

Université Abdelhamid Ibn
Badis-Mostaganem
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie

جامعة عبد الحميد بن باديس
مستغانم كلية علوم الطبيعة
والحياة



Laboratoire de Biodiversité
et Conservation des Eaux
et Sols (LBCES)

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

N°...../SNV/2023

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

Tahar FARAH

Pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

En Sciences Agronomiques

Spécialité : FORESTERIE

THÈME

« Impact du changement climatique sur les écosystèmes agricoles et forestiers des Monts des Traras à l'aide des techniques de la géomatique - Algérie nord occidentale »

Soutenu publiquement le 28 novembre 2023

DEVANT LE JURY

Président	KOURI Lakhdar	Prof.	Université de Mostaganem
Examineur	GHODBANI Tarik	Prof.	Université Oran 2
Examineur	MEDERBAL Khaladi	Prof.	Université de Tiaret
Examineur	ABABOU Adda	Prof.	Université de Chlef
Examineur	LARID Mohamed	Prof.	Université de Mostaganem
Promoteur	TAIBI Nasr - Eddine	Prof.	Université de Mostaganem
Invité	CHOUIEB Mohamed	MCA	Université de Mostaganem

ANNEE 2022 /2023

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Résumés

Introduction

Table des matières

Chapitre I : Synthèse bibliographique sur les outils de la géomatique	3
1.1 Géomatique	3
1.1.1 Systèmes d'Information Géographiques (SIG)	4
1.1.1.1 Historique des SIG	4
1.1.1.2 Fonctionnalités des SIG	5
1.1.1.3 Concepts généraux de la Base de Données Géographiques	6
1.1.1.4 Organigramme d'un SIG	7
1.1.1.5 Logiciel SIG	8
1.1.1.6 Applications des SIG	8
1.1.1.7 Utilités des SIG	8
1.1.1.8 Conclusion sur les SIG	9
1.1.2 Télédétection	11
1.1.2.1 Historique	11
1.1.2.2 Définition	13
1.1.2.3 Sources d'énergie	14
1.1.2.4 Notions de résolution	17
1.1.2.5 Notions de réflectance	19
1.1.2.6 Réponses spectrales des végétaux	21
1.1.2.7 Réponses spectrales des sols	24
1.1.2.8 Réponses spectrales de l'eau	28
1.1.2.9 Indices spectraux	28
1.1.2.10 Traitements d'images satellites	34
1.1.2.11 Aperçu sur quelques plates formes spatiales d'acquisition d'images satellites	39
1.1.2.12 Logiciels de traitements d'images satellites	44
1.1.2.13 Objectifs de la télédétection	46
1.1.2.14 Intégration des données télédéteectées dans un SIG	47
1.1.2.15 Domaines d'applications de la télédétection	47
1.1.2.16 Conclusion sur la télédétection	49
1.1.3 Système de localisation <i>Global Positioning System (GPS)</i>	49
1.2 Impacts du changement climatique	50
1.3 Introduction	51
1.4 Définition	53
1.5 Historique	53
1.6 Causes des changements climatiques	55
1.6.1 Gaz à Effets de Serre (GES)	55
1.6.1.1 Dioxyde de Carbone (CO ₂)	58
1.6.1.2 Autres gaz	59
1.6.2 Bilan des émissions des gaz par l'Algérie	59
1.7 Effets des gaz sur les écosystèmes agroforestiers	60
1.7.1 Effets du CO ₂ sur les milieux agricoles	60
1.7.2 Effets du CO ₂ sur les forêts	60
1.8 Effets des facteurs thermiques sur les écosystèmes agroforestiers	62
1.8.1 Effets des facteurs thermiques sur les milieux agricoles	63
1.8.2 Effets des facteurs thermiques sur les forêts	64
1.8.3 Effets des facteurs thermiques sur les terres humides	66
1.9 Effets des facteurs hydriques sur les écosystèmes agroforestiers	66
1.9.1 Effets des facteurs hydriques sur les milieux agricoles	67
1.9.2 Effets des facteurs hydriques sur les forêts	68
1.9.3 Effets des facteurs hydriques sur les milieux urbains	68
1.9.4 Effets des facteurs hydriques sur le milieu social	68

1.10	Indicateurs du changement climatique	69
1.11	Impacts du changement climatique	71
1.12	Secteurs impactés	74
1.12.1	Domaine de l'hydrobiologie marine	74
1.12.1.1	Milieux océaniques	74
1.12.1.2	Ecosystèmes marins	74
1.12.1.3	Milieux du domaine du littoral	76
1.12.2	Secteur de l'agriculture	78
1.12.2.1	Ressources en sols	83
1.12.2.2	Elevage	86
1.12.3	Secteur de l'hydraulique	87
1.12.4	Secteur des forêts	91
1.12.5	Secteur des milieux urbains	92
1.12.6	Secteur de l'économie	92
1.12.6.1	Secteur des équipements et d'infrastructures de bases	92
1.12.6.2	Secteur du milieu socio-économique	93
1.13	Mesures réglementaires sur les effets du changement climatique	94
1.13.1	Lois et conventions	94
1.14	Mesures d'adaptation aux changements climatiques	96
1.14.1	Expériences de mesures d'adaptations aux changements climatiques	99
1.14.2	Mesures d'adaptation pour l'agriculture	100
1.14.3	Mesures d'adaptation pour les forêts	101
1.15	Mesures d'atténuations des effets du changement climatique	102
1.15.1	Réponses des activités agricoles	103
1.15.1.1	Plans d'actions agricoles d'atténuation engagées par l'Algérie	105
1.15.2	Réponses des activités forestières	106
1.15.2.1	Plans d'actions forestières d'atténuation engagées par l'Algérie	107
1.15.3	Réponses des activités hydrauliques	108
1.16	Contraintes d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques	109
1.17	Conclusion	109
Chapitre II : présentation de la zone d'étude		111
2.1	Présentation de la zone d'étude	111
2.1.1	Localisation géographique	113
2.1.2	Localisation administrative	114
2.1.3	Géomorphologie	115
2.1.3.1	Milieu marin de proximité	115
2.1.4	Conclusion sur le milieu marin de proximité	116
2.1.4.1	La zone du littoral	117
2.1.5	Milieu physique terrestre	117
2.1.5.1	Orographie	117
2.1.5.2	Hypsométrie	117
2.1.5.3	Géologie	117
2.1.5.4	Sols	121
2.1.5.5	Ressources en eau	122
2.1.5.6	Electrification rurale	128
2.1.6	Milieu biotique	129
2.1.6.1	Milieu agricole	132
2.1.6.2	Milieu forestier	138
2.1.7	Milieu urbain	149
2.1.7.1	Facteurs anthropozoogènes	150
2.2	Utilisation des données météorologiques	152
2.2.1	Facteurs thermiques (température)	153

2.2.1.1	Indice de continentalité	155
2.2.1.2	Conclusion (facteurs thermiques)	155
2.2.2	Facteurs hydriques (précipitation)	155
2.2.2.1	Régime saisonnier des pluies	157
2.2.2.2	Diagramme Ombrothermique	157
2.2.2.3	Quotient d'Emberger	159
2.2.3	Facteurs mécaniques	161
2.2.3.1	Le Vent	161
2.2.3.2	La neige	162
2.2.4	Conclusion sur les données climatiques	162
Chapitre III	Matériels et méthodes	166
3.1	Choix de la méthode de travail	167
3.2	Application de l'outil SIG	169
3.2.1	Logiciels utilisés	169
3.2.2	Documents utilisés	169
3.2.3	Méthodes de traitement	166
3.3	Application de l'outil télédétection	168
3.3.1	Données télédétectées utilisées	168
3.3.2	Méthodes de traitement des images satellites	171
3.3.2.1	Correction géométrique et radiométrique	171
3.3.2.2	Composition colorée	171
3.3.2.3	Segmentation	171
3.3.2.4	Création des zones d'entraînement au sol	172
3.3.2.5	Calcul des indices spectraux	173
3.3.2.6	Application de l'algorithme adapté et classification automatique	174
3.3.2.7	Données terrain et évaluation de la qualité des résultats (ou post-classification)	174
3.4	Intégration et analyse des résultats dans un environnement SIG	176
3.5	Création de la carte et exportation	176
Chapitre IV	Résultats et discussions	182
4.1	Analyse des résultats topographiques	182
4.1.1	Modèle bathymétrique de la mer de proximité	182
4.1.2	Modèle Numérique Terrestre (MNT)	184
4.1.3	Cartes des indices topographiques	185
4.1.3.1	Carte hypsométrique	185
4.1.3.2	Carte des pentes	187
4.1.3.3	Carte des expositions	189
4.1.4	Carte du réseau hydrographique	190
4.1.5	Carte géologique	192
4.1.6	Carte des sols	193
4.1.7	Carte des voies d'accès	195
4.1.8	Conclusion	196
4.2	Analyse des résultats thématiques	196
4.2.1	Carte de l'occupation du sol (2008)	196
4.2.2	Carte de l'occupation du sol (1984)	197
4.2.2.1	Carte de l'occupation du sol des Traras occidentaux (1984)	199
4.2.2.2	Carte de l'occupation du sol des Traras centraux (1984)	199
4.2.2.3	Carte de l'occupation du sol des Traras orientaux (1984)	200
4.2.2.4	Conclusion	200
4.2.3	Carte de l'occupation du sol (2020)	201
4.2.3.1	Carte de l'occupation du sol des Traras occidentaux (2020)	203
4.2.3.2	Carte de l'occupation du sol des Traras centraux (2020)	203
4.2.3.3	Carte de l'occupation du sol des Traras orientaux (2020)	204
4.2.4	Conclusion	205

4.3	Analyse de l'impact du changement entre 1984 et 2020 de l'occupation du sol	205
4.3.1	Carte de changement entre 1984 et 2020 de l'occupation du sol	205
4.3.1.1	Conclusion	208
4.3.2	Impacts des incendies de forêts	209
4.3.2.1	Conclusion	212
4.3.3	Impact de l'érosion	213
4.3.3.1	Conclusion	215
4.3.4	Impact de défrichements	216
4.3.5	Impact de l'urbanisation	217
4.3.5.1	Conclusion	220
Chapitre V : Conclusion générale		222
Références bibliographiques		
Annexes		

Liste des figures

Fig. 1: Éléments d'un signal micro-onde passif (d'après Lillesand & Kiefer, 1979).	20
Fig. 2: Réflectance de l'eau, végétation et sols dans les longueurs d'ondes des bandes Landsat TM (d'après Sleimi, 2018).	24
Fig. 3: Réflectance d'un sol argileux (d'après Herbreteau <i>et al.</i>, 2018).	26
Fig. 4: Réflectance d'un sol (ex : sableux) en fonction de l'humidité (Herbreteau <i>et al.</i>, 2018).	27
Fig. 5 : Images de l'indice de végétation <i>NDVI</i> (1984 et 2020)	30
Fig. 6: Images de l'indice de brûlure <i>NBR</i> (2015 et 2020)	32
Fig. 7: Images de l'indice de sol <i>SAVI</i> (1985 et 2020)	33
Fig. 8: Images de l'indice de l'urbain <i>NDBI</i> (1984 et 2020)	34
Fig. 9: Effet du changement climatique et de l'anthropisation (d'après Heino <i>et al.</i>, 2009)	51
Fig. 10: Effets possibles des changements globaux sur les communautés (Thuiller, 2003).	69
Fig. 11: Répartition des bassins versants de la wilaya de Tlemcen (d'après ANAT, 2010)	112
Fig. 12: Localisation géographique des Monts des Traras (d'après ANAT, 2010).	113
Fig. 13 : Situation géographique de la zone d'étude	114
Fig. 14: Répartition du réseau hydrographique à l'amont de la zone d'étude (d'après ANAT, 2010).	123
Fig. 15: Répartition des bassins versants (d'après ANAT, 2010).	124
Fig. 16: Répartition des ressources souterraines et potentialités (d'après ANAT, 2010).	126
Fig. 17: Variation entre 1984 et 2020 des températures moyennes annuelles (°C).	154
Fig. 18: Variation entre 1984 et 2020 des précipitations moyennes mensuelles et annuelles.	156
Fig. 19 : Diagramme ombrothermique de Gaussen & Bagnouls, établi pour la période (1984).	158
Fig. 20: Diagramme ombrothermique de Gaussen & Bagnouls, établi pour l'année 2020.	159
Fig. 21: Climagramme d'Emberger (d'après Quézel <i>et al.</i>, 1988) pour la période (1984 - 2020). ...	161
Fig. 22: Délimitation de la zone d'étude sur fond d'image satellite Landsat.	167
Fig. 23: Situation administrative de la zone d'étude sur fond d'image satellite Landsat.	168
Fig. 24 : Carte des classes <i>CLC</i> classifiées (1984) insérées sur l'image Google Earth (1984).	175
Fig. 25: Carte du relief sous-marin de proximité de la zone d'étude,	183
Fig. 26: Image du Modèle Numérique de Terrain (MNT) de la zone d'étude,	185
Fig. 27 : Carte hypsométrique de la zone d'étude.	186
Fig. 28: Carte des pentes du terrain	188
Fig. 29: Carte des expositions du terrain	189
Fig. 30: Carte du réseau hydrographique	191
Fig. 31: Carte géologique et lithologique	192
Fig. 32: Carte des types de sols.	194
Fig. 33: Carte des voies d'accès de la zone.	195

Fig. 34: Carte d'Inventaire Forestier National (IFN) de la zone (BNEDER, 2008)	197
Fig. 35: Carte de l'occupation du sol des monts des Traras (année de référence 1984)	198
Fig. 36: Carte de l'occupation du sol des monts des Traras (2020)	202
Fig. 37: Carte de changements entre 1984 et 2020 des classes <i>CLC</i> d'occupation du sol.	206
Fig. 38: Variation entre 1984 et 2020 des classes de l'occupation et couverture des sols de la zone	208
Fig. 39: Carte des incendies de forêts survenus entre 1992 et 2020 dans les monts des Traras.	210
Fig. 40: Evolution entre 1992 et 2020 des surfaces parcourues par les feux de forêts,	211
Fig. 41: Carte des sols nus dans les monts des Traras.	214
Fig. 42 : Carte de répartition des zones urbanisées dans la zone (2020)	218
Fig. 43: Carte de répartition des zones urbanisées dans la zone du littoral (2020)	219

Liste des tableaux

Tab. 1: Exemple de traitement d'image satellite (composition colorée).	38
Tab. 2: Les différentes applications des images du satellite Landsat TM (d'après Hamzaoui, 2005).	40
Tab. 3: Caractéristiques des bandes spectrales des capteurs du satellite Landsat-8.	41
Tab. 4: Comparaison entre les bandes spectrales du Landsat 7 et 8 (http://glovis.usgs.gov/).	41
Tab. 5: Production halieutique nationale (d'après Boulkeddid, 2014).	115
Tab. 6 : Production halieutique (en tonnes) de la wilaya de Tlemcen (Source : http://www.ons.dz/).	116
Tab. 7 : Répartition du foncier agricole de la wilaya de Tlemcen (d'après Khemies, 2013).	129
Tab. 8: Répartition des exploitations agricoles dans les Monts de Traras (d'après Berrayah, 2009).	130
Tab. 9: Répartition de l'effectif des exploitations agricoles (d'après Berrayah, 2009).	130
Tab. 10: Répartition de la nature juridique des terres agricoles par commune (d'après Berrayah, 2009).	131
Tab. 11: Répartition des terres agricoles par commune (d'après Berrayah, 2009).	133
Tab. 12: Production des cultures saisonnières et annuelles par commune (Berrayah, 2009).	135
Tab. 13 : Répartition des formations forestières par commune (d'après Berrayah, 2009).	142
Tab. 14: Répartition des forêts domaniales par commune (d'après Berrayah, 2009).	143
Tab. 15: Répartition des Tranchées Pare Feu (TPF) par commune (d'après Berrayah, 2009).	145
Tab. 16: Répartition des postes de vigie par commune (d'après Berrayah, 2009).	146
Tab. 17: Répartition des points d'eau par commune forestière (d'après Berrayah, 2009).	146
Tab. 18 : Précipitations moyennes saisonnières	157
Tab. 19 : Quotient d'Emberger (Q2) de la station d'observation (1984 à 2020).	160
Tab. 20: Organigramme de l'approche méthodologique utilisée.	168
Tab. 21: Tableau d'assemblage des cartes topographiques utilisées.	166
Tab. 22: Liste des images satellitaires utilisées.	169
Tab. 23 : Classes CLC d'occupation et couverture du sol	173
Tab. 24: Surfaces et taux des classes bathymétriques du relief sous-marin de proximité.	183
Tab. 25: Classes d'altitudes de la zone	186
Tab. 26: Répartition des classes de pentes.	188
Tab. 27: Répartition des classes d'expositions du terrain	190
Tab. 28: Répartition des classes d'ordre d'écoulement des éléments hydrographiques	191
Tab. 29: Répartition des types de substrats géologiques	193
Tab. 30: Répartition des différents types de sols.	194

