



## Licence en Sciences et Techniques

### Filière : Génie de l'Eau et de l'Environnement

### Projet de Fin d'Etude

# VULNERABILITE DE LA VALLEE DE L'OURIKA A L'INONDATION DANS LE CONTEXTE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES



**Projet réalisé par :**

- BOUADIL Oumayma

**Dirigé par :**

- Encadrant interne : CHEKAOUI DEKKAKI  
Hinde
- Encadrant externe : KHATTABI Abdellatif

**Soutenu le 09 juin 2015, devant le Jury :**

- HASSANI ZERROUK Mohammed, Professeur à la FSTH, Président ;
- ISAAD Jalal, Professeur à la FSTH, Examineur ;
- CHERKAOUI DEKKAKI Hinde, Professeur à la FSTH, Encadrant interne;

**Année Universitaire : 2014/2015**

**PFE N° : GEE/06/2015**

## REMERCIEMENT

Au terme de cette recherche, Je tiens d'abord à adresser mes remerciements les plus sincères à Monsieur Abdellatif Khattabi, Président de l'Association Marocaine des Sciences Régionales et professeur à l'Ecole Nationale Forestière des Ingénieurs (ENFI), pour son encadrement, son aide, ses conseils et sa confiance.

Je remercie chaleureusement Madame HindeCharkaouiDekkaki, Professeur universitaire à la Faculté des Sciences et Techniques d'Al Hoceima (FSTH) pour son encadrement, son soutien moral, ses précieux conseils et son engagement.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à : SarraBouarais etRamarolafyHassinaSalavina, élèves ingénieurs de l'Ecole Nationale Forestière d'Ingénieur, et Selma Mahfoud Ingénieur en Environnement, pour leur effort considérable, leur confiance et leur conseils pratiques.

Finalement, et de crainte d'oublier des noms, j'exprime ma gratitude à tout le personnel de l'Ecole Nationale Forestière des Ingénieurs pour leur aide et sympathie, comme je tiens à exprimer mes sentiments de reconnaissance et de gratitude à tous le personnel de la Région de l'Ourika.

Merci infiniment.

## PREAMBULE

Le changement climatique est désormais un constat que de plus en plus de preuves scientifiques contribuent à étayer dans le monde entier. L'un des enjeux actuels essentiels pour la recherche est de prévoir et d'anticiper la poursuite des changements afin de pouvoir réagir et s'adapter à ces évolutions futures. Les répercussions du changement climatique sur les éléments naturelles sont souvent graves et catastrophiques. . Les manifestations sont complexes et multiples et dépendent fortement des régions et des saisons. Elles ont, de plus, des impacts économiques, écologiques et sociaux souvent dramatiques.

Dans le contexte du changement climatique, les vallées sont vulnérables aux inondations. Ces dernières sont, partout dans le monde, considérées comme des phénomènes exceptionnels contre lesquels il faut se protéger par la prévision et la prévention. Ceci à cause de leurs effets destructifs sur le plan naturel et socio-économique. Elles sont pour cela au centre des préoccupations des scientifiques et des gouvernements. Les premiers interviennent par leurs études et travaux de recherches et les seconds par la prise de décision en matière d'aménagements appropriés. D'autres acteurs peuvent intervenir par la sensibilisation des populations telles que les associations et Organismes Non Gouvernementaux.

Au Maroc, on s'est intéressé depuis longtemps aux phénomènes hydrologiques extrêmes, car le pays connaît des crues et inondations répétitives dans différentes régions :

- Séfrou en 1950 ;
- Vallée de la Moulouya en 1963 ;
- Vallée du Ziz en 1965,
- Vallées du Haut Atlas de Marrakech en août 1995 (Ourika, Ghéraya...);
- Région d'El Hajeb en 1997,
- Vallée de Settat et Mohammedia en 2002 ;
- Vallée de Tan-Tan, Nador, Al Hoceima et Khénifra en 2003 ;
- Etc.

## TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENT.....	i
PREAMBULE .....	ii
TABLE DES MATIERES .....	iii
LISTE DES PHOTOS.....	ix
LISTE DES ABREVIATIONS.....	x
GLOSSAIRE.....	xi
I. INTRODUCTION .....	1
I.1. Présentation du stage .....	1
I.1.1. Associations Marocaines des Sciences Régionales (AMSR).....	1
I.1.2. Encadrement .....	1
I.2. Problématique abordée.....	2
I.4. Organisation du rapport.....	3
II. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
II.1. Changements climatiques (CC).....	4
II.1.1. Eléments du climat .....	4
II.1.1.1. Précipitations .....	4
II.1.1.2. Température .....	5
II.1.1.3. Vent.....	5
II.1.1.4. Evaporation.....	6
II.1.1.5. Evapotranspiration.....	6
II.1.1.6. Humidité .....	7
II.1.2. Changement climatique à l'échelle mondiale .....	7
II.1.2.1. Le climat, le réchauffement et le changement climatique .....	7
II.1.2.2. Les gaz à effet de serre contribuant au changement climatique.....	8
II.1.2.3. Adaptation au changement climatique .....	9
II.1.3. Changement climatique au Maroc .....	10
II.1.3.1. Des précipitations irrégulières .....	11
II.1.3.2. Des augmentations de température en constante évolution .....	13
II.2. Impact du changement climatique .....	15
II.2.1. Sècheresse.....	16
II.2.1.1. Définition de la sécheresse .....	16
II.2.1.2. Causes de la sécheresse .....	16

## Vulnérabilité de la vallée de l'Ourika à l'inondation dans le contexte des changements climatiques

---

II.2.1.3.	Types de la sécheresse.....	16
II.2.1.4.	Conséquences de la sécheresse.....	16
II.2.2.	Inondation.....	17
II.2.2.1.	Définition de l'inondation.....	17
II.2.2.2.	Causes de l'inondation.....	17
II.2.2.3.	Types d'inondation.....	17
II.2.3.	Impacts physiques du changement climatique.....	20
II.2.3.1.	Impacts physiques du cc sur le temps (météorologie).....	20
II.2.3.2.	Impact physique du CC sur le Cryosphère.....	21
II.2.3.3.	Impacts du CC sur les ressources en eau.....	21
II.2.3.4.	Impacts du CC sur la production agricole et la sécurité alimentaire.....	21
II.2.3.5.	Impacts du CC sur la santé humaine.....	21
II.2.3.6.	Impacts du CC sur les systèmes biologiques.....	22
II.2.3.7.	Impacts du CC sur les systèmes côtiers, les zones basses.....	22
II.2.3.8.	Impacts du CC sur les zones urbaines et rurales.....	22
II.2.3.9.	Impacts du CC sur les systèmes sociaux.....	22
II.2.3.10.	Impacts du CC sur les migrations et les conflits.....	23
II.2.4.	Prévention et protection.....	23
II.2.4.1.	Stratégies de lutte.....	23
II.3.	Vulnérabilité d'un milieu.....	23
II.3.1.	Définition de la vulnérabilité.....	23
II.3.2.	Sensibilité et vulnérabilité du Maroc au changement climatique.....	24
II.3.2.1.	Causes multiples de la vulnérabilité du Maroc et facteurs de son accentuation.....	24
II.3.2.2.	Perspectives du climat du Maroc avec le changement climatique.....	25
II.3.3.	Approches adoptés à ce jour au Maroc pour évaluer cette vulnérabilité.....	27
II.3.4.	Secteurs les plus vulnérables au CC au Maroc.....	27
II.3.5.	Approches permettant de caractériser la vulnérabilité / opportunité pour un domaine impacté.....	33
III.	PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	36
III.1.	Délimitation de l'aire d'étude.....	36
III.2.	Inventaire du milieu.....	37
III.2.1.	Milieu physique.....	37
III.2.2.	Milieu Biologique (naturel).....	45
III.2.3.	Milieu Humain.....	46

III.2.3.1.	Situation administrative.....	46
III.2.3.2.	Population - statistique et densité .....	46
III.2.3.3.	Situation socio-économique.....	46
IV.	LES INONDATIONS AU NIVEAU DE L'OURIKA.....	49
IV.1.	Historique d'inondation au niveau de la vallée de l'Ourika.....	49
IV.2.	Période de retour .....	51
IV.3.	Facteurs rendant le site vulnérable aux inondations.....	51
V.	ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS.....	52
VI.	CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....	55
VII.	ANALYSE DES METHODES ET DIFFICULTES RENCONTREES.....	56
	REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE .....	58

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Réchauffement prévu en 2015et 2045 à chaque région du Maroc .....	26
Tableau 2: Précipitations prévu en 2015et 2045 à chaque région du Maroc .....	27
Tableau 3: Ressources en eau renouvelables par bassin versant.....	28
Tableau 4 : Les principaux enjeux et leurs tendances .....	34
Tableau 5 : Appréciation de la vulnérabilité et priorisation des enjeux par secteur .....	34
Tableau 6 : Caractéristiques de certaines crues de l'oued Ourika à Aghbalou .....	50
Tableau 7 : Analyse des méthodes et difficultés rencontrées.....	56

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Organisation du rapport .....	3
Figure 2 : Les températures annuelles moyennes sur la Terre .....	5
Figure 3 : Modifications des températures de surface simulées pour le début et la fin du XXI <sup>e</sup> siècle.....	8
Figure 4: Carte du climat du Maroc sur la période 1961-2005 .....	10
Figure 5 : Evolution des précipitations au Maroc sur la période 1900-2000 .....	11
Figure 6 : Répartition spatiale des précipitations au Maroc .....	12
Figure 7 : Evolution des anomalies des précipitations au Maroc sur la période 1900 - 2000..	13
Figure 8 : Evolution de la température moyenne dans quelques stations du Maroc .....	14
Figure 9: Total annuel des vagues de froid et des vagues de chaleur au Maroc .....	15
Figure 10: Total annuel de jours frais et de jours chauds au Maroc .....	15
Figure 11:Pluviométrie moyenne annuelle du Maroc .....	24
Figure 12:Changement de température moyenne saisonnière 1960-2100 au Maroc .....	25
Figure 13: Changement de précipitation moyenne saisonnière 1960-2100 au Maroc .....	26
Figure 14: Variation du capital en eau entre 1960 et 2020 .....	29
Figure 15 : Répartition spatiale du degré de la vulnérabilité au CC au Maroc .....	31
Figure 16 : Principaux enjeux climatiques et leurs tendances .....	35
Figure 17 : Variations mensuelles des précipitations et des écoulements à Aghbalou .....	40
Figure 18 : Répartition mensuelle des crues de l'Ourika .....	52

## LISTE DES CARTES

Carte 1 : Situation géographique du bassin versant de l'Ourika.....	36
Carte 2: Aire d'étude au niveau du bassin versant de l'Ourika .....	37
Carte 3 : Réseau hydrographique du bassin versant de l'Ourika .....	38
Carte 4 : Géologie du bassin versant de l'Ourika .....	39
Carte 5: Répartition spatiale du taux d'infiltration au niveau du bassin versant de l'Ourika ...	41
Carte 6 : Répartition spatiale de la pente au niveau du bassin versant de l'Ourika .....	43

## LISTE DES PHOTOS

Photos 1: Inondation de plaine sur le Rhône en 2003 .....	17
Photos 2: Inondation à montée rapide sur les Gardons et le Vidourle en 2002 .....	18
Photos 3: Inondation par ruissellement à Nîmes en 1988 .....	18
Photos 4: Inondation par submersion marine .....	19
Photos 5: Les hautes montagnes de la zone d'étude .....	37
Photos 6: Les dégâts d'inondation existent à ce jour-là dans la zone .....	42
Photos 7: Formes d'érosion dans la zone d'étude .....	42
Photos 8: Déboulement des roches.....	44
Photos 9: Zone asylvatique au niveau de la vallée de l'Ourika .....	44
Photos 10: Quelques plantes agricole au niveau de la zone d'étude.....	45
Photos 11: Méthode d'agriculture au niveau de l'Ourika.....	46
Photos 12: Bazar d'artisanat au niveau de la zone.....	47
Photos 13: Séguias traditionnelle au niveau de la zone.....	48
Photos 14: Habitation édifiée près du lit de l'oued et détruite par la crue du 17 août 1995 ....	49
Photos 15 : Commerces et habitations emportés par la crue du 17 août 1995 .....	49
Photos 16: Mur de soutènement de l'Ourika détruit par la crue du 28 octobre 1999 .....	50

## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>ABHT</b>	Agence du Bassin Hydraulique de Tensift
<b>AMSAR</b>	Association Marocaine des Sciences Régionale
<b>CC</b>	Changement climatique
<b>CCNUCC</b>	Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
<b>CH<sub>4</sub></b>	Méthane
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de carbone
<b>DMN</b>	Direction de la Météorologie Nationale
<b>DPA</b>	Direction Provinciale de l'Agriculture
<b>DREF-HA</b>	Direction Régionale des Eaux et Forêts du Haut Atlas
<b>EANM</b>	Elévation Accélérée du Niveau de la Mer
<b>ENFI</b>	Ecole Nationale Forestière d'Ingénieur
<b>ENM</b>	Elévation du Niveau de la Mer
<b>FSTH</b>	Faculté des Sciences et Technique d'Al Hoceima
<b>GIEC</b>	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
<b>GIRE</b>	Gestion Intégrée des Ressources en Eau
<b>HCP</b>	Haut-Commissariat au Plan
<b>HFC</b>	Hydrofluorocarbures
<b>Kc</b>	Indice de Compacité
<b>MDP</b>	Mécanisme pour un Développement Propre
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Protoxyde de l'Azote
<b>OMS</b>	Organisation Mondiale de la Santé
<b>PFC</b>	Per Fluorocarbures
<b>PMV</b>	Plan Maroc Vert
<b>RGPH</b>	Recensement Général de la Population de l'Habitat
<b>SAU</b>	Surface Agricole Utile
<b>SF<sub>6</sub></b>	Hexafluorure de Soufre
<b>SIG</b>	Système d'Information Géographique
<b>STEP</b>	Station d'Epuration
<b>T<sub>max</sub></b>	Température Maximale
<b>T<sub>min</sub></b>	Température Minimale

## GLOSSAIRE

<b>Aléa</b>	Phénomène naturel d'occurrence et d'intensité donnée, est la quantification du phénomène par plusieurs critères : hauteur, vitesse, débit, durée de submersion, temps de montée et fréquence.
<b>Alluvion</b>	Sédiment des cours d'eau, à granulométrie liée au débit, et composé de galets, de gravier et de sable en dépôts souvent lenticulaires, la fraction fine correspondant à des argiles et limons.
<b>Bassin versant</b>	Territoire drainé par un cours d'eau et ses affluents.
<b>Crue</b>	Phénomène hydrologique qui s'exprime par une augmentation brutale du niveau des eaux d'un cours d'eau, elle produit des débits exceptionnels dépassant largement les normes habituelles.
<b>Débit de point</b>	Valeur maximale du volume d'eau écoulé par unité de temps pour une crue donnée.
<b>Lit mineur</b>	Zone où le cours d'eau s'écoule en régime normal. Lors de fortes pluies, les eaux débordent dans une zone plus large appelée lit majeur.
<b>Piémont</b>	Bande, plus ou moins large, de plaines ou de collines localisées au pied d'un volume montagneux.
<b>Thalweg</b>	Zone de concentration des ruissellements dans les fonds des vallées.
<b>Temps de base</b>	Intervalle de temps entre le début et la fin de ruissellement produit par une averse.
<b>Temps de concentration</b>	Temps maximal nécessaire au ruissellement en provenance du point le plus lointain du bassin pour atteindre l'exutoire.
<b>Zone asylvatique</b>	Se dit d'un milieu dont les conditions ne permettent pas la formation d'une forêt.

## **I. INTRODUCTION**

### **I.1. Présentation du stage**

#### **I.1.1. Associations Marocaines des Sciences Régionales(AMSR)**

L'association marocaine des sciences régionales (AMSR) est formée entre des chercheurs, le 6 aout 2013. Cette association est régie par les dispositions du dahir n°1-58-376 du 3 Joumada 1378 (15 novembre 1958), tel qu'il a été modifié et complété par le dahir portant loi N°1-73-283 du 6 Rabia I 1393 (10 avril 1973) réglementant le droit des associations, et par la loi n° 75-00 promulguée par le Dahir n° 1-02-206 du 12 Joumada I 1423 (23 juillet 2002).

Les objectifs de l'AMSR sont, entre autres :

- Contribuer au progrès et à l'avancement des Sciences Régionales par le développement d'une recherche interdisciplinaire et trans-sectorielle ;
- Promouvoir les Sciences Régionales, leurs concepts, méthodes et outils auprès des organisations, des institutions et des établissements de recherche ou de formation supérieure ;
- Etre un lieu d'échange et de partage d'information et de connaissances pour l'ensemble de la communauté scientifique qui s'intéresse aux Sciences Régionales, et un forum pour l'approfondissement de la réflexion sur des thématiques relatives aux Sciences Régionales ;
- Promouvoir l'échange de connaissances scientifiques et d'expériences techniques avec les groupements professionnels, les organismes régionaux, nationaux et internationaux ayant pour objectif la production ou l'utilisation des connaissances des Sciences Régionales.

L'activité de l'AMSR s'exerce sur l'ensemble du Royaume du Maroc et à l'étranger. Elle pourra se regrouper par voie de fusion ou d'absorption, soit sous forme de fédération ou toute autre modalité regroupant des associations ayant des objets similaires. De même, elle pourra adhérer à toute institution/organisation nationale ou internationale poursuivant un objet similaire.

#### **I.1.2. Encadrement**

Durant la période du stage que j'ai fait au sein de l'AMSR, j'ai travaillé dans le cadre du projet : Gestion Intégrée des Ressources en Eau et la Protection des Services Environnementaux (GIREPSE), nouveau projet portant sur le paiement des services environnementaux pour une gestion intégrée des ressources en eau adaptée dans le bassin de Tensift. Son objectif global est de formuler des orientations stratégiques pour une Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) au Maroc, émanant d'une compréhension des déterminants de la vulnérabilité au changement climatique et de la durabilité de l'offre de biens et services environnementaux en lien avec les ressources hydriques.

J'ai eu l'honneur d'être encadrée par mes deux professeurs :

- Pr. HindeCherkaouiDekkaki : Professeur universitaire, Hydrogéologue, Environnementaliste, Responsable pédagogique de la filière BCG-TC, Université Mohammed Premier – FSTH ;
- Pr. Abdellatif Khattabi : Professeur universitaire à l'ENFI, Président de l'AMSR, et membre du Groupe d'Expert Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC).

## **I.2. Problématique abordée**

Au niveau de la vallée de l'Ourika, la vie de la population est très liée au climat et ses fluctuations. L'économie locale est très dépendante de l'eau, de l'agriculture et du tourisme. Dans cette région, les changements climatiques représentent une véritable menace pour son développement socio-économique et pour la vie de la population. Cette vulnérabilité extrême et le besoin de stratégies d'adaptation de secteurs clefs de l'économie de la région aux impacts possibles de ces changements climatiques représentent de vrais enjeux pour le développement durable de cette zone.

Les études de « La vulnérabilité de la vallée de l'Ourika à l'inondation et son besoin d'adaptation aux effets néfastes des changements climatiques », sont devenues fort nécessaires.

## **I.3. Démarche adoptée**

En premier temps, une analyse bibliographique a été réalisée sur les concepts : changement climatique, inondation, vulnérabilité sociale et économique aux inondations, historiques des inondations dans la zone d'étude, etc. puis, une prospection de la zone d'étude et un établissement d'une approche pour évaluer l'aléa et le risque, ont été réalisés.

Pour mieux cerner le sujet, une collecte des données a été faite. Pour ce, j'ai effectué une sortie de terrain au niveau de la vallée de l'Ourika et plus particulièrement au niveau du tronçon situé entre Aghbal et SettiFatema. D'autres données, concernant l'irrigation et précipitations m'ont été mises à disposition par les élèves ingénieurs de l'ENFI.

Enfin, une analyse de l'information et discussion étaient nécessaires pour analyser la situation d'exposition des biens et équipements aux aléas d'inondation et d'évaluer la vulnérabilité des personnes et des constructions au risque d'inondation en vue d'estimer les impacts potentiels sur la santé humaine et les coûts des dommages éventuels en cas d'occurrence des inondations.

#### I.4. Organisation du rapport

Le contenu du présent rapport s'organise autour des principales thématiques citées dans le schéma ci-dessous.

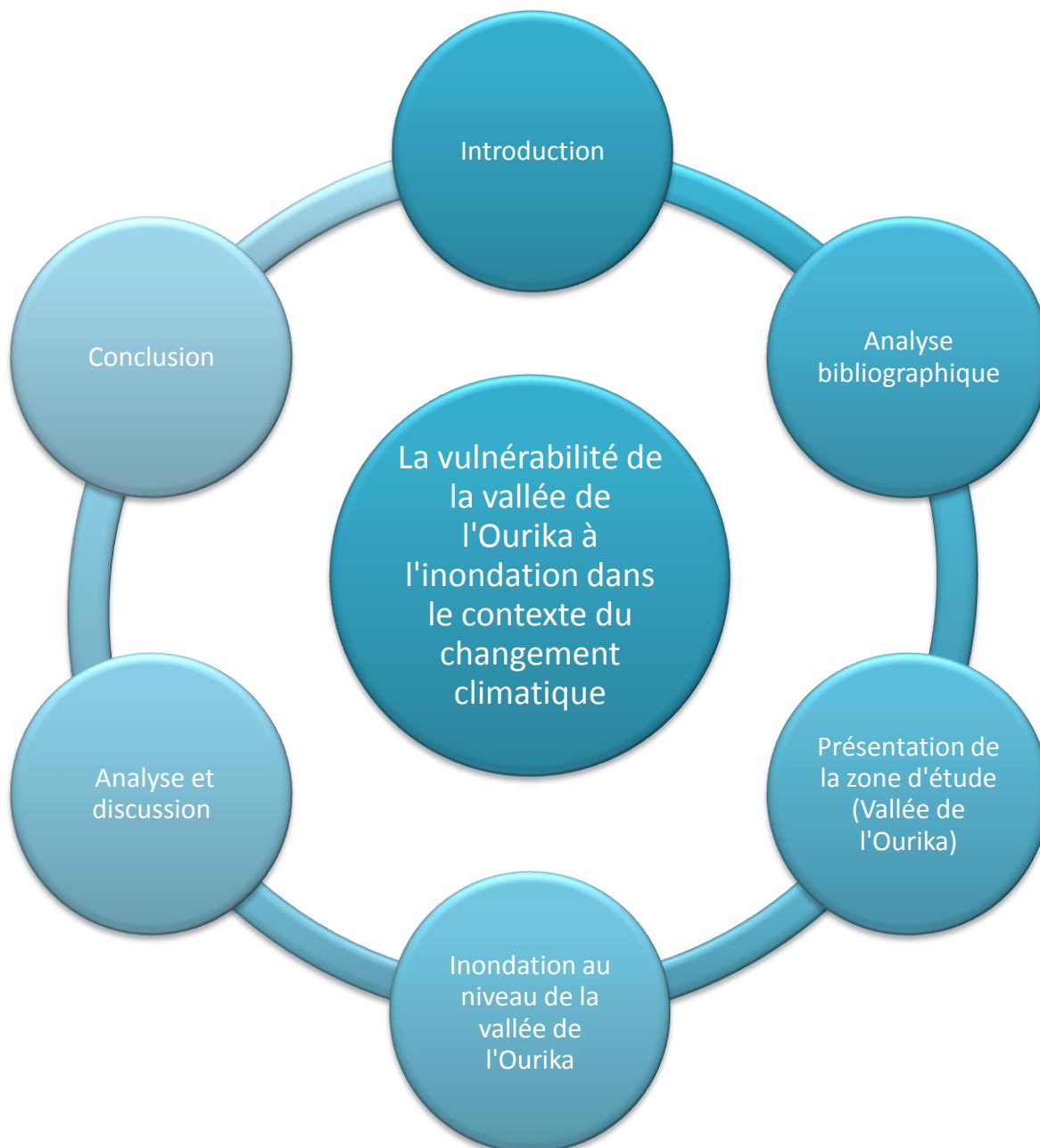


Figure 1 : Organisation du rapport

## II. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

### II.1. Changements climatiques (CC)

Selon les Nations Unies, le changement climatique désigne « un changement du climat attribué directement ou indirectement aux activités humaines, qui modifient la composition de l'atmosphère mondiale, et qui s'ajoute à la variabilité climatique naturelle observée sur des périodes de temps comparables ».

