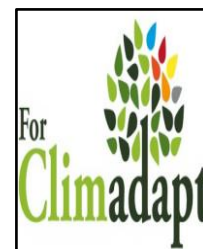




Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la  
Recherche Scientifique  
Université Abd el Hamid Ben Badis - Mostaganem  
Faculté des Sciences Exacte et de l'Informatique  
Département de Chimie



**Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de  
Master**

Spécialité : Adaptation au changement climatique et gestion des  
risques naturels

**Thème**

**Impacts du changement climatique sur les écosystèmes  
forestiers méditerranéens de l'Algérie**

Présenté par : **HAMMOU Nouredine**

**Devant le jury composé de :**

Président        Mr BELHAKEM Ahmed

Examineur      Mr FERAH Tahar

Encadreur       Mr CHOUIEB Mohamed

**Année universitaire : 2015 / 2016**

Le mémoire de fin d'étude est réalisé au laboratoire de recherche sur la biodiversité,  
conservation des sols et des forêts.

## Résumé

Ce mémoire de master « Impacts du changement climatique sur les écosystèmes forestiers méditerranéens de l'Algérie » s'est réalisé dans le cadre du projet européen Tempus « Building CLIM change ADAPTation capacity in Morocco ,Algeria and Tunisia CLMADAPT » en collaboration entre le département de chimie de la faculté des sciences exacte et de l'informatique.

Il présente la justification de l'adaptation pour les écosystèmes forestiers méditerranéens Algériens (réduire les impacts du changement climatique). Etablir un lien entre la résilience, l'atténuation et l'adaptation pour les écosystèmes forestiers Algériens constitue un nouveau défi : l'adaptation est un nouveau sujet pour l'étude et la recherche des forêts Algériens.

Dans ce mémoire on a utilisé les outils de traitement nécessaires tels que SIG, cartographie et télédétection pour traiter et analyser les données recueillies à partir des fichiers cartographiques, des relevés climatologiques et des images satellitaires.

Notre étude s'est réalisée dans deux sites différents ; zone Ouest d'Algérie Nord occidentale (zone écologique de Mostaganem) et zone Sud d'Algérie centrale (zone écologique de Djelfa).

Pour le choix des stations d'étude et pour chaque site teste on a obtenu des transects longitudinaux et latitudinaux à l'intérieur des stations pour que notre dispositif soit représentatif car l'étage bioclimatique et les conditions climatiques varient avec la position géographique, au total 31 stations d'étude d'un km<sup>2</sup> sont étudiées Pour délimiter ces stations, nous avons utilisé le logiciel ArcGis 10.0.

D'après nos résultats la zone écologique de Mostaganem est passée de l'étage bioclimatique semi-aride supérieur à hiver tempéré en première période (1913-1937) à l'étage semi-aride supérieur à hiver chaud en deuxième période (1981-2009) et la deuxième zone écologique (Djelfa) est passée de l'étage bioclimatique semi-aride inférieur à hiver froid en première période (1913-1937) à l'étage aride supérieur à hiver frais en deuxième période (1978- 2007).

A présent, la gestion des forêts algériennes doit être adaptée d'une façon qui facilitera les transitions au fur et à mesure que le climat change. Compte tenu de l'immense diversité des écosystèmes forestiers Algériens et des circonstances locales, toute une série de mesures

d'adaptation sont nécessaires et dont les mieux appropriées peuvent être sélectionnées pour chaque situation.

Dans chaque forêt, l'adaptation des espèces présentes, leurs relations entre elles et leur capacité à fournir des biens et des services seraient en constante évolution.

**Mots clé**

Algérie, changements climatiques, écosystèmes forestiers, méditerranée, adaptation, atténuation, vulnérabilité, résilience.

## **Abstract**

This memory of master «Impacts of climate change on Mediterranean forest ecosystems of Algeria" was conducted as part of the European project Tempus "Building CLIM exchange ADAPTation capacity in Morocco, Algeria and Tunisia CLMADAPT" in collaboration between the Department of chemistry of the faculty of exact sciences and informatics

It provides a rationale for adaptation to Mediterranean forest ecosystems Algerians (reducing the impacts of climate change). Linking resilience, mitigation and adaptation to forest ecosystems Algerians a new challenge : adaptation is a new topic for study and research Algerians forests.

In this study we used the necessary processing tools such as GIS, remote sensing and mapping to process and analyze the data collect from the map files, climate records and satellite images. Our study was conducted in two different sites ; West area of Western North Algeria (Mostaganem ecological zone) area and South Central Algeria (ecological area of Djelfa).

For the selection of study sites and each site tested was obtained longitudinal and latitudinal transects within the stations that our device is representative for the bioclimatic stage and climatic conditions vary with location, total 31 survey stations of a km<sup>2</sup> are studied to delineate these stations, we used the software ArcGIS 10.0.

In our results the ecological zone of Mostaganem went from semi-arid bioclimatic stage temperate winter than in the first period (1913-1937) in the semi-arid upper floor warm winter in the second period (1981-2009 ) and the second ecological zone (Djelfa) increased from bioclimatic floor lower semiarid cold winter in the first period (1913-1937) in the arid higher winter costs in the second period (1978- 2007).

Now the management of Algerian forests must be adapted in a way that will facilitate transitions as and as the climate changes. Given the enormous diversity of forest ecosystems Algerians and local circumstances, a range of adaptation measures are necessary and which the most appropriate can be selected for each situation.

In each forest, the adaptation of species present, relations between them and their ability to provide goods and services are constantly changing.

## **Keywords**

Algeria, climate change, forest ecosystems, the Mediterranean, adaptation, mitigation, vulnerability, resilience.

## ملخص

هذه أطروحة الماجستير "أثار تغير المناخ على النظم الإيكولوجية لغابات البحر الأبيض المتوسط في الجزائر" قد تحققت في مشروع تمبوس الأوروبي "بناء CLIM قدرة التكيف مع تغير في المغرب، الجزائر وتونس CLMADAPT" بالتعاون بين قسم الكيمياء لكلية العلوم الدقيقة والاعلام الالي. ان تكيف النظم الإيكولوجية لغابات البحر الأبيض المتوسط بالجزائر لآثار تغير المناخ يشكل تحديا جديدا: دراسة تكيف للغابات هو موضوع جديد تجري البحوث حوله. ففي هذه الدراسة استخدمنا نظام المعلومات الجغرافية لمعالجة البيانات والخرائط وتحليل البيانات والمعطيات المناخية وصور الأقمار الصناعية، فقد أجريت الدراسة لدينا على موقعين مختلفين، منطقة بالشمال الغربي بالجزائر (منطقة إيكولوجية مستغانم) ومنطقة بجنوب وسط الجزائر (منطقة إيكولوجية الجلفة). فبعد اختيار مواقع الدراسة تم الحصول على المقاطع الطولية والعرضية لمحطات الموقع، وتم دراسة 31 محطة مسح للمعطيات المناخية على مساحة واحد كيلومتر مربع لتحديد هذه المحطات، وقد استخدمنا برنامج نظام ArcGIS فتحصلنا على نتائج هي تحول المنطقة إيكولوجية مستغانم من شتاء معتدل مما كانت عليه في الفترة الأولى (1913-1937) الى شتاء دافئ في الفترة الثانية (1981-2009) والمنطقة الإيكولوجية الثانية (الجلفة) قد تحولت من مرحلة شبه قاحلة بشتاء بارد في الفترة الأولى (1913-1937) الى شتاء جاف في الفترة الثانية (1978-2007). يجب الآن على إدارة الغابات الجزائرية أن تتكيف مع تغير المناخ بطريقة من شأنها أن تسهل التحولات. ونظرا للتنوع الهائل في النظم الإيكولوجية للغابات بالجزائر، واتخاذ مجموعة من التدابير للتكيف والتي تكون الأنسب في كل حالة.

## كلمات المفتاح

الجزائر، تغير المناخ، النظم الإيكولوجية للغابات، البحر الأبيض المتوسط، التكيف التخفيف، الضعف، المرونة.

## Liste des figures

**Figure n° 1 :** Émissions mondiales de dioxyde de carbone dues aux combustibles fossiles, 1751-2004

**Figure n° 2 :** Concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, 1957-2007

**Figure n° 3 :** Les émissions de CO<sub>2</sub> dans le monde en 2005

**Figure n° 4 :** Evolution de la température moyenne à la surface du globe de 1880 à 2014

**Figure n° 5 :** Evolution des températures moyennes mondiales sur mer et sur terre, par hémisphères depuis 1880

**Figure n° 6 :** Evolution des températures moyennes mondiales sur mer et sur terre depuis 1850

**Figure n° 7 :** Bilans de masse cumulatifs moyens de tous les glaciers suivis (ligne noire) et des glaciers de référence (ligne rouge)

**Figure n° 8 :** Etendue de la banquise arctique le 24 avril 2015 (en millions de km<sup>2</sup>). En gris la moyenne de 1979 à 2000

**Figure n° 9 :** Evolution de capital en eau dans la région en 2010

**Figure n° 10 :** Crise climatique sur le haut plateau (Djelfa)

**Figure n° 11 :** Stocks de carbone dans les biomes terrestres. Le stockage total du carbone dans la biomasse représente 654 GtC et 1567 GtC dans le sol, à 1 m de profondeur

**Figure n° 12 :** Probabilité de présence de trois espèces autochtones en fonction du déficit hydrique climatique du mois de juillet

**Figure n° 13 :** les fonctions du logiciel IPCC

**Figure n° 14 :** Organigramme méthodologique

**Figure n° 15 :** Carte des zones d'étude

**Figure n° 16 :** Carte des sites d'étude

**Figure n° 17 :** Carte des étages bioclimatiques de l'Algérie

**Figure n° 18 :** Carte pluviométrique de l'Algérie

**Figure n° 19 :** Précipitations moyennes mensuelles (mm) pendant les deux périodes de référence de la zone de Mostaganem

**Figure n° 20 :** Précipitations moyennes mensuelles (mm) pendant les deux périodes de référence de la zone de Djelfa

**Figure n° 21 :** Variations mensuelles et annuelles des températures durant les deux périodes de référence de la zone de Mostaganem

**Figure n° 22 :** Variations mensuelles et annuelles des températures durant les deux périodes de référence de la zone de Djelfa

**Figure n° 23 :** Diagrammes ombrothermiques de BAGNOULS et GAUSSEN (1953) des zones d'étude

**Figure n° 24 :** Humidité relative de l'air de la zone de Mostaganem durant les deux périodes de référence

**Figure n° 25 :** Humidité relative de l'air de la zone de Djelfa durant la période 1913-1937

**Figure n° 26 :** Principales formations végétales de la zone écologique de Mostaganem 1958

**Figure n° 27 :** Principales formations végétales de la zone écologique de Djelfa 1960

**Figure n° 28 :** Image NDVI de Mostaganem le 08-01-2015

**Figure n° 29 :** Image NDVI de Mostaganem le 29-03-2015

**Figure n° 30 :** Image NDVI de Mostaganem le 12-08-2015

**Figure n° 31 :** Image NDVI de Mostaganem le 31-10-2015

**Figure n° 32 :** Image NDVI de Djelfa le 10-01-2015

**Figure n° 33 :** Image NDVI de Djelfa le 07-03-2015

**Figure n° 34 :** Image NDVI de Djelfa le 02-05-2015

**Figure n° 35 :** Image NDVI de Djelfa le 23-09-2015

**Figure n° 36 :** Répartition des émissions totales de GES par secteur d'activité

**Liste des tableaux**

**Tableau n° 1 :** Les 10 années les plus chaudes depuis 1880 par rapport à la normale 1901-2000

**Tableau n° 2 :** Les 10 années les plus chaudes depuis 1880 par rapport à la normale 1901-2000

**Tableau n° 3 :** Les cartes utilisées

**Tableau n° 4 :** Régime saisonnier des précipitations au niveau des zones d'étude

**Tableau n° 5 :** Indice de continentalité de la zone d'étude

**Tableau n° 6 :** Indice de sécheresse estivale de la zone d'étude

**Tableau n° 7 :** Etage de végétation des zones d'étude

**Tableau n° 8 :** Valeur du « Q2 » et étages bioclimatiques

**Tableau n° 9 :** Emissions / Absorption Totales des GES à effet direct

**Tableau n° 10 :** Synthèse des émissions/absorptions des GES (Gg)

**Tableau n° 11 :** Synthèse des émissions et absorptions des GES de secteur forestier (Gg)

## **Liste des abréviations**

**ACIA** : Arctic Climate Impact Assessment.

**AIE** : Agence Internationale de l'Énergie.

**ANCC** : Agence Nationale des Changements Climatiques.

**BAD** : Banque Asiatique de Développement.

**CCNUCC** : Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques.

**CDIAC** : Carbon Dioxide Information Analysis Center.

**CF** : Conservation des Forêts.

**CO<sub>2</sub>** : dioxyde de carbone.

**CSIRO**: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation

**DPAT** : Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire.

**EIA**: International Energy Agency.

**ESRI** : Environmental Systems Research Institute.

**FAO**: Food and Agriculture Organization.

**GES** : Gaz à Effet de Serre.

**GIEC** : Groupe Intergovernmental Experts sur l'Évolution du Climat.

**GRID** : Global Resource Information Database.

**Gt** : Giga Tonne

**IPCC** : Intergovernmental Panel on Climate Change.

**NASA** : **National** Aeronautics and Space Administration.

**NCDC** : Centre National de Données Climatiques.

**NOAA**: National Oceanic and Atmospheric Administration.

**NSIDC**: National Snow and Ice Data Center.

**OCDE** : Organisation de Coopération et de Développement Économiques.

**OMM** : l'Organisation Météorologique Mondiale.

**ONERC** : Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique.

**ONM** : l'Office National de Météorologie.

**NDVI** : Normalized Difference Vegetation Index

**PGRN** : Pôle Grenoblois d'Études et de Recherche pour la Prévention des Risques.

**PNUE** : Programme Des Nations Unies Pour l'Environnement. Pour la recherche scientifique et industrielle en français)

**SIG** : Système d'Information Géographique.

**SRES** : Rapport Spécial sur les Scénarios d'Émissions.

**UTM:** Universal Transverse Mercator.

**WGMS:** World Glacier Monitoring Service.

**Table de matière**

<b>Titres</b>	<b>Pages</b>
Introduction générale	01
Chapitre I : Synthèse bibliographique	03
I-Etat des connaissances	03
I-1- Émissions de gaz à effet de serre(GES) et changement climatique	03
I-1-1- Les gaz à effet de serre et le système climatique	03
I-1-2- Tendances et structure des émissions de gaz à effet de serre	05
I-1-3- Le changement climatique observé et projeté et ses conséquences	06
II-1- Températures et précipitations	06
II-1-1- Les 10 années les plus chaudes	09
II-1-2- Les 10 années les plus froides	09
II-2-La hausse du niveau des océans	10
II-3-La fonte des glaciers et des glaces	10
II-3-1-La fonte des glaciers continentaux	10
II-3-2-La fonte de la glace de mer	11
II-4-Variabilité du climat et extrêmes climatiques	12
III-changement climatique en méditerranée	12
III-1-La Méditerranée : un « hot spot » du changement climatique	12
IV-Changement climatique en Algérie	14
IV-1-Problématique de changement climatique	14
IV-1-1-Des ressources en eau rares et parfois de mauvaise qualité	14
IV-1-2-Évolution du climat en Algérie	15
IV-1-2-1-Evolution des températures	15
IV-1-2-2-Évolution des précipitations	16
V- Forêt et végétation	16
V-1- La forêt est un puits de carbone	17
V-1-1- Le rôle global des forêts dans le bilan de carbone	17
V-2-Impacts et conséquences sur les écosystèmes forestiers	18
V-2-1-Évolution des aires bioclimatiques potentielles des espèces	18
V-2-2-Impacts sur la phénologie et la reproduction des arbres	20
V-2-3-Impacts sur la croissance des arbres	21
V-2-4-Évolution des risques sanitaires	21

V-2-5-Augmentation des risques physiques	22
V-2-5-1-Augmentation du risque d'incendie	22
V-2-5-2-Augmentation de l'érosion dans la zone montagnarde et en zone méditerranéenne	22
Chapitre II : Matériel et méthodes	24
I- Matériel	24
I-1-Système d'Information Géographique	24
I-1-1-SIG	24
I-1-2-Structures d'un SIG	24
I-1-3- Modes de données dans un SIG	24
I-1-4- Modes d'acquisition des données	25
I-2-Cartographie	25
I-2-1- Classification des cartes	25
I-3-L'apport de la télédétection dans l'étude du réchauffement climatique	26
I-3-1- Le rayonnement électromagnétique	27
I-3-2- Le spectre électromagnétique	27
I-4- Les logiciels utilisés dans le cadre de l'étude	27
I-4-1- ARCGIS 10.0	27
I-4-2- Global Mapper	28
I-4-3- ENVI 4.5	29
I-4-4- Logiciel IPCC	29
I-4-5- Google Earth	30
I-4-6- Microsoft Office 2010	31
II-Méthodes d'approche	31
II-1- Méthodes d'échantillonnage	33
II-1-1- La zone d'étude et de recherche	33
II-1-2-Le choix des sites d'études	33
II-1-2-1-La situation géographique	34
II-1-2-2-Le choix des stations	34
II-1-3-Recueil des données	35
II-2-Analyse spatio-temporelle de l'indice de végétation NDVI	36
II-3-Réalisation de l'inventaire de taux de carbone	37
Chapitre III : Résultats et discussion	38
I- Le climat de l'Algérie	38

II- Le climat des zones d'étude	40
II-1- Précipitations	41
II-1-1- Répartition mensuelle moyenne des précipitations	41
II-1-2- Régime saisonnier des précipitations	42
II-2- Températures	43
II-2-1- Températures moyennes mensuelles et annuelles (T°C)	43
II-3- Synthèse climatique	44
II-3-1- Amplitude thermique extrême moyenne ou indice de continentalité	44
II-3-2- Indice de sécheresse estivale	45
II-3-3- Etage de végétation	46
II-3-4- Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN	47
II-3-5- Quotient pluviothermique et climagramme d'EMBERGER	48
II-4- Humidité de l'air	49
III- Le changement climatique par les indicateurs biologiques de la végétation	50
La végétation de la zone d'étude	50
III-1- Caractérisation des écosystèmes et de la végétation de l'Algérie	52
III-1-1- Végétation méditerranéenne	52
III-1-1-1- Série du Jujubier ( <i>Zizyphus lotus</i> )	52
III-1-1-2- Série du Génévrier de Phénicie ( <i>Juniperus phoenicea</i> )	53
III-1-1-3- Série du Thuya ( <i>Tetraclinis articulata</i> )	54
III-1-1-4- Série de l'olivier et du Lentisque ( <i>Olea europea</i> et <i>Pistacia lentiscus</i> )	54
III-1-1-5- Série du Pin d'Alep ( <i>Pinus halepensis</i> )	54
III-1-1-6- Série du Chêne Vert ( <i>Quercus ilex</i> )	55
III-1-1-7- Série du Chêne Liège ( <i>Quercus suber</i> )	55
III-1-2- Zone maritime et sols salés	56
III-1-2-1- Série des steppes salées ou halipèdes	56
III-1-2-1-1- Végétation au bord des eaux	57
III-1-2-2- Série des steppes salées ou Halipèdes	57
III-1-2-3- Végétation des steppes non salées	57
III-1-2-3-1- Steppe à Lygeum ( <i>Lygeum spartum</i> )	57
III-1-2-3-2- Steppe à Alfa ( <i>Stipa tenacissima</i> )	58
III-1-2-3-3- Steppe à Armoise Blanche ( <i>Artemisia herba alba</i> )	58

## *Table de matière*

---

IV- Caractérisation de la végétation forestière et para forestière par les techniques de la télédétection	59
V- L'inventaire des émissions de gaz à effet de serre de l'année 2000	68
V-1- Les émissions et les absorptions des GES de secteur forestier	70
Conclusion	72
Références bibliographiques	74

## **Introduction générale**

Les écosystèmes forestiers et para-forestiers seront évidemment affectés par les mêmes impacts généraux du changement climatique que les communautés non forestières et cette affectation est spécifique car les forêts sont sensibles au climat. L'adaptation a le potentiel de réduire les répercussions néfastes, d'accroître les bienfaits du changement climatique et de réduire les dangers et les risques associés au changement climatique.

Les preuves scientifiques du changement climatique et de ses effets sont convaincantes et continuent d'évoluer. Le quatrième Rapport d'évaluation du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat [36] affirme que le climat de notre planète se réchauffe indéniablement, et la Stern Review (2006) consacrée à l'économie du changement climatique conclut que celui-ci fait peser de sérieuses menaces sur la planète et exige d'urgence une réponse mondiale.

Le changement climatique «... s'entend d'une variation de l'état du climat que l'on peut déceler par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus. Il se rapporte à tout changement du climat dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou à l'activité humaine. » [36].

La vitesse des changements annoncés interpelle fortement les écosystèmes forestiers : comment les forêts vont-elles faire face à un changement de leur environnement plus rapide que le rythme de renouvellement des arbres ? Comment les nouveaux équilibres des écosystèmes vont-ils s'établir ?

La meilleure compréhension des impacts des changements sur les écosystèmes forestiers et para-forestiers est la prévision de leur devenir. Proposition de solutions pour atténuer ces impacts en ce qui concerne les changements climatiques et concilier le citoyen avec la forêt pour la pression anthropique.

Ce travail coïncide avec une étape très importante dans le développement de notre pays, qui accorde un intérêt particulier à la valorisation des forêts.

Nous espérons apporter une contribution utile grâce à l'étude climatique des différentes régions Algériennes.

L'objet de notre travail dans une première phase, est de reconstituer des séries climatiques les plus longues possible, afin de déceler un éventuel changement climatique par l'analyse chronologique de ces essentiels éléments climatiques (les précipitations et les températures), en utilisant l'approche statistique (traitement des données).

Ainsi notre travail s'articulera sur les chapitres suivants :

Le premier chapitre qui portera sur un état de connaissance sur les changements climatiques et leurs conséquences sur notre zone écologique, particulièrement les écosystèmes forestiers et para-forestiers méditerranéens de l'Algérie.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de matériel et méthodes ; méthode d'échantillonnage, les zones d'étude et les outils du travail.

Le troisième chapitre : Quelques sur les le choix des traitements et des résultats obtenus de notre travail (cartes, tableaux, figures...) et on termine par une conclusion générale.

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

### I-Etat des connaissances

#### I-1- Émissions de gaz à effet de serre et changement climatique

##### I-1-1- Les gaz à effet de serre et le système climatique

Depuis le début de l'industrialisation, les émissions de gaz à effet de serre causées par les activités humaines (émissions anthropiques de GES) ont fortement augmenté, ce qui a eu pour effet d'accroître la concentration de ces gaz dans l'atmosphère. Pour dire les choses simplement, la concentration plus élevée de GES dans l'atmosphère fait que la chaleur du soleil (normalement renvoyée dans l'espace) est retenue dans l'atmosphère terrestre, ce qui contribue à l'effet de serre responsable du réchauffement de la planète et du changement climatique.

Les figures 1, 2 et 3 illustrent la tendance à l'augmentation des émissions pour le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). La figure 1 indique l'augmentation des émissions mondiales de dioxyde de carbone dues à la consommation de combustibles fossiles au cours des 250 dernières années, et la figure 2 montre l'accroissement de la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère au cours des 50 dernières années [18].

**Figure n° 1 : Émissions mondiales de dioxyde de carbone dues aux combustibles fossiles, 1751-2004 [18].**

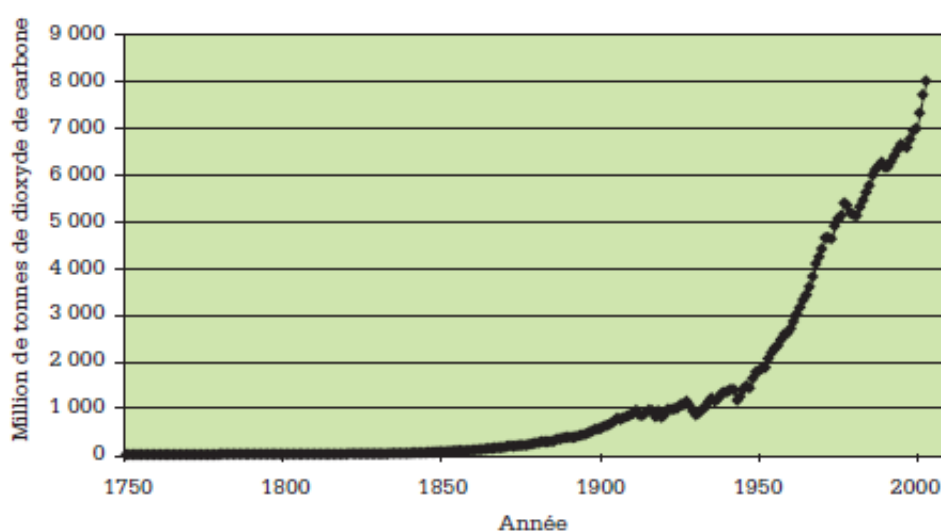


Figure n° 2 : Concentration de dioxyde de carbone dans l’atmosphère, 1957 2007[64].

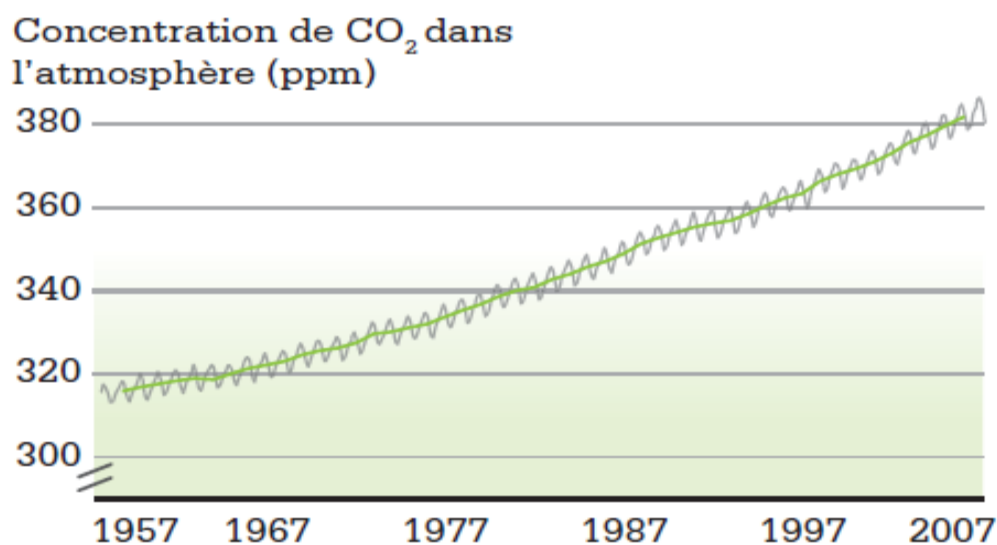
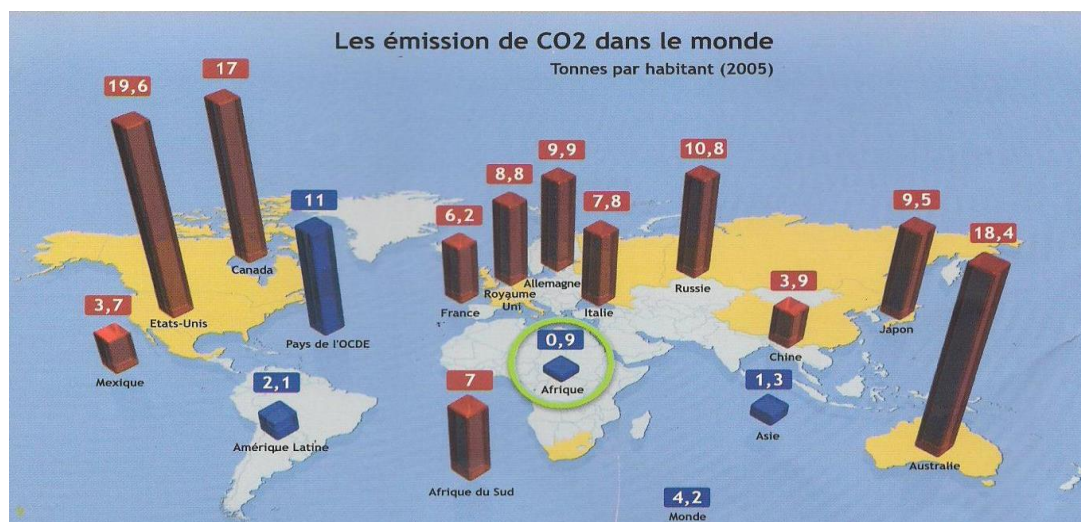


Figure n° 3 : Les émissions de CO<sub>2</sub> dans le monde en 2005 [30] et [5].



La concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> et de gaz à effet de serre en général est mesurée en parties par million (ppm), ce qui désigne le nombre de molécules de gaz par million de molécules d’air sec. En 2005, la concentration atmosphérique moyenne de CO<sub>2</sub> dans le monde était de 379 ppm, c’est à-dire qu’il y avait 379 molécules de CO<sub>2</sub> par million de molécules d’air sec. Par comparaison, le niveau préindustriel était d’environ 275 ppm [30], ce qui veut dire que la concentration a augmenté globalement d’environ 36 pour cent au cours des 250 dernières années.

Comme le montre la figure 2, cette augmentation s'est produite, pour l'essentiel, au cours des 50 dernières années.