Tab. 31: Répartition des voies d'accès de la zone d'étude.	196
Tab. 32: Surfaces (ha) et pourcentages (%) des classes <i>CLC</i> d'occupations du sol des monts des Traras (année de référence 1984).	198
Tab. 33: Surfaces (ha) et pourcentages (%) des classes <i>CLC</i> d'occupation du sol dans les Traras occidentaux (1984)	199
Tab. 34: Surfaces (ha) et pourcentages (%) des classes <i>CLC</i> d'occupation du sol dans les Traras centraux (1984)	199
Tab. 35: Surfaces (ha) et pourcentages (%) des classes <i>CLC</i> d'occupation du sol dans les Traras orientaux (1984).	200
Tab. 36: Surfaces (ha) et pourcentages (%) des classes <i>CLC</i> d'occupations du sol/ zone d'étude (2020).	202
Tab. 37: Surfaces (ha) et pourcentages (%) des classes <i>CLC</i> d'occupation sol dans les Traras occidentaux (2020).	203
Tab. 38: Surfaces (ha) et pourcentages (%) des classes <i>CLC</i> d'occupation sol dans les Traras centraux (2020)	203
Tab. 39: Surfaces (ha) et pourcentages (%) des classes <i>CLC</i> d'occupation du sol dans les Traras orientaux (2020)	204
Tab. 40: Evolution des classes <i>CLC</i> d'occupation du sol entre 1984 et 2020 dans la zone d'étude.	206
Tab. 41: Surfaces et taux des surfaces forestières parcourues par les incendies (1992 à 2020)	210
Tab. 42: Surfaces et pourcentages des sols impactés par l'érosion dans la zone (2020)	214
Tab. 43: Surfaces et taux de couverture des zones urbanisées dans la zone (2020)	218

Liste des abréviations

ANAT : Agence Nationale d'Aménagement du Territoire
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
APFA : Accession à la Propriété Foncière Agricole par la mise en valeur
ASAL : Agence Spatiale Algérienne
ASE : Agence Spatiale Européenne
BDG : Base de Donnée Géographique
BNEDER : Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural
CCNUCC : Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CEOS: Committee on Earth Observation Satellites
CIHEAM : Centre International des Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes
CLC : Cover Land Cover
CNMA : Caisse Nationale de Mutualité Agricole
DRS : Défense et Restauration des Sols
DSA : Direction des Services Agricole
ENVI: Environment for Visualizing Images
ERTS: Earth Resources Technology Satellite
ESRI: Environmental Systems Research Institute
ETM+: Enhanced Thematic Mapper Plus
FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
FGCA : Fond de Garantie contre les Calamités Agricoles
FNDA : Fond National de Développement Agricole
GCA : Générale des ConGCA : Générale des Concessions Agricoles
GES : Gaz à Effet de Serre
GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat
GMES: Global Monitoring for Environment and Security
GPS : Système de Positionnement Global (Global Positioning System : GPS)
HCDS : Haut-Commissariat pour le Développement de la Steppe
HR : Haute Résolution spatiale
IDL : Interactive Data Language
IFN : Inventaire Forestier National
INRA : Institut National de Recherches Agronomiques
LBCES : Laboratoire de Biodiversité et Conservation des Eaux et Sols

MATE : Ministère Algérien de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement
MIR : Moyen Infrarouge
MNT : Modèle Numérique de Terrain
MO : Matière Organique
MSS : MultiSpectral Scanner
NASA: National Aeronautics and Space Administration
NBR: Normalized Burn Ratio
NDBI: Normalized Difference Built-up Index
NDSI: Normalized Differencial Salinity Index
NDVI: Normalized Difference Vegetation Index
NDWI : Normalized Differencial Water Index
NRI : Indice de Reprise Normalisé
OLI : Operational Land Imager
ONERC : Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique
ONG : Organisations Non Gouvernementales
PDAU : Plans Directeur d'Aménagement Urbain
PIR : Proche Infrarouge
PNDA : Plan National du Développement Agricole
PRG : Potentiel de Réchauffement Global
RADAR: Radio Detection and Ranging
RBV: Return Beam Vidicon
REM: Rayonnement ElectroMagnétique
RSO : Radar à Synthèse d'Ouverture
SAU : Surface Agricole Utile
SAVI : Soil Adjusted Vegetation Index
SGBD : Système de Gestion des Bases de Données
SIG : Systèmes d'Informations Géographique
SRTM : Shuttle Radar Topography Mission
TIRS : Thermal Infrared SensorTM: Thematic Mapper
TPF: Tranchées Pare Feu
UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature
URSS : Union des républiques socialistes soviétiques
USGS : United States Geological Survey
UTM : Universal Transverse Mercator

Résumé

En Algérie, les zones montagneuses représentent 11% des terres agricoles du pays et abritent 25% de la population. Les effets naturels liés aux changements climatiques et anthropiques provoqués principalement par le développement et l'urbanisation des terres ont entraîné une dégradation de l'environnement dans les montagnes des Traras situés dans les massifs de l'Atlas tellien du nord-Ouest de l'Algérie. Pour comprendre, suivre et évaluer l'impact de l'interaction du climat et de l'homme avec les milieux (biotiques et abiotiques) des Traras, nous avons mené une étude diachronique entre 1984 et 2020 (36 ans) à l'aide d'une cartographie de l'évolution spatiotemporelle de l'utilisation et de la couverture des sols. Pour ce faire, avons utilisé les images optiques de Landsat-4-5-7 et 8, Bing Microsoft, Google Earth Pro, image Radar de MNT fournie par le satellite *SRTM-30m*, documents cartographiques (cartes topographiques et d'inventaires écologiques), de gestion (rapports et bilans) ainsi que des données de terrain acquises à l'aide d'un GPS de marque Garmin. Ces données multisources ont été traitées et analysées dans un environnement SIG à l'aide des logiciels appropriés (Global Mapper, Qgis, ENVI et ArcGIS). L'analyse des résultats a montré qu'entre 1984 et 2020, le secteur de l'agriculture et celui des forêts dans les Monts des Traras sont les plus impactés par le changement spatiotemporel d'affectations des sols. L'érosion et l'urbanisation ont provoqués une perte en surface totale de 8 100 ha de terres agricoles et forestières ce qui correspond à 6 % de la surface totale. A cela s'ajoute une surface totale de 9 200 ha de forêts déjà parcourues par 210 foyers d'incendies en 36 ans. L'urbanisation a substitué 6 300 ha de terres agroforestières dont 27 % à cause de la littoralisation. Cette situation a exacerbé les problèmes d'environnement, d'imperméabilité des sols, d'inondation et de dégradation du milieu naturel.

Mots-clés : Changement climatique ; occupation du sol ; télédétection ; SIG ; Monts des Traras ; Algérie.

Abstract

In Algeria, the mountainous zones represent 11% of agricultural land of the country and are home to 25% of the population. The natural effects related to climate change and anthropogenic caused mainly by the development and urbanization of land have led to environmental degradation in the mountains of Traras located in the massifs of the Tellian Atlas of north-west Algeria. To understand, monitor and evaluate the impact of climate and human interaction with the Trara environment, we conducted a diachronic study between 1984 and 2020 (36 years) using spatiotemporal land use and land cover mapping. To do this, we used Landsat-4-5-7 and 8 optical images, Bing Microsoft, Google Earth Pro, Radar DEM image provided by the SRTM-30m satellite, cartographic documents (topographic maps and ecological inventories), management documents (reports and balance sheets) and field data acquired with a Garmin GPS. These multisource data were processed and analyzed in a GIS environment using appropriate software (Global Mapper, Qgis, ENVI and ArcGIS). The analysis of the results showed that between 1984 and 2020, the agriculture and forestry sectors in the Traras Mountains are the most impacted by spatiotemporal land-use change. Erosion and urbanization have caused a total loss of 8,100 ha of agricultural and forest land, which corresponds to 6% of the total area. In addition, a total area of 9,200 ha of forest has been affected by 210 fires in 36 years. Urbanization has substituted 6,300 ha of agroforestry land, 27% of which is due to coastal massive build-up. This situation has exacerbated environmental problems, soil impermeability, flooding and degradation of the natural environment.

Key words: Algeria; Climate change; GIS; land use; remote sensing; Traras Mountains

ملخص الى اللغة العربية

في الجزائر، يمثل الجبل 11٪ من المساحة الزراعية و25٪ من سكان البلاد. الا ان حاليا تتعرض جبال التل في شمال غرب البلاد الى عوامل التدهور المستمر نتيجة التغيرات المناخية وتنفيذ برامج التنمية والتعمير لسد الحاجيات الاجتماعية والاقتصادية. لمعرفة نوعية، حجم وإثر الضغط على اراضي المنطقة، نبحث بواسطة هذه الدراسة على تشخيص، متابعة، احصاء وتقويم اثار التغيرات والتطورات التي طرئت على وجه مساحات الاراضي لمنطقة الطرارة الواقعة بشمال غرب البلاد ما بين سنة 1984 الى غاية 2020 (36 سنة).

تم اختيار منطقة الدراسة، لمؤهلاتها الجغرافية، المادية، البيولوجية، الاجتماعية، الاقتصادية، البيئية والساحلية. لقد تم الاتفاق على تطبيق مقارنة ومنهجية تركز اساسا على استعمال ادوات التكنولوجيا العالية في تشخيص المنطقة (نضم المعلومات الجغرافية، الاستشعار عن بعد وجهاز GPS). من ضمن المصادر المستعملة في الدراسة، نذكر صور الاقمار الصناعية الامريكية لاندسات (Landsat-4-5-7-8)، صور جوجل ارث برو (Google Earth Pro)، صور ميكروصفت بينق (Bing Microsoft)، صور تضاريس المنطقة اي النموذج الرقمي لمساحة سطح الارض (MNT)، الخرائط الطبوغرافية، الجرد، تقارير وحوصلة حرائق الغابات وبيانات فيلسات الخرجات الميدانية.

المعطيات التي تم جمعها من مختلفة المصادر لقد تمت معالجتها بطرق تقنيات الاستشعار عن بعد ونضم المعلومات الجغرافية بواسطة البرمجيات الحديثة مثل برنامج ArcGis، ENVI، MapInfo و Global Mapper. معالجة النتائج توضح ان خلال فترة الدراسة (36 سنة)، منطقة طرارة فقدت مساحة تقدر ب 8100 هكتار من الأراضي الفلاحية والغابات اي ما يعادل 6٪ من مساحتها الاجمالية الاصلية بسبب التآكل، التعرية، البناء الحضري والريفي. خلال الفترة ضاهرة الانجراف وتعرية التربة ادت الى فقدان مساحة تقدر ب 1800 هكتار، الحرائق اتلفت 9200 هكتار من الغابات والبنائات فوق اراضي المدن والارياف استهلكت مساحة تقدر ب 6300 هكتار من الأراضي الفلاحية والغابية. حوالي 2000 هكتار اي ما يعادل 27 ٪ من مساحات اراضي المنطقة التي حولت الى نسيج عمراني هي متوزعة حاليا على طول الشريط الساحلي للمنطقة.

الوضع الحالي المتمثل في فقدان الاراضي الزراعية والضامنة للامن الغذائي يدع الى تحسيس كافة الاطراف المعنية في تسيير وحماية المنطقة لآخذ القرارات السليمة في كافة مخططات التأقلم مع التغيرات، التهيئة، الحماية والتنمية المستدامة.

الكلمات المفتاحية:

الاستشعار عن بعد، نظم المعلومات الجغرافية، التغيرات المناخية، تغطية الاراضي، جبال طرارة، الجزائر.

Remerciements

Je tiens à remercier M. **Nasr-Eddine TAIBI**, Professeur à l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, qui m'a encadré tout au long de cette thèse et qui m'a fait partager ses brillantes intuitions. Qu'il soit aussi remercié pour sa gentillesse, sa disponibilité permanente et pour les nombreux encouragements qu'il m'a prodigués.

Je remercie M. **Noureddine LETREUCH-BELAROUCI**, M. **Houar MEKKALI** professeurs à l'Université de Tlemcen et M. **Mohamed CHOUIEB** Maître de conférences à l'Université de Mostaganem pour leur encadrement et leur soutien qui m'ont permis de mener à bien ce travail. Cette thèse est le fruit d'une collaboration de plusieurs années avec eux. C'est à ses côtés que j'ai compris ce que la rigueur et la précision voulaient dire.

J'adresse aussi tous mes remerciements à M. **Ameur DIF** et M. **Abdelfathi ALLAM**, chercheurs au Centre des Techniques Spatiales (CTS) d'Arzew pour m'avoir aidé dans la réalisation de cette étude. J'adresse tous mes remerciements à M. **Kaddour Sofiane DAHMANI**, cadre à la conservation des forêts de Tlemcen de m'avoir fait l'honneur de me prêter sa main forte et son soutien lors des étapes cruciales de cette thèse.

Je tiens à remercier M. **Lakhdar KOURI**, professeur à l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, qui m'a toujours aidé et a accepté de présider le jury de soutenance de cette thèse.

J'exprime aussi ma gratitude à M. **Khaladi MEDERBAL**, professeur à l'Université de Tiaret, Monsieur **Tarik GHODBANI**, professeur à l'Université d'Oran, M. **Adda ABABOU**, professeur à l'Université de Chlef et M. **Mohamed Larid**, professeur à l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem et président du laboratoire de biodiversité et conservation des eaux et forêts, qui ont accepté de faire partie du jury en qualité d'examineurs.

Les travaux présentés n'auraient probablement pu aboutir sans la collaboration de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (FSNV) de l'Université de Mostaganem. Je tiens donc à remercier toutes et tous les enseignants chercheurs de l'université pour leur accueil, soutien et conseil. Je tiens particulièrement à remercier tous les enseignants chercheurs du département des sciences agronomiques et des sciences de la mer et de l'aquaculture.

Les données acquises dans le cadre de ce travail n'auraient pu être récoltées sans le concours des acteurs du terrain (services de la wilaya de Tlemcen, direction des services agricoles et conservation

des forêts). Je tiens à les remercier individuellement pour leur contribution à l'élaboration du présent travail.

Un grand merci aussi à mon père, mes frères, ma femme et mes enfants (Imène, Mohamed, Ilies et Roumaïssa) et à mes beaux-frères qui m'ont soutenu et aidé pour mener à bien cette thèse.

Dédicace

Je dédie cette thèse

Aux êtres qui me sont les plus chers au monde,

✚ Mes parents,

✚ Ma petite famille,

✚ Toute la famille.

À tous mes amis.

Que tous ceux qui n'ont pas pu être cités, personnels et enseignants chercheurs de l'université, instituts, centres et écoles de formations croient en mes sentiments les plus respectueux.

Introduction

Aujourd'hui, le changement environnemental est considéré comme une menace mondiale, qui a des répercussions sur différentes régions, notamment les zones montagneuses, espaces écologiquement sensibles et vulnérables. Leur grande sensibilité est due aux changements climatiques. Les incendies de forêts, le défrichement et l'urbanisation sont également des facteurs anthropiques importants qui contribuent à la dégradation de l'environnement. En fait, ces facteurs (naturels et anthropiques) associés provoquent la dégradation des sols et la perte de la biodiversité qui peuvent être un indicateur de changement climatique (Skole, 1994). Cette dégradation accroît la vulnérabilité des sols à l'érosion en particulier dans les régions montagneuses (EEA, 2009). Les montagnes réagissent rapidement au changement climatique, affectant les écosystèmes et le bien-être de la population (Ametys, 2021). Ces dernières sont considérées comme des indicateurs ou des laboratoires naturels pour l'observation du changement climatique et de ses effets (Richard *et al.*, 2010). Les caractéristiques et spécificités naturelles physiques, sociales et économiques de l'Algérie, en font un territoire sensible et vulnérable aux effets et conséquences des changements climatiques (Djamouai, 2008) mais leurs niveaux d'impacts nécessitent un diagnostic, connaissance et analyse utiles à la prise de décision surtout dans l'adaptation aux nouvelles conditions climatiques. Les facteurs de causalité et leurs impacts sont depuis longtemps mal perçus par la société locale. La présente étude est une contribution à l'analyse et la caractérisation de l'impact du changement climatique à l'échelle locale. Pour se faire, les Monts des Traras situés au Nord-Ouest du pays ont été choisis comme zone d'étude. La zone est soumise à un climat méditerranéen semi-aride chaud, les précipitations ont diminuées de 10% et les températures ont augmentées (Nichane *et al.*, 2013). La zone jouit de terres agricoles, forêts, espaces urbains et d'une zone côtière qui s'étend sur 70 km le long de la Méditerranée (Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural : BNEDER, 2008). L'objectif de l'étude est d'évaluer l'impact du changement causé par l'interaction du climat et de l'homme avec les milieux naturels de la zone durant la période 1984 à 2020.

