

ROYAUME DU MAROC



Ministère délégué
auprès du Ministère de l'Énergie,
des Mines, de l'Eau et de l'Environnement,
chargé de l'Environnement

OREDD



Département des Sciences de la Terre

Licences Sciences et Techniques

Eau & Environnement

Le changement climatique dans la région Marrakech-Safi

Diagnostic et projection future

Réalisé par:

HAMIMSA Amina & CHOUKRANI Ghizlane

Soutenu: Le 09 Juin 2016

Encadrées par :

Mohamed El Mehdi SAIDI

Abdelaziz BABQIQI

Devant le jury composé de

Nadia KHAMLI

Mohamed El Mehdi SAIDI

Année universitaire : 2015-2016

Dédicace

Aucune dédicace ne saurait exprimer notre respect, notre amour éternel et notre considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour notre instruction et notre bien-être. Nous vous remercions pour tout le soutien et l'amour que vous nous portez depuis notre enfance et nous espérons que votre bénédiction nous accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que nous ne vous en acquitterions jamais assez. Quisse Dieu, le Très Haut, vous accorde santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais nous ne vous décevons.

Remerciements

*Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre professeur **M. SAIDI Mohamed El Mehdi** qui a accepté d'encadrer nos travaux durant ces deux mois de stage, pour tout le temps qu'il nous a consacrés, ses directives précieuses, et pour la qualité de son suivi durant toute la période de notre stage.*

*Nous tenons aussi à remercier vivement **M. BABQIQI Abdelaziz**, le Directeur de l'Observatoire Régional de l'Environnement et de Développement Durable Marrakech-Safi, qui a accepté de nous accueillir au sein de son organisme et pour toutes les informations qu'il n'a pas hésité à nous communiquer.*

*Nos sincères remerciements vont également à Mme. **BAKRI Hafsa**, pour sa grande disponibilité et ses précieux conseils.*

Tout notre respect et nos remerciements vont vers les membres du jury qui vont pleinement consacrer leur temps et leur attention afin d'évaluer notre travail, qui espérons le sera à la hauteur de leur attente.

Nos remerciements vont enfin à toutes personnes qui nous a, de près ou de loin, d'une manière ou d'une autre, permis, par leur collaboration, leur soutien et leur avis judicieux, de mener à bien ce travail.

Table de matières :

• Dédicace	1
• Remerciements.....	2
• Liste des figures et des tableaux.....	5
• Sigles et Acronymes.....	7
• Introduction générale	9
• Présentation de l'OREDD.....	10
• Conclusion	60
• Bibliographie.....	64

CHAPITRE I : LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES AU NIVEAU MONDIAL ET NATIONAL

I- Le changement climatique Au niveau mondial	12
I-1 Les variations climatiques globales observées	12
I-2 Causes de changement climatique	15
a) Les causes planétaires et astronomiques	15
b) Les causes anthropiques	17
I-3 Impacts du changement climatique	18
I-4 Politique international du changement climatique	20
II- Au niveau national.....	21
II-1 La géographie, l'hydrologie et les facteurs influençant le climat marocain.....	21
II-2 Les changements climatiques au Maroc.....	23
II-3 Stratégie de Maroc face au changement climatique.....	24

CHAPITRE II : METHODOLOGIE ET MATERIELS

I- La région Marrakech-Safi.....	28
I-1 Le cadre général de la région	28
I-2 Analyses des tendances climatiques de la région	30
I-3 Outil d'analyse des projections : SDSM.....	31

II- Présentation générale des indices climatiques.....	38
III-1- Les indices thermiques.....	38
III-2- Les indices pluviométriques.....	38
III-3- Les indices pluviothermiques.....	39

CHAPITRE III : ETUDE DU CLIMAT RECENT DE LA REGION MARRAKECH –SAFI ET SON EVOLUTION (EXEMPLE 1961-2015)

I- Diagnostique du changement climatique dans la région Marrakech-Safi : Tendances et variabilité	42
II- L'évolution des indices révélateurs du changement climatique	44
I-1 Les indices pluviométriques	44
I-2 Les indices Thermiques	48
I-3 Les indices pluviothermiques	53

CHAPITRE IV : CHAPITRE IV : PROJECTION DU CLIMAT FUTUR DE MARRAKECH (A L'ORIZON 2099)

I- Evolution du climat futur à Marrakech (1961-2099)	57
I-1 Projections futures des précipitations	57
I-2 Projections futures des températures maxima, minima et moyennes.....	58

FORMATION EFFECTUEE AU COURS DU STAGE SUR :

L'évaluation des impacts du changement climatique dans la région Marrakech Safi : élaboration d'un cadre d'orientation pour l'adaptation en vue d'une formation au bénéfice du Maroc et des pays de l'Afrique de l'Ouest et du Nord..... .61

Liste des figures et des tableaux

FIGURE 1: Variation de la température et du niveau de la mer à l'échelle du globe, et de la couverture neigeuse dans l'hémisphère nord (GIEC, 2007).

FIGURE 2 : Température moyenne de la surface terrestre et des océans combinées au niveau mondial (GIEC, 2014).

FIGURE3: Moyenne inter-modèles de l'évolution des précipitations pour une hausse de 2°C de la moyenne par rapport à 1980-2010 (GIEC, 2010).

FIGURE 4 : Passé et futur élévation du niveau de la mer (GIEC AR5).

FIGURE5: Représentation schématique des échanges d'énergie entre l'espace, l'atmosphère terrestre, et la surface de la terre (Messouli. M, 2016).

FIGURE 6 : Carte du royaume marocain (Direction de l'Aménagement du territoire).

FIGURE7: Carte de la région Marrakech- Safi (http://magazinegeo.blogspot.com/2015/05/blog-post_85.html).

FIGURE 8 : Statistical Downscaling Model (SDSM).

FIGURE 9 : Contrôle de qualité et transformation des données.

FIGURE 10 : Contrôle des variables.

FIGURE 11 : Calibration du modèle.

FIGURE 12 : Génération des données météorologiques.

FIGURE 13 : Analyse des données.

FIGURE 14 : Génération des scénarios.

FIGURE 15 : Tendances des températures maxima, minima et moyennes annuelles de la ville de Marrakech (1961-2015).

FIGURE 16 : Tendances des températures maxima, minima et moyennes annuelles de la ville d'Essaouira (1961-2015).

FIGURE 17 : Tendances des précipitations annuelles de la ville de Marrakech (1961-2015).

FIGURE 18 : Tendances des précipitations annuelles de la ville d'Essaouira (1961-2014).

FIGURE 19 : La répartition des étages bioclimatiques au sein de la ville de Marrakech selon l'indice standardisé de précipitation (1961-2015).

FIGURE 20 : La répartition des étages bioclimatiques au sein de la ville d'Essaouira selon l'indice standardisé de précipitation (1961-2015).

FIGURE 21 : Evolution du rapport à la normale des précipitations à Marrakech.

FIGURE 22 : Evolution du rapport des précipitations à Essaouira.

FIGURE 23 : Evolution de l'écart à la moyenne à Marrakech.

FIGURE 24 : Evolution de l'écart à la moyenne à Essaouira.

FIGURE 25 : Evolution de l'indice de chaleur à Marrakech (SU35) (1961-2015).

FIGURE 26 : Evolution de l'indice de chaleur à Marrakech (SU30) (1961-2015).

FIGURE 27 : Evolution de l'indice de chaleur à Essaouira (SU35) (1961-2015).

FIGURE 28 : Evolution de l'indice de chaleur à Essaouira (SU30) (1961-2015).

FIGURE 29 : Evolution de l'indice de froid à Marrakech (ID10) (1961-2015).

FIGURE 30 : Evolution de l'indice de froid à Marrakech (ID15) (1961-2015).

FIGURE 31 : Evolution de l'indice de froid à Essaouira (ID10) (1961-2015).

FIGURE 32 : Evolution des vagues de chaleur(WSDI) à Marrakech (1961-2015).

FIGURE 33 : Evolution des vagues de chaleur (WSDI) à Essaouira (1961-2015).

FIGURE 34 : Evolution des vagues de froid (CSDI) à Marrakech (1961-2015).

FIGURE 35 : Evolution des vagues de froid (CSDI) à Essaouira (1961-2015).

FIGURE 36 : Evolution du type de climat à Marrakech entre les périodes (1961-1976), (1977-1996) et (1997-2015).

FIGURE 37 : Evolution du type de climat à Essaouira entre les périodes (1961-1976), (1977-1996) et (1997-2015).

FIGURE 38 : Position de Marrakech et Essaouira dans les étages bioclimatiques d'Emberger.

Figure 39 : Tendances des précipitations annuelles futures de la ville de Marrakech (1961 – 2099).

Figure 40 : Tendances de la température minimale annuelle future de la ville d'Essaouira (1961 – 2099).

Figure 41 : Tendances de la température maximale annuelle future de la ville d'Essaouira (1961 – 2099).

Figure 42 : Tendances de la température moyenne annuelle future de la ville d'Essaouira (1961 – 2099).

TABLEAU 1 : Classification du SPI.

Sigles et acronymes

ABHT : Agence de Bassin Hydraulique de Tensift

ACCN : Adaptation au Changement Climatique et Valorisation de la Biodiversité

CCNUCC : convention cadre des nations unies sur les changements climatiques

CSP : concentration solar power

4C Maroc : Centre de Compétences Changement Climatique

Cristal : Outil d'identification des risques au niveau communautaire

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

COP : Conférences des parties (Conference Of Parties)

GIZ: Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (Coopération Internationale allemande)

HCP : Haut-commissariat au plan

HadCM : Hadley Centre Coupled Model

IPCC : intergovernmental Panel on Climate Change

IIDD : Institut International du Développement Durable

MW: Mégawatt

MCG : Modèle de Circulation Générale

M-Eq : Million Equivalent

NCEP : National Centers for Environmental Prediction

NCAR : National Center for Atmospheric Research

ODD : objectif du développement durable

OREDD: L'Observatoire Régional de l'Environnement et du Développement Durable

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économiques

PCCM : Politique du Changement Climatique au Maroc

PNRC : Plan National de Lutte Contre le Réchauffement Climatique

PIB : Produit intérieur brute

PV : Photo-Voltaïque

PMV : plan Maroc vert

RCP : scénario Représentative Concentration Pathway

RGP : Recensement général de la population

SEI : Stockholm Environment Institute

SAU : Superficie Agricole Utile

SDSM : Statistical DownScaling Model

UICN : Union internationale pour la conservation de la nature

Introduction générale

Le changement climatique ne date pas d'hier, les modifications de notre climat sont en effet aussi anciennes que notre planète Terre. Les grandes tendances de la température planétaire au cours des temps géologiques montrent que le climat a été généralement plutôt chaud, hormis au cours des 5 ères glaciaires. La dernière étant celle du quaternaire, dans laquelle nous vivons actuellement.

Le changement climatique actuel n'est cependant pas à considérer comme une modification ordinaire. Par son ampleur et sa rapidité, le réchauffement de notre climat peut être réellement qualifié d'extraordinaire dans l'histoire de notre planète.

Le changement climatique est fondamentalement injuste. Les pays et les populations les plus menacés par ses impacts et les moins à même de s'y adapter, sont ceux qui ont le moins contribué au problème.

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

La région Marrakech-Safi est située au centre ouest du pays à un climat aride à semi-aride. Elle subit une gamme de changement climatique et de menaces environnementales importantes.

L'objectif spécifique de notre étude est de ressortir les éléments qui caractérisent la variabilité du climat de la région Marrakech-Safi, étudier l'évolution du climat récent à travers les deux principaux paramètres, la température et les précipitations et étudier des indices révélateurs du changement climatique dans la région. Ceci afin d'établir des projections des tendances futures du climat, à l'aide des modèles prévisionnels appropriés, ainsi que les répercussions de ces changements sur nos ressources naturelles.

Présentation de l'Observatoire Régional de l'Environnement et du Développement Durable (OREDD)

L'OREDD est un organisme gouvernemental qui permet, entre autre, d'assurer le suivi permanent de l'état de l'environnement dans la région de Marrakech, de mesurer les résultats et la performance des actions initiées par les programmes de mise à niveau environnementale, de développer la prospective pour prévenir les tendances des milieux naturels en rapport avec les projets de développement et de définir les orientations stratégiques d'un développement local durable.

C'est donc un organisme qui s'efforce à concilier la protection de l'environnement et le développement durable de la région, en œuvrant à combler le manque de données, d'informations fiables et d'études objectives qui peuvent servir d'indicateurs à la prise de décisions. Il est donc appelé à permettre de substituer la démarche globale et intégrée à la démarche unilatérale et sectorielle dans la gestion régionale de l'environnement et sera un outil de coopération entre les différents intervenants.

CHAPITRE I : LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES AU NIVEAU MONDIAL ET NATIONAL

I- Les changements climatiques au niveau mondial

I-1- Les variations climatiques globales observées

Le changement climatique est une modification des paramètres du climat qui s'effectue à long terme dans une région du globe ou sur la Terre dans son intégralité. La notion de changement climatique est aujourd'hui associée au réchauffement climatique qui a débuté dans le monde il y a quelques décennies. Ces effets se font sentir sur toute la planète : le niveau de la mer monte, les tempêtes tropicales ravagent les côtes, des terres anciennement fertiles sont à présent inondées ou totalement desséchées et le permafrost fond dans les régions polaires (Figure 1).

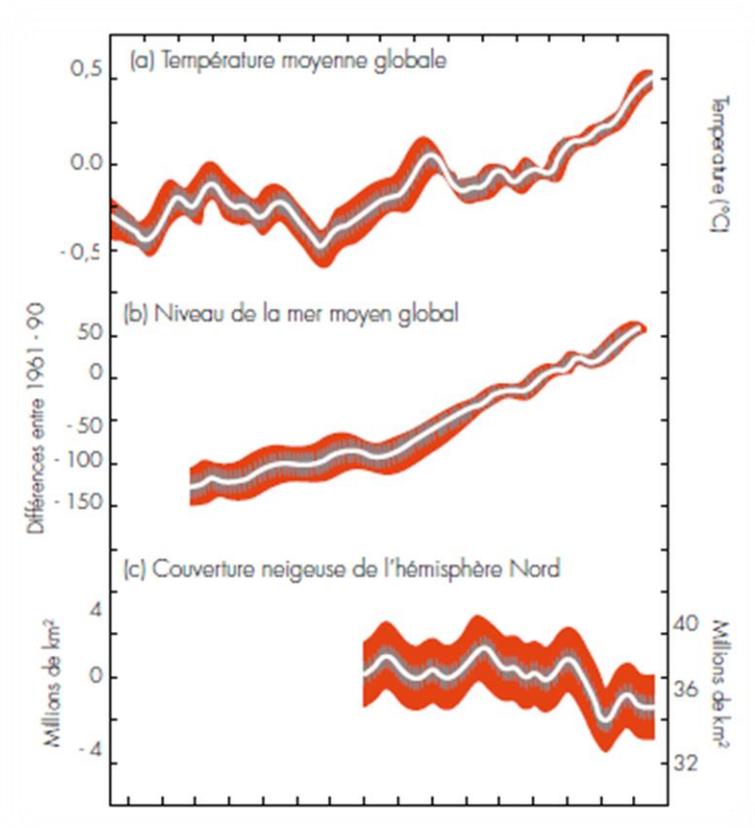


Figure 1 : Variation de la température et du niveau de la mer à l'échelle du globe, et de la couverture neigeuse dans l'hémisphère Nord (GIEC, 2007)

a) Température

Il est *certain* que la température de surface moyenne globale de la Terre a augmenté depuis qu'elle a commencé à être mesurée et enregistrée (figure 2). Ce réchauffement a été d'environ 0,85 °C de 1880 à 2012 (GIEC, 2014).

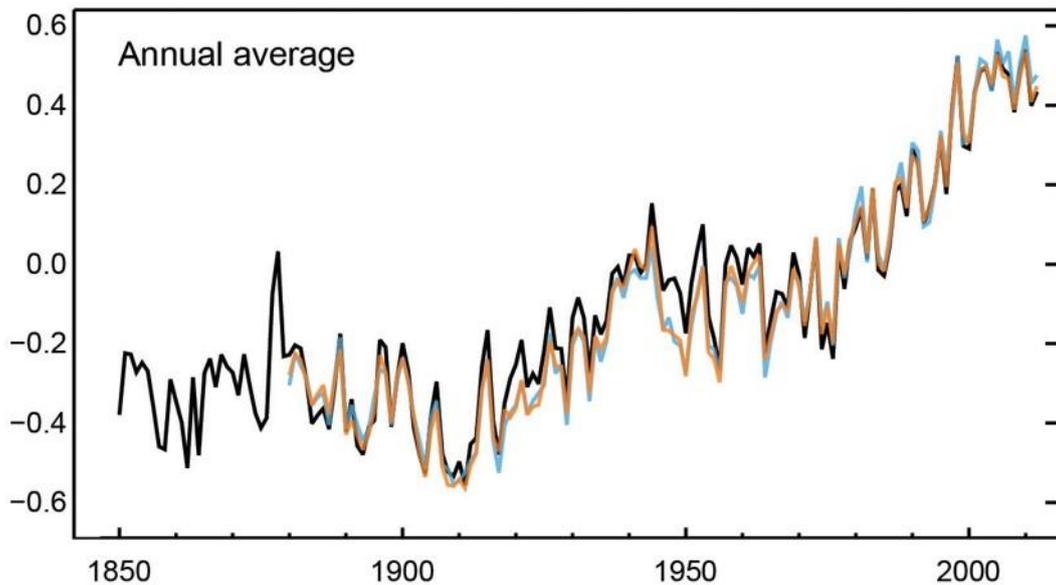


Figure 2: Températures moyennes de la surface terrestre et des océans combinées, au niveau mondial (GIEC, 2014)

b) Les précipitations

L'augmentation des températures réchauffe les eaux de surface océaniques, ce qui entraîne plus d'évaporation, surtout aux basses latitudes (p.ex. zones tropicales). Cette vapeur d'eau est ensuite prise dans la circulation atmosphérique et entre dans le cycle de l'eau. Des températures plus élevées entraînent donc globalement une augmentation des précipitations, mais réparties de manière non uniforme sur la planète et dans le temps (figure3). Certaines régions ont reçu plus de précipitations (p. ex. Amérique du Sud, Europe du Nord, etc.) alors que d'autres en recevaient moins (p.ex. Sahel, sud de l'Afrique, Méditerranée, etc.). Les événements de précipitations sont plus violents qu'auparavant dans toutes les régions, ce qui favorise les inondations (Gaëlle R2012).