Outre le dioxyde de carbone, les principaux gaz à effet de serre anthropiques sont l'ozone, le méthane, l'oxyde nitreux, les hydrocarbures halogénés et les autres gaz industriels [30]. Tous ces gaz existent à l'état naturel dans l'atmosphère, sauf les gaz industriels tels que les hydrocarbures halogénés. Les émissions de dioxyde de carbone, qui sont actuellement à l'origine de 77 pour cent de l'effet de serre anthropique résultent principalement de la combustion de combustibles fossiles et du déboisement [8]. L'augmentation des émissions de méthane et d'oxyde nitreux est due principalement aux changements survenus dans l'agriculture et l'affectation des terres, les émissions de méthane représentant 14 pour cent de l'effet de serre renforcé. Les quelques 9 pour cent restants se composent d'émissions d'oxyde nitreux, d'émissions d'ozone provenant des gaz d'échappement des véhicules et d'autres sources, et d'émissions d'hydrocarbures halogénés et d'autres gaz dus aux procédés industriels.

### **I-1-2- Tendances et structure des émissions de gaz à effet de serre**

Malgré les efforts déployés aux niveaux national et international pour adopter des mesures visant à stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, les émissions de GES continuent d'augmenter. Le GIEC [36] indique qu'entre 1970 et 2004, les émissions anthropiques mondiales de GES ont augmenté de 70 pour cent, passant de 28,7 à 49 gigatonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> (Gt équiv.-CO<sub>2</sub>). L'Agence Internationale de l'énergie (AIE) et l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) indiquent que les émissions globales de GES ont doublé entre le début des années 70 et 2005 [3] et [55].

Le taux d'augmentation des émissions de dioxyde de carbone dues à l'utilisation de combustibles fossiles et aux procédés industriels est passé de 1,1 pour cent par an dans les années 90 à plus de 3 pour cent par an entre 2000 et 2004 [3], [66] et [18]. Ces chiffres révèlent que, sans une amélioration notable des politiques d'atténuation du changement climatique et des pratiques connexes de développement durable, les émissions mondiales de gaz à effet de serre continueront d'augmenter au cours des prochaines décennies [36] et [4] indique que, si les politiques n'évoluent pas, c'est-à-dire dans un scénario de «politique inchangée», les émissions de GES pourraient augmenter de plus de 70 pour cent entre 2008 et 2050. La figure 3 représente ces tendances et montre aussi l'évolution prévue de la structure régionale des émissions de gaz à effet de serre (c'est-à-dire de la contribution de chaque région aux émissions totales).

Les émissions annuelles de dioxyde de carbone liées à l'énergie sont plus élevées dans les pays non-membres de l'OCDE que dans les pays membres. En 2005, elles ont été supérieures de 7 pour cent [3]. Le volume annuel total des émissions des pays industrialisés et celui des émissions des pays en développement sont désormais à peu près identiques et, sur les 20 pays qui émettent le plus de gaz à effet de serre, huit sont des pays en développement [3]. En fait, les pays en développement non-membres de l'OCDE représentent environ les deux tiers des nouvelles émissions dans l'atmosphère [3]. Cela correspond de très près à l'estimation de [66], qui notent que 73 pour cent de l'augmentation des émissions en 2004 est imputable aux pays en développement. Ils notent également que le taux d'augmentation des émissions reflète non seulement la dépendance des pays en développement à l'égard des combustibles fossiles, mais aussi leur utilisation croissante de procédés industriels.

### **I-1-3- Le changement climatique observé et projeté et ses conséquences**

#### **II-1- Températures et précipitations**

Le réchauffement de la planète est l'une des plus fortes tendances observées en matière de changement climatique. Les observations chronologiques (les données recueillies pendant des périodes successives) pour les 150 dernières années montrent non-seulement une hausse des températures globales moyennes, mais aussi une augmentation de la variation des températures moyennes.

Entre 1906 et 2005, la température moyenne à la surface du globe a augmenté d'environ 0,74°C et le réchauffement tendanciel par décennie a été presque deux fois plus élevé au cours des 50 dernières années qu'au cours des 100 années écoulées [36]. En outre, pendant la période de 30 ans allant de 1976 à 2007, la variation de la température moyenne a été trois fois plus élevée que pendant les 100 dernières années, selon le Centre national de données climatiques (NCDC) de la National Oceanic and Atmospheric Administration. Les analyses des mesures provenant des ballons météorologiques et des satellites montrent que les taux de réchauffement de la température atmosphérique sont analogues à ceux de la température de surface [48].

La hausse des températures est un phénomène universel, mais il y a des variations régionales importantes par rapport à la moyenne mondiale. Les observations montrent qu'elle est plus forte aux latitudes septentrionales les plus élevées, les températures moyennes de l'Arctique, par exemple, ayant augmenté presque deux fois plus que la moyenne mondiale au cours des 100 dernières années [48]. En outre, le réchauffement a été supérieur à la moyenne mondiale en Asie et en Afrique et il a été inférieur en Amérique du Sud, en Australie et en Nouvelle-Zélande, tandis

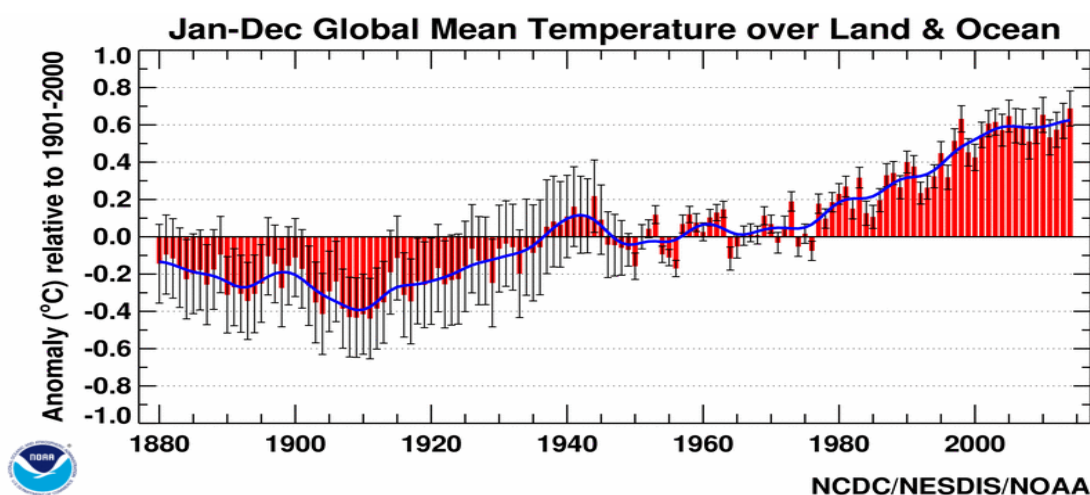
qu'en Europe et en Amérique du Nord, il est comparable à la hausse moyenne mondiale des températures [80].

La hausse des températures a plusieurs effets sur les êtres humains, les végétaux et les animaux et sur divers systèmes gérés par l'homme qui ont déjà été vérifiés dans des études. Elle a notamment entraîné une augmentation de la mortalité due aux chaleurs extrêmes en Europe, une modification du mode de transmission des maladies infectieuses dans certaines parties de l'Europe, et la production saisonnière accrue et plus précoce de pollens allergènes aux latitudes élevées et moyennes de l'hémisphère Nord. L'agriculture et la sylviculture auraient également été affectées, notamment aux latitudes élevées de l'hémisphère Nord, principalement en raison des semences de printemps plus précoces et des changements liés aux incendies et aux parasites qui détruisent les forêts.

En outre, la hausse des températures affecte fortement les systèmes biologiques terrestres, ce qui se traduit, par exemple, par la précocité de certains événements printaniers tels que le débourrement, la migration des oiseaux ou la ponte ainsi que par le déplacement de l'aire de distribution géographique d'un certain nombre d'espèces animales et végétales [71] et [72]. Il faut cependant noter qu'en Europe du Nord notamment, les faibles augmentations de température devraient aussi avoir des effets favorables, surtout pour l'agriculture.

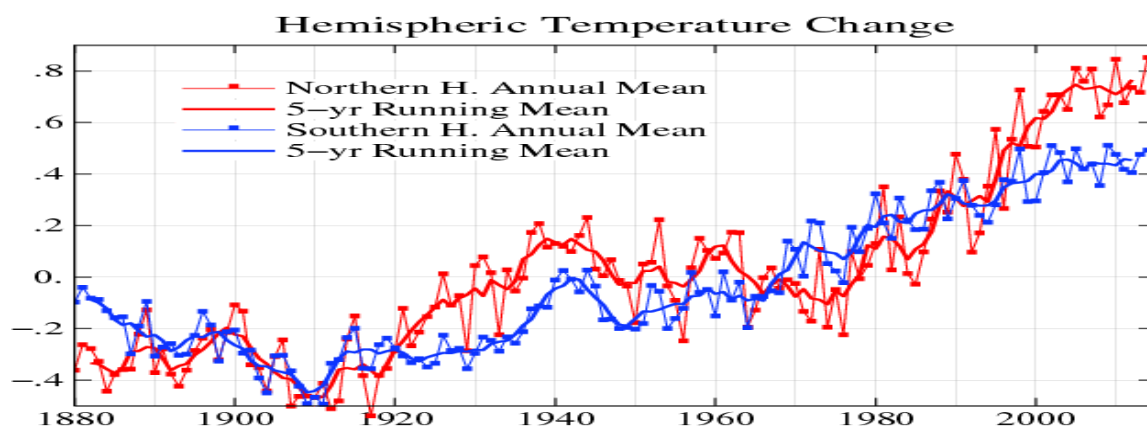
Evolution de la température moyenne à la surface du globe, sur terre, sur mer et les deux combinés d'après les données du Centre national de données climatologiques (NCDC) de la NOAA. En ordonnée, se trouvent les écarts de températures en °C de 1880 à 2014 par rapport aux normales calculées pour la période 1901-2000 [52] figure n°4.

**Figure n°4 : Evolution de la température moyenne à la surface du globe de 1880 à 2014 [52].**



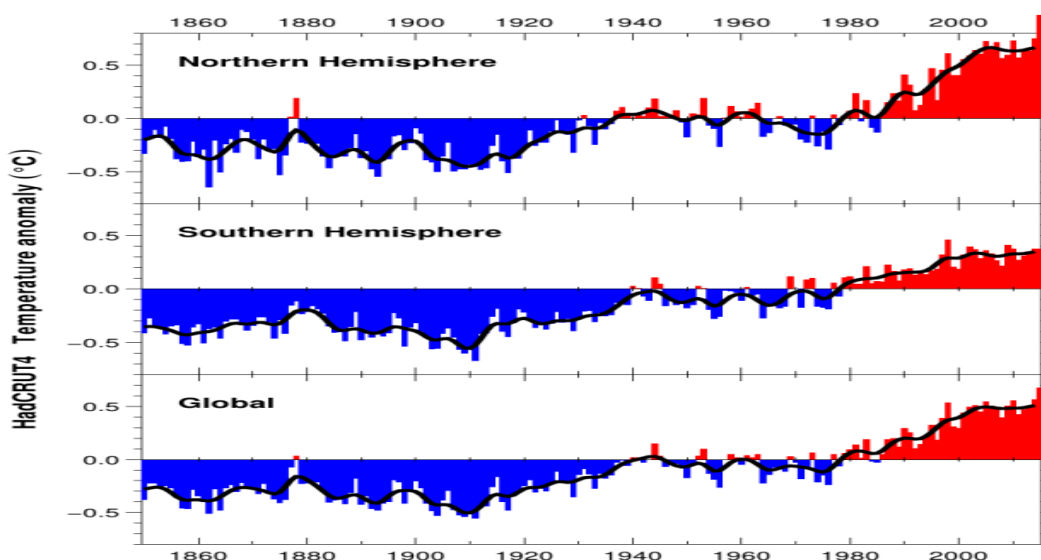
Evolution des températures moyennes mondiales sur mer et sur terre, par hémisphères depuis 1880. En ordonnée, se trouvent les écarts de températures en °C par rapport aux normales calculées pour la période 1951-1980. En rouge la moyenne sur 5 ans, en noir la moyenne sur une année. L'élévation de température depuis le début des années 1980 est notable tout comme les records des premières années du XXIème siècle [51] figure n°5.

**Figure n°5 : Evolution des températures moyennes mondiales sur mer et sur terre, par hémisphères depuis 1880 [51].**



Evolution des températures moyennes mondiales sur mer et sur terre depuis 1850. En ordonnée, se trouvent les écarts de températures en °C par rapport aux normales calculées pour la période 1961-1990 (Climatic Research Unit, University of East Anglia 2014) figure n°6.

**Figure n° 6 : Évolution des températures moyennes mondiales sur mer et sur terre depuis 1850(Climatic Research Unit, University of East Anglia 2014).**



Depuis le début du XXe siècle (1906-2005), la température moyenne à la surface du globe a augmenté de 0,74°C, mais cette progression n'a pas été continue puisque depuis 1976, la hausse s'est nettement accélérée, atteignant 0,19°C par décennie en accord avec les prédictions des modèles. La période 1997-2006 est marquée par une anomalie positive moyenne de 0,53°C dans l'hémisphère Nord et de 0,27°C dans l'hémisphère Sud, toujours par rapport à la normale calculée pour 1961-1990 [57]. Ceci alors même qu'il a été enregistré une baisse de l'activité solaire.

### II-1-1- Les 10 années les plus chaudes

Les dix années les plus chaudes jamais enregistrées sont toutes postérieures à 1997. Pire, 14 des 15 années les plus chaudes se situent au XXI ème siècle à peine entamé. Ainsi, l'année 2014 est la plus chaude, suivie de près par 2005 et 2010 [52] tableau<sup>o</sup>1.

**Tableau n°1 : Les 10 années les plus chaudes depuis 1880 par rapport à la normale 1901-2000 [52].**

Année	2014	2010	2005	1998	2013	2003	2002	2009	2006	2007
Anomalies de température en °C	0.69	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	0.60	0.59

La température des eaux tropicales a augmenté de 1,2°C au cours du XXè siècle, entraînant un blanchiment des récifs coralliens apparu en 1997. En 1998, le réchauffement prolongé de l'eau a détruit la moitié des récifs de corail de l'Océan Indien.

De plus, la température dans les zones tropicales des cinq bassins océaniques, où se forment les cyclones, a augmenté de 0,5 degré Celsius de 1970 à 2004, or de puissants cyclones sont apparus dans l'Atlantique Nord en 2005 (Katrina, Rita, Wilma), tandis qu'ils étaient plus nombreux dans les autres parties du monde.

### II-1-2- Les 10 années les plus froides

**Tableau n°2 : Les 10 années les plus chaudes depuis 1880 par rapport à la normale 1901-2000 [52].**

Année	1911	1908	1909	1910	1904	1907	1912	1903	1913	1917
Anomalie de Température en °C	-0.45	-0.44	-0.44	-0.42	-0.41	-0.39	-0.39	-0.36	-0.36	-0.35

## **II-2-La hausse du niveau des océans**

Le niveau moyen des océans s'est élevé de 17 cm depuis 1880 à cause de la fonte des glaciers mais aussi avec la dilatation thermique de l'eau, on parle de contribution stérique qui, plus chaude, augmente son volume.

Depuis 2003, on constate une hausse assez rapide (environ 3,27 mm/an) du niveau marin, mais la dilatation thermique voit sa contribution diminuer (0,4 mm/an) alors que la fonte des calottes polaires et des glaciers continentaux s'accélère [21].

Niveau moyen des mers depuis 1880. Depuis 1993, ce niveau est mesuré par les satellites TOPEX/Poseidon, Jason-1 and Jason-2, avant cette mesure provenait exclusivement des marégraphes côtiers.

Des évaluations révisées avant la tenue du Sommet de Copenhague en décembre 2010 montrent qu'en 2100 le niveau de la mer dans le monde entier pourrait être au moins deux fois plus élevé que les estimations du 1<sup>er</sup> groupe de travail, spécifiées dans le 4<sup>ème</sup> rapport d'évaluation du GIEC : si les émissions non pas été modifiées il pourrait bien dépasser 1 mètre. La limite supérieure a été estimée comme - une élévation du niveau de la mer de 2 mètres dès 2100. Une fois que les températures mondiales se seront stabilisées, le niveau de la mer continuera à s'élever pendant des siècles et des élévations du niveau de la mer de plusieurs mètres sont prévues au cours des prochains siècles.

## **II-3-La fonte des glaciers et des glaces**

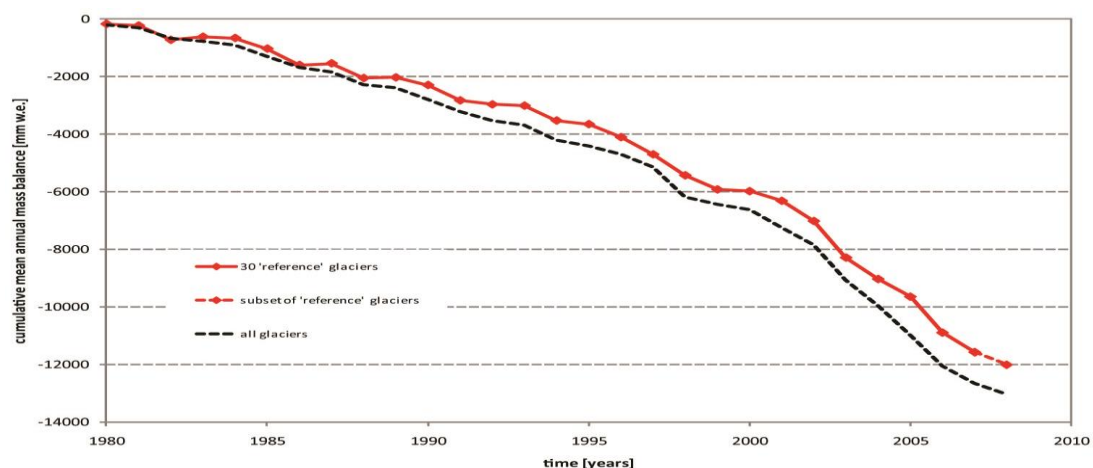
### **II-3-1-La fonte des glaciers continentaux**

Il existe environ 198 000 glaciers de montagne dans le monde, ils couvrent une superficie d'environ 726 000 km<sup>2</sup>. S'ils venaient tous à fondre, le niveau des océans augmenterait d'environ 40 cm [46].

Les glaciers de montagne, régressent un peu partout dans le monde : en moyenne de 50 m par décennie depuis 150 ans. Toutefois, ils sont également sujets à de fortes variations pluri-temporelles qui rendent les prévisions sur ce point difficiles selon certains spécialistes.

Les glaciers polaires comme ceux du Spitzberg (à une centaine de km du pôle Nord) reculent depuis 1880, libérant de grandes quantités d'eau (figure n° 7).

**Figure n° 7 : Bilans de masse cumulatifs moyens de tous les glaciers suivis (ligne noire) et des glaciers de référence (ligne rouge) [84].**

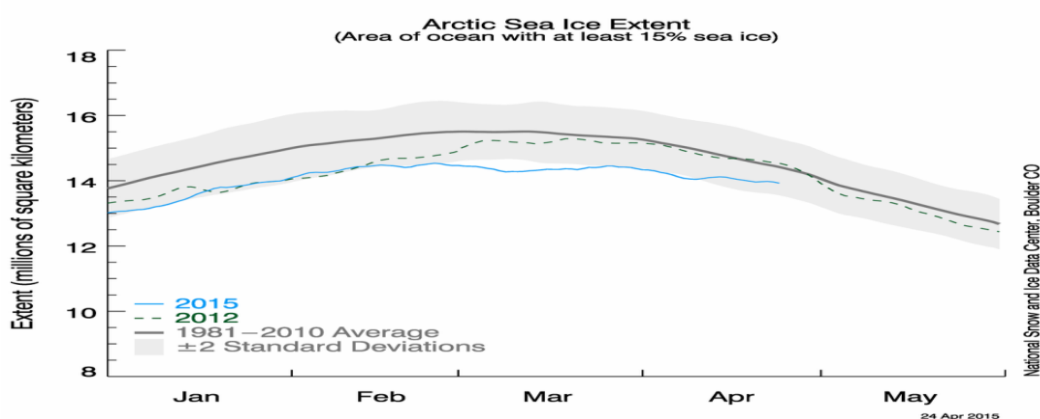


### II-3-2-La fonte de la glace de mer

L'Arctique perd environ 10% de sa couche de glace permanente tous les dix ans depuis 1980. Dans cette région, les températures moyennes ont augmenté à une vitesse deux fois plus rapide qu'ailleurs dans le monde durant les dernières décennies [1].

De plus, la banquise atteint des records en termes de perte de superficie : en août 2007, la banquise ne représentait plus que 5,26 millions de km<sup>2</sup>, pour 7,5 millions de km<sup>2</sup> en 1978. Tous les modèles prédisent la disparition de la banquise arctique en été d'ici quelques décennies, ce qui ne sera pas sans conséquence sur le climat en Europe. La fonte d'été de la glace de mer arctique s'est accélérée bien au-delà des prévisions des modèles climatiques (figure n°8).

**Figure n°8 : Etendue de la banquise arctique le 24 avril 2015 (en millions de km<sup>2</sup>) en gris la moyenne de 1979 à 2000 [53].**



## II-4-Variabilité du climat et extrêmes climatiques

Il est raisonnable de dire que le changement climatique se fera sentir surtout à travers la fréquence et l'intensité des événements météorologiques extrêmes. Ces événements inhérents à l'évolution des moyennes climatiques ont des conséquences directes à court terme sur le bien-être et les moyens d'existence quotidiens [86] et [36].

Même avec une faible hausse de la température moyenne, on s'attend à une modification de la fréquence et de l'intensité des événements météorologiques extrêmes et de la nature de ces événements (ouragans, typhons, inondations, sécheresses et fortes précipitations) dans les régions concernées [16]. On a déjà observé et signalé un certain nombre de changements dans la variabilité du climat et les extrêmes climatiques, notamment une augmentation de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur, une augmentation de l'activité cyclonique intense dans diverses régions, une plus grande fréquence de l'élévation extrême du niveau de la mer et une diminution de la fréquence des journées ou des nuits froides et de l'occurrence du gel [48].

En général, la fréquence des fortes précipitations s'est accrue dans les régions où les précipitations annuelles moyennes ont augmenté, c'est-à-dire l'Europe du Nord, l'Asie du Nord et l'Asie centrale et les parties orientales de l'Amérique du Nord et de l'Amérique du Sud [80]. Mais on a aussi observé une augmentation de la fréquence des fortes précipitations dans des régions où la tendance générale est à la diminution des précipitations totales (c'est-à-dire la plupart des régions subtropicales et de latitude moyenne). On observe également, depuis les années 70, des sécheresses plus longues et plus intenses, notamment dans les régions tropicales et subtropicales [80].

## III-changement climatique en Méditerranée

### III-1-La Méditerranée : un « hot spot » du changement climatique

Pour la région méditerranéenne, les spécialistes du climat anticipent au cours du 21<sup>ème</sup> siècle :

- une augmentation de la température de l'air de 2,2 C° à 5,1 C° pour les pays de l'Europe du Sud et de la région méditerranéenne sur la période 2080 – 2099 par rapport à la période 1980 – 1999 [35],
- une baisse sensible de la pluviométrie, comprise entre -4 et -27 % pour les pays de l'Europe du Sud et de la région méditerranéenne (alors que les pays du Nord de l'Europe connaîtront une hausse comprise entre 0 et 16 %) [35],
- une augmentation des périodes de sécheresse se traduisant par une fréquence élevée des jours au cours desquels la température dépasserait 30 °C [34]. Les événements extrêmes de type vagues de chaleur, sécheresses ou inondations pourraient être plus fréquents et violents,

- une hausse du niveau de la mer qui, selon quelques études, pourrait être de l'ordre de 35 cm d'ici la fin du siècle.

Les impacts du changement climatique sur l'environnement méditerranéen concerneront particulièrement :

- ❖ l'eau, via une modification de son cycle du fait de la hausse de l'évaporation et de la diminution des précipitations. Cette question de l'eau sera centrale dans la problématique du développement durable dans la région,
- ❖ les sols, à travers l'accélération des phénomènes de désertification d'ores et déjà existants,
- ❖ la biodiversité terrestre et marine (animale et végétale), via un déplacement vers le Nord et en altitude de certaines espèces, l'extinction des espèces moins mobiles ou plus sensibles au climat et l'apparition de nouvelles espèces,
- ❖ les forêts, à travers une hausse du risque d'incendie et des risques parasitaires.

Ces impacts amplifieront les pressions déjà existantes sur l'environnement naturel liées aux activités humaines.

Le changement climatique aura notamment des effets sur : l'agriculture et la pêche (diminution des rendements), l'attractivité touristique (vagues de chaleur, raréfaction de l'eau), les zones côtières et les infrastructures (expositions importantes à l'action des vagues, tempêtes côtières et autres événements météorologiques extrêmes, hausse du niveau de la mer), la santé humaine (vagues de chaleur), le secteur énergétique (alimentation en eau des centrales, hydro-électricité et consommation accrue) [9].

Les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée apparaissent plus vulnérables au changement climatique que ceux de la rive Nord. En effet, ils sont d'une part, plus exposés à l'accélération de la désertification et de l'aridité des sols, à l'augmentation de la raréfaction des ressources en eau et, d'autre part, ils sont dotés de structures économiques qui dépendent plus fortement des ressources naturelles ainsi que de capacités techniques et financières plus limitées pour mettre en oeuvre des options d'adaptation de grande ampleur.

Dans le bassin Algéro - Provençal (Méditerranée occidentale) l'analyse des données acquises depuis le début des années soixante montre que la température et la salinité dans l'eau profonde (des environ 1000m de profondeur jusqu'au fond à 2700m) sont en continuelle augmentation [9].

Cette augmentation dans l'eau intermédiaire et dans l'eau profonde est les signatures de changements climatiques. La plupart des évolutions biologiques actuelles se produisent dans le

basin Oriental ou plus de 350 nouvelles espèces (méduses, poissons, algues..) ont émigré, provenant de la mer rouge [9].

## **IV-Changement climatique en Algérie**

### **IV-1-Problématique de changement climatique**

C'est une préoccupation nouvelle pour le pays, L'Algérie fait partie des zones arides et semi-arides qui sont vulnérables et souffrent de sécheresses chroniques. Ce qui entraîne de forts déficits hydriques qui représentent une forte contrainte sur l'environnement, Par ses activités anthropiques, l'Algérie a émis en 1994 :

- CO<sub>2</sub> : 75870 Gg (Giga grammes) en émissions brutes,
- CH<sub>4</sub> : 914 Gg,
- N<sub>2</sub>O: 31 Gg.

La séquestration du CO<sub>2</sub> par les forêts est de l'ordre de 4331 Gg [65].

En Algérie, de part la variabilité naturelle du climat et même si durant la dernière vingtaine d'années, la sévérité de la sécheresse en intensité et de durée a été plus importante en particulier pour l'Ouest du pays, notre zone a déjà connue des périodes similaires dans le proche et le lointain passé.

Durant les trois dernières décennies, le Nord de l'Algérie a subi de sévères sécheresses durant les saisons 1965/1966 ; 1970/1971 ; 1977/1978 ; 1981/1984 ; 1987/1990 ; 1993/1994 [9].

Le caractère aride et semi-aride du pays s'explique en grande partie par le climat à travers la circulation générale atmosphérique, les grands ensembles géographiques du pays et la latitude.

Les masses d'air humides viennent plus du Nord Ouest ou du Nord que d'Ouest et donnent les pluies. L'Atlas Tellien, les Hauts Plateaux et l'Atlas Saharien ont une orientation Ouest -Est avec un gradient marqué vers le Nord [9].

Au fur et à mesure du temps, on constate une dégradation continue, rampante et dangereuse des principales ressources naturelles du pays. La sécheresse persistante des 20 dernières années (1980-2000) a favorisé le déséquilibre des écosystèmes sensible [9].

#### **IV-1-1-Des ressources en eau rares et parfois de mauvaise qualité**

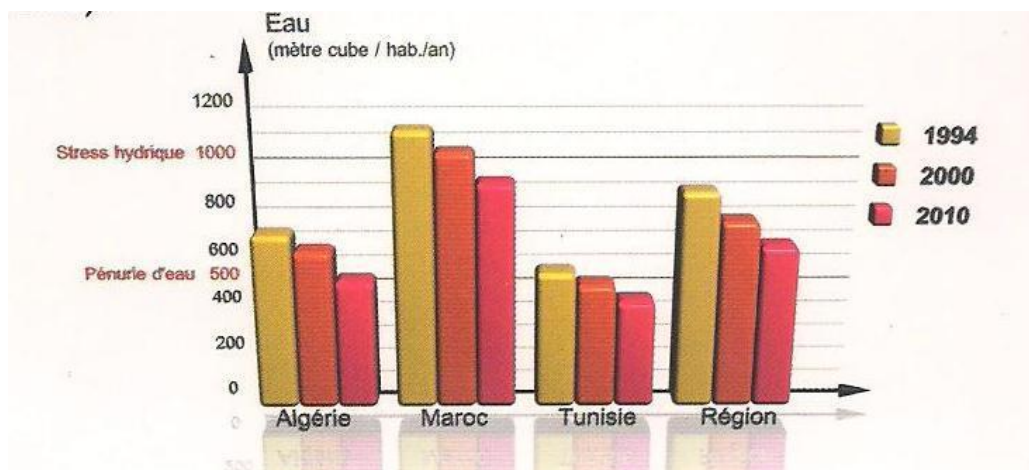
10 milliards de m<sup>3</sup> d'eau mobilisable, principalement des eaux de surface, une utilisation principale en agriculture 80%, eau potable 13% et industrie 7%.