Pour atteindre cet objectif, nous tenterons de réaliser une spatiocartographie diachronique entre 1984 et 2020 de l'occupation et de la couverture des sols des Monts des Traras afin d'identifier les changements d'origine naturelle et anthropique (ESA, 2018) et leurs conséquences sur les milieux. Ces données et informations sont souvent basées sur la télédétection (Olofsson *et al.*, 2013). L'analyse spatiale montre que la zone est située entre les latitudes 35° 23' et 34° 88'N et les longitudes 2°21' et 1°46'O. Le territoire d'intérêt s'étend sur 17 communes appartenant à la wilaya de Tlemcen (ANAT, 1989) et couvre une superficie de 129 500 ha (1 295 km²). L'analyse du MNT

montre que le relief est accidenté, montagneux et sillonné par un réseau hydrographique important dont l'ensemble se déverse dans la mer.

Les résultats obtenus ont permis d'élaborer deux cartes d'occupation des sols pour les années 1984 et 2020 ainsi qu'une carte de changement spatiotemporelle d'affectation des sols, lesquelles constituent une mise à jour de la base de données géographiques et alphanumériques pour la zone. En conséquence, les résultats ont également permis d'identifier, de localiser et de quantifier les problèmes environnementaux liés à l'érosion, l'incendie de forêts et l'urbanisation des terres agricoles et forestières qui affectent la zone et qui ont été mal perçus par la société. Les résultats pourraient être mis à la disposition des usagers et des gestionnaires dans une perspective de développement durable.

Pour mener à bien l'étude, le présent travail a été structuré en cinq parties. Dans la première partie, nous avons élaboré une synthèse bibliographique sur les outils d'investigation (SIG et télédétection). La deuxième partie est focalisée sur une synthèse bibliographique sur les causes, les effets et les impacts des changements climatiques à l'échelle globale, régionale et locale. Dans la troisième partie, les moyens et les méthodes utilisés sont énumérées et décrits. Dans la quatrième partie, nous avons discuté les résultats d'analyse topographique, thématique et statistique qui mettent à jour les informations sur la zone. Dans la dernière partie, une conclusion et une recommandation ont été formulées sur l'état actuel et les mesures d'adaptation à prendre dans les décisions d'aménagement et de gestion de la zone.

Chapitre I : Synthèse bibliographique sur les outils de la géomatique

1.1 Géomatique

Le mot géomatique fut utilisé pour la première fois par un ingénieur géographe Bernard Dubuisson en 1975. Sa définition est comme suit : Discipline ayant pour objet la gestion des données à référence spatiale et qui fait appel aux sciences et aux technologies reliées à leur acquisition, leur stockage, leur traitement et leur diffusion (Chakroun, 2014). La géomatique signifie tout simplement l'application de l'informatique à la géographie. Elle est un champ d'activités qui intègre, selon une approche systématique, l'ensemble des moyens d'acquisition et de gestion des données à référence spatiale requis pour effectuer les opérations scientifiques, administratives, légales et techniques dans le cadre du processus de production et de gestion de l'information sur le territoire (Paegelow, 2004).

La géomatique regroupe l'ensemble des outils et des méthodes permettant de représenter, d'analyser et d'intégrer des données géographiques. Elle fait appel à des techniques informatiques spécifiques, notamment les SIG, le traitement d'images, la photo-interprétation par ordinateur et la cartographie assistée par ordinateur pour l'acquisition des données, leur stockage, leur traitement et leur diffusion (Bergeron, 1993).

La géomatique représente un outil privilégié pour traiter, intégrer et gérer des informations touchant plusieurs secteurs d'activités humaines, dont les pratiques d'occupation et d'utilisation du territoire et le développement de mesures de sécurité publique, l'environnement et l'agriculture. Elle permet d'identifier, de prévenir les rendements de cultures, détecter les maladies, le stress hydrique. Elle permet aussi de suivre et surveiller les phénomènes dynamiques ou évolutifs (désertification, envahissement acridien, ...etc.). La géomatique aide les forestiers dans leur domaine de la foresterie où la gestion du territoire devient de plus en plus complexe, elle offre un meilleur soutien à la gestion opérationnelle des inventaires forestiers, à la localisation, l'entretien des infrastructures et des équipements forestiers. Elle permet d'établir aussi les potentiels forestiers, les plans de coupe et de régénération de la forêt. De plus, un système géomatique est un outil essentiel permet de reconnaître tout ce qui est voisin de l'entité spatiale forestière.

La géomatique, devient actuellement une activité de recherche et de développement car elle forme un réseau de connexions entre différents domaines scientifiques, technologiques et d'applications.

Parmi les outils qu'on peut les utiliser en géomatique on cite en particulier :

- a. Système d'Information Géographique (SIG).

- b. Système de Positionnement Global (GPS).
- c. Couches d'informations géoréférencées,
- d. Différents logiciels d'analyse et de traitement des données multi sources.

Les outils peuvent utiliser et intégrer les résultats du traitement des données issues de la télédétection spatiale dans les bases de données géographiques. Par cette possibilité d'option, la géomatique peut répondre aux besoins de suivi, la surveillance, la gestion, la prévention des risques, l'aménagement et le développement durable du milieu.

L'intégration des résultats de télédétection dans un SIG permettra d'analyser plus finement les changements d'occupation des sols observés (Lagabrielle, 2003).

La géomatique vient en appui aux planificateurs pour observer et mesurer les éléments constitutifs des territoires (Tchotsoua *et al.*, 2009). La géomatique permet de changer les options d'aménagement et d'en prévoir les impacts avec une grande précision. La présentation d'information aux décideurs nécessite la manipulation d'un jeu de plusieurs cartes et de documents. Les cartes thématiques peuvent être élaborées à partir des données de l'interprétation des photographies aériennes ou des images satellitaires. La géomatique est devenu un outil de synthèse précieux qui offre un potentiel d'utilisation très vaste surtout en sciences de la Terre. Elle a pour but principal de faciliter la compréhension de l'aménagement et la gestion des ressources naturelles.

1.1.1 Systèmes d'Information Géographiques (SIG)

Le SIG est un système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement contribuant notamment à la gestion de l'espace (Koehl, 2006), il permet aussi le recueil, la saisie, la codification, la correction, la manipulation, l'analyse et l'édition graphique des données géographiques spatiales (points, lignes, polygones et volumiques). Le SIG est un ensemble d'équipements informatiques, de logiciels et de méthodologies pour la saisie des données, dont la majorité est spatialement référencée, destiné à la simulation de comportement d'un phénomène naturel, à la gestion et à l'aide à la décision (Caloz & Collet, 2001).

1.1.1.1 Historique des SIG

Les premiers SIG opérationnels sont apparus dans les années 1960 au Canada et aux Etats Unis. Le pionnier est indiscutablement le *Canadian Geographic Information System* (1964) qui rassemble des informations relatives à l'usage du sol, et des données concernant l'environnement, sur une grande partie du territoire canadien. Deux autres réalisations avant-gardistes méritent d'être

mentionnées : le *New York Land Use Information System* (1967) et le *Minnesota Information System* (1969). Depuis cette époque, les coûts et les difficultés techniques ont considérablement diminué (Chakroun, 2014).

1.1.1.2 Fonctionnalités des SIG

Les SIG offrent plusieurs fonctionnalités. Une première fonctionnalité consiste à améliorer l'accès aux données géographiques dans la base, ce qui consiste à organiser des indexes spatiaux et à traiter les requêtes dans ces indexes (Faiza *et al.*, 2017). Parmi les fonctionnalités, nous citons la collection de données informatives projetée dans un espace (modèle) géographique structurée pour d'éventuelles demandes d'extraction aisées de lectures adoptées de synthèses et de consolidation utilisable d'une manière pertinentes pour des fins d'aide à la décision (Tamali, 2013). Les fonctions d'un SIG sont fondamentalement celles d'un SGBD. Elles comprennent le stockage, l'édition, l'extraction des données et la mise à jour. La gestion de la base de données est assurée par un SGBD. Le SGBD doit assurer ce qui suit :

- a. Des fonctionnalités de gestion responsables du maintien et de l'exploitation d'une base de données (saisie, correction, suppression, extraction, interpolation...).
- b. Des tâches liées à la topologie (recherche sur la localisation, sur l'inclusion, ...etc.) mais aussi la gestion des droits d'accès.

Parmi les principales fonctions d'un SIG, on peut celle qui peut assurer d'acquérir des données géographiques ou alphanumériques, gérer des données, traiter et analyser des données, créer de nouveaux objets ou travailler sur ceux existants.

La Base de Donnée Géographique (BDG) est constituée d'un ensemble numérique composé de cartes et d'informations associées. Cette dernière décrit les objets à la surface de la terre. Elle est formée de deux éléments :

- a. Une base de données décrivant les objets spatiaux (localisation, forme) par exemple, un groupe ou ensemble de parcelles ou sous parcelles,
- b. Une autre définissant la superficie ou le volume de la parcelle ou la sous parcelle, la nature des objets thématiques qui occupent le sol.

L'acquisition se fait par la saisie numérique d'une information à caractère spatial. Elle s'effectue généralement à partir des documents cartographiques. Celle-ci permet de convertir l'information analogique d'une carte en une information numérique.

Les SIG contiennent non seulement un SGBD traditionnel, mais aussi une variété d'outils capables de gérer à la fois les dimensions thématiques et spatiales de l'information.

A l'aide d'un SGBD, il est possible d'introduire des informations thématiques, sous forme de tables ou de statistiques et subséquemment pour extraire des éléments spécifiques sous les deux formes. Le SGBD permet l'analyse du contenu thématique. Le produit final, la carte, sera certes spatial, mais l'analyse elle-même n'a pas de caractéristiques spatiales. Ainsi, la flèche bidirectionnelle qui lie le SGBD à la composante thématique de la BDG met en évidence ce caractère spatial de l'analyse.

L'utilisation de photographies aériennes ou d'images satellitaires peut être une aide précieuse dans le maintien d'une base de données fiable et actualisée.

L'analyse spatiale de l'information est une extension des capacités d'interrogation des bases de données traditionnelles, prenant en compte la localisation des observations.

Le système d'analyse spatiale a une liaison bidirectionnelle avec la BDG pour effectuer un traitement de type analytique. Ainsi, il prélève à la fois l'information de la BDG et la complète à l'aide des résultats de l'analyse. Les capacités analytiques d'un système d'analyse spatiale et du SGBD jouent un rôle essentiel dans l'extension de la base de données, à travers les connaissances sur les relations qui existent entre les objets.

Les techniques de traitement d'images telles que les procédures de classification automatique permettent de transformer les données optiques de télédétection en une information au contenu thématique exploitable.

La représentation cartographique s'affiche à l'écran et par des simples manipulations, l'opérateur peut sélectionner des éléments de la BDG aux fins de visualisation, d'amélioration ou d'impression sur des supports film ou papier.

1.1.1.3 Concepts généraux de la Base de Données Géographiques

On observe qu'une Base de Données Géographiques (BDG) ou données complètes sur une région d'étude, est organisée de façon comparable à un ensemble de cartes. Les systèmes en mode objet s'approchent encore plus de cette logique avec le concept de couvertures (couches) correspondant à un ensemble de cartes qui contiennent la description d'objets spatiaux et leurs tables d'attributs associés. Ces couvertures se différencient cependant des cartes de deux manières ; d'abord parce qu'elles ne contiennent généralement qu'un seul type d'objets spatiaux tels que les courbes de

niveaux, voirie, ...etc. Ensuite, parce qu'à chaque objet peut être associée une série d'attributs décrivant les différentes caractéristiques thématiques.

Les systèmes en mode image utilisent eux aussi cette logique des cartes, mais subdivisent l'information en une série de couches. Chaque couche contient les variations spatiales d'un seul phénomène – une seule variable. Ainsi, on aura une couche des types de sol, une autre pour les routes et une autre pour l'utilisation du sol. Dans certains cas, les systèmes raster peuvent associer une couche identifiant les objets spatiaux à une table d'attributs (chaque cellule aura la valeur correspondante à l'objet spatial auquel elle appartient). Habituellement, on a une couche par variable et la représentation cartographique fait appel à une combinaison de ces couches.

Au-delà des différences qui existent entre l'approche image par couches et celle objet par couverture, on retrouve une organisation de la base donnée en carte thématiques élémentaires.

Les structures en couches ou en couvertures se distinguent des cartes traditionnelles par un aspect important : lorsque des cartes sont codées numériquement (dans l'étape de numérisation), les différences d'échelle de projection sont éliminées et les données font référence à l'unité de terrain. Les couches peuvent être combinées aisément, sans problèmes pour l'impression sur papier. Le problème de la résolution de l'information reste cependant entier et de ce fait les résultats obtenus par un SIG sont sensibles aux erreurs et leurs combinaisons ainsi qu'à la précision de l'information dans chaque couche.

1.1.1.4 Organigramme d'un SIG

L'aspect informatique est représenté d'une part par l'équipement qui comprend en général une unité centrale de traitement et les périphériques (instruments de numérisation, unité d'affichage de haute qualité, unités de sortie telles que les imprimantes et les tables traçantes). Chakroun (2014) montre que le logiciel SIG comprend en général cinq modules cités comme suit :

- a. Module de saisie et vérification de données,
- b. Module de stockage et de gestion de la base de données,
- c. Module de sortie et de représentation des données,
- d. Module de transformation des données,
- e. Module d'interaction avec l'utilisateur.

1.1.1.5 Logiciel SIG

Le logiciel ArcGIS est une suite de logiciels d'information géographique (ou logiciels SIG) développés par la société américaine *Environmental Systems Research Institute (Esri)*. ArcGIS Desktop comprend une suite d'applications intégrées : ArcMap, ArcCatalog et ArcToolbox. A l'aide de ces trois applications, on peut effectuer toutes les tâches SIG, de la plus simple à la plus avancée, y compris la cartographie, la gestion des données, l'analyse géographique, la mise à jour des données et le géo traitement, ...etc. L'application ArcMap représente l'application centrale dans ArcGIS Desktop. Il s'agit de l'application SIG utilisé pour toutes les tâches de cartographie et de mise à jour ainsi que pour les analyses associées aux cartes. L'application ArcCatalog facilite l'organisation et la gestion de toutes les données SIG. Elle comprend des outils de navigation et de recherche des informations géographiques, d'enregistrement et de visualisation des métadonnées, de visualisation rapide de tout jeu de données et des outils de définition de la structure des couches de données géographiques. L'application ArcToolbox ; est une boîte à outils permettant d'effectuer des conversions et de transferts de format et aussi de projection. Est une application simple contenant de nombreux outils SIG utilisés dans le géotraitement. Il y a deux versions d'ArcToolbox. L'ArcToolbox intégral qui accompagne ArcInfo et une version plus légère qui accompagne les applications ArcView et ArcEditor.

1.1.1.6 Applications des SIG

Un SIG a pour vocation de produire les éléments spatiaux nécessaires à l'inventaire des connaissances sur une zone d'étude, de contribuer à l'analyse des processus spatio-temporels qui s'y déroulent et d'aider aux prises de décision des gestionnaires (Gourmelon, 2003).

Les systèmes d'information géographiques (SIG) sont utilisés dans une variété de domaines, notamment la cartographie, la gestion de l'environnement, l'aménagement du territoire, la modélisation spatiale, les études statistiques, le tourisme, le géomarketing, la gestion des risques naturels, l'archéologie, la gestion des déchets, l'urbanisme, les transports, la logistique, la santé, l'armée, l'aide humanitaire et l'exploitation des ressources (Denis, 2021).

1.1.1.7 Utilités des SIG

Les SIG peuvent y contribuer soit par la production de produits finalisés (cartes, statistiques, simulations...) soit en tant que support d'informations dans des systèmes opérationnels de décision (Gourmelon, 2003). Un bon SIG est capable de transformer les données interpolées d'une structure dans une autre et de visualiser ces données sous forme de cartes en isocontours ou de vues en trois dimensions. Le SIG permet d'inventorier les constituants d'un écosystème (faune et flore) et de

comparer leur répartition avec des paramètres géoréférencés (geomorphologie, nature et qualité du sol, présence d'espèces, ...etc). Les recensements de populations animales ou végétales ont toujours nécessité une représentation cartographique, l'utilisation d'un SIG apporte une souplesse d'utilisation et une évolution que ne permettent pas les représentations sur papier. Les SIG permettent d'intégrer les données de télédétection à des données provenant d'autres sources pour obtenir plus facilement les informations pertinentes dont on a besoin. Ils aident à l'analyse spatiale et permettent de gérer un grand nombre de données.

Chakroun (2014) a défini et hiérarchiser les objectifs du SIG comme suit :

- a. Définir les bases de la référence spatiale,
- b. Développer et utiliser des outils pour localiser les différents éléments du territoire, existants ou à mettre en place,
- c. Intégrer ou rendre intégrables les données obtenues en fonction des systèmes de référence choisis,
- d. Offrir des données et informations de qualité,
- e. Améliorer leur traitement, stockage et diffusion grâce à l'informatique,
- f. Analyser différents scénarios décisionnels à partir des informations obtenues.