#### II.1.1. Eléments du climat

**Le climat** est l'ensemble des conditions atmosphériques au-dessus d'un lieu. Pendant **quel temps** est la combinaison des éléments suivants : les précipitations, la température, les vents, l'évaporation, l'évapotranspiration et l'humidité à un moment donné. Ces éléments sont appelés éléments du climat.

##### II.1.1.1. Précipitations

- **Définitions des précipitations :** Les précipitations regroupent toutes les eaux atmosphériques tombant à la surface de la terre sous forme liquide (bruine, pluie, averse, etc.) ou solide (neige, grêle, grésil, etc.). Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression. Les précipitations constituent l'unique entrée des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants.
- **Types de précipitations.** Il existe trois principaux types de précipitations :
  - **Les précipitations convectives :** Elles résultent d'une élévation rapide des masses d'air dans l'atmosphère. Les précipitations résultantes de ce processus en général orageuses, de courte durée (moins d'une heure), de forte intensité et de faible extension spatiale ;
  - **Les précipitations orographiques :** Elles résultent de la rencontre entre une masse d'air chaude et humide et une barrière topographique particulière. Ce type de précipitations se produit souvent au niveau des massifs montagneux. En général, elles présentent une intensité et une fréquence assez régulières ;
  - **Les précipitations frontales :** ou de type cyclonique, elles résultent du contact entre deux masses d'air de température, de gradient thermique vertical, d'humidité et de vitesse de déplacement différents, que l'on nomme « fronts ».
- **Mesure des précipitations. Cette mesure se fait, soit par :**
  - **Méthode directe (ponctuelle) :** permettant de mesurer directement la hauteur des précipitations par l'usage de pluviomètre.
  - **Méthodes indirectes (spatiales) :** Calcul de la lame d'eau moyenne tombée pendant une période donnée, sur un BV. Le calcul de cette lame d'eau nécessite de faire une moyenne pondérée des différentes hauteurs de précipitation ponctuelles mesurées dans différentes stations réparties dans le BV. Trois méthodes couramment utilisées peuvent assurer ce calcul : *Moyenne arithmétique, méthode des polygones de Thiessen ; et méthode des isohyètes.*

### II.1.1.2. Température

- **Définition de la température :** La température est une grandeur physique liée à la perception de chaud et froid d'un corps par rapport à un autre. Pour déterminer la température, il faut détecter le rayonnement thermique, la vitesse des particules, l'énergie cinétique, ou le comportement de la masse d'un matériau thermodynamique.

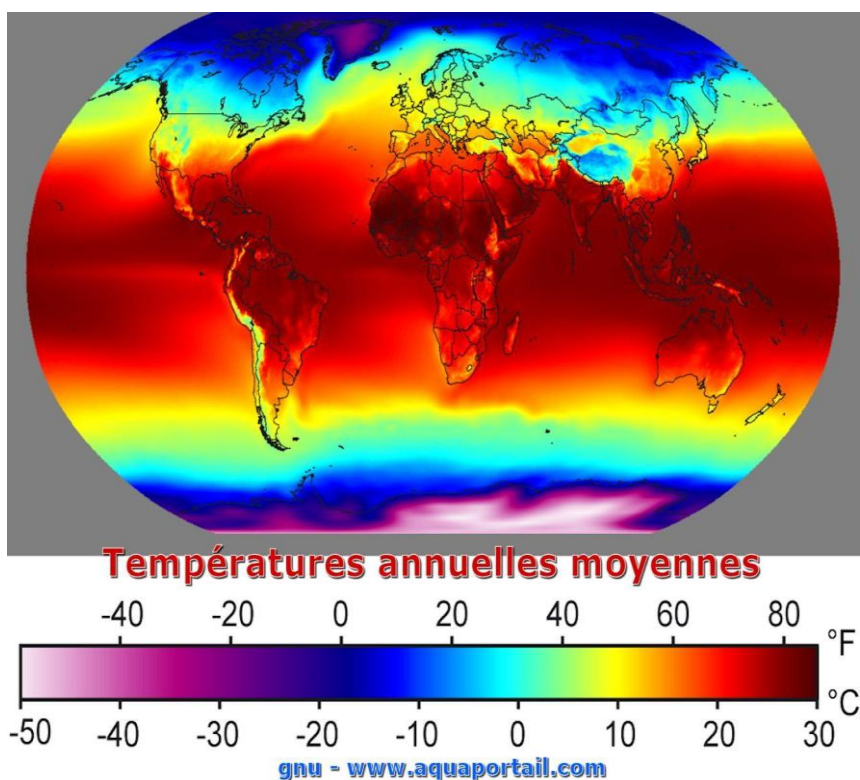


Figure 2 : Les températures annuelles moyennes sur la Terre

Source : GNU-www.aquaportail.com

- **Mesure de la température :** La température peut être mesurée par un thermomètre, qui doit être bien protégé contre les radiations solaires directes et indirectes. En général, le concept de la température a une origine empirique, donc si des changements surviennent trop vite, ou avec un très petit espace, dans un corps, il peut être impossible de définir sa température.

### II.1.1.3. Vent

- **Définition du vent :** Le vent est un déplacement d'air au sein de l'atmosphère. Il tient une place très importante dans les phénomènes météorologiques, tout comme la pression atmosphérique, l'hygrométrie et la température.
- **Types du vent :** Il existe nombreux types du vent, parmi les :
  - Alizés : vents réguliers qui soufflent constamment sur près du tiers du globe ;
  - Aquilon : vent du Nord ;
  - Barber : vent violent du Canada apportant de l'air extrêmement froid et humide ;

- Blizzard : vent glacial ;
  - Burle : vent du Nord, sec et froid, qui souffle en hiver sur le Massif Central ;
  - Jet-stream : vents rapides qui circulent à la lisière de la troposphère et pouvant atteindre 350 Km/h ;
  - Etc.
- **Mesure du vent** : Pour mesurer la vitesse du vent, on peut utiliser l'anémomètre : cet instrument se compose de 3 petites coupelles hémisphériques, disposées à l'extrémité de bras métalliques espacés de 120°. Un compteur relié à l'axe de rotation permet de lire la vitesse et de l'enregistrer suivant les modèles.
- La vitesse du vent peut être exprimée en milles ou kilomètres par heure, mètres par seconde, nœuds ou comme une force sur l'échelle de Beaufort.

#### **II.1.1.4. Evaporation**

- **Définition de l'évaporation** : L'évaporation est un phénomène physique de transformation de l'eau en vapeur, et ce à tous stades du cycle de l'eau (y compris la transformation d'un solide tel que la neige ou la glace en vapeur, sans passer par l'état liquide).
- **Mesure de l'évaporation** : Il existe deux principaux types de la mesure de l'évaporation :
  - Mesure de l'évaporation des nappes d'eau libre, soit par :
    - Evaporomètres ;
    - Balances d'évaporation ;
    - Bacs d'évaporation.
  - Mesure de l'évaporation à partir du sol nus, soit par :
    - Verrières ou châssis vitrés ;
    - Lysimètre.

#### **II.1.1.5. Evapotranspiration**

- **Définition de l'évapotranspiration** : L'évapotranspiration se compose de deux mots : l'évaporation et la transpiration qui signifie : « un phénomène biologique de la transformation de l'eau en vapeur par les êtres vivants, en particulier les végétaux ».
- **Types de l'évapotranspiration** : L'évapotranspiration se divise en deux :
  - Evapotranspiration potentielle (ETP) : C'est la quantité d'eau qui devrait retourner à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau si les ressources en eau étaient suffisantes à tout moment ;
  - Evapotranspiration réelle (ETR) : C'est la quantité d'eau effectivement perdue sous forme de vapeur d'eau par évaporation directe à partir du sol et par transpiration des végétaux.

- **Mesure de l'évapotranspiration :** La mesure de l'évapotranspiration se fait soit par des appareils de mesure tel que le Bac de Colorado, soit par l'utilisation des méthodes d'estimation dont :
  - Formule de Turc mensuelle et le formule de Thornthwaite pour l'estimation de l'ETP ;
  - Formule de Turc annuelle et la méthode de comparaison des valeurs mensuelles de P et ETP pour l'estimation de l'ETR.

#### **II.1.1.6. Humidité**

- **Définition de l'humidité :** L'air qui entoure l'humanité renferme toujours une proportion d'eau sous forme de vapeur, cette vapeur d'eau contenue dans l'air, appelée « Humidité ». La connaissance du taux de l'humidité est importante car elle renseigne sur la possibilité de la formation des nuages et de précipitations.
- **Types de l'humidité :** Il existe trois principaux types de l'humidité :
  - Humidité absolue : désigne la quantité de vapeur contenue dans un volume d'un mètre cube d'air.
  - Humidité spécifique : correspond au rapport de la masse d'eau dans l'air sur la masse d'air humide.
  - Humidité relative : est le rapport entre la quantité d'eau présente dans l'air et la quantité d'eau qu'il faudrait pour saturer cet air à une température et une pression précises.
- **Mesure de l'humidité :** Il y a plusieurs procédés de mesure qui peuvent être utilisés pour déterminer l'humidité de l'air, mais les méthodes les plus adaptées aux conditions de mesure, sont :
  - Mesure psychrométrique : ce procédé permet de déterminer directement l'humidité relative. Il est basé sur le principe de l'échange thermique ;
  - mesure capacitive : ce procédé est basé sur le principe de la condensation ;
  - Mesure hygrométrique : ce procédé consiste à exploiter les propriétés particulières des fibres hygroscopiques pour déterminer l'humidité ;
  - Etc.

#### **II.1.2. Changement climatique à l'échelle mondiale**

Depuis les années 1950, et à l'échelle mondiale, le réchauffement climatique a existé sans doute, et des changements observés sont préliminaires depuis les décennies voire des millénaires. L'atmosphère et l'océan se sont réchauffés, la couverture de neige et de glace a diminué, le niveau des mers s'est élevé et les concentrations des gaz à effets de serre ont augmenté.

##### **II.1.2.1. Le climat, le réchauffement et le changement climatique**

Le climat change évidemment à différentes échelles temporelles, qui peuvent être comprises entre quelques années et des centaines de millions d'années, avec des périodes à températures basses et d'autres à températures élevées(Cf. Figure n° 3).

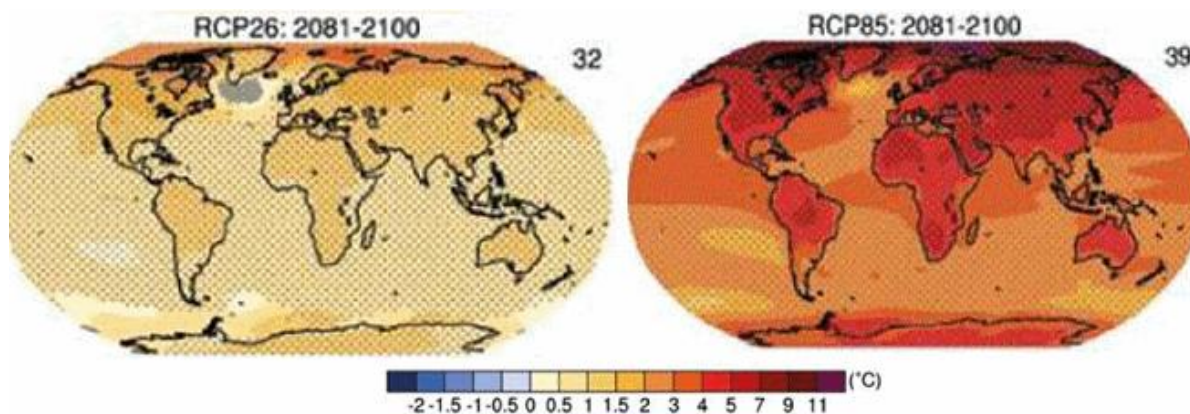


Figure 3 : Modifications des températures de surface simulées pour le début et la fin du XXIe siècle

Source : 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC(2013)

Au cours de la période 1906-2005, un réchauffement exceptionnel de 0,74°C a été distingué. La vitesse de ce réchauffement est importante et antécédente. D'autre part, les années 1993-2005 sont considérées comme étant les années les plus chaudes marquées depuis 1850. Ce réchauffement a causé un changement du climat dans à l'échelle mondiale, et qui est aujourd'hui une réalité qui doit être traitée par l'humanité.

Durant les dernières décennies, plusieurs études ont été réalisées par divers experts du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), qui ont confirmé que le climat change, et que ce changement est dû aux émissions de gaz à effet de serre liés aux activités humaines.

Durant le siècle dernier, des différents évènements météorologiques extrêmes ont pris une nouvelle dimension, au niveau de leurs fréquences et leurs intensités. Cela peut apparaître notamment pour les vagues de chaleur, les sécheresses, les inondations et les ouragans.

### II.1.2.2. Les gaz à effet de serre contribuant au changement climatique

Le gaz à effet de serre est le gaz qui provoque le phénomène du réchauffement de la couche de l'atmosphère, tel que cette dernière devient opaque au rayonnement infrarouge émis par la terre.

Parmi les gaz à effet de serre, on peut citer six qui sont les plus importants :

- Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) ;
- Le méthane (CH<sub>4</sub>) ;
- Le protoxyde de l'azote (N<sub>2</sub>O) ;
- L'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>) ;
- Les hydrofluorocarbures (HFC) ;
- Les per fluorocarbures (PFC).

Les principales activités humaines qui rejettent le plus des gaz à effet de serre sont :

- Les industries (la combustion des énergies fossiles : pétrole, charbon et gaz) ;
- Les transports (les exploitations pétrolières et gazières) ;
- Les décharges d'ordures ménagères ;

- La déforestation ;
- L'agriculture intensive et l'élevage ;
- Etc.

La répartition des émissions de gaz à effet de serre par pays confirme qu'il y a des disproportions entre les pays industrialisés et les autres pays. Durant la période 1900-2000, les Etats-Unis d'Amérique et les pays d'Europe ont produit près de 60% des émissions de gaz à effet de serre de la planète, par contre les émissions d'Afrique et du Moyen Orient n'ont pas dépassé les 5%.

Parmi les effets de l'augmentation des gaz à effet de serre, on cite :

- L'augmentation de la température moyenne ;
- La fonte des étendues de glace (glaciers de montagne et banquise) ;
- L'élévation Accélérée du Niveau de la Mer (EANM) ;
- Fréquence plus élevée des événements climatiques extrêmes ;
- Extension possible de certaines maladies infectieuses.

Ainsi, pour maîtriser le changement climatique, il faut tout d'abord réduire fortement les émissions des gaz à effets de serre. Cette maîtrise doit être renforcée par une atténuation des gaz à effets de serre et une consolidation des puits de ces gaz.

Selon des études d'experts Intergouvernementaux sur l'Evolution du Climat, le réchauffement maximum acceptable par la société humaine serait de l'ordre de 2°C par rapport à la température de la période préindustrielle. Pour éviter que le réchauffement dépasse ce seuil, les émissions mondiales de gaz à effet de serre doivent être réduites de l'ordre de 50% en 2050 par rapport à leurs niveaux de 84,5 Mt  $\text{eq.CO}_2$  en 1990. Si cet effort devait être en grande partie assumé par les pays industrialisés, la réduction des émissions qu'ils doivent mener serait plutôt de 75%.

La prise de conscience internationale des risques potentiels des émissions de gaz à effet de serre s'est traduite par le célèbre traité de Kyoto. 156 pays sont collectivement engagés à prendre des mesures de précaution pour prévoir, provenir ou atténuer les causes du changement climatique et en limiter les effets néfastes. Concrètement, tous les pays industrialisés ont l'obligation de mettre en œuvre un programme visant à réduire leurs émissions de 5,2% en 2008-2012 par rapport à 1990. Cette atténuation des émissions de ces pays doit être faite d'abord à l'échelle du pays, puis en aidant à réduire les émissions de gaz à effet de serre de projets localisés dans les pays en voie de développement. Le mécanisme permettant cette dernière option est le Mécanisme pour un Développement Propre (MDP).

### **II.1.2.3. Adaptation au changement climatique**

Des groupes d'experts Intergouvernementaux sur l'Evolution du Climat ont fait des projections climatiques et ont montré qu'il y aura une augmentation moyenne de la température de 1,8°C à 4 °C, d'ici la fin du siècle. On peut comparer ceci aux 0,7°C de réchauffement que le monde a déjà vécu au 20<sup>ème</sup> siècle.

Au cours du 21<sup>ème</sup> siècle, ce réchauffement médité fait apparaitre des tendances nettes par région. Les terres qui vont être les plus affectées par ce réchauffement, sont les terres émergées et celles aux latitudes élevées.

Les parties les moins menacées, sont l'Atlantique nord (certaines parties) et le Sud de l'océan Indien. Ce réchauffement serait aussi accompagné d'une augmentation des quantités de précipitations aux latitudes élevées, et une diminution dans la plupart des régions émergées subtropicales.

Le changement climatique aurait différents impacts sur les systèmes écologiques et socio-économiques vulnérables : ressources en eau, agriculture, sécurité alimentaire, zones côtières, diversité biologique et écosystèmes, santé, catastrophes climatiques et climat extrême, pollution et industrie, habitat et société, etc.

Au futur, le degré de la vulnérabilité de diverses régions du monde face au changement climatique ne sera pas égal. Les continents les plus menacés seraient l'Afrique et l'Asie.

Pour faire face au changement climatique, il faut avoir une forte capacité adaptative des systèmes naturels et humains, ainsi que des stratégies d'adaptation planifiée et appropriée et de moyens technologiques, financiers et humains permettant leur mise en œuvre. Les pays développés doivent ainsi aider les pays qui en voient de développement les plus vulnérables à se doter de ces moyens.

### II.1.3. Changement climatique au Maroc

De par sa position géographique, situé en zone aride à semi-aride, le Maroc a eu, depuis des millénaires, une évolution fortement liée au climat du pays et à sa variabilité. Ce climat se caractérise par des contrastes importants avec des types de climats très différents, et ce en relation avec les particularités géographiques et écologiques de ce pays (Cf. Figure n° 4).

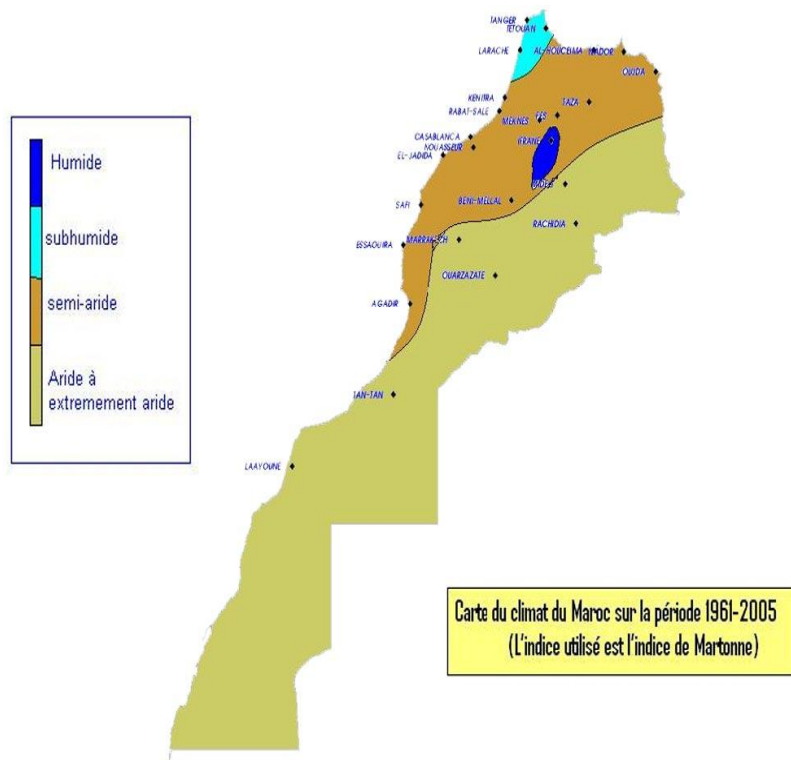


Figure 4: Carte du climat du Maroc sur la période 1961-2005

Source : Direction de la Météorologie Nationale (DMN)

### II.1.3.1. Des précipitations irrégulières

Le Maroc subit des sécheresses de plus en plus récurrentes et sévères conjuguées à une demande en eau de plus en plus croissante. Durant les trois dernières décennies 1976-2006, aux fluctuations aléatoires des précipitations (succession désordonnée d'années sèches et d'années humides) se superposent une décroissance globale nette des quantités de pluie recueillies. Cette décroissance oscille, selon les régions, entre 3% et 30% (Direction de la Météorologie Nationale, 2003).

Au Maroc, l'établissement de moyennes glissantes appliqué sur quelques stations nationales, durant 30 ans, montre un propre recul des quantités de pluie tombées annuellement (Cf. Figure n° 5). Ainsi, les résultats obtenus confirment une réduction généralisée sur le plan du volume annuel selon les saisons.