Pays à stress hydrique (moins de 1000 m<sup>3</sup>/hab/an), l'Algérie étant plus près de la pénurie (moins de 500 m<sup>3</sup>/hab/an).

Des écoulements rapides et parfois violents et un transport solide significatif : de 500 à 2000 tonnes/km<sup>2</sup>/an.

Une qualité des eaux parfois à la limite des norms [5] figure n°9.

**Figure n°9 : Evolution des capitals en eau dans la region en 2010 [5].**



#### IV-1-2-Évolution du climat en Algérie

Située dans une zone de transition, entre les régimes tempérés et subtropicaux, l'Algérie présente une grande sensibilité au climat à cause de la grande variabilité des pluies saisonnières et annuelles.

En égard au caractère aride et semi-aride de son climat, l'Algérie ressentira d'avantage les effets des changements climatiques.

Le dérèglement actuel du cycle "évaporation - pluie" conduit à envisager l'occurrence probable d'événements extrêmes comme les sécheresses prolongées ou les inondations catastrophiques, ce qui constitue une menace sévère sur les écosystèmes terrestres et par conséquent sur la biodiversité [9].

Cette évolution met en évidence, pour ces dernières décennies, une hausse des températures et une baisse des précipitations sur l'ensemble du pays, une occurrence plus grande de phénomènes extrêmes comme les inondations et les sécheresses [9].

##### IV-1-2-1-Evolution des températures

L'évolution des températures, en Algérie, met en évidence :

- une hausse de température sur l'ensemble du pays au cours des saisons d'hiver et d'automne,

- une hausse nette des températures minimales et maximales sur l'ensemble des stations de l'Algérie du Nord depuis la décennie 70 et se prolongeant jusqu'à nos jours,
- durant ces 20 dernières années, les températures maximales ont augmenté plus que les minimales ; cette augmentation est de 2°C environ (Plan d'action et stratégie National sur la biodiversité, 1999).

#### IV-1-2-2-Évolution des précipitations

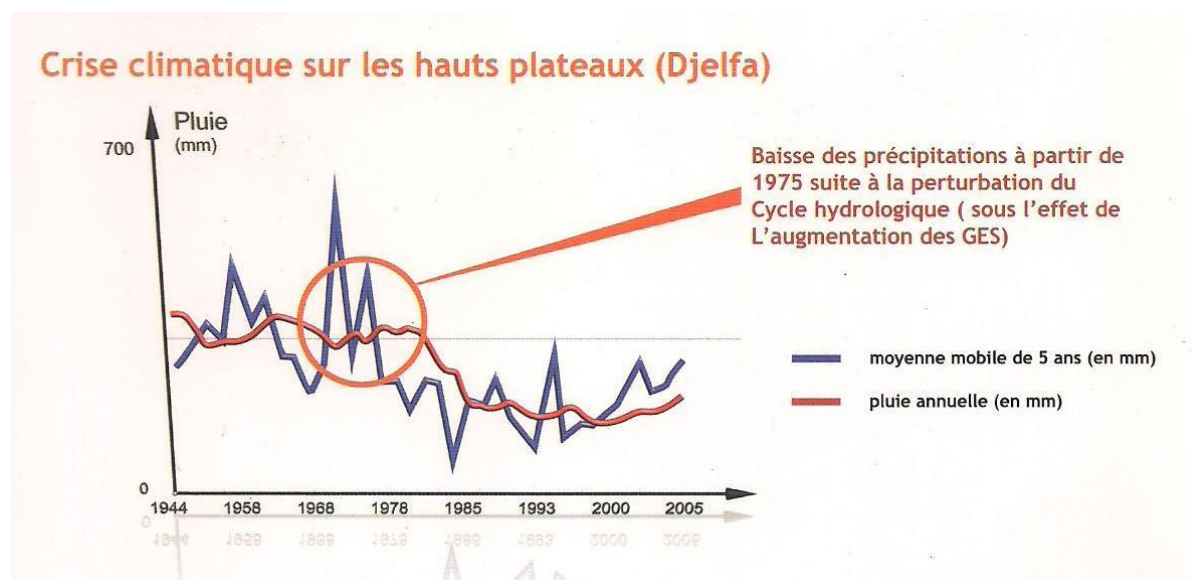
L'examen des précipitations pour les mêmes périodes montre :

- qu'en automne et en hiver, il y a diminution des pluies sur le Nord ; ces deux saisons correspondent au réchauffement important qui affecte le Nord du pays,
- qu'au printemps, la pluviométrie est plus importante à l'Ouest, au Centre et au Sud du pays et qu'il y a diminution des précipitations à l'Est.

Il y a environ 10% de baisse des précipitations ces 20 dernières années.

Et par conséquent ; le déficit hydrique sera plus important à l'Ouest qu'au centre et qu'à l'Est du pays figure n°10.

**Figure n°10 : Crise climatique sur le haut plateau (Djelfa) [5].**



## V- Forêt et végétation

### V-1- La forêt est un puits de carbone

Au coeur des négociations du protocole de Kyoto , les forêts font aujourd'hui l'objet d'une vaste discussion autour des possibilités offertes par l'initiative de la réduction des émissions de gaz à effet de serre dues à la deforestation et à la dégradation forestière qui vise à compenser

financièrement la non déforestation [81]. Plusieurs études de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture [87] et [64] envisagent des scénarios de séquestration accrue du carbone sous l'effet conjugué du ralentissement de la déforestation et de politiques de plantations sur des terres non forestières.

Les ordres de grandeur souvent repris dans les publications font état d'un réservoir de carbone dans les écosystèmes forestiers compris entre 950 GtC [26] et 1120/1240GtC [39] et [68]. Pour la quantité de carbone contenue dans la biomasse aérienne des forêts, la FAO publie des chiffres allant de 240 GtC à 360 GtC [28].

Les données disponibles concernent surtout la productivité primaire brute (PPB) c'est-à-dire la quantité de carbone fixée par la photosynthèse sans tenir compte ni de la respiration par les plantes ( $R_a$ ), qui donne la productivité primaire nette ( $PPN = PPB - R_a$ ), ni de la respiration dans le sol ( $R_h$ ), qui seule permet de mesurer la quantité réelle de carbone fixée par la végétation ( $PNE =$  productivité nette de l'écosystème). Une forêt tempérée de hêtres dont la productivité primaire brute atteint les 10 t/ha/an ne fixe en réalité (PNE) que 3,7 t/ha/an [68], une forêt canadienne d'épicéas moins de 1 t/ha/an pour une productivité primaire brute de 9,6 t/ha/an [45].

Selon IPCC 2001, le stockage mondial de carbone (GT) est :

- biomasse terrestre sans forêt: 122,
- sols non forestiers: 948,
- atmosphère: 750,
- biomasse forestière: 448,
- sols forestiers: 632,
- forêts (Biomasse forestière + Sols forestiers): 1080.

Les forêts peuvent également devenir des sources de carbone : ainsi, au Canada, après l'augmentation des perturbations « naturelles » liées aux feux et aux insectes des années 1980, les forêts sont devenues sources, libérant chaque année entre 1989 et 1999 environ 57 MtC/an [41].

### V-1-1- Le rôle global des forêts dans le bilan de carbone

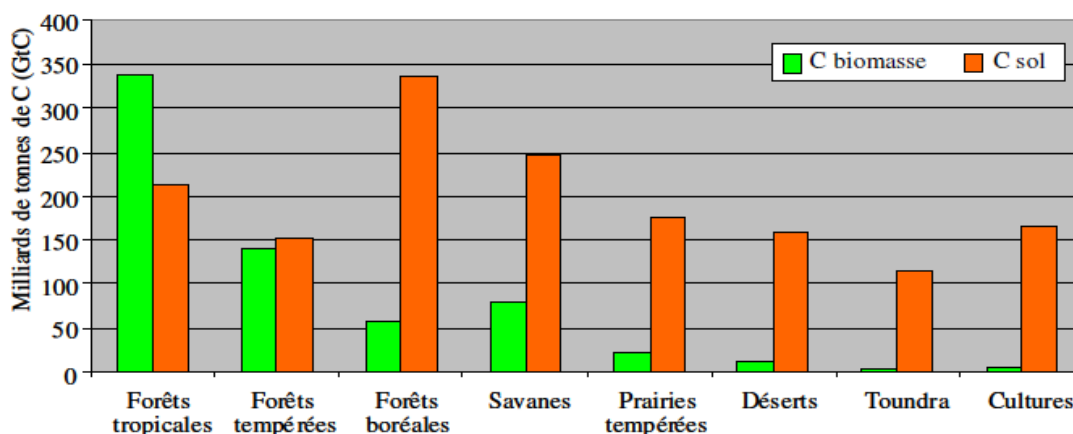
Les émissions de  $CO_2$  actuelles sont principalement liées à la combustion de carbone (C) fossile ( $7,2 \pm 0,3$  GtC/an) et à la déforestation ( $1,6 \pm 0,8$  GtC/an). Cependant, seulement  $4,1 \pm 0,1$  GtC/an sont stockés dans l'atmosphère, les 53 % restants étant fixés, en quantité à peu près égale, par les écosystèmes océaniques et terrestres [68] et [39]. Les forêts occupant 4.2 milliards d'hectares (ha) à la surface du globe, et renferment 40 % du stock de C de la biosphère continentale [74], [73] et [27]. Les forêts tempérées représentent 24 % de la surface forestière mondiale et un

stock de carbone d'environ 300 GtC, également réparti entre la biomasse et le sol (seulement pris en compte à 1 m de profondeur dans l'estimation (figure n°11).

Depuis 1850, leur productivité s'est fortement accrue. En France, [63] estiment entre 10 et 20 MtC/an le stockage de carbone dans la biomasse forestière. Les causes possibles de cet accroissement sont multiples : augmentation de la surface forestière, augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> atmosphérique, augmentation des dépôts azotés et réchauffement climatique [20].

Cependant, depuis quelques années, cette tendance semble peu à peu s'inverser sous l'effet d'une augmentation des contraintes liées aux changements climatiques. Ainsi l'augmentation des sécheresses notamment, tant en fréquence qu'en intensité, pourrait fortement diminuer la production forestière. Lors de la forte sécheresse de 2003 (associée à des températures élevées), les forêts tempérées européennes ont nettement limité leur entrée de carbone durant l'été et sont même devenues temporairement des sources de carbone [20].

**Figure n° 11 : Stocks de carbone dans les biomes terrestres. Le stockage total du carbone dans la biomasse représente 654 GtC et 1567 GtC dans le sol, à 1 m de profondeur [68].**



## V-2-Impacts et conséquences sur les écosystèmes forestiers

### V-2-1-Évolution des aires bioclimatiques potentielles des espèces

Des changements de répartition des espèces ligneuses au cours des dernières décennies ont également été documentés. Par exemple l'aire de répartition de *Pinus contorta*, un pin d'Amérique du Nord, est actuellement en train de progresser vers de plus hautes latitudes. La limite nord de répartition du houx (*Ilex aquifolium*), fortement liée à la température s'est déplacée en direction du pôle depuis 50 ans. Il a également été montré que l'abondance de la basse végétation ligneuse a récemment augmenté en Arctique [49]. Globalement, 40 % de l'ensemble des espèces (animales

et végétales) étudiées au cours du 20<sup>e</sup> siècle par la communauté scientifique se sont déplacées vers le nord à la vitesse moyenne de 6,1 km par décennie [61].

Des changements de limite altitudinale de répartition ont également été observés. La limite de répartition d'espèces herbacées alpines s'est ainsi élevée en altitude de 8 à 10 m par décennie.

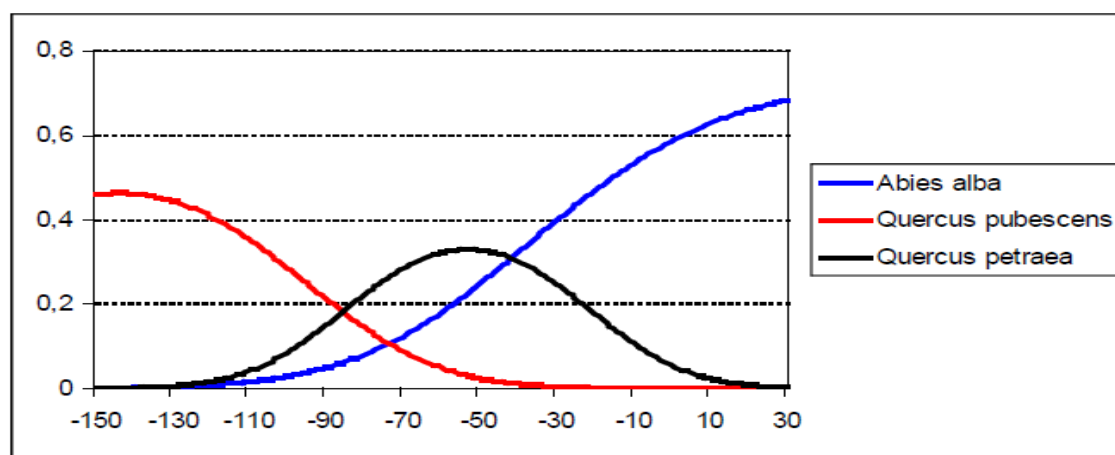
Chez les arbres, la limite altitudinale du hêtre (*Fagus sylvatica*) est remontée de 70 m en Catalogne, une tendance également observée chez *Populus tremuloides* dans les Montagnes Rocheuses, *Picea glauca* en Alaska, et *Pinus sylvestris*, *Sorbus aucuparia*, *Picea abies*, *Betula pubescens*, et *Salix* sp en Scandinavie, avec des remontées de 120 à 375 m selon les espèces [49].

Avec les données du modèle ARPEGE de Météo-France en 2100 et selon les scénarios B2 et A2, [7] ont établi des cartes de répartition potentielle de groupes d'espèces dont la présence/absence est liée aux conditions climatiques. En 2100 selon le scénario A2, le groupe méditerranéen occuperait près de la moitié de la France (47,9%) jusqu'à la Loire et jusqu'en Alsace. Les groupes atlantique et aquitain étendus vers l'est couvriraient 47,2% du territoire. Les aires potentielles des autres groupes (continentaux et montagnards) seraient, sous les mêmes hypothèses, quasi absentes du territoire français.

Cette vitesse de migration calculée est nettement plus élevée que celle qui a pu être mesurée par exemple lors de la dernière reconquête post-glaciaire, et la question se pose donc de la capacité réelle des espèces forestières à accomplir un tel déplacement à si bref délai [70].

Cependant, il convient de nuancer cette représentation schématique de l'évolution de la répartition spatiale des essences forestières. Tout d'abord, ces espèces sont en général capables de vivre sous une gamme assez large de conditions climatiques, grâce à la plasticité individuelle (un même individu peut survivre sous une certaine gamme de conditions climatiques) et à la diversité génétique infraspécifique (chaque espèce est composée de nombreuses populations dont chacune s'est adaptée à ses conditions de milieu). Ainsi, le chêne sessile se rencontre-t-il sous des climats dont la température moyenne annuelle varie de 7 à 15 °C, avec une médiane de 11°C [33] ; figure n° 12 fournit un autre exemple pour le comportement face à la sécheresse estivale.

**Figure n°12 : Probabilité de présence de trois espèces autochtones en fonction du déficit hydrique climatique du mois de juillet [33].**



*P-ETP moyen en mm du mois de juillet (1960-1990)*

Par ailleurs, la variabilité climatique va se surimposer à la variabilité édaphique du territoire, le changement climatique ayant un effet plus important sur certaines stations que sur d'autres. Le déplacement de l'aire des essences sera également influencé par la concurrence des essences en place et par la fragmentation des paysages à coloniser [40].

### V-2-2-Impacts sur la phénologie et la reproduction des arbres

Les changements de phénologie sont parmi les indices les plus remarquables de l'impact du changement climatique sur la biologie des espèces. Au cours des dernières décennies, le débourrement des ligneux tempérés (Européens et Nord-Américains) a avancé de 2,9 jours par décennie (17 espèces) et la floraison de 3,4 jours par décennie (46 espèces) [19]. La date de maturation des fruits a également avancé pour 8 des 10 espèces étudiées, à raison de 9,7 jours par décennie entre 1974 et 2001.

Enfin, en ce qui concerne la sénescence, les tendances montrent généralement un recul de la date de coloration des feuilles de 0,7 jour par decennia entre 1951 et 1996 [19].

L'avancement des stades phénologiques de printemps est dû à l'augmentation des températures qui accélère la croissance des bourgeons après que leur dormance ait été levée pendant l'automne/hiver. Les causes climatiques du retard des stades d'automne sont en revanche encore mal identifiées car plus complexes (interaction entre augmentation des températures estivales et automnales et augmentation du stress hydrique) [70].

Le réchauffement intervenu au XXe siècle a déjà causé un allongement mesurable de la saison de végétation [75]. Le réchauffement attendu devrait accentuer ce phénomène, conduisant à un débourrement plus précoce des arbres et à une chute plus tardive de leurs feuilles.

Cette évolution devrait exposer les arbres aux risques de gelées « tardives » (se produisant après le débourrement au printemps) ou « précoces » à l'automne. On attend aussi une floraison plus précoce, également exposée aux gelées tardives, ainsi qu'une maturité des graines avancée en fin de saison [70].

### V-2-3-Impacts sur la croissance des arbres

La disponibilité en eau est le premier des facteurs du milieu qui contrôlent la croissance des arbres et donc la production de bois (la formation d'un gramme de carbone dans le bois nécessite la transpiration de 0,5 à 0,8 litre d'eau [42]). Si elle se produisait, la substitution d'essences actuelles par des essences plus méridionales aurait à terme des conséquences importantes sur la production [70] de bois des forêts françaises.

L'inventaire Forestier National fournit les ordres de grandeur suivants pour la production moyenne, calculée sur l'ensemble du territoire, des principales essences forestières françaises en 2005/2006 :

- Hêtre: 6 m<sup>3</sup>/ha/an
- Chêne sessile: 5 m<sup>3</sup>/ha/an,
- Chêne pubescent: 2 m<sup>3</sup>/ha/an
- Chêne vert : environ 1 m<sup>3</sup>/ha/an.

En utilisant ces valeurs moyennes de production, le remplacement sur la moitié de sa surface actuelle du hêtre par le chêne sessile entraînerait, à long terme, une baisse de la production de bois d'environ 670 000 m<sup>3</sup>/an.

### V-2-4-Évolution des risques sanitaires

Il est probable qu'il n'y aura pas une évolution générale commune pour tous les pathogènes et insectes forestiers, certains risquent d'être favorisés tandis que d'autres pourraient voir leur population diminuer. Ainsi, par exemple, sous des climats plus chauds, l'oïdium et le chancre du chêne devraient être favorisés tandis que le chancre à *Xanthomonas* du peuplier pourrait disparaître [70].

Le réchauffement de notre climat peut permettre l'implantation de parasites (champignons, bactéries, virus, insectes ...) actuellement inconnus ; des parasites non virulents peuvent le devenir.

Par ailleurs, l'aire de répartition de certains des parasites déjà présents et limités par des seuils de température devrait s'étendre en suivant les isothermes : le réchauffement climatique pourrait alors augmenter alors la surface de la zone forestière touchée (notamment si l'homme contribue fortement à la dispersion du parasite : ce qu'il semble faire par exemple pour le *Phytophthora* du chêne [47]).

## **V-2-5-Augmentation des risques physiques**

### **V-2-5-1-Augmentation du risque d'incendie**

Le risque d'incendie recouvre à la fois :

- l'aléa défini comme "la probabilité qu'un phénomène naturel d'intensité donnée se produise en un lieu donné".
- la vulnérabilité : conséquences particulières découlant de cet événement.

Les précipitations, la température, l'humidité de l'air sont des facteurs naturels d'éclosion. La baisse des précipitations et l'augmentation de la température prévues auront donc un impact direct sur l'augmentation de l'aléa. De plus, ces facteurs vont avoir un impact sur la diminution de la teneur en eau des végétaux et donc sur l'augmentation de l'inflammabilité et la combustibilité de la végétation. On peut donc s'attendre à une augmentation du risque d'incendie.

L'augmentation de la fréquence des feux entraîne de plus une régression des formations forestières au profit de formations arbustives [50].

L'évolution du climat devrait favoriser l'extension notamment des formations à pin d'Alep. Or inflammables et riches en combustibles, les pinèdes donnent plus facilement naissance à un incendie qu'une forêt de feuillus. De plus, les litières d'aiguilles de pins s'enflamment très vite. Les pinèdes génèrent aussi le maximum de "sautes" de feu d'un peuplement à un autre.

### **V-2-5-2-Augmentation de l'érosion dans la zone montagnarde et en zone méditerranéenne**

A haute altitude, « D'une manière générale, l'érosion risque d'être exacerbée par l'évolution de différents facteurs. Ainsi le dégel des permafrosts, les changements de végétation, le retrait glaciaire sont autant de phénomènes qui viennent renforcer l'érosion qui existe déjà sur les versants alpins ». Aux altitudes moyennes, l'érosion torrentielle serait diminuée en cas de proportion accrue des précipitations arrivant sous forme neigeuse, augmentée dans le cas contraire. Aux altitudes où l'enneigement deviendra faible ou nul, l'érosion torrentielle pourrait croître, notamment en hiver [10]. En Suisse, l'augmentation de la pluviométrie observée à la fin du 20<sup>e</sup> siècle a entraîné une recrudescence des mouvements de terrain.

Par ailleurs, en montagne, sous climat méditerranéen ou le devenant, l'augmentation du risque d'incendie pourrait conduire à une proportion plus élevée de sol nu, et donc à un risque d'érosion plus important. Il semble que les deux phénomènes combinés feront des montagnes sous climat méditerranéen les zones les plus exposées à une augmentation de l'érosion [70].

## Chapitre II : Matériel et méthodes

### I- Matériel

Dans l'étude et la recherche du changement climatique et son impact sur les écosystèmes forestiers Algériens on a utilisé un matériel qui est nécessaire.

#### I-1-Système d'Information Géographique

##### I-1-1-SIG

Un Système d'Information Géographique est un ensemble de données numériques, localisées géographiquement et structurées à l'intérieur d'un système de traitement informatique comprenant des modules fonctionnels permettant de construire, de modifier, d'interroger, de représenter cartographiquement les données, selon des critères sémantiques et spatiaux [78].

Dans une acceptation large un SIG est un système d'information à trois composantes :

- une composante technologique (matériels et logiciels),
- une composante base de données (informations, géographiques),
- une composante structure (hommes, budgets, organisations).

Un SIG est un ensemble de principes, de méthodes, d'instruments et de données à référence spatiale utilisés pour saisir, conserver, transformer, analyser, modéliser, simuler et cartographier les phénomènes et les processus distribués dans l'espace géographique.

La modélisation permet de traiter les observations et mesures faites dans le terrain, afin de les synthétiser et améliorer les prises de décisions.

##### I-1-2-Structures d'un SIG

Il y a quatre groupes de fonctionnalités au-dessous d'une couche d'application :

1. l'acquisition des données géographiques d'origines diverses,
2. la gestion pour le stockage et la recherche des données,
3. l'analyse spatiale pour le traitement et l'exploitation,
4. la présentation des résultats sous différentes formes [22].

##### I-1-3- Modes de données dans un SIG

La localisation des objets géographiques peut être représentée géométriquement selon deux modes :

1. mode raster est formé d'unités élémentaires (pixel) représentant une seule valeur (ou couleur),

Il s'agit d'une image scannée, pouvant être introduite comme couche thématique.

2. mode vecteur englobe des objets géométriques (points, lignes et polygones) répartis sur le territoire et conserve surtout la localisation précise des objets traités grâce à leurs coordonnées réelles [11].

#### **I-1-4- Modes d'acquisition des données**

Les données sont des mesures différentes, les principaux modes d'acquisition de ces données sont:

- digitalisation (numérisation),
- scénarisation (balayage électronique),
- photogrammétrie aérienne,
- imports de fichiers.

#### **I-2-Cartographie**

La cartographie limitera son champ d'exploration aux aspects naturel et anthropique de notre environnement, ce sont les données géo-spatiales au sens large du terme. Puis elle s'appliquera à concentrer sélectivement l'attention sur une partie de ces phénomènes afin de communiquer une certaine expression du monde [83].

Puisque la carte utilise une symbolique conventionnelle, pour transmettre un message, on peut la considérer comme un langage.

##### **I-2-1- Classification des cartes**

Une classification doit regrouper des individus selon leurs caractères fondamentaux, soit en considérant le contenu, soit le mode d'expression (le contenant) [83].

Selon le contenu on dispose :

##### **• des cartes topographiques**

Sur lesquelles figurent essentiellement les résultats des observations directes concernant la position planimétrique et altimétrique, la forme, la dimension et l'identification des phénomènes concrets fixes et durables existant à la surface du sol (aspect descriptif de la physionomie du terrain).

##### **• des cartes thématiques**

Qui représentent, sur un fond repère, des phénomènes qualitatifs ou quantitatifs concrets ou abstraits circonscrits et limités par le choix d'un ou plusieurs sujets particuliers.

Parmi les cartes thématiques, on peut effectuer un classement par thèmes, par exemple des cartes : géologique, Géomorphologique, Pédologique, Hydrologique, Climatologique, Météorologique.

### **I-3- L'apport de la télédétection dans l'étude du réchauffement climatique**

La télédétection est une technique qui permet, à l'aide d'un capteur, "d'observer" et d'enregistrer le rayonnement électromagnétique, émis ou réfléchi, par une cible quelconque sans contact direct avec celle-ci. Le traitement et l'analyse des informations véhiculées par le rayonnement enregistré permettent d'accéder à certaines propriétés de cette cible : géométriques (position, forme et dimensions), optiques (réflexion, transmission, absorption, etc.) et physico-chimiques (température, teneur en eau, chlorophylle foliaire, phyto-masse, matière organique du sol,...) [15].

Dans la plupart des cas, la télédétection implique une interaction entre l'énergie incidente et les cibles. Le processus de la télédétection au moyen de systèmes imageurs comporte les sept étapes [17].

#### **1. Source d'énergie ou d'illumination**

À l'origine de tout processus de télédétection se trouve nécessairement une source d'énergie pour illuminer la cible.

#### **2. Rayonnement et atmosphère**

Durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet entre la cible et le capteur.

#### **3. Interaction avec la cible**

Une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci. La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface.

#### **4. Enregistrement de l'énergie par le capteur**

Une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée à distance (par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible) pour être enfin enregistrée.

#### **5. Transmission, réception et traitement**

L'énergie enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).

#### **6. Interprétation et analyse**

Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.

## 7. Application

La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extradite de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier.

### I-3-1- Le rayonnement électromagnétique

Premièrement, une source d'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique est nécessaire pour illuminer la cible, à moins que la cible ne produise elle-même cette énergie.

Selon la théorie des ondes, tout rayonnement électromagnétique possède des propriétés fondamentales et se comporte de façon prévisible. Le rayonnement électromagnétique est composé d'un champ électrique (E) et d'un champ magnétique (M). Le champ électrique varie en grandeur et est orienté de façon perpendiculaire à la direction de propagation du rayonnement. Le champ magnétique est orienté de façon perpendiculaire au champ électrique. Les deux champs se déplacent à la vitesse de la lumière [17].

### I-3-2- Le spectre électromagnétique

Le spectre électromagnétique s'étend des courtes longueurs d'onde (dont font partie les rayons gamma et les rayons X) aux grandes longueurs d'onde (micro-ondes et ondes radio) [17].

## I-4- Les logiciels utilisés dans le cadre de l'étude

### I-4-1- ARCGIS 10.0

ArcGIS est l'un des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) les plus utilisés, développé par la société américaine Esri (Environmental Systems Research Institute). Ce logiciel offre de nombreuses potentialités pour la manipulation, la gestion, l'analyse et l'édition des données spatiales. Différentes couches d'informations spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres. Le seul lien entre ces différentes couches est le lien spatial, c'est-à-dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées [77].

Les différentes couches d'informations sont descriptives d'un espace géographique terrestre déterminé. Elles peuvent correspondre à des documents cartographiques représentant des objets thématiques géographiquement identifiés (photographies aériennes, images satellitaires, etc.) ou issus des analyses et des procédures de spatialisation (carte topographique, carte de la hauteur des arbres dans un peuplement forestier, etc.)

Le logiciel ArcGIS comprend quatre applications principales :

- 1- ArcCatalog est un explorateur de données tabulaires et cartographiques offrant des outils de gestion et d'organisation analogues à ceux offerts par les systèmes d'exploitation. ArcCatalog permet aussi de visualiser les données tabulaires et des couches géographiques ainsi qu'une exploration des différents thèmes qui les constituent,
- 2- ArcMap est l'application fondamentale du logiciel ArcGIS. Elle contient une boîte à outils, organisés sous forme de modules indépendants (extensions), permettant de gérer, manipuler, analyser et éditer les différentes couches d'informations de la base de données,
- 3- ArcToolbox est une boîte à outils permettant d'effectuer des conversions et de transferts de format et aussi de projection,
- 4- ArcReader est une application gratuite permettant d'échanger des cartes publiées entre différents utilisateurs.

#### **I-4-2- Global Mapper**

Global Mapper est une application SIG abordable et facile à utiliser qui offre un accès à une variété inégalée de données spatiales et fournit juste le bon niveau de fonctionnalité pour satisfaire à la fois les professionnels des SIG expérimentés et les utilisateurs débutants. Aussi bien adapté comme un outil de gestion des données spatiales autonome et en tant que partie intégrante d'un SIG d'entreprise à l'échelle [56].