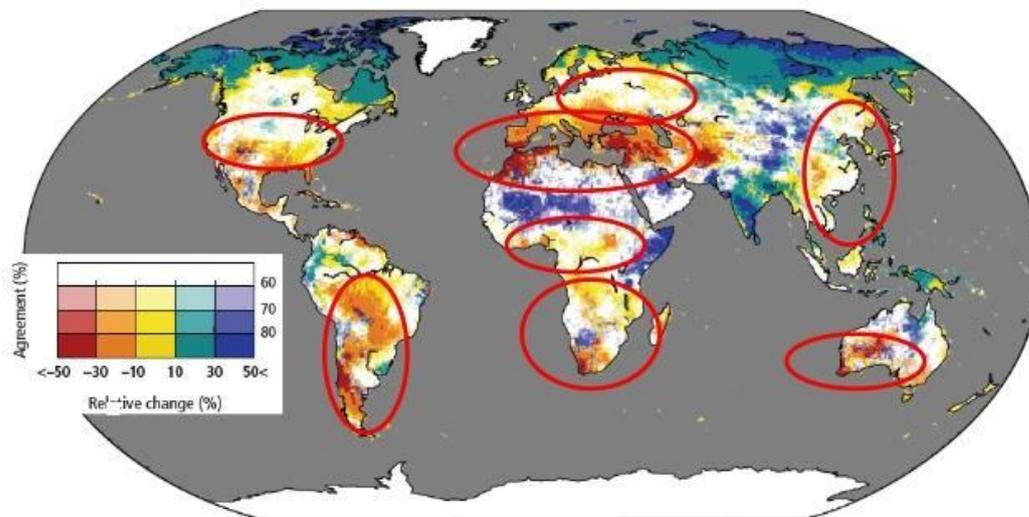


Figure 3 : moyenne inter-modèles de l'évolution des précipitations pour une hausse de 2°C de la moyenne par rapport à 1980-2010 (GIEC, 2010)

c) 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 vingt et unième siècle (Figure 4). 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)

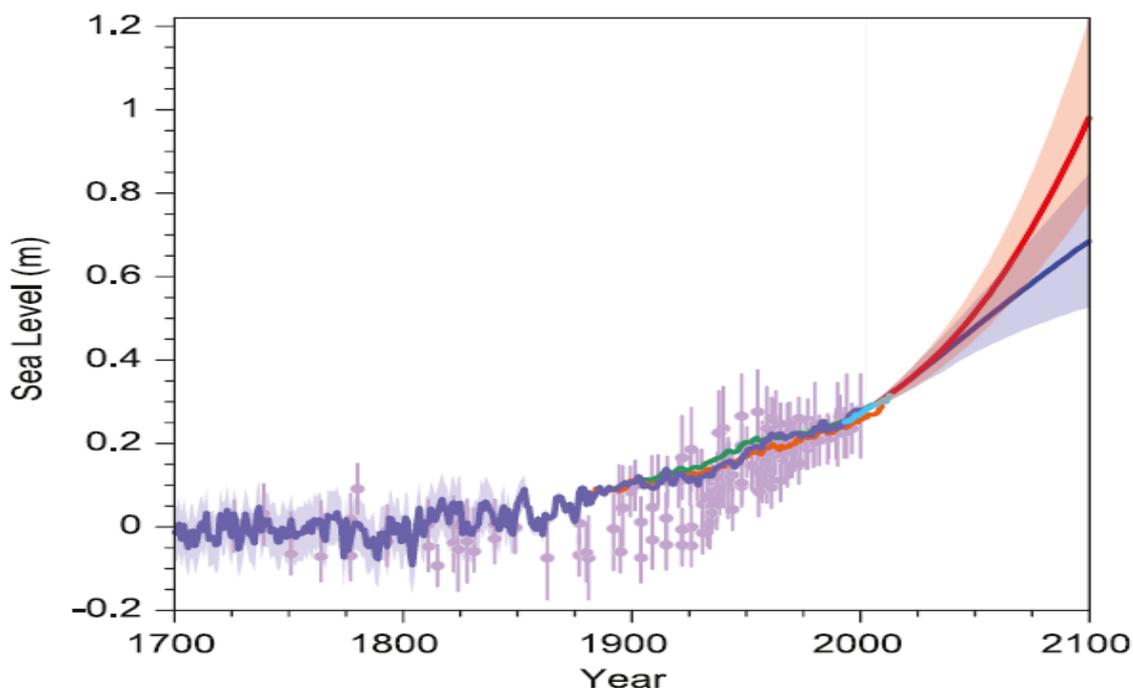


Figure 4 : Passé et futur élévation du niveau de la mer (GIEC AR5)

Comme l'indique le dernier rapport du GIEC, dans de nombreuses régions du monde, la modification du régime des précipitations et la fonte des neiges et des glaces perturbent les systèmes hydrologiques et influent sur la qualité et la quantité des ressources hydriques. Au cours du XXI^e siècle, un appauvrissement sensible des ressources renouvelables en eau de surface et en eau souterraine est anticipé dans la plupart des régions subtropicales arides due à la chute importante des précipitations dans le monde qui est elle-même à l'origine de la sécheresse dans plusieurs pays.

La question qui doit nous préoccuper est celle des impacts du changement climatique en cours sur nos vies, celles de nos enfants et nos petits-enfants !

I-2-Causes de changement climatique

Les changements climatiques peuvent être dus à des processus de variations naturelles ou aux activités humaines.

a- Planétaires et astronomiques

Quand on sait que la Terre a déjà environ 4,6 milliards d'années, et que l'homme n'y vit que depuis seulement 200 000 ans il est clair que les précédents changements climatiques sont survenus de manière naturelle (*Climat challenge*, 2013).

- **Activité solaire**

Étant donné que le climat sur Terre dépend du soleil, il est évident que les variations du rayonnement solaire influent sur le climat sur Terre. L'activité du soleil dépend du nombre de taches solaires, qui sont des taches relativement sombres à la surface du soleil. Les taches solaires correspondent à des taches plus froides sur le soleil. Leur nombre est représentatif de l'activité du soleil : plus elles sont nombreuses, plus le soleil est actif.

- **Activité volcanique**

Les grandes éruptions volcaniques peuvent influencer sur le climat. Si les poussières et les particules de soufre atteignent la stratosphère comme aérosols, elles retiennent la lumière du soleil et les températures diminuent (tout comme les impacts météoritiques). En outre, une grande quantité de CO₂, gaz à effet de serre, est libérée.

- **Impact météoritique**

L'impact d'une météorite peut changer le climat sur une courte période. Il provoque notamment un nuage de poussière (comme dans le cas des éruptions volcaniques). Ce nuage peut constituer une barrière à la lumière du soleil pendant des années.

Il en résulte une réduction des températures et une disparition des plantes et des animaux.

- **Rotation de la Terre**

La terre parcourt une orbite ovale autour du soleil. Lorsque cette orbite change légèrement, certaines parties de la Terre se rapprochent du soleil et d'autres s'en éloignent. Ceci entraîne un réchauffement des parties qui se rapprochent du soleil et un refroidissement de celles qui s'en éloignent

- **Position des continents**

La position des continents influence les courants marins. Lorsque les continents sont proches les uns des autres (comme c'était le cas il y a des millions d'années), les courants marins sont différents que lorsque les continents sont éloignés (comme c'est le cas aujourd'hui). L'eau de mer est réchauffée à l'équateur et est diffusée en direction des calottes polaires. Plus les continents sont éloignés les uns des autres, moins la chaleur peut être diffusée efficacement à travers le globe.

b- Anthropiques :

L'effet de serre

Le phénomène agit comme le verre d'une serre, c'est à dire que les gaz à effet de serre emprisonnent la chaleur produite par le soleil. Ces GES ont toujours existé dans l'atmosphère de façon naturelle car la vie n'est possible sur terre sans l'effet de serre qui assure une température moyenne de 15°C au lieu de -19°C (GIEC 2007). Depuis l'avènement de la révolution industrielle, les plus dangereux de ces gaz (CO₂, NO₂, etc.) ont connu une augmentation exceptionnelle dont l'origine est loin d'être naturelle (Cyrielle Den, 2007). Le CO₂ est à lui seul responsable de plus de 50% de l'augmentation de l'ensemble des GES. Dans cette situation anormale où la concentration des GES dans l'atmosphère est très élevée, seule une petite partie du rayonnement terrestre réfléchi vers l'atmosphère est absorbée par les GES et diffusée vers l'atmosphère. La plus grande partie du rayonnement est renvoyée vers la basse atmosphérique et la surface du sol. Les activités humaines restent les premières causes de réchauffement, notamment celles relatives à la consommation de combustibles fossiles pour des usages industriels et domestiques et à la combustion de la biomasse produisant des GES et des aérosols qui affectent la composition de l'atmosphère. D'autre part, le changement d'usage des terres dû à l'urbanisation et aux pratiques agricoles et forestières de l'homme, affecte les propriétés biologiques et physiques de la surface de la terre (Daouda, 2008). Ces changements anthropiques sont très rapides et par conséquent menacent souvent fragiles (CHAKRI.S, 2016)

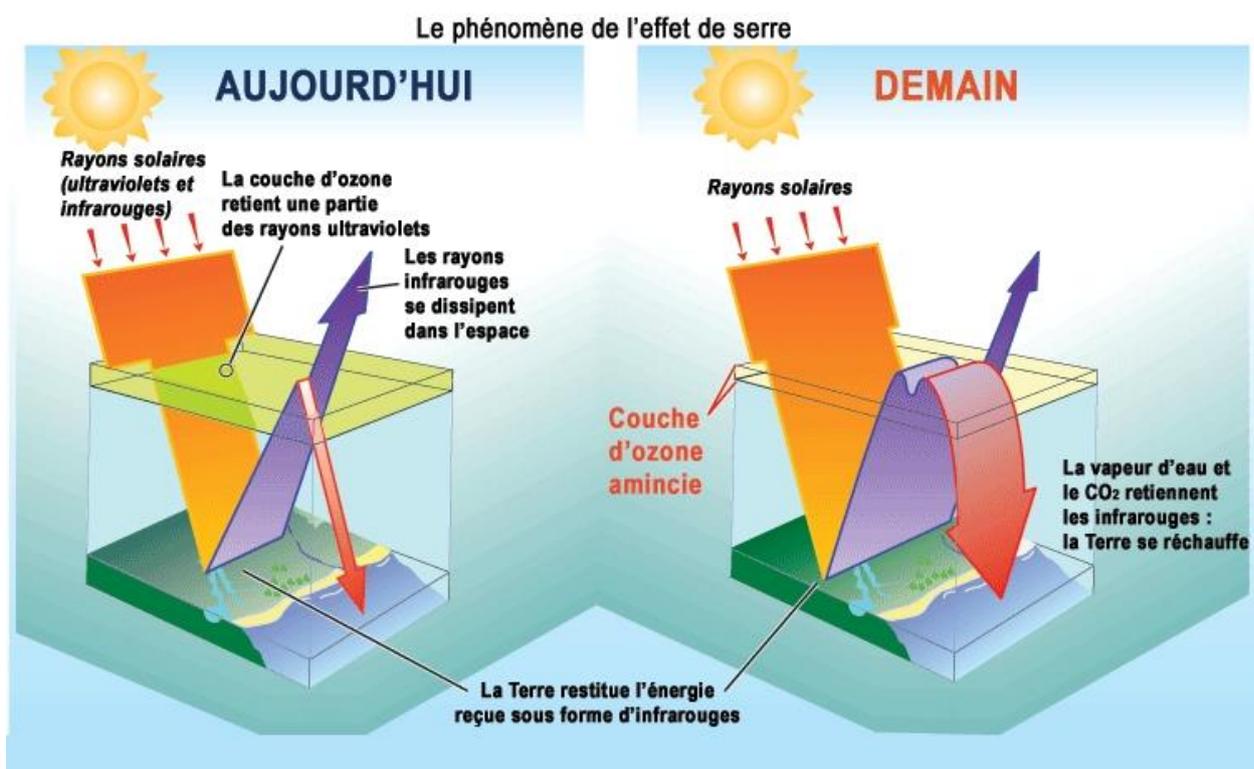


Figure5 : Représentation schématique des échanges d'énergie entre l'espace, l'atmosphère terrestre, et la surface de la Terre (Messouli.M, 2016)

I-3-Impacts du changement climatique

Ne crois pas qu'une élévation de la température veut dire qu'elle va simplement faire un peu plus chaud partout. Elle entraîne des bouleversements en chaîne et Comme résultante du réchauffement global, le changement climatique aura des impacts différents sur les différents écosystèmes qui constituent notre planète, où que nous soyons sur cette planète, un jour ou l'autre nous serons touchés par l'un ou plusieurs de ces impacts (*Climat challenge*, 2013). Parmi ces impacts, on peut citer :

- Des risques accrus de sécheresse, d'incendies de forêts et d'inondations :

Le changement climatique induit une fréquence et une intensité plus grande des inondations, des sécheresses et des incendies de forêts. Il modifie le cycle de l'eau et intensifie sa circulation sur et sous terre, dans l'atmosphère, causant ainsi des sécheresses et des inondations plus fréquentes, plus sévères et sur des étendues plus grandes. Des températures élevées augmentent la quantité d'eau qui s'évapore induisant des sécheresses dans plusieurs régions du monde. Les terres ainsi affectées deviennent plus vulnérables aux inondations quand il pleut.

Sécheresse et températures élevées accroissent les risques d'incendies de forêts. Dans certaines régions (ouest des Etats Unis, par exemple), la fréquence des feux de forêt a été multipliée par 4 et la surface brûlée par 6 à 7 depuis 1970.

Il en est de même pour les inondations qui sont devenues plus fréquentes et plus dévastatrices.

- **Des tempêtes et des ouragans plus forts :**

La recherche scientifique indique que le changement climatique provoquera des ouragans et des tempêtes tropicales plus intenses, de durée plus longue, déclenchant des vents forts à violents, et causant des dommages aux écosystèmes et dans les communautés côtières.

Avec des températures d'océan plus élevées, les ouragans et les tempêtes tropicales trouvent des conditions favorables pour se développer. Dans le même temps, d'autres facteurs, tels que la hausse du niveau des mers, la disparition des terres humides et le développement des zones côtières, menacent d'accroître les dégâts causés par ces phénomènes climatiques extrêmes.

- **Des risques accrus de maladies et affections liées à la chaleur :**

Avec l'élévation des températures, les risques de maladies liées à la chaleur et même de mort des populations humaines les plus vulnérables augmentent.

En 2003, par exemple, les vagues de chaleur extrêmes ont causé plus de 20.000 morts en Europe et plus de 1500 décès en Inde. Les scientifiques ont lié ces vagues de chaleur meurtrières au changement climatique.

En plus des maladies liées à la chaleur, le changement climatique favorise la propagation des maladies infectieuses telles que la malaria, principalement en raison des températures plus favorables aux insectes et aux microbes.

- **Des espèces sauvages en péril :**

La hausse des températures change les conditions météorologiques et de la végétation à travers le monde, ce qui oblige les espèces animales à migrer vers de nouvelles zones plus froides pour survivre. La nature rapide du changement climatique est susceptible de dépasser la capacité de nombreuses espèces à migrer ou s'adapter. Les experts prédisent l'extinction du quart des espèces animales de la Terre d'ici 2050 si la tendance au réchauffement se poursuit à son rythme actuel.

- **Des pertes et dommages économiques :**

Le changement climatique affecte déjà les économies du monde entier. Si aucune mesure n'est prise pour réduire les émissions mondiales de carbone, le changement climatique pourrait coûter entre 5 et 20 pour cent du produit intérieur brut mondial annuel. A l'inverse, si des mesures sont prises pour atténuer les effets les plus néfastes

du changement climatique, cela coûterait 1 pour cent du PIB, selon un rapport du gouvernement britannique. Globalement, des ouragans plus intenses et des pluies diluviennes peuvent causer des milliards de dollars de dommages aux biens et aux infrastructures. Ces coûts dus aux événements climatiques sont et seront ressentis directement par les collectivités locales, les entreprises et les ménages.

- **Les océans deviennent de plus en plus acides :**

L'océan absorbe naturellement du gaz carbonique. On dit qu'il « fixe » le carbone. Mais il a ses limites ! Ce gaz carbonique, en excès dans les océans, acidifie le milieu sous-marin (son pH a diminué de 8,25 à 8,14). Une acidification trop importante des eaux marines peut provoquer la disparition de certaines espèces notamment des végétaux et des animaux tels que les huîtres ou les coraux.

I-4-Politiques internationales du changement climatique

Grandes étapes de l'émergence du changement climatique

- Les changements climatiques ont été placés à l'ordre du jour au milieu des années 1980.
- L'organisation Mondiale de la météorologie et le Programme des Nations unies pour l'environnement ont mis en place le GIEC en 1988.
- En 1990, le GIEC publia son Premier Rapport d'Evaluation, confirmant que le changement climatique était en effet une menace et appelant à un traité global pour faire face au problème.
- La convention cadre des Nations Unies sur le Changements Climatique (CCNUCC) a été ouverte à la signature lors du sommet de la terre, à Rio de Janeiro, Brésil, Le 4 juin 1992 et est entrée en vigueur le 21 mars 1994

Les traités internationaux fondamentaux

La gouvernance internationale sur le climat repose sur deux traités internationaux fondamentaux : la convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques(CCNUCC), à un objectif global de -5.2% des émissions de GES pour les pays industrialisés sur 2008-2012 par rapport à 1990 avec un objectif individuel assigné à chaque pays industrialisé :

- Pas d'engagement supplémentaire pour les pays non Annexes I.
- 1^{er} et seul outil juridiquement contraignant en matière de lutte contre le changement climatique.

Négociations internationales sur les changements climatiques :

Ce sont des conférences des parties ou COP, c'est le rassemblement des 195 Etats membres de la convention pour négocier et adopter des décisions, et veiller à leur suivi. Elle dure près de 2 semaines, depuis 1997, il y a des COP chaque fin d'année. Les négociations se font entre les COP, et en dehors des COP. La COP de Paris était la 21^{ème} conférence ministérielle sous la Convention Climat, et la COP du Maroc serait la 22^{ème} en novembre 2016.

II- Au niveau national

II-1- La géographie, l'hydrologie et les facteurs influençant le climat marocain La géographie

Situé entre l'Atlantique et la Méditerranée entre les latitudes 21°N à 36°N et les longitudes 1°O à 17°O, le Maroc se trouve à l'extrême Nord-Ouest du continent Africain. Il n'est séparé du continent Européen que par le détroit de Gibraltar, les points les plus proches entre le Maroc et l'Espagne n'étant distants que de 14 km. Grâce à sa grande extension en latitude, il bénéficie d'une importante façade sur l'océan Atlantique (2 934 km), à laquelle s'ajoutent, au Nord, 512 km de côtes sur la méditerranée. Cette situation lui confère une position géographique et stratégique de premier ordre avec un territoire s'étendant sur une superficie de 710 850 km² (Ministère Délégué auprès du Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement Chargé de l'Environnement, 2016) (Figure6).

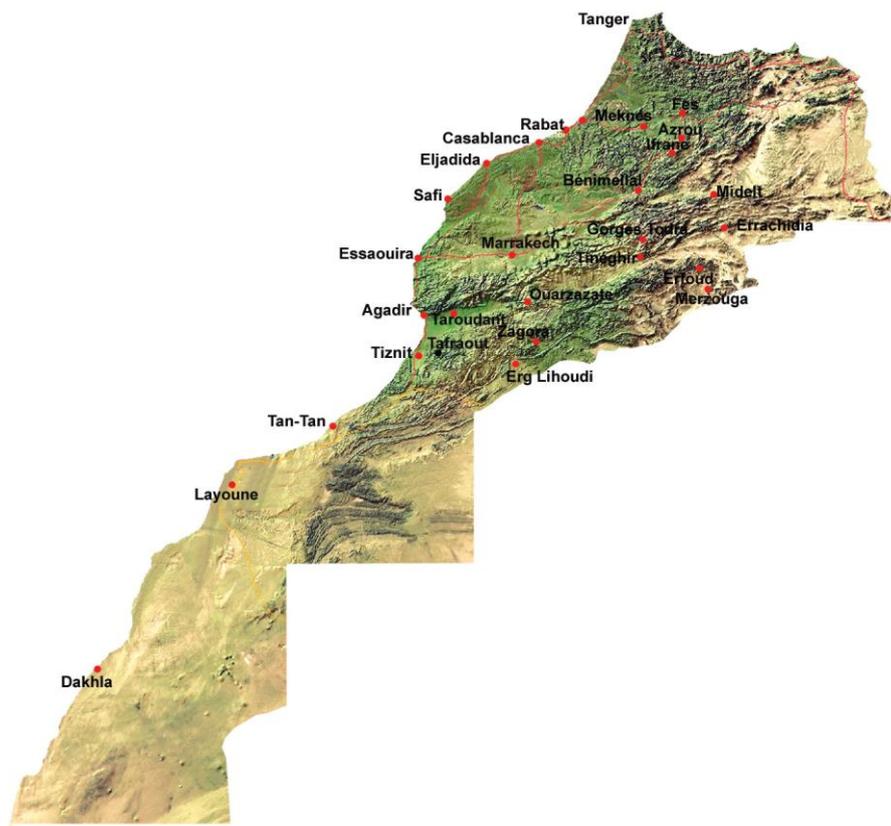


Figure 6 : Carte du royaume marocain

La situation du Maroc entre deux ceintures climatiques, et entre l'anticyclone des Açores à l'Ouest et la dépression saharienne au Sud-Est, entraîne une grande variabilité spatio-temporelle du climat induisant un impact considérable sur les ressources en eau, la production agricole et la couverture végétale du pays

L'hydrologie

Au niveau des réseaux hydrographiques, le Maroc est relativement bien arrosé à l'exception des parties sahariennes et présahariennes. En hiver, il se forme sur les hautes montagnes du Rif, du Moyen et du Haut Atlas, une couche de neige parfois très épaisse. On est donc en présence de grands châteaux d'eau d'où part l'ensemble des rivières et des fleuves (du Rif vers la Méditerranée, du Moyen et du Haut de l'Atlas vers l'Atlantique ou le Sahara).

Le Maroc possède les rivières et les fleuves permanents les plus importants du Maghreb (Oum Rbia, Sebou, Moulouya, Loukous, Bouregreg,...). Toutefois, le Maroc souffre du problème de l'irrégularité de ses cours. Ainsi, les inondations sont de règle dans les plaines littorales et inversement les zones semi désertiques souffrent d'un manque en eau durant toutes les saisons.

