalité par l'ONEEP qui se charge aussi de sa distribution dans le milieu rural. La distribution de l'eau potable dans les grandes villes de la région est assurée par les RADEE (RADEEMA, RADEES, RADEEC, etc...)

Seuls 10% des ressources hydriques sont exploitées pour l'AEP de la région de Marrakech- Safi

Pour l'AEP de la ville de Marrakech, les prélèvements sont faits dans le barrage Hassan 1er via le canal Rocate long de 118 km ainsi que le barrage Lalla Takerkoust. Le débit du traitement de l'eau est de 3300 l/s.

Les ressources souterraines proviennent de différents champs captant de forages et puits dispersés de l'Est à l'Ouest de la Marrakech. On peut citer le champ captant Agdal, le champ captant Issil, le champ captant Ourika. Ces différents champs captant comportent une dizaine de puits et forages de profondeur moyenne de 65m avec un débit d'équipement variant entre 15 et 60 l/s. Certains de ces puits sont à l'arrêt. (CID-EMM, 2016)

La consommation d'eau potable dans la ville de Marrakech ne cesse d'augmenter pour diverses raisons :

- La croissance démographique élevée avec un TAAM de 1.24% sur la période de 2004-2014
- L'essor du secteur touristique avec un nouveau record de 3 millions de touristes en 2019
- L'amélioration du niveau de vie : 7,1% du taux de chômage en 2018 et 4.6% du taux de pauvreté en 2014 (Monographie de la région de Marrakech-Safi, 2021)

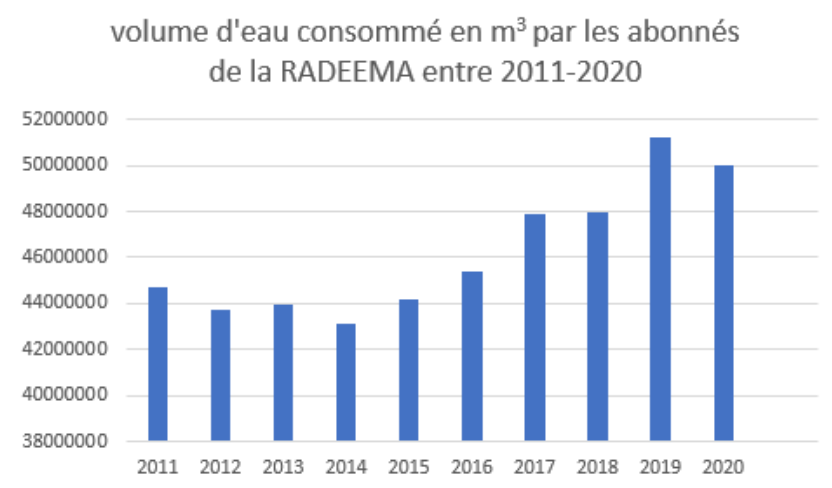


Figure 34: Evolution des volumes annuels d'eau potable consommée par les abonnés de la RADEEMA entre 2011-2020

Tableau 2: Indicateurs d'activité de la RADEEMA

	Unité	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Volume vendu	Mm3	44.2	45.4	47.9	48.0	51.2	50.0
Volume acheté	Mm3	63.2	61.6	64.5	62.7	66.3	66.1
Nombre de branchements	U	181793	185337	190470	194452	199462	203253
Longueur duréseau	Km	2621	2696	2871	2933	3032	3133
Rendement duréseau	%	74.58	76.65	77.13	77.94	78.04	77.45

A partir de ces données, on s'aperçoit de l'augmentation des abonnés de la RADEEMA entraînant ainsi celle de la distribution et la consommation d'eau. La disposition de la RADEEMA à généraliser l'AEP de Marrakech se traduit d'après ce tableau par l'accroissement de la longueur du réseau de distribution. Celle-ci est passée de 2651 km en 2015 à 3133 km en 2020 favorisant ainsi l'amélioration du taux d'accès à l'eau potable.

On note également une élévation du rendement du réseau de distribution constituant ainsi un atout pour l'adaptation aux changements climatiques.

V. La situation hydrique de la région Marrakech-Safi

Les ressources en eau disponible dans la région de Marrakech-Safi sont estimées à environ 1345 Mm3. La population s'élève à 4.5 million d'habitants par conséquent le volume d'eau disponible par habitant et par an est environ 300 m3

Donc la région est dans une situation de rareté d'eau.

D'après les données qu'on a vues, on peut conclure que l'ensemble des apports des ressources souterraines et superficielles de la région n'est pas suffisant avec l'augmentation des besoins en eau dans la région. La situation hydrique devienne de plus en plus critique au niveau du bassin hydraulique de Tensift. Cela est dû en général au changement climatique de la région et plus précisément le réchauffement climatique.

Nous allons essayer de comprendre l'impact de ce dernier sur la quantité et la qualité des ressources hydriques de la région dans le prochain chapitre.

CHAPITRE 4: IMPACT SUR LES RESSOURCES EN EAU ET L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE LA VILLE DE MARRAKECH

Les changements climatiques constituent un phénomène qui ne passe pas inaperçu. Les conséquences des changements climatiques sont multiples et peuvent être directs (Inondations, canicules, feu de forêt, etc...) ou indirects (crise alimentaire, disparition de certaines espèces, crise sanitaire, etc...)



Figure 35: Impacts des changements climatiques

Cette partie est exclusivement consacrée à l'étude de l'impact des changements climatiques sur l'eau sous son aspect quantitatif et qualitatif ainsi que les répercussions sur l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech et ses environs.

I. Impact sur le cycle de l'eau

L'eau de la Terre est conservée et se mobilise sous ses divers états dans les différentes couches externes de la Terre (Atmosphère, lithosphère, Hydrosphère, Biosphère) formant le cycle de l'eau.

Sous l'action des rayons solaires, une pellicule d'eau s'évapore des mers et des océans. Il faut Ajouter à cela la transpiration des végétaux. En s'élevant, la vapeur d'eau rencontre des températures plus basses en haute altitude et se condense en petites gouttelettes et forme des nuages. Lorsque ces gouttelettes deviennent plus lourdes, elles tombent sous forme de pluie ou de neige. Une partie de cette eau ruisselle sur le sol et se jette dans les lacs, rivières et les fleuves et finit par retourner dans la mer. Une autre partie s'accumule dans les glaciers ou s'infiltré dans les nappes phréatiques avant de regagner la mer. L'eau douce que nous utilisons est prélevée dans ces lacs, cours d'eau et nappes phréatiques et donc sa disponibilité est étroitement liée à ce cycle.