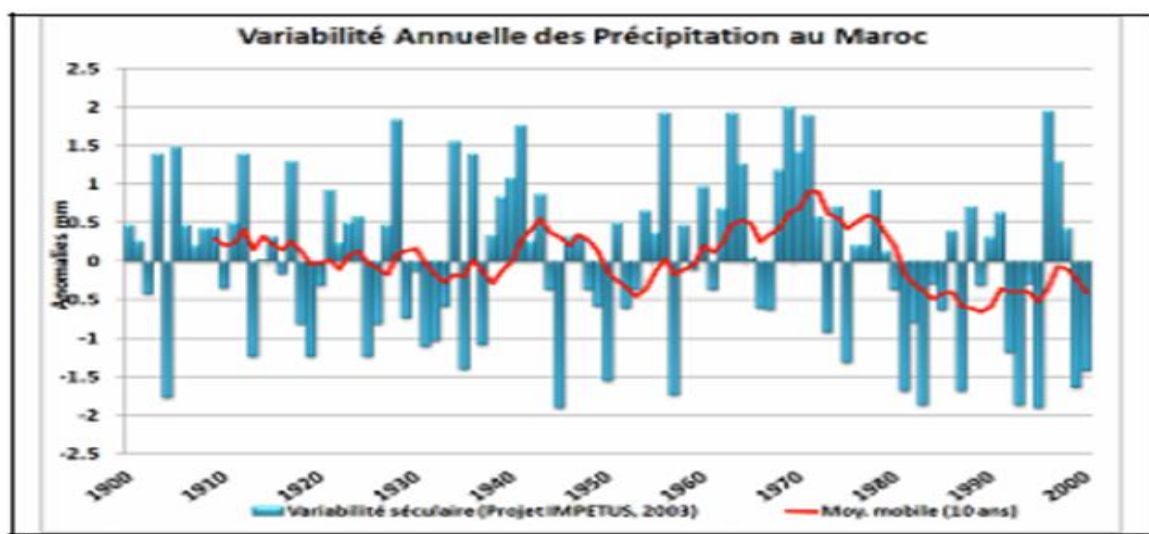


Figure 5 : Evolution des précipitations au Maroc sur la période 1900-2000

Source : Projet IMPETUS GLOWA en Afrique de l'Ouest

La prise en considération du large éventail de grandes différenciations climatiques régionales (montagnes, plaines, plateaux, régions présahariennes, etc.), dans les aptitudes qui ont été appliqués assurent que la pluviométrie annuelle a généralement baissé d'une manière suffisamment significative au niveau :

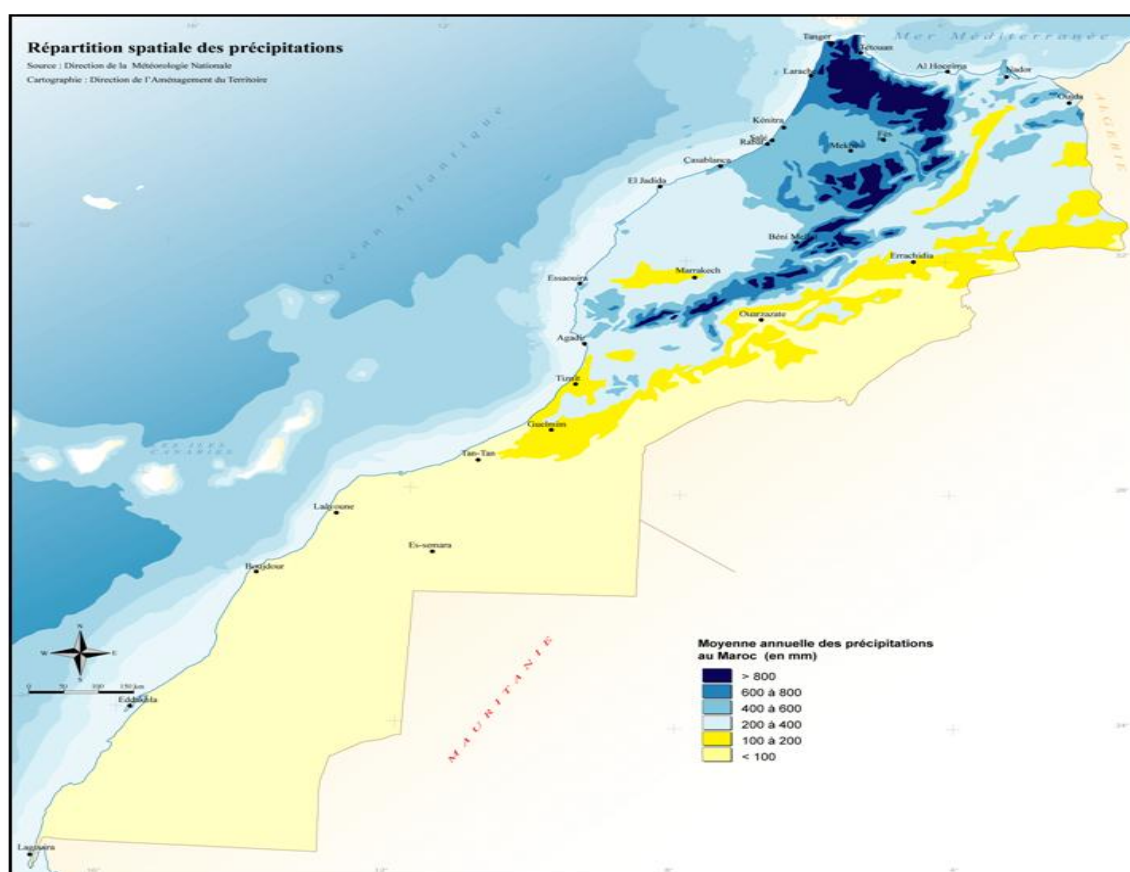
- Des Hauts plateaux de l'Oriental (Bouarfa, Midelt et Oujda) ;
- Du Saïs (Meknès) ;
- Du Moyen Atlas (Ifrane).

Ce déficit concerne plus précisément les précipitations hivernales qui sont carrément déterminantes chaque année.

Cette diminution annuelle est discrète dans les régions les mieux arrosées, plus circonspecte au niveau d'autres régions telle que la bande côtière de l'Atlantique (Casablanca, Laayoune, Tanger, Agadir) et le Haouz (Marrakech) et très peu distinctive au niveau de la plaine de Abda (Essaouira) et de la région présaharienne (Ouarzazate), tel que le profil de sa tendance présente une croissance très légère.

D'après Les nouveaux résultats de la Direction de la Météorologie National (Mokssit et al, 2006), concernant les dispositions des précipitations nationales annuelles cumulées tombées sur le territoire(Cf. Figure n° 6), on peut distinguer les caractéristiques suivantes :

- Au début de l'année hydrologique (Octobre-Novembre) : un accroissement des précipitations ;
- Au milieu et à la fin de l'année hydrologique : un déclin statistiquement significatif ;
- Les précipitations printanières : une baisse assez significative, de l'ordre de -47%.
- Les précipitations hivernales au niveau des régions de l'intérieur (comme les plaines du Tadla et du Haouz): une baisse peu significative.



**Figure 6 : Répartition spatiale des précipitations au Maroc**

Source : DMN

La DMN a analysé d'autres indices de changement climatique à l'échelle nationale, pour cette période (2006) :

- La période maximale des sécheresses intra-annuelles : Le nombre de jours consécutifs secs (pluie  $\leq 1$  mm) montre une tendance vers la baisse des cumuls pluviométriques notamment printaniers, causant ainsi un allongement de la période maximale des sécheresses d'environ 15 jours, tel que cet allongement est statistiquement non significatif ;
- Les fortes et très fortes précipitations : Un changement au niveau des événements de fortes précipitations, statistiquement non significatif, montre une tendance vers la baisse

marquée des précipitations à la période pluvieuse d'environ 38 mm, soit l'équivalent du tiers de la normale.

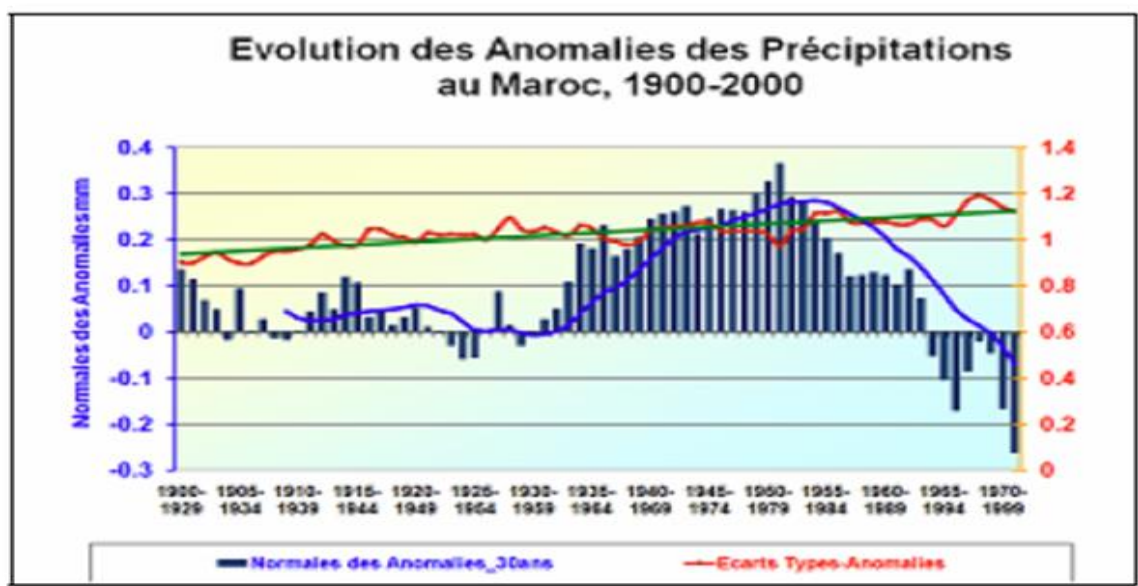


Figure 7 : Evolution des anomalies des précipitations au Maroc sur la période 1900 - 2000

Source : Seconde Communication Nationale sur les Changement Climatique

Ce sont là des indicateurs d'anomalies pluviométriques confirmées qui visent vers l'évidence d'une évolution climatique nouvelle qui s'engagerait pour le Maroc, tout au moins pour ses conditions pluviométriques régionales et locales (Cf. Figure n° 7).

### II.1.3.2. Des augmentations de température en constante évolution

Une analyse a été faite sur les températures relevées dans des différentes stations météorologiques au Maroc afin d'étudier l'évolution de ces températures entre 1960-2000(Cf. Figure n° 8), montre :

- Un réchauffement moyen sur tout le territoire du Maroc, et qui est plus important au Sud-Est qu'au Nord. Sur les 2/3 du pays ce réchauffement d' dépasserait toutefois les 1 °C ;
- Une tendance à la hausse des températures maximales qui est marquée durant les saisons par régions :
  - Automne à Ouarzazate ;
  - Hiver au niveau des principales régions suivantes : Ifrane (Moyen Atlas), Meknès (piémont), Marrakech (Haouz), Agadir (Sous Massa) et Tanger ;
  - Printemps autour des régions : Essaouira, Agadir, Midelt, Bouarfa et Oujda ;
  - Eté à Midelt, Ifrane, et de Laayoune jusqu'à Essaouira.
- Une tendance à la hausse des températures minimales, sur près de 40 ans, qui se trouve durant toutes les saisons :
  - Automne : Au niveau des régions de : Ouarzazate, Midelt, Oujda et Casablanca ;
  - Hiver : deux régions sortent du lot : Laayoune et Ouarzazate ;

## Vulnérabilité de la vallée de l'Ourika à l'inondation dans le contexte des changements climatiques

- Printemps : les régions les plus concernées sont : la bande littorale atlantique humide (Laayoune, Agadir, Essaouira, Casablanca) et l'intérieur du pays ( le domaine aride : Ouarzazate, Bouarfa, Midelt, Marrakech) ;
- Été : les régions les plus touchées sont : le Sud-Est du Haut Atlas, le domaine méditerranéen, le Moyen Atlas et la bande côtière atlantique.

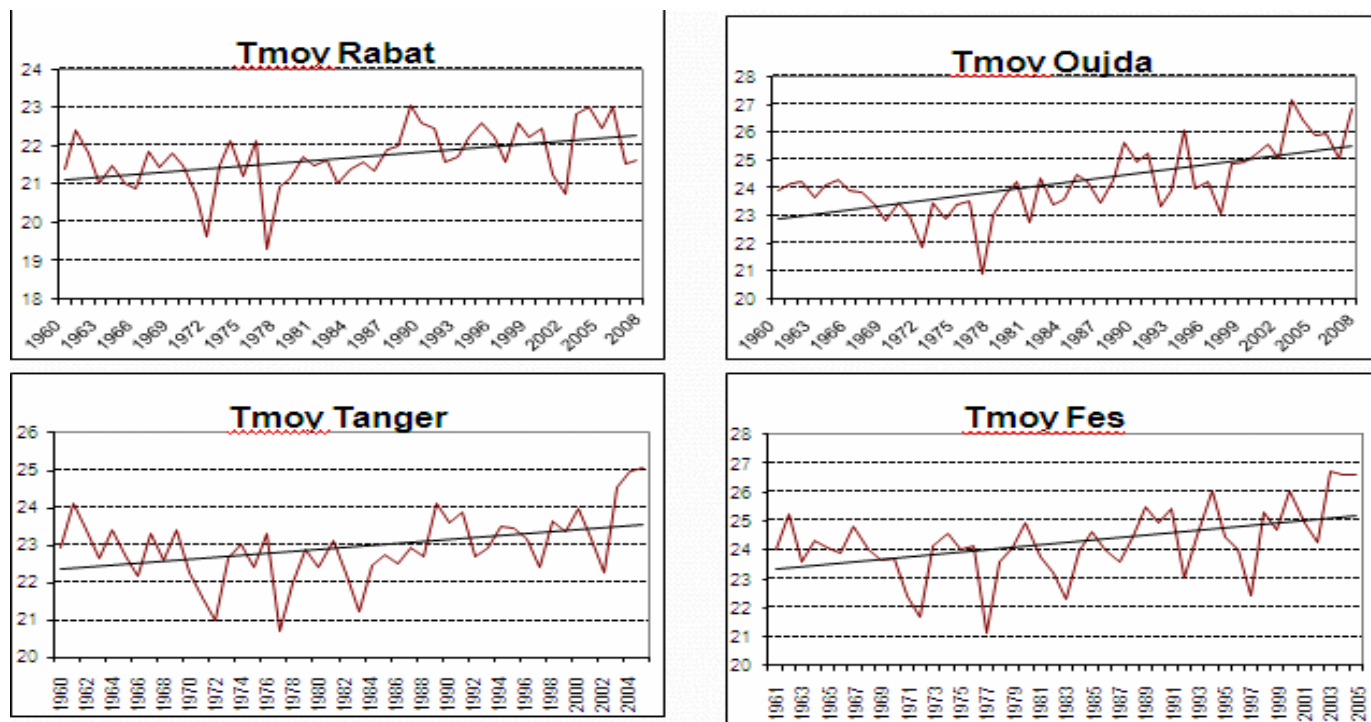


Figure 8 : Evolution de la température moyenne dans quelques stations du Maroc

Source : Direction de la Météorologie Nationale

Cette analyse a confirmé que durant ces dernières décennies, les gammes de températures ont quasiment toutes été affectées :

- Dans l'Oriental, tandis que les températures minimales ( $T_{\min}$ ) et maximales ( $T_{\max}$ ) comprises entre 10°C et 15°C sont en déclin, celles comprises entre 15 °C et 25° C sont en progression. Par ailleurs, les extrêmes supérieurs à 45 °C connaissent une légère augmentation ;
- Dans le Souss : les températures maximales supérieures à 40°C sont moins fréquentes, tandis que celles comprises entre 25°C et 30°C l'ont été plus.

Ces changements de température présentent :

- Une progression nette des vagues de chaleur au détriment des vagues de froid avec une diminution de l'ordre de 11 jours en 45 ans (Cf. Figure n° 9).

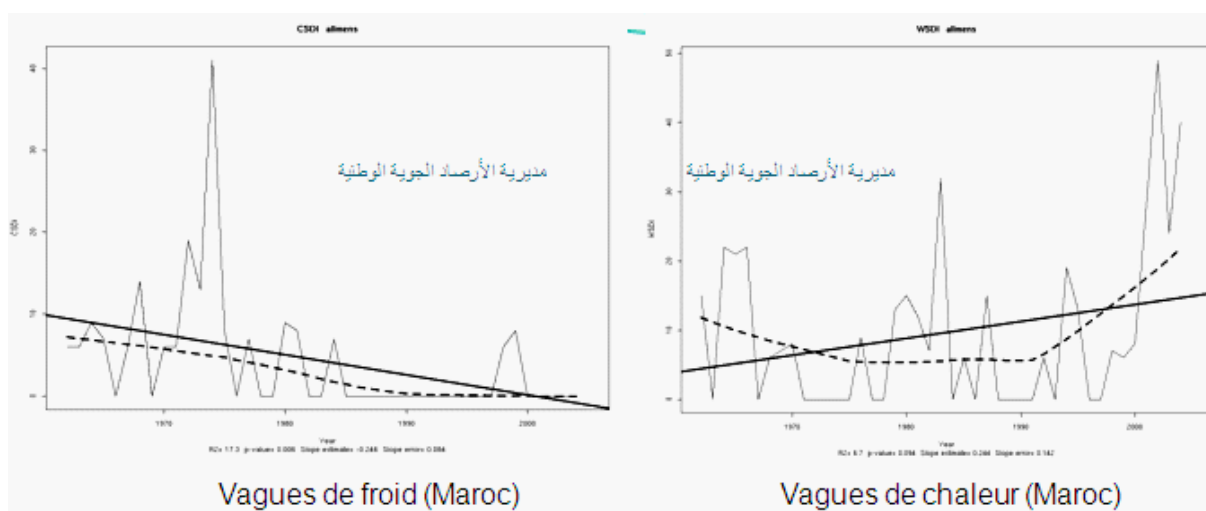


Figure 9: Total annuel des vagues de froid et des vagues de chaleur au Maroc

Source :Direction de la Météorologie Nationale

- Une nette tendance à la baisse à l'échelle nationale du nombre de jours frais avec une diminution de l'ordre 25 jours en 45 ans (Cf. Figure n° 10).

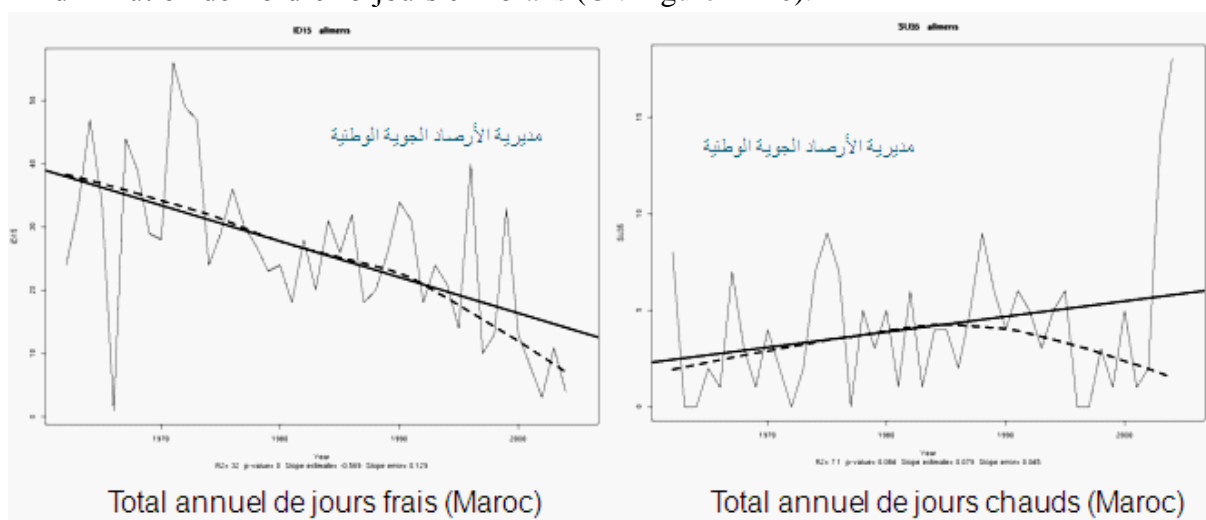


Figure 10: Total annuel de jours frais et de jours chauds au Maroc

Source :Direction de la Météorologie Nationale

## II.2. Impact du changement climatique

Les impacts désignent généralement les conséquences sur les vies, les moyens de subsistance, la santé, les écosystèmes, les économies, les sociétés, les cultures, les services et les infrastructures dues à l'interaction des changements climatiques ou des événements climatiques dangereux, se produisant à une période donnée, et la vulnérabilité d'une société ou d'un système exposé.

Les impacts sont également appelés conséquences et résultats. Les impacts du changement climatique sur les systèmes géophysiques, notamment les inondations, les sécheresses et l'élévation du niveau de la mer, constituent un sous-ensemble des impacts appelés impacts physiques (GIEC, 2013).

## **II.2.1. Sécheresse**

### **II.2.1.1. Définition de la sécheresse**

La sécheresse correspond à un épisode de manque d'eau, plus ou moins long, pendant lequel il ne pleut pas donc les précipitations sont anormalement faibles par rapport à la normale. C'est un phénomène nuisible, qui s'installe et renforce son œuvre de destruction avec le temps.

### **II.2.1.2. Causes de la sécheresse**

La sécheresse a pour cause :

- Modification du système des masses d'air, se produisant lorsque les masses d'air qui se forment au-dessus des continents se déplacent très lentement, restant souvent au même endroit pendant longtemps ;
- Augmentation de la température des eaux océaniques dans les hémisphères Nord et Sud de la zone sèche ;
- Perturbation du climat par un courant marin chaud qui bloque la remontée des eaux froides, provoquant un déplacement des basses pressions atmosphériques entre les divers sens d'une zone ;
- Réchauffement de la planète ;
- Etc.

### **II.2.1.3. Types de la sécheresse**

Trois types de sécheresse qui ont été distingués :

- Sécheresse atmosphérique ou météorologique, liée à un manque de précipitations sur une période donnée ;
- Sécheresse agricole, attachée au taux d'humidité du sol à un mètre de profondeur. Elle dépend des précipitations, de la nature du sol, des pratiques culturales et du type de plante ;
- Sécheresse hydrologique correspondant à la diminution des rivières et des ruisseaux. Elle intervient après l'épuisement de la réserve en eau des sols.

### **II.2.1.4. Conséquences de la sécheresse**

Les principales conséquences de la sécheresse sont :

- Désertification : Phénomène par lequel une zone aride devient encore moins apte à conserver la végétation et évolue régulièrement vers un désert ;
- Famine, manque de nourriture ou déficit de récolte : La famine est un manque de nourriture catastrophique qui est dû à une réduction anormale des récoltes, devenant insuffisantes pour satisfaire les besoins alimentaires ou économiques de la communauté ;
- Epidémies : Le manque d'eau potable force les personnes à utiliser l'eau sale, favorisant le développement des maladies hydriques, ainsi qu'une alimentation insuffisante minimise la résistance des personnes aux épidémies ;

- Migration de populations : Le problème de la pénurie alimentaire pousse les gens à se déplacer vers d'autres zones en cherchant des meilleures conditions de vie ;
- Situation d'urgence complexe : La migration massive des personnes des zones affectées par la sécheresse peut causer des épuisements de ressources naturelles tels que l'eau et la terre dans les zones d'accueils.