Le potentiel hydrique au Maroc est évalué en année moyenne à 22 milliards de m³ par an, soit pour l'année 2014, l'équivalent de 650 m³/habitant/ an. La demande en eau potentielle enregistre une tendance haussière : estimée en 2010 à près de 14,5 milliards de m³, cette demande serait de 25,5 milliards de m³ à l'horizon 2030 (Ministère Délégué auprès du Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement Chargé de l'Environnement, 2016).

- Les eaux de surfaces :

Au niveau des précipitations, on enregistre une forte variabilité interannuelle sur l'ensemble des régions, en particulier dans les régions du Nord du Royaume.

Les ressources en eau de surface sont produites à 51% au niveau de quatre bassins hydrauliques qui couvrent 7,1 % de la superficie de pays.

Cette situation place le royaume parmi les pays ayant le moins de ressources en eau par habitant.

En plus de la raréfaction hydrique, le secteur de l'eau reste confronté aux coûts de mobilisation, au caractère limité des financements, à la problématique de l'érosion des sols (23 millions d'ha touchés) ainsi qu'à la perte de capacité de stockage des barrages par envasement (près de 75Millions de m³ perdus annuellement).

De même, les besoins des différents secteurs usagers de l'eau sont en croissance continue, notamment le secteur agricole qui est fortement consommateur d'eau (à hauteur de 80% des eaux mobilisées) et dominé par l'irrigation de surface dont l'efficacité à la parcelle reste faible (près de 50%) et par une faible valorisation des eaux mobilisées au niveau de certains barrages (Ministère Délégué auprès du Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement Chargé de l'Environnement, 2016).

- Les eaux souterraines :

Les ressources en eau souterraines constituent environ le cinquième des ressources en eau mobilisables et jouent un rôle très important dans l'économie du pays non seulement dans les périmètres de l'irrigation privée mais aussi dans les grands périmètres irrigués par les eaux de surface. Les eaux souterraines connaissent actuellement une surexploitation due à la prolifération des ouvrages de captage (puits et forages) permettant aux agriculteurs une meilleure intensification agricole et une atténuation des pénuries d'eau de surface.

Les ressources en eau souterraines représentent près du tiers, soit 10 milliards de m³, et sont réparties sur une trentaine de grands systèmes aquifères.

Seule la moitié de ce potentiel est considérée comme une eau souterraine mobilisable, car près de trois milliards de m³ constituent le débit de base des rivières et 2 milliards de m³ les écoulements vers la mer (Ministère Délégué auprès du Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement Chargé de l'Environnement, 2016).

Le climat

Le Maroc de par sa position météorologique et géographique se trouve dans une région vulnérable aux changements climatiques que ça soit en termes thermique ou pluviométrique. En effet les évolutions observés montrent un allongement de la période maximale de sécheresse notamment hivernale, une hausse de la température moyenne maximale et minimale ainsi qu'une augmentation de l'amplitude des extrêmes chauds (jours chauds, vagues de chaleur) (ChAKRI.S, 2016).

On peut donc distinguer deux grandes zones climatiques au Maroc:

- Les régions Nord (Nord du Haut Atlas) sont sous influence d'un climat à la fois méditerranéen et atlantique avec beaucoup de nuances climatiques entre les régions côtières, l'intérieur et les montagnes de l'Atlas. On observe une période tempérée et humide (début octobre jusqu'à fin avril) avec un maximum les mois de décembre à février et une saison sèche (du mois de mai à la fin du mois de septembre).
- Les régions Sud (Sud du Haut Atlas) sont, à l'inverse, soumises à l'influence d'un climat semi-aride à aride, voire désertique avec des précipitations erratiques et complexes à dominance tropicale (Ministère Délégué auprès du Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement Chargé de l'Environnement, 2016).

II-2- le changement climatique au Maroc

Le Maroc de par sa position géographique, son climat, son littoral, entre autres est fortement affecté par le changement climatique et présente une vulnérabilité de plus en plus croissante, réchauffement moyen global sur tout le territoire estimé

autour de 1°C, variabilité temporelle et spatiale des précipitations avec une baisse significative oscillante entre 3% et 30% selon les régions, accélération des phénomènes extrêmes (notamment les sécheresses et les inondations), tendance à la hausse des vagues de chaleur et à la baisse des vagues de froid, élévation du niveau de la mer, constituent les principaux phénomènes recensés au Maroc durant les dernières décennies

Les projections de la direction de la Météorologie nationale prévoient, d'ici la fin du siècle :

- Une augmentation des températures moyennes estivales de 2 à 6°C
- Une diminution de 20% des précipitations

Cette vulnérabilité est accentuée par différents facteurs dont la structure du tissu économique, le niveau de conscience et de connaissance, le cadre légal, l'absence d'approche adaptée par territoire, etc. (Ministère Délégué auprès du Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement Chargé de l'Environnement, 2016).

Le Maroc subit les conséquences régionales du changement climatique, Plusieurs secteurs seront impactés, notamment l'agriculture, en raison du stress hydrique, et l'aviculture. Le secteur de l'eau fait actuellement face à des défis liés notamment à l'accroissement de la demande, la raréfaction des ressources en eau et la surexploitation des eaux souterraines. Une situation qui risque de s'aggraver de plus en plus par le changement climatique, notamment en raison de l'accentuation des phénomènes extrêmes tels que la sécheresse et les inondations. L'économie du pays, étant très dépendante des ressources en eau, de l'agriculture et du littoral, serait fortement atteinte (Ministère délégué auprès du Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Environnement)

II-3- Stratégie du Maroc face au changement climatique

Le lutte contre le changement climatique a été placée comme priorité nationale dans le cadre d'une vision globale d'un développement durable résilient aux impacts négatifs du changement climatique et construire une économie verte au Maroc. Et comme stratégie d'atténuation et d'adaptation au changement climatique, Notre pays à instaurer des piliers d'une action volontariste dans différents secteurs, dans le cadre d'une Politique du Changement Climatique au Maroc (PCCM) qui touche plusieurs secteurs :

II-3-1 Plan National de lutte contre le Réchauffement Climatique (PNRC)

Le PNRC a été présenté à l'occasion de la COP 15 à Copenhague engage le pays sur une politique de lutte contre le réchauffement climatique et recense le portefeuille des actions gouvernementales pour lutter contre le réchauffement climatique.

Le PNRC constitue un outil fort de mobilisation des ressources nécessaires aux investissements programmés. Les mesures d'atténuation du PNRC sont susceptibles d'apporter une réduction des émissions de gaz à effet de serre évalué à 53 millions de t-eq CO₂/an à l'horizon 2030 ; elles concernent principalement les secteurs de l'énergie, des transports, de l'industrie, des déchets, de l'agriculture, de la forêt et de la construction.

II-3-2 Plan solaire Marocain

Le programme solaire marocain vise l'installation d'une capacité de 2000 MW d'énergie solaire (CSP et PV) à l'horizon 2020. Son coût total est estimé à 9 Milliard \$US. Ce programme produira environ 4500 GWH par an à partir de 2020 et évitera environ 3.2 M t Eq-CO₂ par an.

Pour mettre en évidence ce programme, l'Etat Marocain a créé en mars 2010 une société dédiée dénommée MASEN qui est dotée d'un capital initial de 70 Million \$US détenu à parts égales par Etat, le fonds Hassan II et l'ONEE. Dans le cadre de supranationalisation du Programme, cinq sites ont déjà identifiés, qui sont Ain Beni Mathar (400MW), Ouarzazat (500MW : Nour I, II et III), Sebkhah (500MW), Fom El Oud (500MW) et Boujdour (100MW).

II-3-3 Plan Maroc vert

La stratégie de relance du secteur agricole (PMV), lancée en 2008 vise à assurer une modernisation accélérée et un développement équitable et durable du secteur. Cette stratégie ambitionne de mobiliser 10 Milliard de Dh/an à l'horizon 2020.

II-3-4 Programme pour d'efficacité énergétique

L'efficacité énergétique englobe l'ensemble des techniques, technologies et pratiques qui permettent d'utiliser moins d'énergie pour assurer la même qualité et niveau de service de confort. Conscients des avantages et des bénéfices de l'efficacité énergétique, le Maroc a fixé dans le cadre de la nouvelle stratégie énergétique, un objectif de réduction de la demande en énergie de 12% à l'horizon

2020 et de 15% à l'horizon 2030. La répartition des économies escomptées par secteur est de 48% pour l'industrie, 23% pour le transport, 19% pour le résidentiel et 10% pour le tertiaire (CHAKRI.S, 2016).

II-3-5 La stratégie nationale de l'eau

Grâce aux efforts déployés depuis l'indépendance, le Maroc s'est doté d'une bonne maîtrise de ses ressources en eau rares, et d'une infrastructure fiable pour la satisfaction des besoins en eau des centres urbains et de l'irrigation par la mise en place de sa Stratégie Nationale de l'Eau, établie à l'horizon 2030,

Ses principaux objectifs :

- L'intégration et la mise en cohérence des programmes et des politiques de l'aménagement du territoire, de l'eau et de l'environnement ;
- le renforcement de la gestion décentralisée, concertée et participative des ressources en eau, et la poursuite des réformes législatives et réglementaires ;
- l'adoption d'un plan national de l'eau dont les orientations sont largement débattues, concertées et appropriées par les acteurs concernés.

CHAPITRE II : METHODOLOGIE ET MATERIEL

I- La région Marrakech-Safi

I-1- Le cadre général de la région

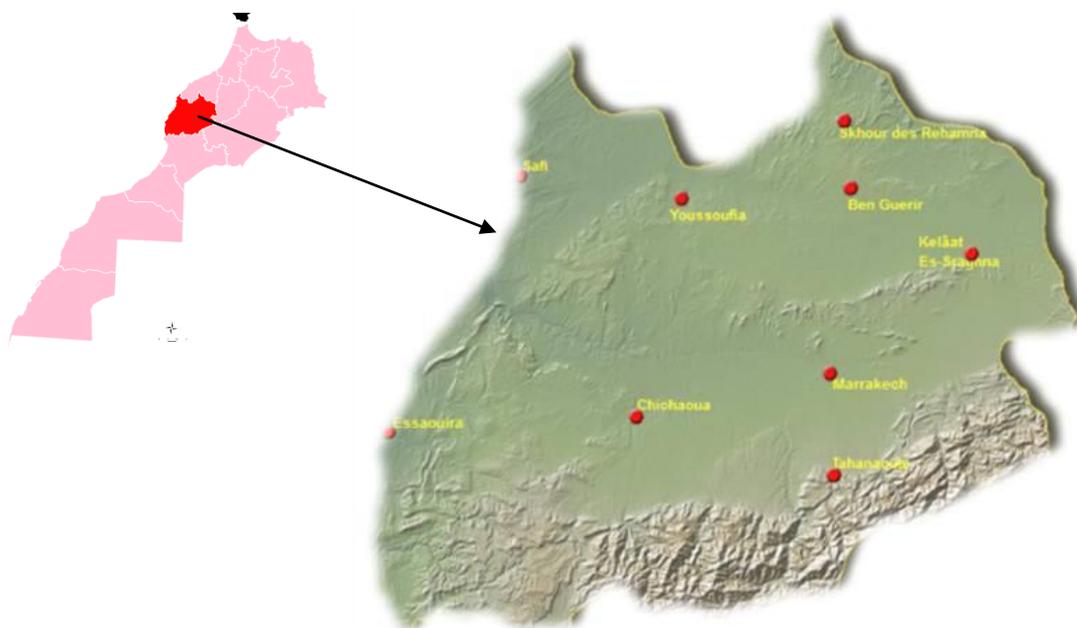


Figure 7 : Carte de la Région Marrakech-Safi

La région Marrakech Safi dispose d'un cadre géographique très varié, composé de 7 grands ensembles naturels : le massif de Rhamna, la plaine de Bahira-Gantour, la chaîne des jbiilet, le Haouz de Marrakech, le Bassin d'Essaouira-Chichaoua, l'ancien massif du Haut Atlas, le Haut Atlas Occidental et enfin les plaines de Doukala, Abda et Ahmar (Figure7).

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

La population

Suivant le RGP 2014 du Haut-commissariat au Plan, la population de la région est de 4,52 Millions d'habitants, soit 4,51 Millions d'habitants marocains et 8.636 habitants étrangers D'autre part, le nombre de ménages est de 928.120 ménages (OREDD Marrakech Safi, Programme ACCN, 2015).

Climat de la région

Le climat est aride ou semi-aride en général et sub-humide à humide dans l'Atlas et le littoral. La pluviométrie y est très variable: 50% du territoire n'enregistre que des niveaux inférieurs à 300 mm par an et presque 30% à une pluviométrie comprise entre 300 et 400 mm par an (ABHT, 2011).

Ressources en eau

En matière de ressources en eau, la région dispose d'eaux superficielle et souterraine assez importantes: en effet, on note l'existence de deux grands bassins versants: le Tensift et Oum Erabii, formés à leur tour par plusieurs sous-bassins versants qui drainent le versant Nord du Haut Atlas avec des apports d'origine pluvionivale. Les eaux des oueds sont captées à la sortie de la montagne par des séguias et des barrages et ne coulent que rarement dans les plaines lors des crues.

Les ressources en eau de surface sont limitées et caractérisées par une irrégularité spatiale et temporelle. Les apports moyens annuels drainés sont évalués à près de 877,5 Mm³/an (ABHT, 2011). En outre, la région bénéficie d'un transfert de 300Mm³ à partir du bassin de l'Oum-Er-Rbia à travers le canal de Rocade dont 40Mm³ pour l'AEP (Alimentation en Eau Potable) de la ville de Marrakech et 260Mm³ pour l'irrigation du périmètre du Haouz central.

En ce qui concerne les eaux souterraines, les principales nappes exploitées sont celles du Haouz, de Mejjat, d'Essaouira-Kourimat, du Sahel, de la Bahira et la nappe du bas-Tensift. Le potentiel des ressources en eau souterraines utilisable correspondant aux ressources renouvelables est estimé à près de 451 Mm³/an. Bien que limitées, ces ressources sont fortement sollicitées (ABHT, 2010 ; ABHOR, 2009) :

- 519,5Mm³/an sont actuellement prélevés ;
- Les ressources supplémentaires exploitables sont estimées à près de 28Mm³/an.

L'agriculture

La région une zone à prédominance rurale où le secteur agricole joue un rôle indéniable dans la formation du tissu économique. L'agriculture occupe plus de 50% de la population active. La superficie agricole utile (SAU) s'étend sur environ un million et demi d'hectares, soit 17,3% de la SAU nationale, dont plus de 60% sont généralement réservés à la céréaliculture (HCP, 2008). Les superficies irriguées représentent environ 20% de la superficie agricole utile.

La production céréalière représente 12,5% de la production nationale. La région produit également des fruits et légumes et est la première en production de l'olivier qui s'étend sur une superficie de plus de 126 mille hectares (OREDD Marrakech Safi, Programme ACCN, 2015).

Forêt et sol

La ressource forestière de la région subit une dégradation substantielle : un déboisement, une surexploitation et un surpâturage accru de toutes les ressources forestières et plus particulièrement de l'Arganier et du Thuya.

La ressource en sol (terrains agricoles) connaît une extension urbanistique et touristique au dépend des terres agricoles, une agriculture intensive, une désertification, une sécheresse et une érosion hydrique poussée. En plus de l'abondance des carrières au niveau des oueds comme Oueds Issil, Tensift, Ghmate et l'exploitation excessive des matériaux de constructions qui fragilisent davantage la ressource en sol (OREDD Marrakech Safi, Programme ACCN, 2015).

I-2 Analyse des tendances climatiques de la région Marrakech-Safi

L'analyse climatique de la région d'une série temporelle de 55 ans a été effectuée sur deux volets :

- Analyse des tendances en ayant recours les indices
- Analyse des scénarios futurs

I-2-1- Les données Météorologiques

Les données que nous utiliserons dans ce travail présentent une série Météorologique observées de températures moyennes, températures maximales, températures minimales et cumul de précipitations pour la période 1961-2015 fournis par l'Observatoire régional de l'environnement et de Développement durable.

I-2-2- Ré-analyse NCEP à basse résolution

Ces données sont le fruit d'un projet des Etats-Unis d'Amérique appelé «NCEP/NCAR». C'est un projet commun entre les NCEP (National Centers for Environmental Prediction) et le NCAR (National Center for Atmospheric Research) dont le but est de fournir de nouvelles Ré-analyses atmosphériques en utilisant les données historiques et les systèmes d'assimilations et produire l'analyse de l'état de l'atmosphère actuelle.

I-2-3- Scénarios de changement climatique HadCM3 à basse résolution

Les scénarios HadCM3 (Hadley Centre Coupled Model) sont des scénarios de changements climatiques qui représentent une description du climat possible dans le futur, fondée sur des hypothèses à l'égard du fonctionnement du climat de la Terre, des niveaux futurs de la population mondiale, de l'activité économique et des émissions de gaz à effet de serre. Les projections sont calculées par les climatologues

à partir de modèles atmosphériques qui transforment des hypothèses d'émissions de gaz à effet de serre (notamment, le CO₂) en projections climatiques.

Les modèles sont en fait des représentations simplifiées et manipulables de l'atmosphère. Ces projections climatiques se basent sur des représentations de ce que pourrait être le monde jusque l'an 2099. Les membres du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) ont appelé scénarios ces représentations du futur, qui conduisent chacun à des trajectoires d'émissions mondiales de gaz à effet de serre très différentes. Il faut cependant bien comprendre que les scénarios ne sont ni des prédictions ni des prévisions. Les scénarios ne sont qu'une partie plausible des futurs possibles. Dans cette étude, nous avons eu recours à deux scénarios de changements climatiques : un scénario A2 et un scénario B2.

A2 : Il s'agit d'un scénario pessimiste qui décrit un monde où la population est en rapide augmentation, avec une croissance économique forte qui repose sur des technologies polluantes dans un monde devenu protectionniste avec des inégalités croissantes entre le Nord et le Sud. Il y a un recours persistant aux énergies fossiles, et une croissance économique inégale selon les régions.

B2 : Il s'agit d'un scénario optimiste (ou moins pessimiste) qui décrit un monde où l'accent est placé sur les solutions locales, dans un sens de viabilité économique, sociale et environnementale. La population mondiale s'accroît de manière continue mais à un rythme plus faible que dans A2. Il y a des niveaux intermédiaires de développement économique et l'évolution technologique est moins rapide et plus diverse.

I-3 Outil d'analyse des projections : SDSM

Le modèle statistique SDSM (Statistical DownScaling Model) est un modèle basé sur des techniques statistiques de réduction d'échelle, cette dernière regroupe les techniques utilisées pour obtenir des données climatiques à plus haute résolution à partir d'une sortie d'un modèle de circulation générale (MCG) à résolution plus grossière.

Ces données climatiques obtenues regroupent une série quotidienne des paramètres météorologiques (température moyenne, température maximale, température minimale et précipitations) à l'horizon 2099 afin d'évaluer les répercussions des changements climatiques locaux au moyen d'une technique robuste de réduction d'échelle statistique. C'est un hybride entre un générateur stochastique de données météorologiques et une méthode de régression linéaire multiple qui facilite le développement rapide de multiples scénarios en un seul site pour les variables météorologiques quotidiennes dans des conditions de forçages climatiques actuels et futurs

SDSM a été conçu pour aider l'utilisateur à identifier les variables climatiques globales (les variables *prédicteurs*) qui expliquent la majeure partie de la variabilité

climatique (du *prédicteur*) en un lieu particulier, et des modèles statistiques sont alors construits à partir de ces informations



Figure 8: Statistical DownScaling Model (SDSM)

La tâche qui consiste à réduire l'échelle statistique des séries de données météorologiques quotidiennes est subdivisée en sept étapes successives dans le logiciel SDSM. Il s'agit de contrôle de qualité et transformation des données; sélection préalable des variables; prédicteurs; calibration du modèle; génération de données météorologiques à l'aide des variables ; prédicteurs observées; analyses statistiques; représentation graphique de la sortie du modèle; et élaboration de scénario à l'aide des variables ; prédicteurs des modèles climatiques

1) Contrôle de qualité et transformation des données

Pour vérifier les données manquantes et les valeurs suspectes d'un fichier d'entrée, il est nécessaire de procéder à un contrôle de qualité des données. La technique de régression utilisée dans SDSM part de l'hypothèse que les données d'entrée sont normalement distribuées.