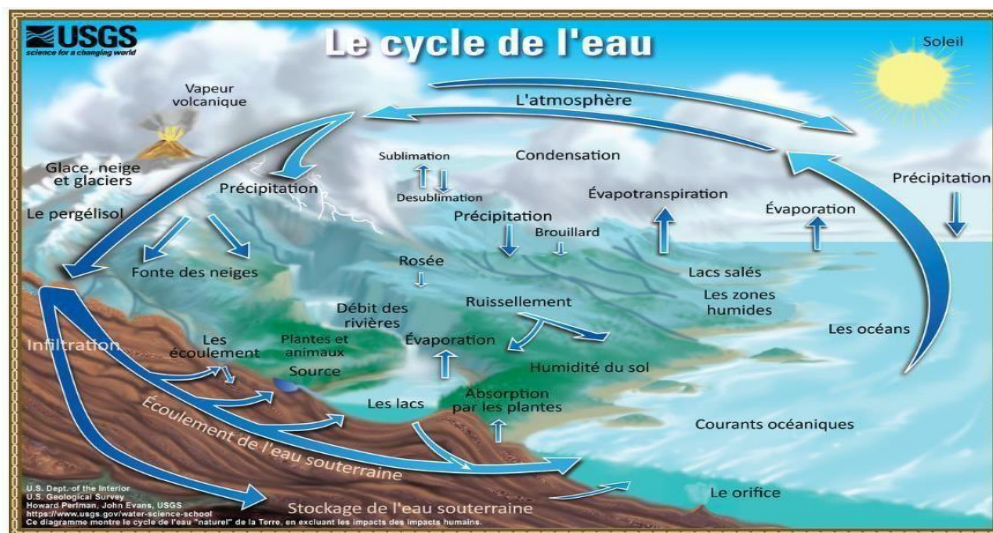


Figure 36: Impact de changement climatique sur le cycle de l'eau

Le cycle de l'eau sensible aux changements climatiques se retrouve perturbé par ces derniers. En effet, le réchauffement climatique augmente le taux d'évaporation et plus de vapeurs d'eau se retrouvent dans l'atmosphère. Cela se répercute sur la pluviosité qui augmente dans les hautes latitudes mais diminuerait significativement dans les zones semi-arides à arides comme notre zone d'étude. Ces régions connaissent des épisodes de sécheresse de plus en plus sévères ce qui fait baisser les ressources hydriques. (Frédéric Courant, 2012)

II. Aperçu sur l'impact les changements climatiques sur les ressources en eau du Maroc

Des années de sécheresse ont réduit le potentiel des eaux de surface de 30 à 90 %. Comme la répartition spatiale, les événements de sécheresse dans les différents bassins du pays ne sont pas uniformes : les régions de l'Orient, de Souss-Massa, du Tensift et du Sud Atlas sont généralement plus touchées par la sécheresse.

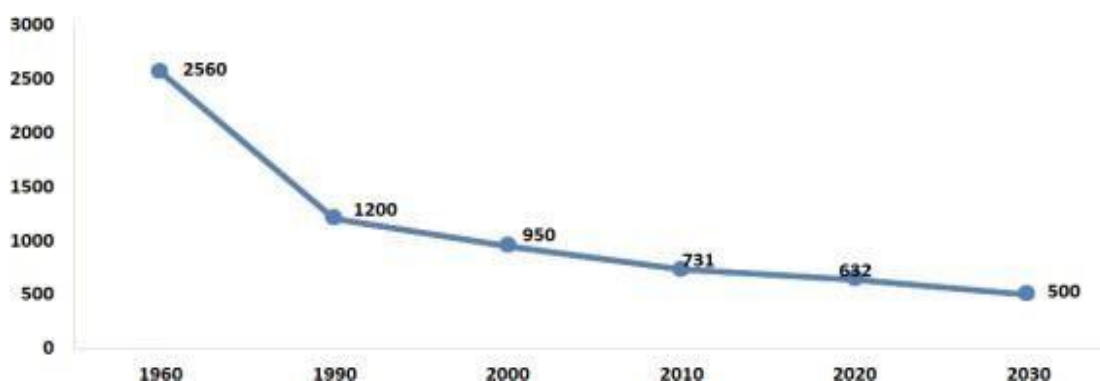


Figure 37: Dotations en ressources en eau au Maroc (en m³/hab/an)

Le contexte hydrique au Maroc est marqué par une tendance à la diminution des ressources en eau du pays avec des périodes de sécheresse de grande fréquence et l'accroissement continu de la demande en eau.

Au cours de ces dernières décennies, la disponibilité par habitant (le potentiel) des ressources en eau renouvelables au Maroc est passée de 2560 m³/habitant/an en 1960 à près de 700 m³/habitant/an en 2010 et de 650 m³/habitant/an en 2019, ce qui représente une réduction de 74,6%. Cette dotation en eau pourrait chuter en dessous du seuil de pénurie situé à 500 m³ à l’horizon 2030 sous la pression démographique conjuguée à l’impact du changement climatique sur les ressources en eau.

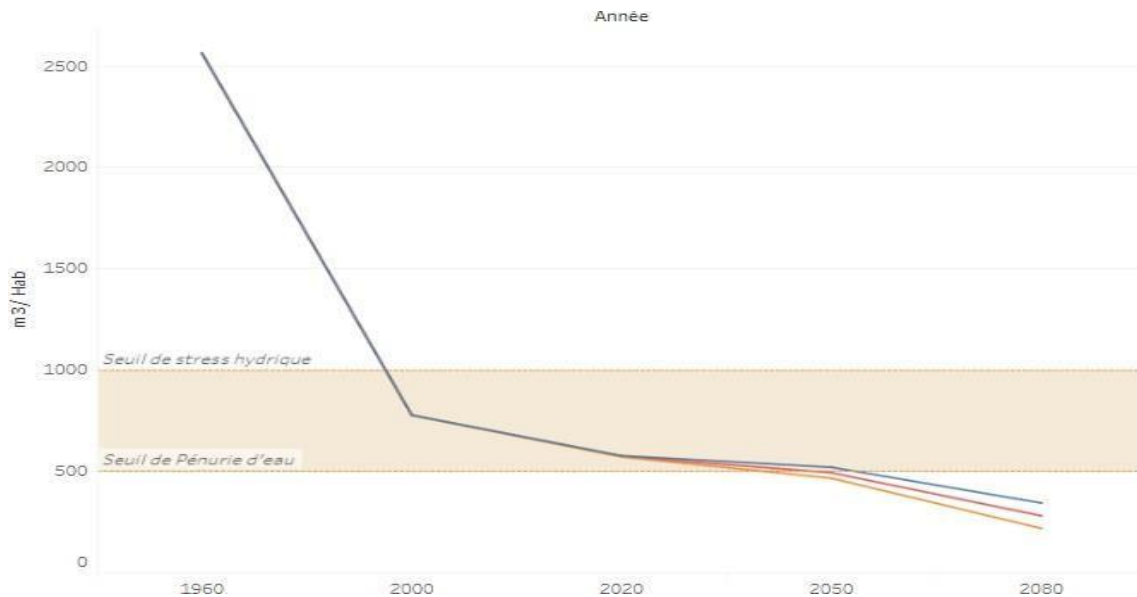


Figure 38: Projections de la situation hydrique du Maroc

Cette illustration prédit 3 scénarios différents mais avec un point commun. En effet, les 3 scénarios présagent une situation de rareté d’eau à l’horizon 2050 qui évolueraient ensuite de manière non uniforme à l’horizon 2080

- _Le bleu représente un scénario optimiste
- Le rouge représente un scénario moyen
- Le jaune représente un scénario pessimiste

Le Maroc sera inévitablement confronté à des raretés d’eau selon les projections des scénarios d’émission des gaz à effet de serre utilisés dans le 5^{ème} rapport du GIEC. Ces projections montrent clairement qu’à l’horizon 2050, le capital d’eau par habitant et par an diminuera significativement entraînant une situation de rareté d’eau pérenne avec un capital d’eau/hab/an inférieur à 500 m³/hab/an entre 2030 et 2050 et cela quelqiesoit le scénario socio-économique considéré. (INSTITUTCARBONE, 2020)

III. Impact des changements climatiques sur les ressources en eau de la région et l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech

1. Impact sur les ressources en eau de surface

Au cours de la période 1970-2002, la contribution annuelle moyenne des différentes vallées fluviales des bassins du Tensift et du Ksob-Igouzoulen est estimée à près de 816 Mm³ (767,8 Mm³, soit plus de 94%, pour le Tensift et 48,2 Mm³ pour le Ksob-Igouzoulen. Ces apports varient entre un minimum d'environ 76 Mm³ et un maximum d'environ 2690 Mm³. Ces cotisations annuelles moyennes ont diminué en moyenne de 6% par rapport aux cotisations annuelles moyennes calculées pour la période 1935-2002. (ABHT, 2022)

En outre, la région bénéficie d'une moyenne de 300 m³ par an d'eau acheminée du bassin de l'Oum Er Rbia par le canal de la Rocade pour l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech et l'irrigation du centre du Haouz

a) Tendence des débits moyens annuels dans les bassins versants de la région de Marrakech-Safi

Le débit est le volume d'eau qui traverse un point donné d'un cours d'eau par unité de temps et il est exprimé en m³/s. Il dépend de plusieurs paramètres notamment la pente du cours d'eau et surtout des précipitations. Les impacts du réchauffement climatique se traduisent en l'occurrence par une diminution des débits moyens annuels.