Parmi les avantages du SIG, Chakroun (2014) cite ceux qui suivent :

- a. Les données sont gardées sous forme physique (support magnétique),
- b. Les données peuvent être stockées et extraites à un faible coût,
- c. L'accès aux données est facile,
- d. Mesures sur les cartes, les superpositions, les transformations, la conception graphique,
- e. Des tests analytiques de modèles à caractère géographique peuvent être réalisés et répétés facilement,
- f. L'étude des changements (études diachroniques) intervenues entre plusieurs dates peuvent être facilement réalisés,
- g. La conception graphique interactive et les traceurs automatisés peuvent être utilisés pour la conception et la production cartographiques.

1.1.1.8 Conclusion sur les SIG

Les SIG sont les outils cartographiques les plus utilisés pour la compréhension des complexités des systèmes qui nous entourent. Ces systèmes font généralement allure de collection à gros volume de données relatives à un domaine (ancien / nouveaux) sinon déduits d'une résolution résultat d'une approche thématique. Le principal atout des SIG est leur rôle intégrateur de

données, il permet de réunir les différentes formes des données à référence spatiale (Ariaux, 2000).

L'outil SIG reste jusqu'à lors, un outil préféré pour la conception des idées et des simulations des situations selon des stratégies locales ou globales (Tamali, 2013). Les SIG sont devenu donc de plus en plus utilisés, en particulier comme support à la prise de décision dans des problèmes où la dimension spatiale est importante (Sobrie *et al.*, 2013).

1.1.2 Télédétection

Les publications se multiplient et permettent de mieux apprécier l'utilité de la télédétection. Elle est devenue une nécessité et un besoin à la fois surtout quand on veut manipuler l'information géographique contenue dans l'image satellitaire.

La télédétection s'appuyant sur des mesures au sol et combinée aux SIG, apporte une contribution décisive aux diverses questions que se posent en matière d'environnement, d'aménagement du territoire, d'exploitation rationnelle des ressources naturelles ou de prévention contre les catastrophes naturelles.

1.1.2.1 Historique

Le terme "télédétection" a été inventé en 1960 par Evelyn Pruitt du Bureau de la Recherche Navale des Etats-Unis mais l'histoire de la télédétection remonte bien plus loin, citons par exemple le lancement de Spoutnik I par l'URSS en 1957 a marqué le début de l'ère aérospatiale. En 1959, le satellite américain *Explorer VI* a transmis la première image de la terre vue de l'espace.

Le satellite météorologique TIROS1 a été lancé dans le cadre des études de la végétation et de la détection des maladies des plantes.

En 1973, les Etats-Unis ont lancé une station orbitale, Skylab, qui a reçu des astronautes en 1973 et 1974. Les capteurs utilisés comprenaient deux appareils photographiques, qui ont pris 35 000 photographies, et un radiomètre multibande (13 canaux) qui a enregistré 800 km de bande magnétique. Trois ans plus tard l'URSS a lancé la station Soyuz dotée d'un appareil photographique semblable au matériel principal à bord du Skylab.

Les années 80 ont été marquées par une avancée significative au niveau de l'élaboration des techniques et outils de traitement d'images qui a conduit notamment au montage d'un grand nombre de projets basés sur l'utilisation des données spatiales. L'Afrique se dotait ainsi, dans les années 90, de centres nationaux, sous régionaux et régionaux spécialisés en la matière.

Depuis longtemps, la télédétection satellitaire constitue un outil moderne et efficace pour l'étude de l'activité végétale et les différents facteurs qui influencent et celle-ci a permis d'ouvrir de larges perspectives pour des applications thématiques très variées (Minvielle & Souiah, 2003).

Quelques dates résument l'historique de la télédétection spatiale :

- ✓ 1839 : Mise au point de la photographie (NIEPCE, DAGUERRE).

- ✓ 1844 : Premières photographies aériennes réalisées depuis un ballon par G.F. Tournachon dit NADAR,
- ✓ 1856 : Le même NADAR fait breveter l'installation d'une chambre photographique à bord de la nacelle d'un ballon pour la prise de photographies aériennes verticales,
- ✓ 1858-1898 : LAUSSEDAT expérimente systématiquement l'utilisation de la photographie aérienne (ballon) en cartographie et met au point les méthodes de la photogrammétrie,
- ✓ 1909 : Premières photographies depuis un avion (WRIGHT).
- ✓ 1914-1918 : Utilisation intensive de la photographie aérienne comme moyen de reconnaissance pendant la 1ère guerre mondiale. - 1919 : Mise au point du premier restituteur stéréoscopique moderne (appareil de POIVILLIERS) pour l'utilisation des photographies aériennes en cartographie topographique,
- ✓ 1919-1939 : Essor de la photographie aérienne pour la cartographie et la prospection pétrolière (Moyen-Orient).
- ✓ 1940 : Apparition des premiers radars opérationnels en Grande-Bretagne (bataille d'Angleterre). - Depuis 1945 : Développement continu de la photographie aérienne comme méthode opérationnelle de cartographie et de surveillance de l'environnement. Perfectionnement des appareils et des émulsions (infrarouge).
- ✓ 1957 : Lancement de Spoutnik 1, premier satellite artificiel,
- ✓ 1960-1972 : Développement parallèle de la technique des satellites et des capteurs (mise au point des radiomètres et radars imageurs).
- ✓ 1960 : Lancement de Tiros, premier satellite météorologique équipé de caméras de télévision pour le suivi des masses nuageuses,
- ✓ 1964-69 : Embarquement d'appareils photographiques à bord d'engins spatiaux habités,
- ✓ 1972 : Lancement d'ERTS, rebaptisé Landsat 1, premier satellite spécialisé de télédétection des ressources terrestres,
- ✓ 1974-78 : Mise en place, sous l'égide de l'Organisation Météorologique Mondiale, du réseau des satellites météorologiques géostationnaires,
- ✓ 1978 : Lancement de Seasat, premier satellite spécialisé dans la télédétection de l'océan, équipé, entre autres capteurs, d'un radar, (satellite Nimbus-7).
- ✓ 1982 : Apparition de la haute résolution spatiale (HR) pour l'observation de la Terre : lancement de Landsat 4, équipé du radiomètre « Thematic Mapper ».
- ✓ 1986 : Lancement de SPOT 1 (Système Probatoire d'Observation de la Terre). Satellite français de télédétection. Début de l'exploitation commerciale des images (Société Spotimage).

- ✓ 1990 : Lancement du satellite SPOT 2,
- ✓ 1991 : Mise en orbite et début de l'exploitation du satellite européen ERS-1, équipé de plusieurs capteurs passifs et captifs pour l'étude de l'environnement global de la planète,
- ✓ 1991 : Lancement du satellite NOAA 12,
- ✓ 1992 : Mise en orbite et début de l'exploitation du satellite européen ERS-2,
- ✓ 1993 : Lancement du satellite SPOT 3,
- ✓ 1994 : Lancement du satellite NOAA 14,
- ✓ 1995 : Lancement du satellite Indian Remote Sensing (IRS).
- ✓ 1998 : Lancement du satellite SPOT 4,
- ✓ 1999 : Lancement par la société privée Space Imaging Corp. du satellite IKONOS, offrant des images à très HR (1 m).
- ✓ 2002 : Lancement du satellite Spot 5,
- ✓ 2011 : Lancement des satellites Pleiades,
- ✓ 2012 : Lancement du satellite Spot 6,
- ✓ 2013 : Lancement du satellite Landsat 8,
- ✓ 2014 : Lancement du satellite Sentinel 1A,
- ✓ 2015 : Lancement du satellite Sentinel 2A,
- ✓ 2016 : Lancement du satellite Sentinel 3A et 1B,
- ✓ 2017 : Lancement du satellite Sentinel 5 Precursor,
- ✓ 2021 : Lancement du satellite Landsat 9.

1.1.2.2 Définition

La télédétection, littéralement la détection à distance (« *remote sensing* » en anglais) est « l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci » (Girard & Girard, 2010). On entend par télédétection l'acquisition de renseignements concernant un objet ou un événement sur la base de mesures effectuées à distance. La télédétection est un moyen d'appréhender les objets et d'étudier leurs propriétés spectrales. Cela se fait en étudiant les caractéristiques des ondes électromagnétiques réfléchies ou émises par ces objets. Elle est basée sur le principe que chaque objet absorbe, émet, diffuse et réfléchit des rayonnements qui lui sont propres et que l'on peut enregistrer et analyser.

Alors que l'acteur « chercheur » la considère comme étant un outil défini par « l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer les caractéristiques physiques et biologiques

d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci » (Kergomard, 1990).

Bonnet & Rochon (1992) résume le principe de la télédétection comme on utilise les propriétés physiques des objets observés, en particulier leurs propriétés optiques, pour acquérir de l'information sur la nature des objets.

1.1.2.3 Sources d'énergie

Deux types de capteurs existent en télédétection, les capteurs actifs et les capteurs passifs. Les capteurs passifs utilisent la réflexion des rayons solaires alors que les capteurs actifs utilisent la réflexion des ondes émises par le satellite. La télédétection est dite passive quand le capteur n'émet aucune énergie (par ex. capteur optique passif avec les canaux Bleu, Vert, Rouge...) et active lorsque le capteur émet sa propre source d'énergie avant réception (par ex. capteur *Radio Detection and Ranging (RADAR)* en bandes L, C, ou X (Herbreteau *et al.*, 2018).

Sources naturelles

Les rayonnements qui nous intéressent dans les échanges radiatifs entre le soleil, le système terre-atmosphère et les satellites s'étendent sur un large spectre des ondes électromagnétique de 0.35 μm à 1 m.

Les expériences en télédétection ont montré que les objets ont des comportements spécifiques dans les différentes longueurs d'ondes, en fonction de leurs propriétés physiques, chimiques et morphologiques. Chaque élément de la surface de la terre peut d'une part absorber, transmettre ou réfléchir les rayonnements envoyés par une source électromagnétique naturelle on parle d'un capteur optique ou télédétection passive. Le capteur embarqué sur l'engin spatial est un appareil qui détecte les Rayonnements ElectroMagnétiques (REM) émis ou réfléchis et les convertit en une valeur physique qui peut être enregistrée et traitée. Les capteurs passifs, qui enregistrent le REM réfléchi ou émis à partir de sources naturelles. Ils mesurent la radiation produite naturellement (l'énergie solaire renvoyée, soit l'énergie terrestre émise). Le corps noir est le radiateur parfait, car il émet toute l'énergie absorbée. Le rayonnement du soleil correspond à peu près à celui du corps noir. La terre représente aussi une source d'énergie qui émet essentiellement dans l'infrarouge lointain. Tous les objets se trouvant sur la surface de la terre émettent des radiations lorsque leur température est supérieure à $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pendant la construction des capteurs, on assortit autant que possible les détecteurs de la sensibilité. Comme celle-ci se modifie peu à peu avec le temps, il arrive qu'un détecteur devient plus ou moins sensible à la radiance qu'un autre. En conséquence, la même cible sera représentée avec des luminosités différentes par des détecteurs à sensibilités différentes. Les données auxiliaires du capteur sont utilisées au stade de prétraitement (au sol) pour corriger le défaut d'image.

Sources artificielles

Les bandes des capteurs *RADAR* sont ainsi peu ou très peu sensibles aux conditions atmosphériques à la différence des capteurs optiques pour lesquels les nuages, en particulier, masquent le sol. Dans le cas des capteurs *RADAR*, on mesure la part retransmise (rétrodiffusée) par les objets tout en mesurant le temps de trajet des ondes et les changements éventuels de polarisation de l'onde émise (Herbreteau *et al.*, 2018). Les capteurs actifs peuvent émettre ses propres rayonnements ou énergies artificiels on parle télédétection active ou radar. Les capteurs actifs, qui illuminent un objet avec leur propre source de rayonnement et enregistrent "l'écho". Ils transmettent la radiation pour "illuminer" la surface et pour recevoir et mesurer la quantité de radiation qui est réfléchie.

Les sources d'énergies sont constituées par différents appareils tels que les lasers et les radars. Elles permettent la production artificielle d'un rayonnement et l'enregistrement du signal réfléchi par la surface visée. Les capteurs actifs se composent d'un émetteur, qui est la source du rayonnement, et d'un détecteur qui mesure le rayonnement de retour de la surface observée. Le capteur actif le plus utilisé en télédétection est le radar imageur à visée latérale. Le grand avantage du radar est d'utiliser des longueurs d'ondes très grandes, entre 0,8 cm et 1 m, pour lesquelles l'atmosphère, y compris les nuages, est complètement transparente ; les radars sont des capteurs « tous temps », particulièrement intéressants dans les régions du monde où la nébulosité est très fréquente, et pour les applications qui nécessitent d'obtenir des images à des dates et heures bien déterminées (Kergomard, 1990). Les caractéristiques générales des longueurs d'ondes et fréquences radar utilisées en télédétection sont résumées dans l'annexe 1.

Dans les conditions nuageuses qui font obstacle aux moyens de télédétection conventionnels, la fiabilité de l'acquisition des données prend plus d'importance que la résolution ou la fréquence. Un capteur actif est peut-être la seule source possible de données et sa fiabilité facilitera la régularité de la surveillance. Le radar est tout indiqué pour ce rôle et un capteur aéroporté suffit pour les exigences de HR telle que la distinction du couvert. Ce type de données peut être utilisé pour une carte initiale, et les données à faible résolution pourront servir aux mises à jour de cette carte. Les

capteurs *RSO* tel Radarsat sont plus utiles dans les cas où les couches nuageuses persistent et limitent l'utilité des capteurs optiques.

L'interprétation du type de couvert forestier avec des données radars est très similaire à l'interprétation d'images multi spectrales. Les mêmes éléments d'interprétation sont utilisés (ton, texture, forme, motif, grandeur, association) mais la texture joue un rôle de première importance dans la distinction des différents types de forêts. La visualisation des images en stéréo aide à différencier la hauteur relative des arbres et à définir les rivières qui ont une végétation spécifique sur leurs rivages.

Les résultats expérimentaux des tests portés sur deux espèces résineuses (*Pin maritime* et *Pin noir d'Autriche*) obtenus avec le capteur Hutsat (bande X 2,1 cm et bande C 5,6 cm) par Martinez (2000) montrent qu'on peut estimer la hauteur des arbres avec une précision absolue de l'ordre du mètre, comme on peut déduire de ces estimations d'autres variables tel que le volume de bois sur pied et l'indice de fertilité locale.

Des données de l'image Radarsat ont montrés que les plantations d'Eucalyptus d'Algorta en Uruguay en 1998 présentaient une tonalité plus brillante et une texture plus grossière que les plantations de pins, ce qui permet la classification des espèces. Les images de Radarsat ont considérablement facilité la classification des espèces forestières, notamment la distinction entre les plantations d'eucalyptus et les plantations de pins qui génèrent beaucoup de confusion lorsque la classification est faite à partir de données optiques.

Les résultats préliminaires ont démontré que les images Radarsat sont aussi très utiles pour la détection de nouvelles plantations forestières ; ce qui permet, avec l'aide des cartes d'utilisation des sols d'obtenir une mise à jour rapide des activités de reboisement.

L'information polarimétrique c'est à dire les données acquises par l'antenne du *Radar* à Synthèse d'Ouverture (*RSO*) rehausse fortement la distinction entre les espèces forestières lors des conditions de feuillaison et de défeuillaison ; et permet la démonstration de l'effet significatif de l'angle d'illumination *RSO* sur le mécanisme de diffusion des forêts (Touzi *et al.*, 2004).

La transparence de l'atmosphère aux micro-ondes ou hyperfréquences permet au radar d'acquérir les données quelques soient les conditions climatiques. Les micro-ondes pénètrent les nuages et ne sont diffusées ni par la brume ni par la pluie.

Les capteurs actifs (Radar, Sonar ...etc.) peuvent illuminer un objet avec leur propre source de radiation. L'illumination peut soit induire un objet à émettre une radiation (fluorescence), soit lui faire réfléchir la radiation produite par le capteur. Les capteurs actifs sont souvent utilisés quand la radiation naturelle dans une bande particulière du spectre n'est pas suffisante pour illuminer convenablement la cible, autrement dit quand elle est au-dessous du seuil signal-bruit.

1.1.2.4 Notions de résolution

La résolution fait appel à la notion du pixel. Le pixel étant la plus petite surface distinguée par le capteur. Par exemple, le satellite Landsat *Thematic Mapper (TM)* distingue des surfaces d'à peine 30 m × 30 m. Depuis 1972, les progrès dans ce domaine sont remarquables : on est passé d'une résolution de 80 m du capteur *Multi Spectral Scanner (MSS)* à 30 m (*TM*) et à 20 et 10 m (*SPOT*) (Kergomard, 1990).

Résolution spatiale

La télédétection produit des indicateurs dont la précision dépend de la résolution spatiale des capteurs utilisés (Forman & Godron, 1986). La résolution spatiale correspond à la dimension des pixels qui constituent les éléments de base d'une image (<https://www.rncan.gc.ca/cartes-outils-et-publications/>...). Une résolution spatiale de 10 à 30 m semble adéquate pour la cartographie du couvert forestier, l'identification, la surveillance des coupes à blanc, la cartographie des zones en feu ou brûlées, la collecte de l'information des récoltes forestières et l'identification des dommages subis par les forêts.