## **II.2.2. Inondation**

### **II.2.2.1. Définition de l'inondation**

L'inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone qui n'est pas submergée en temps normal par l'eau.

### **II.2.2.2. Causes de l'inondation**

Les principales causes de l'inondation sont :

- Débordement direct d'un cours d'eau dans son lit majeur, suite à des périodes de fortes précipitations ;
- Débordement indirect d'une réserve d'eau superficielle ou souterraine, suite à la remontée des nappes phréatiques ;
- Accumulation des eaux de ruissellement, suite à des précipitations abondantes ;
- Rupture d'un ouvrage comme un barrage ou une digue ;
- élévation du niveau de la mer, suite au réchauffement climatique ;
- Etc.

### **II.2.2.3. Types d'inondation**

Il existe 4 types d'inondation :

- **Inondation à montée lente** : Se produit lorsque la rivière sort lentement de son lit mineur et inonde la plaine pendant une période relativement longue. Cas de l'affleurement du terrain par remontée d'une nappe phréatique, après une ou plusieurs années pluvieuses (Cf. Photos n° 1).



**Photos 1: Inondation de plaine sur le Rhône en 2003**

Source : [www.noe.gard.fr](http://www.noe.gard.fr)

- **Inondation à montée rapide** : Se produit lorsque des précipitations intenses, par exemple les averses violentes, tombent sur tout un bassin versant. Les eaux de ruissellement se concentrent rapidement (Temps de concentration inférieur à 12h) dans le cours d'eau engendrant des crues rapides brutales et violentes (Cf. Photos n° 2).



Photos 2: Inondation à montée rapide sur les Gardons et le Vidourle en 2002

Source : [www.noe.gard.fr](http://www.noe.gard.fr)

- **Inondation par ruissellement pluvial** : Le facteur influençant ce type d'inondation est l'imperméabilisation du sol qui due aux aménagements (habitation, routes, etc) limitent l'infiltration des précipitations dans le solet accentuent le ruissellement (Cf. Photos n° 3).



Photos 3: Inondation par ruissellement à Nîmes en 1988

Source : [www.noe.gard.fr](http://www.noe.gard.fr)

- **Inondation par submersion marine** : Désigne une inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques extrêmes associés aux phénomènes marégraphiques provoquant une élévation du niveau moyen de la mer, accentuée lorsque ces phénomènes se conjuguent à l'occasion d'une tempête (Cf. Photos n° 4).



**Photos 4: Inondation par submersion marine**

Source : [www.noe.gard.fr](http://www.noe.gard.fr)

#### **I.2.2.4. Conséquences des inondations**

##### **Sur les personnes :**

Les risques d'une inondation pour les personnes sont d'abord les accidents comme la mort par noyade ou bien par la chute des décombres emportés par le courant, tel que la disparition de certaines personnes sous les eaux. Aussi, elle peut entraîner des risques sanitaires liés au manque d'eau potable, ainsi que le dysfonctionnement des hôpitaux. De plus, les habitants des maisons inondées doivent s'occuper de la réparation des dégâts de la maison ainsi que du ravitaillement en nourriture qui devient très difficile lors des inondations.

##### **Sur l'environnement :**

les inondations peuvent être responsables d'une érosion massive (notamment en zone côtière), et peuvent toucher des sources de pollution comme des sites industriels ou bien des sols traités par des pesticides qui vont ensuite affecter l'ensemble des terrains inondés.

##### **Sur l'activité économique :**

Après l'inondation, les habitations, les pannes d'électricité, les réseaux de distribution, les routes, autres infrastructures, seront complètement détruites. La répartition et la reconstruction de ces biens entraînent un coût important pour la société. D'autre part, l'inondation peut entraîner des interruptions dans la production ou de lourdes pertes financières (bâtiments et outils endommagés, etc).

##### **Sur le patrimoine culturel :**

Les inondations peuvent détruire le patrimoine (par l'humidité, le dépôt de sel, etc). Elles entraînent la perte des biens culturels qui s'avère choquante pour une population, car le patrimoine fait partie de l'identité culturelle de la société. Les activités économiques liées à ce patrimoine peuvent aussi pâtir de la disparition des biens culturels.

## **II.2.3. Impacts physiques du changement climatique**

### **II.2.3.1. Impacts physiques du cc sur le temps (météorologie)**

- Précipitations: Changements sur quantité, intensité, fréquence et type ;
- Intensification des événements extrêmes (inondations, sécheresses, cyclones tropicaux,...):
  - Estimation à court terme (2016-2035) : Augmentation du nombre des jours chauds de l'ordre de 2 jours ;
  - Estimation à long terme (2081-2100) : Augmentation du nombre des jours chauds de l'ordre de 3 jours ;
  - D'ici la fin de ce siècle, les périodes de précipitations extrêmes deviendraient plus intenses et plus fréquents dans les régions tropicales humides et sur les continents des moyennes latitudes.

### **II.2.3.2. Impact physique du CC sur le Cryosphère**

- À l'échelle mondiale et au cours du XXI<sup>e</sup> siècle : Diminution du volume des glaciers, de l'étendue et de l'épaisseur de la banquise arctique et de l'étendue du manteau neigeux avec des impacts sur l'approvisionnement en eau (1/6 de la population) ;
- Etendue de la banquise : Diminution comprise entre 43 % pour le RCP\_2,6 (trajectoire correspond à une concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub>, qui aura un impact sur l'effet de serre) et 94 % pour RCP\_8,5 (septembre) et entre 8 % pour le RCP\_2,6 et 34 % pour le RCP\_8,5 (février) ;
- Glaciers, en excluant les glaciers périphériques de l'Antarctique : Diminution du volume total de 15 à 55 % (RCP\_2,6), et de 35 à 85 % (RCP\_8,5) ;
- Manteau neigeux de l'hémisphère Nord : Diminution de 7 % pour le RCP\_2,6 et de 25 % pour le RCP\_8,5 (printemps) ;
- Etendue du pergélisol de surface dans les hautes latitudes de l'hémisphère Nord : Diminution de 37 % pour le RCP\_2,6 à 81 % pour le RCP\_8,5.

### **II.2.3.3. Impacts du CC sur les ressources en eau**

- Les impacts observés et projetés du CC sur les ressources en eau sont dus à l'augmentation de la température, aux réductions des précipitations et à la fonte des neiges ;
- L'élévation du Niveau de la Mer (ENM) étendra les aires de salinisation des eaux souterraines et des estuaires avec diminution des réserves d'eau douce pour les humains et les écosystèmes des zones côtières ;
- Les zones arides et semi-arides sont particulièrement exposées aux impacts du CC sur l'eau douce (accentuation des sécheresses) ;
- La plupart de ces zones souffrira d'une nette diminution des ressources en eau due au CC ;
- Réduction de la qualité de l'eau.

### **II.2.3.4. Impacts du CC sur la production agricole et la sécurité alimentaire**

- Le CC aura un impact sur l'agriculture et la production alimentaire dans le monde en raison des effets de la concentration élevée de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, des températures plus élevées, du régime de précipitation et de transpiration modifié, de l'augmentation de la fréquence des événements extrêmes, de la présence des mauvaises herbes, et des parasites, et de la pression des agents pathogènes. Les impacts prévus varient selon les cultures et les régions ;
- Le CC affecte la sécurité alimentaire à l'échelle mondiale et régionale ;
- Les zones de basse altitude sont plus exposées aux risques de diminution des récoltes et de sécurité alimentaire.

### **II.2.3.5. Impacts du CC sur la santé humaine**

- Le CC devrait entraîner une augmentation des problèmes de santé dans de nombreuses régions et notamment dans les pays en développement à faible revenu :
  - Maladies et décès dus aux vagues de chaleur plus intenses et aux incendies ;

- Sous-nutrition résultant de la production alimentaire réduite dans les régions pauvres ;
- Maladies d'origine alimentaire et hydrique et maladies à transmission vectorielle.
- Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), 0.2% de la mortalité a été attribuée au CC en 2004, dont 85% de mortalité infantile (diarrhée, malaria, fièvre dengue).

### II.2.3.6. Impacts du CC sur les systèmes biologiques

- Le réchauffement régional a fortement affecté les systèmes biologiques ;
- Les réponses au CC des écosystèmes, des animaux et des plantes ont déjà eu lieu ;
- Le CC semble être le facteur principal de perte de la biodiversité ;
- Si le réchauffement dépasse 2 à 3°C, il y a risque d'extinction de 2030% des espèces animales et végétales. A plus de 4°C, ce sont 40 à 70% des espèces qui disparaîtraient !

### II.2.3.7. Impacts du CC sur les systèmes côtiers, les zones basses

En raison de la montée du niveau marin projeté au long du 21<sup>ème</sup> siècle et au-delà, les systèmes côtiers et les zones basses devraient subir des effets indésirables tels que la submersion, les inondations côtières et l'érosion côtière.

### II.2.3.8. Impacts du CC sur les zones urbaines et rurales

- *Zones urbaines* : Le stress thermique, les précipitations extrêmes, les inondations côtières, les glissements de terrain, la pollution de l'air, la sécheresse et la pénurie d'eau présentent des risques pour les personnes, l'économie et les écosystèmes.
- *Zones rurales* : Divers impacts du CC sont attendus à court terme et au-delà en raison des répercussions sur la disponibilité de l'eau et l'approvisionnement, la sécurité alimentaire et les revenus agricoles, les changements dans les zones de production des cultures alimentaires et non alimentaires à travers le monde. Ces impacts devraient affecter de manière disproportionnée le bien-être des pauvres dans les zones rurales, tels que les ménages dirigés par des femmes et ceux qui ont un accès limité à la terre, aux intrants agricoles modernes, les infrastructures et l'éducation.

### II.2.3.9. Impacts du CC sur les systèmes sociaux

- Les secteurs sensibles au CC sont :
  - Les ressources en eau ;
  - Les zones côtières ;
  - Les établissements humains ;
  - La santé humaine.
- Les activités économiques sensibles au CC :
  - L'agriculture, la pêche et la foresterie ;
  - L'énergie, l'industrie et le bâtiment ;
  - L'assurance et les services financiers ;
  - Le tourisme et les loisirs.

### II.2.3.10. Impacts du CC sur les migrations et les conflits

- Le stress climatique est susceptible à court terme d'accroître progressivement les flux de migration existants ;
- Des millions de personnes pourraient être déplacées suite à l'érosion du littoral, aux inondations fluviales et côtières, et aux sécheresses intenses ;
- Relation établie entre les températures élevées et la plus grande probabilité de criminalité. Le réchauffement climatique entraînerait des crimes et des violences.

## II.2.4. Prévention et protection

### II.2.4.1. Stratégies de lutte

Les stratégies nationales de lutte contre le réchauffement climatique :

- Stratégie nationale pour la protection de l'environnement ;
- Charte nationale de l'environnement et du développement durable ;
- Plan national de lutte contre le réchauffement climatique ;
- Portefeuille de projets MDP (Mécanisme pour un développement propre) ;
- Nouvelles stratégies énergétiques ;
- Nouvelles stratégies de l'eau ;
- Etc.

## II.3. Vulnérabilité d'un milieu

### II.3.1. Définition de la vulnérabilité

Le GIEC dans son 5<sup>ème</sup> rapport sur les changements climatiques et leurs évolutions futurs, a défini la vulnérabilité comme étant : « **La propension ou la prédisposition à être affectée de manière négative par les changements climatiques. La vulnérabilité recouvre plusieurs concepts et éléments, notamment la sensibilité ou la susceptibilité d'être atteint et le manque de capacité à réagir et à s'adapter** ».

D'après toutes les définitions du GIEC, on peut conclure que les principales composantes de la vulnérabilité sont :

- L'adaptation : Processus d'ajustement au climat présent ou attendu et à ses effets ;
- Impacts : Les conséquences sur les systèmes naturels et humains des événements météorologiques et climatiques extrêmes ;
- L'exposition : La présence de personnes, de moyens de subsistance, d'espèces ou d'écosystèmes, de fonctions environnementales, de services et de ressources, d'infrastructures ou de biens économiques, sociaux ou culturels dans des zones susceptibles d'être affectées négativement. ;
- La sensibilité : Degré d'affectation positive ou négative d'un système par des stimuli liés au climat.

Tel qu'une forte exposition, une forte sensibilité et une faible adaptation induisent à une forte vulnérabilité.

## II.3.2. Sensibilité et vulnérabilité du Maroc au changement climatique

### II.3.2.1. Causes multiples de la vulnérabilité du Maroc et facteurs de son accentuation

- Répartition spatio-temporelle des précipitations très hétérogène et qui risque de s'accroître avec le changement climatique attendu (Cf. Figure n° 11) ;

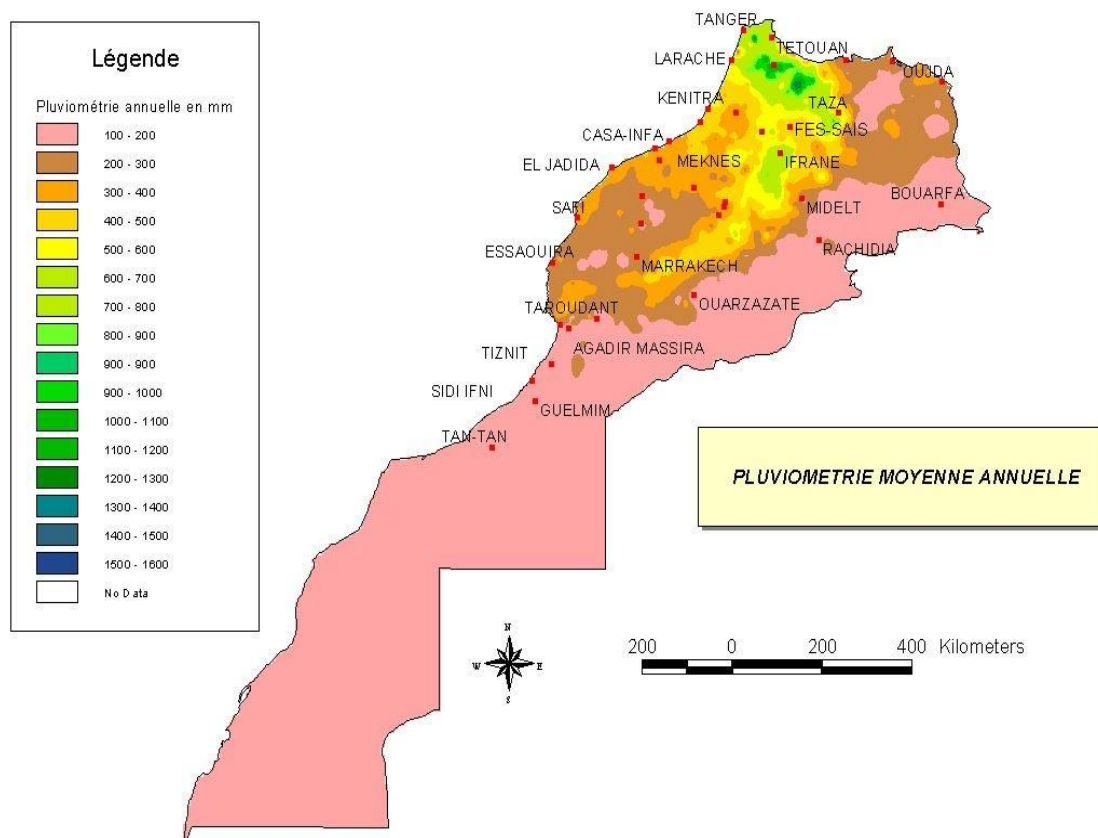


Figure 11: Pluviométrie moyenne annuelle du Maroc

Source : DMN

- Une importante frange littorale fortement urbanisée, subissant des dégradations diverses qui seront aggravées, par endroits, à cause de l'EANM prévue avec le changement climatique ;
- Un domaine montagneux avec de fortes dissemblances en étendue et en altitude : Enormes problèmes pour le secteur de l'eau suite au changement climatique (moins de neige, moins d'eau et plus de besoin) ;
- Une grande fragilité de certains écosystèmes au niveau des zones littorales ainsi que des oasis ;
- Une économie basée en grande partie sur l'agriculture et le tourisme : Secteurs particulièrement exposés au risque climatique ;
- Un secteur de la santé fragile avec des foyers de maladies (hydrique) risquant de se développer en nombre et type en relation avec le changement climatique ;

- Une forêt marocaine qui se perd avec une pression anarchique des utilisateurs et la baisse des apports pluvieux durant les dernières décennies : recul de surface forestière qui risque de s'accroître avec le changement climatique.

Il existe aussi, plusieurs facteurs socio-économiques qui accentuent cette vulnérabilité, en cas de :

- Une prise en compte fragmentée du risque du changement climatique dans les politiques publiques (étatiques) ;
- Une urbanisation croissante des zones à risque ;
- L'insuffisance de connaissances pertinentes sur les moyens d'adaptation au changement climatique ;
- L'insuffisance de systèmes d'alerte rapide, de mécanismes de gestion des crises pertinents et de plans de riposte robustes.

### II.3.2.2. Perspectives du climat du Maroc avec le changement climatique

En se basant sur les résultats du 4<sup>ème</sup> rapport du GIEC, les modèles de prévision climatique ont confirmé que le Maroc devrait s'attendre à :

- Un réchauffement climatique touchant l'ensemble du territoire mais à des niveaux différents d'une région à l'autre (Cf. Figure n° 12).

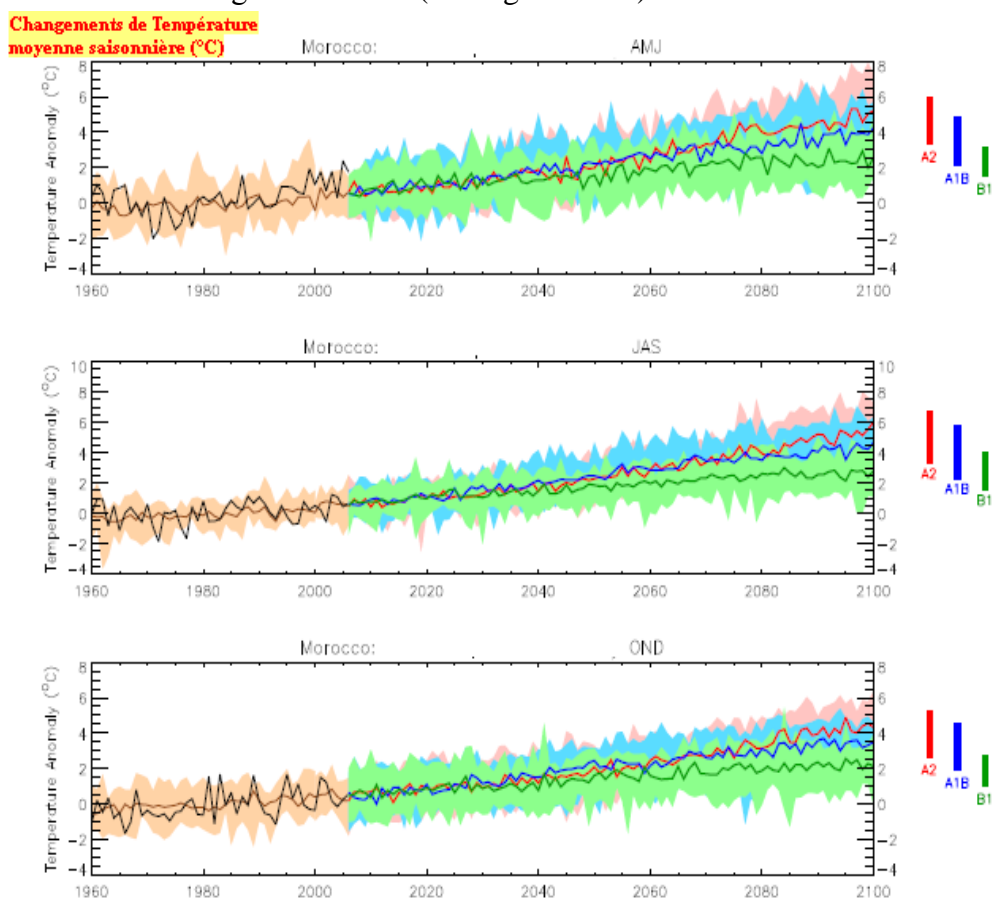


Figure 12: Changement de température moyenne saisonnière 1960-2100 au Maroc

Source : 4<sup>ème</sup> rapport du GIEC (2007)

Tableau 1 : Réchauffement prévu en 2015et 2045 à chaque région du Maroc

Région du Maroc	Réchauffement prévu en 2015/1060-1990	Réchauffement prévu en 2045/1960-1990
Oriental	0,8/0,9 °C	2 °C
Nord	0,6/0,7 °C	1,7 °C
Centre	0,6/0,7 °C	1,8 °C
Sud	0,4/0,6 °C	1,6 °C

Source : 4<sup>ème</sup> rapport du GIEC (2007)

- Une baisse des précipitations touchant l'ensemble du territoire mais à des niveaux différents d'une région à l'autre(Cf. Figure n° 13).