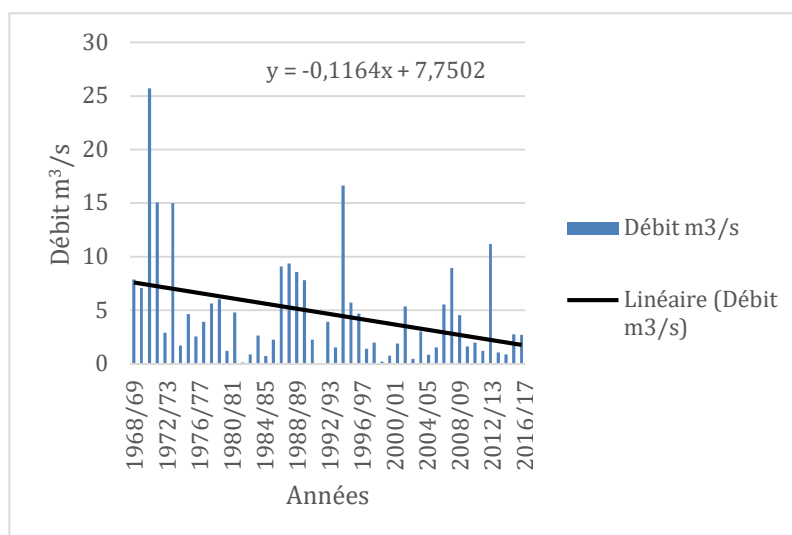


Figure 39: Tendence des débits moyens annuels dans la station Abadla entre 1970-2019

Constats :

- Le débit moyen annuel maximal est de 24.71 m³/s en 1970/71
- Le débit minimal annuel est de 0.09 m³/s en 1992/93
- 32 années sur 50 ont des débits inférieurs à la normale calculée sur la période de 1968-2019
- La tendance à la baisse des débits moyens annuels est également constatée

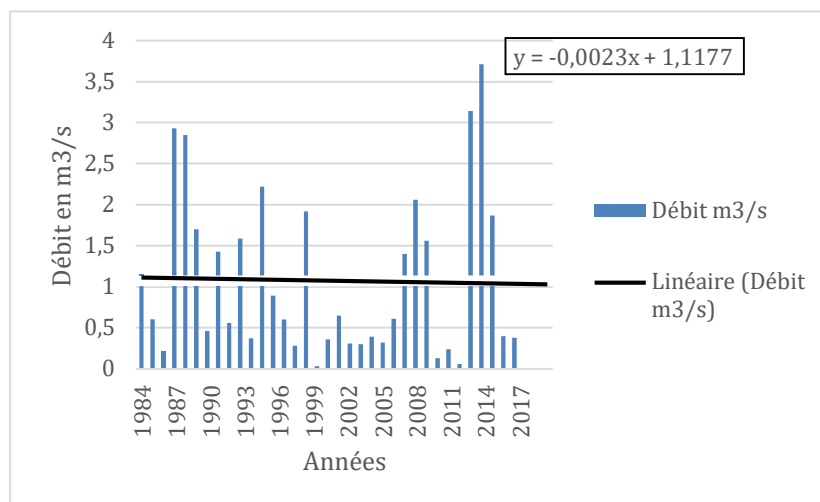


Figure 40: Tendence des débits moyens annuels oued assif al mal entre 1985-2019

Constats :

- Le débit maximal évalué à 3.71 m³/s en 2015
- Le débit minimal estimé à 0.03 m³/s en 2000
- 21 années sur 35 ont des débits moyens annuels inférieurs à la normale calculée sur la période 1984-2019
- La tendance à la baisse des débits moyens annuels

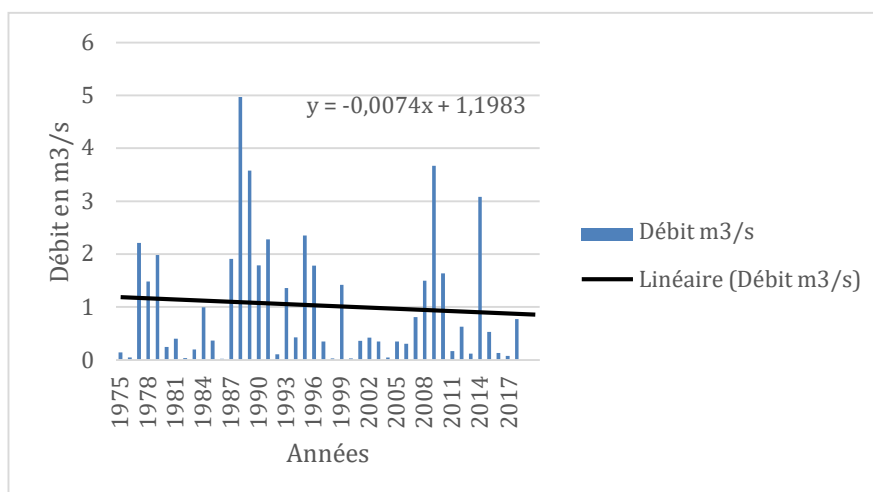


Figure 41: Tendence des débits annuels moyens de l'oued Seksoua entre 1975-2019

Constats :

- Alternance de périodes sèches et humides avec des intensités variables
- Périodes de sécheresse de plus en plus longues matérialisées par des débits annuels moyens faibles
- Périodes humides de plus en plus courtes avec des débits annuels moyens décroissants dans le temps

Tendance des débits moyens annuels dans la station Imine El Hammam oued N'fis entre 1970-2017

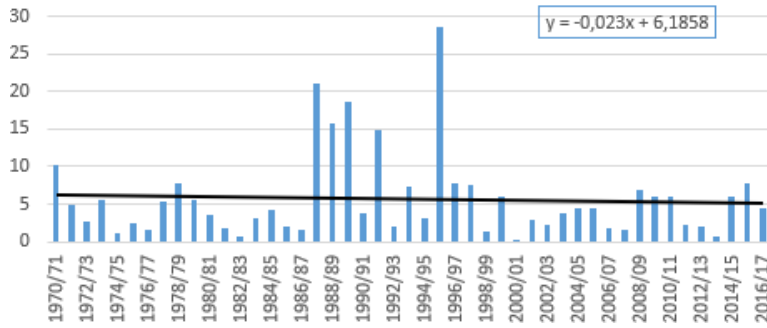


Figure 42: tendance des débits moyens annuels dans la station Imine El Hammam de l'oued N'fis sur la période de 1970-2017

Cet oued représente la principale source de l'alimentation du barrage de Lalla Takerkoust car cet ouvrage hydraulique a été construit dans la vallée de l'oued N'fis.