Résolution spectrale

La résolution spectrale d'un capteur est son aptitude à différencier les longueurs d'ondes du spectre électromagnétique. Elle fait référence au détail perceptible dans une image. La résolution spectrale correspond au nombre et à la finesse des bandes spectrales auxquelles le capteur est sensible (<https://www.rncan.gc.ca/cartes-outils-et-publications/>).

La résolution spectrale fait référence à la largeur ou l'étendue de chaque bande enregistrée. Les classes spectrales sont des groupes de pixels qui ont les mêmes caractéristiques (ou presque). La surface d'eau peut contenir plusieurs sous classes spectrales avec des variations spectrales définies. Les sous classes spectrales peuvent être causées par des variations des propriétés physico-chimiques de l'eau, sa couleur, sa température, sa salinité, sa turbidité ou ses activités biologiques.

Chaque cible thématique est caractérisée par une signature spectrale. Elle ne réagit pas de la même façon dans les différents canaux. L'analyse des réflectances moyennes des différents thèmes individualisés dans chacun des canaux permet le choix des bandes spectrales appropriées pour la cartographie des sols (Escadafal, 1989). Il est donc, à priori, possible d'identifier un objet à partir de son spectre électromagnétique. Mais la signature spectrale d'un objet donné varie en fonctions de son état et des conditions d'éclairement (Scanvic, 1983). La signature spectrale est affectée également par la teneur en éléments minéraux et par la teneur en eau.

Résolution radiométrique

La résolution radiométrique est la sensibilité d'un détecteur aux variations de l'intensité de l'énergie électromagnétique émise, réfléchi ou diffusée qui est détectée. Différents niveaux d'intensité qui peuvent être discriminés par le capteur dans une bande (Mariama & Hakdaoui, 2013).

La résolution radiométrique est la capacité de distinguer les différents niveaux d'intensité du REM dans une bande spectrale donnée. Habituellement mesurée en bits (chiffres binaires), la résolution radiométrique est la plage des valeurs de luminosité disponibles qui, dans l'image, correspondent à la plage maximale des DN ; par exemple, une image avec une résolution de 8 bits a 256 (2⁸) niveaux de luminosité. La résolution radiométrique; c'est le nombre d'intervalles des intensités qui peuvent être capturées. Elle est caractérisée par ce qui suit :

- a. Sensibilité à l'intensité de l'énergie électromagnétique,
- b. Capacité du capteur à reconnaître de petites différences dans l'énergie électromagnétique,
- c. La gamme de longueurs d'onde à l'intérieur de laquelle un capteur est sensible se nomme plage dynamique.

Résolution temporelle

La résolution temporelle correspond à la fréquence d'acquisition d'une image à un endroit donné (<https://www.rncan.gc.ca/cartes-outils-et-publications/>). Elle fait référence au laps de temps écoulé entre deux images. Entre ces deux images, trois facteurs principaux sont susceptibles de modifier la mesure au niveau du capteur :

- a. L'état du couvert végétal ; les images prises en été, quand la stabilité phénologique est grande, on suppose que le couvert a le même comportement spectral d'une année à l'autre,
- b. La géométrie d'observation ; la réflectance est directionnelle et dépend de l'angle d'incidence solaire, de l'angle de prise de vue, et de l'azimut relatif entre les directions d'observation et d'éclairement. En prenant les images à la même époque de l'année, l'angle

d'incidence solaire sera considéré comme identique. On privilégiera des angles de prise de vue comparables entre images,

- c. Les conditions atmosphériques ; jouent sur la réflectance apparente d'un objet car la composition très variable de l'atmosphère dans le temps (eau, aérosols, ...etc.) modifie l'importance des phénomènes d'absorption et de diffusion par ses composantes.

1.1.2.5 Notions de réflectance

Quand le REM frappe un objet, certaines longueurs d'ondes sont réfléchies tandis que d'autres sont absorbées ou transmises. Dans le spectre visible, cette réflectance sélective de certaines longueurs d'ondes est perçue en termes de couleur. La quantité d'énergie réfléchi par un objet dans les différentes longueurs d'ondes (par rapport à l'énergie qu'il reçoit) s'appelle la réflectance spectrale, celle-ci étant une propriété intrinsèque de chaque matériau.

La réflectance spectrale est le rapport de l'énergie réfléchi dans toutes les directions à l'énergie incidente dans un intervalle de longueur d'onde donnée. Les données recueillies sur les images sont quantifiables. Elles représentent l'intensité relative des différentes longueurs d'ondes. Ces valeurs enregistrées simultanément représentent la signature spectrale des objets (Herbreteau *et al.*, 2018). Cette énergie ou signature spectrale est donc propre à chaque objet et rend sa distinction possible (Stoner *et al.*, 1981). La réflectance est définie comme étant une grandeur qui dépend de la dimension, la nature, la composition, la structure, l'humidité de la cible, de son environnement, des conditions atmosphériques, de la géométrie de l'éclairement et de celle de la visée, de la rugosité du sol et de la réflectance diffuse de la végétation, de l'importance des ombres, l'angle d'incidence solaire et l'angle de visée sont autant de facteurs susceptibles de modifier sensiblement la réflectance d'une surface dont quelques types de réflectances sont représentées par la Fig. 1.

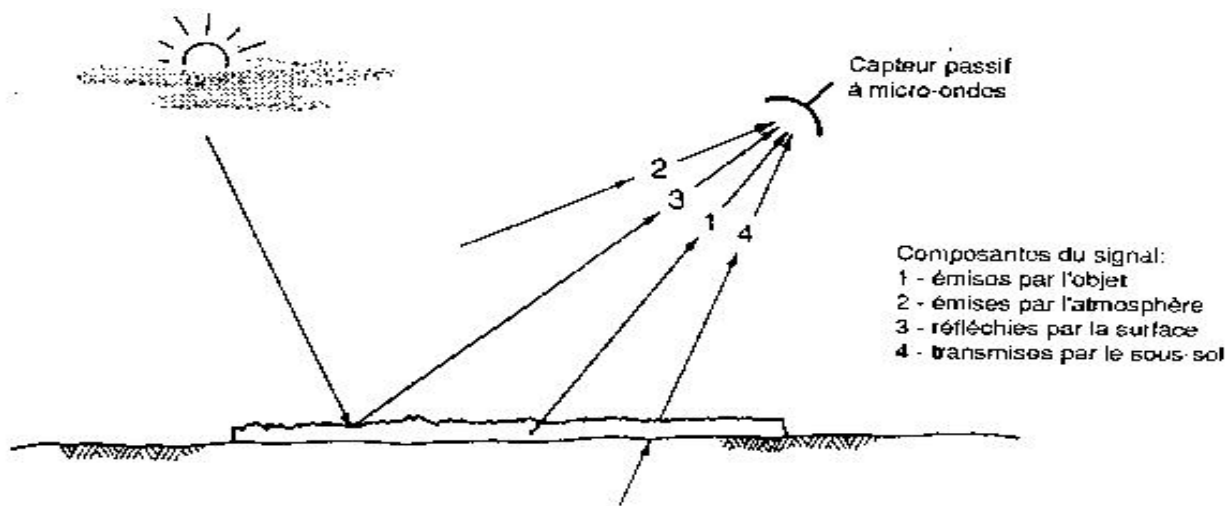


Fig. 1: Eléments d'un signal micro-onde passif (d'après Lillesand & Kiefer, 1979).

L'analyse de la Fig. 1 montre que les capteurs enregistrent les énergies liées à la réflectance et l'émission des objets. La réflectance se mesure à l'aide de spectromètres capables de fournir des résultats pouvant différencier la nature des objets. Les objets auront des courbes de réflectances différentes. Cette propriété, dont la couleur est un aspect bien vulgarisé, est celle qui a conduit à concevoir des systèmes d'acquisition du rayonnement selon des canaux de longueur d'onde distincts. L'expérience a montré que, dans les mêmes conditions géométriques d'incidence et d'observation, un objet a une luminance qui varie avec la longueur d'onde (Scanvic, 1983).

Pour un rayonnement quelconque qui arrive sur un objet, on peut écrire la loi de conservation suivante (Bonn & Rochon, 1992) :

$$\alpha + \beta + \pi = 1$$

Où :

- ✓ α est la fraction de l'énergie absorbée,
- ✓ β est la fraction de l'énergie réfléchie,
- ✓ π est la fraction de l'énergie transmise.

Seules les ondes réfléchies par les objets peuvent être enregistrées par un capteur. Ce sont elles qui sont intéressantes en télédétection. Par ailleurs, tous les objets émettent de l'énergie dans différentes longueurs d'onde. Elle peut être captée par des appareils de télédétection et analysée.

En définitif, les capteurs enregistrent l'énergie issue principalement d'un rayonnement incident ou de l'émission d'ondes électromagnétiques par l'objet.

1.1.2.6 Réponses spectrales des végétaux

Chaque type d'objet observé possède des caractéristiques d'émission et de réflexion propres que l'on nomme « signature spectrale ». Par exemple, la végétation absorbe le rayonnement de la lumière aux longueurs d'onde du rouge et du bleu et réfléchit le vert (d'où sa couleur) (Herbreteau *et al.*, 2018). La signature spectrale de la végétation est complexe. La complexité croît de la feuille vers la plante en fonction de la phénologie (variation en fonction des saisons et des phases de croissance). La signature spectrale de la feuille vivante qui se traduit par une couleur verte dans le visible est attribuable aux pigments foliaires comme la chlorophylle. Cette dernière a une forte absorption dans le bleu et le rouge et un maximum de réflectance dans le vert vers 0,55 μm . En revanche, dans le proche infrarouge, les feuilles se caractérisent par une forte réflectance, la transition entre le rouge et le proche infrarouge (PIR) est très forte et se traduit par une pente abrupte de la courbe de réflectance. Dans le PIR (800 à 900 nm), les pigments ont peu d'influence sur la réflectance des végétaux ; c'est alors la structure interne des feuilles, à savoir la densité des parenchymes foliaires, qui prend de l'importance. La réflectance dans ce domaine, bien supérieure à la réflectance dans le visible, présente donc une bonne corrélation avec la biomasse verte.

Dans le Moyen Infrarouge (MIR) ce sont les bandes d'absorptions de l'eau à 1.45 et 1.95 μm qui commandent l'absorption de la feuille, ce qui génère des pics de réflectance à 1.650 et 2.2 μm .

Dans le visible (400 - 700 nm), les végétaux réagissent en fonction de leur composition en pigments foliaires.

Propriétés optiques des feuilles :

La réflexion d'une feuille est de nature diffuse. Les mécanismes qui interviennent sont très complexes car les réfractions qui se produisent à tous les changements d'indice ; paroi cellulaire – protoplasme, chloroplastes contribuent à la diffusion et donc à la réflexion.

Tous les spectres des feuilles (y compris les aiguilles des conifères) ont la même forme. Les différences se manifestent seulement dans les amplitudes, on peut distinguer trois domaines :

Le visible ; la majeure partie du rayonnement reçu est absorbée par les pigments foliaires. Les principaux d'entre eux sont les chlorophylles a et b (65% des pigments des plantes supérieures) qui possèdent deux bandes d'absorption dans le bleu et le rouge. Cela se traduit par un maximum de réflectance dans le jaune - vert à 550 nm environ.

Le PIR ; La réflectance des feuilles dépend du nombre d'assises cellulaires, de la dimension des cellules et de l'épaisseur du parenchyme lacuneux. Les feuilles des plantes adaptées et résistantes à la sécheresse généralement plus épaisses (olivier, chêne vert,) ont par conséquent des réflectances très élevées dans le proche infrarouge (70 à 80%).

Dans le MIR (1,3 à 2,5 μm) l'absorption est principalement due à l'eau présente dans les plantes. Plus une plante contiendra de l'eau, plus l'absorption sera grande dans l'infrarouge moyen. Ceci peut servir à détecter les stress hydriques. Différentes études ont montré l'intérêt du canal MIR notamment pour le suivi de la végétation en raison de sa sensibilité à la présence d'eau. Allen *et al.*, (1970) ont montré que la réponse du MIR est terminée par le contenu en eau de la végétation. Ceci s'exprime d'une part par une forme identique de profil spectral et d'autre part par une corrélation linéaire entre le contenu en eau, exprimé par la lame d'eau équivalente, et le MIR. Gardner *et al.* (1985) ont confirmé cette observation, ils concluaient qu'il n'est pas possible d'estimer de manière opérationnelle le stress hydrique avec MIR ou des indices intégrant cette bande spectrale, parce que ce stress dépend de la teneur relative en eau de la végétation, que cette teneur varie en fonction du type de végétation, et qu'une faible réduction de la teneur peut entraîner un stress important (Gond *et al.*, 2004).

Les feuillus et les résineux réfléchissent différemment d'où la subdivision des végétaux en deux catégories : végétaux à parenchyme palissadique développé (les résineux) et végétaux à parenchyme lacuneux développé (les feuillus). La réflectance dans le proche infrarouge est toujours plus élevée pour la seconde catégorie de végétaux que pour la première. Le niveau de réponse spectrale dans ce domaine de longueur d'onde permet une bonne différenciation de ces deux types de végétaux (Fall, 2005).

Les principaux facteurs de variabilité ; au niveau de la feuille des végétaux, structure anatomique des limbes ; nombre des assises cellulaires, épaisseur de la cuticule, présence de poils. Âge des feuilles ; les propriétés optiques des feuilles évoluent uniquement durant les stades juvéniles et la sénescence. La disparition des pigments chlorophylliens et leur remplacement par des pigments bruns entraînent un fort accroissement de la réflectance dans le jaune - vert et dans le rouge. Dans le proche infrarouge, la réflectance évolue seulement lorsque la structure interne de la feuille est désorganisée ou modifiée par le dessèchement de la feuille. Dans l'infrarouge moyen, l'accroissement de la réflectance est lié au dessèchement de la feuille dû principalement à la disparition des pigments chlorophylliens.

Teneur en eau des feuilles ; la teneur en eau des feuilles se traduit par une plus forte augmentation de la réflectance dans l'infrarouge moyen que dans le visible et le proche infrarouge.

Déficiences minérales ; les déficiences minérales affectent en premier lieu la teneur en chlorophylle des feuilles puis leurs structures anatomiques. Le manque d'azote rend les feuilles des plantes moins épaisses (réduction du nombre d'assises cellulaires). Les cellules sont plus grandes et leur teneur en matière sèche par unité de surface est plus faible.

Attaques parasitaires ; elles peuvent :

- a. Modifier la teneur en pigments des feuilles qui est provoqué par la disparition de la chlorophylle sous l'action d'agents pathogènes,
- b. Provoquer des nécroses ; mêmes phénomènes que celui de la sénescence des feuilles,
- c. Modifier les échanges hydriques des feuilles sans apporter de modification à leurs propriétés optiques. Dans ce cas, la température radiative des feuilles change et l'attaque parasitaire peut être détectée dans l'infrarouge thermique.

Les études faites sur l'identification et l'analyse des arbres endommagés par les insectes, ont pu améliorer la qualité des bandes spectrales spécifiques aux cibles concernées.

Au niveau du couvert végétal ; Les effets des facteurs propres aux couverts végétaux se résument comme suit :

- a. La densité de feuillage ; l'accroissement de la densité de feuillage augmente la réflectance dans le PIR et diminue la réflectance dans le rouge,
- b. La géométrie du couvert,
- c. La densité du peuplement, interférence sol- végétation,
- d. L'association et distribution relative des espèces,
- e. La phénologie non uniforme des composantes du couvert,
- f. La réflectance d'un couvert végétal dépend de l'angle d'inclinaison des feuilles, lorsque les feuilles sont dressées, il faut un indice foliaire beaucoup plus élevé pour masquer le sol que lorsqu'elles sont étalées. Cette réflectance est plus grande dans le PIR que dans le visible.

Parmi les facteurs externes au couvert végétal, nous citons ce qui suit :

- a. Angle solaire ; variation de l'importance des phénomènes d'ombre au cours de la journée,
- b. Angle de visée ; la variation dépend de la longueur d'onde considérée (variation de la proportion de sol nu, d'Ombre,).

- c. Taille de la surface visée ; composition de l'atmosphère (mesure par satellite), teneur en eau de l'atmosphère (absorption de l'infrarouge) et d'aérosols,
- d. Activité physiologique des plantes ; lorsque la végétation est en phase active de croissance, la réflectance dans le visible et l'infrarouge moyen diminuera. Elle augmentera par contre dans le PIR.

Durant la période de juin à mi-septembre, il y a élévation maximale du soleil au-dessus de l'horizon (Fall, 2005) alors que le départ et l'arrêt de croissance des aiguilles des conifères sont liés aux facteurs énergétiques qu'aux facteurs hydriques. Les aiguilles des conifères sont plus longues vers l'extrémité de la pousse chez les jeunes arbres de clairières, que celles des peuplements âgés (Cabanettes, 1979). Le comportement spectral de la végétation, l'eau et le sol vis-à-vis de la lumière solaire est représenté par la Fig. 2.