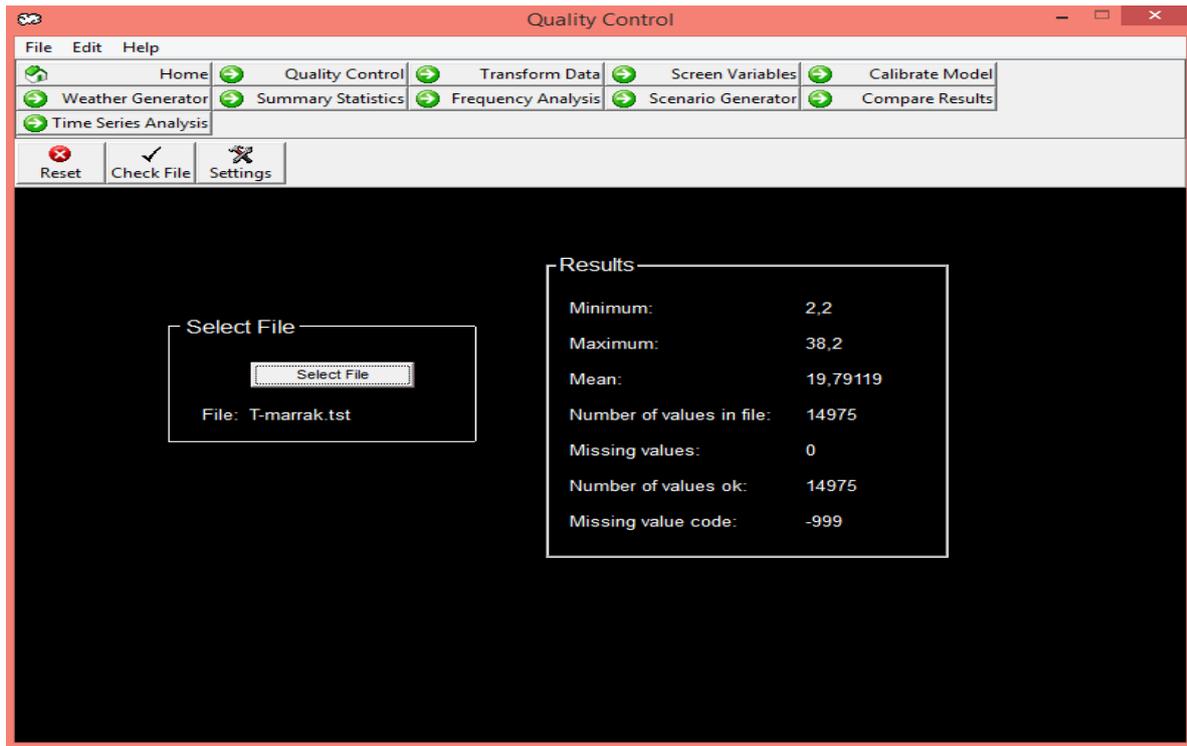


Figure9 : Contrôle de qualité et transformation des données

2) Contrôle des variables

L'écran *Screen Variables* aide l'utilisateur à choisir la réduction d'échelle appropriée des variables prédicteurs pour la calibration du modèle. Ce qui nous permis de repérer et sélectionner les variables prédicteurs souhaitées en identifiant la relation empirique entre les prédicteurs (tels que le niveau moyen de la mer) et les prédictants de site (tels que la station de précipitation).

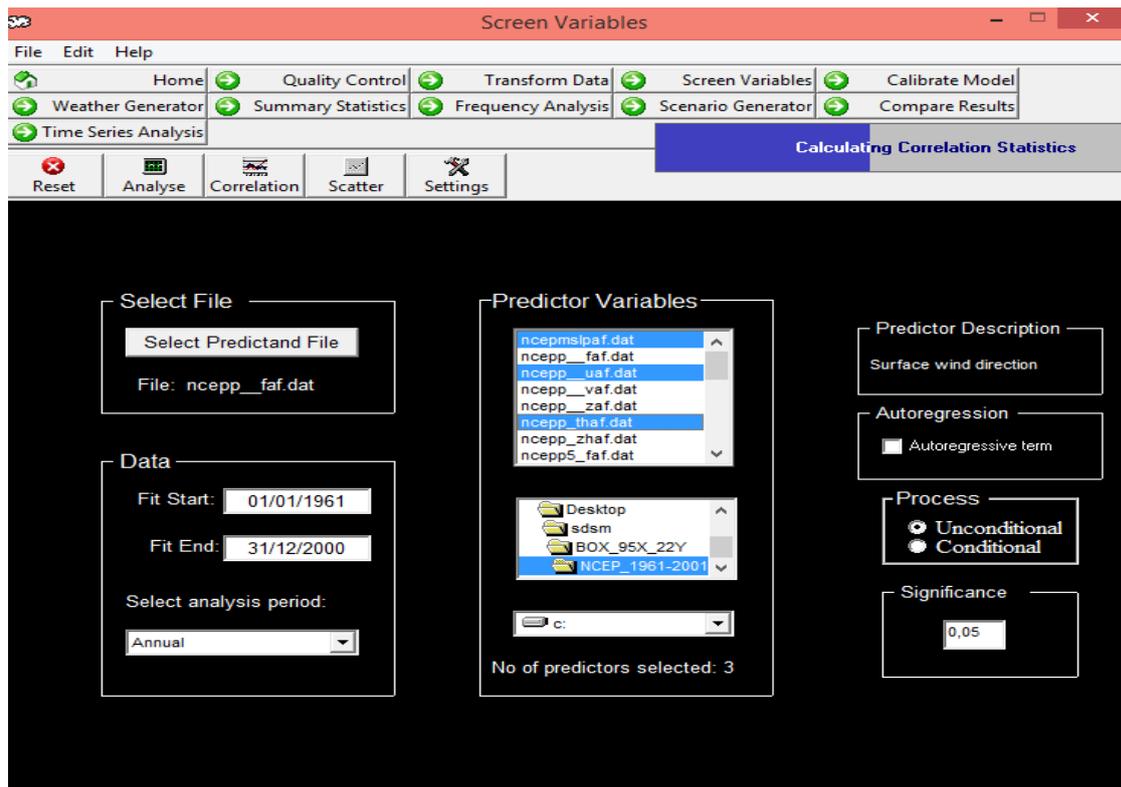


Figure10 : Contrôle des variables

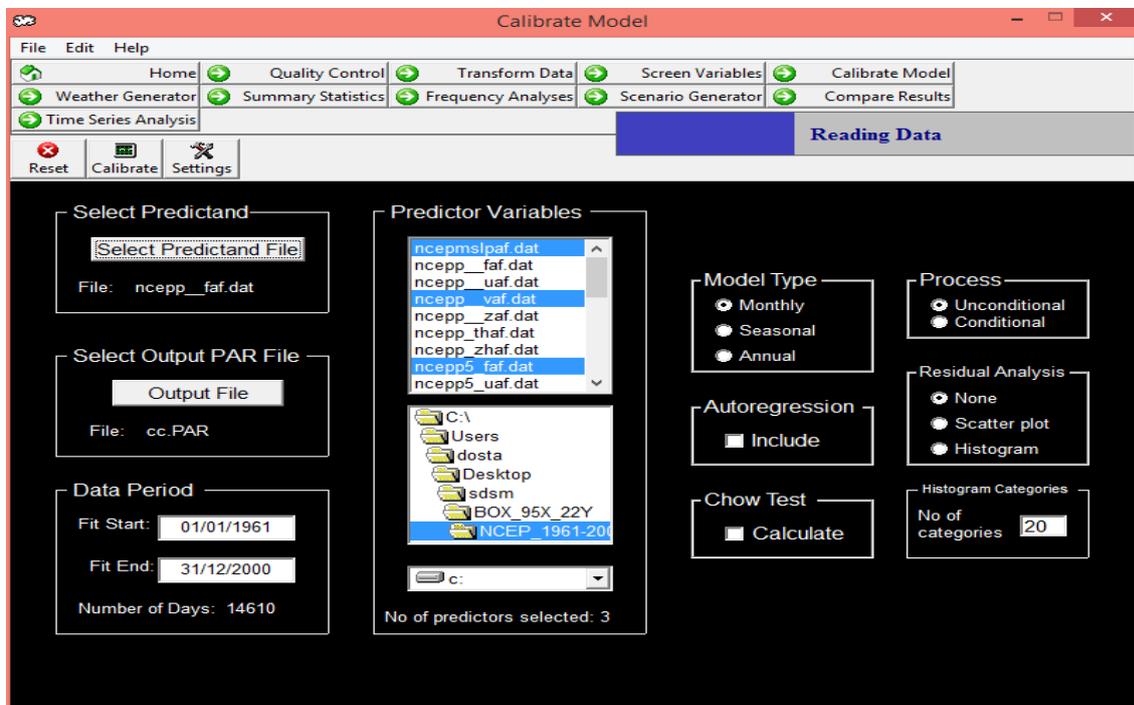


Figure 11 : Calibration du modèle

3) Calibration du modèle

Ce processus a pour effet de construire les modèles de réduction d'échelle en fonction des équations de régression linéaire multiple, compte tenu des prédictands quotidiens (p. ex. température maximale au site en question) et des variables prédicteurs atmosphériques à l'échelle régionale.

4) Générateur des données météorologiques

Une fois les modèles de régression calibrés, l'étape suivante du processus de réduction d'échelle de SDSM consiste à utiliser ces modèles pour générer des séries de données météorologiques quotidiennes synthétiques en utilisant les variables prédicteurs atmosphériques dans le processus *Weather Generator*. Cette opération permet à l'utilisateur de vérifier les modèles calibrés en les utilisant avec les données indépendantes exclues du processus de calibration, et de faire la synthèse des séries chronologiques artificielles représentatives des conditions climatiques actuelles.

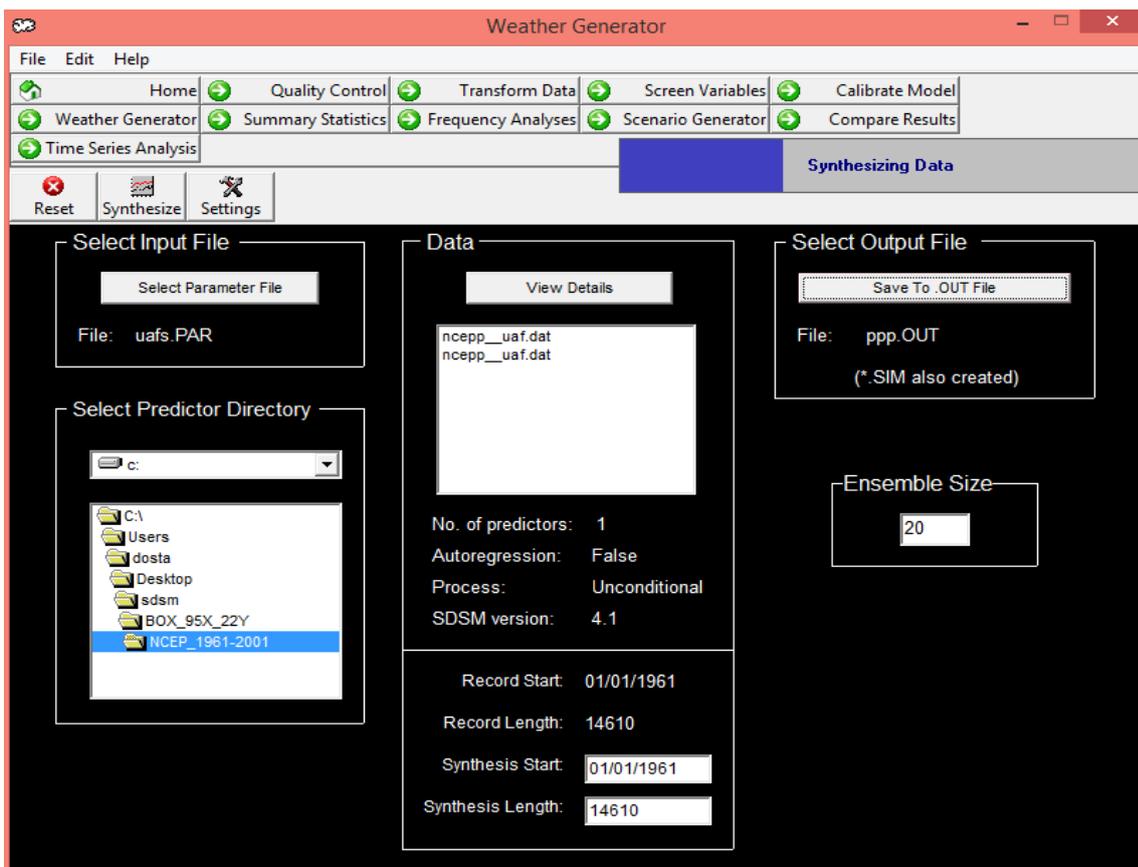


Figure 12 : Génération de données météorologiques

5) Analyse des données

Un certain nombre de statistiques, notamment la moyenne, le maximum, le minimum, la variance, les extrêmes au-dessus/au-dessous des valeurs seuils, les centiles, le pourcentage de journées pluvieuses et la durée des périodes de journées pluvieuses/sèches peuvent être calculées à la fois pour les données observées et les données synthétiques à l'aide de SDSM pour chaque mois civil, saison ou année afin d'évaluer soit les données observées soit les données dont l'échelle a été réduite.

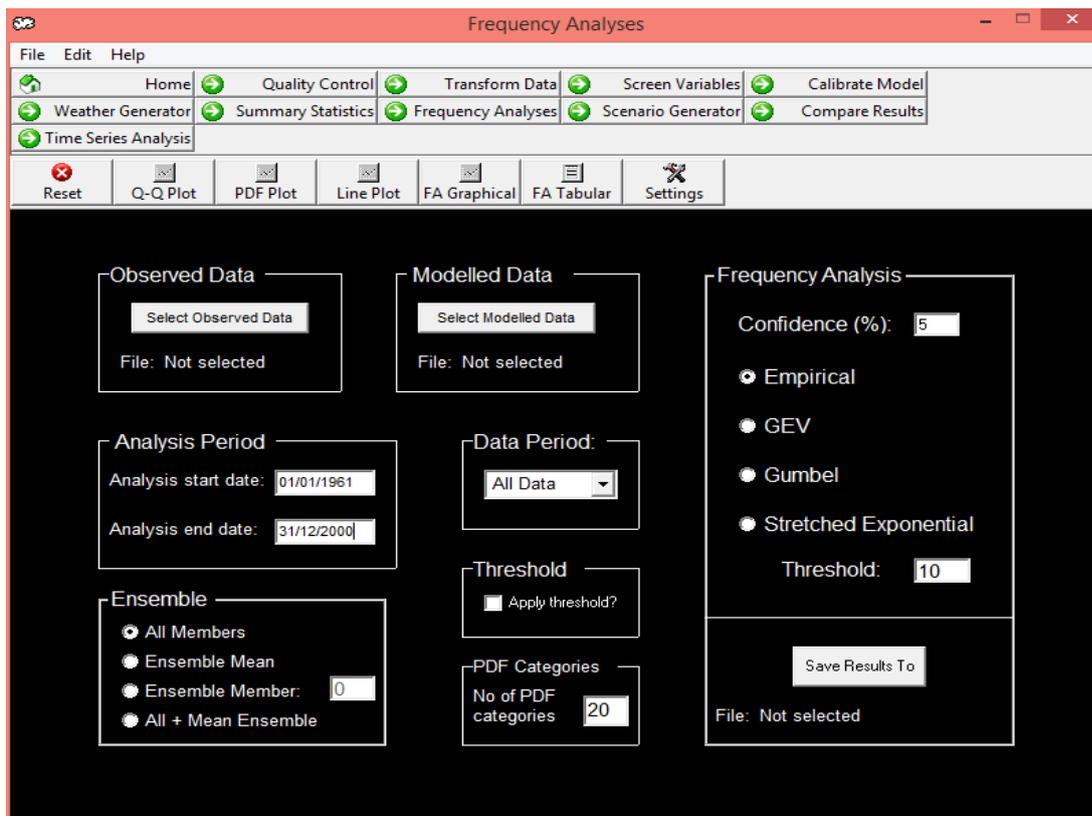


Figure 13 : Analyse des données

6) Génération de scénarios

C'est la dernière étape du processus de réduction d'échelle de SDSM qui permet à l'utilisateur de produire des ensembles de séries de données météorologiques quotidiennes synthétiques à l'aide des variables prédictors atmosphériques quotidiennes fournies par un modèle climatique global (MCG). Ces variables prédictors doivent avoir le même format que les variables prédictors observées, c'est-à-dire qu'elles doivent être normalisées par rapport à la période de référence et qu'elles doivent être disponibles pour toutes les variables utilisées dans la calibration du modèle.

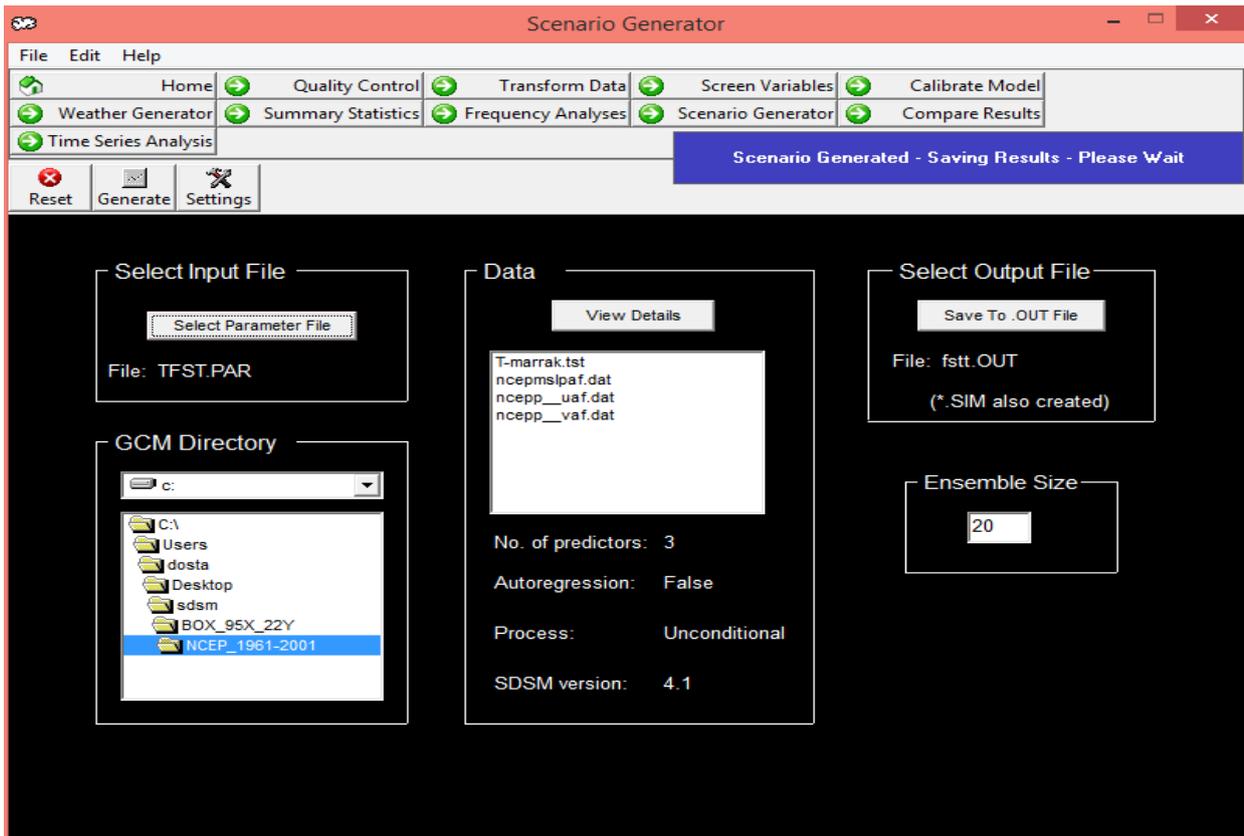


Figure 14 : Générateur des scénarios

II- Présentation générale des indices climatiques

III-1- Indices Thermiques

IV-1-1 SU35 : (indice de chaleur)

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

IV-1-2 ID15 : (indice de froid)

Il correspond au nombre total annuel de jours frais : (le nombre total annuel de jours ayant une température minimale inférieure à 15°C).

IV-1-3 WSDI : (vagues de chaleur)

C'est le nombre total annuel de jours avec au moins six jours consécutifs de température maximale supérieure au percentile 90.

IV-1-4 CSDI : (vagues de froid)

C'est le nombre total annuel de jours avec au moins six jours consécutifs de température minimale inférieure au percentile 10.