Constats :

- Le débit maximal enregistré sur cette période est de 28.67 m³/s (1995/96)
- Le débit minimal évalué à 0.1 m³/s est enregistré en 2000/2001
- 31 années sur 47 ont un débit inférieur au débit normal calculé sur la période 1970-2017
- On note également une tendance à la baisse des débits moyens annuels de l'oued N'fis

b) Impact sur l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech

Les prélèvements des eaux destinés à l'AEP sont faits essentiellement dans les barrages Hassan 1er et LALLA Takerkoust. Ces barrages sont construits respectivement sur les oueds Lakhdar et N'Fis d'où l'importance d'évaluer les impacts des CC sur les régimes hydrologiques de ces cours d'eau.

Le réchauffement est désormais une évidence comme nous l'avons démontré dans le chapitre 2 en rassemblant toutes les pièces à conviction (tendance des températures, précipitations). La présente analyse permet d'évaluer l'impact sur les ressources exploitées pour l'AEP de la ville de Marrakech bien que la période d'analyse soit étroite.

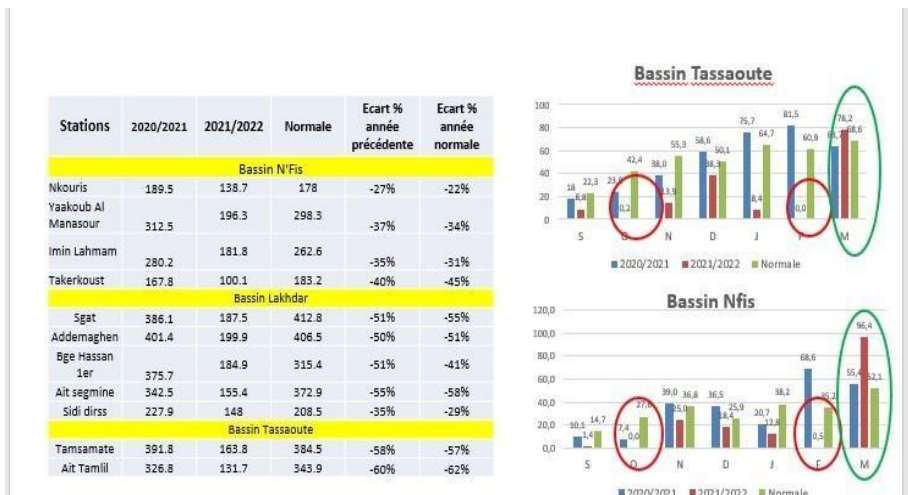


Figure 43: Pluviométrie dans les bassins de Lakhdar, N'fis et Tassaout entre septembre-Mars sur la période 2020-2021 et 2021-2022. (vigilance, 2022)

Constats :

- Le déficit pluviométrique est important par rapport à la période 2019/2020 et l'année normale
- Les deux bassins Lakhdar et Tassaoute restent les plus déficitaires en comparant à l'année normale

- Les mois d'octobre et de février de la période 2021/2022 sont les plus secs dans la plupart des bassins
- Le mois de février, l'un des plus pluvieux, a enregistré une pluviosité nulle

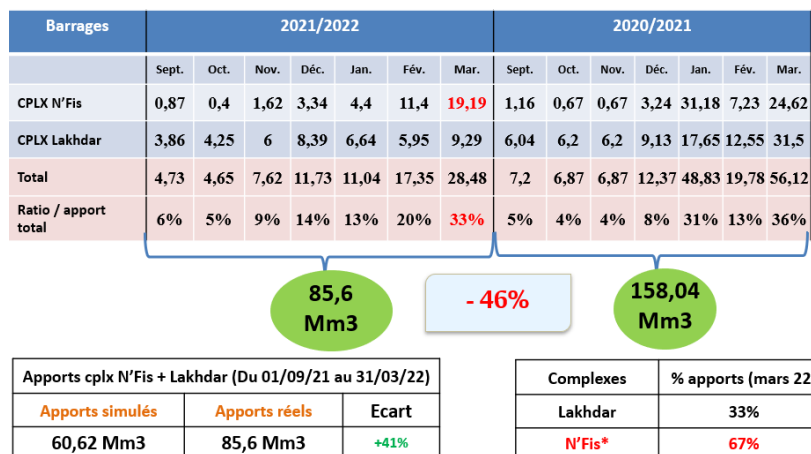


Figure 44: Apports au niveau des bassins entre le 01/09/2021 et le 31/03/2022.

La diminution des précipitations couplée à l'augmentation de l'évaporation occasionnent une chute du débit des oueds des sous-bassins versants, ce qui permet d'expliquer cette variation interannuelle des apports en eau de surface. Les situations similaires seraient plus fréquentes et étalées sur de longues périodes en raison de la sécheresse de plus en plus sévère. La baisse des apports superficiels conditionne l'exploitation des eaux souterraines. En effet, la croissance de la demande en eau conduit à la surexploitation anarchique des eaux souterraines en raréfiant davantage ces réserves. Il en résulte un rabattement irréversible des nappes.

- **Tendance des moyennes du taux de remplissage et des réserves dans les barrages alimentant la ville de Marrakech:**

Le taux de remplissage des barrages permet d'apprécier l'impact du réchauffement climatique sur les ressources disponibles. Les figures précédentes ont servi d'indicateurs des CC par la pluviométrie et les apports en eau de surface. Il est évident que les réserves mobilisables pour l'AEP sont en baisse continue comme le montre les figures ci-après.

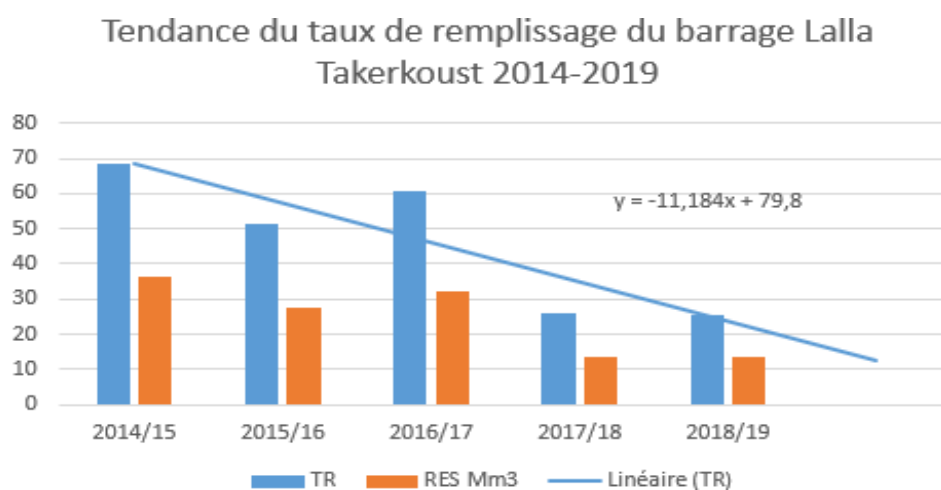


Figure 45: Evolution du taux de remplissage et des réserves dans le barrage Hassan 1er