Global Mapper est plus qu'un utilitaire ; il offre une collection étonnamment vaste d'analyse et de traitement de données d'outils dans un package vraiment abordable. Fournir un soutien pour le format de fichier spatial pratiquement tous connus, ainsi que l'accès direct aux bases de données spatiales communes, cette application remarquable peut lire, écrire, et d'analyser l'ensemble des données actuelles [25].

Global Mapper est plus qu'un simple utilitaire ; il possède des fonctionnalités internes pour le calcul de distances et de superficies, l'ajustement de la luminosité et du contraste des images raster, des requêtes sur les altitudes, des calculs de points de vue aussi bien que des capacités avancées à la rectification d'images, la création de contours, l'analyse de bassin versant à partir de MNT, ainsi que la triangulation et le quadrillage de données ponctuelles 3D. Les tâches répétitives peuvent être accomplies en utilisant le langage de script intégré ou une fonctionnalité de traitement par lot [56].

### I-4-3- ENVI 4.5

ENVI (Environment for Visualizing Images) est un logiciel professionnel permettant la visualisation, le traitement, l'analyse, et la présentation de nombreux types d'images numériques, dont les images satellites.

En particulier, Envi permet de travailler sur différents types de données (multispectrale, hyperspectrale, radar), d'intégrer des données de type matriciel (image) et vectoriel et est compatible avec des données de type SIG. Il permet entre autres de contraster les images, de les corriger géométriquement, de les classifier, de réaliser des analyses à l'aide de données d'élévations, etc [23].

### I-4-4- Logiciel IPCC

Le Logiciel IPCC met en application les lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre.

Cependant il peut également être utilisé pour l'élaboration de rapports conformes aux Lignes Directrices de 1996. Ceci permet aux pays de se servir des améliorations dans les méthodologies et les valeurs par défaut depuis 1996 [31].

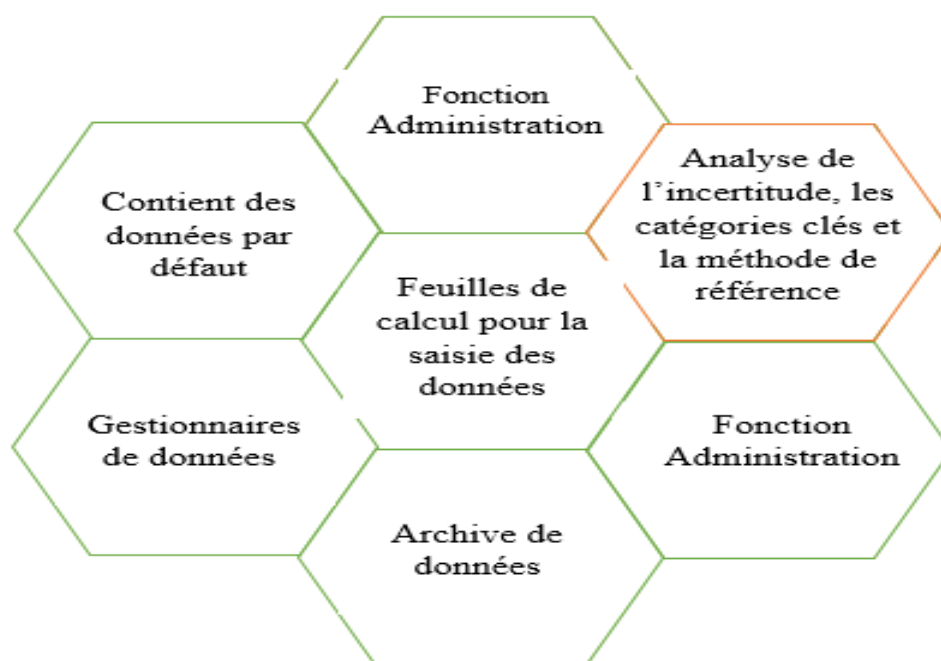
Ce logiciel repose sur la base de données, il est autonome c'est à dire ne dépend pas de versions spécifiques de MS Windows ou de MS Office et il ne nécessite pas d'accès internet ou de matériel onéreux.

Les Lignes Directrices du GIEC comprennent :

- 1- les methods,
- 2- les données par défaut,
- 3- l'orientation sur les bonnes pratiques,
- 4- les instructions relatives aux rapports.

La figure suivante montre les fonctions du logiciel.

Figure n° 13 : les fonctions du logiciel IPCC [31].



#### I-4-4-1- Les avantages de l'IPCC

- Oriente les utilisateurs sur le calcul des émissions/éliminations conformément à la version révisée de 1996 des lignes directrices du GIEC et de ses Guides des bonnes pratiques.
- Permet d'éviter d'éventuelles erreurs/incohérences.
- Aide à économiser des ressources (notamment le temps).
- Facilite l'élaboration de rapports adressés à la CCNUCC, ainsi que la gestion des données.
- Offre un système uniforme de gestion des données, ce qui sera utile pour l'analyse de tendances.

#### I-4-5- Google Earth

Google Earth est un logiciel, propriété de la société Google, permettant une visualisation de la Terre avec un assemblage de photographies aériennes ou satellitaires [2].

Ce logiciel permet à tout utilisateur de survoler la terre et de zoomer sur un lieu de son choix. Il peut aussi être un outil promotionnel original. Il attire surtout par sa capacité à conjuguer différentes applications Web comme Google Maps et Wikipédia [12].

Google Earth permet de :

- localiser notre zone d'étude sur la terre,
- créer des repères, des cartes et les partager,
- ajouter une image,
- combiner une information géographique à d'autres types d'informations grâce aux applications comme Wikipédia et YouTube [12].

#### **I-4-6- Microsoft Office 2010**

Microsoft Office 2010, d'abord désigné sous le nom d'Office 14, est une version bureautique de Microsoft. Cette dernière regroupe 5 logiciels de base : Word, Excel, Outlook, PowerPoint et OneNote. Ce sont incontestablement les meilleurs logiciels de leur catégorie. Les maîtriser est désormais une nécessité quand on souhaite réaliser toutes sortes de tâches associées à l'utilisation d'un ordinateur [13].

Il existe différentes versions d'Office (de la version basique à la version complète) ; ces dernières offrent un plus ou moins grand nombre de logiciels [13].

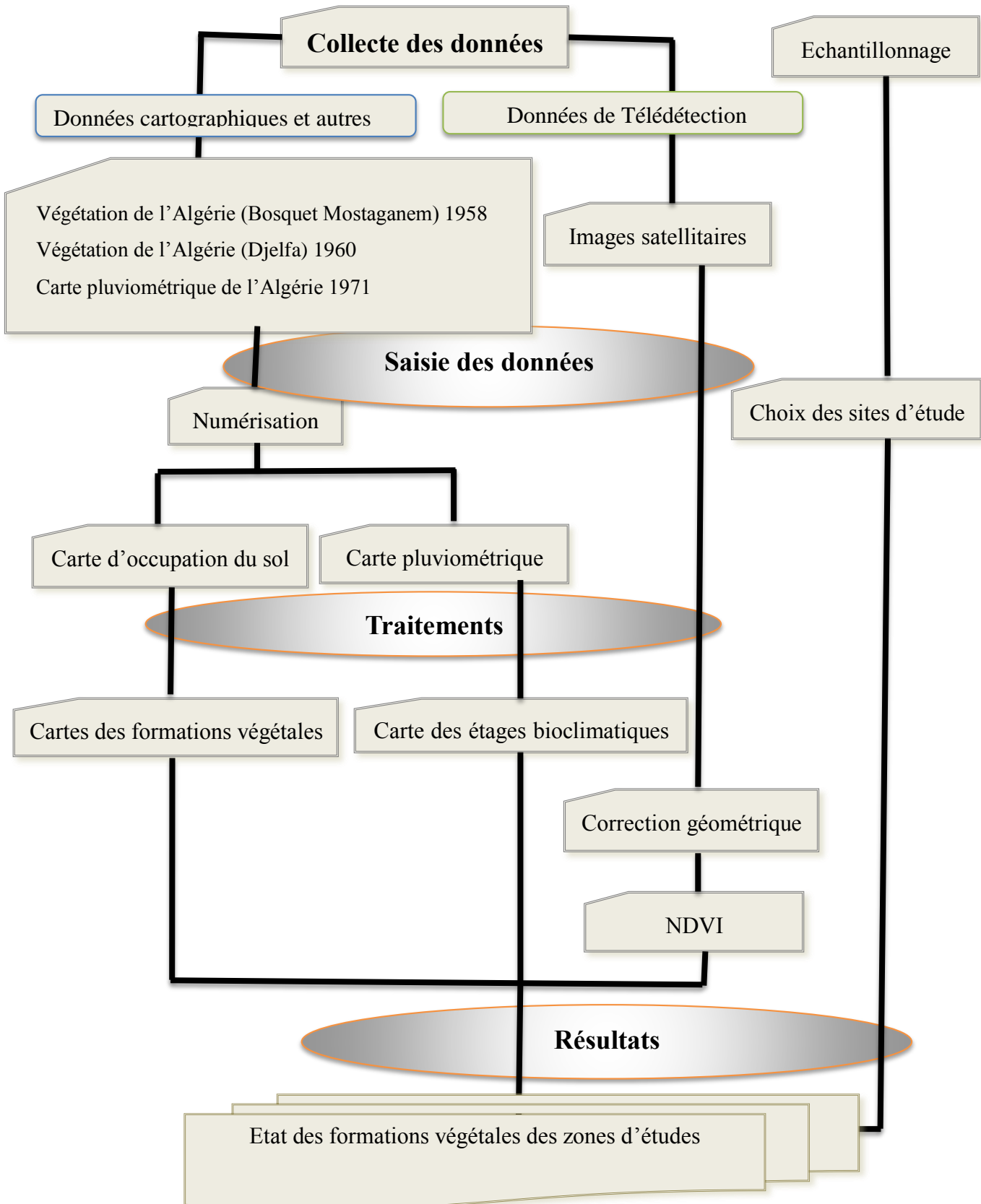
Dans notre travail on a utilisé les logiciels suivants :

- Word : éditeur de texte, domine outrageusement le marché, produit phare de la suite.
- Excel : est une application conçue pour créer et utiliser des tableaux, appelés feuilles de calcul. Il permet de créer des graphiques, de réaliser des calculs complexes, des tableaux croisés dynamiques...
- PowerPoint : outil de création de présentation [85].

## **II-Méthodes d'approche**

Le dispositif expérimental, a pour objectif de valider ou non une ou plusieurs hypothèses de départ. Il teste, sur le même site, deux ou plusieurs modalités d'un facteur étudié

Figure n° 14 : Organigramme méthodologique



## II-1- Méthodes d'échantillonnage

### II-1-1-La zone d'étude et de recherche

Notre partie expérimentale entame trois échelles :

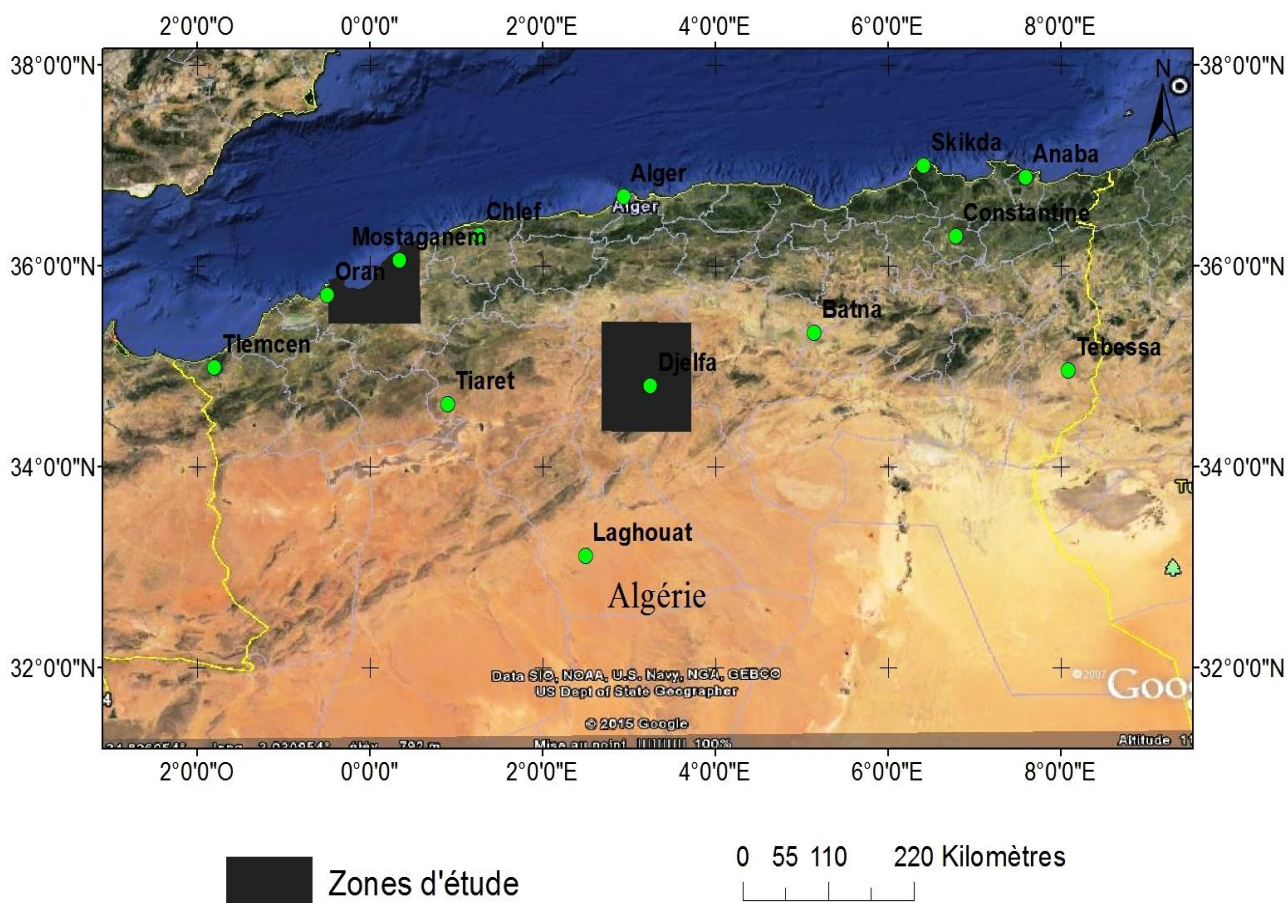
- bassin méditerranéen ;
- bassin méditerranéen Sud (Algérie, Tunisie et Maroc) ;
- bassin méditerranéen Nord d'Algérie.

### II-1-2-Le choix des sites d'études

Notre étude s'est réalisée dans deux sites différents :

- zone Ouest d'Algérie Nord occidentale,
- zone Sud d'Algérie centrale (figure n° 15).

Figure n° 15 : Carte des zones d'étude



**II-1-2-1-La situation géographique**

Les sites d'études	Coordonnées géographique	
	Longitude	Laltitude
Zone Ouest d'Algérie Nord occidentale	X1: -0,48° X2: 0,57°	Y1 : 35,38° Y2 : 35,38°
Zone Sud d'Algérie centrale	X1: 2,65° X2: 3,74°	Y1 : 34,32° Y2 : 35,46°

**II-1-2-2-Le choix des stations et des sites teste**

Pour le choix des stations d'étude et pour chaque site teste on a obtenu des transects longitudinaux et latitudinaux à l'intérieur des stations pour que notre dispositif soit représentatif car l'étage bioclimatique et les conditions climatiques varient avec la position géographique.

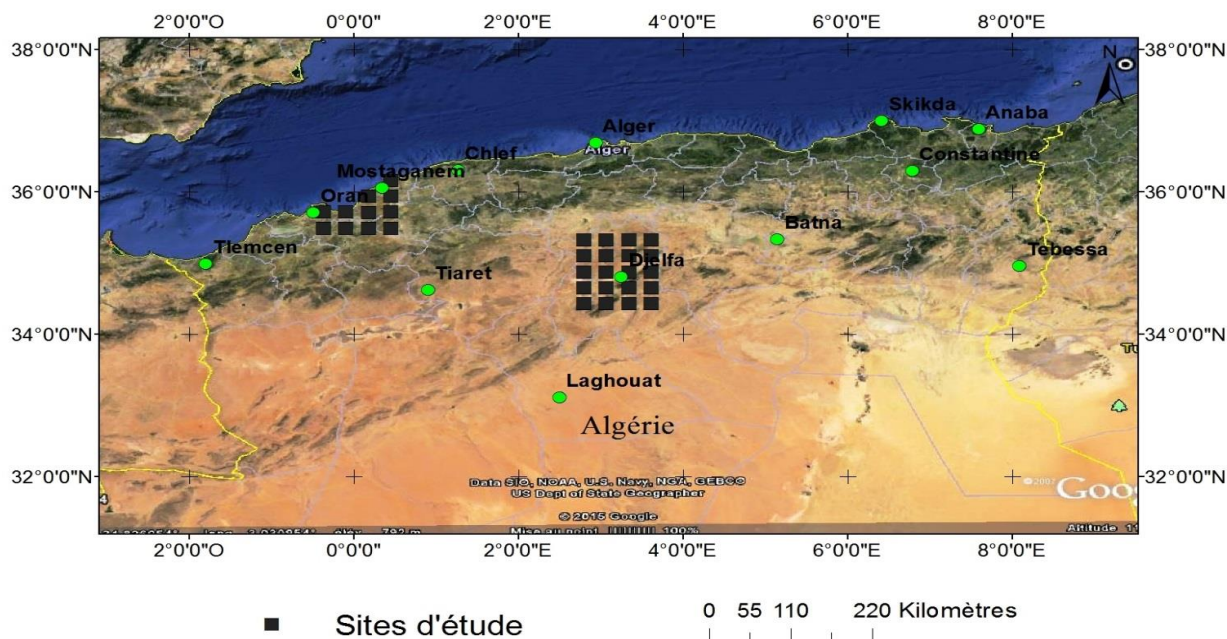
L'analyse consiste à déterminer des groupements végétaux par sites en fonction des étages bioclimatiques.

Au total 31 stations d'étude d'un km<sup>2</sup> sont étudiées Pour délimiter ces stations, nous avons utilisé le logiciel ArcGis 10.0.

L'étude des sites testes permette l'analyse et le traitement des données écologiques (végétation et sol) éventuellement microclimat.

Une carte très simplifiée a été établie à partir d'une image satellitaire, elle nous a permis de visualiser nous sites d'étude (figure n° 16).

Figure n° 16 : Carte des sites d'étude



Une fois les stations délimitées, nous avons procédé conformément à déterminer les étages bioclimatiques pour chaque groupement végétal.

### II-1-3-Recueil des données

Cette étude a été réalisée à partir de fichiers de données cartographiques ; cartes de végétation (Bosquet Mostaganem (1958) et Djelfa (1960)), cartes de la pluviométrie du Nord d'Algérie et des données climatologiques.

On a adopté des relevés des températures moyennes , de la pluviométrie et de l'humidité de l'air de deux périodes, l'ancienne 1913-1947 [76] et récente 1981-2009 [59] pour la zone de mostaganem et 1978- 2007[58] pour la zone de Djelfa afin d'étudier le climat des zones d'étude et faire une synthèse climatique , ainsi que des images satellitaires qui nous permettent le suivi spatio-temporel de la couverture végétale du sol dans nous zones d'études(tableau n° 3).

**Tableau n°3 : Les cartes utilisées**

Echelle	Cartes	Année	Source
1/200 000	Végétation de l'Algérie (Bosquet Mostaganem)	1958	Gouvernement général de l'Algérie
1/200 000	Végétation de l'Algérie (Djelfa)	1960	Gouvernement général de l'Algérie
1/500 000	Carte pluviométrique de l'Algérie	1971	Université d'Alger

## II-2-Analyse spatio-temporelle de l'indice de végétation NDVI

Afin de caractériser l'évolution de la végétation dans les sites d'étude, on a fait appel au traitement d'images satellitaires pour calculer l'indice de végétation (NDVI).

On a utilisé les images satellite dans le but d'extraire des paramètres dans le suivi et la cartographie du couvert végétal, qui est l'indice de végétation normalisé.

On a utilisé l'imagerie satellitaire LANDSAT pour la cartographie de l'occupation du sol, elle offre un niveau de détail suffisant pour repérer les caractéristiques de la couverture terrestre tout en offrant une couverture plus ou moins complète des zones d'étude, généralement à plusieurs dates.

LANDSAT est un programme américain de télédétection spatiale (géré par NASA et USGS) a été le premier programme civil d'observation de la Terre par satellite. Il a commencé avec le lancement du premier LANDSAT en 1972 et se poursuit encore actuellement avec LANDSAT 8 LDCM opérationnel à partir d'Avril-Mai 2013[88].

Les images acquises pour cette étude proviennent de la plateforme de LANDSAT 8 est équipé de 2 capteurs : "Operational Land Imager" (OLI) et "Thermal InfraRedSensor" (TIRS) et offre des résolutions de 15m, 30m et 100 m (panchromatique, multispectrale et thermique) [88].

L'indice de végétation est un indicateur de l'activité chlorophyllienne de la végétation. Il varie entre 0 pour surface désertique et 1 pour les forêts denses. Sa formule est donnée par l'expression suivante comme étant la différence entre les réflectances dans le visible et le proche infrarouge.

$$\text{NDVI} = \frac{R(\text{NIR}) - R(\text{VIS})}{R(\text{NIR}) + R(\text{VIS})}$$

Où, est la réflectance dans le canal visible 0.6  $\mu\text{m}$  et est la réflectance dans le canal proche infrarouge 0.8  $\mu\text{m}$ . Généralement, cette expression utilisant la réflectance à limite de l'atmosphère est corrigée des effets d'absorption et de transmission atmosphérique. De nombreuses études ont montré la variation de l'indice de végétation avec l'angle zénithal solaire et satellitaire [79].

### II-3-Réalisation de l'inventaire de taux de carbone

L'Algérie a signé en 1993 la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) élaborée au Sommet de la Terre à Rio en 1992 et a adhéré au Protocole de Kyoto en 2004 marquant ainsi sa volonté de participer à l'effort international de lutte contre les changements climatiques et ses répercussions potentielles, particulièrement sur le système climatique, les écosystèmes naturels et la durabilité du développement économique.

Cet inventaire a consisté à évaluer les émissions et absorptions anthropiques de GES sur l'ensemble du territoire de l'Algérie en utilisant le logiciel IPCC.

L'inventaire couvre l'ensemble des sources d'émission situées sur tout le territoire national, les gaz à effet de serre direct qui sont : le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), le méthane ( $\text{CH}_4$ ), le protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ), les deux familles de substances halogénées -hydrofluorocarbures (HFC) et perfluorocarbures (PFC) ainsi que l'hexafluorure de soufre ( $\text{SF}_6$ ). A ces substances s'ajoutent les quatre gaz à effet de serre indirect qui sont : le  $\text{SO}_2$ , les  $\text{NO}_x$ , les COVNM et le CO.

---

## Chapitre III : Résultats et discussion

### I- Le climat de l'Algérie

L'Algérie s'étend du Nord (Mer Méditerranée), les montagnes de l'Atlas Tellien et de l'Atlas Saharien divisent ce territoire en bandes orientées Est-Ouest : celle de la côte et de l'Atlas Tellien, celle des Hautes Plaines et de l'Atlas Saharien et celle du Sahara. Chacune de ces bandes a un climat particulier, caractérisé surtout par la température et la pluviométrie.

Les trois principaux étages bioclimatiques qui constituent le climat méditerranéen de l'Algérie se distinguent par (figure n°17) :

1. un étage bioclimatique subhumide sur la côte et dans l'Atlas Tellien : les gelées sont très rares en hiver et les étés sont chauds. Il est caractérisé par des hivers pluvieux et doux, et des étés chauds et secs, tempéré par des brises de mer ; les précipitations diminuent d'Est en Ouest (1000 - 400 mm) et du Nord au Sud (1000 à moins de 130 mm) (figure n°18). Dans cette zone, les températures moyennes minimales et maximales respectivement oscillent entre 5 et 15°C en hiver et de 25 à 35°C en été, les vents humides venant de la mer apportent des pluies, de l'automne au printemps. Ces pluies sont plus abondantes à l'Est qu'à l'Ouest. Cette diversité pluviométrique a impliqué un découpage du Nord du pays en trois régions qui sont l'Est, le Centre et l'Ouest ;
2. un étage bioclimatique aride sur les Hautes Plaines et dans l'Atlas Saharien, avec des précipitations faibles et irrégulières, de 200 à 400 mm par an ; les pluies sont rares, surtout sur les Hautes Plaines d'Oranie ; la température descend souvent au-dessous de zéro degré en hiver. En été elle dépasse 30 et voire même 40 degrés ;
3. un étage bioclimatique désertique (hyper-aride) dans la région saharienne : les pluies sont exceptionnelles et très irrégulières provoquant souvent des inondations. Les précipitations sont inférieures à 150 mm par an.

Figure n°17 : Carte des étages bioclimatiques de l'Algérie

**Les étages bioclimatiques de l'Algérie 1913 - 1963**

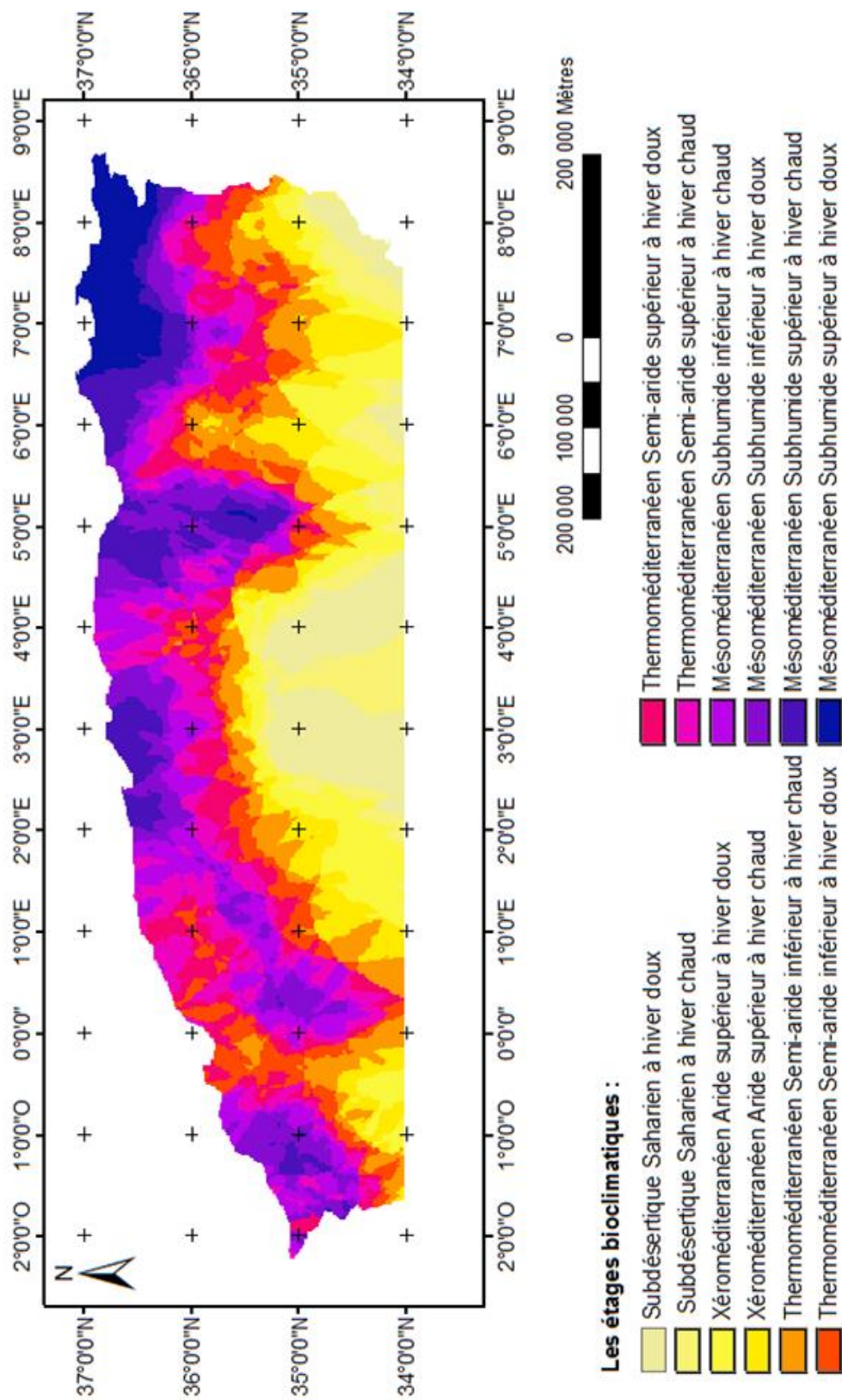
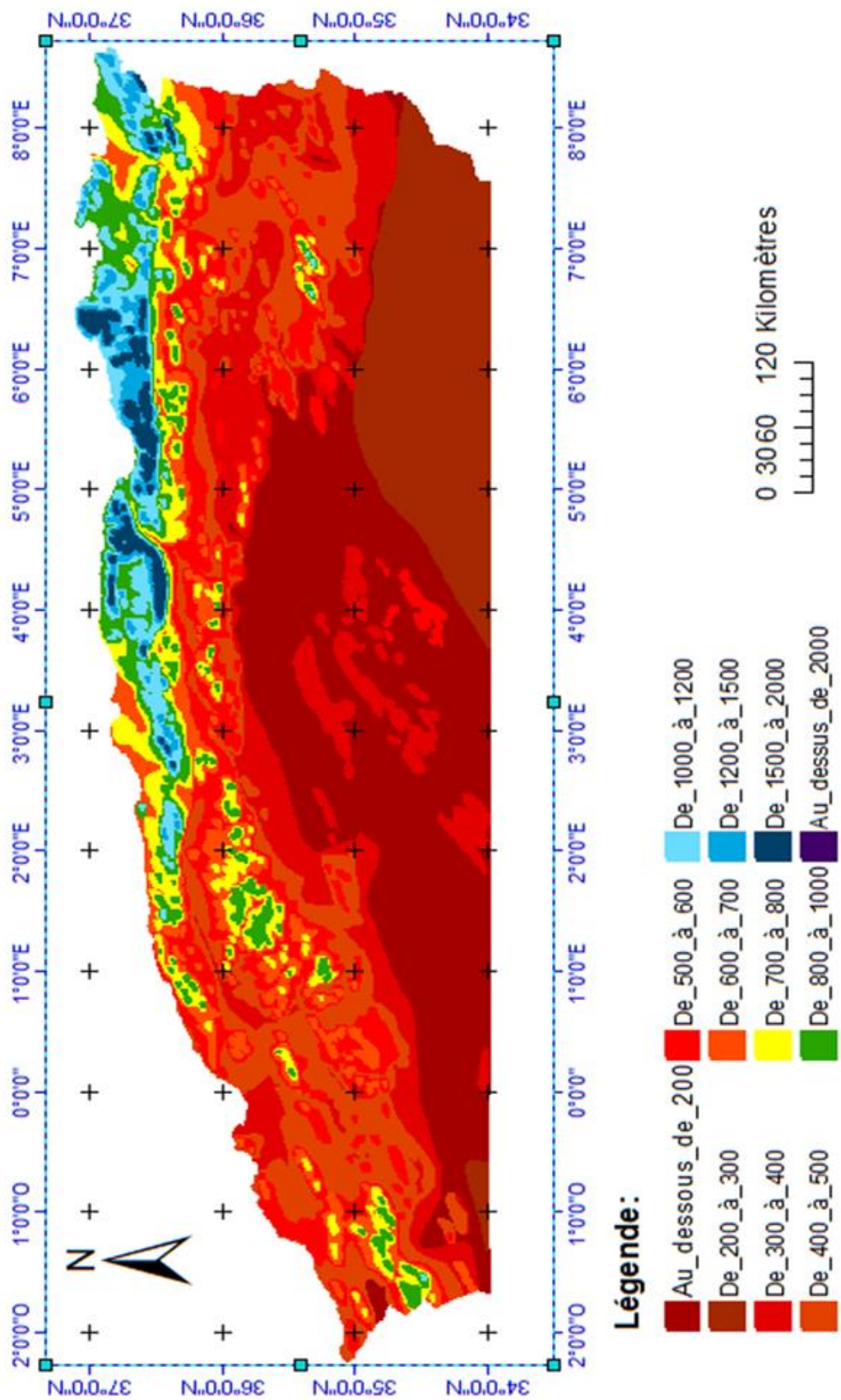


Figure n°18 : Carte pluviométrique de l'Algérie

### Carte pluviométrique de l'Algérie (1913-1963)



## II- Le climat des zones d'étude

La région de Mostaganem correspond à une des zones du nord algérien, qui se caractérise par un climat semi- aride, compte tenu de la proximité de la mer. L'influence de la mer étant limitée à une bande étroite bordant le littoral. L'influence de la mer se traduit par des températures hivernales plus élevées et des températures estivales plus faibles.