III-2 Les indices pluviométriques

III-2-1 Indice Standardisé des Précipitations (SPI)

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

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

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

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

Avec :

P_i = Précipitation de l'année i

P_m = Précipitation moyenne d'une longue série de données

σ = Ecart type

Les classes de la sévérité de la sécheresse selon SPI :

Classification du SPI	
$SPI \geq 2$	Humidité extrême
$1,5 \leq SPI < 2$	Humidité forte
$1 \leq SPI < 1,5$	Humidité modérée
$-1 < SPI < 1$	Normal
$-1,5 < SPI \leq -1$	Sécheresse modérée
$-2 < SPI \leq -1,5$	Sécheresse forte
$SPI \leq -2$	Sécheresse extrême

Tableau 1: Classification du SPI

III-2-2 Rapport à la Normale des précipitations (RA)

Le Rapport à la Normale des précipitations (RA) est un indice qui permet de tracer l'évolution des précipitations d'une année par rapport à la moyenne des précipitations d'une période donnée.

Peut être calculé en utilisant la formule suivante :

$$RA(\%) = (P_i/P_n) \cdot 100$$

Avec **P_i** = précipitation réelle d'une année donnée.

P_n = précipitation moyenne sur une période temporelle.

III-2-3 L'écart à la moyenne (EM)

L'écart à la moyenne est défini comme la différence entre le cumul des précipitations d'une année et le cumul moyen annuel des précipitations sur la période d'observation. C'est l'indice le plus utilisé pour estimer le déficit pluviométrique à l'échelle de l'année.

III-3 Les indices pluviothermiques :

III-3-1- Indice d'aridité de « De Martonne »

Cet indice permet de définir le type de climat d'une zone donnée en fonction de la température et des précipitations observées dans cette zone.

Il s'écrit **$I = P / (T + 10)$**

Avec P : est la hauteur annuelle des précipitations (en mm)

T : la température moyenne annuelle (en °C).

L'aridité est d'autant plus grande que la valeur de I sera plus faible.

Si $I < 10$: le climat est aride

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

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

Si $I > 50$: le climat est équatorial ou montagnard

III-3-2 Quotient pluviothermique et diagramme d'Emberger

Le diagramme d'Emberger permet de délimiter les étages bioclimatiques et de placer une station dans l'un des étages d'Emberger (humide, subhumide, semi-aride, aride et saharien).

Le quotient pluviothermique s'écrit : $Q = 2000 P / (M^2 - m^2)$

P : Précipitations moyennes annuelles en mm

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en degré Kelvin ($^{\circ}\text{C} + 273$)

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en degré Kelvin

Ce quotient croît avec les hauteurs des précipitations, mais décroît avec les amplitudes thermiques, c'est-à-dire avec les différences entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid.

CHAPITRE III : ETUDE DU CLIMAT RECENT DE LA REGION MARRAKECH –SAFI ET SON EVOLUTION (EXEMPLE 1961-2015)

I- Diagnostique du changement climatique dans la région Marrakech-Safi :

Tendance et variabilité

I-1 Températures

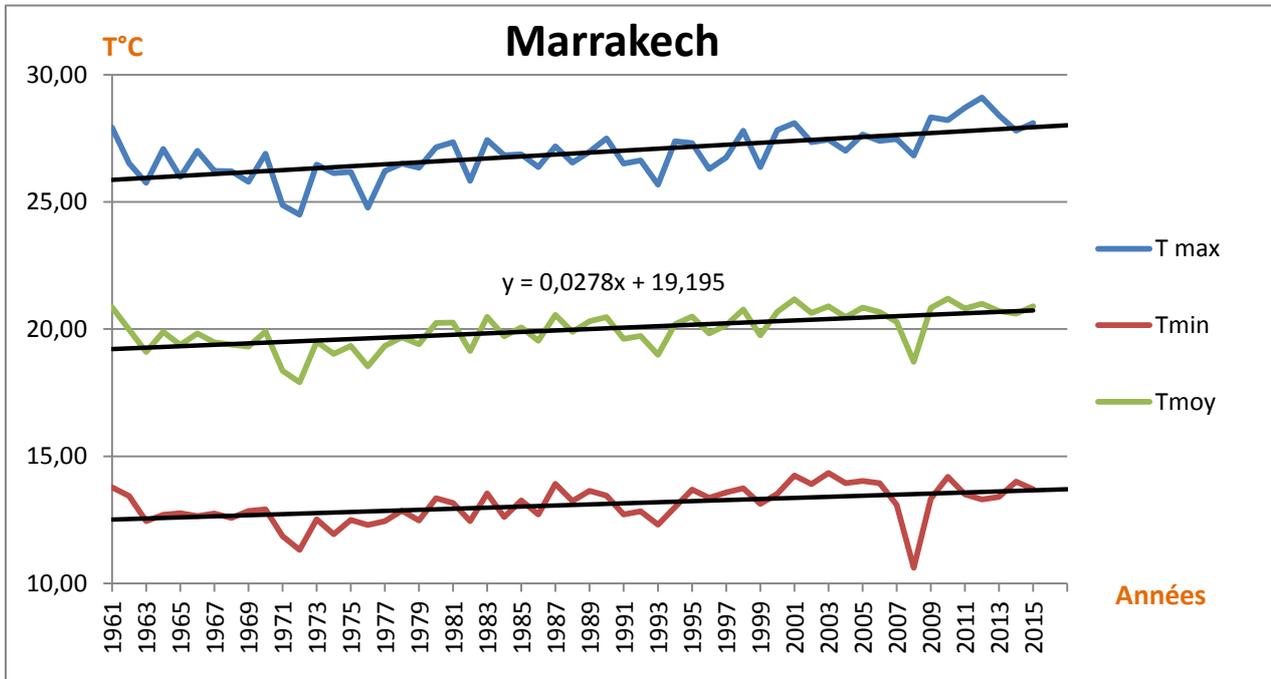


Figure 15 : Tendance des températures maxima, minima et moyennes annuelle de la ville de Marrakech (1961-2015)

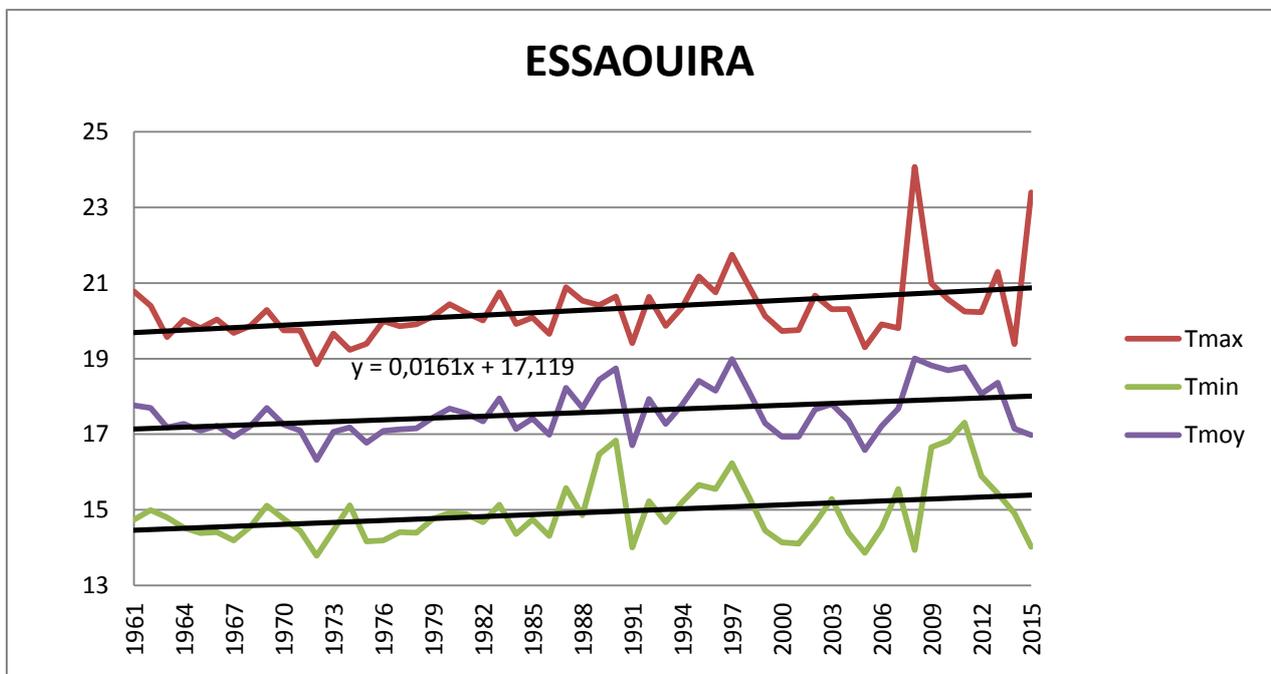


Figure 16 : Tendance des températures maxima, minima et moyennes annuelle de la ville d'Essaouira (1961-2015)

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 pour les deux villes Marrakech et Essaouira.

Pour la température annuelle minimale on peut voir que la tendance de changement reste la même. Ainsi, la hausse la plus importante est enregistrée en 2009.

I-2-Précipitations

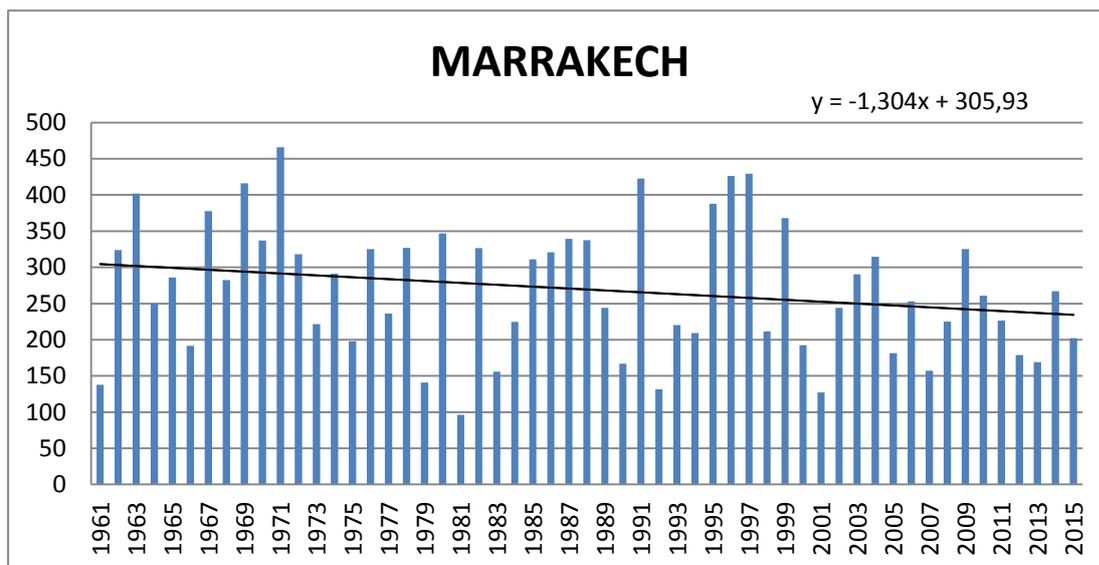


Figure 17 : Tendence des précipitations annuelles dans la ville de Marrakech (1961-2015)

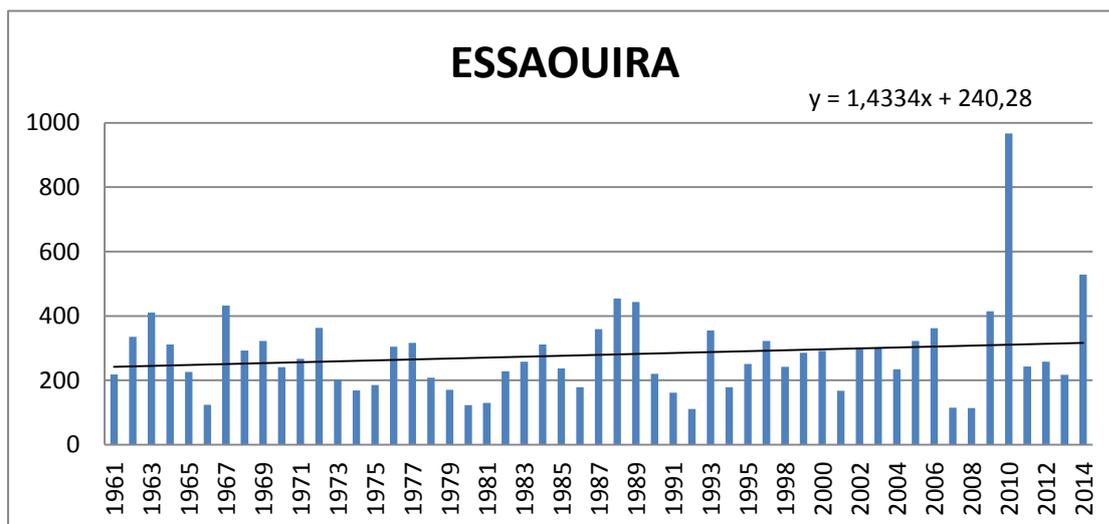


Figure 18 : Tendence des précipitations annuelles dans la ville d'Essaouira (1961-2014)

La série annuelle des précipitations au niveau de la station de Marrakech montre une irrégularité et variabilité spatiale et temporelle très marquée avec une tendance à la baisse des hauteurs annuelles d'environ 70mm, mettant en lumière la diminution globale d'humidité et l'installation régulière d'une sécheresse qui est couplée à la hausse des températures précédemment constatée.

Par contre la ville d'Essaouira est caractérisée par une tendance vers la hausse des précipitations annuelle d'environ 77,55mm, vu son climat particulier.

Par ailleurs, la région Marrakech-Safi est caractérisée par une distribution aléatoire des précipitations due aux reliefs et à la position géographique ce qui influence la difficulté d'analyse de leurs comportement.

II- L'évolution des indices révélateurs du changement climatique

L'étude réalisée sur les séries de températures maximales et minimales et des précipitations dans la région Marrakech-Safi a permis de calculer, à l'échelle stationnaires des deux localités, les variations climatiques enregistrées au cours des 54 ans dernières années, de 1961 à 2015.

II-1- Les Indices pluviométriques

II-1-1- Indice Standardisé des Précipitations (SPI)

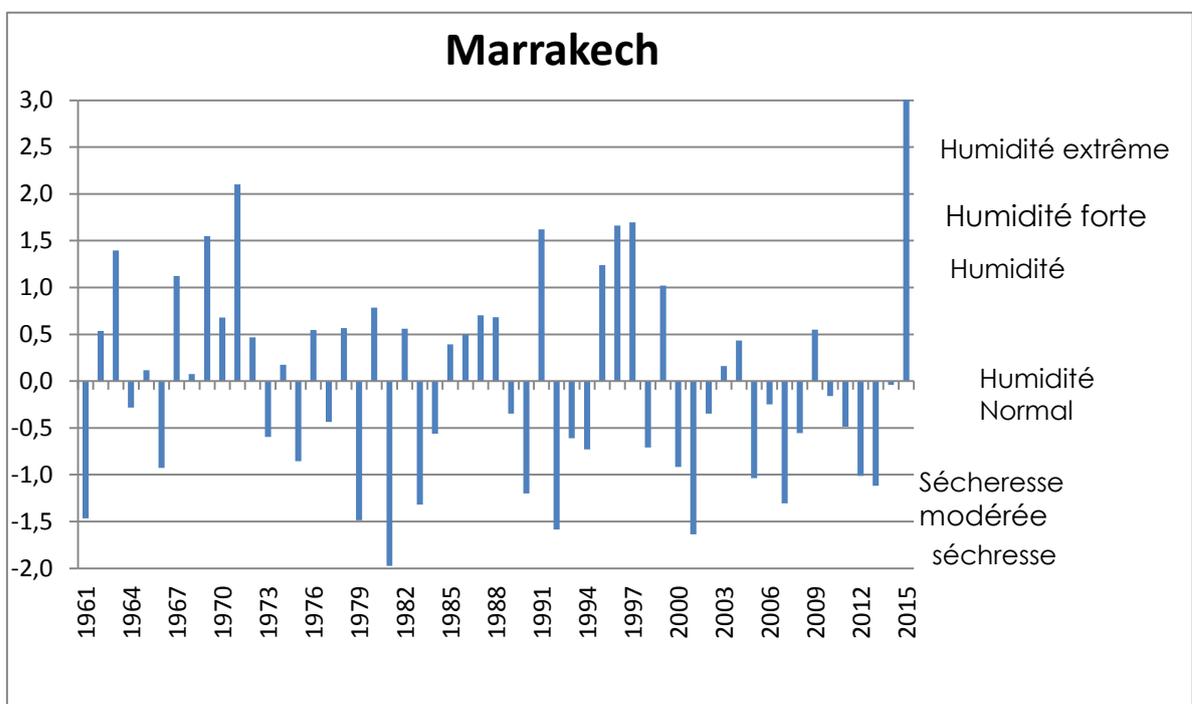


Figure 19 : la répartition des étages bioclimatiques au sein de la ville de Marrakech selon l'indice standardisé de précipitations (1961-2015)

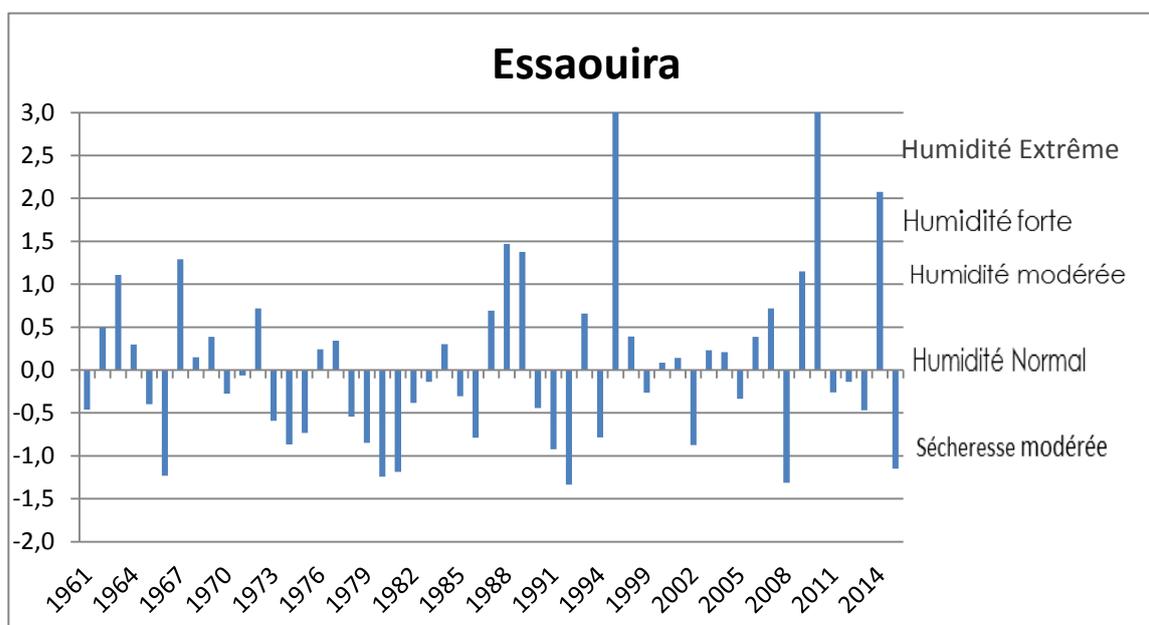


Figure 20 : la répartition des étages bioclimatiques au sein de la ville d'Essaouira selon l'indice standardisé de précipitations (1961-2015)

Selon le diagramme, la ville d'Essaouira a connu sept ans de sécheresses modérées sur la période 1961-2015 et neuf ans de sécheresse modérée sur la même période pour Marrakech (Figures 19 et 20)

Suivant l'analyse de cet indice, la région de Marrakech-Safi est caractérisée par une tendance à l'augmentation de la fréquence des années de sécheresse au fil des années.

II-1-2- Rapport à la Normale des précipitations (RA)

Cet indice est calculé en divisant la précipitation réelle par la normale des précipitations considérée comme moyenne des 54 années, puis en multipliant par 100.

L'importante tendance à la baisse des valeurs de cet indice illustrée par les deux figures (Figures 21 et 22) confirme encore la diminution de la pluviométrie mesurée sur la période étudiée. Par conséquent la situation pluviométrique évolue vers un assèchement aux niveaux des deux villes Marrakech et Essaouira.