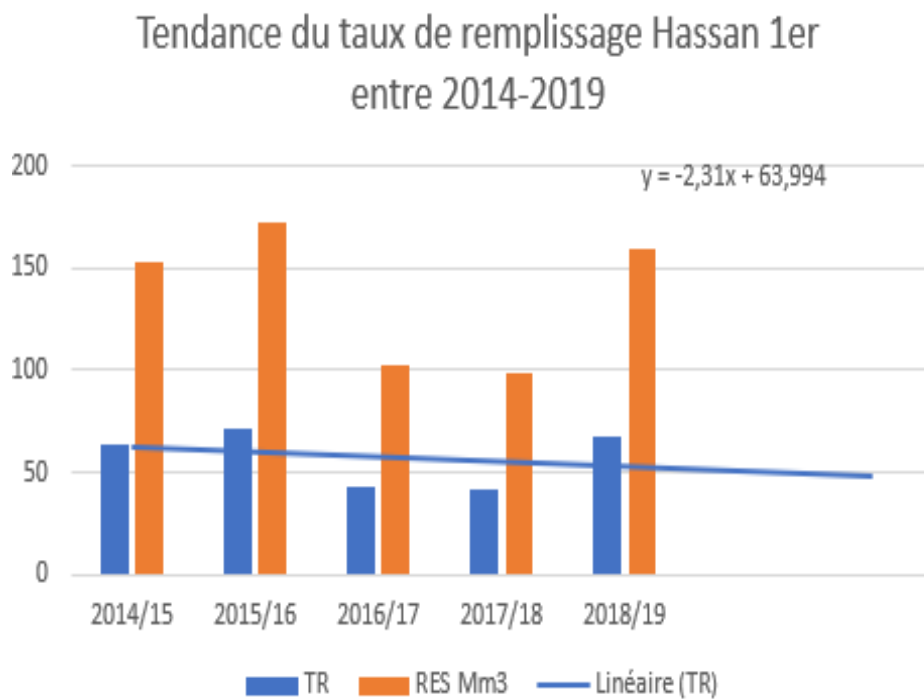


Figure 46: Evolution du taux de remplissage et des réserves dans le barrage Lalla Takerkoust

2. Impact sur les ressources en eau souterraine

a) Généralités

La recharge en eau des nappes souterraines, et plus particulièrement des nappes libres, se fait grâce à l'infiltration de l'eau de pluie. Cette recharge dépend donc des précipitations. Les différentes études menées sur les changements climatiques montrent, en règle générale, une diminution des précipitations, notamment pour la période estivale. A cela s'ajouterait une augmentation de l'évaporation ce qui diminuerait l'eau réellement infiltrée. La diminution du flux entrant dans le système changerait les conditions de recharge des systèmes hydrogéologiques

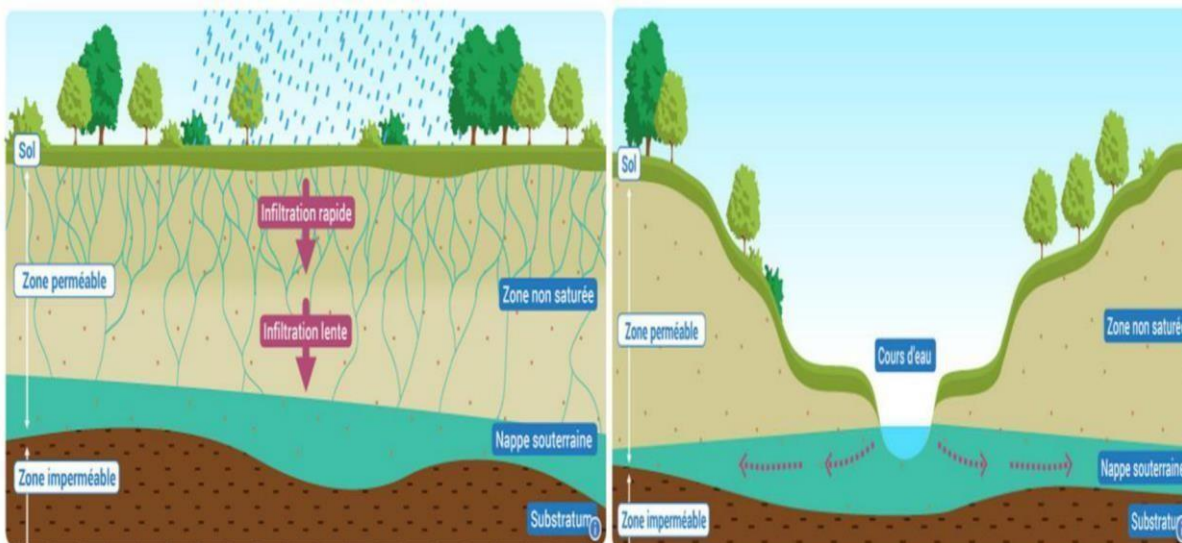


Figure 47: Recharge naturelle d'une nappe phréatique (source: *Les eaux souterraines des systèmes aquifères*)

En ce qui concerne les flux sortants, il existe une étroite relation entre les cours d'eau et les aquifères souterrains. Généralement, les cours d'eau alimentent les nappes en hiver et sont alimentés par ces derniers en été. Si les cours d'eau sont amenés à connaître des périodes d'étiage plus importantes, alors les nappes joueraient un rôle plus important en matière d'alimentation des cours d'eau. Le volume d'eau sortant des nappes serait plus important et étalé sur une plus grande période.

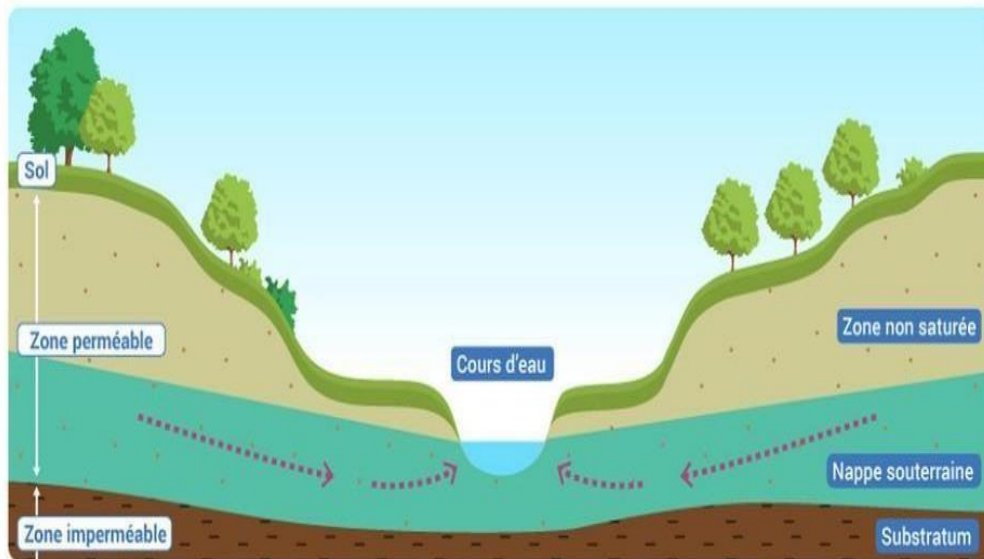


Figure 48: Décharge naturelle d'une nappe phréatique (Les eaux souterraines des systèmes aquifères)

Le changement climatique impacte également les ressources en eau souterraine de manière indirecte par :

- L'augmentation des prélèvements pour l'AEP en raison de la diminution des eaux superficielles
- L'augmentation des prélèvements pour l'irrigation car le réchauffement accroît la transpiration des plantes et par conséquent la demande en eau tout comme les Humains.
- L'augmentation des prélèvements pour l'irrigation par baisse des eaux superficielle

Le bilan hydrique étant déficitaire dans les principaux aquifères exploitables. Cela se traduira par une baisse continue des niveaux piézométriques de ces aquifères et une réduction de la contribution des ressources du sous-sol dans l'AEP. En plus de cela, le débit de la vallée sèche ou la réduction du débit à travers les différents bassins peut chuter de façon spectaculaire parce que la vallée sèche est alimentée par la nappe phréatique de la source.