Par contre Le climat de la wilaya de Djelfa est nettement semi-aride à aride avec une nuance continental, en effet le climat est semi-aride dans les zones située dans les partie du Centre et du Nord de la wilaya et aride dans toute la zone située dans la partie Sud de la wilaya [24].

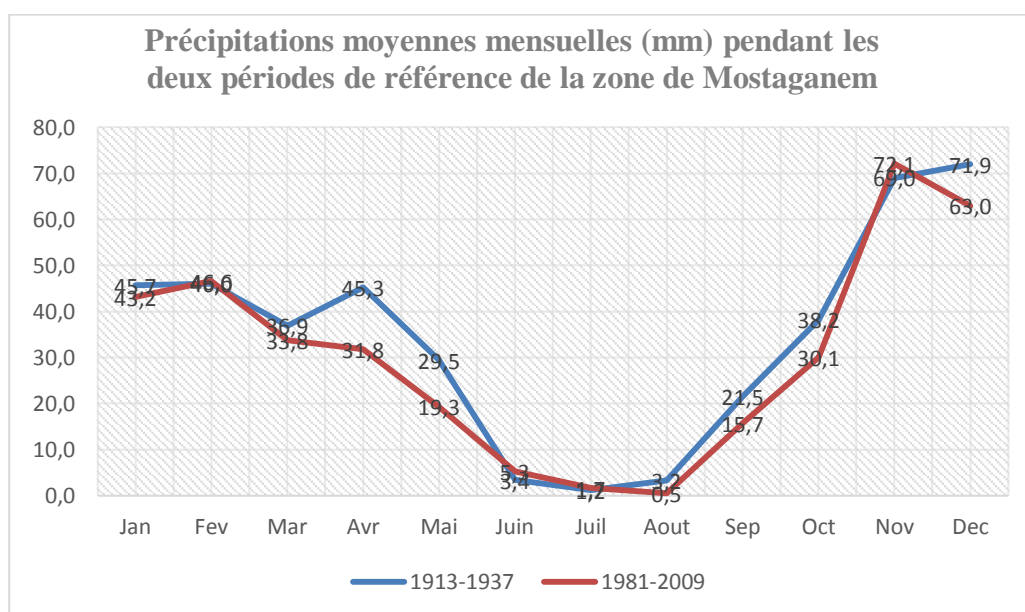
### II-1- Précipitations

#### II-1-1- Répartition mensuelle moyenne des précipitations

La fréquence, l'intensité et même la régularité des pluies ont une grande influence sur les sols, la nutrition des faunes et des flores et par conséquent sur l'intensité des feux.

Les figures suivantes désignent les quantités de pluies moyennes mensuelles pendant les deux périodes de référence de chaque zone d'étude.

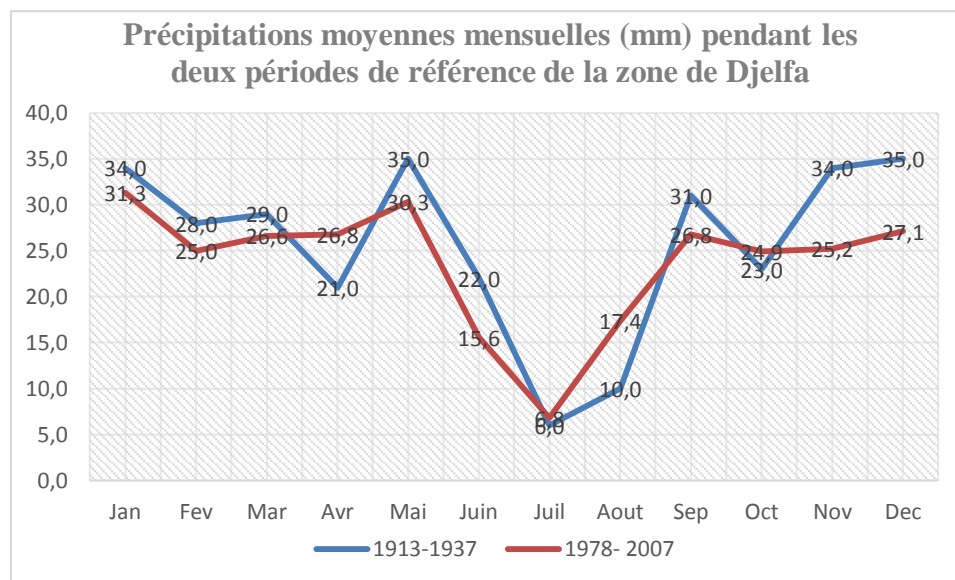
**Figure n°19 : Précipitations moyennes mensuelles (mm) pendant les deux périodes de référence de la zone de Mostaganem [76] et [59]**



La lecture de cette figure montre que les valeurs moyennes des hauteurs des pluies varient globalement d'un mois à l'autre. Le régime pluvial est plus marqué dans les mois de

Janvier, Février, Mars, Avril, Mai, Septembre, Octobre, Novembre et décembre (> 10 mm). Les autres mois affichent des tranches pluviométriques moins accusées surtout entre Juin et Août (< 10 mm).

**Figure n°20 : Précipitations moyennes mensuelles (mm) pendant les deux périodes de référence de la zone de Djelfa [76] et [58]**



Dans la zone de Djelfa et pour les deux périodes on a remarqué que les précipitations les plus importantes sont enregistrées au cours de la période allant de Septembre à Mai dont les mois les plus pluvieux sont Décembre et Janvier avec un moyen de 35 mm. Alors que la période sèche apparaît à partir du mois de Juillet avec un minimum de 6 mm.

### II-1-2- Régime saisonnier des précipitations

La distribution saisonnière des pluies pour les deux périodes de référence est mentionnée dans le tableau n°4.

**Tableau n° 4 : Régime saisonnier des précipitations au niveau des zones d'étude**

Zones d'étude	Période /Saison	Eté	Automne	Hiver	Printemps	Type de Régime
		(J-Jt-A)	(S-O-N)	(D-J-F)	(M-A-M)	
Mostaganem	1913-1937	8	129	164	112	HAPE
	1981-2009	7,5	118	153	85	HAPE
Djelfa	1913-1937	38	88	97	85	HAPE
	1978-2007	39,8	76,9	83,4	83,7	PHAE

A travers ce tableau, nous remarquons qu'en zone littorale à ambiance maritime le régime saisonnier des précipitations est de type HAPE pour les deux périodes. Ceci explique que le maximum des pluies est concentré en hiver et en automne et avec un degré moindre en printemps.

Par contre dans le centre le régime saisonnier des précipitations est de type HAPE pour l'ancienne période et de type PHAE pour la récente période.

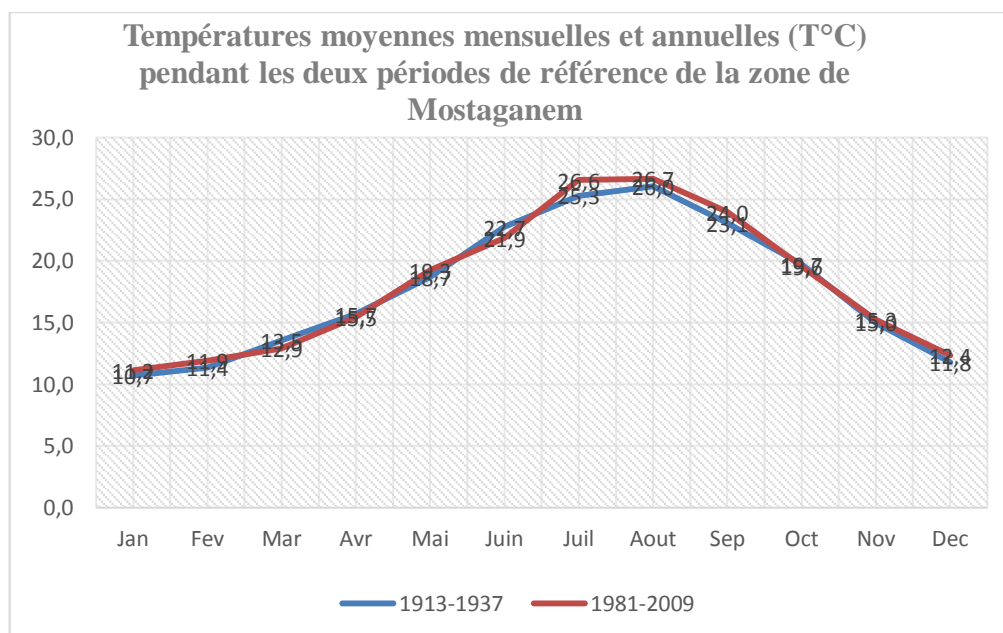
## II-2- Température

Elle constitue aussi un facteur écologique important dans le déroulement des diverses fonctions physiologiques des végétaux. Elle joue par ailleurs, un rôle majeur dans la détermination du climat local à partir de ses valeurs moyennes annuelles « T ».

### II-2-1- Températures moyennes mensuelles et annuelles (T°C)

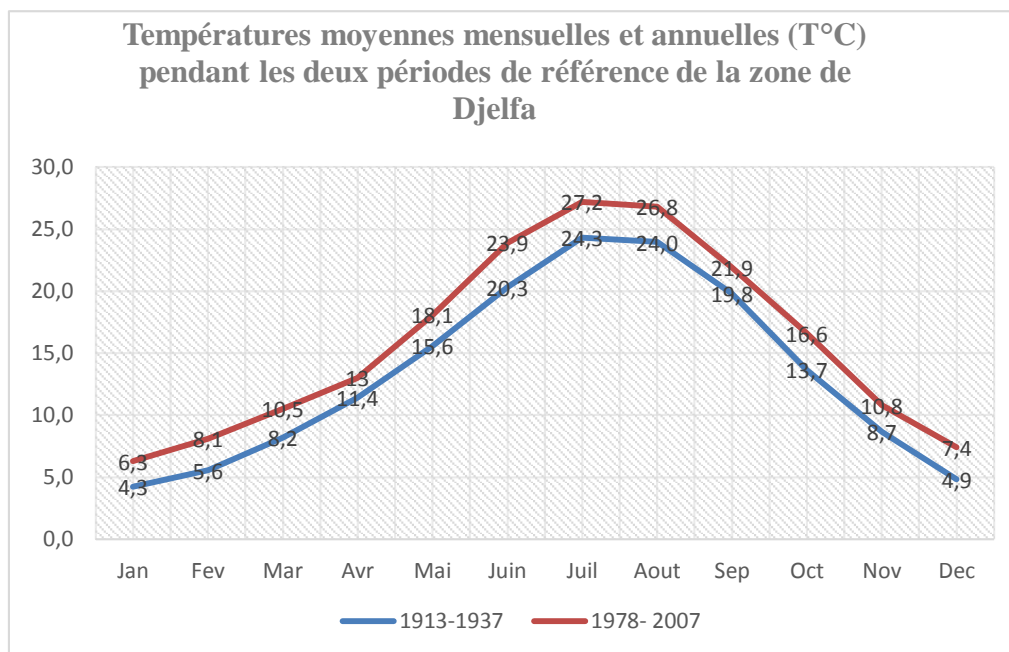
Les figures 21 et 22 illustre la répartition des températures moyennes mensuelles et annuelles des zones d'étude pendant les deux périodes de référence.

**Figure n° 21 : Variations mensuelles et annuelles des températures durant les deux périodes de référence de la zone de Mostaganem [76] et [59]**



D'après cette figure, nous constatons que les températures moyennes mensuelles et annuelles dans cette région sont de l'ordre de 18°C. Le mois de janvier reste en général le mois le plus froid et le mois d'août le plus chaud.

**Figure n° 22 : Variations mensuelles et annuelles des températures durant les deux périodes de référence de la zone de Djelfa [76] et [58]**



D'après cette figure on constate qu'il y a une différence de température très apparente entre les deux périodes de référence et spécialement pour le mois de Juillet (2,9 °C).

### II-3-Synthèse climatique

Les pluviométries dans ces zones sont irrégulières le long de l'année, abondantes en automne et en hiver et parfois en printemps et presque nulles en été. La disposition topographique des zones, ses altitudes et ses localisations géographiques agissent sur la végétation. La synthèse des données climatiques nous permet de caractériser au mieux le climat afin de se rendre compte sur la répartition et le comportement des différentes associations d'animaux (entomologique). Cette synthèse fait appel à plusieurs indices, dont nous retenons plus particulièrement.

#### II-3-1- Amplitude thermique extrême moyenne ou indice de continentalité

L'amplitude thermique extrême ( $M - m$ ) est un paramètre climatique très important car il permet de définir à partir d'un indice appelé « indice de continentalité » si la zone est sous

influence maritime ou continentale. Il permet aussi, à travers ses valeurs, de caractériser le mode de croissance de certaines essences, telle que le chêne liège (tableau n° 5).

**Tableau n° 5 : Indice de continentalité de la zone d'étude.**

Zones d'étude	Périodes	M (°C)	m (°C)	M-m (°C)	Type de climat
Mostaganem	1913-1937	32,2	6	26,3	Littoral
	1981-2009	28,4	9	19,4	
Djelfa	1913-1937	33,5	-0,8	34,3	Steppe
	1978- 2007	35,6	1	34,6	

En se référant à la classification de DEBRACH (1953), il apparaît clair que la zone de Mostaganem jouit depuis longtemps d'un climat typiquement littoral bénéficiant de la brise maritime durant l'année qui adoucit les températures de l'hiver (m) et de l'été (M) et que dans la zone de Djelfa l'amplitude thermique est très élevée par rapport à celle de la première zone, son climat est steppique.

### II-3-2- Indice de sécheresse estivale

Cet indice s'exprime par le rapport entre les valeurs moyennes des précipitations estivales P (mm) et la moyenne des maxima du mois le plus chaud M (°C), selon la formule d'EMBERGER (1942) :

$$I_e = P.E / M$$

Les résultats du calcul de cet indice pour les deux périodes de référence sont indiqués dans le tableau n° 6.

**Tableau n° 6 : Indice de sécheresse estivale de la zone d'étude.**

Zones d'étude	Périodes	Pluviosité estivale P.E	Valeur de M	« Ie »
		(mm)	(°C)	
Mostaganem	1913-1937	7,90	32,20	0,24
	1981-2009	7,50	28,40	0,26
Djelfa	1913-1937	38,00	33,50	1,13
	1978- 2007	39,50	35,60	1,11

Il ressort de ce tableau que l'indice de sécheresse est très inférieur à 5. Ceci indique l'appartenance de ces zones au climat méditerranéen selon la grille de DAGET (1977), mais à sécheresse bien avancée.

### II-3-3- Etage de végétation

Sur la base des travaux d'EMBERGER (1930), RIVASMARTINET (1982) QUEZEL (1976-2000) M'HIRIT (1993) sur la répartition de la végétation méditerranéenne en fonction des gradients thermique ( $m^{\circ}C$ ) et altitudinal (m), nous avons pu déterminer l'étage de végétation des zones d'étude (tableau n° 7).

**Tableau n° 7 : Etage de végétation des zones d'étude.**

Zones d'étude	Périodes	T ( $^{\circ}C$ )	m ( $^{\circ}C$ )	Altitude moyenne (m)	Etages de végétation
Mostaganem	1913-1937	17,8	6	<600	Thermo-méditerranéen
	1981-2009	18,1	9		
Djelfa	1913-1937	13,4	6,5	400 - 1600	Xéro-méditerranéen
	1978- 2007	15,9	9,2		

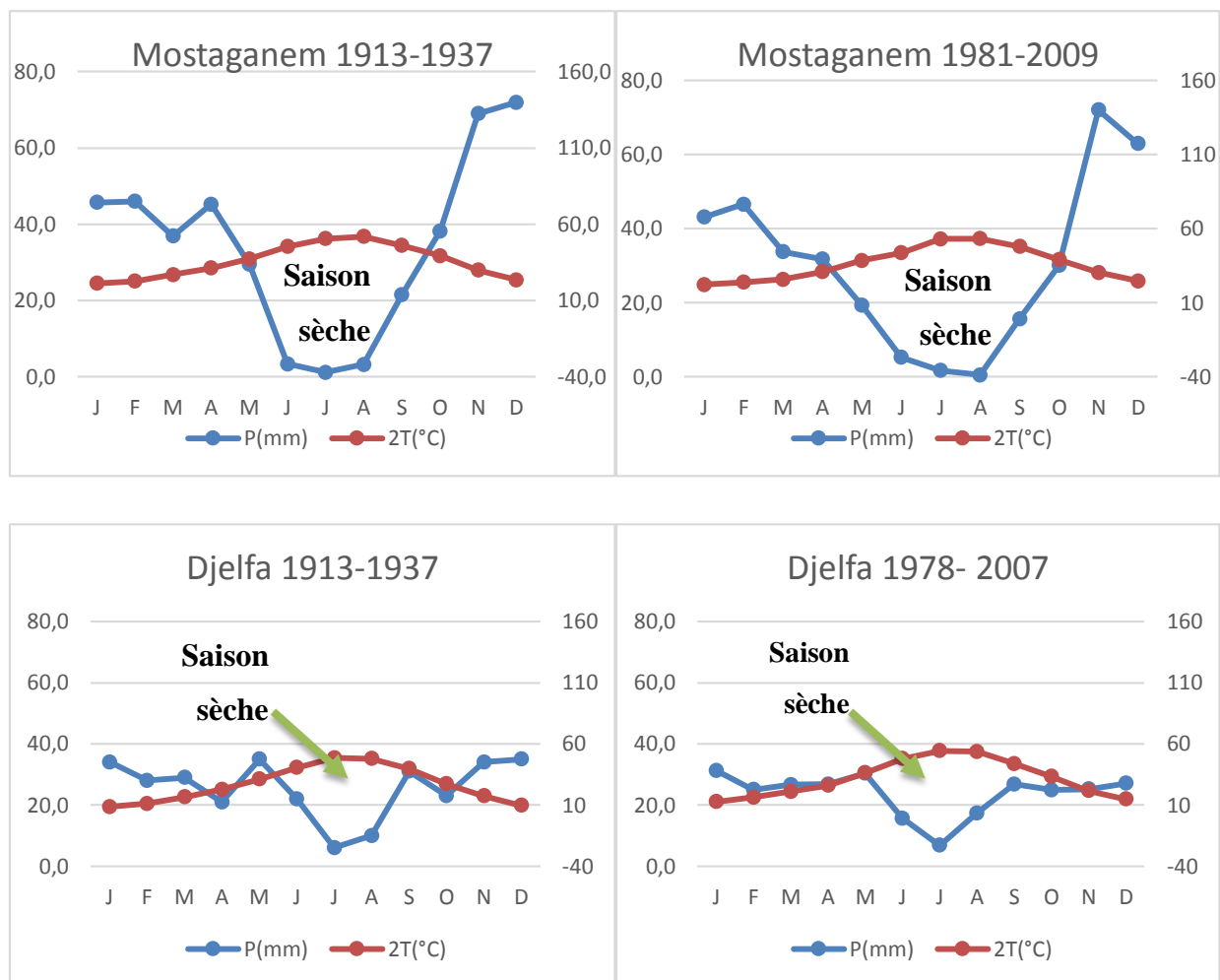
D'après ce tableau, nous remarquons que la zone de Mostaganem intègre l'étage de végétation thermo-méditerranéen et celle de Djelfa l'étage xéro-méditerranéen.

### II-3-4- Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

GAUSSEN et BAGNOULS (1953) ont défini comme mois sec, celui où la somme des précipitations moyennes exprimées en (mm) est inférieure au double de la température moyenne de ce mois ( $P < 2T$ ).

Ils proposent un modèle de représentation graphique où ils juxtaposent les températures et les pluviométries. La sécheresse se manifeste alors lorsque la courbe des précipitations rencontre celle des températures et passe en dessous de cette dernière (figure n°23).

**Figure n°23 : Diagrammes ombrothermiques de BAGNOULS et GAUSSEN (1953) des zones d'étude.**



Selon cette figure, nous constatons que pour les deux périodes de la zone de Mostaganem, la séquence sèche est bien accusée. Elle s'étend sur 06 mois pour la première période, à partir du mois de mai jusqu'au mois d'octobre et sur 07 mois pour la deuxième période, à partir du mois d'avril jusqu'au mois d'octobre.

Idem pour la zone Djelfa, la séquence sèche est aussi bien accusée. Elle s'étend sur 05 mois pour la première période, à partir du mois de mai jusqu'au mois d'octobre et sur 07 mois pour la deuxième période, à partir du mois d'avril jusqu'au mois de novembre.

### II-3-5- Quotient pluviothermique et climagramme d'EMBERGER

La classification la plus souvent utilisée pour caractériser le climat méditerranéen d'une localité a été élaborée par EMBERGER (1939). Celle-ci utilise un diagramme bidimensionnel dans lequel la valeur du « Quotient Pluviothermique » est reportée en ordonnée et la moyenne du mois le plus froid de l'année en abscisse.

La représentation de ce diagramme a permis de localiser nos zones d'étude et l'étage bioclimatique selon le Q2 calculé à partir de la formule suivante :

$$Q2 = 2000 P / M2 - m2$$

P : moyenne des précipitations annuelles (mm)

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud ( $^{\circ}K = ^{\circ}C + 273,2$ )

m : moyenne des minima du mois le plus froid ( $^{\circ}K = ^{\circ}C + 273,2$ )

**Tableau n°8 : Valeur du « Q2 » et étages bioclimatiques.**

Zones d'étude	Périodes	P (mm)	M ( $^{\circ}C$ )	m ( $^{\circ}C$ )	Q2	Étage bioclimatique	Sous étage	Variant thermique
Mostaganem	1913-1937	412	32,2	6	53,8	Semi-aride	Supérieur	Hiver tempéré
	1981-2009	363	28,4	9	64,1	Semi-aride	Supérieur	Hiver chaud
Djelfa	1913-1937	308	33,5	-0,8	31	Semi-aride	Inferieur	Hiver froid
	1978- 2007	283,8	35,6	1	28,1	Aride	Supérieur	Hiver frais

Il ressort que la zone de Mostaganem se distingue par une ambiance bioclimatique semi-aride supérieure à hiver chaud caractérisée par une hauteur pluviométrique variant entre 350 et 450 mm et une température minimale de  $6^{\circ}C$ . En effet, sous l'influence de la sécheresse, cette zone est passée de l'étage bioclimatique semi-aride supérieur à hiver tempéré en première période à l'étage semi-aride supérieur à hiver chaud en deuxième période.

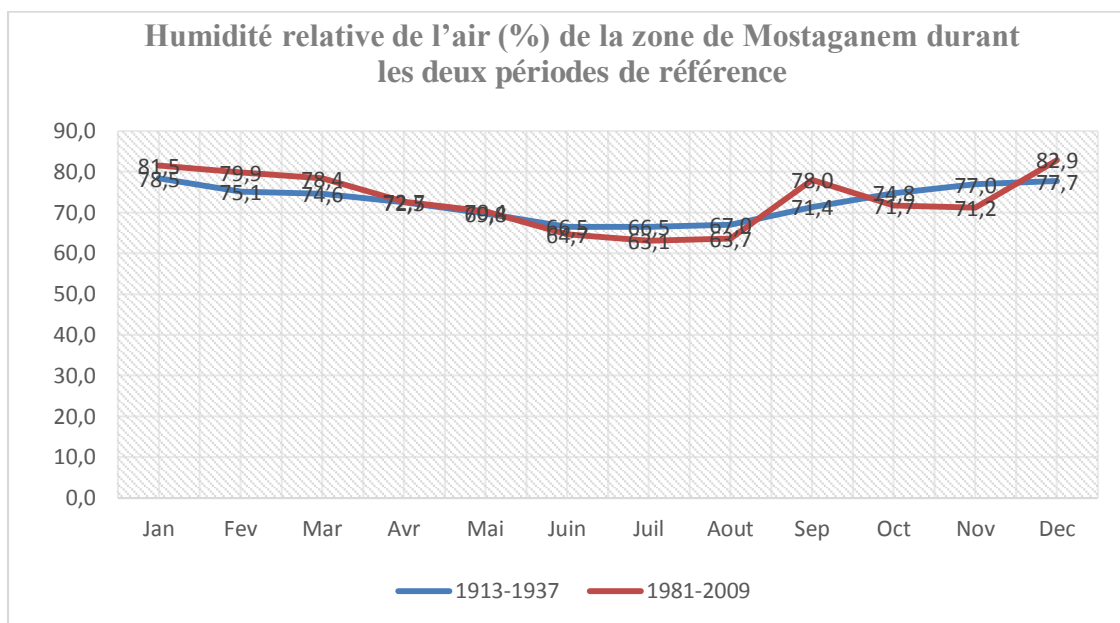
La deuxième zone d'étude (Djelfa) est passée de l'étage bioclimatique semi-aride inférieur à hiver froid en première période à l'étage aride supérieur à hiver frais en deuxième période.

### II-4-Humidité de l'air

C'est le pourcentage d'eau dans l'air par rapport à la quantité maximale que pourrait contenir l'atmosphère dans les mêmes conditions de température et de pression.

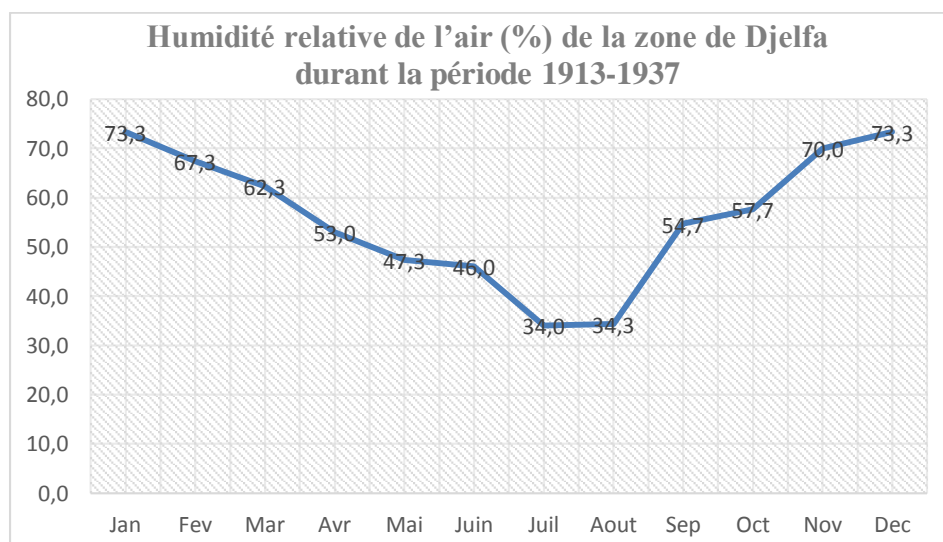
En effet, l'humidité relative est assez importante, ce qui diminue l'effet des fortes températures et le pouvoir évaporant de l'air.