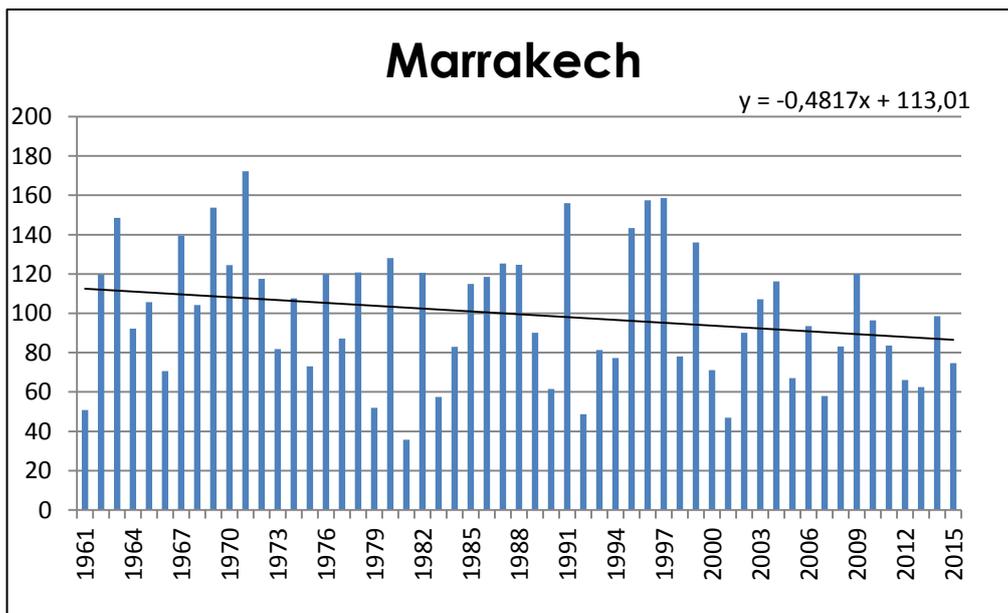


Figure 21: Evolution du rapport à la normale des précipitations à Marrakech

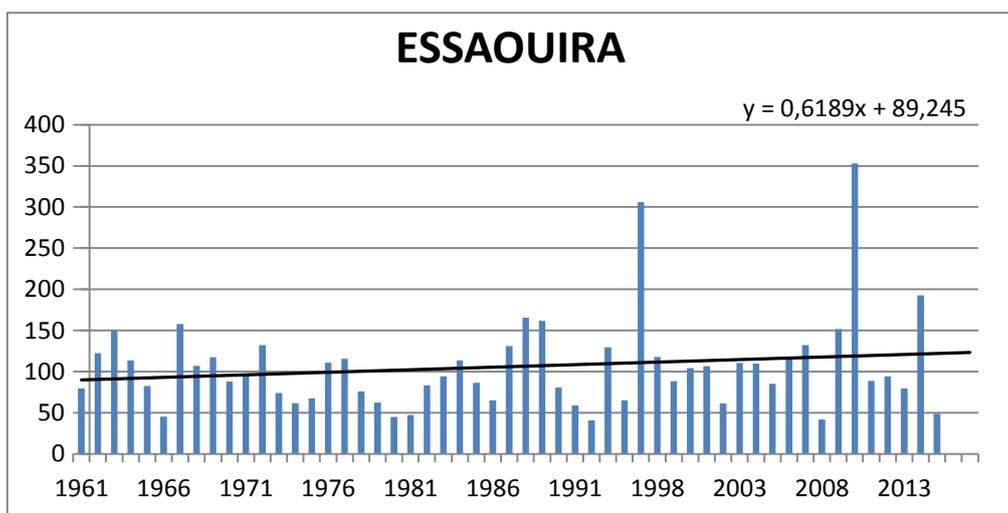


Figure 22: Evolution du rapport à la normale des précipitations à Essaouira (1961-2015)

L'évolution de l'indice du rapport à la normale sur la période 1961-2014 mettant en évidence une tendance à la baisse au niveau de la station de Marrakech et une tendance à la hausse dans la station d'Essaouira vu que cette dernière est caractérisée par une augmentation des hauteurs des précipitations au fil des années.

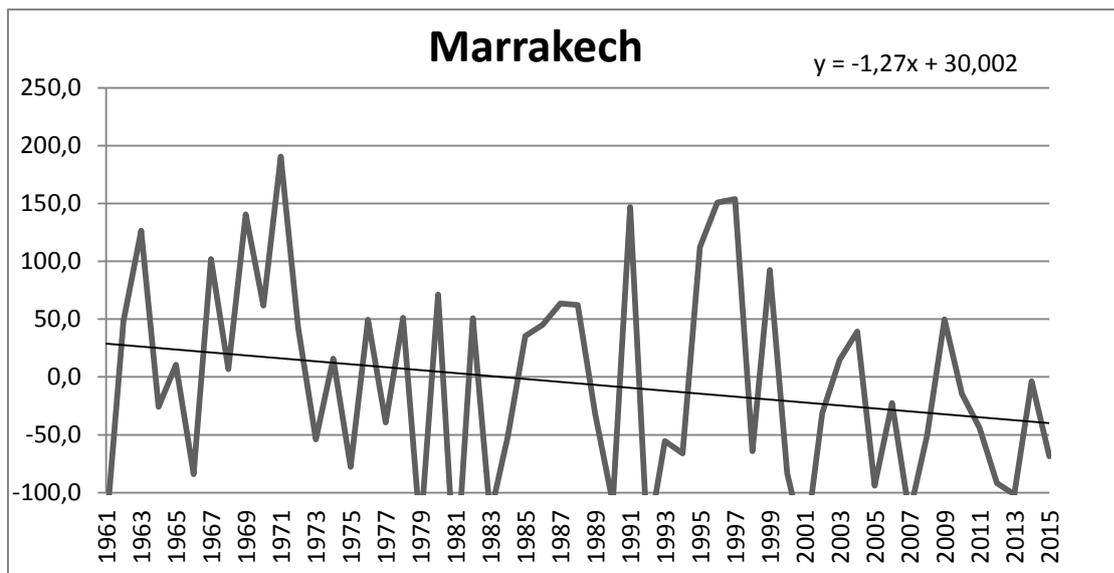


Figure 23 : Evolution de l'écart à la moyenne à Marrakech

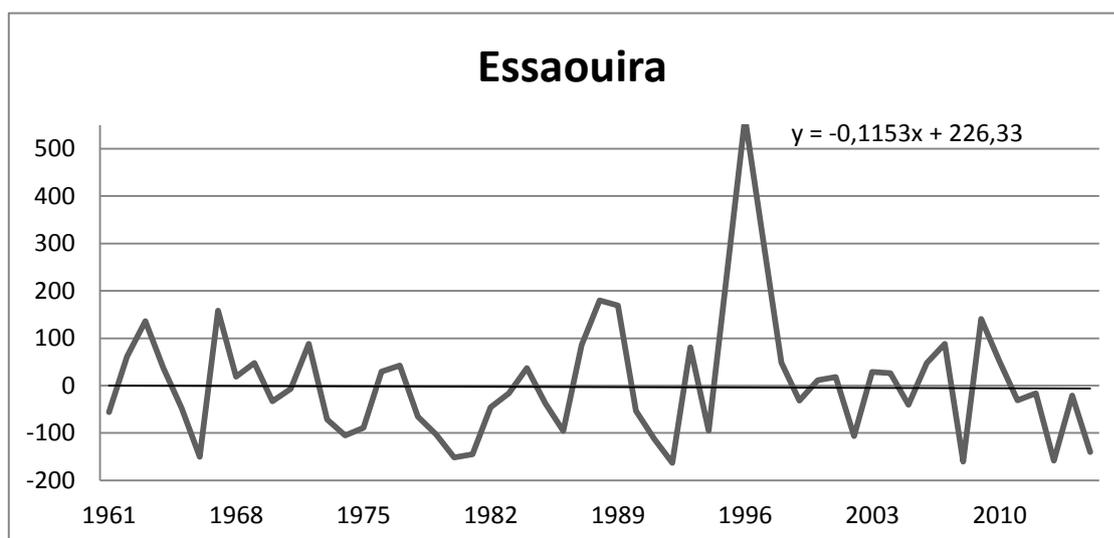


Figure 24: Evolution de l'écart à la moyenne à Essaouira

Selon cet indice, l'écart est positif pour les années dites humides et négatif pour les années dites sèches, on parle donc d'année déficitaire quand la hauteur de la pluie est inférieure à la moyenne et d'année excédentaire quand la moyenne est dépassée.

Cet indice permet de visualiser et de déterminer les années déficitaires en précipitations et leur succession.

On en déduit donc une tendance importante vers la diminution du nombre d'années humides et d'augmentation du nombre d'années sèches plus remarquable pour la ville de Marrakech.

II-2 Les indices thermiques

II-2-1 Indices de chaleurs « SU35 » et « SU30 »

a) Marrakech

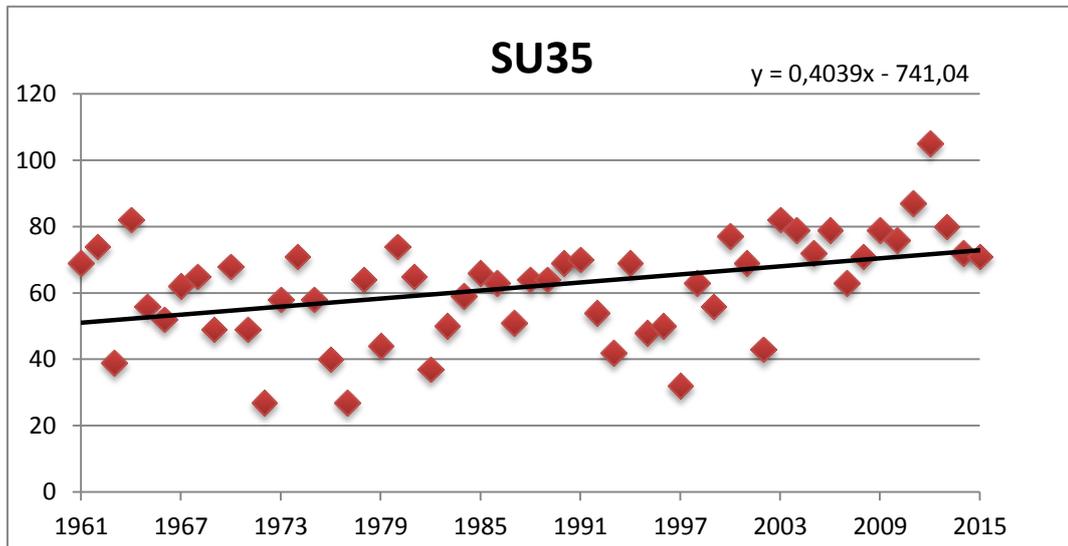


Figure 25 : Evolution de l'indice de chaleurs à Marrakech (SU35) (1961-2015)

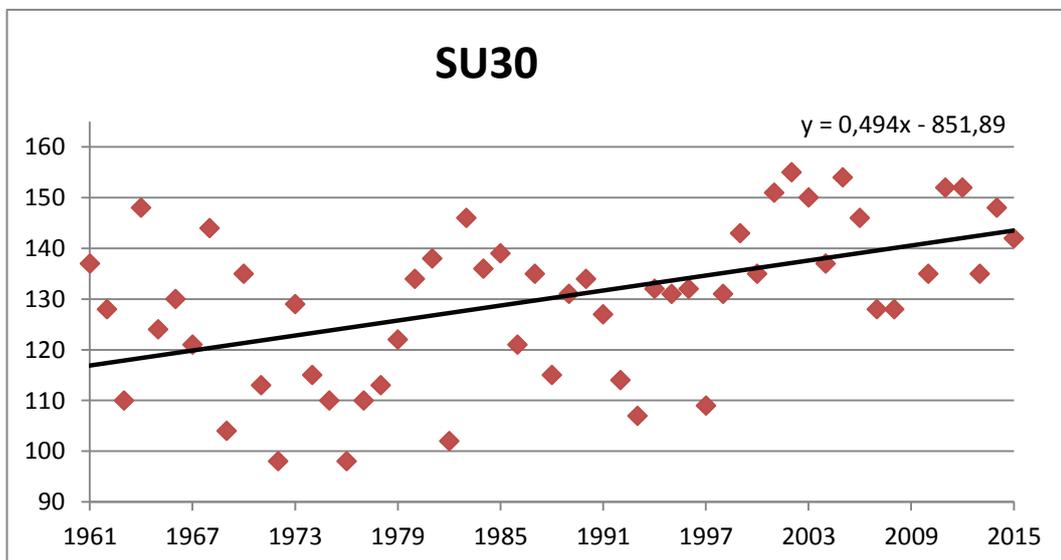


Figure 26 : Evolution de l'indice de chaleurs à Marrakech (SU30) (1961-2015)

b) Essaouira

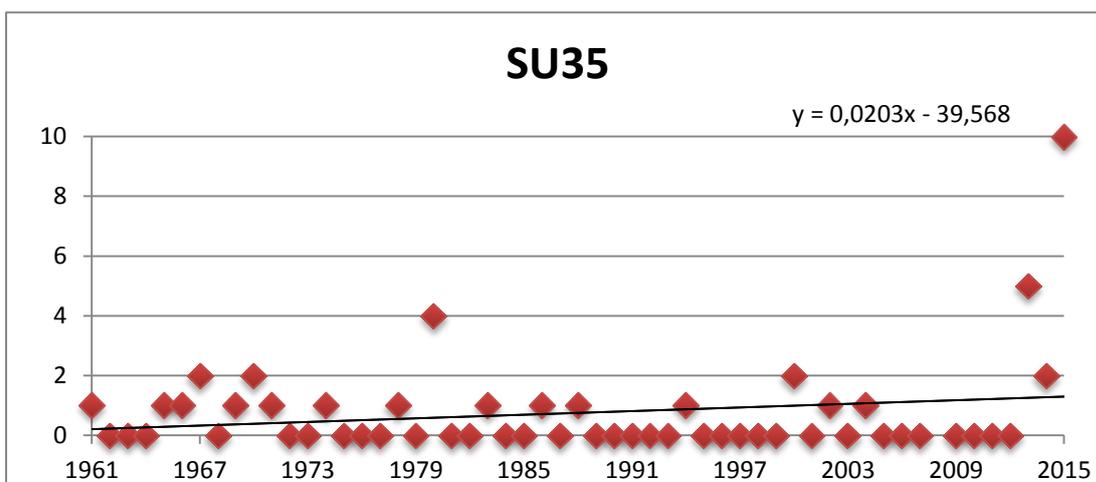


Figure 27 : Evolution de l'indice de chaleurs à Essaouira (SU35) (1961-2015)

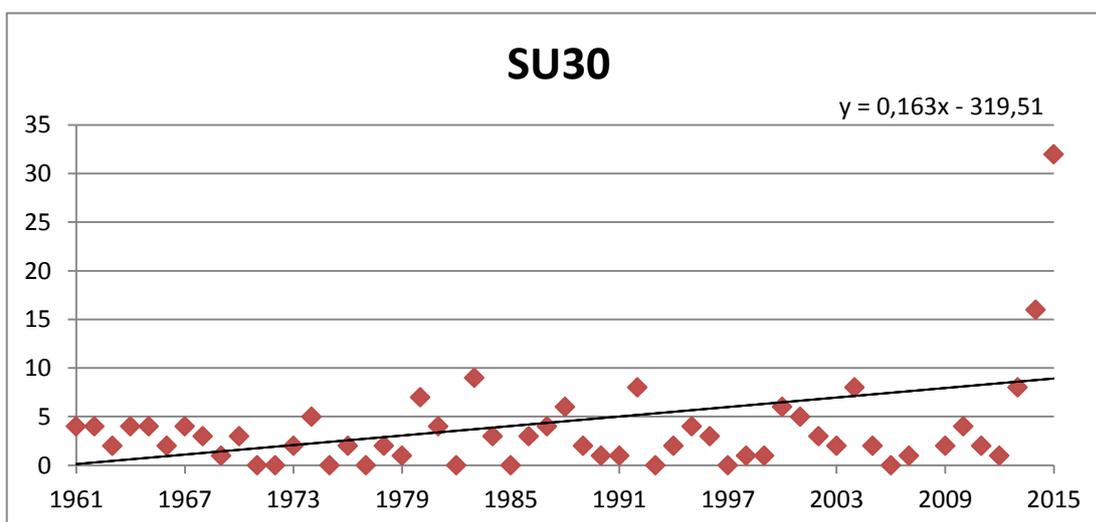


Figure 28 : Evolution de l'indice de chaleurs à Essaouira (SU30) (1961-2015)

SU30 et SU35 désignent le nombre de jours annuels dont la température dépasse 30°C et 35°C. L'importante tendance vers la hausse surtout pour Marrakech montre que le climat évolue vers la sécheresse. A partir de 1998, le nombre de jours chaud inférieurs à 100 n'existent plus à Marrakech.

Celle-ci illustre une augmentation de 27 jours chauds ayant une température supérieure à 30°C en 54 ans, soit +0,5 jours chauds par an et une augmentation de 22 jours chauds ayant une température supérieure à 35°C pour Marrakech.

Pour Essaouira, la courbe de tendance ne marque pas d'évolution considérable de nombre de jours avec une température maximale supérieur à 35°C, or le nombre de jours chauds supérieurs à 30°C augmentent de 9 jours en 54 ans.

II-2-2 Indices de Froids «ID15 » et «ID10 »

a) Marrakech

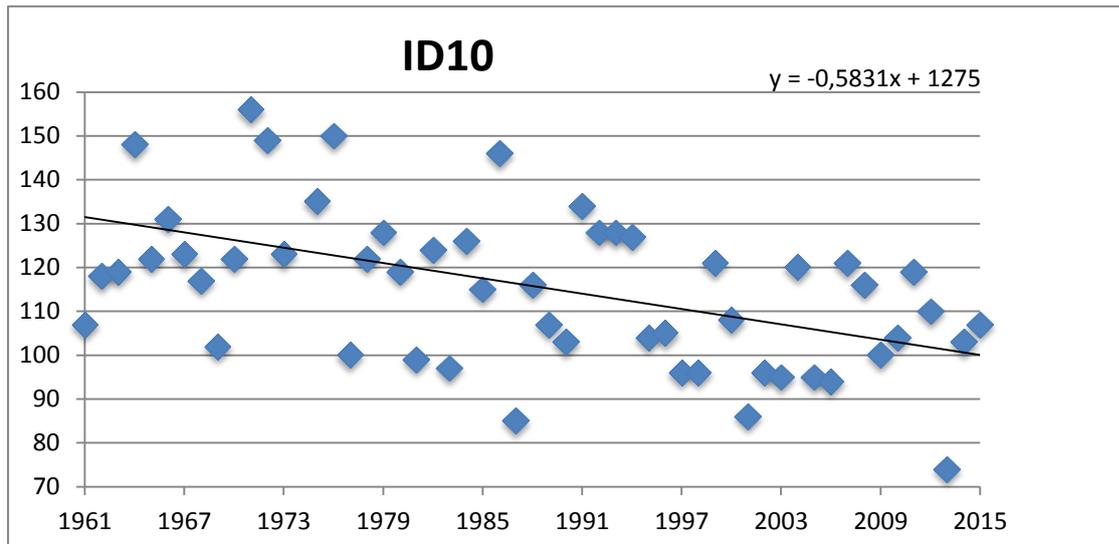


Figure 29: Evolution de l'indice de froid à Marrakech (ID10) (1961-2015)

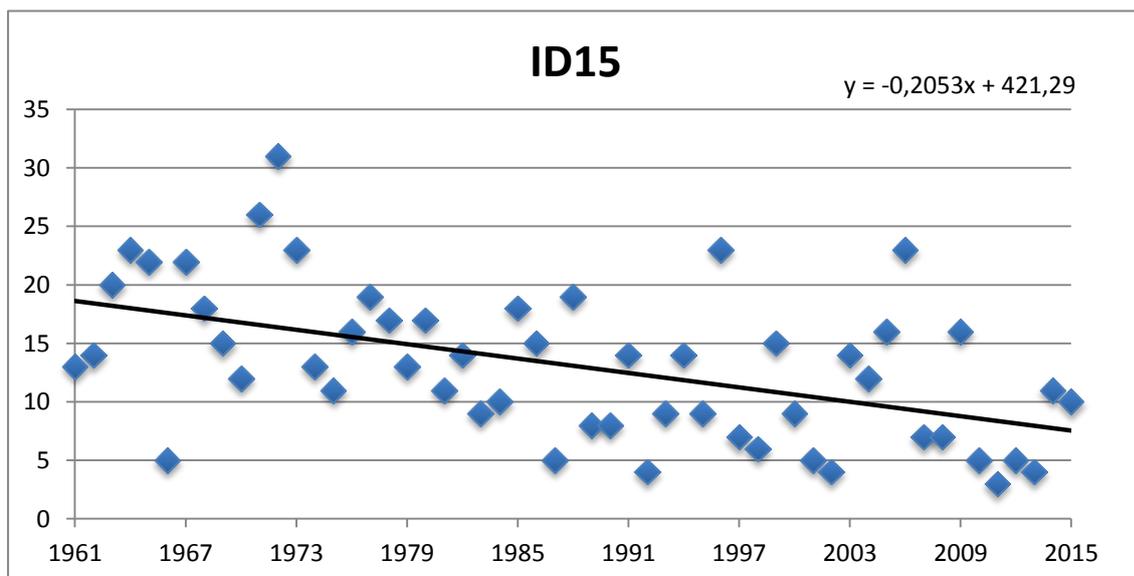


Figure 30: Evolution de l'indice de froid à Marrakech (ID15) (1961-2015)

b) Essaouira

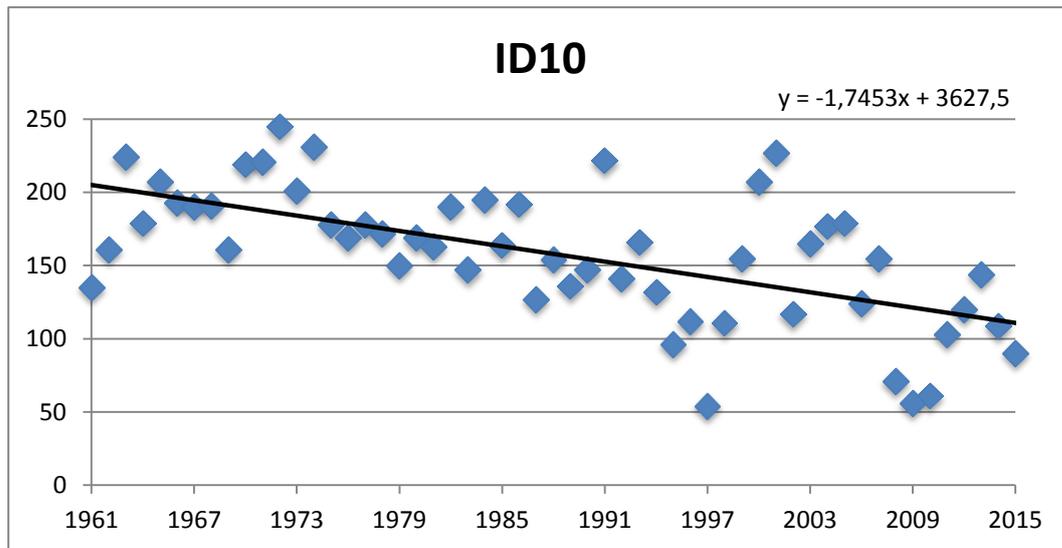


Figure 31: Evolution de l'indice de froid à Essaouira (ID10) (1961-2015)

Les deux figures illustrent une importante tendance vers la baisse, ceci apparaît clairement surtout pour la ville d'Essaouira dont le nombre de jours frais inférieurs à 10 diminuent de 94 jours en 54 ans, soit une perte d'environ 1,75 jour frais par ans. Par ailleurs, la ville de Marrakech a connu une baisse de l'ordre de 32 jours en 54 ans, soit une perte de 0,6 jours frais par an.