Tableau 3: Bilan des principales nappes du bassin hydraulique de Tensift (ABHT)

Bilan des principales nappes du bassin hydraulique				
Nappe	Apports [Mm ³]	Sorties [Mm ³]	Bilan des nappes [Mm ³]	Ressources en eau mobilisables [Mm ³]
Haouz-Mejjate	351	535	-184.00	351.00
Bahira (centrale et occidentale)	33	37	-4.00	33.00
Bou Sbaâ	56	52.80	3.20	46.50
Meskala Kourimate	36	38.00	-2.00	27.00
La bande côtière	40	40.20	-0.20	15.00
Total	516	701	-187	472.50

b) Analyse de la variation des profondeurs de nappe

Les données des profondeurs de l'eau dans les différentes nappes ont été enregistrées sur la période de 2006 à 2014. Les diagrammes ci-après montrent clairement qu'il y a eu au cours de cette période une augmentation de la profondeur de l'eau impliquant ainsi un rabattement

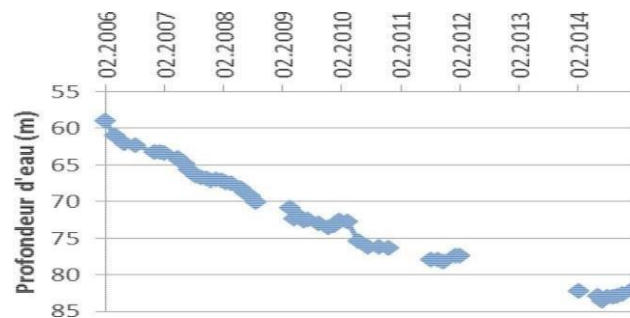


Figure 50: Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 4442/44 de Sidi Zouine entre 2006 et 2014 (ABHT, 2015)

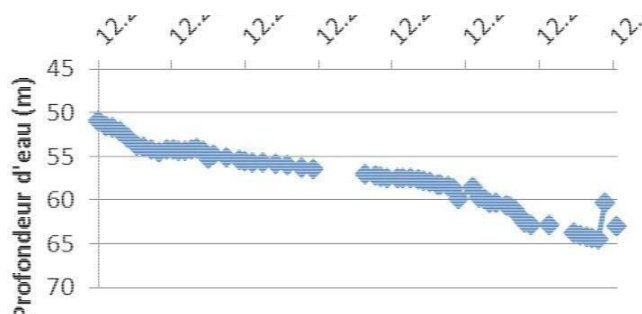


Figure 49: Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 4010/53 de Loudaya entre 2007 et 2014 (ABHT, 2015)

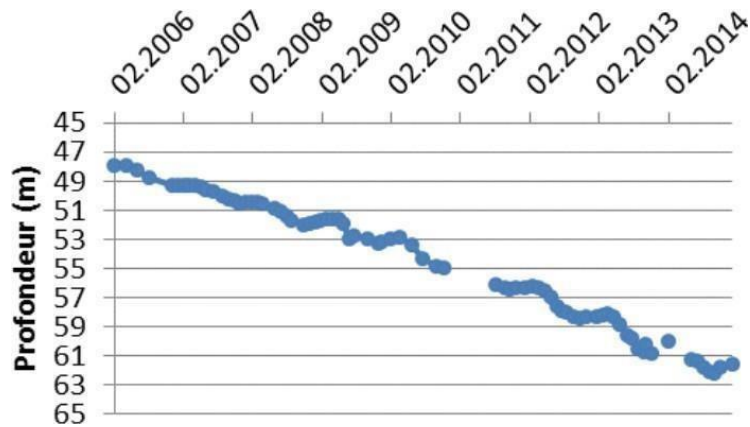


Figure 51: Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 1113/52 de la plaine de Mejjat entre 2006 et 2014 (ABHT, 2015)

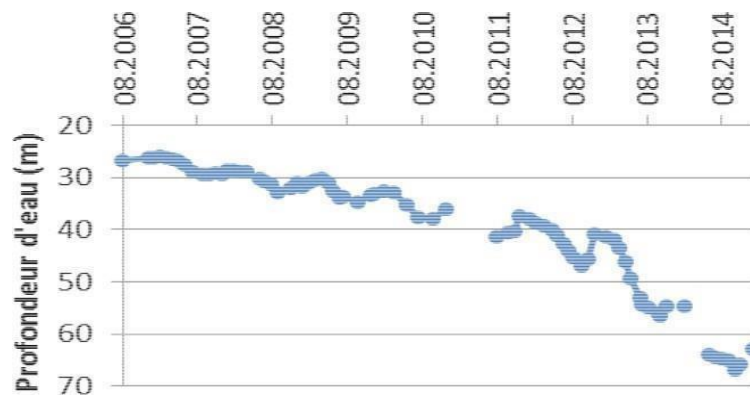


Figure 52: Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 2008/52 de la plaine de Mejjat entre 2006 et 2014 (ABHT, 2015).

On note un rabattement moyen annuel qui varie entre 1.5 et 2.5 m/an dans les 4 postes piézométriques. Ces baisses du NP sont probablement liées à la surexploitation des nappes en raison de la diminution des apports superficiels et l'augmentation de la demande en eau. Le rabattement serait encore plus important si les sécheresses perdurent.

Toutefois, on observe une alternance des périodes de baisse du NP suivies par une remontée du NP.

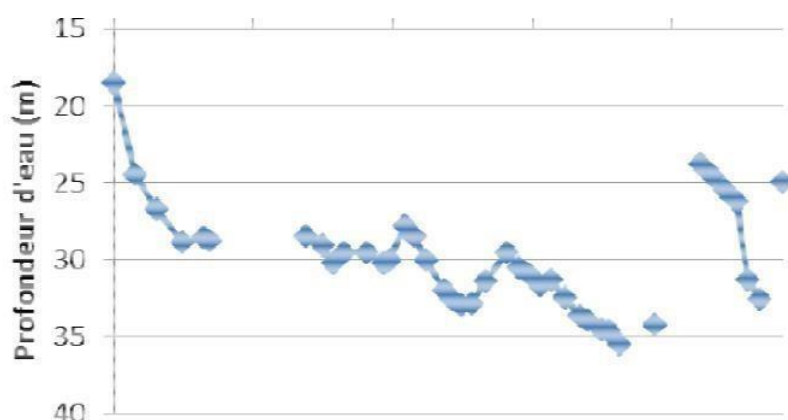


Figure 53: Variation de la profondeur de l'eau du piézomètre 4053/53 de l'oued Imin zat entre 2010 et 2014 (ABHT, 2015)

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 de l'eau par des séguias qui compense les prélèvements par pompage (tendance de la remontée de la profondeur d'eau).

c) Impact sur l'alimentation en eau potable dans la ville de Marrakech

Ce tableau présente l'évolution des volumes des eaux souterraines et superficielles mobilisées pour l'alimentation en eau potable de Marrakech. On constate que les eaux souterraines qui, en 2002 contribuaient à environ 25% ne représentaient en 2014 que 2%. Ce déclin de l'apport des nappes est lié à la baisse du niveau piézométrique. L'apport des nappes serait estimé aujourd'hui à 1% dans l'AEP. Le rabattement enregistré au cours des dernières années qui traduit une augmentation de la profondeur de la nappe serait responsable de cette situation. En effet, le rabattement extrême ne favorise plus le captage de l'eau dans les forages préexistants à moins qu'un approfondissement soit réalisé.