**Figure n°24 : Humidité relative de l'air de la zone de Mostaganem durant les deux périodes de référence [76] et [59]**



L'humidité relative de l'air de la zone de Mostaganem est importante durant toute l'année. Les moyennes annuelles des stations sont supérieures à 50%, c'est sur les hauteurs qu'on relève les fortes humidités. Ce paramètre a un rôle appréciable car il permet d'atténuer la sécheresse.

**Figure n°25 : Humidité relative de l'air de la zone de Djelfa durant la période 1913-1937 [76]**



L'humidité relative de l'air de la zone de Djelfa est faible par rapport celle de la zone de Mostaganem, la valeur la forte ne se dépasse pas 73% et la valeur la plus faible est 34% avec une moyenne annuelle de 56%.

### **III- Le changement climatique par les indicateurs biologiques de la végétation : les écosystèmes**

#### **La végétation de la zone d'étude de l'ancienne période**

Les conditions de milieu qui reglent les possibilités forestières et agricoles sont révélées d'une façon très souple par la végétation spontanée. Le botaniste reconnaît un certain nombre de types appelés étages ou séries de végétation.

Dans chaque étage ou série la description comporte quatre paragraphes :

- conditions de milieu,
- végétation spontanée,
- origine de la végétation,
- utilisation par l'homme (figure n° 26 et 27).

Figure n° 26 : Principales formations végétales de la zone écologique de Mostaganem (1958)

Principales formations végétales de la région de Mostaganem 1958

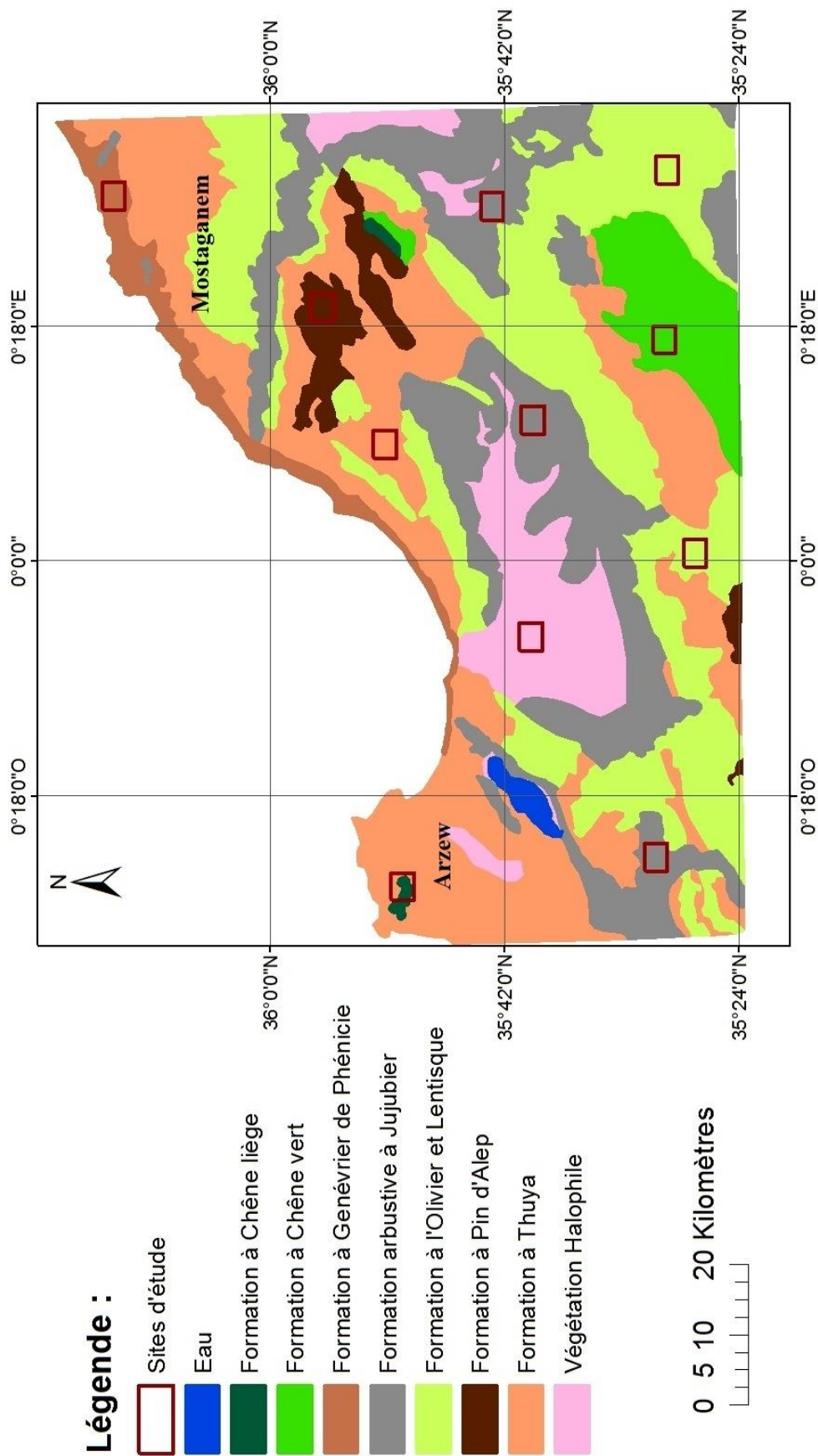
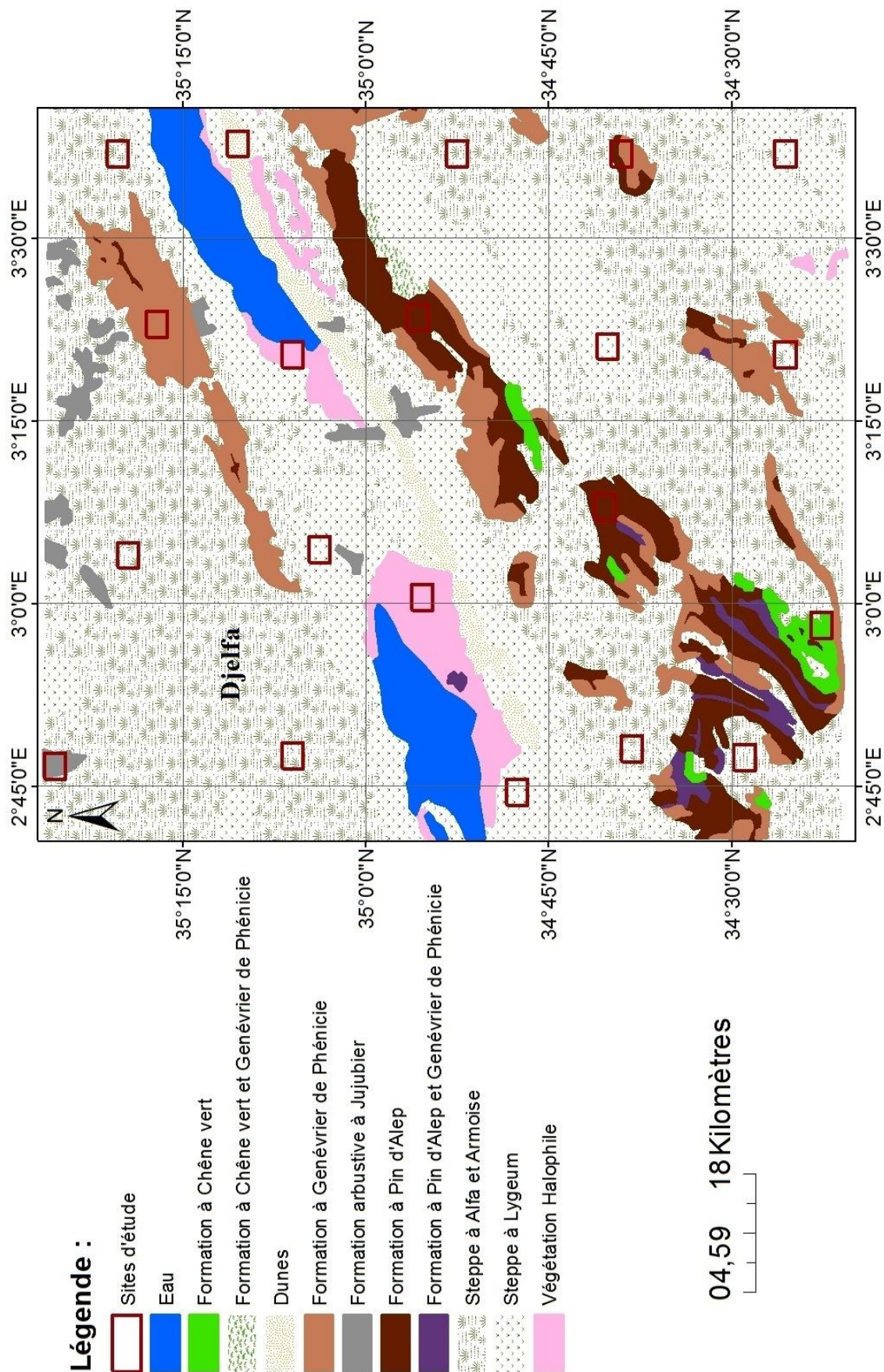


Figure n° 27 : Principales formations végétales de la zone écologique de Djelfa (1960)

Principales formations végétales de la région de Djelfa 1960



### III-1- Caractérisation de la végétation dans les zones écologique de l'Algérie

#### Classification des unités écologiques

##### III-1-1- Végétation méditerranéenne

###### III-1-1-1- Série du Jujubier (*Zizyphus lotus*)

Cette formation vient sur les sols profonds souvent argileux.

La strate frutescente est représentée par le Jujubier auquel s'associent parfois de rares *Withania frutescens*. Le degré de couverture est faible. La Bryone (*Bryonia dioica*), un Liseron (*Convolvulus althaeoides*) et une Asperge (*Asparagus horridus*) y représentent les lianes. La strate herbacée abondante au printemps comprend notamment : des Bromes, *Stipa tortilis*, *Microlonchus salmanticus*, *Melica magnoli*, *Scolymus hispanicus*...

La série du Jujubier est très résistante au froid sec et à la sécheresse. Elle se substitue automatiquement aux autres formations dès que l'état hygrométrique est très bas ; elle se contente de basses précipitations (300 à 400 mm). Dans la mesure où le sel n'est pas très abondant, la formation s'accommode des terres salées ; liée aux sols profonds et supportant le sel, on la trouve donc dans les plaines alluviales et dans les sols légers à pentes douces.

###### III-1-1-2- Série du Génévrier de phénicie (*Juniperus phoenicea*)

Cette série vient ici sous une forme essentiellement littorale mais parfois sublittorale et se localise sur les sables dunaires plus ou moins mobiles où la concurrence avec le *Thuya* est plus ou moins restreinte.

La strate arborescente est assez dense et atteint 4-6 m. de hauteur avec *Juniperus phoenicea* et *Juniperus macrocarpa* dominants associés au *Thuya*. La strate frutescente est assez développée et comprend : le Calycotome (*Calycotome intermedia*), le Retam (*Retama bovei*), le Lentisque (*Pistacia lentiscus*), le Palmier nain (*Chamaerops humilis*), *Lavandula dentata*, etc. Les lianes sont représentées par : la Clématite (*Clematis cirrhosa*) et l'*Ephedra fragilis*. La strate herbacée varie avec l'éclairage.

La série du Génévrier de phénicie existe en Afrique du nord sous un faciès littoral dans les dunes maritimes et sous un faciès continental. Elle est éliminée du Tell (exception faite des dunes) par des formations moins xérophi les.

La dégradation du domaine du Génévrier de phénicie est, en général, encore plus marquée que celle du Thuya. L'homme et les troupeaux le marquent beaucoup plus de leur empreinte.

### **III-1-1-3- Série du Thuya (*Tetraclinis articulata*)**

La série du Thuya correspond à des sols secs plus ou moins rocaillieux, surtout calcaires, parfois siliceux, et à climat nettement sec et chaud, doux en hiver.

Elle est répandue en Afrique du nord, surtout dans la partie sèche à hiver peu rigoureux. Le *Tetraclinis* est une gymnosperme d'origine ténigmatique qu'on a voulu apparenter au genre austral *Callitris* mais a tort.

Le Thuya est un arbre utile pour son bois d'oeuvre et de chauffage d'excellente qualité, par la gomme sandaraque, par les loupes, de grande valeur en ébénisterie, qui se forment sur les souches, après incendie.

### **III-1-1-4- Série de l'olivier et du lentisque (*Olea europea* et *Pistacia lentiscus*)**

Cette série xérophi le et thermophile n'évite que les sols salés et est à peu près la seule qui puisse vivre sur les sols très argileux.

La formation de l'Oléo-lentisque est celle qui est le plus fréquemment et le plus profondément modifiée par l'homme. Ceci tient à ce qu'elle occupe les terrains argileux qui constituent généralement d'excellentes terres à culture. En terrain plat, la série doit céder le pas aux cultures. En terrain décliné, on doit la respecter et l'exploiter en taillis. La plantation de Caroubiers et la transformation en olivettes par la greffe pourraient donner de bons résultats.

### **III-1-1-5- Série du Pin d'Alep (*Pinus halepensis*)**

Cette série est éminemment thermophile et xérophi le. Dans les régions où comme dans la notre, les précipitations sont faibles, elle s'installe sur les sols les plus variés.

Elle couvre la plus grande partie de la Crête principale de l'Atlas saharien, sur tous terrains, entre les altitudes de 1 000 et 1 500 m où elle est favorisée par le climat plus humide et moins chaud

Le Pin d'Alep éésiste admirablement à l'incendie : celui-ci amène, en effet, une régénération très puissante par semis. Fructifiant de bonne heure (6 ou 7 ans), seuls des incendies très rapprochés peuvent le détruire ; par contre la résistance au pâturage est bien moins prononcée.

En montagne, le Pin d'Alep doit être respecté et même introduit. Les expériences locales sont probantes. Il peut donner sa résine et son bois d'oeuvre.

#### **III-1-1-6- Série du Chêne Vert (*Quercus ilex*)**

Cette série est assez indifférente à la nature du sol. Nous avons remarqué une prédilection marquée des peuplements vigoureux pour les grès et les sables.

A la base des reliefs, sur terrain peu incliné, le Chêne-vert devient dominant : partie sud du Senalba (région de 15 km au nord de Djelfa) où il est favorisé par de meilleures conditions édaphiques. Dans ces parties, le sol est plus humide et nettement plus humifère. La flore ne présente pas de différences par rapport de la série typique du Pin d'Alep.

La série du Cêhnevert se développe avec son maximum de vigueur dans les montagnes à précipitations supérieures à 600 mm. L'Oleo Lentisque lui dispute les terrains argileux et l'élimine des montagnes basses.

#### **III-1-1-7- Série du Chêne Liège (*Quercus suber*)**

Le Chêne-Liège est une essence calcifuge qui demande d'assez fortes précipitations et un état hygrométrique élevé.

La série du Chêne Liège étant donné ses exigences écologiques, forme une bande dans le Tell nord-africain plus répandue dans l'est de l'Algérie où les précipitations sont nettement plus fortes que dans l'Ouest.

La formation du Chêne Liège quand elle n'est pas protégée par l'exploitation domaniale ou privée, est profondément modifiée par l'homme et les animaux, la dégradation va jusqu'à la déforestation totale.

La dégradation des arbres est particulièrement nocive, car le Chêne Liège est ici à la limite de ses possibilités. Les Pins d'Alep réussissent en reboisement. Les Eucalyptus introduits paraissent réussir aussi.

L'isolement du chêne liège dans les ambiances les plus sèches ou son mélange avec du pin maritime dans une ambiance plus sèche dominée par la dynamique des feux des forêts. Ces différentes classes permettent d'orienter les stratégies et les actions relativement à ce facteur qui limite ou aggrave la vulnérabilité de la subéraie face au changement climatique.

Dans le but de caractériser leurs vulnérabilités vis-à-vis du changement climatique on a choisi d'exprimer cette vulnérabilité par l'importance relative de la période à bilan hydrique nul dans le sol. Pour chaque série forestière ce facteur a été estimé après avoir déterminé le type de sol et ses réserves hydriques utiles en fonction de sa profondeur et de sa texture. Les consommations relatives potentielles ont été estimées équivalentes au pouvoir évaporant de l'air estimé par l'évapotranspiration potentielle mensuelle et variant en fonction de la température et la vitesse du vent.

Le programme de développement durable de la subéraie Algérienne serait d'un grand intérêt de tenir compte de nos résultats pour asseoir les adaptations nécessaires afin d'en tenir compte du changement climatique. Les adaptations nécessaires avec plus de détails au niveau des zones d'étude. L'ajout dans la stratégie d'une composante transversale d'adaptation au changement climatique est une nécessité au vu des dégâts probables que pourrait subir cet écosystème particulier sous le forçage du climat futur et vu la valeur économique totale de cette subéraie.

### **III-1-2- Zone maritime et sols salés**

#### **III-1-2-1- Série des steppes salées ou halipèdes**

Cette série occupe les cuvettes argileuses riches en sels minéraux (Chlorure et sulfate de sodium, chlorure et sulfate de magnésium).

Deux sous-séries ont pu être distinguées :

- la sous-série typique sans strate arborescente : Steppe à Salicornes et Suaeda. Elle représente la végétation de la plus grande partie des terres salées.
- la sous-série à Tamarix africana à strate arborescente.

Dans de nombreux points de l'Afrique du Nord, la végétation est sous la dépendance à peu près exclusive de la richesse du sol en sels et plus particulièrement en chlorures. Plus ou moins humides en hiver, ces endroits sont secs en été. Constituant souvent des dépressions fermées, on y note en fonction de la consistance physique du sol et de son degré de salure.

### III-1-2-1-1- Végétation au bord des eaux

La strate arborescente représentée par le Peuplier blanc (*Populus alba*) vient en de rares points.

Elle demande une nappe phréatique peu profonde et non salée. La strate frutescente comprend les Tamarix, un Saule (*Salixpedicellata*), le Laurier rose (*Nerium oleander*) dont l'importance physiologique est prépondérante, l'Aubépine (*Crataegus monogyna*). La strate herbacée est celle des lieux humides.

### III-1-2-2- Série des steppes salées ou halipèdes

Cette série forme une frange qui s'étend sur des dizaines de kilomètres, mais sur une largeur très variable, autour de chacun des chotts ; en outre, des steppes salées d'une étendue plus faible et des groupements salés de faible surface existent sporadiquement en divers points.

La nature chimique du salant est complexe, et le chlorure de sodium n'en représente que 50 % en moyenne ; il y a une forte proportion de sulfates et le sodium est accompagné d'une quantité notable de calcium et de magnésium.

### III-1-2-3- Végétation des steppes non salées

#### III-1-2-3-1-Steppe à Lygeum (*Lygeum spartum*)

Elle occupe essentiellement les alluvions quaternaires qui constituent le remplissage des bassins entre les chaînes et forment à la base de ces chaînes des sortes de glacis à pente faible et régulière. Le sol de cette formation est nettement sableux, plus de 60 % de sable en moyenne.

Cette steppe est très hétérogène et il est nécessaire de distinguer, à côté de la forme principale, plusieurs faciès :

- faciès à *Atriplex halimus* à *Salsola vermiculata*,
- faciès à *Thymelea microphylloea*,
- faciès à *Peganum harmala*,
- faciès à *Noaea spinosissima* et *Helianthemum rubellum*,
- faciès à *Artemisia campestris*.

### III-1-2-3-2- Steppe à Alfa (*Stipa tenacissima*)

Elle occupe les parties du terrain qui sont en relief, abandonnant les dépressions à la steppe à Armoise, du fait que l'Alfa ne peut s'accommoder d'un sol restant humide. Cette formation prédomine surtout sur les calcaires créacés, le sol est fortement caillouteux ou granuleux, mais la terre fine est à prédominance limoneuse. Les conditions climatiques de la région favorisent particulièrement l'Alfa dont l'optimum de développement correspond à une pluviosité annuelle de 200 à 400 mm et à 6-8 mois secs.

### III-1-2-3-3- Steppe à Armoise Blanche (*Artemisia herba alba*)

Elle occupe les dépressions, à condition qu'elles ne soient pas salées.

L'Armoise forme une steppe basse de 2 ou 3 dm, assez lâche. La végétation compagne est défavorisée à la fois par la sécheresse générale du pays et par le surpâturage, de sorte que le sol est dépourvu de plantes autres que l'Armoise pendant la plus grande partie de l'année ; il porte après les pluies quelques herbes annuelles.

Les écosystèmes et les espèces de steppe ont donné corps à des stratégies très efficaces pour faire face aux contraintes environnementales comme les pénuries d'eau, les températures chaudes et froides extrêmes, et des périodes de sécheresse d'une longueur imprévisible avec des précipitations sporadiques. Ils sont très résistants aux conditions météorologiques et aux perturbations extrêmes, et jouent un rôle important dans le contexte du changement climatique. C'est ainsi que les espèces de graminées de la steppe, comme l'alfa (*Stipa tenacissima*), modifient positivement la disponibilité de ressources comme la lumière, les nutriments et l'eau dans les steppes semi-arides, grâce à l'amélioration du microclimat, l'amélioration de la structure et de la profondeur du sol, l'augmentation de l'humidité du sol et l'infiltration de l'eau et le stockage du carbone et de l'azote [44]. L'alfa crée des conditions favorables du sol et du microclimat, et constitue des « îles de ressources » ou « îles de fertilité » facilitant l'établissement d'arbustes et d'espèces arborescentes dans l'écotone steppe-forêt des régions semi-arides, un aspect très important lors de la planification des actions de restauration des steppes dégradées.

Une bonne stratégie d'adaptation permettra la prévention de la conversion des terres steppiques, la restauration de la végétation de steppe, la valorisation du rôle écologique des graminées et arbustes de steppe, et la croissance des plants d'arbres pour restaurer des terres forestières.

#### **IV- Caractérisation de la végétation forestière et para forestière par les techniques de la télédétection**

La question qui mérite bien d'être posée : est-ce que le déficit pluviométrique enregistré est responsable de la dégradation de l'état du sol, ou au contraire c'est la dégradation causée par l'action humaine à une grande échelle, telle que l'exploitation intensive des forêts qui est responsable de ces changements climatiques.

Le suivi spatio-temporel de la couverture végétale du sol dans nos zones d'études à l'aide d'imageries satellitaires est d'une importance capitale pour un inventaire de ce couvert végétal, ainsi que sa variation spatiale et interannuelle.

Les conséquences qui en découlent à travers cette variation peuvent être irréversibles sur l'état de dégradation du sol

On a utilisé les images satellite dans le but d'en extraire un paramètre clé dans le suivi et la cartographie du couvert végétal, qui est l'indice de végétation normalisé. Nous avons étudié statistiquement sur 2 périodes différentes.

On a sélectionné trois périodes de l'année à savoir, la période d'hiver représentée par le mois de Janvier, qui est la saison pluvieuse, la saison printanière par le mois de Mars, la saison estivale par le mois d'Aout.

L'idée à travers ceci est de faire ressortir les principaux types du couvert végétal et sa climatologie, c'est-à-dire en regardant sur toute l'année, ce qui est permanent et ce qui est uniquement saisonnier.

Donc on observe qu'il y a une dégradation du couvert végétal et que le couvert végétal a nettement reculé plus au nord

L'analyse des images montre bien que toutes les zones d'études ont pratiquement des configurations spatiales semblables au couvert végétal avec cependant une sous estimation de l'activité végétale bien localisée du mois de Mai juste après la fin de saison des pluies où l'on observe un fort développement de la couverture végétale ( figure 28 - 35).

Figure n° 28 : Image NDVI de Mostaganem.

### Image NDVI de Mostaganem le 08-01-2015

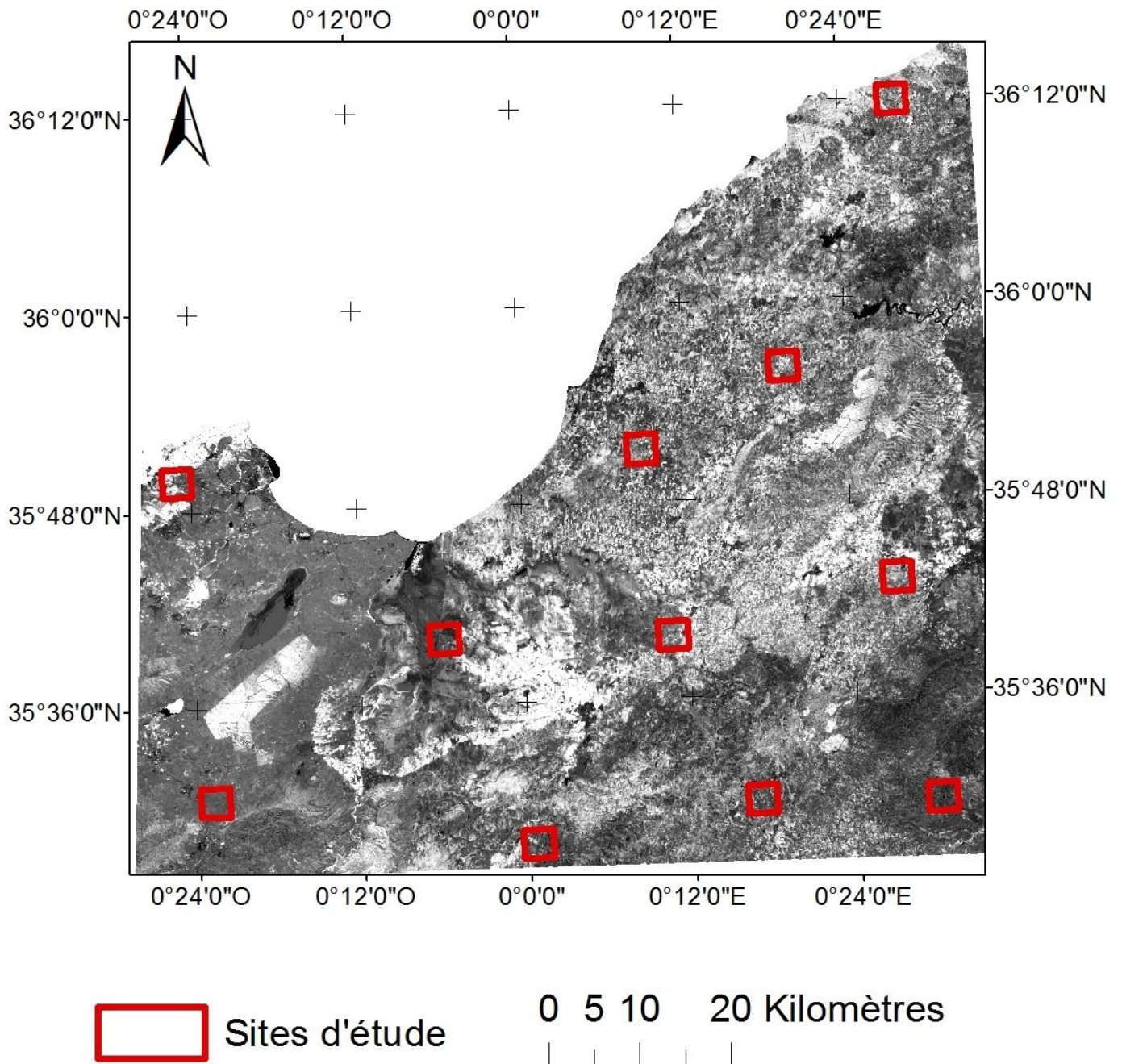


Figure n° 29 : Image NDVI de Mostaganem.