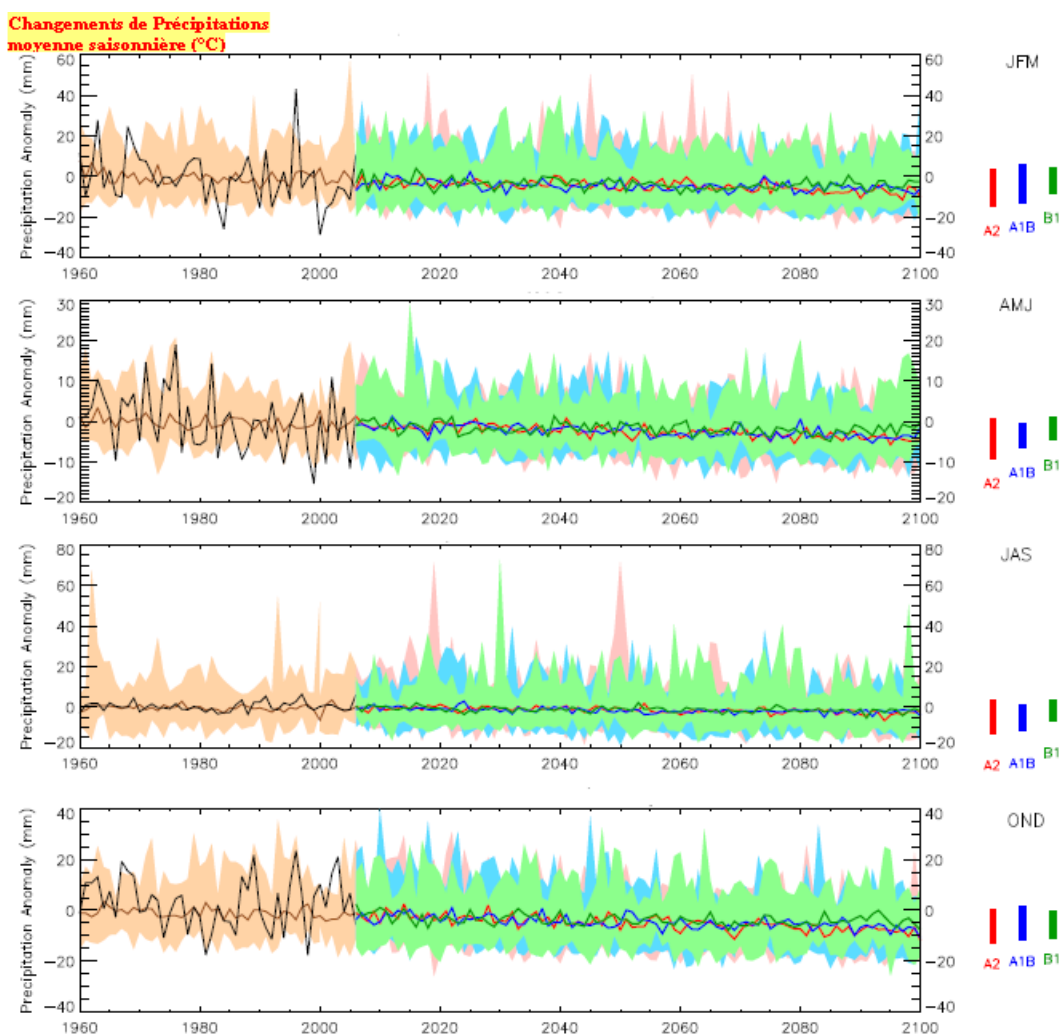


Figure 13: Changement de précipitation moyenne saisonnière 1960-2100 au Maroc

Source :4<sup>ème</sup> rapport du GIEC (2007)

**Tableau 2: Précipitations prévu en 2015 et 2045 à chaque région du Maroc**

Régions du Maroc	Diminution des précipitations prévue en 2015/1960-1990	Diminution en % par an de précipitation	Diminution des précipitations prévue en 2045/1960-1990	Diminution en % par an de précipitation
<b>Oriental</b>	-10/20 mm sur 140mm/an	-7%/-14%	-18/22 mm sur 236mm/an	-13%/-16%
<b>Nord</b>	-36 mm sur 720mm/an	-5%	-90/100 mm sur 720mm/an	-12%/14%
<b>Centre</b>	-14/26 mm sur 236mm/an	-6%/-11%	-30/40 mm sur 236mm/an	-13%/17%
<b>Sud</b>	-3/9mm sur 59mm/an	-3%/-15%	-6mm sur 59mm/an	-10%

Source : 4<sup>ème</sup> rapport du GIEC (2007)

### **II.3.3. Approches adoptés à ce jour au Maroc pour évaluer cette vulnérabilité**

Avec les longues et fréquentes sécheresses des années 80 et les inondations exceptionnelles des années 90/2000, le Maroc a dans un premier temps fait face au changement climatique de façon réactive, par :

- L'installation structurelle des approches organisationnelles et des plans d'action, des irrégularités climatiques, qui ont été mise en place pour faire face au changement climatique et ses effets ;
- La réalisation des stratégies nationales sectorielles qui ont cherché à intégrer au mieux le changement climatique en tant que facteur de risque : L'agriculture, l'eau, le littoral, la forêt et la santé se sont dotés d'approches, d'études et de compétences locales pour évaluer leurs vulnérabilité et intégrer au mieux le changement climatique dans leurs politiques ;
- La mise en œuvre de la première et de la seconde communication nationale du Maroc dans le cadre de la Convention Cadre des Nations Unies sur le changement climatique qui a été signée en 1994, puis ratifié en 1995 par le Maroc. Ainsi que des études de vulnérabilité associées qui ont assistés à créer une dynamique qui a beaucoup aidé dans le sens de l'anticipation du risque CC ;
- La troisième communication nationale qui est en cours de finalisation, et qu'elle a pour but : l'actualisation des connaissances et l'évaluation de la vulnérabilité au CC avec des approches plus structurées, plus précises et intégrant tout ce qui a été fait au niveau sectoriel et territorial durant ces dernières années.

### **II.3.4. Secteurs les plus vulnérables au CC au Maroc**

#### **Secteur Eau**

Les aquifères du Maroc offrent des avantages importants au regard de leur qualité, facilité d'exploitation, à des coûts relativement faibles, en plus de leur régularité spatio-temporelle. Ainsi, elles jouent un rôle très important dans le développement socio-économique du pays lors des périodes de sécheresse.

Le potentiel en ressources en eau au Maroc est évalué en moyenne à près de 22,1 milliards de m<sup>3</sup> partagés en 18 milliards de m<sup>3</sup> de ressources en eau superficielle et 4,1 milliards de m<sup>3</sup> de ressources en eau souterraine, sur l'ensemble du territoire.

La répartition de cette ressource hydrique par bassin est donnée dans le tableau ci-après.

**Tableau 3: Ressources en eau renouvelables par bassin versant**

Bassins	Ressources en eau renouvelables (Millions de m <sup>3</sup> /an)		Nombre d'habitants (2004)	Potentiel en eau (m <sup>3</sup> /personne/an)
	Eaux de surface	Eaux souterraines		
<b>Loukkos, Tangérois et côtiers Méditerranéens</b>	3600	190	2 800 000	1355
<b>Moulouya, Figuig, Kert, Isly et Kiss</b>	1600	510	2 400 000	880
<b>Sebou</b>	5560	1300	6 235 900	1100
<b>Bou Regreg et Chaouia</b>	850	120	6 860 000	140
<b>Oum Er-Rbia et El Jadida-Safi</b>	3450	400	4 500 000	860
<b>Tensift et Ksob-Igouzouden</b>	870	520	2 723 100	510
<b>Souss-Massa et Tiznit-Ifni</b>	625	370	2 195 800	450
<b>Guir, Ziz, Rhéris, Draa</b>	1395	670	1 760 000	1170
<b>Sahara</b>	50	16	416 900	160
<b>Total</b>	18 000	4 100	29 891 700	740

Source : Secrétariat d'État chargé de l'Eau et de l'Environnement

Avant la prise en compte des années de sécheresse qui ont été marquées par une nette diminution des apports des cours d'eau, les trois dernières décennies, ce potentiel était estimé à près de 30 milliards de m<sup>3</sup> par an.

Si on compare 1940-1970 à 1970-2005, on notera des réductions des apports d'eaux observées au niveau de l'ensemble des barrages existant qui atteintes environ 35%.

Le suivi de l'évolution des niveaux d'eau de la majorité des nappes du pays montre une baisse alarmante dans la plupart de ces dernières : 40 m dans le Souss, 30 m dans le Haouz, 60 m dans le Saiss et 40 m dans Ain Béni Mathar.

Cette baisse due aux effets conjugués des sécheresses, des irrégularités climatiques et de la surexploitation par les usagers, s'est traduite par une importante diminution des écoulements de base des cours d'eau et des lacs, tarissement des émergences et des ouvrages traditionnels de captage d'eau, augmentation des hauteurs de pompages, baisse de pression dans les aquifères captifs, intrusion marine, détérioration de la qualité chimique de l'eau, etc.

Cette situation de déficit touche tous les bassins hydrographiques, sauf ceux du Nord. **Les bassins d'Oum Er-rbia, Sebou, Moulouya et Souss-Massa sont les plus menacés au Maroc.**

La réduction du Capital en eau d'environ 80% (Cf. Figure n° 14):

- 1960 : 2560 m<sup>3</sup>/hab./an ;
- 2010 : 720 m<sup>3</sup>/hab./an (stress hydrique) ;
- 2020 : 520 m<sup>3</sup>/hab./an (Pénurie hydrique).

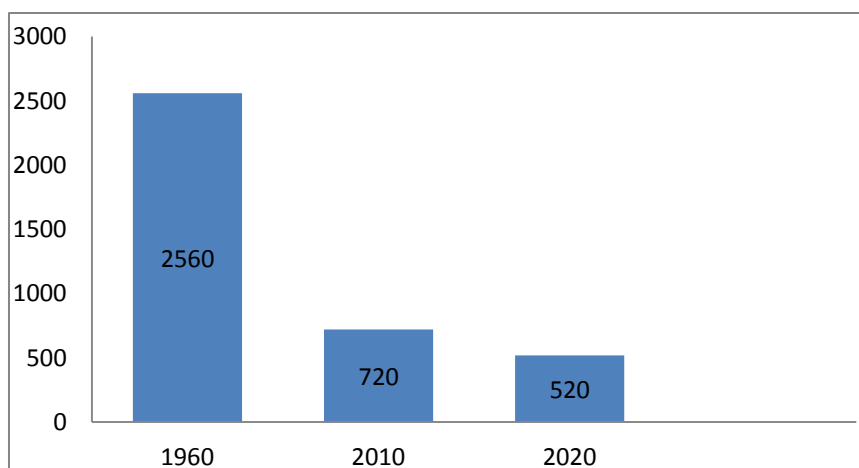


Figure 14: Variation du capital en eau entre 1960 et 2020

Source : Formation sur l'Adaptation au changement climatique au niveau provincial et communautaire, Commune Rurale de Boudinar/ Province Drriouch

En ce qui concerne le potentiel en ressources en eaux menacées, on peut distinguer :

- Pollution alarmante des ressources en eau :
  - 750 mm<sup>3</sup>/an d'eaux usées domestiques rejetées sans épuration, dont 37% est traité au niveau de la STEP ;
  - 3,3 Millions d'Equivalent Habitant rejetés sans épuration par les industries ;
  - Pollution des nappes par les engrais et les pesticides.
- Envasement :
  - 75% sur 23 millions d'hectares en zones montagneuses sont touchées par l'érosion, dont un tiers de manière très critique ;
  - Perte de capacité de stockage par envasement de 75 mm<sup>3</sup>/an ;
  - Perte totale cumulée de capacité de 1200 mm<sup>3</sup> sur 16 000 mm<sup>3</sup>, soit près de 7% de la capacité de stockage des barrages existants.

### Secteur agricole

Au Maroc, l'agriculture est un moteur de croissance économique, social et environnemental, ainsi qu'il est un outil efficace de lutte contre la pauvreté rurale, tel est l'objectif de la nouvelle stratégie nationale déclinée en Plan Maroc Vert (PMV). Ce secteur qui est d'importance stratégique présente au Maroc, représente :

- 19 % du PIB (Produit Intérieur Brut) ;
- 45 % de l'emploi dans les zones urbaines et 85 % dans les zones rurales ;
- 86 % de l'usage totale de l'eau ;
- et concerne plus de 70 % de la population.

Les zones cultivées couvrent environ 9 millions d'ha soit 15% du territoire, y compris 8,7 millions d'hectares de Surfaces Agricoles Utiles (SAU) qui sont dotées d'une forte richesse en systèmes agro-climatiques, qui lui permet de produire une très large gamme de produits agricoles.

Le Bour représente 81 % de la SAU. Il est immédiatement dépendant des eaux pluviales et essentiellement vulnérable suite à l'augmentation de la température et la baisse des précipitations, provoquant :

- Baisse des rendements de l'ordre de 0,26 % par an (1960-2004) ;
- Réduction du cycle biologique des productions agricoles ;
- Accentuation du processus de désertification ;
- Rabattement de la nappe souterraine ;
- Prolifération des ravageurs.

L'agriculture irriguée est aussi vulnérables. Parmi les facteurs d'accentuation de cette vulnérabilité face aux aléas climatiques, il y a :

- La gestion peu efficiente des eaux dans les périmètres irrigués ;
- La disponibilité des eaux d'irrigation dans les barrages qui est largement affectée par les hauteurs de pluies reçues et l'enneigement.

La notion initiale du périmètre irrigué confirme la présence d'un système qui est indépendant des aléas pluviométriques, mais durant ces dernières décennies, la fréquence et l'intensité des périodes de la sécheresse ont montré les limites de cette notion.

### **Littoral marocain**

Le Maroc est caractérisé par une importante frange littorale qui concentre les principales agglomérations du pays, les densités démographiques les plus élevées, les réseaux d'infrastructures et de communications les plus denses et les principales activités socio-économiques. Il dispose aussi de ressources halieutiques abondantes, des paysages diversifiés et des sites naturels qui lui permettent d'offrir un environnement très attractif.

L'analyse préliminaire de la vulnérabilité des zones littorales marocaines réalisée par le projet FEM/ Banque Mondiale « Gestion Intégrée des Zones Côtières/Côtes Méditerranéennes », a fait ressortir que :

- La lagune de Nador, la lagune de l'Oualidia - Sidi Moussa et l'estuaire du Sebou sont les systèmes paraliques les plus vulnérables ;
- Les villes de Tanger, Casablanca, Mohammedia et Agadir sont les agglomérations urbaines les plus vulnérables.

Le littoral marocain peut être fragilisé par l'activité anthropique et exposé à l'EANM, ces risques sont nombreux et variés mais les plus significatifs sont généralement :

- Dans des différents segments côtiers, une variation du niveau marin même de quelques décimètres peut entraîner un retrait sensible du rivage soit par érosion ou par submersion ;
- Risques d'intrusion des eaux marines pouvant conduire à des formes de dégradation par salinisation dans des terrains étendus exploités par l'agriculture côtière ;
- Les principaux ouvrages littoraux des aménagements portuaires et d'assainissement sont aussi vulnérables à l'EANM ;

## Vulnérabilité de la vallée de l'Ourika à l'inondation dans le contexte des changements climatiques

- L'EANM aura des effets sur l'environnement mais aussi sur les divers secteurs de l'économie dont en particulier le tourisme, la pêche et les transports maritimes, et obligera à des interventions (protection, réhabilitation, etc).

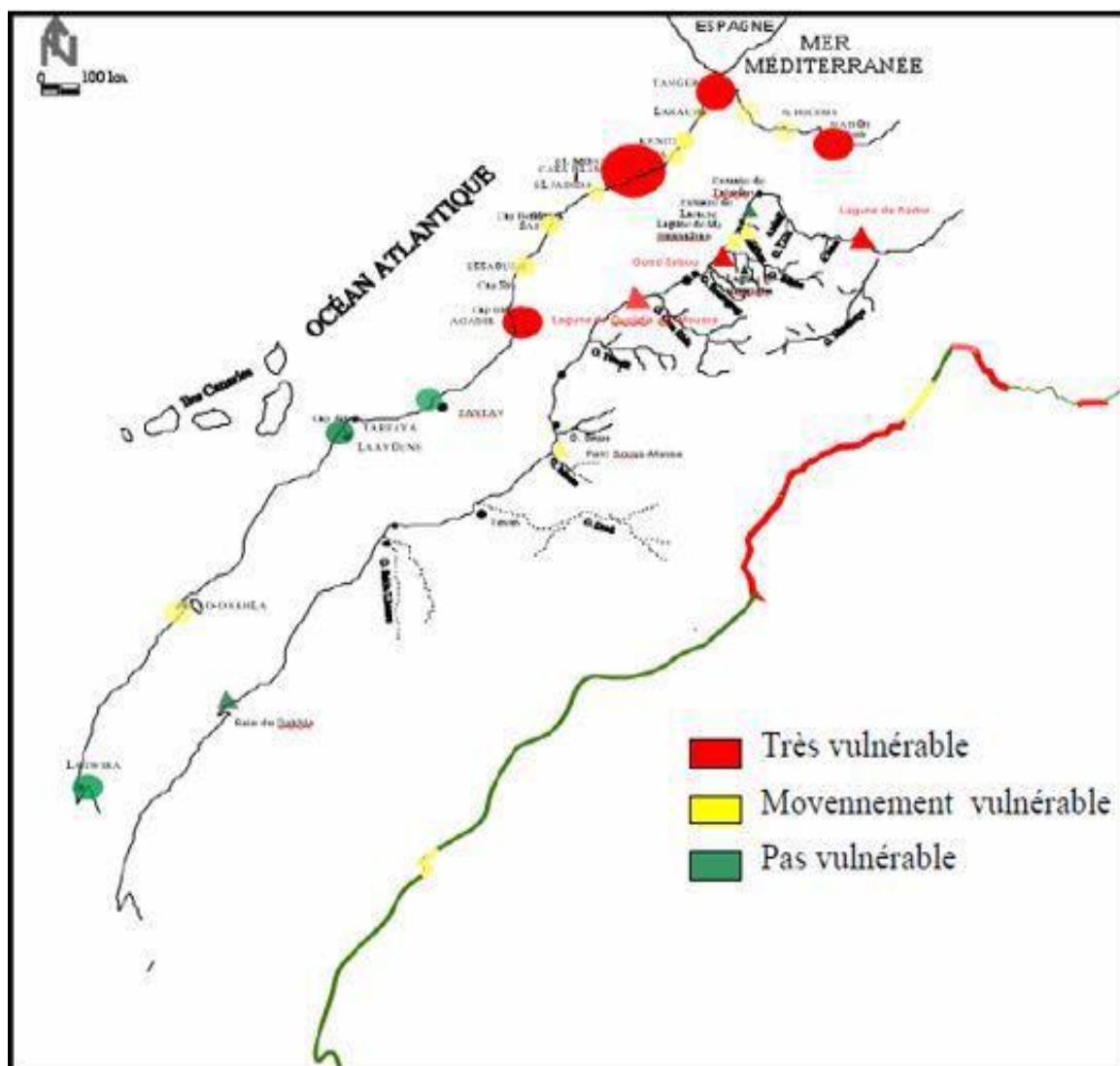


Figure 15 : Répartition spatiale du degré de la vulnérabilité au CC au Maroc

Source : Formation sur l'Adaptation au changement climatique au niveau provincial et communautaire, Commune Rurale de Boudinar/ Province Driouch

### Forêt

La dynamique de la forêt Marocaine commence déjà à changer suite à la baisse de la pluviométrie et de la surface forestière. Ainsi on observe un changement de l'état dynamique à un état statique avec un équilibre très aléatoire comme l'exemple de la forêt d'Al Maâmoura.

Les principaux signes de vulnérabilité de la cédraie au changement climatiques sont :

- Déséquilibre de la cédraie du Moyen Atlas qui est dû aux difficultés de régénération naturelle et au recul de la surface ;

- Disparition du cèdre des versants Sud, qui deviennent de plus en plus chauds avec un bilan hydrique négatif, pour s'installer dans les versants Nord.

La vulnérabilité de la forêt au climat est aggravée par des pressions anthropiques qui peuvent être évaluée principalement par :

- Dégâts causées par le surpâturage sur la régénération naturelle de différentes essences ;
- Coupes abusives de bois de chauffe ;
- Incendies ;
- Défrichements et élagages des branches d'arbres pour les donner aux troupeaux en période de sécheresse.

**La vulnérabilité de la forêt affecte à la fois la flore et la faune.**

### **Secteur de la santé**

Le domaine de la santé au Maroc est organisé en deux principaux secteurs : public ou privé. Selon le groupe d'experts de la deuxième communication nationale du changement climatique, les indicateurs de base du système de santé au Maroc peuvent être résumés comme suit :

- Espérance de vie à la naissance h/f (2004) : 69.0 / 73.0 années ;
- Espérance de vie en bonne santé à la naissance h/f (2002) : 59.5 / 60.9 années ;
- Mortalité infantile (pour 1000) : 40 ;
- Mortalité de l'adulte h/f (pour 1000) : 157 / 102 ;
- Mortalité maternelle (pour 100 000 naissances vivantes) : 227 ;
- Prévalence VIH/SIDA adultes (15 – 49 ans) : 0.1% ;
- Total des dépenses de (santé par habitant Intl \$, 2003) : 218 US\$.

Au Maroc, la vulnérabilité de la santé peut être expliqué par :

- Présence des foyers endémiques des maladies qui risquent d'être aggravées par le changement climatique :
  - Paludisme ;
  - Bilharziose ;
  - Leishmaniose ;
  - Etc.
- Facteurs non climatiques favorables à la prolifération des maladies :
  - Infrastructures sanitaires ;
  - Accès aux infrastructures de base ;
  - Etc.

### II.3.5. Approches permettant de caractériser la vulnérabilité / opportunité pour un domaine impacté

Trois catégories d'approches permettent de caractériser la vulnérabilité :

- Approche qualitative ;
- Approche quantitative ;
- Approche mixte.

Dans le contexte du changement climatique, l'appréciation de la vulnérabilité repose souvent sur les méthodes qualitatives ou mixtes, faute des données quantitatives.

Dans le cadre de la présente étude, nous allons développer la méthode qualitative, qui est une approche participative associant les différents acteurs du domaine (représentants de l'administration, du secteur privé et de la société civile) et experts du climat et du CC. Elle est basée sur la construction d'une matrice de vulnérabilité pour les milieux naturels et les secteurs-clés d'activité en relation avec le domaine visé.

Les différentes phases de la méthode d'évaluation de la vulnérabilité au CC retenue sont :

- ***Phase 1*** : *Découper le domaine en systèmes et sous-systèmes homogènes*, tout en distinguant les milieux naturels, les secteurs-clés d'activité humaine et les secteurs sociaux en relation avec le domaine et ce, en fonction de leurs caractéristiques intrinsèques et leurs vulnérabilités au CC.
- ***Phase 2*** : *Définir les aléas climatiques et les phénomènes extrêmes* qui affectent directement et/ou indirectement chaque système et sous système du domaine en utilisant les résultats de l'état des lieux sur le climat du Maroc et ses tendances.
- ***Phase 3*** : *Caractériser et apprécier les pressions et les stress*, inhérents aux aléas climatiques, qui s'exercent sur chaque système et sous-système du domaine : Il s'agira d'identifier, avec les parties prenantes, les milieux naturels, les secteurs-clés et les sous-secteurs qui sont les plus affectés ou susceptibles d'être affectés à moyen terme par les aléas climatiques et les phénomènes extrêmes, compte tenu des scénarios et des projections climatiques.
- ***Phase 4*** : *Déterminer collectivement les systèmes et les sous-systèmes les plus exposés et les plus sensibles aux aléas climatiques et aux phénomènes extrêmes* : A partir des résultats de l'appréciation collective de l'exposition (phase 3), Une évaluation qualitative des niveaux de sensibilité des systèmes identifiés doit être réalisée. Il s'agira d'attribuer des scores de 0 à 5 en fonction du niveau de sensibilité de chaque système et sous-système du domaine.

Ci-après les scores pour l'appréciation qualitative de la sensibilité :

- Score (0-1) : Faible sensibilité s'il n'y a pas ou peu de perturbation significative et perceptible du système par les aléas climatiques étudiés ;
- Score (2-3) : Moyenne sensibilité quand les aléas climatiques affectent une composante du système sans atteindre sa structure et son fonctionnement ;
- Score (4-5) : Forte sensibilité si le système est profondément affecté par les aléas climatique qui menacent sa durabilité dans l'immédiat.