Tableau 4: Evolution des ressources en eau mobilisées pour l'AEP (RADEEMA)

Année	Eaux souterraines Mm3	Eaux desurface Mm3	Total enMm3	% eau souterraine	% eau de surface
2002	11.9	35.2	47.1	25%	75%
2004	8.6	41.4	49.9	17%	83%
2006	7	48.1	55.1	13%	87%
2008	3.6	54.8	58.4	6%	94%
2010	2.3	62.1	64.3	4%	96%
2012	2.8	62.1	64.9	4%	96%
2014	1.6	62.6	64.2	2%	98%

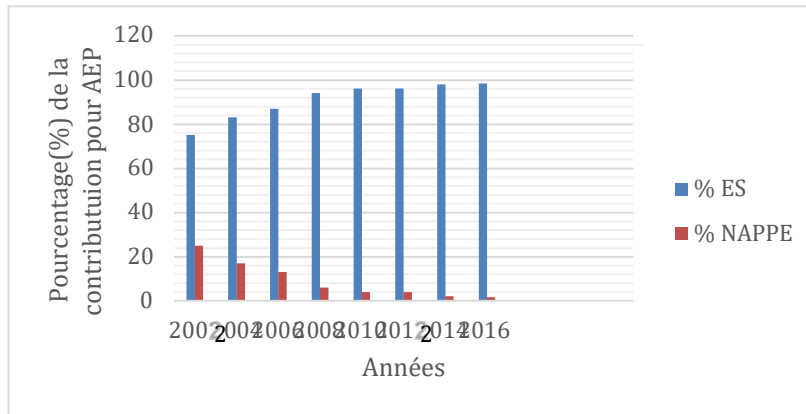


Figure 54: Evolution des volumes en % des eaux superficielles et souterraines mobilisées pour l'AEP de la ville de Marrakech entre 2002-2016 (RADEEMA)

IV. Impact des changements climatiques sur la qualité des ressources en eau

Les changements climatiques impactent également la qualité des eaux de différentes manières :

- ✓ Le réchauffement climatique peut rassembler les conditions favorables à la prolifération des microorganismes potentiellement nocifs peuplant les ressources en eau. Cela détériore la qualité biologique des eaux qui devient insalubre et nécessite un traitement plus poussé
- ✓ La qualité chimique de l'eau est aussi affectée par les changements climatiques. En effet, la minéralisation des eaux devient importante suite à l'évaporation excessive et la réduction des volumes d'eau
- ✓ L'élévation de la température entraîne la fonte de neige et par conséquent la hausse du niveau de mer. Une intrusion des eaux marines dans les nappes côtières en découle. Les eaux souterraines deviennent inutilisables.

En conclusion, les ressources en eau ne sont pas épargnées par le réchauffement climatique. Sous l'effet du dérèglement climatique, on observe :

- Une augmentation des profondeurs des nappes préexistantes soit directement par réduction de l'infiltration efficace et la décharge chronique de nappe, soit indirectement par la surexploitation due à la demande en eau croissante et la réduction des eaux superficielles
- Une baisse des débits moyens des oueds entraînant une diminution significative du taux de remplissage des barrages par réduction des apports
- Amenuisement des ressources en eau mobilisables

Cette conjoncture affecte sensiblement les secteurs consommateurs d'eau. Par conséquent, l'AEP de la ville de Marrakech tributaire des ressources hydriques en déclin n'est pas garantie. Les eaux souterraines, suite au rabattement excessif, ne contribuent plus qu'à seulement 1% dans l'AEP contre 25% en 2004

Mais est-ce une impasse ? Ou existe-t-il un rempart pour vivre au mieux avec les CC ?

CHAPITRE 5 : LES SOLUTIONS D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

De nombreuses solutions existent dans le cadre des solutions labellisées pour faire face à la rareté de l'eau et à d'autres problèmes au Maroc et exactement dans la région de Marrakech Safi.

I. Solutions adoptées

1. Les solutions d'investissement

a) Les eaux conventionnelles

- **Plan Maroc vert :**

Le Maroc a adopté une série d'actions stratégiques dans le cadre de sa politique agricole « Plan Maroc Vert 2008-2020 » qui se veut une stratégie inclusive prenant en compte l'ensemble des territoires, des exploitations et des filières dans leur diversité. D'importants efforts ont été consentis concernant notamment la promotion de l'utilisation rationnelle de l'eau à usage agricole, la prise en compte du changement climatique dans les projets de développement agricole.

- **Construction des barrages :**

Pour améliorer l'approvisionnement en eau, le Maroc a choisi de construire 144 barrages, La capacité de stockage est d'environ 18 milliards de m³ et ce nombre va changer au cours des prochaines années. Le pays s'est fixé un objectif de totaliser 179 barrages. En 2027, la capacité de stockage des différents barrages sera estimée à près de 27 milliards de m³.

b) Les eaux non conventionnelles

- **Station d'épuration :**

Depuis le lancement du Programme National d'Assainissement Liquide (PNA), 153 stations d'épuration d'une capacité de 3,38 millions de mètres cubes ont été construites. Ces eaux sont réutilisées dans la l'irrigation des parcours de golf, des zones vertes ainsi que dans l'industrie

- **Station de dessalement :**

Notant que 9 stations de dessalement ont été construites, produisant 147 millions de m³ d'eau par an.

- **L'ensemencement des nuages de pluie :**

Depuis des années, Le Maroc travaille sur un programme d'ensemencement artificiel des nuages à l'aide d'un processus chimique, il dure 7 mois de novembre jusqu'au mois d'avril. Cette technique a pour objectif d'augmenter la quantité de pluie de 14 à 17%.

- **Elaboration de la recharge artificielle :**

Schématiquement, les ressources en eau de surface disponibles et pouvant permettre la recharge de la nappe du Haouz Mejjate se limitent aux apports d'eaux sortant du système d'affluents actifs et évacués dans l'oued Tensift. Le potentiel ainsi défini représente les déversements du barrage Lalla Takerkoust et les apports nets produits par les oueds non aménagés. Les déversements du barrage Lalla Takerkoust sont évalués à 18 Mm³/an. Pour les bassins non aménagés, les volumes d'eau potentiellement mobilisable pour la recharge artificielle sont approchés, de façon uniforme, à partir de leur bilan moyen interannuel.

II. Solutions futures

1. Solutions d'investissements

a) Eaux conventionnelles

- ◇ Réhabilitation et approfondissement des forages existants (ONEE-ABHT) et dégagement de nouvelles ressources souterraines de secours pour le Grand Marrakech
- ◇ Un projet d'équipement des centres ruraux en réseaux d'assainissement. En plus de cela, des projets de renforcement de l'approvisionnement en eau potable dans les zones rurales.
- ◇ La création de projets de transformation des systèmes d'irrigation sur une superficie de près de 35.000ha supplémentaires de la région.
- ◇ Le développement des circuits de petite et moyenne irrigation avec la réhabilitation de 90km de seguias, la création d'eau dédiée à l'abreuvement, à travers forage et l'équipement de 48 puits.
- ◇ Engager des programmes d'économie d'eau à tous les niveaux d'utilisation et principalement au niveau de l'irrigation.
- ◇ Adapter la conception des infrastructures hydrauliques pour répondre aux contraintes des changements climatiques (réduction globale des apports d'eau, « flash flood »)
- ◇ Appliquer une gestion intégrée des ressources en eau de surface et souterraine,

b) Les eaux non conventionnelles

- **Le stockage des eaux pluviales :**

Aujourd'hui et avec la raréfaction des ressources en eau et l'impact des changements climatiques, la collecte et la valorisation des eaux pluviales offrent des potentialités et des opportunités de mobilisation des ressources en supplémentaires.

Ainsi, le recours à la collecte et la valorisation des eaux pluviales occupe désormais une place non négligeable dans la politique nationale de l'eau. Elle permet de résoudre des problèmes locaux de disponibilité de l'eau

Dans ce cadre, la DGH réalise, à travers ses divers projets centraux et provinciaux, un certain nombre de projets de collecte et de valorisation des eaux de pluie (Ministère de l'Équipement et de l'Eau)

- **Nouvelles stations de dessalement d'ici 2050 :**

- ✓ 4 stations de dessalement sont prévues dans les villes de Casablanca, Dakhla, Safi et Nador. Le communiqué poursuit en précisant que d'ici 2050, 20 autres stations de dessalement seront construites pour atteindre une capacité de production annuelle de plus de 1 milliard de m³ par an.