### Image NDVI de Mostaganem le 29-03-2015

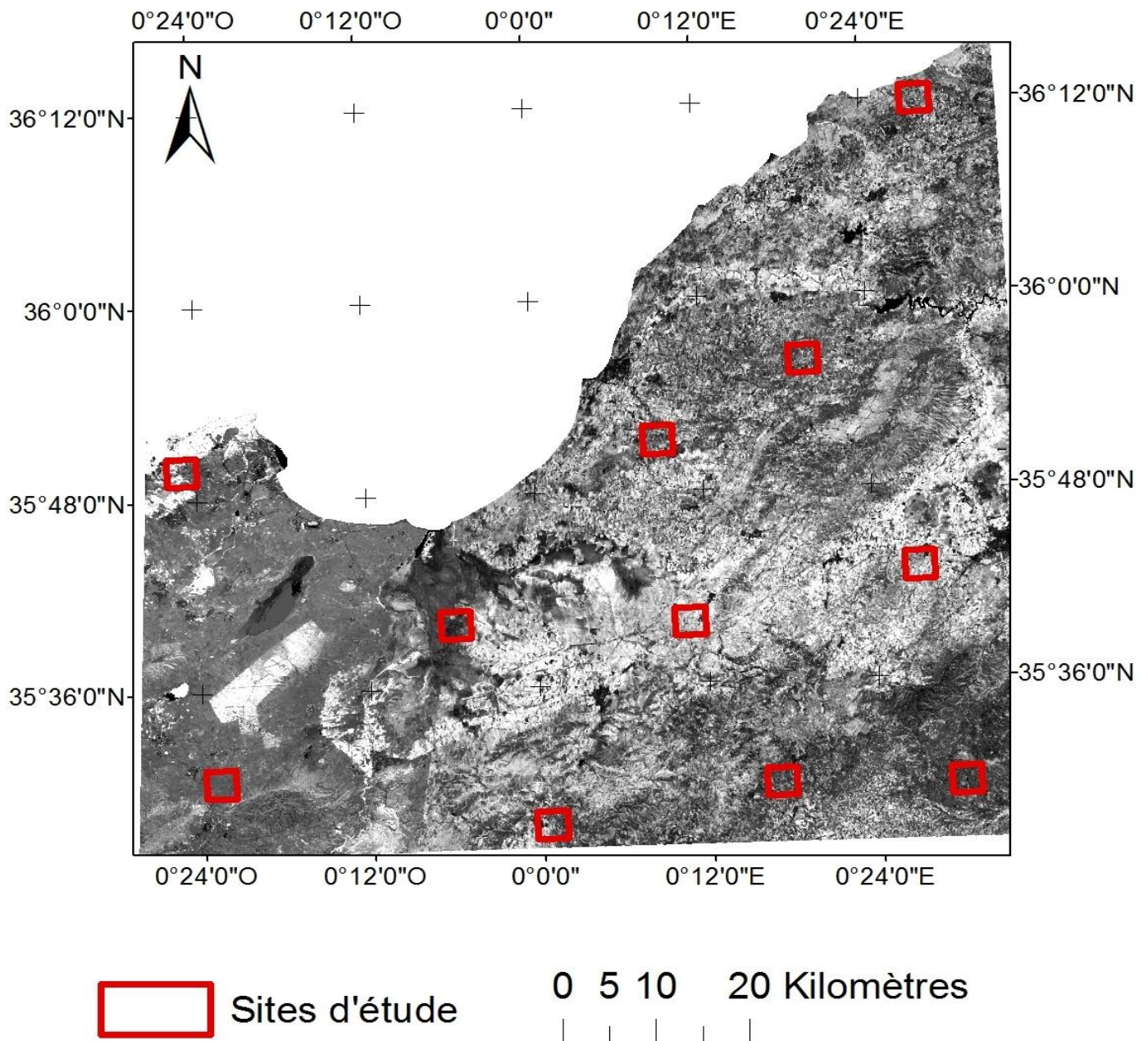


Figure n° 30 : Image NDVI de Mostaganem.

### Image NDVI de Mostaganem le 12-08-2015

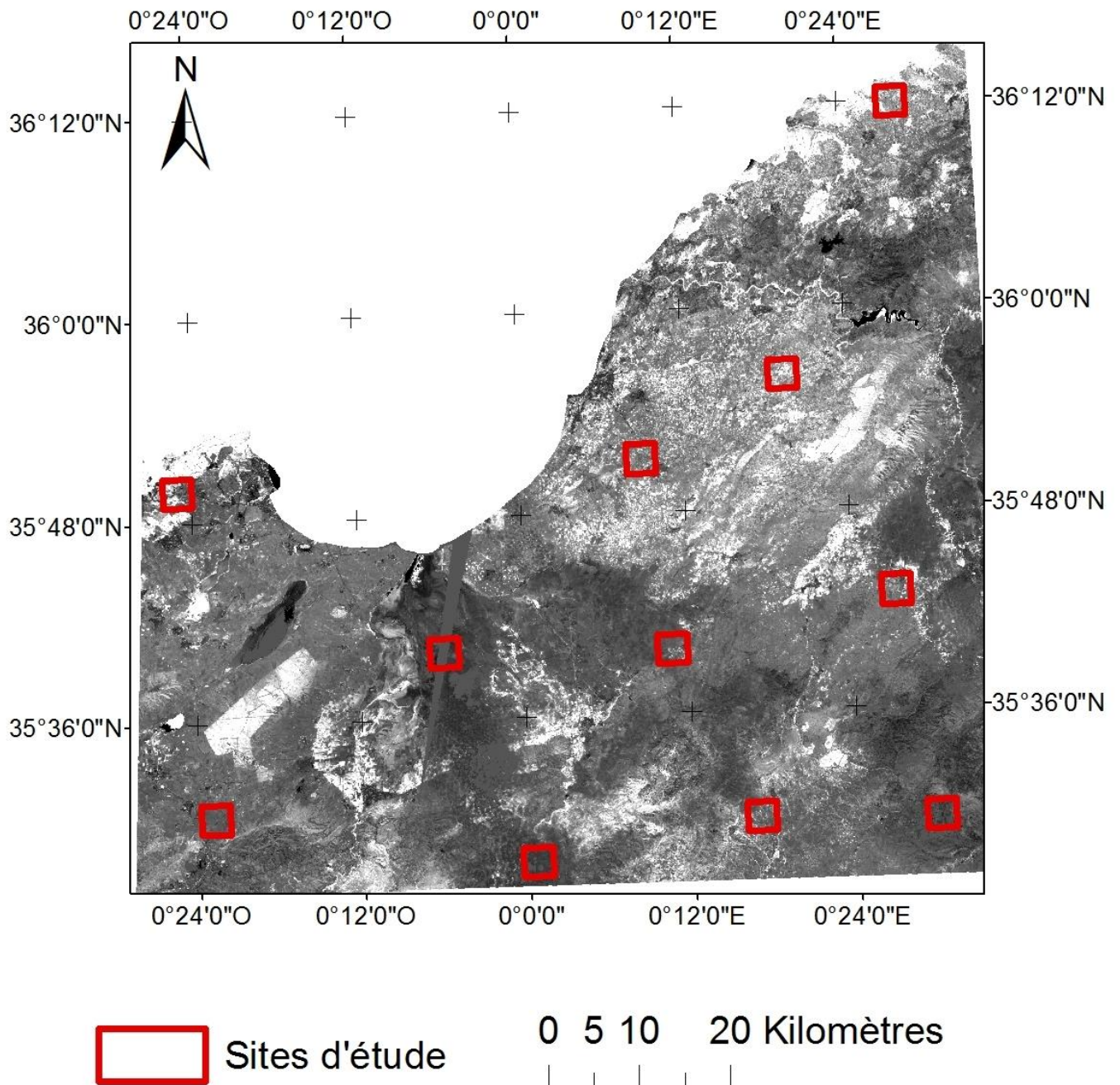


Figure n° 31 : Image NDVI de Mostaganem.

### Image NDVI de Mostaganem le 31-10-2015

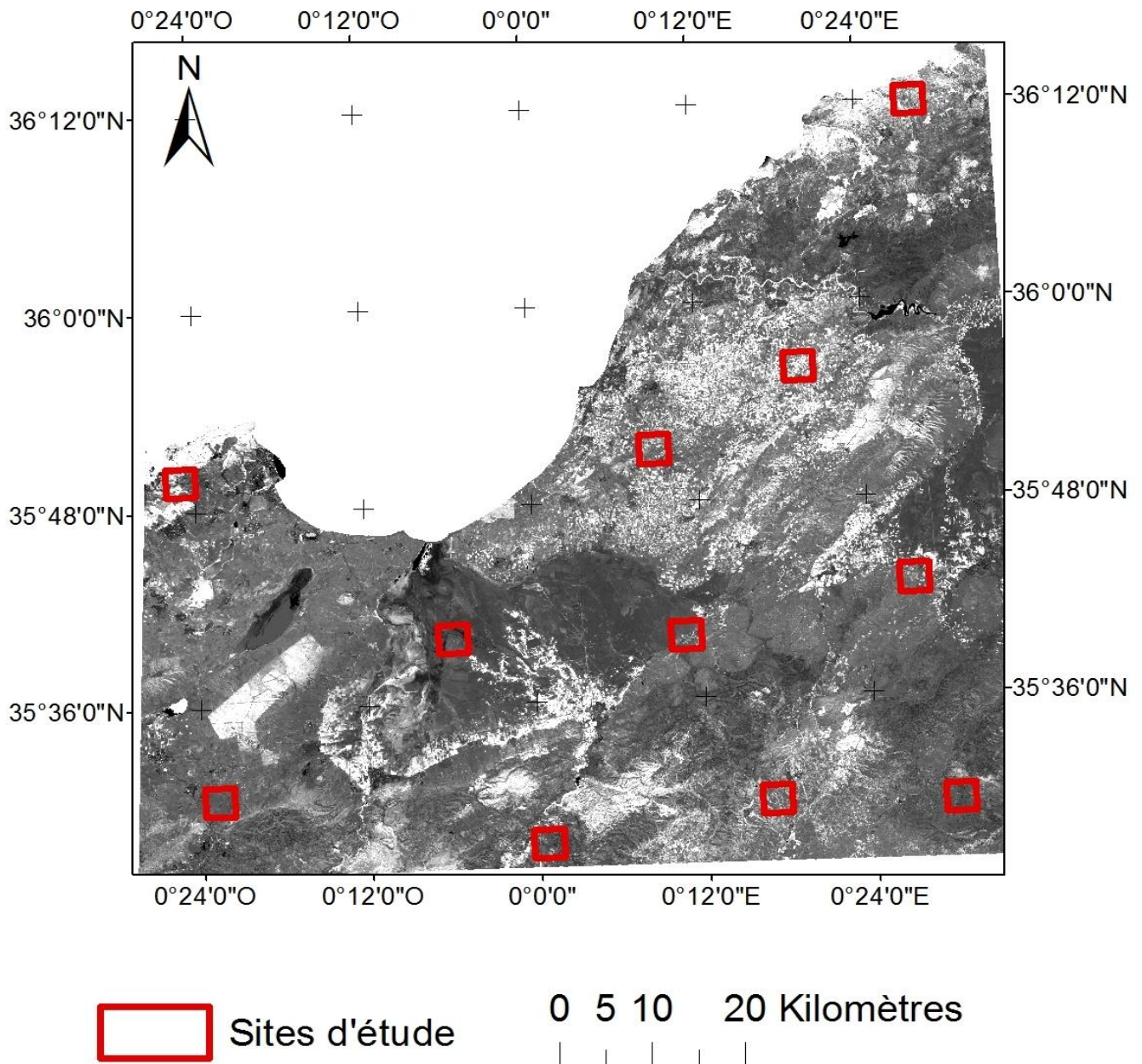


Figure n° 32 : Image NDVI de Djelfa.

### Image NDVI de Djelfa le 10-01-2015

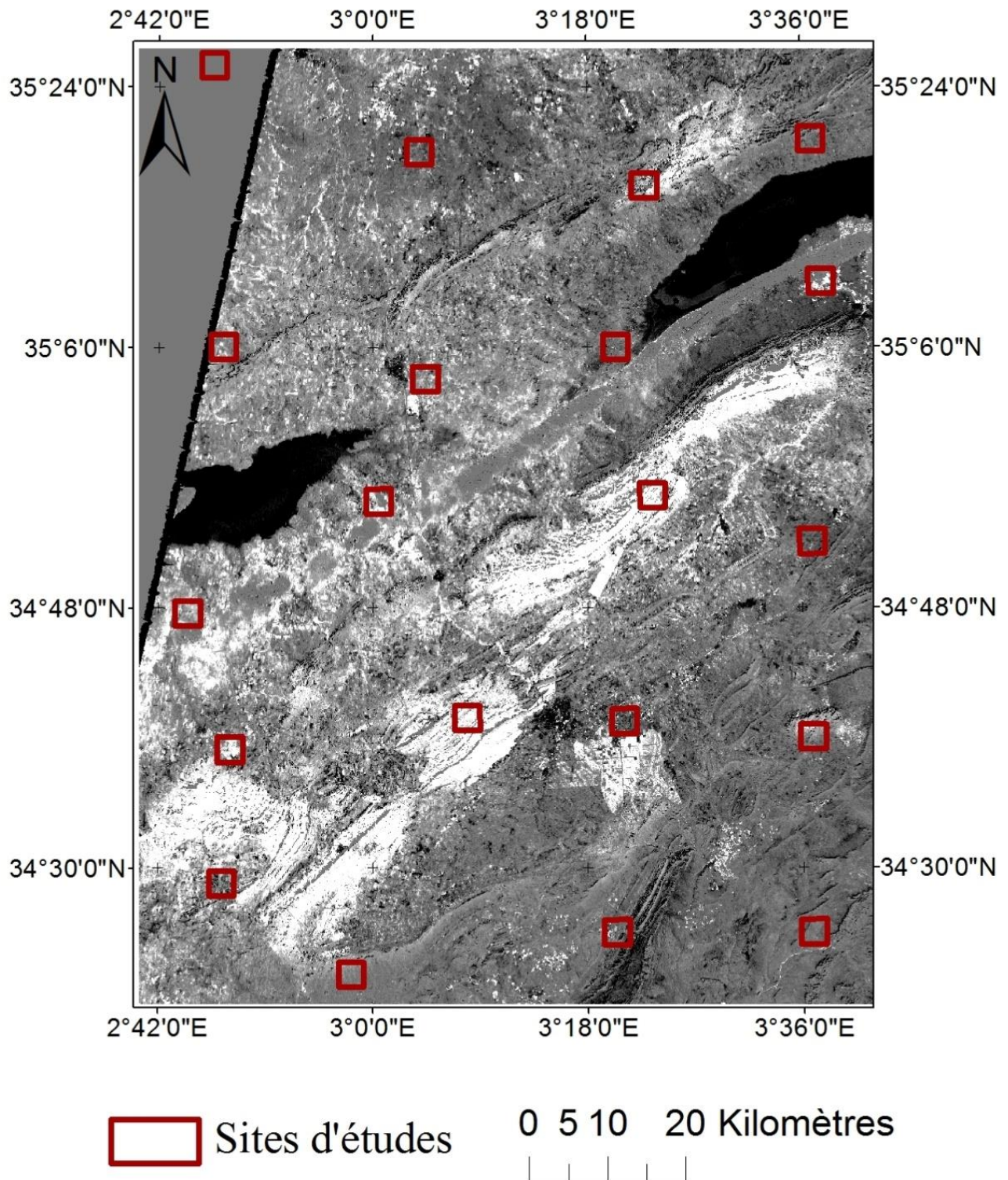


Figure n° 33 : Image NDVI de Djelfa.

### Image NDVI de Djelfa le 07-03-2015

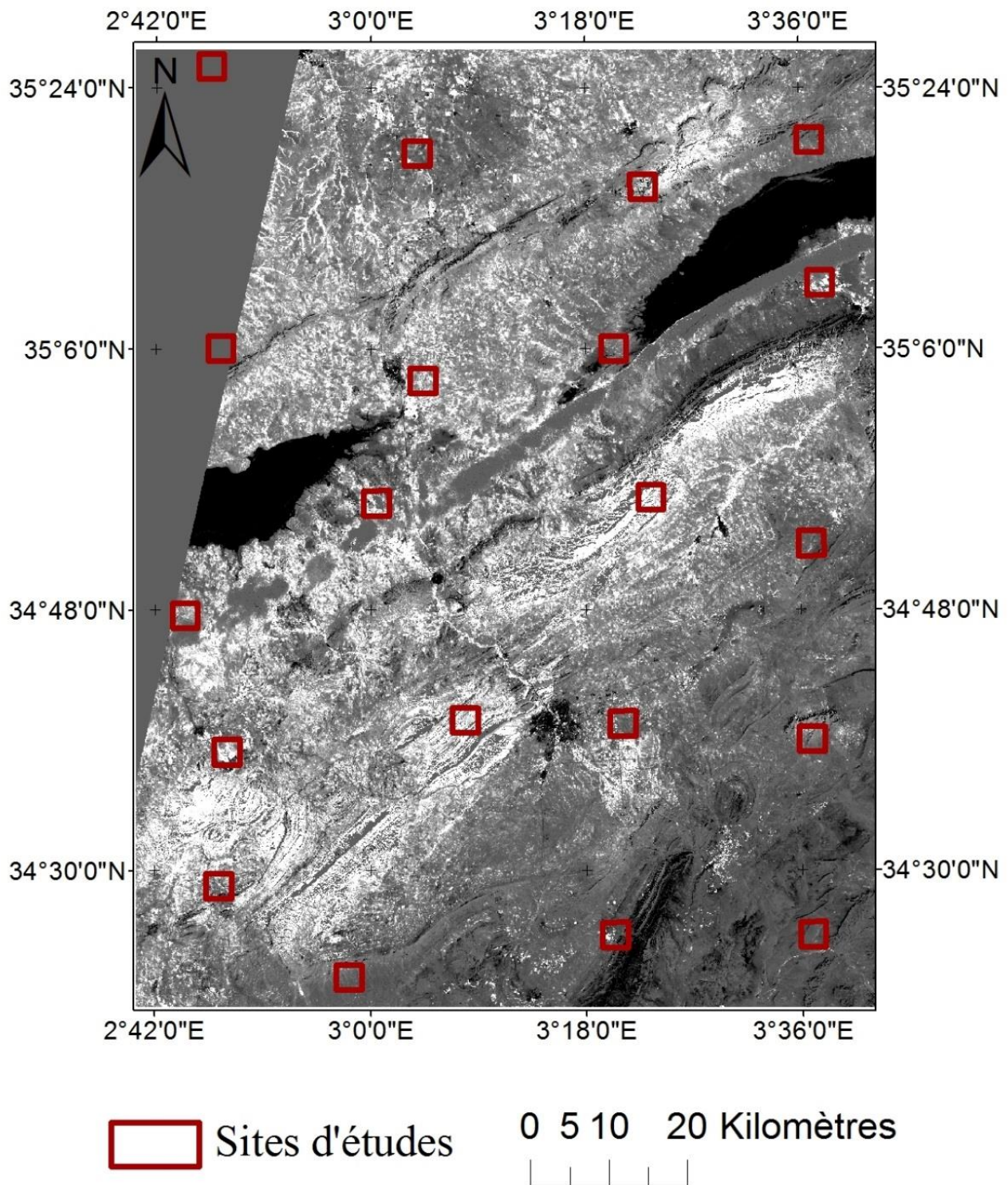


Figure n° 34 : Image NDVI de Djelfa.

### Image NDVI de Djelfa le 02-05-2015

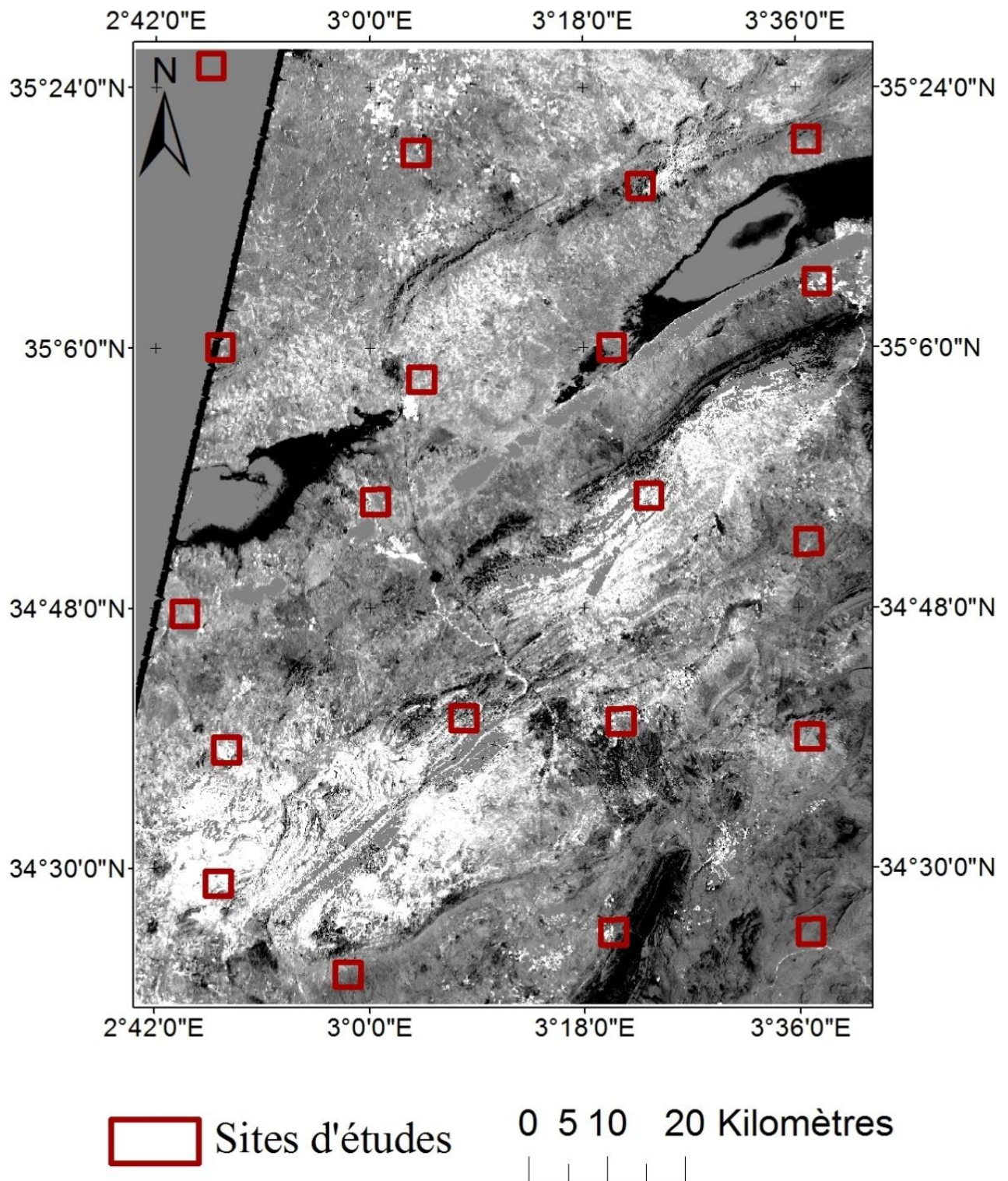
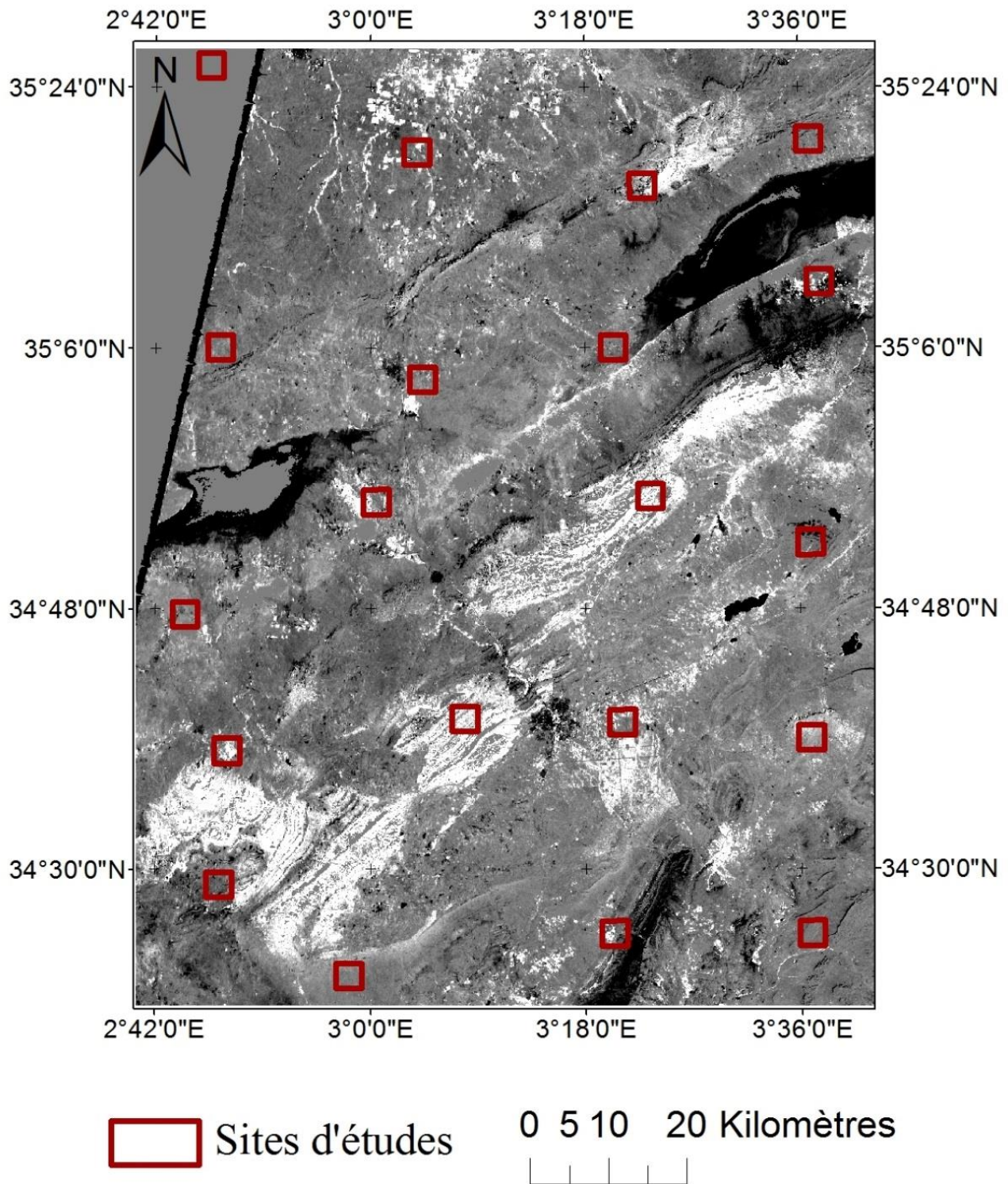


Figure n° 35 : Image NDVI de Djelfa.

### Image NDVI de Djelfa le 23-09-2015



### V-L'inventaire des émissions de gaz à effet de serre de l'année 2000

L'inventaire a couvert les gaz à effet de serre direct (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O,...) et les gaz précurseurs à effet indirect : NOX, CO, COVNM et SO<sub>2</sub>. Les émissions de GES à effet direct ont été au préalable converties en Eq.CO<sub>2</sub> sur la base du pouvoir de réchauffement global retenu par le GIEC pour chacun de ces gaz. Les émissions globales de GES à effet direct par secteur représentent au total 117310 Gg soit 117,310 millions de tonnes Equivalent CO<sub>2</sub> pour l'année 2000. Pour la même année, l'absorption de CO<sub>2</sub> par la foresterie est évaluée à 14167 Gg, soit 14,167 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>, ce qui permet de conclure que les émissions nettes en Eq.CO<sub>2</sub> sont de 103,143 Gg, soit 103,143 millions de tonnes.

Pour une population estimée en 2000 à 29.726.500 habitants, les émissions brutes exprimées en (Eq.CO<sub>2</sub>) sont de 3,95 tonnes par tête d'habitant et pour la même année les émissions de CO<sub>2</sub> sont de 2,61 tonnes par tête d'habitant.

Ces résultats montrent toute l'importance qu'occupe le secteur de l'énergie dans les émissions totales de gaz à effet de serre direct. En effet, près de 75% de ces émissions proviennent de ce secteur. L'industrie des hydrocarbures constitue le moteur de l'économie nationale. A ce titre, elle représente une part prépondérante dans les activités économiques et par voie de conséquence dans les émissions nationales de GES. Près de 20% des émissions de ce secteur sont associées à la production, au traitement et au transport des hydrocarbures dont une partie importante est exportée. L'industrie de liquéfaction du gaz naturel dont le produit (GNL) est exporté dans sa totalité est responsable également d'une part significative de ces émissions (8%). Le reste des émissions de ce secteur (47%) provient essentiellement de la consommation d'énergie pour la production d'électricité, le raffinage du pétrole brut et pour les besoins de l'industrie nationale, du résidentiel et institutionnel, du transport, etc.

L'agriculture, le changement d'affectation des terres et la foresterie occupent la seconde position et représentent 11% des émissions totales de GES. L'essentiel des émissions sont partagées presque à égalité entre l'agriculture (fermentation entérique, sol cultivés, épandage) et la foresterie et le changement d'affectation des terres (sols minéraux) tableau n°9.

**Tableau n° 9 : Emissions / Absorption Totales des GES à effet direct**

Secteurs d'activité	Emissions (Gg éq-CO <sub>2</sub> )	Absorptions (Gg CO <sub>2</sub> )
<b>Energie</b>	87 597	0
<b>Procédés industriels</b>	5 463	0
<b>Agriculture et forêts</b>	12 822	14 167
<b>Agriculture</b>	6 535	0
<b>Forêts</b>	6 287	14 167
<b>Déchets</b>	11 428	0
<b>Total</b>	117 310	14 167

Les secteurs des déchets et des procédés industriels représentent quant à eux 10% et 5% respectivement des émissions totales. Elles proviennent à 60% de l'industrie du ciment sous forme de CO<sub>2</sub> pour le secteur des procédés industriels et à 95% sous forme de méthane émis par les décharges pour le secteur des déchets.

Une synthèse des émissions des GES à effet direct par gaz est donnée sur le tableau n° 10. Les gaz précurseurs viennent également pour une très large part du secteur de l'énergie : NO<sub>x</sub> (99%), CO (90%), SO<sub>2</sub> (87%). Les COVNM sont partagés par contre entre le secteur industriel (63%) et le secteur de l'énergie (37%) (Figure n° 36).