II-2-3 Les vagues de froid «CSDI » et de chaleur «WSDI »

a) Les vagues de chaleurs

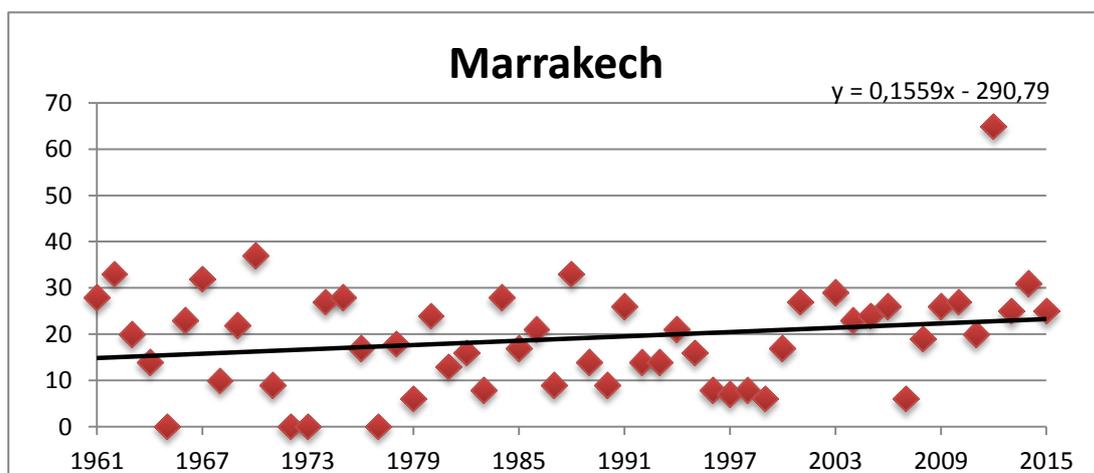


Figure 32: Evolution des vagues de chaleur (CSDI) à Marrakech (1961-2015)

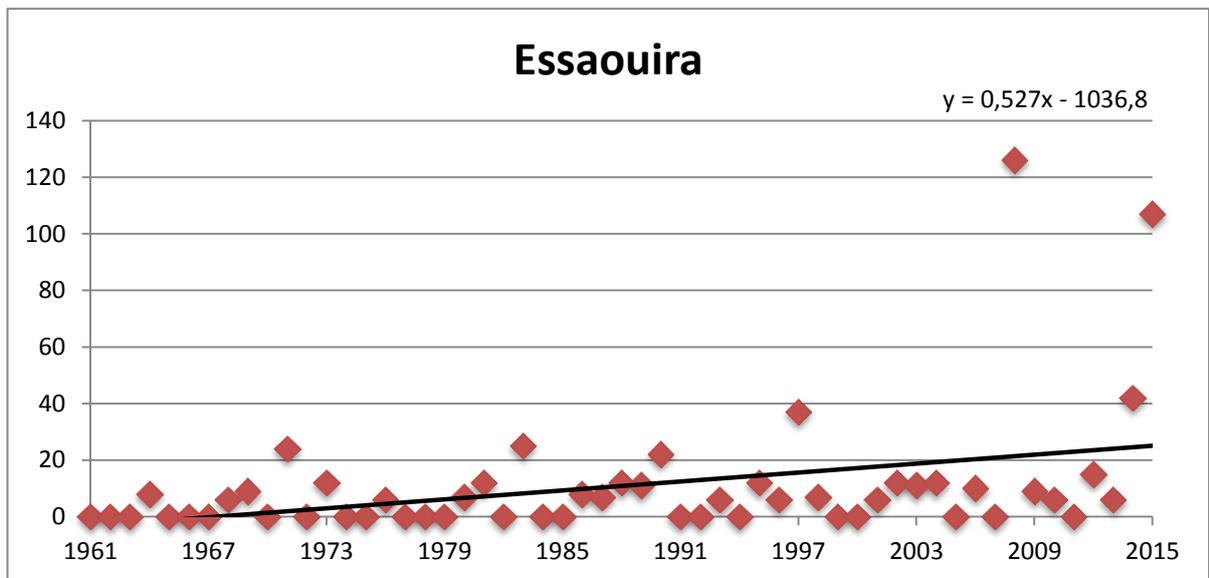


Figure 33: Evolution des vagues de chaleur (WSDI) à Essaouira (1961-2015)

b) Les vagues de froids

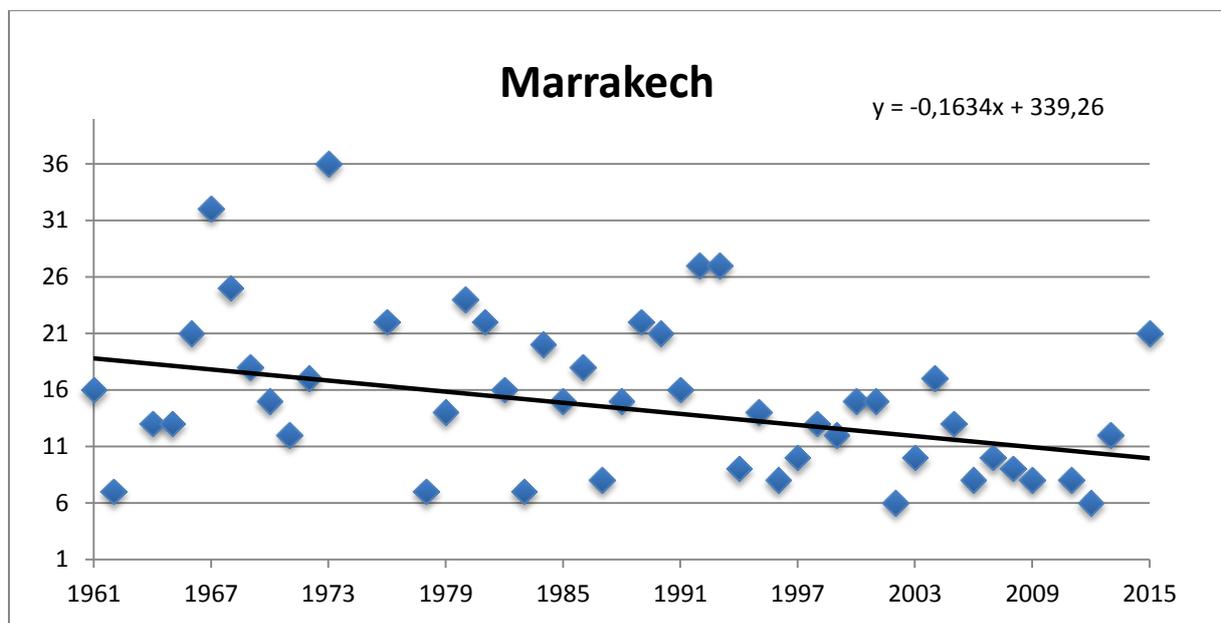


Figure 34: Evolution des vagues de froid (CSDI) à Marrakech (1961-2015)

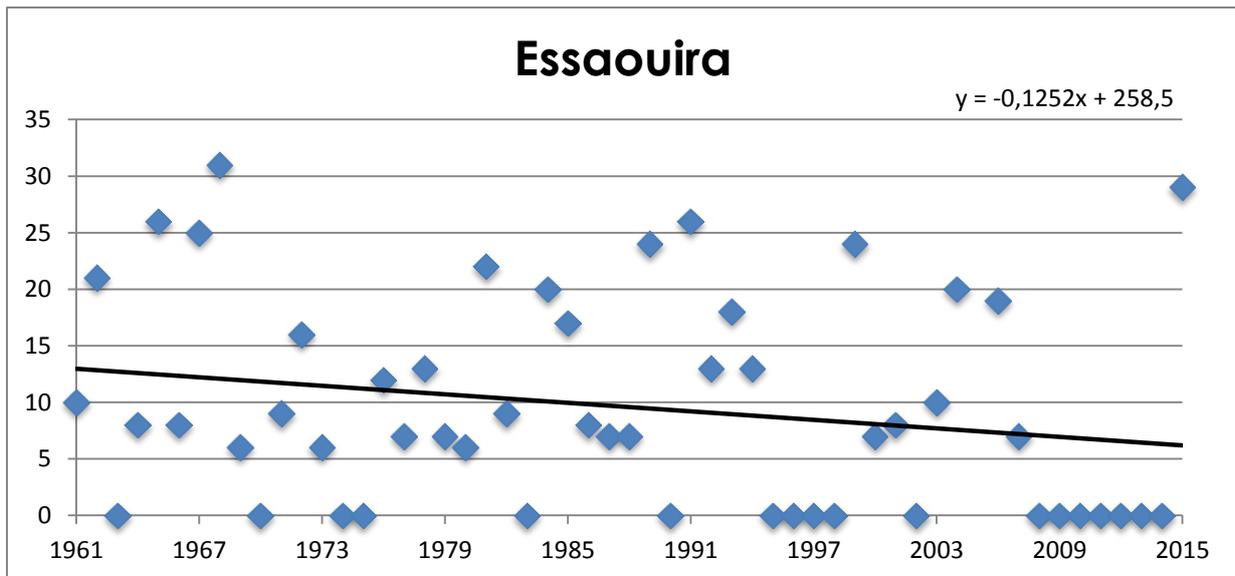


Figure 35: Evolution des vagues de froid (CSDI) à Essaouira (1961-2015)

Pour la ville de Marrakech on constate une augmentation de huit jours dans 54 ans des vagues de chaleurs et une diminution de neuf jours de vagues de froid

Pour la ville d'Essaouira une importante hausse des vagues de chaleurs correspond à 29 jours et une baisse de l'ordre de 5 jours pour les vagues de froid dans la même période étudiée.

Le climat de la région Marrakech-Safi converge donc nettement vers une sécheresse remarquable, ceci a été confirmé par l'importante tendance vers la baisse du nombre des vagues de froid qui est accompagné par une importante hausse des vagues de chaleurs.

Ce déséquilibre climatique est accompagné certainement par des impacts négatifs sur les ressources naturels, ainsi que sur les activités socio-économiques.

II-3 Les indices pluviométriques

II-3-1- Indice d'aridité de « De Martonne »

Le calcul de l'indice d'aridité sur les 3 périodes (1961-1976), (1977-1996) et (1997-2014) nous a permis de déduire le passage du climat semi-aride à aride. Ce résultat est illustré par les diagrammes suivants :

a) Marrakech

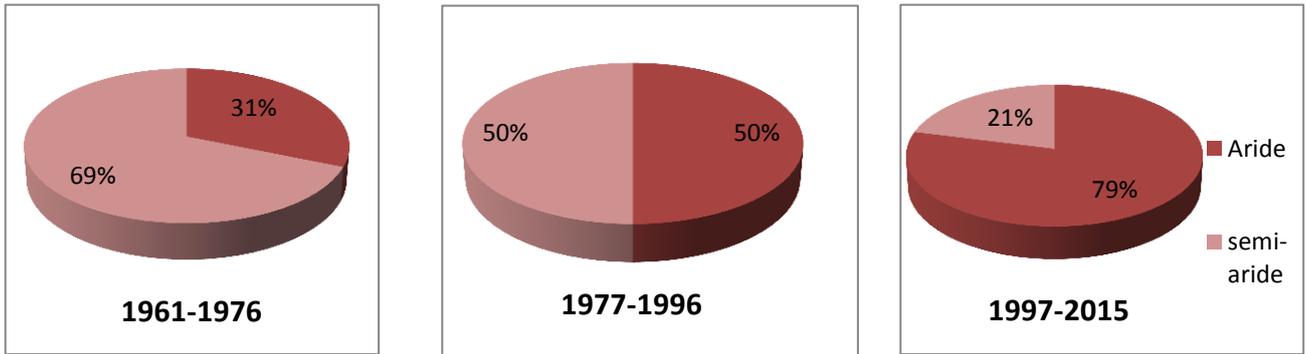


Figure 36: Evolution du type de climat à Marrakech entre les périodes (1961-1976), (1977-1996) et (1997-2015)

b) Essaouira :

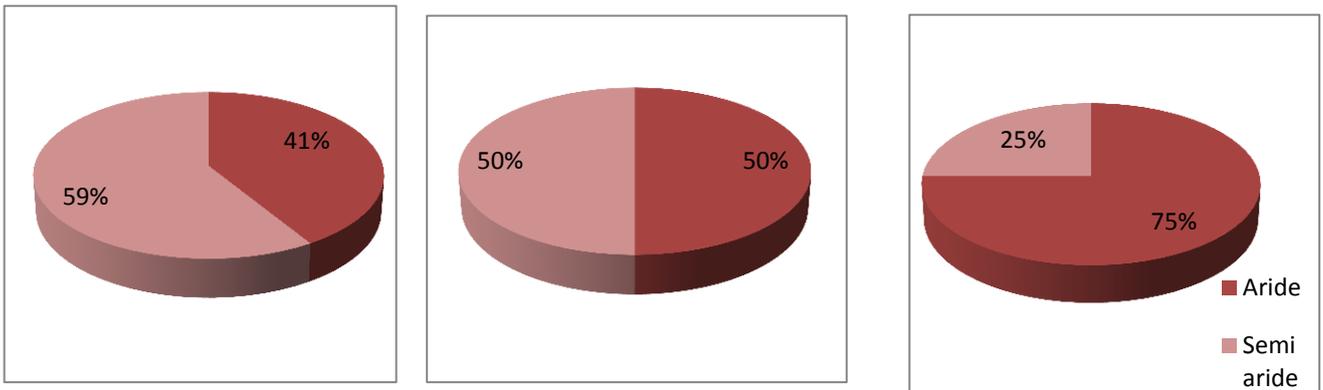


Figure 37: Evolution du type de climat à Essaouira entre les périodes (1961-1976), (1977-1996) et (1997-2015)

II-3-2 Quotient pluviothermique et diagramme d'Emberger

Le quotient pluviothermique correspond à 23,60 pour la ville de Marrakech et 52,4 pour la ville Essaouira.

On peut donc placer les deux villes Marrakech et Essaouira sur le diagramme d'Emberger respectivement dans un étage bioclimatique aride et semi-aride comme le montre la figure suivante :

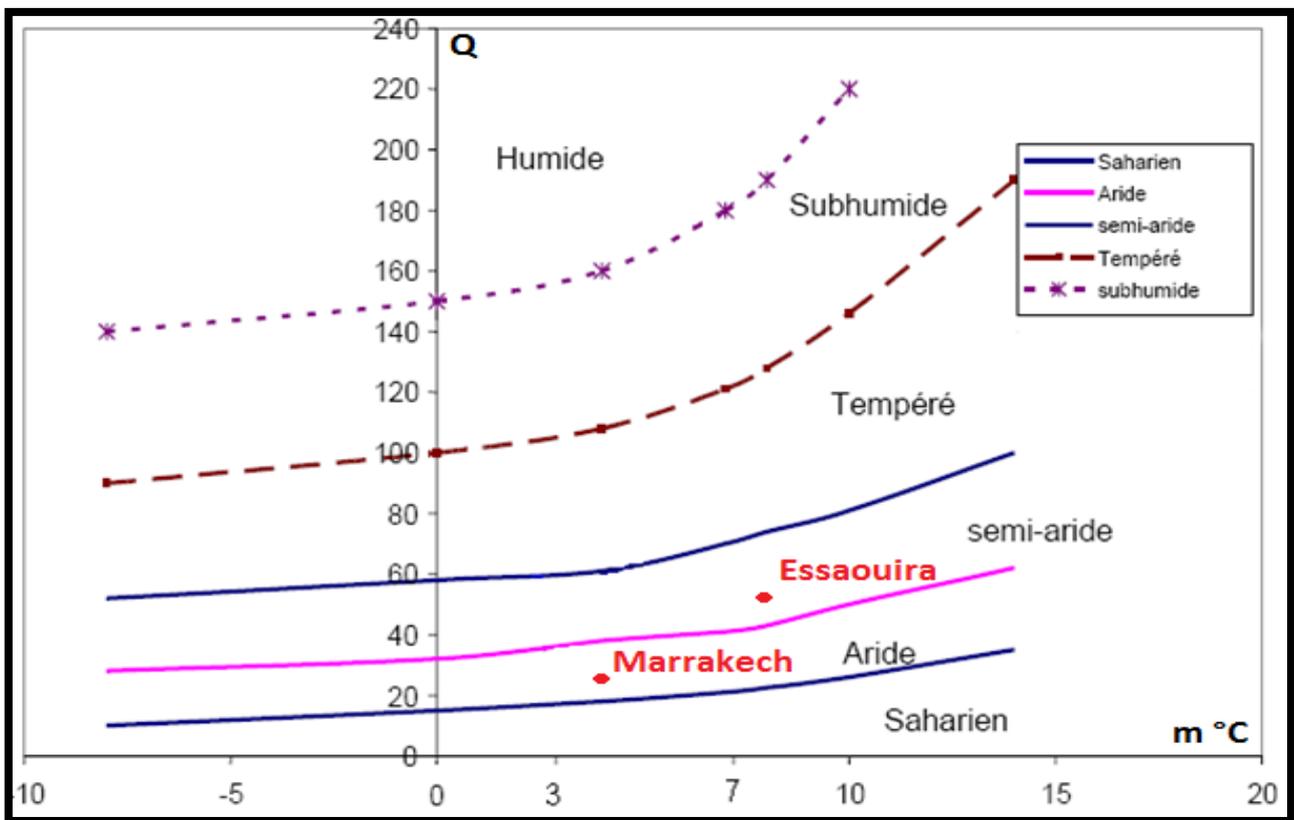


Figure 38: Position de Marrakech et Essaouira dans les étages bioclimatiques d'Emberger

CHAPITRE IV : PROJECTION DU CLIMAT FUTUR DE MARRAKECH (A L'ORIZON 2099)

I- Evolution du climat futur à Marrakech (1961- 2099)

Afin d'établir une vision sur l'évolution du climat de la zone étudiée on a procédé à la projection future des différents paramètres météorologiques (Température maximale, minimal, moyenne et précipitations).