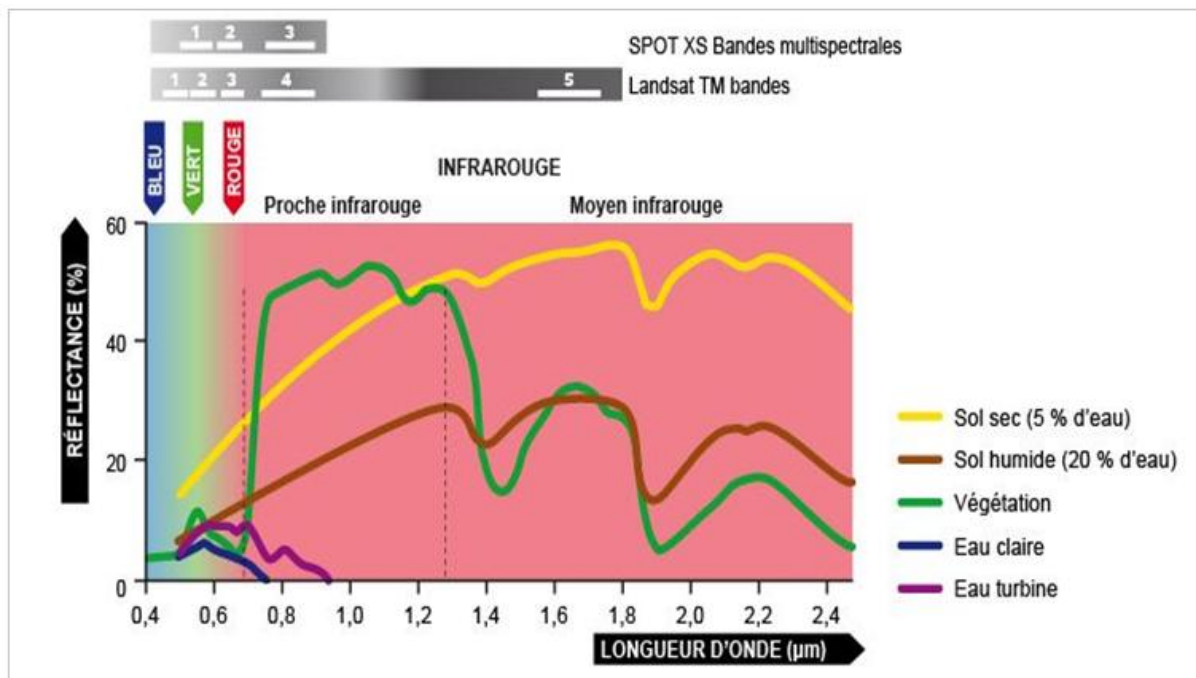


Fig. 2: Réflectance de l'eau, végétation et sols dans les longueurs d'ondes des bandes Landsat TM (d'après Sleimi, 2018).

L'analyse des courbes de réflectances de l'eau, végétation et sols montre leurs variabilités dans les différentes bandes spectrales (visible, proche et moyen infrarouge).

1.1.2.7 Réponses spectrales des sols

Les signatures spectrales des sols sont moins variées que celles des végétaux. La technique de l'utilisation des radiomètres multi spectraux de HR, disposant d'un grand nombre de canaux 100 voire 200 entre 0.4 et 3 µm. L'objectif est de déceler un nombre maximum de singularités pour

chaque sol afin de le différencier d'autres. L'autre piste a recours à l'analyse dite diachronique qui repose, comme son nom l'indique, sur l'étude de plusieurs images prises à des périodes différentes avec l'hypothèse que les paramètres caractéristiques des sols évoluent différemment en cours de saison.

Les sols présentent un spectre continu où la réflectance progresse lorsque la longueur d'onde augmente.

Le visible ; dans le visible, l'absorption d'énergie est due à l'excitation des vibrations dans les liaisons fondamentales de groupes anioniques tels que OH, CO₃, ...etc. Les ions ferriques Fe³⁺ produisent 2 bandes à 0,4 et à 0,7 nm.

La télédétection infrarouge est surtout destinée à mesurer la température du sol, de l'océan, ou des nuages (Kergomard, 1990).

Le proche infrarouge (PIR) ; un sol blanc (calcaire fins) peut ainsi avoir des réflectances très fortes dans le PIR. Les ions ferreux Fe²⁺ produisent une forte bande d'absorption à 1,1 nm. La présence de fer est donc détectable dans le visible et le PIR grâce aux ions Fe²⁺ et ferriques (Fe³⁺). L'infrarouge thermique ; l'émissivité des sols varie très sensiblement en fonction de la longueur d'onde et de leur composition minérale. Les argiles présentent une réflectance très faible et très stable dans tout l'infrarouge thermique (0,8 à 1,3 nm). Les sables présentent un pic de réflectance vers 0,8 – 0,9 nm. Les bandes d'absorption de l'eau à 1,4 à 1,9 um.

Les facteurs affectant la réponse spectrale des sols. Les paramètres du sol qui affectent la réflectance de manière prépondérante sont notamment :

- a. La texture (teneur en sable, limon, argile),
- b. L'humidité,
- c. La présence d'oxyde de fer,
- d. La rugosité de surface,
- e. La teneur en matière organique (MO),
- f. La granulométrie.

La réflectance des sols augmente quand la taille des particules diminue. La rugosité influence directement la réflectance par le phénomène de réflexion diffuse. Plus le sol est rugueux, moins il réfléchit. Un sol à granulométrie fine apparaît plus clair qu'un sol grossier. En présence de sillons ou de grandes mottes de terre, il y a également apparition d'ombres portées.

Éléments grossiers ; augmentent la réflectance des sols :

- a. Pièrrosité (surface de cible),
- b. Roches ou affleurement (patine),
- c. Présence de lichen (chlorophylle),
- d. Présence de l'eau (humidité).

Éléments fins ; les argiles, particules fines liées à la MO ; d'où une faible réflectance comme le montre la Fig. 3.

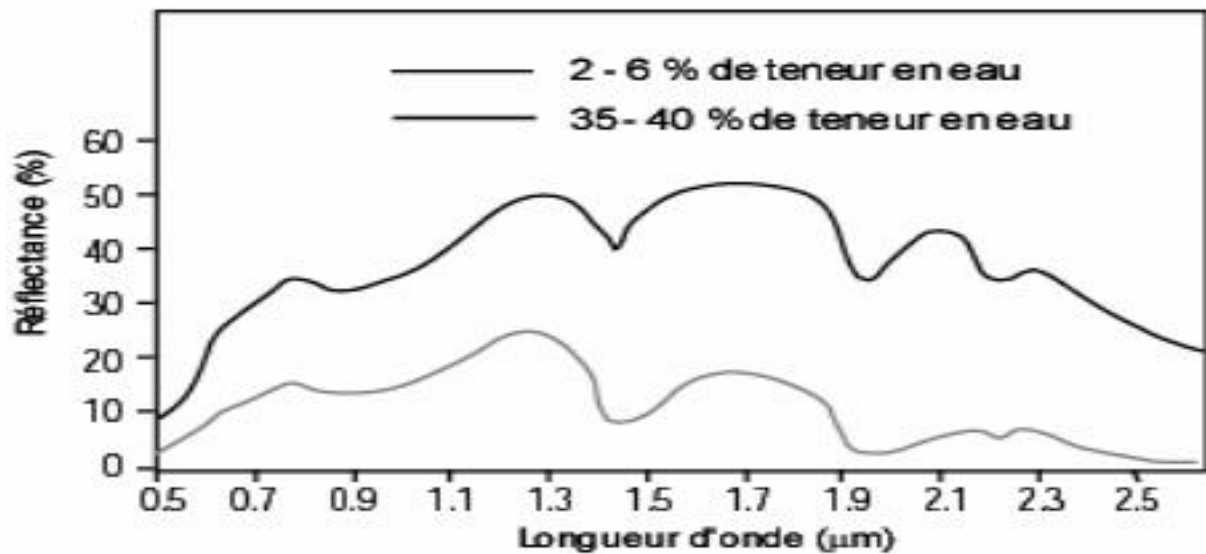


Fig. 3: Réflectance d'un sol argileux (d'après Herbreteau *et al.*, 2018).

Le sable ; particules fines de faible teneur en eau d'où la réflectance est relativement élevée comme le montre la Fig. 4.

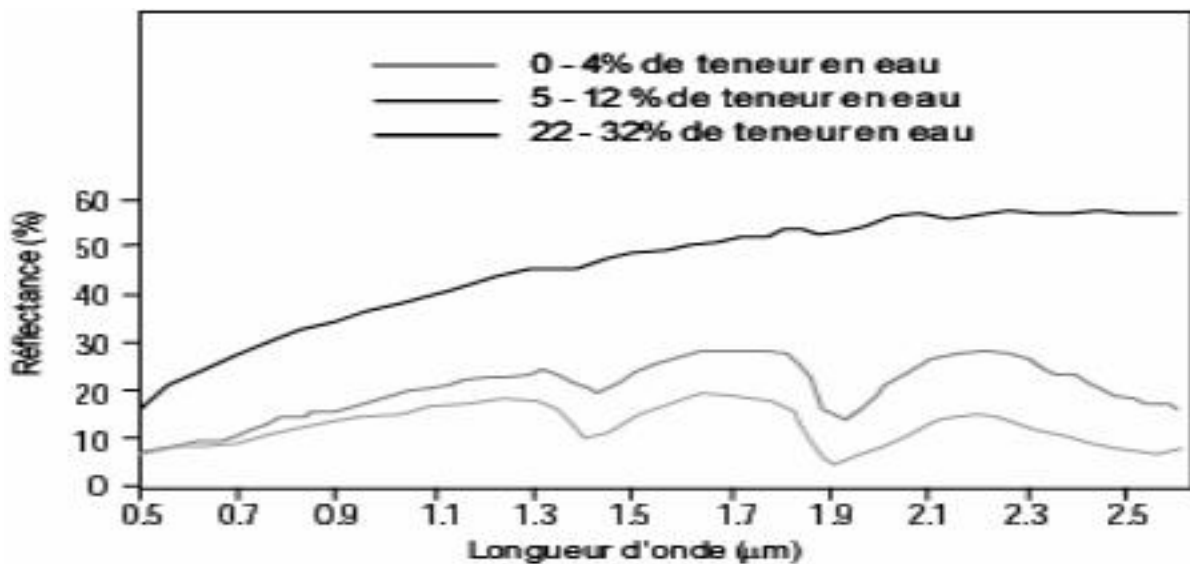


Fig. 4: Réflectance d'un sol (ex : sableux) en fonction de l'humidité (Herbreteau *et al.*, 2018).

Il convient de relever :

- a. La forte variation de réflectance dès que le sol s'humidifie (courbe 1 et 2),
- b. Une augmentation ensuite du taux d'humidité n'apporte que peu de modification (les bandes d'absorption de l'eau 1,4 – 1,9 et 2,5 μm),
- c. Le calcaire (CaCO_3) augmente la réflectance à partir d'un taux de 10 à 20 %,
- d. Le fer diminue la réflectance à partir d'une teneur en fer de plus de 15 %,
- e. La présence d'oxyde de fer produit sur la réflectance un effet similaire à celui de la MO.

Chaque élément chimique influe selon sa structure et formulation ionique ce qui donne une couleur spécifique au sol donc une réponse spectrale différente. Exemple ; les oxydes de fer donnent une apparence sombre au sol donc une faible réflectance à celui-ci, le calcaire (CaCO_3) donne une apparence claire au sol donc une forte réflectance au sol. Les sels augmentent la réflectance moyenne.

La droite des sols ; quelle que soit la teneur en MO, en eau et la rugosité des sols ; le sol nu présente toujours une courbe de réflectance croissante et pratiquement linéaire dans les courtes longueurs d'ondes ce qui définit la droite des sols et qui exprime la corrélation très forte entre les réflectances d'un sol mesuré dans le rouge et le proche rouge.

Indice de brillance

La brillance est le caractère réflectant d'un sol. Elle est mesurée par des indices de brillances calculés à partir des mesures de réflectance dans le rouge et le PIR, la formule la plus courante s'écrit comme suit :

$$IB = (R^2 + PIR^2) * 0,5$$

Avec ;

R : Rouge,

PIR : Proche Infrarouge,

Coefficient : 0,5.

On l'utilise pour caractériser les sols nus.

La MO produit un assombrissement. Elle influe à la fois sur la structure du sol ; sur leur capacité de rétention d'eau et sur leur couleur. La teneur en MO (à partir d'un taux de 2,2%) a un effet dépresseur sur la réflectance des sols. L'humus diminue donc la réflectance des sols dans toutes les bandes spectrales. L'humidité diminue la réflectance des sols. Un sol sec (interface air- particules). Sol humide (microcavité occupée par l'eau).

1.1.2.8 Réponses spectrales de l'eau

L'eau est caractérisée par une réflectance relativement plus forte dans le visible (bleu (0.45 - 0.52 μm), vert (0.52 - 0.60 μm), rouge (0.63 - 0.69 μm)), que dans le PIR (0.76 - 0.90 μm) et les courtes longueurs du proche infrarouge (1.55 – 1.75 μm), considérant les bandes du capteur Landsat TM comme exemple. L'absorption des rayons solaires dans la bande PIR est complète (Sleimi, 2018). L'eau réfléchit les longueurs d'onde du bleu et absorbe fortement les longueurs d'onde de l'infrarouge (Herbreteau *et al.*, 2018).

1.1.2.9 Indices spectraux

Indice de Végétation (IV) ou NDVI

Parmi les indices couramment utilisés en télédétection, on cite l'indice de végétation connu sous le sigle anglophone *Normalized Difference Végétation Index (NDVI)*. Il est défini comme le rapport

de la différence et de la somme des réflectances dans deux bandes spectrales, rouge (R) et (PIR) (Delbart, 2005). L'indice proposé par Rouse *et al.* (1973) est défini par la formule suivante :

$$NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$$

L'image de *NDVI* (en niveaux de gris) qui, d'après Rouse *et al.*, (1973) traduit l'activité photosynthétique du couvert végétal à l'instant de la mesure. Cet indice donne une estimation sur la couverture végétale (densité, santé). Cet indice permet de faire la différence entre la végétation boisée et sénescente. Le *NDVI* est une méthode éprouvée pour l'étude et la cartographie de la végétation. Cet indice est utilisé pour détecter les phases de développement de la plante verte à partir des données multispectrales de télédétection (Benkrir, 2008). Les variations temporelles du *NDVI* sont liées aux variations de la densité de ces tissus, et donc aux évolutions temporelles du feuillage. Dans plusieurs méthodes, la date de début de saison est la date à laquelle *NDVI* commence à croître, et le début de la sénescence est la date à laquelle *NDVI* commence à décroître (Moulin *et al.*, 1997). La date à laquelle le *NDVI* cesse d'augmenter est prise comme la date de maturité de la canopée, et la date où il cesse de décroître est prise comme la fin de la sénescence. La végétation saine absorbe une grande quantité de lumière rouge et réfléchit une grande quantité de lumière infrarouge. Au contraire, une végétation moins saine réfléchira plus de rouge et absorbera plus d'Infrarouge.

Dans un tel cas, le *NDVI* à lui seul ne peut suffire pour témoigner de l'activité photosynthétique réelle. Étant principalement relié à l'indice foliaire du couvert végétal, il ne peut rendre compte que qualitativement de la distribution spatiale et temporelle de l'activité photosynthétique potentielle (Lobo, 2004).

Le *NDVI* fournit une valeur entre -1 et +1. Une valeur de *NDVI* nulle indique une faible densité de végétation saine, une valeur proche de 1 indique une grande densité de végétation saine.

La création d'indice de végétation vise plusieurs objectifs :

- a. L'estimation de la masse végétale recouvrant le sol,
- b. La description de l'état phénologique de la couverture végétale,
- c. La prévision des récoltes,
- d. L'évolution de la couverture végétale.

L'avantage de l'indice (*NDVI*) :

- a. Facile à calculer et normalise en partie les effets d'éclairement ou de pentes et très utilisé, car assez générique (Caloz & Collet, 2001).

Autres indices concernant la végétation

Indice de Verdeur (IV)

$$IV = V / (B+V+R)$$

Cet indice permet de différencier les classes d'arbre des classes de bâti.