- ✓ La programmation de la réalisation d'une station de dessalement de l'eau de mer à Safi.

- **Les autoroutes hydrauliques :**

Le Maroc travaille sur la possibilité de transférer l'eau à partir des bassins excédentaires du Nord-Ouest vers les bassins déficitaires du Centre-Ouest.

Quelle serait la finalité de ces solutions ?

A l'aide de cet ensemble de solution et d'investissement envers la situation hydrique, le Maroc compte 140 grands barrages avec une capacité de plus de 17.6 milliards de m³ et plusieurs milliers de forages et de puits pour capter les eaux souterraines. En appliquant ces politiques, notre pays va continuer à assurer la sécurisation de l'approvisionnement des populations en eau potable ainsi que le développement d'une irrigation moderne à grande échelle (près 1.5 million d'hectares) pour répondre aux ambitions de croissance d'un secteur agricole de plus en plus compétitif.

Conclusion

La région de Marrakech-Safi est de ce fait très vulnérable aux changements climatiques. En plus de cette pression climatique, la pression anthropique sur les ressources en eau ne cesse de croître. Il paraît donc important d'étudier la variabilité climatique de la région mais aussi de connaître son impact ainsi que celui de la population sur les ressources en eau. Le point le plus important qu'on a conclu à partir de notre étude c'est que des recherches plus approfondies sur plusieurs stations sont très nécessaires pour déduire l'évolution exacte du climat de la région.

D'après l'analyse de multiples projections des différents paramètres utilisant des modèles climatiques mondiaux ou régionaux, la plupart des scénarios des projections montrent une tendance à la baisse de la pluviométrie annuelle et des précipitations maximales. D'autre part, on observe une tendance à la hausse significative de la température, particulièrement les températures maximales d'été et la température minimales d'hiver. Toutefois, cette tendance à l'assèchement du climat régional accompagnée d'une réduction pluviométrique confirme le réchauffement prévu par les projections, et peut, par conséquent, aggraver la situation hydrique de notre région, donc une pression de plus en plus accentuée sur la ressource en eau, une diminution des rendements agricoles et un accroissement des risques d'inondations.

. C'est pourquoi notre pays poursuit ses études afin d'instaurer une stratégie régionale pour la gestion des risques liés à la variabilité climatique ainsi mettre en action toutes les solutions futures.

Liste des abréviations

RADEEMA : la régie autonome de distribution d'eau et d'électricité Marrakech

AEP : l'alimentation en eau potable

QST : qualité et sécurité environnementale

ONEP : office national d'eau potable

NGM : le niveau général de la mer

RGPH : Recensement général de la population et de l'habitat

HCP : haut-commissariat au plan

SAU : surface agricole utile

GIEC : le groupe intergouvernemental d'évolution du climat.

MCG : modèle de circulation général

SSP : Shared Socioeconomic Pathways

GES : gaz à effet de serre

PPM : partie par million

RCP : representative concentration pathways

ONU : organisation des nations unies.

ONG : organisation non gouvernementale

ABH : agence de bassin hydrauliques

ABHT : agence bassin hydraulique Tensift

DGCL : Direction Générale des Collectivités Locales

TAAM : taux d'accroissement annuel moyen

DGH : Direction Générale de l'Hydraulique

Gtc : Gigatonne

Bibliographie

CID-EMM, g. (2016). *Actualisation des études des schémas directeurs d'eau potable et d'assainissement liquide de la ville de Marrakech*. Marrakech.

David, V. A.-M. (2020). Les modèles climatiques.

Direction Régionale de l'Équipement, d. T.-S. (2021). *Monographie de la Région Marrakech-Safi*.

Direction générale des collectivités locales (2015). *La région de Marrakech-Safi, monographie générale, page 8 et 9*

ERIC, *Le climat de la Terre*

Frédéric Courant, J. G. (Réalisateur). (2012). *Histoire du Climat* [Film]. France.

GIEC. (2014). *Les changements climatiques 2014*.

Gillet, M. (2021). Récupéré sur <http://economiedurable.over-blog.com/2021/12/la-demographie-une-absence-dans-les-rapports-du-giec.html>

Habibi, k. (2011). *Caractérisation de la qualité des ressources en eau souterraines destinées à l'approvisionnement en eau potable de population de la province AL HOUZ*. Marrakech.

Hachim, Mohamed (2009). *Agences de bassins hydrauliques et gouvernances de l'eau*

Imane, D. H. (2021). *Impact des changements climatiques sur les ressources en eau dans la région de Marrakech-Safi*. Marrakech.

Marrakech-Safi : un plan d'urgence de 522 millions de dirhams contre la sécheresse. (2022). *Telquel*.

Ministère de l'Équipement, du Transport, de la Logistique et de l'Eau. (2021). *Etat du climat au Maroc en 2020*.

Moret, L. (1930). *Carte géologique provisoire de l'Atlas de Marrakech*.

Stresse hydrique au maroc. (2022, Mars 26). *la quotidienne*.

vigilance, c. (2022). *Evolution de la situation hydrologique.*, (p. 13). Marrakech.

YOUSSRA JAA. *Réchauffement climatique au Maroc ; les dernières chiffres* (2019) ministère de la transition écologique (2021).

Webographie

- ABHT. (2022, Mai). Récupéré sur <http://www.eau-tensift.net/x/offresdemploi.html?L=%2Fproc%2Fself%2Fenviron%5C%27A%3D0>. Consulté en Mai 2022
- climat.be*. (2022). Récupéré sur <https://climat.be/changements-climatiques/changements-observees/rapports-du-giec>. Consulté en Mai 2022
- (s.d.). Récupéré sur wikipédia: https://fr.wikipedia.org/wiki/Variabilit%C3%A9_et_changements_climatiques. Consulté en Mai 2022
- (2022, février). Récupéré sur le site info: <https://www.lesiteinfo.com/maroc/region-de-marrakech-pour-pallier-toute-penurie-deau-voici-ce-que-les-autorites-ont-decide/>. Consulté en Mai 2022
- <http://81.192.10.228/>. (s.d.). Récupéré sur <http://www.equipement.gov.ma/Pages/accueil.aspx>. Consulté en Mai 2022
- INSTITUT CARBONE. (2020). Récupéré sur <https://institutcarbone.com/les-ressources-en-eau-au-maroc/>. Consulté en Mai 2022
- Les ECHOS*. (2022, février 22). Récupéré sur <https://www.lesechos.fr/monde/enjeux-internationaux/rapport-du-giec-6-chiffres-alarmants-sur-les-consequences-du-rechauffement-climatique-1390202>. Consulté en Mai 2022
- ministère de la transition écologique*. (2021). Récupéré sur data lab : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-du-climat/3-scenarios-et-projections-climatiques#:~:text=Budgets%20carbone%20et%20hausse%20de%20la%20temp%C3%A9rature&text=6%20et%201.9%2C%20donnent%20une,sup%C3%A9rieur>. Consulté en Mai 2022
- Ministère de l'agriculture, de la pêche maritime, du Développement durable et des Eaux et forêts. (2022). Récupéré sur <https://www.agriculture.gov.ma/fr/region/marrakech-safi>. Consulté en Mai 2022
- Ministère du Tourisme, de l'Artisanat et de l'Economie sociale et solidaire. (2019). Récupéré sur <https://mtaess.gov.ma/fr/tourisme/>. Consulté en Mai 2022
- Unitade nations*. (2021). Récupéré sur <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change>. Consulté en Mai 2022