Cette projection a été effectuée par le logiciel SDSM sur la base des scénarios A2 et B2,.

I-1- Projection future des précipitations annuelle

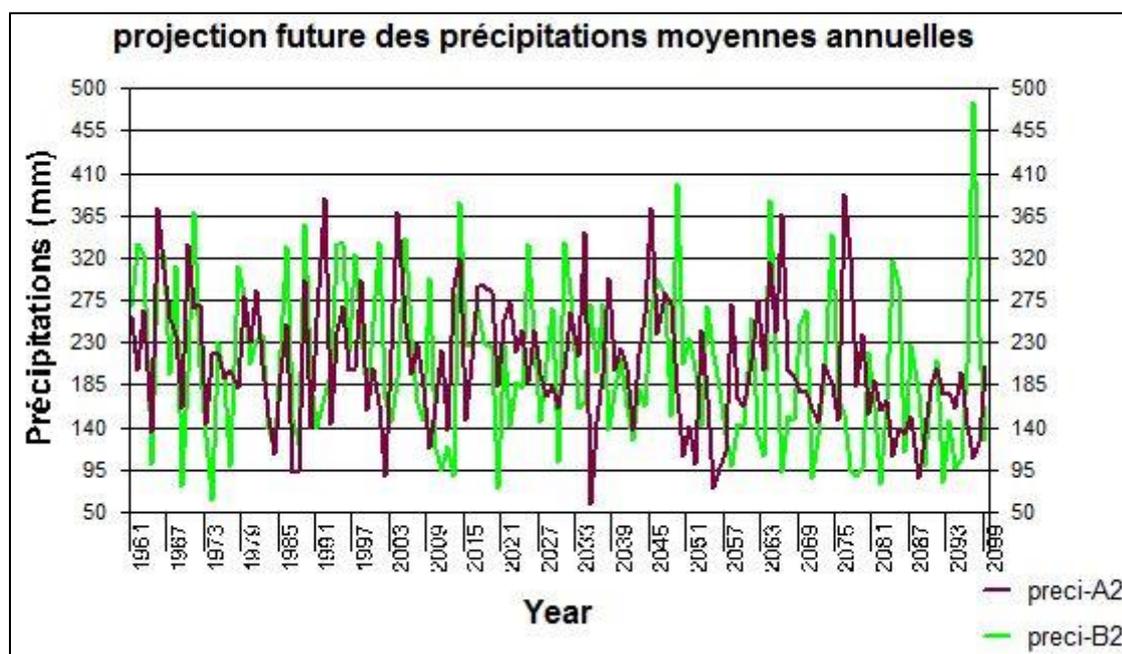


Figure 39: Tendances des précipitations annuelles futures de la ville de Marrakech pour la période 1961 – 2099

Selon les deux scénarios A2 et B2, on remarque qu'il y a une tendance vers la baisse des hauteurs des précipitations annuelles, cette baisse est évidemment plus importante selon le scénario pessimiste A2.

I-2- Projection future de la température maximale, minimale et moyenne

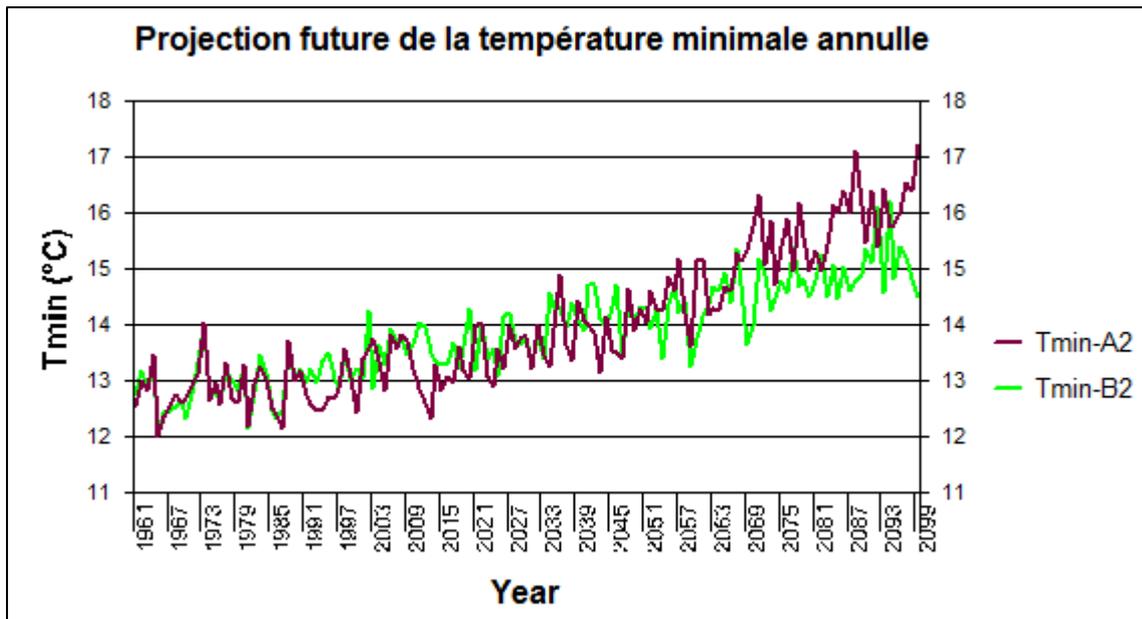


Figure 40 : Tendence de la température minimale annuelle future de la ville de Marrakech (1961 – 2099)

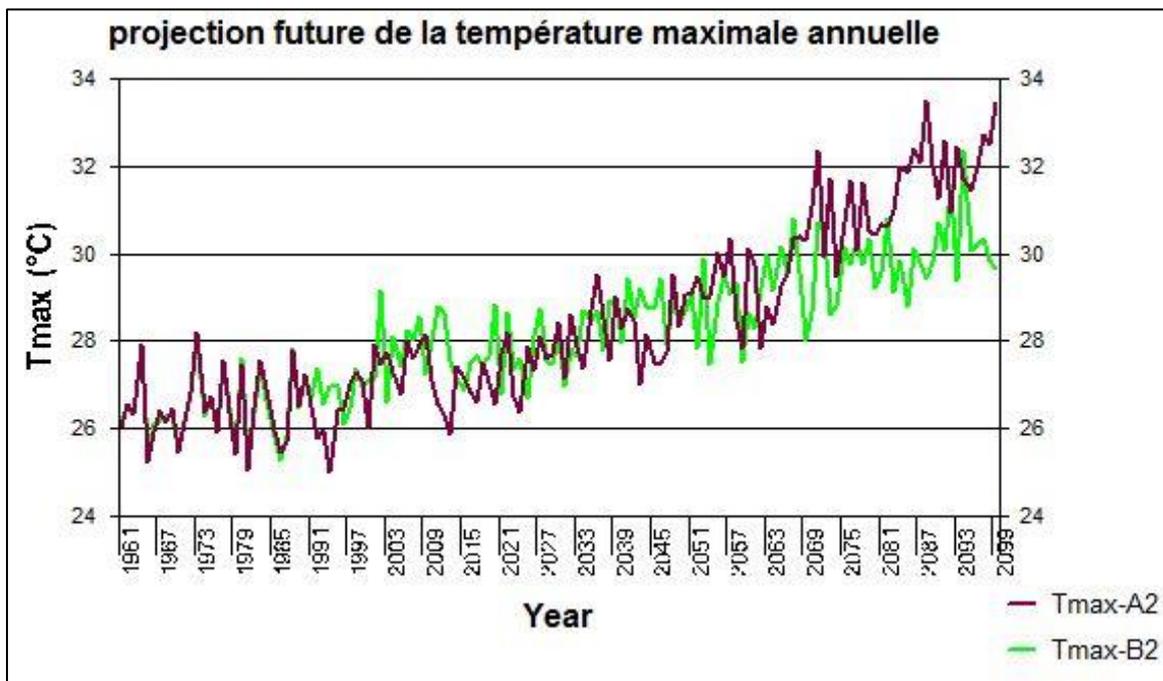


Figure 41: Tendence de la température maximale annuelle future de la ville de Marrakech pour la période 1961 – 2099

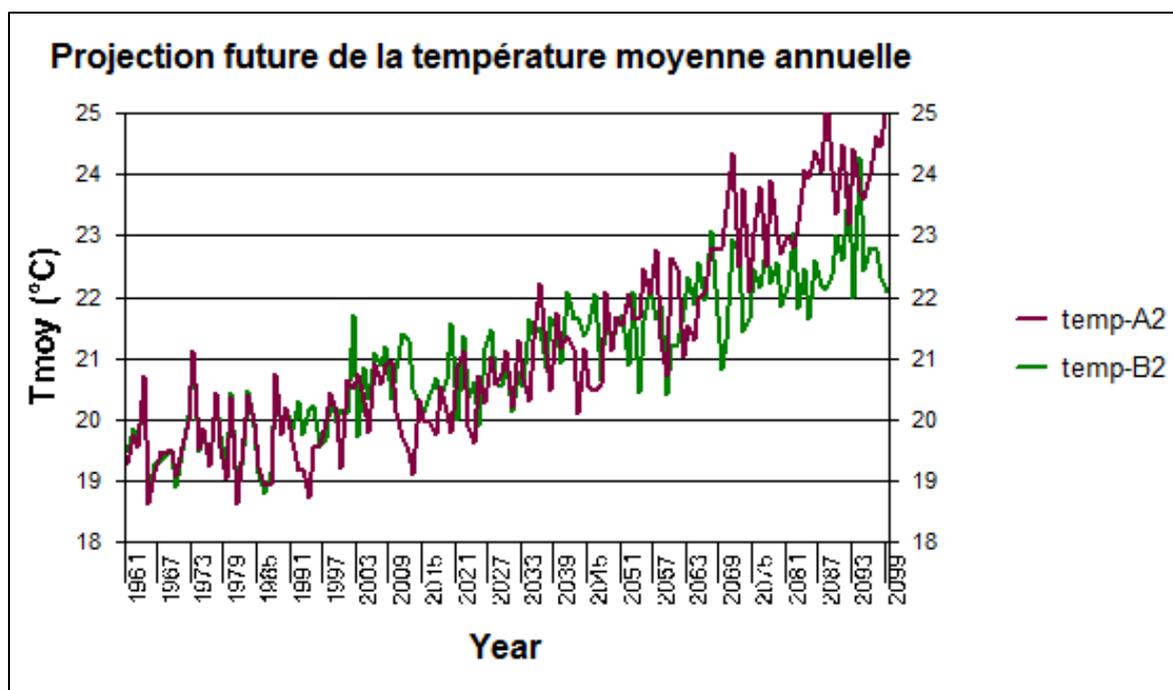


Figure 42 : Tendence de la température moyenne annuelle future de la ville de Marrakech pour la période 1961 – 2099

Les deux scénarios, prévoies une importante tendance vers la hausse des températures d'environ 4 à 5°C pour le scénario le plus pessimiste A2 et de 3 à 4°C pour le scénario optimiste B2 d'ici la fin du siècle, ce qui permet de percevoir la progressivité du changement climatique possible.

Conclusion

Le principal enseignement tiré de notre étude comparative entre les deux villes Marrakech et Essaouira, est qu'avant tout, des études plus approfondies qui englobent plusieurs stations, sont nécessaires pour évaluer l'évolution exacte du climat de la région, car ce dernier dépend de plusieurs paramètres spécifiques de chaque zone, or la région ne dispose que de deux stations météorologiques. Outre, le problème de l'accès à l'information précise surtout au niveau des données climatiques chiffrées, la qualité d'un travail dépend principalement de la fiabilité et l'homogénéité des données utilisées.

D'après les résultats des différents indices climatiques calculés et les prévisions futures effectuées, nous avons déduit une tendance vers la hausse des trois paramètres (température maximale, minimale et moyenne) pour les deux stations, Marrakech et Essaouira.

Par ailleurs, le comportement des précipitations est difficile à analyser vu la position géographique et les reliefs qui influencent leur distribution aléatoire, ainsi la ville de Marrakech présente une tendance vers la baisse des hauteurs des précipitations par contre la ville d'Essaouira est marquée par une tendance vers la hausse, alors qu'elles appartiennent à la même région. Ce contraste peut être expliqué par le climat océanique d'Essaouira qui assure un équilibre climatique dans cette zone. Généralement, le climat de la région Marrakech-Safi est marqué par une tendance vers la sécheresse accompagnée des événements extrêmes tels que les inondations et beaucoup d'autres indices alarmant une perturbation climatique. Les mêmes tendances ont été enregistrés lors des projections future de ces principaux paramètres par le modèle SDSM.

Ces changements climatiques auront certainement un effet néfaste sur tous les secteurs clés de l'économie nationale à savoir l'agriculture, les ressources hydriques, la santé, le littoral...

Le Maroc ambitionne de poursuivre ses efforts de lutte contre le changement climatique en adoptant plusieurs plans et politiques, mais l'application de ces procédures reste limitée par les moyens financiers du pays et le mauvais pilotage de certains projets adoptés dans ce cadre du développement durable, ce qui nécessite une orientation indispensable vers des mesures innovantes d'adaptation au changement climatique par la réalisation des projets de coopération administratifs avec des mesures généralisée et adaptées au contexte général par une coordination scientifique et une planification sectorielle.

FORMATION EFFECTUEE AU COURS DU STAGE

L'évaluation des impacts du changement climatique dans la région Marrakech Safi : élaboration d'un cadre d'orientation pour l'adaptation en vue d'une formation au bénéfice du Maroc et des pays de l'Afrique de l'Ouest et du Nord "



Avant-propos

Le programme de la formation est basé sur le document d'orientation de l'OCDE-GIZ. Il utilise également la plateforme de l'outil de planification et de gestion de projets CRISTAL, conçu par UICN, IIDD, SEI-E-U et l'inter-coopération.

L'Equipe formateurs de l'Université Cadi Ayyad Marrakech est composée de

M. Messouli

M. Yacoubi-Khebiza

A. Abbad

Le programme ainsi que la formation sont appuyés par le projet « 4C » Maroc de la coopération internationale allemande (GIZ), financé par le ministère fédéral allemand de l'environnement et de santé nucléaire (BMUB) dans le cadre de l'Initiative Internationale Climatique (IKI).

Méthodologie de la formation

La formation est basée sur la méthode des cas de Harvard qui délivre les enseignements en recourant principalement à des travaux interactifs, qui favorisent le renforcement de capacités axées sur la pratique et sur l'action. Elle favorise également la réflexion analytique et la critique indépendante, l'agissement auto-responsable et les modes de travail participatifs.

La formation avait pour objectif de :

Comprendre les fondements scientifiques du changement climatique

L'objectif de cette partie est d'informer sur la variabilité, le changement et les extrêmes climatiques, les facteurs humains et l'environnement interagissent pour influencer les incidences des risques et les options en matière d'adaptation, de gestion des risques et de réalisation des Objectifs du Développement Durable (ODD).

Durant les trois jours de la formation, nous avons travaillé dans des workshops où nous étions divisés en quelques groupes comportant des nationalités différentes.

Le but était d'analyser et de traiter divers piliers concernant l'adaptation au changement climatique, pour lequel nous avons pris la région Marrakech-Safi comme exemple. Un autre but était d'établir la relation entre l'objectif du développement durable et les mesures d'adaptation pour diminuer la vulnérabilité au changement climatique en travaillant sur des modules séquentiels :

MODULE 1 : Comprendre les liens entre changement climatique et développement durable :

Le lien entre le changement climatique et le développement durable naît du fait que ces changements freinent le développement et que le développement durable est indispensable au renforcement des capacités d'atténuation et d'adaptation. L'exercice vise à identifier les points communs des stratégies permettant de réaliser ce développement et de s'adapter aux changements climatiques et dont l'association donne lieu à des synergies.

MODULE 2 : Prisme climatique

Un prisme climatique est la première étape pour déterminer comment répondre aux risques du changement climatique liés à un objectif.

L'application d'un prisme climatique a pour objectif de contribuer à rendre une politique, un programme, un plan ou un projet plus résilient au changement climatique ou plus favorable à l'adaptation en comprenant les risques et les opportunités pertinents, inhérents au changement .

MODULE 3 : Evaluer la vulnérabilité

Identifier des facteurs qui contribuent à la vulnérabilité dans un système (sensibilité et exposition aux signaux climatiques, sources d'impacts potentiels ainsi que les capacités d'adaptation) et attribuer un ordre de priorité aux mesures lorsqu'elles sont nécessaires. Cette étape fournit la base pour intégrer l'adaptation dans les efforts de développement.

MODULE 4 : Identifier des options d'adaptation

Dans l'approche systématique de l'adaptation au changement climatique, apprendre, améliorer la gestion du système considéré dans le contexte du changement climatique.

MODULE 5 : Sélection des mesures d'adaptation

L'objectif de cette étape est de parvenir à une stratégie d'adaptation. La stratégie devrait être constituée d'éléments complémentaires et garantir une réduction efficace des risques de changement climatique et la cohérence envers les priorités et les contraintes pratiques d'une situation donnée

MODULE 6 : Application des modules un à cinq aux cas des pays partenaires invités

Ce module est particulièrement bénéfique pour les participants impliqués dans un processus de planification de l'adaptation. Le module vise à aider les participants à « utiliser le contenu de la formation » dans le cadre de leurs travail, par exemple, en appliquant l'approche d'adaptation au changement climatique à leurs projets, en agissant en tant que diffuseur, en élaborant des plans d'action, etc.

Le résultat final après le travail sur tout ces modules est la compréhension systématiquement les liens qui existent entre les moyens d'existence locaux et le climat à l'aide de l'outil CRISTAL qui nous a permis également d'évaluer l'impact du projet sur la capacité d'adaptation au niveau communautaire et de faire des ajustements en vue d'améliorer l'impact du projet sur la capacité d'adaptation.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) OREDD Marrakech Safi, Programme ACCN. (Septembre 2015) : *Identification et analyse des événements climatiques extrêmes dans la Région Marrakech Safi*, rapport final, Maroc, 105p.
- 2) Geographic Magazine Maroc. *Principales unités géographiques* (2013) [Carte] In : magazine-geo.blogspot. Disponible sur : <http://magazine-geo.blogspot.com/2016/03/carte-maroc-geographie-pro.html> (consulté le 15/04/2016)
- 3) Ministère Délégué auprès du Ministre de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement Chargé de l'Environnement, 3^{ème} *Communication Nationale du Maroc à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques*. Rapport [en ligne]. Maroc, 2016, 285p. Disponible sur : http://www.yabiladi.com/img/assets/TCN_web.pdf (consulté le 19/04/2016)
- 4) EllinorZeino-Mahmalat, AbdelhadiBennis. *Environnement et Changement Climatique au Maroc – Diagnostic et Perspectives* –. 1^{ère} édition, Maroc : Konrad-Adenauer-Stiftunge.V, 2012, 90p.
- 5) CHAKRI, Said, 2016 : Initiative Territoriale pour la cop 22, ed. EMA concept, Maroc, 94p.
- 6) Robert A. Rohde, *Représentation schématique des échanges d'énergie entre l'espace, l'atmosphère terrestre, et la surface de la Terre*. 2006 [schéma]. In: Wikipédia. Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_de_serre#/media/File:Effet_de_Serre.png>
- 7) WWF, Studio Globo, Haute Ecole Erasme de Bruxelles, Vrije Universiteit Brussel. *Climat challenge* [en ligne]. 2013. Disponible sur : <<http://www.climatechallenge.be/fr/>>
- 8) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 169p.
- 9) conservation-nature. <http://www.conservation-nature.fr> [en ligne]. (2007, 2014) Disponible sur : <<http://www.conservation-nature.fr/article2.php?id=129>>. (Consulté le 21/04/2016).
- 10) Gaëlle R, *Quelles sont les connaissances actuelles sur le changement climatique de l'échelle globale aux échelles régionales ?* .janvier 2012. 210p. 15-16. Format PDF. Disponible sur : <http://connaissances_actuellescc_juillet2012 > (consulté le 21 /04/2016).
- 11) GIEC 2007, groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat. *Changement climatiques 2007*, Rapport de synthèse, 17 novembre 2007, 114p.
- 12) Daoud.M, 2008. Changement climatique et développement. In : Magazine trimestriel d'informations générales N°007 janvier 2008. p 11-13.
- 13) Cyrielle Den H, 2007, Etude de l'impact du changement climatique global et des pratiques de production sur les trypanosomes animales africaines et les glossines. In : « www.memoireonline.com/.../m_Etude-de-limpact-du-changement-climatique-global-et-des-pratiques-de-production-sur-les-trypanoso4.html » (Consulté le 3 mai 2016)