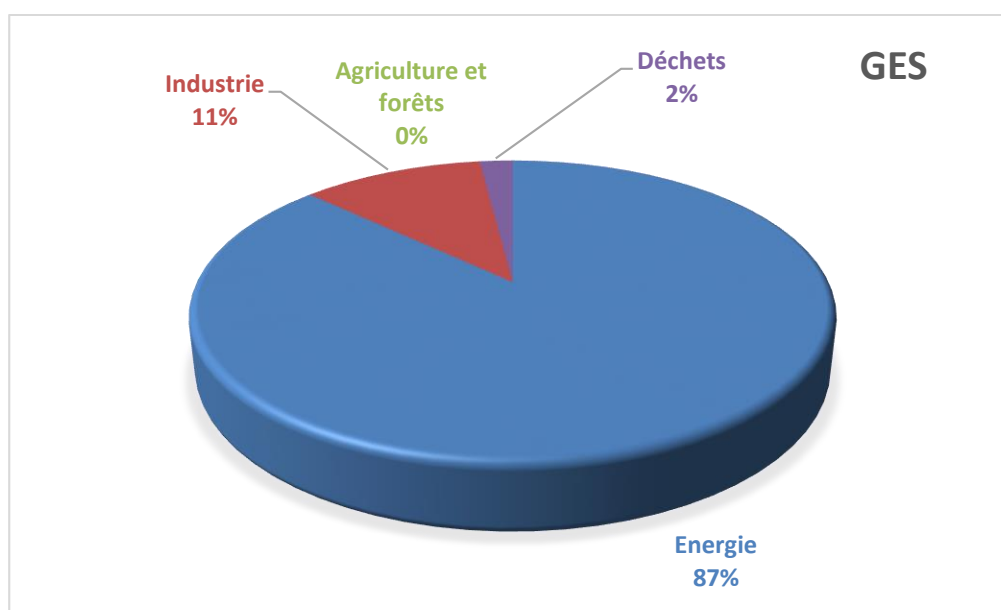
**Tableau n° 10 : Synthèse des émissions/absorptions des GES (Gg)**

Secteurs d'activité	CO <sub>2</sub> Emissions	CO <sub>2</sub> Absorptions	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC	PFC	SF <sub>6</sub>
<b>Energie</b>	66 410	0	1 001	0,51	0	0	0
<b>Procédés industriels</b>	5 157	0	0,27	0,95	0,01	0	NE
<b>Agriculture et forêts</b>	6 019	14 167	196	8,68	0	0	0
<b>Agriculture</b>	0	0	184	8,60	0	0	0
<b>Forêts</b>	6 019	14 167	12	0,08	0	0	0
<b>Déchets</b>	26	0	382	11	0	0	0
<b>Total</b>	77 612	14 167	1 579,27	21,14	0,01	0	NE

Les résultats de l'inventaire s'accompagnent d'incertitudes non négligeables dont il convient de tenir compte dans l'utilisation de ces informations. Un calcul est effectué dans chaque secteur d'activité.

Ces incertitudes sont évaluées sur la base d'avis d'experts et des valeurs par défaut proposées dans le guide des bonnes pratiques du GIEC (GPG 2000 et 2006). Pour l'ensemble de l'inventaire, l'incertitude est évaluée à 12,90%. Les émissions totales brutes du pays se situent donc, dans une plage de probabilité de 95%, entre 102170 et 132434 Gg Eq.CO<sub>2</sub>. Les émissions nettes quant à elles se situent entre 89831 et 116440 Gg Eq.CO<sub>2</sub>.

**Figure n° 36 : Répartition des émissions totales de GES par secteur d'activité**



#### **V-1- Les émissions et les absorptions des GES de secteur forestier**

La quantification des absorptions a concerné l'ensemble des accroissements de la biomasse forestière, les émissions des récoltes de bois commercial, le bois de feu ainsi que les pertes de carbone consécutives aux incendies de forêts. Les résultats des estimations et absorptions de GES figurent dans le tableau n° 11.

**Tableau n° 11 : Synthèse des émissions et absorptions des GES de secteur forestier (Gg)**

Forêts	Absorption CO <sub>2</sub>	Emission CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO	NO <sub>x</sub>
<b>Evolution de la biomasse végétale</b>	14 167,36	0	0	0	0	0
<b>Incendies de forêts</b>	0	0	11,60	0,08	101,50	2,88
<b>Sols minéraux</b>	0	6 019,16	0	0	0	0
<b>Total</b>	14 167,36	6 019,16	11,60	0,08	101,50	2,88

Les écosystèmes forestiers sont classés comme puits de séquestration considérable de carbone, ainsi, l'intérêt d'une étude d'analyse d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre s'avère une évidence pour un pays comme l'Algérie.

Les activités d'atténuation des forêts peuvent être regroupées en trois catégories. La première catégorie comprend des activités qui permettent d'éviter le rejet d'émissions du stock C, tels que la conservation des forêts et la protection. Le second comprend des activités qui stockent C, par exemple pour le boisement, reboisement et d'agroforesterie, et la troisième catégorie consiste à substituer l'utilisation de produits C-intensif et autres carburants avec des produits du bois récoltés de façon durable et bois de cuisson, par exemple du bois remplacement pour le béton ou l'acier et la bioélectricité remplacement de l'électricité des combustibles fossiles. Ralentissement ou arrêt de la déforestation peut être la plus rapide façon de réduire les émissions de Carbone.

Dans le secteur forestier, de l'utilisation des sols et du changement d'affectation des terres, il y a possibilité de faire intervenir une large gamme de technologies et de pratiques d'atténuation fiables du point de vue environnemental comme l'utilisation de matériel de plantation et de pratiques sylvicoles améliorés, un bon système de gestion des aires protégées, la substitution des combustibles fossiles par la bioénergie, la prise en compte des connaissances locales dans la gestion des aires boisées, la transformation et l'utilisation efficaces des produits forestiers et enfin un meilleur monitoring des aires végétales et de la végétation, particulièrement lorsqu'il s'agit d'activités de reforestation et de déboisement.

## **Conclusion**

Le changement climatique sera fort et rapide, plus son impact sur les forêts algériennes sera important. Les forestiers algériens ont donc tout intérêt à faire leur possible pour atténuer ou ralentir ce changement. Ils peuvent pour cela jouer un rôle dans le cycle du carbone, en favorisant sa fixation en forêt, et en réduisant ou en différant sa libération dans l'atmosphère.

Les chercheurs forestiers auraient besoin d'informations précises, ou au moins de scénarios, sur les caractéristiques du climat à attendre à l'échelle de la forêt ou du moins du massif forestier, à différents horizons temporels. Les relations entre la communauté forestière et les climatologues doivent donc être renforcées.

Les forestiers, travaillant dans le long terme, ont d'abord besoin de clés d'analyse des facteurs de sensibilité à l'évolution des principales caractéristiques des stations. La recherche doit donc aussi travailler sur des outils de diagnostic fondés sur des observations de terrain.

A cette fin, chaque manifestation de dépérissement doit être étudiée au cas par cas pour en définir les causes selon une analyse multicritère prenant en compte le peuplement mais aussi l'historique des parcelles, l'état des sols et les facteurs biotiques.

La perspective d'un réchauffement climatique important et rapide vient modifier le cadre dans lequel la conservation de la biodiversité doit s'envisager. La conservation simultanée d'un milieu et de toutes les espèces qui l'occupent dans un état de référence optimal défini a priori risque de devenir de plus en plus difficile voire impossible. La préservation de certains espaces permettra d'y observer les dynamiques résultant du changement du climat. La conservation d'espèces pourra impliquer des déplacements dans l'espace qui seront souvent compliqués et coûteux. La collectivité devra réaliser une réflexion approfondie sur les moyens qu'elle souhaite consacrer à ces actions de conservation et se définir des priorités. Une stratégie en faveur de forêts en libre évolution ouvre les portes d'une nouvelle politique de conservation qui ne cherche plus à figer la forêt dans son développement, mais à lui offrir des perspectives d'évolution pour faire face aux changements climatiques potentiels. Par ailleurs, la perspective de migration des espèces (du sud vers le nord et vers les plus hautes altitudes) imposera de concevoir des stratégies, et de mettre en place des « infrastructures écologiques », concernant de grands territoires

La notion d'espèce adaptée en permanence à la station pourrait disparaître, au profit d'une notion d'essence « temporairement adaptée ». Le gestionnaire forestier se trouverait alors confronté à une végétation « migrante ». Dans chaque forêt, l'adaptation des espèces présentes, leurs relations entre elles et leur capacité à fournir des biens et des services seraient en constante évolution. L'aménagiste devrait alors apprécier finement les caractéristiques du milieu, intégrer

l'impact des perturbations brutales, et réduire son horizon temporel à quelques décennies au profit d'une démarche pragmatique et flexible, par étapes. Pour élaborer des réponses fiables, de nombreuses expérimentations en vraie grandeur devront être conduites dans toutes les régions.

Nous avons conscience que la brutalité des changements climatiques, par leur ampleur et la rapidité de leur survenue, nous oblige à mettre en oeuvre des méthodes nouvelles de protection et de gestion de la biodiversité forestière. Mais, d'autre part, par manque d'expérience historique d'une telle situation et par manque de temps pour tester nos hypothèses, nous ne pourrions pas connaître suffisamment les risques associés à ces nouvelles méthodes pour assurer qu'il faille ou non les mettre en oeuvre. Dans cette obligation d'agir en situation d'incertitude insurmontable, il nous paraît nécessaire, même si cela doit être plus difficile que par le passé, de maintenir le concept de gestion multifonctionnelle de nos forêts, en faisant évoluer les modalités de sa mise en oeuvre et en particulier les processus collectifs de décision. De ce point de vue, des instances telles que la Commission des ressources génétiques forestières apparaissent on ne peut plus opportunes et nécessaires.

Mais dans ce paysage de potentiels bouleversements, la libre évolution offre des possibilités multifonctionnelles qu'il convient de traiter de manière rigoureuse et objective. Elle peut s'inscrire dans une démarche de protection complémentaire et ouvrir les voies d'une sylviculture d'écosystème.

Dans le cadre de la protection du potentiel forestier, certaines actions ont été entreprises pour protéger les forêts, telles que :

- la création des parcs nationaux et des réserves naturelles,
- la reconstitution des forêts brûlées ou dégradées,
- la réhabilitation des essences stratégiques (cèdre, chêne liège),
- la protection et la lutte contre les chenilles processionnaires,
- un programme d'information et de sensibilisation sur la préservation des forêts,
- l'adaptation des systèmes de production agricole par la reconversion,
- l'adaptation du calendrier agricole traditionnel,
- le développement de nouvelles pratiques agricoles.

## Références bibliographiques

- [1] **ACIA 2004** : Arctic Climate Impact Assessment, Cambridge University Press, Cambridge. Acidification of a forest ecosystem in Northeast France. *New Phytologist*, 126, 533-539.
- [2] **AHAMED S. et LEBLANC I. 2010** : Google Earth. Tirez-en les avantages pour votre entreprise, Réseau acadien des sites PAC de la Nouvelle-Ecosse.
- [3] **AIE 2008** : Climate Change database Addressing Climate Change Policies and Measures Database.
- [4] **AIE 2008b** : World Energy Outlook 2008, IEA, Paris.
- [5] **ANCC 2014** : Agence Nationale des Changements Climatiques.
- [6] **AUSSENAC G. et GUEHLJ.M. 2000** : Impacts sur les forêts et la sylviculture. Dans Impacts
- [7] **BADEAU V. et DUPOUEY J.L. 2007** : Cartes de répartition des groupes chorologiques selon différents scénarios de changement climatique en 2100. Communication personnelle du Banque mondiale (2008a), Development and Climate Change. A Strategic Framework for the World Bank Group, [worldbank.org/EXTCC/Resources/407863-1219339233881/ Development and Climate Change.pdf](http://worldbank.org/EXTCC/Resources/407863-1219339233881/Development%20and%20Climate%20Change.pdf).
- [8] **BAUMERT K.A., HERZOG T. et PERSHING J. 2005**: Navigating the Numbers Greenhouse Gas Data and International Climate Policy, World Resources Institute, États-Unis. Levin et Pershing.
- [9] **BENIKHLEF A. 2008** : Contribution à l'étude de l'impact des changements climatiques sur les ressources hydriques, cas du bassin versant de la tafna, MAGISTER En hydraulique, Science et technologie de l'eau, Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen, 243p.
- [10] **BENISTON M. 2007** : **Changements** climatiques : causes, modèles, et impacts. Présentation Power Point, conférence AgroParisTech-ENGREF « enseignement et changement climatique », Nancy.
- [11] **BERNARD M. et PILLET P. 1994** : Une encyclopédie interactive sur les systems d'information géographique ; Siage ; Alitec version 1.5.
- [12] **BOUETTE N. et IATICE CF. 2012**: Tutoriel Google Earth.
- [13] **BOURRY C. 2011**: Cours BARDON - Fondamentaux Office 2010.
- [14] **BREDA N. et al. 2006**: Temperate forest trees and stands under severe drought.
- [15] **BREDA N., SOUDANI K. et BERGONZINI J C. 2003** : Mesures de l'indice foliaire en forêt ; Edition ECOFOR ISBN 2-914770-02-2 ; 157p.

- [16] **CCNUCC 2008** : Rapport de la treizième session de la Conférence des Parties, tenue à Bali du 3 au 15 décembre 2007, Addendum, Deuxième partie : Mesures prises par la Conférence des Parties à sa treizième session, secrétariat de la CCNUCC, Bonn.
- [17] **CCRS 1997** :( Canada Centre for Remote Sensing/Natural Resources Canada). GlobeSAR2
- [18] **CDIAC 2009** :(Carbon Dioxide Information Analysis Center). Changement climatique et énergie en Méditerranée, Plan Bleu (Centre d'Activités Régionales), 578p.
- [19] **CHUINE I. 2007** : Forest trees phenology and climate change. In Response of temperate and mediterranean forests to climate change: effects on carbon cycling, productivity and vulnerability.
- [20] **CIAIS P., REICHSTEIN M., VIOVY N., GRANIER A., OGÉE J., ALLARD V. et VALENTINI R. 2005**: Europewide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. Nature, 437, 529-533.  
Climatic Research Unit, University of East Anglia 2014.
- [21] **CSIRO Marine and Atmospheric Research 2015**: EUMETSAT, NOAA, CNES and NASA announce JASON-3 satellite to be launched on 22 July 2015. It will ensure a continuity to the Reference Sea Level Missions Topex/Poseidon (1992-2002), JASON-1(2001-2009) and JASON-2, dynamics in a Mediterranean-type ecosystem. Global Change Biology 8, no. 5. Pp.423-437.ecophysiological responses, adaptation rocesses and long-term consequences. Annals of Forest Sciences 63, no. 6. Pp.625-644. Evidence for soil water control on carbon and water dynamics in European forests during the extremely dry year: 2003. Agricultural and Forest Meteorology, 143, 123-145.
- [22] **DENEGRE J. et SALGE F. 1996** : Les systèmes d'information géographique. Presse Universitaire de France, 127 p.
- [23] **DENIS A. 2016**: Travaux Pratiques de Télédétection SpatialeUniversité de Liège (ULg) ; Arlon Campus Environnement ; Département des Sciences et Gestion de l'environnement ; Unité Eau Environnement Développement (EED) ; Avenue de Longwy, 185 ; 6700 Arlon, Belgique
- [24] **DPTA, 2003**: Monographie de la Wilaya de Djelfa. Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire (DPTA). pp.6-22.
- [25] **DREAL 2011**: Notice d'accompagnement des utilisateurs des données lito3D (logiciel Global Mapper), Service des risques naturels et technologiques.
- [26] **FAO 1995** : Food and Agriculture Organization

[27] **FAO 2007** : State of the World's Forests 2007. Food and Agriculture Organization of the United Nations. pp. 144.

[28] **FAO 2009** : Food and Agriculture Organization.

[29] **FISHER B.S., NAKICENOVIC N., ALFSEN K., CORFEE MORLOT J., CHESNAYE F., Hourcade, J.-Ch., Jiang, K., Kainuma, M., La Rovere, E., Matysek, A., Rana, A., Riahi, K., RICHELIS R., ROSE S., VAN VUUREN D. et WARREN R. 2007** : “Issues related to mitigation in the long term context”, dans Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R. et **MEYER L.A. 2007**: Climate Change; Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Inter-governmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, pages 169-250.

[30] **FORSTER P., RAMASWAMY V., ARTAXO P., BERNTSEN T., BETTS R., FAHEY D.W., HAYWOOD J., LEAN J., LOWE D.C., MYHRE G., NGANGA J., PRINN R., RAGA G., SCHULZ M. et VAN DORLAND R. 2007** : “Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing”, dans Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. et Miller, H.L. (éds), Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, (Royaume-Uni) et New York, NY. françaises vis-à-vis du sol et du climat. Mémoire présenté devant l'INPL pour le diploma d'HDR. Nancy.

[31] **FUKUDA M. 2014** : Logiciel de Préparation d'Inventaires; Ateliers régionaux africains sur les systèmes nationaux de surveillance des forêts pour la REDD+ et les systèmes nationaux d'inventaire des GES ;Livingstone, Zambie ;Unité d'appui technique, Groupe d'action du GIEC sur les inventaires (TFI).

[32] **GARNAUT R. 2008**: The Garnaut climate change review, Cambridge University Press, Cambridge, 680 pages.

[33] **GÉGOUT J.C, 2006** : Distribution et caractère bioindicateur des espèces végétales forestières.

[34] **GIANNAKOPOULOS C., BINDI M., MORIONDO P., LESAGER, et TIN T. 2005**: Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global temperature rise. A report for the WWF for a Living Planet. The global conservation organization, Gand, Switzerland. © text (2005) WWF. All rights reserved.

[35] **GIEC 2007** : Bilan 2007 des changements climatiques - Les éléments scientifiques physiques. Contribution du Groupe de travail I au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Solomon, S., D. Qin, M. Manning,

Z.Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Citation disponible en français [p.106].

[36] **GIEC 2007a** : Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (éds), GIEC, Genève, 103 pages.

[37] **GIEC 2007c**: "Summary for Policymakers", dans Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. et Miller, H.L. (éds), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge et New York, NY.

[38] **GUIOT J. 2007** : Rapport de synthèse (destiné aux utilisateurs et gestionnaires publics), Réponse des forêts méditerranéennes françaises aux changements climatiques, APR GICC 2003. Aix-en- Provence : CEREGE. 21p.

[39] **IPCC 2007** : *Climate change 2007 : Synthesis report*. Cambridge University Press, pp. 52.

[40] **KOSKELA J. et al. 2007**: *Climate change and forest genetic diversity, Implications for sustainable forest management in Europe*. Rome, Italy: Biodiversity International. 134p. [http://www.bioversityinternational.org/publications/pubfile.asp?ID\\_PUB=1216](http://www.bioversityinternational.org/publications/pubfile.asp?ID_PUB=1216) (accède décembre 20, 2007).

[41] **KURZ WA., APPS M.J. 1999** : « A 70-year retrospective analysis of carbon fluxes in the Canadian forest sector ». *Ecological Applications*, vol. 9, no 2, p. 526-547.

[42] **LOUSTAU D. et al. 2005**: *Modeling climate change effects on the potential production of French plains forests at the sub-regional level*. *Tree Physiology* 25, no. 7. pp.813-823.

[43] **MAESTRE F. T., BAUTISTA S., CORTINA J., BLADE C., BELLOT J. et VALLEJO VR. 2003** : *Bases ecológicas para la restauración de los espartales semiáridos degradados*. *Ecosistemas* 2003/1.

[44] **MAESTRE F.T., RAMIREZ D.A., et CORTINA J. 2007** : *Ecología del esparto (Stipa tenacissima L.) y los espartales de la Península Ibérica* . *Ecosistemas*. 2007/2.

[45] **MALHI Y. et GRACE J. 2000** : « Tropical forests and atmospheric carbon dioxide ». *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 15, no 8, p. 332-337.

[46] **Mapping the World's Glaciers, Antarctic Glaciers 2014**

- [47] **MARÇAIS B. 2007** : Changement climatique et Agents pathogènes forestiers. Présentation Power Point, conférence AgroParisTech-ENGREF « enseignement et changement climatique », Nancy, le 25 octobre 2007.
- [48] **MEEHL G.A., STOCKER T.F., COLLINS W.D., FRIEDLINGSTEIN P., GAY A.T., GREGORY J.M., KITO A., KNUTTI R., MURPHY J.M., NODA A., RAPER S.C.B., WATTERSON I.G., WEAVER A.J. ET ZHAO ZC. 2007**: “Global Climate Projections”, dans Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. et Miller, H.L. (éds), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge et New York, NY.
- [49] **MORIN X. 2006** : Biogéographie des espèces d’arbres européens et nord-américains : déterminisme et évolution sous l’effet du changement climatique. Thèse. Montpellier : Université Montpellier II. 152 p., ann.
- [50] **MOUILLOT F. et al. 2002**: Simulating climate change impacts on fire frequency and vegetation.
- [51] **NASA 2015: National** Aeronautics and Space Administration GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP).  
Naturels et Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique), 2007. Etat des connaissances sur les impacts avérés et envisagés des changements climatiques sur les aléas naturels dans l’Arc Alpin, Analyse. ClimChAlp - Climate change, impacts and adaptation. 130p. grenoble.fr/risknat/projets/climchalp\_wp5/pages/docs/Analyse\_ClimChAlp.pdf.
- [52] **NCDC 2015: Global** Surface Temperature Anomalies.
- [53] **NSIDC 2015** : (National Snow and Ice Data Center) [Arctic Sea Ice News and Analysis](#).
- [54] **NYONG A. 2008** : “Climate Change Impacts in the Developing World: Implications for Sustainable Development”, chapitre à paraître dans *Development in the Balance: How Will the World’s Poor Cope with Climate Change?*, Brookings Institution Press, Washington, DC.
- [55] **OCDE 2008a** : L’atténuation du changement climatique : que faire?, OCDE, Paris.
- [56] **OLIVIER A. 2016** : Géomatique, Global Mapper  
(<http://www.geomatique.fr/globalmapper/>)
- [57] **OMM 2006** : l’Organisation Météorologique Mondiale.
- [58] **ONM Djelfa, 2007**: **Données** météorologiques de l’office national de Météorologie: station de Djelfa.
- [59] **ONM Mostaganem, 2010**: **Données** météorologiques de l’office national de Météorologie: station de Mostaganem.

[60] **PACHAURI R. 2007** : Conference of the Parties to the UNFCCC serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol (COP/ MOP), Opening Ceremony 12 December 2007 – OMM/PNUE, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, M. Rajendra Pachauri, Président (exposé vidéo).

[61] **PARMESAN C. et YOHE G. 2003** : A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, vol. 421, n° 6918, pp. 37-42

[62] **PARRY M.L., CANZIANI O.F., PALUTIKOF J.P. ET COAUTEURS 2007** : «Technical Summary», dans Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. et Hanson, C.E. (éds), *Climate Change 2007 : Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, pages 23-78.

PGRN et ONERC (Pôle Grenoblois d'études et de recherche pour la prévention des Risques

[63] **PIGNARD G. ET DUPOUEY J.L. 2002** : Les flux de carbone dans les forêts françaises et européennes : apport des inventaires forestiers. *Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, 88, 5-17. Plan d'action et stratégie National sur la biodiversité.

[64] **PNUE 2009** : (Programme Des Nations Unies Pour L'environnement),

PNUE/GRID-Arendal (2008), Atmospheric concentrations of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) - Mauna Loa or keeling curve. Site consulté: <http://maps.grida.no/go/graphic/atmospheric-concentrationsof-carbon-dioxide-co2-mauna-loa-or-keeling-curve>. Renseignements fondés également sur des données provenant du NOAA Earth System Research Laboratory, consultées le 8 novembre 2007 Potentiels du changement climatique au XXI<sup>e</sup> siècle, seconde édition 2000, pp.81-87.

[65] **Projet ALG 1997** : Elaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques.

Radar Image Processing and Information Extraction Workbook Version 1.2. Ottawa, Ontario, Canada.

[66] **RAUPACH M.R., MARLAND G., CIAIS P., LE QUERE, C. et FIELD C.B. 2007** : Global and regional drivers of accelerating CO<sub>2</sub> emissions, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104 :24, pages 10288-10293.

[67] **RICHELS R.G., TOL R.S.J. et YOHE G.W. 2008** : "Future scenarios for emissions need continual adjustment", *Nature* 453, page 155.

[68] **ROBERT M. et SAUGIER B. 2003** : Contribution of terrestrial ecosystems to carbon sequestration. *Comptes-rendus Geosciences*, 335, 577-595.

- [69] **ROBERT M. et SAUGIER B. 2003** : « Contribution des écosystèmes continentaux à la séquestration du carbone ». *Geoscience*, vol. 335, no 6-7, p. 577-595
- [70] **ROMAN-AMAT B. 2007** : Préparer les forêts françaises au changement climatique, Rapport à MM. les Ministres de l'Agriculture et de la Pêche et de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables, 125p.
- [71] **ROSENZWEIG C., CASASSA G., KAROLY D.J., IMESON A., LIU C., MENZEL A., RAWLINS,S., ROOT,T.L., SEGUIN,B. et TRYJANOWSKI P. 2007** : “Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems” dans Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. et Hanson, C.E. (éds), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, pages 79-131.
- [72] **ROSENZWEIG C., KAROLY D., VICARELLI M., NEOFOTIS P., QIGANG WU, CASASSA G., MENZEL A., ROOT T.L., ESTRELLA N., SEGUIN B., TRYJANOWSKI P., CHUNZHEN LIU RAWLINS, S. et IMESON A. 2008** : “Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change”, *Nature* 453, pages 353-357.
- [73] **SABINE C.L., HEIMANN M., ARTAXO P. et al. 2004**: status and past trends of the global carbon cycle. In: *The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate and the Natural World* (eds C. Field & M. Raupach). Island Press, Washington.
- [74] **SAUGIER B. et ROY J. 2001** : Estimations of global terrestrial productivity : converging towards a single number? In: *Global terrestrial productivity: past, present and future* (eds J. Roy, H.A. Mooney, & B. Saugier). Academic Press, New York.
- [75] **SEGUIN, B. 2007** :L'agriculture en Europe sous un climat plus chaud. Pour la science, dossier N°54, janvier-mars2007, 4p.
- [76] **SELTZERP. 1946** : Le climat de l'Algérie ; l'Institut de météorologie et de physique du globe de l'Algérie ; Alger ; 216P.
- [77] **SOUDANI K. 2006** : Initiation aux Systèmes d'Informations Géographiques sous ARCGIS 9 ESRI- Environmental Systems Research Institute) Faculté des Sciences d'Orsay ; Université Paris Sud XI Module Géomatique ; Faculté des Sciences d'Orsay.
- [78] **THERY S. 2005** ; Introduction aux SIG ; UMR 7619 Sisyphe (CNRS-Paris VI) ; [they@ccr.jussieu.fr](mailto:they@ccr.jussieu.fr)
- [79] **TIAN Y., ROMANOV P., YU Y., XU H. et TARPLEY D.2010**: ‘Geoscience and Remote Sensing Symposium’ (IGARSS), 2010 IEEE International, pp. 2091 – 2094, 2010.

- [80] **TRENBERT K.E., JONES P.D., AMBENJE P., BOJARIU R., EASTERLING D., KLEIN TANK A., PARKER D., RAHIMZADEH F., RENWICK J.A., RUSTICUCCI M., SODEN B. et ZHAI P. 2007** :“Observations: Surface and Atmospheric Climate Change”, dans Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignorm, M. et Miller, H.L. (éds), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge et New York, NY.
- [81] **TSAYEM DEMAZE M. 2010** : « La REDD : une initiative émergente pour intégrer les forêts tropicales dans la lutte contre le réchauffement climatique ». *Annales de géographie*, à paraître.
- [82] **WEBB, M.J., SENIOR, C.A., SEXTON, D.M.H., INGRAM, W.J., WILLIAMS, K.D., RINGER, M.A., MCAVANEY, B.J., COLMAN, R., SODEN, B.J., GUDGEL, R., KNUTSON, T., EMORI, S., OGURA, T., TSUSHIMA, Y., ANDRONOVA, N., LI, B., MUSAT, I., BONY, S. et TAYLOR, K.E.** “On the contribution of local feedback mechanisms to the range of climate sensitivity in two GCM ensembles”, *Climate Dynamics* 27, pages 17-38.
- [83] **WEGER G. 1999** : *Cartographie (Sémiologie graphique et conception cartographique)*; école nationale des sciences géographiques 6 et 8 avenueblaise pascal - cité des cartes - champs - sur – marne;141p.
- [84] **WGMS 2015** :( world glacier-monitoring service), under the auspices of: ICSU (WDS), IUGG (IACS), UNEP, UNESCO, and WMO .
- [85] **YASSINE Z. et PARAKH O. 2008**: *Guide d'utilisation de Microsoft Word 2007*; Université de Sherbrooke – Carrefour de l'information.
- [86] **BAD 2005** : (Banque asiatique de développement), *Climate Proofing – A Risk-based Approach to Adaptation*, Pacific Studies Series, Asian Development Bank, Philippines.
- [87] **NILSSON S. et SCHOPFHAUSER W. 1995** : « The carbon-sequestration potential of a global afforestation program». *Climatic Change*, vol. 30, no 3, p. 267-293.
- [88] **LEBOEUF A., SAMSON M-P., PAQUET A. 2015**: *Guide d'interprétation des mosaïques d'images satellite landsat* Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs Secteur des forêts Mars, 5700, 4<sup>eme</sup> Avenue Ouest, local A-108 Québec (Québec).