- **Phase 5 :** Evaluer de manière participative la capacité d'adaptation existante à l'échelle du domaine par milieu naturel et par secteur d'activités : Cette action vise à dresser un état des lieux sur la capacité interne d'adaptation du domaine sur la base d'un inventaire de l'ensemble des actions d'adaptation existantes. Ensuite, la capacité d'adaptation du domaine doit être appréciée.
- **Phase 6 :** *Matrice de vulnérabilité du domaine au CC, identifiant les principaux enjeux climatiques et leurs tendances.* L'évaluation collective de la vulnérabilité consiste en un croisement de l'ensemble des résultats dégagés des tâches précédentes. Il s'agira d'attribuer un score de 0 à 4 à chaque milieu naturel, secteur d'activités et secteur social, en fonction respectivement de son exposition, sa sensibilité et la capacité d'adaptation existante :
  - Les systèmes les plus vulnérables : Situation où l'exposition et la sensibilité sont fortes avec absence ou quasi-absence d'actions d'adaptation ;
  - Les systèmes les moins vulnérables : Situation où les niveaux de l'exposition et la sensibilité sont faibles à moyens, et la capacité d'adaptation existe, alors la vulnérabilité est jugée faible à moyenne.

**Tableau 4: Les principaux enjeux et leurs tendances**

Enjeux par secteur et sous-secteur		Exposition		sensibilité	Capacité d'adaptation		Vulnérabilité	
secteur	Sous-secteur	Aléa climatique	Stress pressions	Appréciation qualitative	Résilience interne	Opportunité	appréciation	Fiabilité

L'exploitation des résultats de l'évaluation doivent être rapportés dans un tableau synthétique permettant une identification partagée des principaux enjeux du domaine liés aux aléas climatiques et au CC attendus(Cf. Tableau n° 4).

**Tableau 5: Appréciation de la vulnérabilité et priorisation des enjeux par secteur**

Sensibilité / Capacité d'adaptation	Faible : 1	Moyenne : 2	Forte : 3
<b>Faible : 1</b>			
<b>Moyenne : 2</b>		Priorité décroissante	
<b>Forte : 3</b>			

La synthèse des résultats de l'évaluation participative de la vulnérabilité du domaine doit reprendre et intégrer l'ensemble des produits issus des phases franchies précédemment selon le cheminement illustré par la figure suivante.

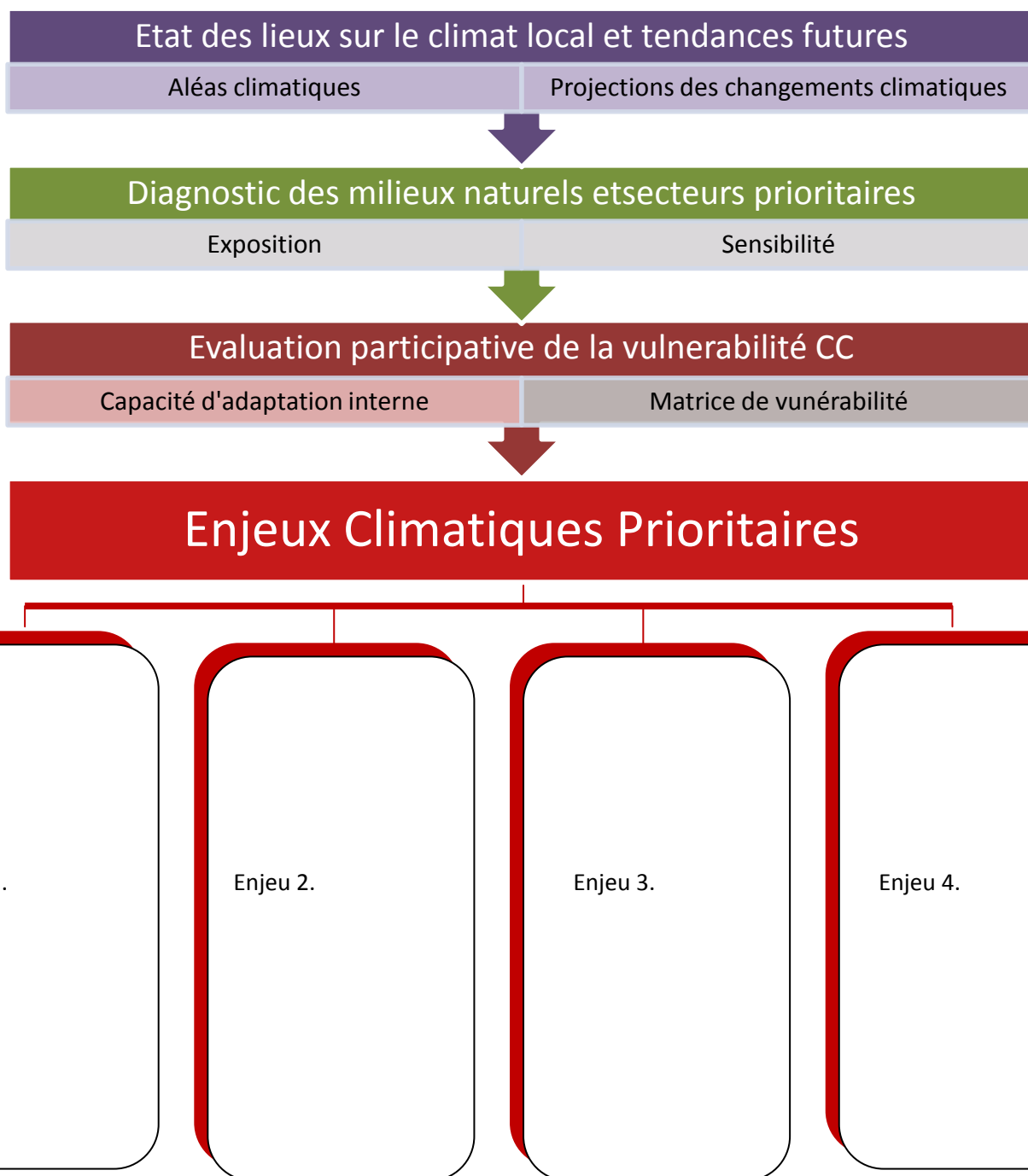


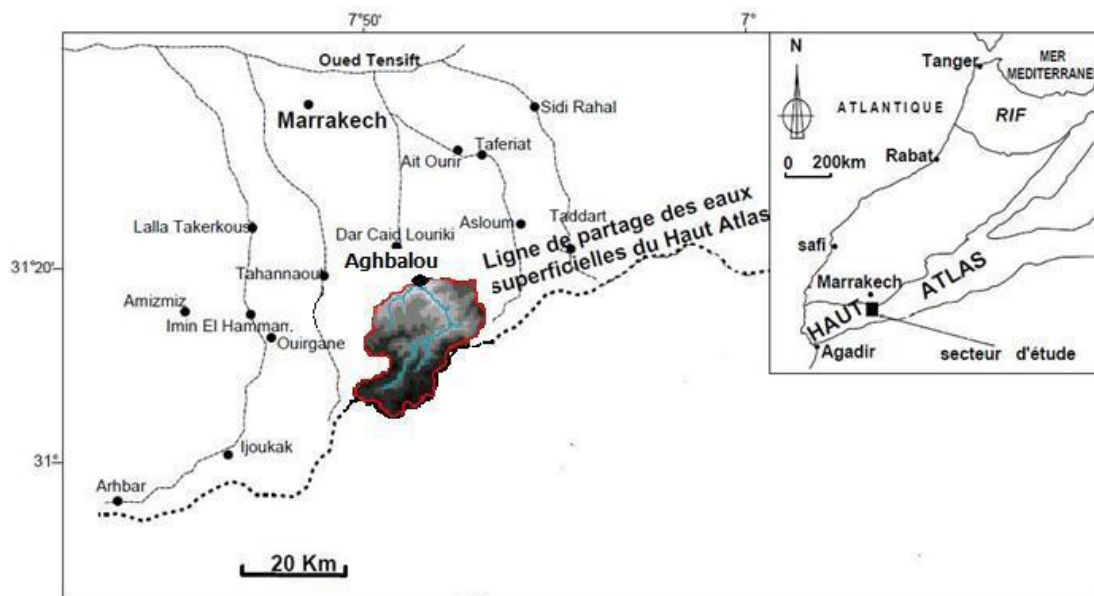
Figure 16 : Principaux enjeux climatiques et leurs tendances

Source : Rapport du Québec sur la vulnérabilité

### III. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

#### III.1. Délimitation de l'aire d'étude

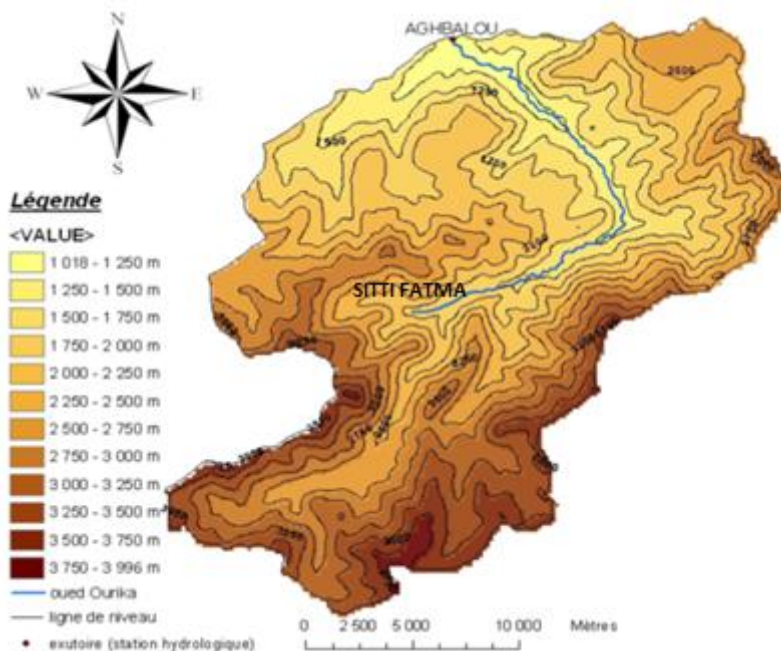
Le bassin versant de l'Ourika est compris entre 31° et 31°20' Nord et entre 7°30' et 7°60' Ouest. Il est situé au Sud Est de la ville de Marrakech(Cf. Carte n° 1).



Carte 1 : Situation géographique du bassin versant de l'Ourika

Source : Saidi, Agoussine et Daoudi, 2006

Au sein de ce bassin versant, l'aire d'étude retenue dans le cadre du présent projet de fin d'étude correspond au tronçon compris entre Aghbal et Setti-Fadma (Cf. Carte ci-après).



## Carte 2: Aire d'étude au niveau du bassin versant de l'Ourika

Source :Matthieu JULLERAT, 2004

### III.2. Inventaire du milieu

#### III.2.1.Milieu physique

##### ▪ Hydrographie

L'oued Ourika est un affluent de l'oued Lahjar, lui-même est un affluent rive gauche de l'oued Tensift. Il se divise en deux portions nettement opposées de part et d'autre du coude d'Ait Barka.

Le bassin versant de l'Ourika est un hydrosystème bien individualisé du Haut Atlas de Marrakech. Ses sommets les plus élevés dépassent les 4 000 m d'altitude (Jbel Toubkal : 4 165 m).

L'oued de l'Ourika prend sa source au niveau de la zone axiale de la chaîne du Haut Atlas.



Sa vallée est encaissée dans des reliefs qui peuvent dépasser 3000m d'altitude (JbelMeltsen : 3597m).

**Photos 5: Les hautes montagnes de la zone d'étude**

Source :Photos personnelle

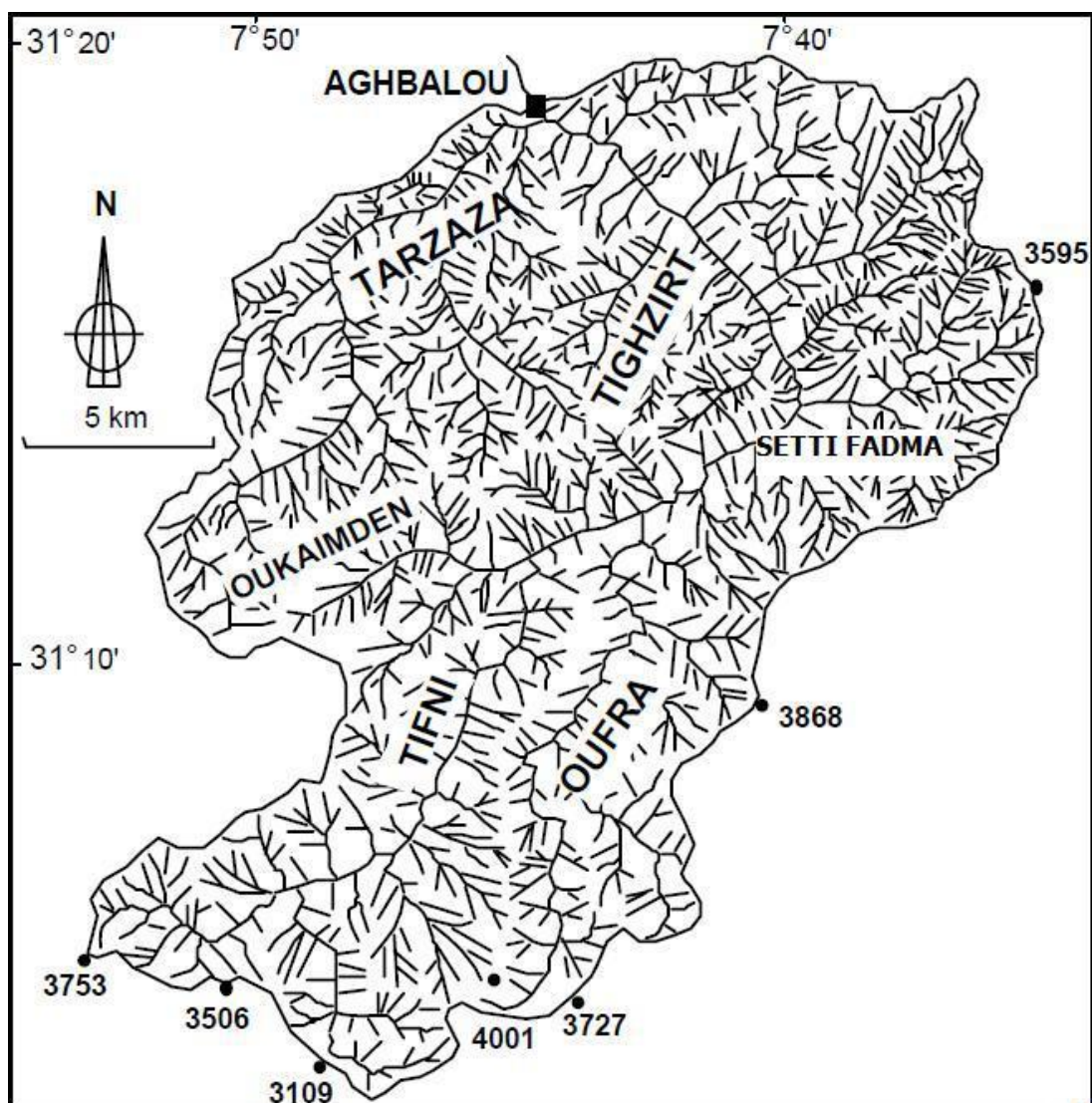
L'altitude moyenne de la vallée est de 2100m.

Le réseau hydrographique du bassin versant de l'Ourika est bien développé dans sa partie amont du fait de l'imperméabilité du socle précambrien, du couvert végétal restreint et du relief très accidenté.

Ce réseau est en revanche moins développé dans la partie aval en raison de la dominance de terrains non cristallophyllien, plus perméables, avec un relief relativement modéré et un couvert végétal plus abondant qu'en amont.

La densité de drainage semble donc dépendre de plusieurs paramètres dont la lithologie, la géomorphologie, le couvert végétal et les conditions climatiques.

La Carte suivante présente le réseau hydrographique du bassin versant de l'Ourika.



Carte 3 : Réseau hydrographique du bassin versant de l'Ourika

Source :Saidi, 2006

### ▪ Géologie

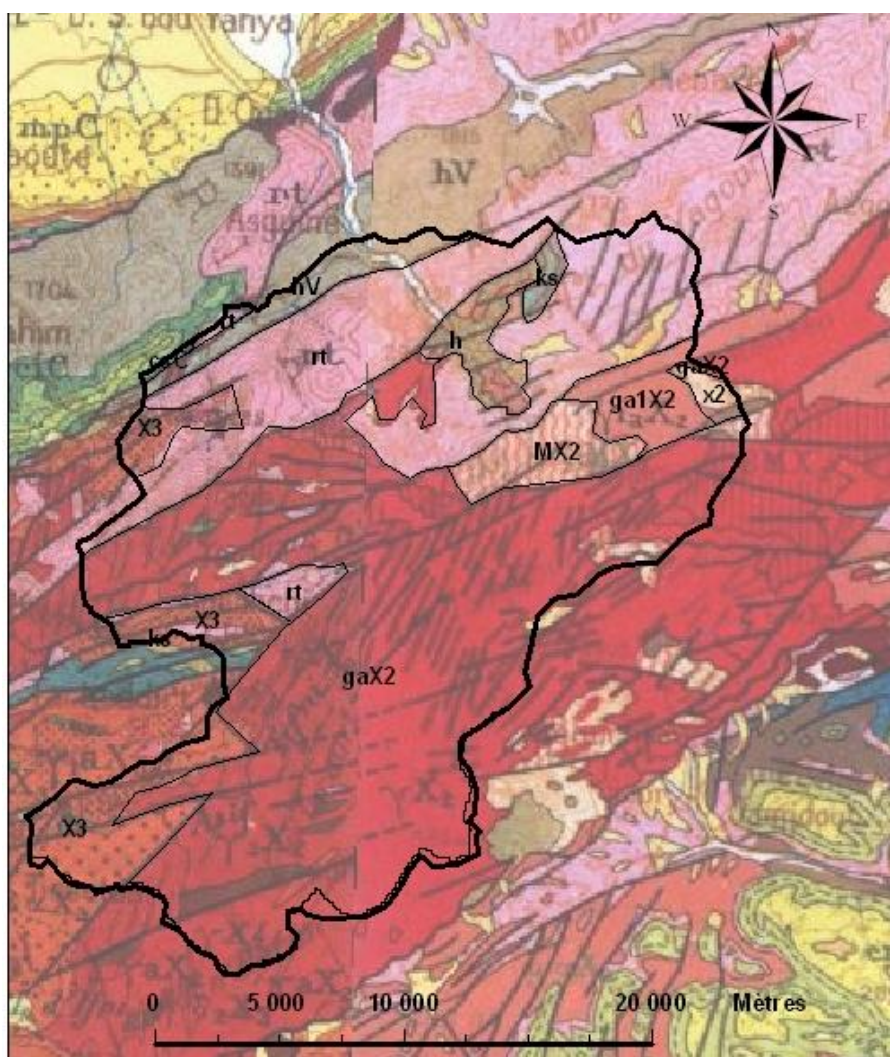
**Sur le plan stratigraphique**, le bassin versant de l'Ourika offre deux grands types de faciès (Cf. Carte n° 4) :

- Une partie amont, située à des altitudes supérieures à 2 000 m, constituée de roches magmatiques et métamorphiques, qui constituent le socle de la chaîne atlasique. On y rencontre des roches plutoniques (notamment des granites et granodiorites), des roches volcaniques (andésites, rhyolites, etc.) et des faciès métamorphiques (gneiss et migmatites) ;
- Une partie aval, située à des altitudes inférieures à 2 000 m, composée de dépôts permo-triasiques et quaternaires plus tendres. La lithologie du Permo-trias est composée d'un faciès nord, subatlasique, formé de conglomérats, grès et siltites, et d'un faciès sud des hauts plateaux, formé essentiellement de siltites argileuses et localement de grès massifs.

## Vulnérabilité de la vallée de l'Ourika à l'inondation dans le contexte des changements climatiques

La lithologie du bassin versant est donc dans l'ensemble assez imperméable. Selon les chiffres de l'agence de bassin hydraulique de Tensift, 6% des sols y sont perméables, 39% semi-perméables et 55% imperméables.

**Sur le plan tectonique**, la région d'Ourika est affectée par des phénomènes tectoniques qui sont de deux types : Tectonique cassante (faille normale, inverse et chevauchante) et tectonique souple (plis).



**Carte 4 : Géologie du bassin versant de l'Ourika**

Source : Extraite de la carte géologique de Marrakech au 1/500000

Symbole	Echelle stratigraphique	Lithologie
Csc	Sénonien faciès continental	Formation Ire <i>mamo-calcaire</i>
rt	Permo-Trias continental	Grès et argiles
h	Carbonifère non subdivisé ou probable	Formation Ire à dominante calcaire
hV	Viséen	Formation Ire à dominante calcaire
kS	Acadien	Formation Ire à dominante schisteuse
ga1X2	Précambrien III	Granites et granodiorites
gaX2	Précambrien III	Granites à biotites et granodiorites leuco.
MX2	Précambrien III	Migmatites
X3	Précambrien III	Roches magmatiques
x2	Précambrien II	Schistes et Séritoschistes

## ▪ Climatologie

Le climat du bassin versant de l'Ourika est d'abord caractérisé par sa grande variabilité spatiotemporelle. Les précipitations varient en hauteur, en intensité et dans leurs distributions géographiques. La pluviométrie annuelle est en moyenne de 541 mm par an à la station d'Aghbalou avec un coefficient de variation de 34 %. La variabilité mensuelle et saisonnière est encore plus marquée, avec des coefficients de variation respectifs de 55 % et 50 %. Cette pluviométrie augmente avec l'altitude (Cf. Figure n° 18) . Elle peut dépasser 700 mm par an sur les hauts sommets du bassin.

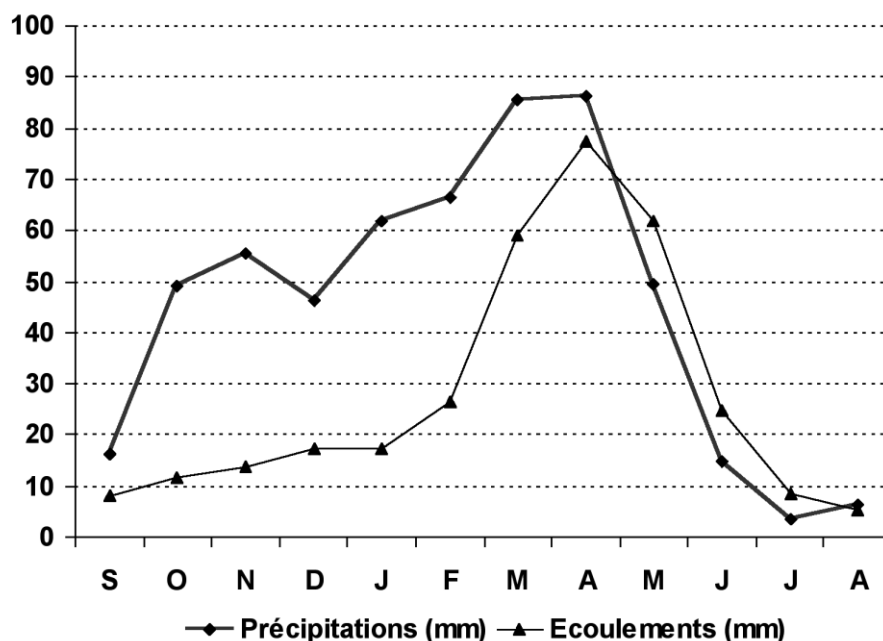


Figure 17 : Variations mensuelles des précipitations et des écoulements à Aghbalou

Source :Saidi et al, 2006

## ▪ Hydrologie

Les principales caractéristiques hydrologiques de l'Ourika sont les suivantes :

- Longueur totale de la rivière, 46 Km ;
- Altitude moyenne du bassin, 2 100 m ;
- Pente moyenne, 21 % ;
- Pluviométrie annuelle moyenne, 760 mm ;
- Apport moyen annuel, 180 Mm<sup>3</sup> ;
- Débit solide, 2,5 kilos par Km<sup>2</sup>/an ;
- Volume annuel : 300 000 mètres cubes.
- La hauteur d'eau a atteint de 8 à 10 m entre Setti-Fadma et Aghbalou, 3m à T'NineOurika (rapport Fellah, 1995).