Les méthodes de calcul de *NDVI* à partir des images satellites acquises en date 1984 et 2020 ont permis de générer les images sur l'indice de végétation représentées par la Fig. 5 suivante :

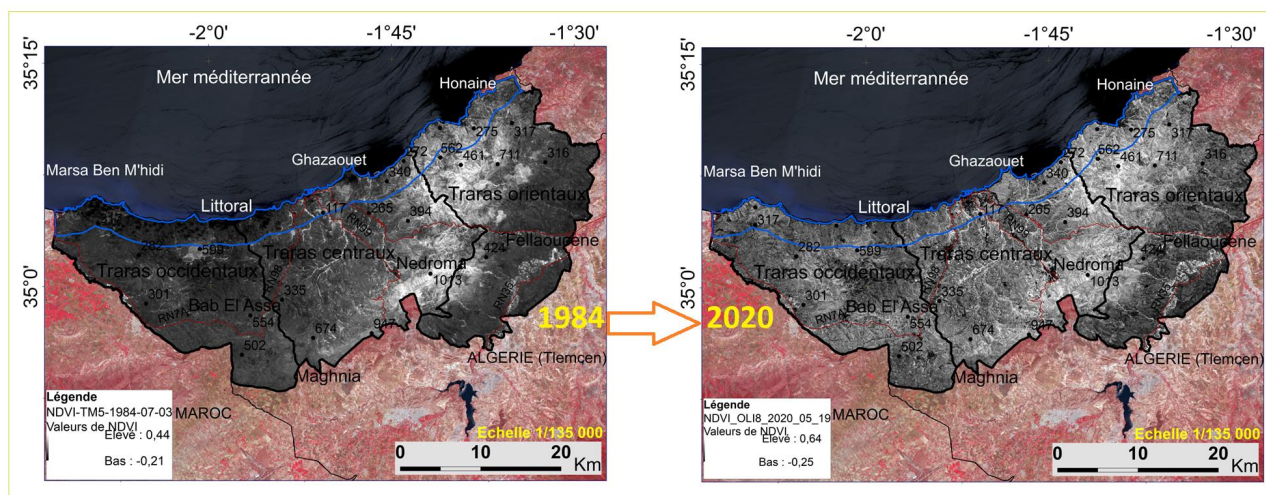


Fig. 5 : Images de l'indice de végétation *NDVI* (1984 et 2020)

L'analyse des images de *NDVI* montre que l'indice de végétation varie entre -0,25 et 0,64. Les valeurs proches de 0,64 (couleurs blanches) montrent que la végétation agroforestière est dense au centre et à l'Est de la zone.

Indice de l'eau (*NDWI*)

Plusieurs indices de détection de l'eau sont connus comme l'indice normalisé de l'eau ou *Normalized Difference Water Index (NDWI)* calculé à partir de la réflectance de deux bandes, Verte (*V*) et PIR dont le rapport de l'équation s'écrit comme suit :

$$NDWI = (V - PIR) / (V + PIR)$$

Avec :

V : bande Verte,

PIR : bande Proche Infrarouge.

Aussi pour l'indice normalisé de l'eau modifié en substituant la bande verte par la bande infrarouge, le rapport de l'équation s'écrit comme suit :

$$NDWI = \text{PIR} - \text{MIR} / \text{PIR} + \text{MIR}$$

Avec :

PIR : bande du Proche Infrarouge,

MIR : Moyen Infrarouge.

Il existe d'autres indices spectraux concernant l'eau qui peuvent être déterminés par l'application des formules mentionnées dans l'annexe 2.

Indice de stress hydrique (NDWI)

D'autres indices donnent une indication sur le stress hydrique, mais ils nécessitent la présence d'une bande *MIR* ou de la thermique.

$$NDWI = (R - \text{MIR}) / (R + \text{MIR})$$

Indice des Zones Brulées (NBR)

L'indice NBR correspond à la différence normalisée entre les bandes proche (PIR) et moyen infrarouge (MIR).

$$\text{NBR} = (\text{PIR} - \text{MIR}) / (\text{PIR} + \text{MIR})$$

Dans le cas du capteur du Landsat OLI8, on utilise les bandes 6 et 9.

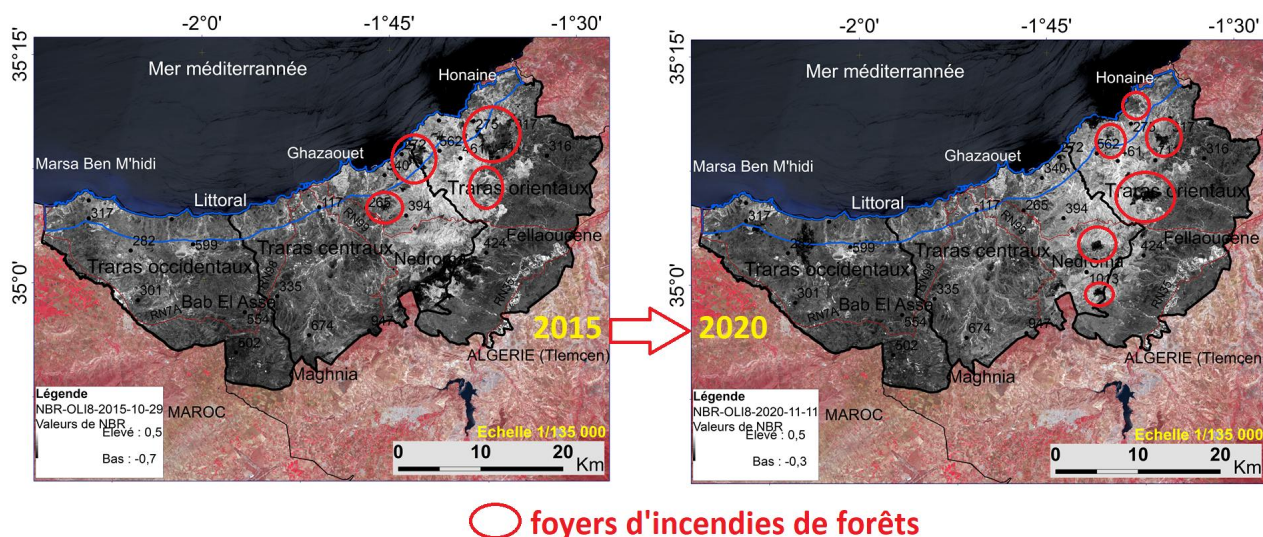


Fig. 6: Images de l'indice de brulure NBR (2015 et 2020)

L'analyse des images de NBR montre que l'indice de brulure varie entre -0,7 et 0,5 (2015) et -0,3 et 0,5 (2020). Cela montre que les forêts situées à l'Est sont plus impactées par les incendies.

Indice de Reprise Normalisé (NRI)

Le NRI (Indice de Reprise Normalisé) c'est un indice qui a été dérivé du NDVI, appelé l'indice de régénération (IR) ou indice de régénération normalisée (Riaño *et al.*, 2002). L'indice NRI est utilisé pour quantifier les changements de la végétation dans les zones brûlées en tenant compte de l'état avant le feu (Caspard *et al.*, 2015).

Il utilise explicitement la combinaison entre le *NDVI* avant et après incendies

Il est donné par la formulation suivante :

$$NRI = \frac{2NDVI(\text{après feu})}{NDVI(\text{avant feu}) + NDVI(\text{après feu})}$$

Avec :

NDVI (avant feu) : indice normalisé avant feu

NDVI (après feu) : indice normalisé après le feu

Théoriquement, le NRI montre si la chlorophylle de la végétation est revenue à son état initial (Lili & Caloz, 2005).

L'indice NRI varie entre 0 et 1 ; La valeur 0 indique que le taux de récupération est de zéro après l'incendie.

la valeur 1 indique que le taux de reprise de la végétation après incendie égal au taux de recouvrement de l'état avant incendie (Mokhtari, 2018)

Si les valeurs NRI sont supérieures à 1, la végétation post-incendie est plus riche en chlorophylle que la végétation d'avant le feu (Lili & Caloz, 2005).

L'indice NBR correspond à la différence normalisée entre les bandes proche (PIR) et moyen infrarouge (MIR).

Indice de Sol

L'indice de sol connu sous le sigle anglophone *Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)* est défini par la formule suivante :

$$SAVI = ((PIR-R) / (PIR+R+L)) *(1+L)$$

Avec :

PIR : bande proche infrarouge,

R : bande rouge,

L = 0.5 (facteur de correction).

Le calcul de l'indice de sol *SAVI* à partir des images (1985 et 2020) a permis de générer les images représentées par la Fig. 7 suivante :

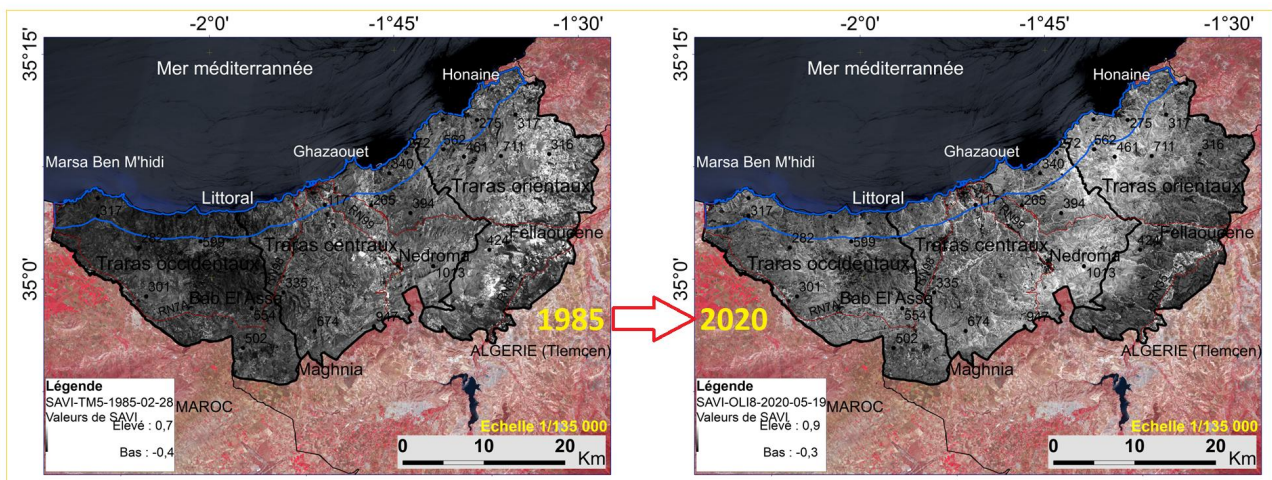


Fig. 7: Images de l'indice de sol *SAVI* (1985 et 2020)

L'analyse des images montre que l'indice de sol SAVI varie entre -0,4 à 0,7 (1985) et -0,3 à 0,9 (2020).

Indice de bâti ou de l'urbain (NDBI)

L'indice de bâti est connu sous le sigle anglophone *Normalized Difference Built-up Index (NDBI)*.

Il est déterminé par la formule suivante:

$$NDBI = (MIR - PIR) / (MIR + PIR)$$

Avec ;

MIR : bande du moyen infrarouge

PIR : bande du proche infrarouge

Le calcul de l'indice de bâti NDBI à partir des images (1984 et 2020) a permis de générer les images représentées par la Fig. 8 suivante :

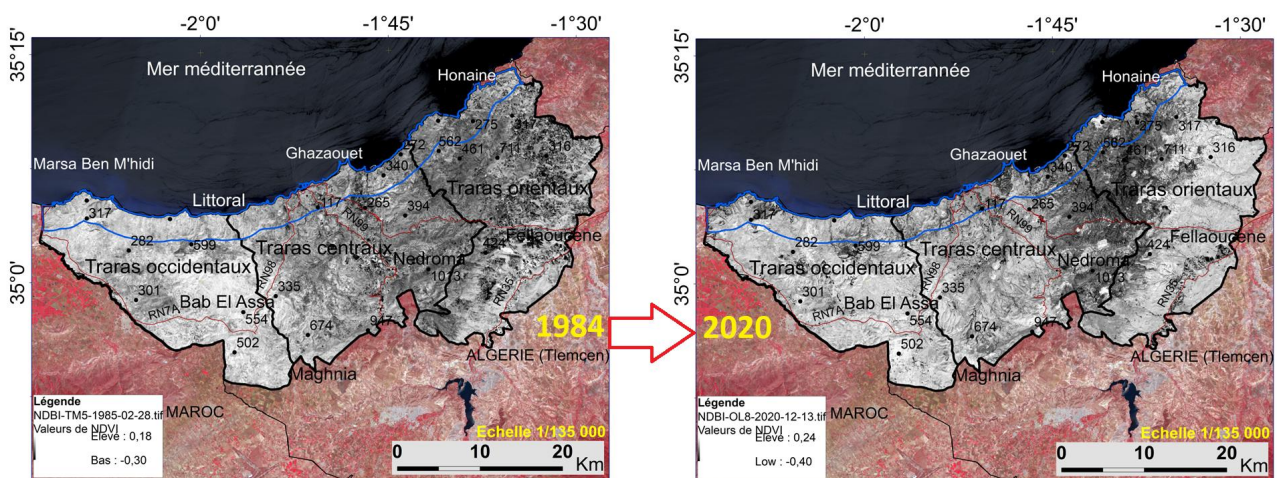


Fig. 8: Images de l'indice de l'urbain NDBI (1984 et 2020)

L'analyse des images montre que l'indice de bâti NDBI varie entre -0,30 à 0,18 (1984) et -0,30 à 0,24 (2020).

1.1.2.10 Traitements d'images satellites

Toute représentation d'un objet ou d'une scène dans un plan est dite image. Il y a trois formes physiques d'existence d'une image (forme binaire (trait) en niveau de gris ou en couleur). Une

image numérique de télédétection est un document et une technique d'approche du milieu naturel ou d'analyse de la surface de la terre. L'image est acquise, en générale, par un capteur électronique embarqué à bord d'un vecteur et captant l'énergie provenant de la surface terrestre. Cette dernière est reçue par le capteur puis transformée en signaux électriques par les détecteurs.

Les particules de l'atmosphère altèrent le rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi par la surface imagée par des phénomènes de diffusion, absorption, atténuation ou réfraction. La valeur radiométrique enregistrée au niveau du capteur correspond à l'énergie réfléchie par les objets au sol et modifiée par les effets atmosphériques. La composition de l'atmosphère étant variable dans le temps et dans l'espace, des corrections atmosphériques systématiques sont nécessaires pour comparer l'information issue de deux images de la même zone prises à deux dates différentes (Herbreteau *et al.*, 2018). Avant que les données numériques ne soient prêtes à l'interprétation et l'exploitation, il faudrait tout d'abord qu'elles passent par une chaîne de traitement visant l'élimination des défauts contenus dans les données brutes (Bonn & Rochon, 1992).

Pour interpréter et cartographier les phénomènes d'occupation du sol, il est donc nécessaire de connaître la nature et l'importance de ces perturbations afin d'appliquer des corrections appropriées.

L'opérateur scientifique effectue les traitements les mieux adaptés à son sujet d'étude. Les traitements standards permettent l'amélioration et/ou la compression des informations.

En effet, les facteurs comme l'angle d'élévation du soleil, la distance terre-soleil, la calibration des capteurs, les conditions atmosphériques et la géométrie de visée affectent la valeur numérique des pixels (Eckhardt *et al.*, 1990). Et comme nous ne pouvons pas obtenir une information fiable sur ces différents paramètres lors de la prise des images, la correction atmosphérique basée sur la correction empirique d'image à image est à appliquer (Jensen, 1996).

Les images doivent subir une correction géométrique et radiométrique. Mais actuellement un grand nombre d'utilisateurs travaillent à partir d'images dont les distorsions systématiques ont été corrigées ("niveau 1B").

Correction géométrique

Les images satellites sont acquises dans la géométrie du capteur et ne sont pas directement superposables à une carte. Plusieurs types de déformations géométriques doivent être prises en compte : la géométrie lors de l'acquisition de l'image (p.ex. l'angle d'incidence, l'orbite), la courbure et la rotation de la Terre ou encore la topographie. Deux types de traitements géométriques

permettent de rendre l'image exploitable dans un SIG : l'ortho rectification (chaque pixel est observé en visée verticale, ou nadir) et le géoréférencement (chaque pixel de l'image est associé à un couple de coordonnées géographiques) (Herbreteau *et al.*, 2018). La correction des déformations géométriques peut s'effectuer de deux façons :

- a. Les positions réelles des pixels sont changées mais ces derniers conservent leurs valeurs d'intensité. Cette méthode manquant de précision, on ne l'utilise que pour des corrections géométriques simples comme l'asymétrie ; l'image est rééchantillonnée ; autrement dit, on transforme une image numérique déformée géométriquement, en une autre image sur un quadrillage non-déformé et espacé de façon égale. Les valeurs d'intensité des pixels sur ce quadrillage dérivé doivent être déterminées par interpolation à l'aide des pixels avoisinants de l'image déformée ;
- b. Les fenêtres comportent des distorsions géométriques dues à l'instrument d'enregistrement des données et à la courbure de l'écran sur lequel les images ont été photographiées.

Les images vont être, par conséquent, rectifiées par extrapolation afin d'avoir l'image superposable à la carte topographique considérée comme référentiel (Caloz & Collet, 2001).

Correction radiométrique

La composition très variable de l'atmosphère dans le temps (eau, aérosols, etc.) modifie l'importance des phénomènes d'absorption et de diffusion par ses composantes (Fall, 2005). La radiance de la cible est donc modifiée (atténuée) par l'atmosphère à travers laquelle elle passe pour accéder au capteur. Le capteur lui-même déforme encore plus cette radiance qui lui est parvenue. L'influence des conditions atmosphériques nécessite donc une correction.