## ▪ Hydrogéologie

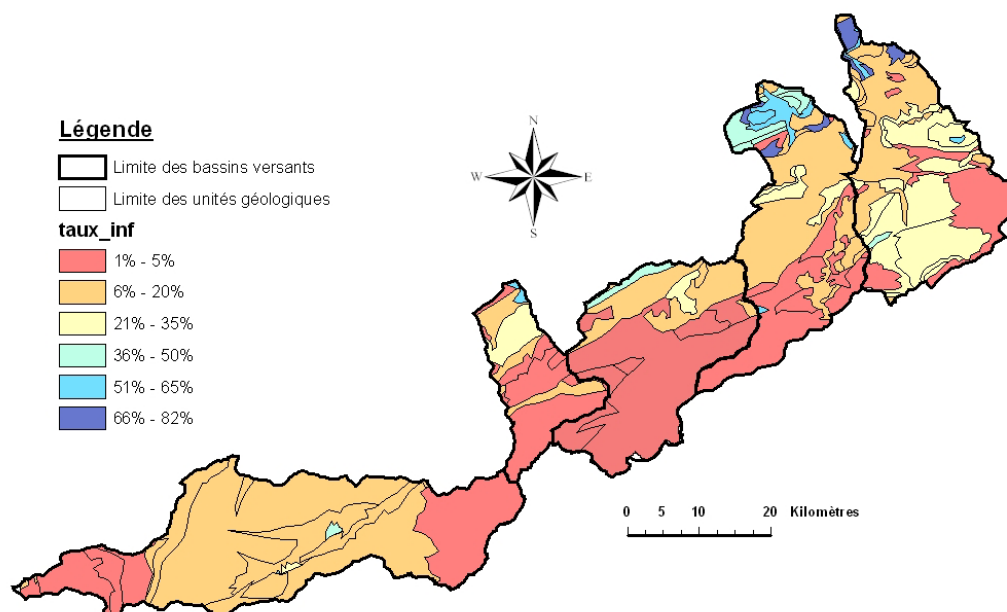
L'apport de la nappe phréatique Plio-quaternaire du Tensift est d'environ  $477,14.10^6$  m<sup>3</sup> d'eau en une année. L'apport le plus important provient du bassin versant d'Ourika avec 32,7 % de l'apport d'eau totale.

La surface libre de la nappe s'établit en moyenne à 30 m sous le niveau du sol, mais se situe entre 5 et 10 m le long de l'Oued Tensift et peut descendre jusqu'à 80 m le long du piémont de l'Atlas. Les productivités de la nappe sont généralement bonnes.

La recharge de la nappe se fait principalement par infiltration des eaux d'irrigation et des eaux de crues le long des Oueds atlasiques traversant la plaine, notamment les oueds d'Ourika, de N'Fis, de Ghéraya, du Zat, du R'dat et de Chichaoua. L'écoulement général de la nappe se fait du Sud vers le Nord.

La carte ci-dessous présente la répartition spatiale du taux d'infiltration au niveau du bassin de l'Ourika.

La zone est un peu perméable.



**Carte 5: Répartition spatiale du taux d'infiltration au niveau du bassin versant de l'Ourika**

Source :Matthieu JUILLERAT, 2004

### ▪ Risques naturels

#### Inondation

Les affluents de la rivière de Tensift prennent naissance des sources des zones montagneuses du Haut Atlas. Ils provoquent souvent des inondations fréquentes dans des vallées, dont la plus catastrophique reste celle survenue en août 1995 et qui a inondé 55 villages à Ourika et dans d'autres régions.

La Station d'Aghbalau de la Vallée de l'Ourika a enregistré 1000 m<sup>3</sup>/s, et la Station Tahanaout de la rivière de Rheraya 680 m<sup>3</sup>/s. Les dégâts étaient évalués de 70 millions/DH.



**Photos 6: Les dégâts d'inondation existent à ce jour-là dans la zone**

Source : Photos personnelle

### **Erosion**

L'analyse de la carte de répartition du degré de l'érosion dans le bassin versant de l'Ourika— la carte a été faite par le Haut-commissariat des Eaux et Forêts du Haut Atlas, dans le cadre du projet de développement du bassin versant de l'Ourika- fait ressortir les constats suivants :

- Les superficies exposées à forte et très forte érosion sont importantes et représentent 65%. Celles exposées à une érosion moyenne représentent 33%, alors que celles exposées à une faible érosion ne sont que de 2% ;
- Les zones à érosion forte et moyenne sont situées dans la partie centrale du bassin versant. Certaines de ces zones donnent directement sur la vallée de l'Ourika.



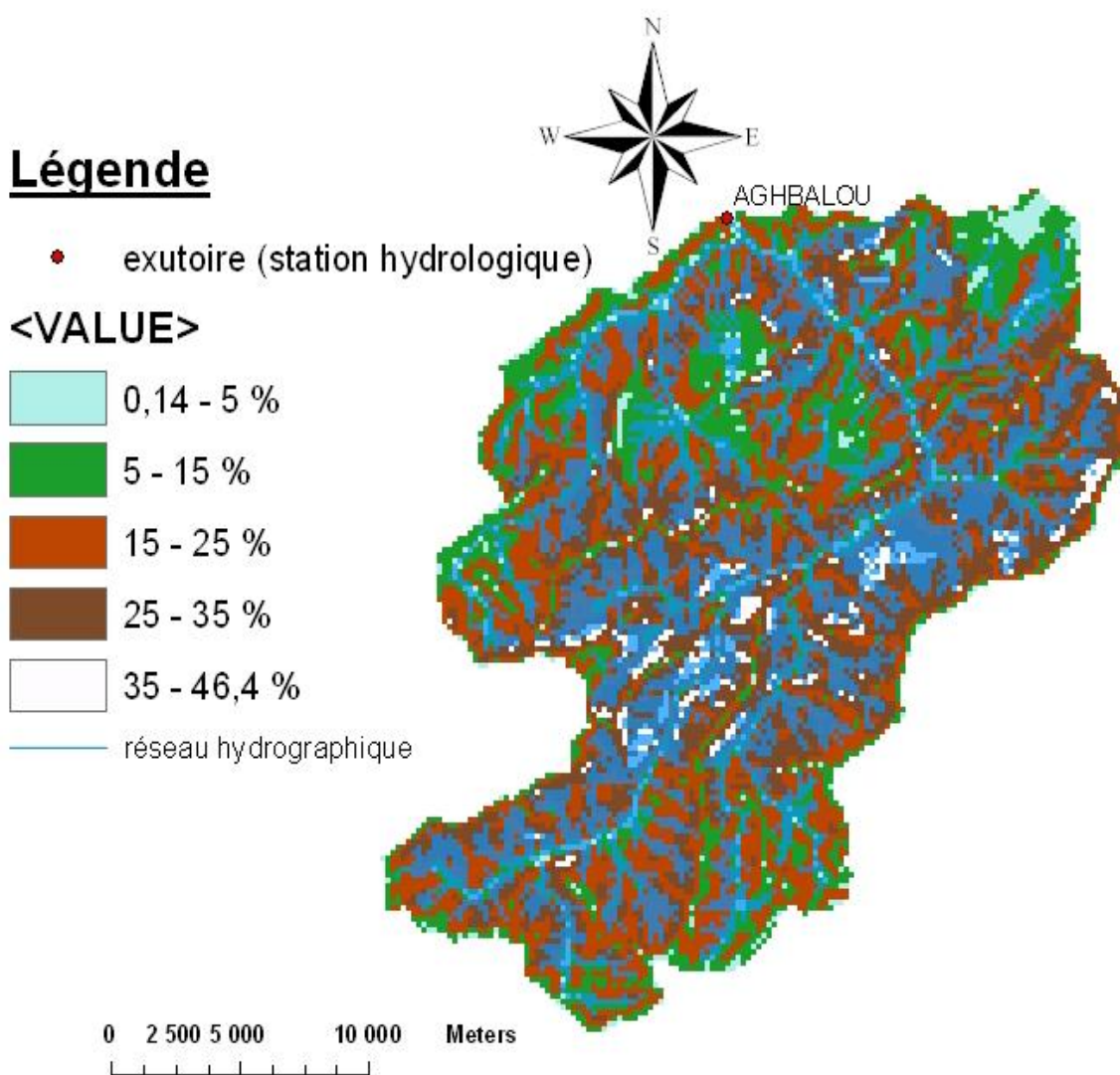
**Photos 7: Formes d'érosion dans la zone d'étude**

Source :Photos personnelle

### Glissement du terrain

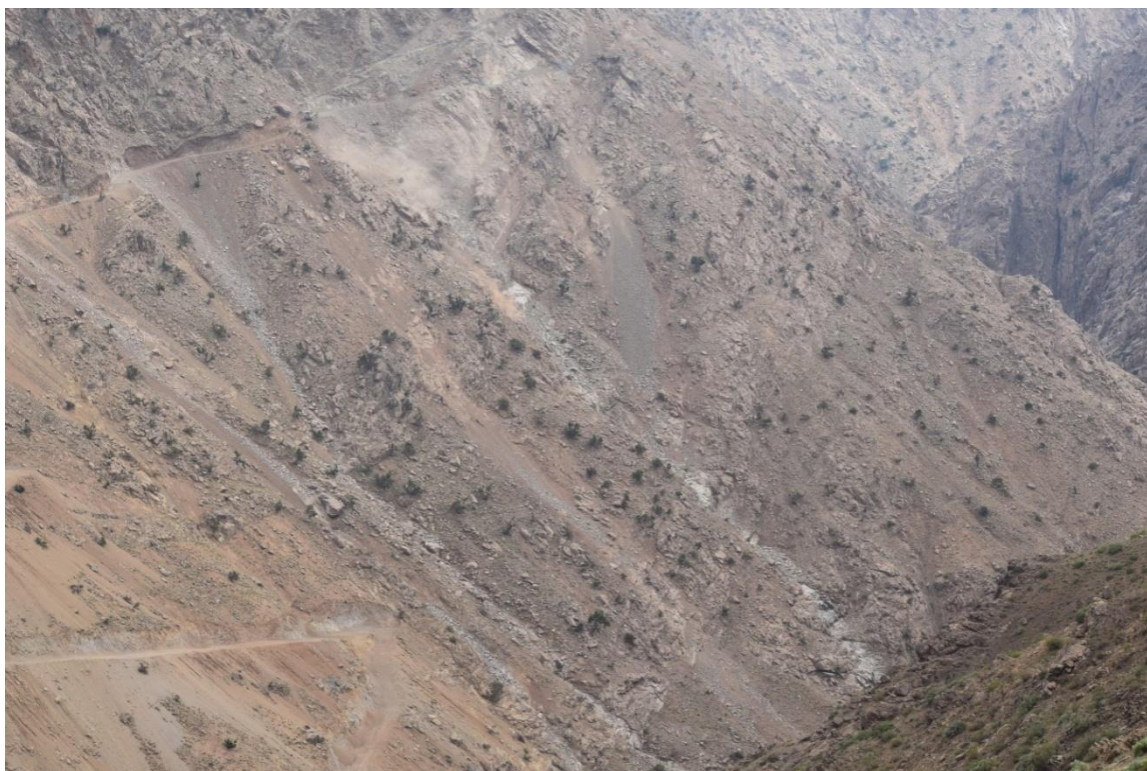
La nature du sol, les fortes pentes et la destruction du couvert végétal laisse le sol exposé aux processus du glissement du terrain, du ravinement et d'éboulement. Surtout dans la partie amont qui est une zone asylvatique.

La Carte ci-dessous présente la répartition spatiale de la pente au niveau de l'ensemble du bassin versant de l'Ourika.



Carte 6 : Répartition spatiale de la pente au niveau du bassin versant de l'Ourika

Source :Mathieu JUILLERAT, 2004



**Photos 8: Déboulement des roches**

Source : Photos personnelle



**Photos 9: Zone asylvatique au niveau de la vallée de l'Ourika**

Source : Photos personnelle

### III.2.2. Milieu Biologique (naturel)

#### ▪ Faune

La vallée d'Ourika est en termes de biodiversité, parmi les régions les plus riches au Maroc, ce qui leur confère une renommée nationale et internationale.

La faune sauvage dans cette zone est constituée de mammifères rares ou en voie d'extinction tel le mouflon à manchette (en berbère : Oudad). Il existe également des oiseaux emblématiques comme le gypaète barbu (en berbère : Marzighssane) et le plus grand oiseau par son envergure : l'aigle royal (en berbère : Tamda).

- Les animaux du Massif : les chacals, les renards, les écureuils de Barbarie...
- Les oiseaux di Massif : l'aigle royal, le gypaète barbu, l'aigle de Beauté, le circaète jean le blanc, les milans noirs et royaux, les buses, les faucons, les passereaux...

#### ▪ Flore

Au niveau de la zone de l'étude, la couverture végétale est généralement pauvre. Les trois quarts de la superficie sont presque nus. Les types de végétation varient selon l'altitude et la nature des terrains.

Les forêts de chêne à feuilles persistantes (Arganiers, Thuya, Genièvre rouge, etc.) s'étendent sur la chaîne de montagnes de l'Atlas jusqu'aux collines de Rhamna.



**Photos 10: Quelques plantes agricole au niveau de la zone d'étude**

Source :Photos personnelle

Les forêts couvrent 541000 ha. La végétation autour des montagnes de l'Atlas constitue une partie important des ressources écologiques du Maroc au point de vue de la diversité de l'écosystème. La conservation de la végétation dans la région, à côté de l'oasis des palmiers de Marrakech et les forêts d'Arganiers à Essaouira, est à prendre en considération. La végétation par les plantes agricoles regroupe une grande variété, y compris les céréales, l'olivier, l'abricotier, l'oranger, les rosiers, les pommiers et les plantes fourragères. Pour la province d'Al Haouz, 75,6 % de la zone cultivée totale est couverte avec des plantations des arbres fruitiers, alors que le reste est couvert par d'autres cultures.

#### ▪ Aires protégées

Le Parc National de Toubkal, situé sur la partie centrale du Hauts Atlas, entre la vallée de l'Ourika à l'Est et celle de N'Fiss à l'Ouest, englobe les plus belles forêts de la région de Marrakech, ainsi que les plus hauts sommets de l'Afrique du Nord (Jbel Toubkal 4165 m).

### III.2.3. Milieu Humain

#### III.2.3.1. Situation administrative

Le bassin versant de l'Ourika dans son ensemble relève administrativement de trois provinces :

- 90% de sa superficie fait partie de la province du Haouz ;
- 10% fait partie des provinces de Ouarzazate et de Taroudant.

Il s'étend sur les communes rurales suivantes :

- Ourika, SettiFadma, Oukaimden, Asni, Ghma, relevant de la province du Haouz;
- Tidili (province d'Ouarzazate), Toubkal (province Taroudant).

L'aire d'étude relève de la province du Haouz et des communes rurales de : Ourika, Stifadma, Oukaimden, Aghouatim, Moulay Brahim et Tameslohte.....

#### III.2.3.2. Population - statistique et densité

La population de la zone d'étude a connu, de 1994 à 2004, une hausse, passant de 21 982 à 26 990 habitants (Haut Commissariat au Plan, (HCP)« Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2004 (RGPH) »).

D'autre part, le taux de population urbaine dans la province d'Al Haouz est 12 %. La densité de population dans cette même province est de 124 hab /Km<sup>2</sup>.

#### III.2.3.3. Situation socio-économique

- Secteurs d'activités

##### Industrie

Le bassin versant de l'Ourika ne contient pas des unités industrielles.

##### Agriculture

La zone agricole est de 1,4 million d'hectares qui représentent le quart de la zone agricole du pays. Les produits agricoles principaux sont constitués des céréales, des légumineuses et des légumes.

La culture d'oliviers occupe 126 mille hectares et joue un rôle important dans l'économie régionale, ce qui rend la région le premier producteur des olives



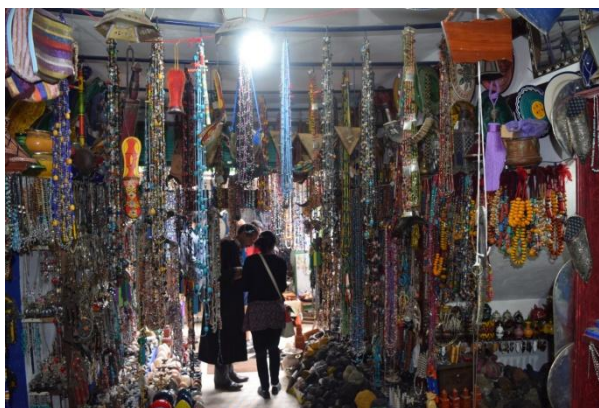
Photos 11: Méthode d'agriculture au niveau de  
Source : Photos personnelle

au niveau national. La forêt couvre une surface de 491 mille hectares et fournit des bois et des produits forestiers qui génèrent des revenus supplémentaires dans le milieu rural. (Le Maroc des Régions 2005, HCP 2006).

### **Tourisme**

Le tourisme joue un rôle important aussi dans l'économie régionale. Ce secteur produit quelques effets secondaires sur les autres secteurs comme l'artisanat, la construction et le transport.

La région possède des atouts principaux pour le développement du tourisme tels que : l'infrastructure du logement qui représente 25% de la capacité des lits des hôtels classifiés du pays, du transport, et de l'héritage culturel et historique situé essentiellement dans la ville ancienne de Marrakech.



**Photos 12: Bazar d'artisanat au niveau de la zone**

Source :Photos personnelle

#### ▪ **Aménagements « Urbain – Rural »**

### **Assainissement liquide**

L'assainissement dans la zone d'étude est de type autonome, reposant principalement sur les fausses septiques.

Les projets d'assainissement liquide prévus pour la période 2008 et 2012, dans la Province du Haouz concernent essentiellement les centres suivants : Amezmiz; Aït Ourir, Tahannaout, Ouirgane, Oukaïnden, Tameslohte, Sidi Abdellah Ghat et Moulay Ibrahim.

### **Assainissement solides**

Les projets d'assainissement solide dans la Province du Haouz prévus pour (2010-2012) concernent :

- La fermeture des décharges sauvages actuelles ;
- L'élaboration d'un plan directeur des déchets solides ;
- La réalisation de décharges contrôlées.

Le tonnage annuel des déchets dans le centre de l'Ourika est 6586 tonnes. (Resing, 2008). L'aire d'étude ne dispose d'aucune décharge contrôlée.

#### ▪ **Infrastructures diverses**

### **Transport**

La longueur du réseau routier de la région de Marrakech - Tensift - Haouz est de 4938 Km en totalité dont 63% est revêtue.

Le réseau ferroviaire régional est prolongé sur 171 Km, composés de deux lignes, l'une relie Marrakech à Casablanca, l'autre joint Ben - Guerir à Youssoufia.

Quant au transport aérien, la région est dotée de deux aéroports : Marrakech - Ménara (le 1er aéroport du tourisme du pays) et Essaouira (Le Maroc des Régions 2005, HCP 2006).

Dans ce contexte régional, l'aire d'étude est accessible à travers la route provinciale 2017.

### **Electricité**

En 2004, production nette de l'électricité par la centrale hydraulique de la région était de 57,9 millions KWH qui représentait 3,6% de la quantité globale de production du pays.

La plupart des douars appartenant à l'aire d'étude bénéficie des services fournis par l'Office National de l'Electricité Marrakech-Tensift-Al Haouz.

#### ▪ **Aménagement hydro-agricole**

### **Réseau de drainage**

Au niveau de la zone d'étude, le réseau de drainage dominant est constitué d'un ensemble de séguia traditionnel qui s'alimente à partir des rivières.



**Photos 13: Séguia traditionnelle au niveau de la zone**

Source : Association Annour pour le développement et la collaboration de Taroudant

### **Les barrages**

Il y a eu des plans pour la construction des barrages au niveau de la zone d'étude, mais l'idée a été abandonnée en raison de problème d'ordre géographique et économique.

## IV. LES INONDATIONS AU NIVEAU DEL'OURIKA

### IV.1. Historique d'inondation au niveau de la vallée de l'Ourika

*L'inondation de l'Ourika du 2 novembre 1987*, avait un temps de base de 39 heures et le débit de pointe fut de l'ordre de  $650 \text{ m}^3/\text{s}$ . Il a été atteint après un temps global de montée de 14 heures. Une première montée amorcée la veille à 20 heures était lente et régulière jusqu'à 6 heures où le débit fut de l'ordre de  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ , puis a atteint  $183 \text{ m}^3/\text{s}$  à 8 heures. Il s'en est suivi une montée rapide et violente qui a élevé le débit à une pointe de  $650 \text{ m}^3/\text{s}$  en deux heures seulement. Ce débit de pointe a représenté à peu près trois fois le débit moyen de la crue (Saidi, 2010).

*L'inondation du 17 août 1995* est l'une des crues les plus meurtrières et dévastatrices de l'histoire moderne du Maroc. Elle est le résultat d'une situation météorologique sur le Haut Atlas de Marrakech propice au développement des orages. Ces derniers ont violemment éclaté l'après-midi en amont des bassins versants sur une zone restreinte comprise entre 2000 et 3000m d'altitude en l'arrosant par des pluies violentes et intenses. L'intensité des précipitations a été estimée à  $100 \text{ mm/h}$ , (INGEMA, 1996). La crue n'a duré que 3 heures dans le bassin de l'Ourika par exemple et le temps de montée y a été particulièrement bref (à peine un quart d'heure). Le débit de pointe a atteint à Aghbalou  $1030 \text{ m}^3/\text{s}$  et les eaux mobilisées un volume de 3,3 millions de  $\text{m}^3$  pendant les trois heures de crue. Les dégâts enregistrés suite de cette inondation sont :

- 200 victimes ;
- 142 constructions complètement ou partiellement détruites ;
- 300 ha de terrains agricoles inondés ;
- Quelques centaines de mètres de la RP2017 en amont de la station d'Aghbalou ont été endommagées ;
- L'écoulement des débris de l'affluent Tighazrit à Iraghf a détruit des ponts et des routes.



**Photos 14: Habitation édifée près du lit de l'oued et détruite par la crue du 17 août 1995**

Source : ABHT



**Photos 15 : Commerces et habitations emportés par la crue du 17 août 1995**

Source : ABHT

*L'inondation du 28 octobre 1999* a été semblable à celle du 17 août 1995 par des débits de pointe exceptionnels. Ces débits ont atteint le maximum jamais enregistré pour le N'Fis d'une valeur de  $1575 \text{ m}^3/\text{s}$ , avec un temps de montée de 9 heures et un temps de base de 58 heures. Les environnements morphologiques et climatiques des bassins versants du Haut Atlas de

Marrakech, notamment une pluviométrie importante et parfois intense, des expositions vers le Nord-Ouest, des vallées encaissées, des pentes fortes et des terrains imperméables, confèrent aux écoulements un caractère torrentiel et boueux, et offrent un environnement propice aux pulsations brutales des cours d'eau, avec de très grandes vitesses d'écoulement, des débits et des volumes d'eau importants et une grande aptitude à l'incision et à l'érosion.



**Photos 16: Mur de soutènement de l'Ourika détruit par la crue du 28 octobre 1999**

Source : Aresmouk, 2001

Les dégâts de cette inondation sont :

- L'interruption de la RP 2017 reliant Marrakech à SettiFadma, entre le PK47 (Igharmane) et le PK 59+750 (SettiFadma), avec des dégâts très importants ;
- Deux maisons de vacances au centre d'Aghbalouont été entièrement emportées ;
- 69ha de terrains agricoles ont été inondées le long du bassin versant d'Ourika.

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques de certaines crues de l'Ourika, à la station Aghbalou.

**Tableau 6 : Caractéristiques de certaines crues de l'oued Ourika à Aghbalou**

Date de la crue	Débit de pointe (m <sup>3</sup> /s)	Volume 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Temps de base (h)	Temps de montée (h)	Coefficient de pointe
02/11/1987	650	34,36	39,5	14	2,7
14/07/1989	823	34,42	23	15	2
17/08/1995	1030	3,65	4	0,16	4,1
28/10/1999	762	25,99	22	9,5	2,5

Source : Aresmouk, 2001

## IV.2. Période de retour

Des inondations de l'ordre de  $10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ , soit 19 fois le module, se produisent en moyenne tous les deux ans à Aghbalou, et des débits de pointe de l'ordre de  $485 \text{ m}^3/\text{s}$  y reviennent tous les 10 ans (SAIDI et al, 2003)

## IV.3. Facteurs rendant le site vulnérable aux inondations

La vallée de l'Ourika, très encaissée, est caractérisée par :

- Un relief très accidenté qui domine la plaine du Haouz ;
- De fortes pentes au niveau des versants du cours moyen de l'oued ;
- Un réseau hydrographique dense à vallées très étroites et pentes très fortes, rencontré essentiellement le long des accidents, fissures et zones d'altération superficielle ;
- La mise en eau des affluents, qui augmente la puissance de l'oued et accentue l'érosion et le charriage de blocs énormes. Ceci explique les dégâts causés par la crue de 1995. Les matériaux détritiques, produits de l'érosion, sont déposés sous forme de cônes de déjection dans le bassin de réception, plaquant la rivière sur le versant opposé ;
- Des lits de cours d'eau (oued et ses affluents) inondables ;
- Une végétation parsemée et mal répartie, comprenant essentiellement des genévriers, des oléastres et des chênes verts.

Les manifestations des actions météorologiques sur le relief sont très marquées et favorisent la production d'altérations, compte tenu des conditions suivantes :

- Nudité du sol, lithologie et faciès des formations géologiques ;
- Terrains dominants (du précambrien) peu perméables ;
- Tectonique importante ayant affecté la région ;
- Modèle climatique périglaciaire et effets thermiques très contrastés (succession de périodes de gel et de dégel) qui facilitent la solifluxion et la désagrégation de roches granitiques et schisteuses ainsi que les coulées de pierres de tailles variées ;
- Forte instabilité du sol au niveau des versants et des différentes pentes.

**Tous ces facteurs naturels (morphologiques, hydrodynamiques), ajoutés à la dégradation du couvert végétal par la pression de l'Homme et du cheptel, favorisent l'érosion et accentuent les dégâts.**

## V. ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS

Les inondations de l'oued Ourika sont d'origine pluviale. Elles résultent généralement de fortes averses localisées dans l'espace.

Le milieu physique du bassin fait croître les risques d'inondation et favorise une augmentation des eaux de ruissellement mobilisées par les cours d'eau principaux. Les pentes sont fortes, les sols peu perméables et le couvert végétal est très discontinu.

Plusieurs autres facteurs naturels agissent sur les temps de base et de montée : le coefficient de compacité  $K_c = 1,3$  ce qui est en faveur d'un bassin de forme compacte, le réseau hydrographique est bien hiérarchisé et bien développé.

Cette configuration morphologique contribue à amplifier les débits de pointe observés à l'exutoire. La violente crue 17 Aout 1995 s'est accompagnée d'un écoulement de sédiments y compris des galets, sable, limons, blocs et troncs d'arbres. Tous ces matériaux ont formés un barrage naturel derrière lequel l'eau s'est accumulée jusqu'à ce que le barrage soit effondré. Une fois le barrage ouvert, l'écoulement, y compris les sédiments, a engendré un hydrogramme pointu en aval à Aghbalou.

Ce phénomène s'est produit lorsque la topographie et la lithologie le permettent et existe en particulier en deux entravant le libre écoulement à proximité des deux villages d'Anfli et Tiourdiou, où des cônes alluviaux coulent dans la vallée de l'Ourika. Les habitants ont pris conscience de ce phénomène.

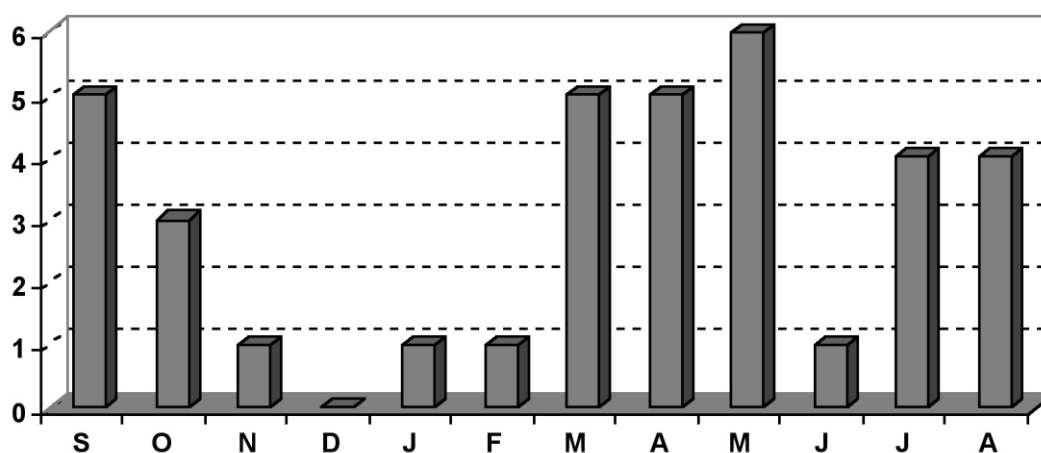


Figure 18 : Répartition mensuelle des crues de l'Ourika

Source : Aresmouk, 2001

En période d'inondation et lors des débits à pleins bords (débits caractéristiques représentant le débit au-delà duquel les phénomènes de sédimentation pouvant se produire dans le lit majeur), l'érosion accélérée consomme progressivement une masse de sédiments meubles correspondant à de volumineux cônes de déjection. La granulométrie de la masse tractée associée des dimensions varie des blocs métriques aux sables et argiles.

Dans la vallée de l'Ourika, correspondant au plus torrentiel des cours d'eau du Haut Atlas de Marrakech, on n'observe un type d'écoulement hyper concentré avec des concentrations de 10 à 35 % de particules alluvionnaires. A quelques kilomètres en aval de SettiFadma, la vallée de l'Ourika a ouvert une profonde boutonnière dans la structure complexe des flans Nord du Haut Atlas de Marrakech. Les gorges ainsi formées montrent une pente du lit qui peut atteindre 10 % par endroit. La pente forte, le rétrécissement ainsi que l'augmentation de la profondeur de l'écoulement qui en découlent, créent un effet d'entraînement pour des blocs pouvant atteindre 50 cm de diamètre, ce qui nécessite pour leur transport des vitesses de 4 à 5 m/s et un régime d'écoulement turbulent supercritique, avec un effet de chooting connu dans les torrents de montagne.

Le caractère torrentiel en période d'inondation est caractérisé par : un régime pluvionival, c'est-à-dire une alimentation hydrique d'origine mixte, autrement dit, les débits saisonniers de l'oued suivent un certains décalages dans le temps : l'alimentation nivale est minimale pendant la saison froide et est maximale pendant la saison tempérée, tandis que l'alimentation pluviale augmente pendant l'hiver et le début du printemps. En effet, les crues du printemps sont plus spectaculaires que celles d'automne car elles résultent de deux phénomènes : la fonte des neiges et l'averse.

Les principaux impacts qui peuvent être observés sur le terrain sont :

#### **Sur le paysage :**

Après le passage de la crue, le paysage du fond de la vallée de l'Ourika est méconnaissable, la décrue s'étant déroulée rapidement, les dégâts sont constatés dès le lendemain de la catastrophe.

- Les terrasses cultivés, les routes et le lit de l'oued étaient recouvert par une couche de boue ;
- Les pluies diluviennes qui ont eu lieu sur le haut du bassin versant ont favorisé l'érosion des sols de nature argilo - limoneux, des terrains à dominance argilo - silteuse du permotrias, en dépit de leur teneur faible en argiles gonflantes ;
- Les colluvions des versants furent emportées par le ruissellement jusqu'au chaabas. Lesquelles chaabas furent aussi purgés des matériaux qu'ils avaient sur leur lit et qu'ils déposèrent dans l'oued Ourika ;
- Le fort ruissellement sur les versants provoqua aussi des éboulements de roches gréseuses qui atterrissaient dans le lit de l'Ourika.

#### **Sur l'agriculture :**

La majorité des terrains agricoles sont inondés, les principaux dégâts enregistrés au niveau du secteur agricole concernent l'infrastructure d'irrigation (réseau hydro-agricole) de petite et moyenne hydraulique, l'arboriculture fruitière composée essentiellement de rosacées (cerisiers, pommiers, prunier, etc), de noyers et d'oliviers, les cultures annuelles et pérennes (maraîchage, fourrage et maïs) et les pions d'eau (puits et sources) pour l'alimentation de la population et du cheptel.

### **Sur les infrastructures :**

Les dégâts sur les infrastructures sont aussi impotentes .La hauteur des eaux peut dépasser 8 m entre Setti-Fadma et Aghbalouet les ravages ne sont pas causés uniquement par l'oued Ourika mais aussi par la mise en eau de tous les vallons, négligés lors des constructions de l'habitat. Les dégâts enregistrés sont plus importants aux débouchés des affluents .En effet, de nombreux villages se sont construits près des points d'eaux, c'est-à-dire cote des affluents de l'oued dont certains ont un écoulement permanent (l'AssifTarzaga). Les habitants peuvent ainsi mettre en place des seguias pour l'irrigation de leur terre, l'alimentation personnelle et celle du cheptel.

Les fréquentes inondations que connaissent les bassins versants du Haut Atlas de Marrakech ont souvent des impacts négatifs (comme on a déjà signaler), ce qui oblige la mise en œuvre de plusieurs mesures structurelles et non structurelles au niveau de la vallée. Ces mesures ont été axées sur trois plans :

- Mise en place de dispositifs de surveillance et d'alerte ;
- Planification de l'occupation du sol et aménagement des zones à risque ;
- Edification d'ouvrages de protection et aménagement des cours d'eau (Aresmouk, 2001).

**Parmi les mesures structurelles**, on peut citer :

- La protection des berges des cours d'eau en plusieurs points noirs par des murs de soutènement, pour favoriser la stabilisation de ces berges contre l'érosion et éviter les débordements des eaux de crues ;
- L'aménagement de seuils pour l'amortissement des flux parfois torrentiels des affluents chargés de débris plus ou moins grossiers ;
- La réalisation d'ouvrages d'art et d'assainissement routiers ;
- L'aménagement de zones de refuge et d'une piste en crête hors d'atteinte des crues pour le cas de l'Ourika.

Il est cependant à noter que ces mesures structurelles peinent parfois à faire face aux très fortes crues. Certains seuils destinés à amortir la vitesse et la force érosive des affluents et à intercepter leur charge solide ont par exemple été comblés par les dépôts solides, comme le cas de ceux édifiés sur l'affluent Tighzirt du bassin de l'Ourika. Cet affluent a alors repris son profil en long d'origine.

## VI. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Jouissant d'une situation géographique stratégique comme porte de l'Afrique ouverte sur l'horizon européen, le Maroc est naturellement prédisposé à jouer un rôle de catalyseur dans la coopération Nord-Sud et Sud-Sud pour la protection de l'environnement d'autant plus qu'il est considéré parmi les pays les plus exposés aux effets négatifs des changements climatiques.

L'avantage que tire le Maroc de sa position privilégiée et de son littoral de 3500 km, sur lequel sont installées 80% de ses infrastructures industrielles et énergétiques, peut devenir un grave handicap du fait des risques de remontée du niveau marin et de raréfaction des ressources en eau, conséquences probables des changements climatiques.

La prise de conscience de cette vulnérabilité s'est confirmée au fil :

- Des nombreuses années de sécheresse qui ont frappé le pays à la fin du siècle dernier et ont lourdement affecté l'économie nationale, largement dépendante de l'agriculture, secteur sinistré par cette sécheresse récurrente. Conjugée à une désertification et à une déforestation de plus en plus accentuées, ainsi qu'à la déplétion de la couche d'ozone et à la pollution des nappes, cette sécheresse, devenue structurelle, constitue un lourd fardeau qui tend à freiner le développement du pays ;
- De l'importance des inondations, tant au niveau de leur intensité qu'au niveau de leur fréquence durant les 15 dernières années. La moindre inondation coupe les routes, interrompt les circulations et noie les chaudières et les autres biens très sensibles. Les faites sont parfois plus graves et couteux, quand l'alimentation en eau potable est coupée pour plusieurs jours, quand il faut évacuer les hôpitaux et les écoles, ou quand le réseau électrique ou téléphonique est fortement endommagé.

Afin de réduire les effets néfastes des changements climatiques, le Maroc a ratifié la Convention Cadre sur les Changements Climatiques en 1995, après il a procédé à l'inventaire de ses émissions des gaz à effets de serre qui ne dépassent guère 1,84 tonnes équivalent CO<sub>2</sub> /habitant. Néanmoins, cette contribution très modeste aux émissions mondiales ne l'a pas empêché d'entreprendre des actions concrètes sur son territoire.

## VII. ANALYSE DES METHODES ET DIFFICULTES RENCONTREES

Tableau 7 : Analyse des méthodes et difficultés rencontrées

Aspect		Source
<b>Analyse bibliographique</b>		<p>Les données de la revues bibliographiques sont issues des :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Articles scientifiques : ERRAHIOUI A, 2010. Aménagement des bassins versants au Maroc. Rapport interne, DREF, 2010, HADDANI H., 2012. Etude du fonctionnement hydrogéologique des bassins versants de Rhéraya, Ourika et Zat (Tensift_Marrakech, Maroc)...</li> <li>▪ Livres et des œuvres qui traitent les concepts suivants : changement climatique, vulnérabilité et inondations</li> <li>▪ Sites web des gouvernements et des associations gouvernementales et non gouvernementales</li> </ul>
<b>Présentation de la zone d'étude « la vallée de l'Ourika »</b>	<b>Milieu physique</b>	<p>L'inventaire du milieu physique est basé sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Utilisation des documents cartographiques réalisés par le Système d'Information Géographique (SIG) : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carte de la situation géographique du BV de l'Ourika ;</li> <li>• Carte du réseau hydrographique du BV de l'Ourika ;</li> <li>• Carte géologique du BV étudié ;</li> <li>• Carte des taux d'infiltration au niveau du BV étudié ;</li> <li>• Carte de pente du bassin versant de l'Ourika</li> </ul> </li> </ul>
	<b>Milieu biologique « naturel »</b>	<p>L'inventaire du milieu biologique est basé sur les documents prises de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Direction Provinciale de l'Agriculture (DPA) ;</li> <li>▪ Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification ;</li> <li>▪ Site de la Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime ;</li> <li>▪ Enquête au niveau de la population locale (Période : le 18 et 19 Mai 2015).</li> </ul>
	<b>Milieu humain</b>	<p>L'inventaire du milieu humain est basé sur des informations obtenues de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Direction Régionale des Eaux et Forêts du Haut Atlas ;</li> <li>▪ Haut Commissariat au Plan</li> <li>▪ Agence du Bassin Hydraulique de Tensift ;</li> <li>▪ Enquête au niveau de la population de la zone étudiée (Période : le 18 et 19 Mai 2015).</li> </ul>
<b>Inondation au niveau de l'Ourika</b>		<p>Le collecte des informations sur les l'historique d'inondation au niveau de la zone d'étude, ces informations m'ont été délivré par :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Agence du Bassin Hydraulique de Tensift ;</li> </ul> <p>Articles scientifiques : INGEMA, SOCIÉTÉ MAGHRÉBINE D'INGÉNIERIE, 1996. Aménagements hydrauliques pour la protection de la vallée de l'Ourika contre les crues. Rapport d'étude, Rabat. SAIDI M, DAOUDI L, ARESMOUK, M. E.</p>

	<p>&amp;BLALI, A, 2003. Rôle du milieu physique dans l'amplification des crues en milieu montagnard, exemple de la crue du 17 août 1995 dans la vallée de l'Ourika (Haut Atlas, Maroc). Sécheresse, Volume 14-2, 2003, ...</p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Mémoires de Masters et de Doctorat traitant la problématique de la vallée de l'Ourika ;</li><li>▪ Enquête de la population au niveau de local (Période : le 18 et 19 Mai 2015).</li></ul>
<b>Difficultés rencontrées</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Sujet très vaste ;</li><li>▪ Insuffisance du temps réservé à la zone d'étude (une seule sortie qui a été effectuée) ;</li><li>▪ Enclavement de la zone d'étude, surtout la partie amont qui est une zone montagneuse et de très forte pente ;</li><li>▪ Manque d'information concernant la densité de la population de l'année 2014.</li></ul>

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

**ADERDAR M., 2000.** Espaces forestiers et aménagement des zones de montagne : le cas du Haut Atlas de Marrakech. Thèse, Institut de géographie alpine, université Joseph Fournier, Grenoble.

**ALIFRIQUI M., 1986.** Contribution à l'étude du milieu et de la végétation dans le Haut Atlas Occidental d'Amizmiz (Massif d'Erdouz-Igdet, Maroc). Th. 3e cycle. Uni. Cadi Ayyad .Fac. Sc. Marrakech: 304P.

**ALIFRIQUI M., 1993.** La dynamique du couvert végétal dans le Haut Atlas de Marrakech : causes et conséquences. Montagnes et Hauts Pays de l'Afrique. Utilisation et Conservation des ressources. Université Mohamed V. Publication de la faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Rabat. Série Colloque et Séminaires n° 29 : 319-329.

**BEDHRI M., 2000.** Le réchauffement du climat Quels impacts sur le Maroc. Faculté des sciences juridiques et économiques Oujda, Maroc, 170p.

**BIRON PE, 1982.** Le Permo-Trias de la région de l'Ourika (Haut-Atlas de Marrakech, Maroc). Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle de l'université scientifique et médicale de Grenoble 1982.170 p.

**BOUKRIM S. et FNIGUIRE F. (2007)** – Etude dynamique et statistique des crues du Haut Atlas de Marrakech (Maroc). Cas des bassins versants du N'Fis, de la Ghiraya et de l'Ourika. Mémoire de maîtrise, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cadi Ayyad, Marrakech, 56 p.

**DREF-HA, 2000.** Projet de développement du bassin versant de l'Ourika (partie amont). Direction régionale des eaux et forêts du Haut Atlas-Marrakech, Maroc, p. 22.

**DREF-HA, 2002.** Etude d'aménagement de la forêt de l'Ourika: Etude préliminaire. 54p.

**DREF-HA, 2010.** Projet de développement du bassin versant de l'Ourika. Rapport interne, 40p.

**DUCLAUX A, 2005.** Modélisation hydrologique de 5 Bassins Versants du Haut-Atlas Marocain avec SWAT (Soil and Water AssessmentTool). Mémoire du diplôme d'Ingénieur Agronome de l'Institut National Agronomique de Paris-Grignon. 53 p.

**ERRAHIOUI A, 2010.** Aménagement des bassins versants au Maroc. Rapport interne, DREF, 2010. 22p.

**HADDANI H., 2012.** Etude du fonctionnement hydrogéologique des bassins versants de Rhéraya, Ourika et Zat (Tensift\_Marrakech, Maroc) : Hydrochimie isotopique. MEMOIRE DE FIN D'ETUDES MASTER es SCIENCES ET TECHNIQUES « Eau et Environnement ». Université Cadi Ayyad Faculté des Sciences et Techniques Marrakech, Département des Sciences de la Terre, Laboratoire Géoressource, Unité de Recherche Associée CNRST (URAC 42) Maroc. P : 16-38.

**INGEMA, SOCIÉTÉ MAGHRÉBINE D'INGÉNIERIE, 1996.** Aménagements hydrauliques pour la protection de la vallée de l'Ourika contre les crues. Rapport d'étude, Rabat. 245 p.

**MASELLI D., 1993.** Contribution à l'étude de la pluviométrie du Haut Atlas occidental au Maroc : répercussions sur l'environnement et l'exploitation agricole. Publication de l'Assoc. Internationale de Climatologie, 6 :315-323.

**MATEH, 1998 :** Déclaration du ministre de l'aménagement du territoire de l'environnement et de l'habitat. Le matin du Sahara et du Maghreb, 19 Novembre 1998.

**NAHID A, 1999.** Typologie et interactions des apports de matériaux des crues dans les archives morfo sédimentaires récentes: un modèle référentiel pour la gestion des bassins versants actuels. Journées d'étude sur les réformes des infrastructures hydro agricoles suite aux crues de la province du Haouz de Marrakech, 1999.1p.

**OUHAMMOU A., HAFIDI M., ZARIK L., KHOULASSA S., 2013.** Gestion et conservation des thuriféraires au Maroc : cas du Parc national du Toubkal.

**SAIDIM, DAOUDIL, ARESMOUK, M. E. & BLALI, A, 2003.**Rôle du milieu physique dans l'amplification des crues en milieu montagnard, exemple de la crue du 17 août 1995 dans la vallée de l'Ourika (Haut Atlas, Maroc). Sécheresse, Volume 14-2, 2003, Paris, 107-114.