L'évaluation subjective d'une seule image ne nécessite pas de correction atmosphérique. Cependant, quand le but est d'extraire des informations quantitatives (concentration en chlorophylle, profondeur bathymétrique, etc...) ou de comparer deux images en valeurs tonales ; les effets atmosphériques doivent être éliminés.

Diverses techniques sont utilisées pour la correction atmosphérique. Parmi les plus simples on trouve la (*dark pixel subtraction*) c'est-à-dire la soustraction de pixel foncé, et l'histogramme matching ou assortiment d'histogramme, mais elles sont sujettes à erreurs. Les complexes font appel à la modélisation mathématique des conditions atmosphériques à l'heure et à l'endroit de la prise d'image, ce qui nécessite souvent le relevé de renseignements à l'emplacement de l'image et au moment de la prise de vue.

Les données télédéteectées à l'état brut comportent des défauts radiométriques, ponctuels ou en lignes, dus essentiellement au capteur embarqué à bord du satellite. Une correction radiométrique vise l'élimination de ces défauts. Elle consiste en un reformatage et à une élimination du lignage dans les images, notamment une calibration relative des canaux (Caloz & Collet, 2001). Ces corrections peuvent être appliquées sans connaissance particulière du terrain (Lounis & Belhadj, 2005). En fait, une très grande majorité des recherches en télédétection s'effectue sur des données dont la radiométrie n'a pas été corrigée.

Traitement d'amélioration

L'équilibrage de la dynamique ; un détecteur a une sensibilité radiométrique égale à 256 niveaux de gris. L'information numérique répartie sur cette gamme est restituée sur le film de sensibilité 16 fois moindre. Ceci engendre une perte considérable d'informations que nous cherchons à minimiser par un ajustement de la densité en la ramenant à un niveau plus compatible.

Composition colorée

L'information apportée par un seul canal ne permet pas de donner un détail satisfaisant pouvant refléter de près ce qu'on espère ressortir à partir des données télédéteectées. Pour ce faire, on a recours à la combinaison de trois (03) canaux en affectant l'une des trois couleurs fondamentales (Bleu, Vert et Rouge) c'est-à-dire en associant les couleurs primaires dans l'ordre de classement correspondant à leur longueur d'onde à savoir : vert, rouge et proche infrarouge (Tab. 1).

Chaque image est chiffrée dans une couleur différente (exemple : rouge, vert, bleu), l'image finale étant une composition colorée des images d'origine. Celles-ci peuvent être une même scène saisie à des longueurs d'ondes différentes (analyse multi bande) ou à des périodes différentes (analyse multi date).

Tab. 1: Exemple de traitement d'image satellite (composition colorée).

Longueur d'Ondes	Couleur affectée
Vert	Bleu
Rouge	Vert
Proche infrarouge	Rouge

Le résultat final correspond à une image trichrome appelée composition colorée dans laquelle les thèmes se distinguent par les différentes nuances dans les trois couleurs de base.

Classification automatique des images satellites

Deux étapes sont nécessaires ; la segmentation permettant de partitionner l'image en régions homogènes alors que la classification permet de labelliser des pixels ou des régions (Chehata, 2017). Le but principal de la classification est de regrouper les données similaires pour obtenir un ensemble de groupes en se basant sur l'homogénéité et l'hétérogénéité. Les modèles de classification peuvent être séparés en deux groupes : les méthodes de classification supervisée et non supervisée (Beliakov & King 2006). La classification numérique des images utilise l'information spectrale contenue dans les valeurs d'une ou de plusieurs bandes spectrales. Les pixels peuvent être classés individuellement. Deux classes, une classe d'information (ex. type de forêt ou d'espèce d'arbres) et classe spectrale qui est définie comme étant un groupe de pixel ayant les mêmes caractéristiques (ou presque). En forêt ; la variation d'âge, d'espèces, de densité des arbres, d'illumination ou d'effet d'ombre peuvent causer la création de sous classes. Ces paramètres sont utilisés pour identifier et classer numériquement les pixels sur une image. Ce procédé donne à

chaque image une certaine classe ou thème basé sur les caractéristiques statistiques de la valeur de l'intensité du pixel.

La classification supervisée : elle consiste à identifier sur l'image les échantillons assez homogènes qui représentent les différents types de surfaces ou de classes d'informations. La classification non supervisée : elle procède de la façon contraire.

1.1.2.11 Aperçu sur quelques plates formes spatiales d'acquisition d'images satellites

On peut distinguer d'une part des satellites d'acquisition d'images à très HR mais ne comportant que les traditionnelles bandes bleu-vert-rouge-proche infrarouge, et d'autre part des satellites de télédétection (comme par exemple des satellites comme *MODIS* ou la famille des Landsat) offrant un panel de bandes un peu plus riche mais une résolution spatiale basse ou moyenne. Les satellites multispectraux, c'est-à-dire spectralement plus riches, sont restés des satellites à basse ou moyenne résolution spatiale. Il s'agissait par exemple des satellites Landsat 7 et 8 comportent respectivement 8 et 11 bandes, avec des résolutions spatiales de l'ordre de 30m pour la plupart des bandes ou *MODIS* (36 bandes entre 400 nm et 14 400 nm, mais avec des résolutions spatiales variant entre 250 et 1000 m) (Chehata, 2017). Plusieurs générations de satellites ont été lancés depuis et présentent un intérêt certain pour la recherche. Il y a environ 1 071 satellites opérationnels en orbite (John, 2017).

Satellites optiques à moyenne résolution

La résolution spatiale de cette catégorie de satellites varie entre 04 à 30 mètres.

Le *Committee on Earth Observation Satellites* (CEOS) fédère 60 agences membres ou associées, recense 154 satellites pour l'observation de la Terre en 2018, dont les caractéristiques sont données sur son portail d'information (<http://database.eohandbook.com/index.aspx>) (d'après Herbreteau *et al.*, 2018). Les caractéristiques techniques des satellites à moyenne résolution sont décrites dans l'annexe 3.

La mise sur orbite de la série des satellites Landsat résulte d'un projet de l'Administration Américaine nationale de l'aéronautique et de l'espace en anglais *National Aeronautics and Space Administration* (*NASA*) visant à réaliser un satellite dédié à l'observation de la terre pour évaluer les ressources potentielles c'est la raison pour laquelle ce satellite est connu auparavant par le nom satellite *Earth Resources Technology Satellite* (*ERTS*). Le programme Landsat a commencé en juillet 1972, avec le lancement de la première plateforme Landsat-1. Grâce à l'avancement technologique et à la demande d'une meilleure qualité, d'autres plateformes ont été lancées (Landsat-2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9). Sauf que, le lancement de Landsat-6 n'a pas été réussi en 1993. De

plus, un problème technique dans le balayeur du capteur Landsat-7 (*ETM+*) a eu lieu le 31 mai 2003 et a causé des anomalies dans les images subséquentes. Les résolutions spatiale et temporelle ont été améliorée dans les plateformes de Landsat-4 au 8 : le cycle est devenu 16 jours au lieu de 18 jours et la résolution spatiale est devenue 30 mètres au lieu de 60 mètres après rééchantillonnage (<http://glovis.usgs.gov/>). Les caractéristiques techniques des huit satellites Landsat sont décrites dans l'annexe 4.

Depuis, la caméra est évoluée de *Return Beam Vidicon (RBV)* et *Multi Spectral Scanner (MSS)* de 1972 à *Thematic Mapper (TM)* en 1982 puis à *Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)* en 1999 et ensuite à Radiomètre *Operational Land Imager (OLI-8)* en 2013. La résolution spatiale est passée de 80 m à 30 m (ou 15 m en mode panchromatique) et les domaines spectraux explorés concernent le visible, le PIR et le MIR ainsi que l'IRT. Les images couvrent un champ d'observation de 170 km x 185 km.

Le capteur *TM* du Landsat 7 capte des données dans sept bandes spectrales, il a la capacité de surveiller une large gamme de bandes spectrales (du bleu à l'infrarouge). Il apporte plusieurs améliorations notamment les applications détaillées dans le Tab. 2.

Tab. 2: Les différentes applications des images du satellite Landsat TM (d'après Hamzaoui, 2005).

Bandes	Domaine spectral (microns)	Application
TM 1	0,45 - 0,52 (bleu)	Discrimination du sol et de la végétation ; cartographie côtière et bathymétrique ; identification des caractéristiques urbaines et culturelles.
TM 2	0,52 - 0,60 (vert)	Cartographie de la végétation verte (pic de réflexion de mesure) ; identification des caractéristiques urbaines et culturelles.
TM 3	0,63 - 0,69 (rouge)	La discrimination des espèces végétales et non végétales (absorption de chlorophylle végétale) ; identification des caractéristiques urbaines et culturelles.
TM 4	0,76 - 0,90 (proche IR)	Identification des types de végétation, de la santé et de la biomasse ; délimitation du corps d'eau ; l'humidité du sol.
TM 5	1,55 - 1,75 (IR moyen)	Sensible à l'humidité dans le sol et la végétation ; la neige exigeante et les zones couvertes par les nuages
TM 6	10,4 - 12,5 (IR thermique)	Le stress de la végétation et la discrimination de l'humidité du sol liés aux rayonnements thermiques ; cartographie thermique (urbain, eau).
TM 7	2,08 - 2,35 (ondes courtes UV)	Discrimination des types de minéraux et des types de roches ; sensible au taux d'humidité dans la végétation. Sensible à la teneur en humidité de la végétation
TM 8	0,52 - 0,90 (panchromatique) (vert et rouge) et proche IR)	Cartographie de larges zones, évolution de l'urbanisation.

Le satellite Landsat-8 dispose 2 capteurs dont leurs caractéristiques sont détaillées dans le Tab. 3.

Tab. 3: Caractéristiques des bandes spectrales des capteurs du satellite Landsat-8.

Les bandes spectrales de l'instrument OLI-8		
Bande spectrale	Longueur d'onde	Résolution
Bande 1 - Aérosols	0,433 - 0,453 μm	30 m
Bande 2 - Bleu	0,450 - 0,515 μm	30 m
Bande 3 - Vert	0,525 - 0,600 μm	30 m
Bande 4 - Rouge	0,630 - 0,680 μm	30 m
Bande 5 - Infrarouge proche	0,845 - 0,885 μm	30 m
Bande 6 - Infrarouge moyen 1	1,560 - 1,660 μm	30 m
Bande 7 - Infrarouge moyen 2	2,100 - 2,300 μm	30 m
Bande 8 - Panchromatique	0,500 - 0,680 μm	15 m
Bande 9 - Cirrus	1,360 - 1,390 μm	30 m
Les bandes spectrales de l'instrument TIRS-8		
Bande 10 - Infrarouge moyen	10,30 - 11,30 μm	100 m
Bande 11 - Infrarouge moyen	11,50 - 12,50 μm	100 m

Le premier capteur est dit *Operational Land Imager (OLI)* est l'instrument principal. Ce radiomètre multispectral acquiert des images dans neuf (9) bandes spectrales allant du visible au moyen infrarouge. Sept (7) de ces bandes spectrales étaient déjà présentes sur l'instrument *ETM⁺* de Landsat-7, deux canaux supplémentaires ont été ajoutés, destinés principalement à la correction atmosphérique (canal bleu à 440 nm) et à la détection des nuages (1 380 nm). Le second capteur est dit *Thermal Infrared Sensor (TIRS)* est un radiomètre multispectral infrarouge à deux canaux qui fournit des données dans des longueurs d'onde observées par les anciens satellites Landsat mais non repris dans l'instrument *OLI*. L'objectif est d'assurer la continuité des mesures effectuées par le passé. La résolution des images est de 100 mètres contre 60 m pour l'instrument de Landsat-7. Les bandes spectrales du Landsat 7 et 8 sont détaillées dans le Tab.4.

Tab. 4: Comparaison entre les bandes spectrales du Landsat 7 et 8 (<http://glovis.usgs.gov/>).

Bandes L7 (ETM ⁺)	Bandes L8 LDCM OLI / TIRS	Explication des différences
	Bande 1 : 30 m, Coastal / Aerosol, 0.433–0.453 μm	Bande côtière ajoutée à la demande des chercheurs de couleur océanique exigeant une résolution plus élevée des eaux côtières par rapport à MODIS et SeaWiFS.
Bande 1 : 30 m, Blue, 0.450–0.515 μm	Bande 2 : 30 m, Blue, 0.450–0.515 μm	Amélioration de la bande passante effectuée pour éviter les caractéristiques d'absorption atmosphérique (activée par le rapport
Bande 2 : 30 m, Green, 0.525–0.605 μm	Bande 3 : 30 m, Green, 0.525–0.600 μm	
Bande 3 : 30 m, Red, 0.630–0.690 μm	Bande 4 : 30 m, Red, 0.630–0.680 μm	

Bande 4 : 30 m, NearIR, 0.775–0.900 μm	Bande 5: 30 m, Near-IR, 0.845–0.885 μm	signal-tonoise plus élevé inhérent à l'architecture push-broom).
Bande 5 : 30 m, SWIR1, 1.550–1.750 μm	Bande 6 : 30 m, SWIR-1, 1.560–1.660 μm	
Bande 7 : 30 m, SWIR2, 2.090–2.350 μm	Bande 7 : 30 m, SWIR-2, 2.100–2.300 μm	
Bande 8 : 15 m, Pan, 0.520–0.900 μm	Bande 8 :15 m, Pan 0.500–0.680 μm	
	Bande 9 : 30 m, Cirrus, 1.360–1.390 μm	Bande de cirrus ajoutée pour détecter la contamination des nuages dans d'autres canaux.
Bande 6 : 60 m, LWIR, 10.00–12.50 μm	Bande 10 : 100 m, LWIR1, 10.30–11.30 μm	TIRS acquerra les données pour ces deux bandes thermiques.
	Bande 11 : 100 m, LWIR2, 11.50–12.50 μm	

Les données fournies par les satellites Landsat font actuellement l'objet d'une vaste série d'examen de la part de nombreux chercheurs (géologues, pédologues, hydrologues, forestiers, aménagistes...). Ils sont capables d'enregistrer la réponse spectrale des forêts, ils permettent la cartographie, la gestion des ressources, la surveillance de l'environnement et la détection du changement (<http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/bs44573>).

Satellites SPOT

Les satellites SPOT ; est une série de satellites d'observation de la terre qui ont été conçus et lancés par le Centre Nationale d'Etudes Spatiales (CNES) de France depuis 1986. Il a une résolution spatiale de 10 m en mode panchromatique (1 seule bande) et 20 m en mode multi spectrale (3 bandes), la fauchée est de 60 km. Les données de 3 bandes multi spectrale sont utiles pour afficher des images en fausses couleurs et la bande panchromatique peut être utilisée pour améliorer le détail des données multi spectrales. Les images Spot sont utilisées en foresterie et en agriculture. Les principales caractéristiques techniques de l'instrument végétation Spot-4 (Mayaux *et al.*, 2003) sont optimisées pour la surveillance globale de la végétation (CNES, 1999). Les images Spot permettent d'en produire une cartographie des contours de feux avec une précision inférieure à 10 m et calculer le nombre d'hectares brûlés pour chaque feu de forêt. L'acquisition d'images stéréoscopiques sont appliquées également en cartographie pour établir le Model Numérique de Terrain (MNT).

En 2001, l'Agence Spatiale Européenne (ASE) et l'Union européenne ont lancé un programme ambitieux de surveillance globale pour l'environnement et la sécurité *Global Monitoring for Environment and Security (GMES)*, devenu le programme Copernicus en 2012, afin de rassembler des données satellitaires accessibles et de développer des services opérationnels. Dans le cadre de Copernicus, l'ESA a développé la constellation des satellites Sentinel qui fournissent des images

gratuites, optique et *RADAR*, dans des résolutions complémentaires. Ainsi, les satellites Sentinel-2 A et B produisent des images à HR (jusqu'à 10 m), avec une acquisition systématique globale tous les 5 jours (Herbreteau *et al.*, 2018) et une couverture au sol de 290 km (Faivre, 2018).

Satellite Sentinel

Le satellite Sentinel ; deux satellites optiques identiques : Sentinel-2A et Sentinel-2B, Lancés respectivement par l'ESA en date du 2015 et 2016. Il dispose 13 bandes spectrales ayant une résolution spatiale de 10, 20 et 60 m. Les caractéristiques des bandes spectrales du Sentinel sont résumées dans l'annexe 5.

Le satellite optique Sentinel-2 est utilisé dans les applications de la cartographie de l'occupation des sols. Il permet d'élaborer des cartes d'occupation des sols, cartes de risque et de couverture rapide en cas d'urgence et cartes de la végétation et de la chlorophylle.

Parmi les 1.071 satellites opérationnels en orbite, l'Afrique compte 24 satellites opérationnels sur orbites et ayant pour missions de navigation, communication, suivi de la météorologie et d'observation de la terre (John, 2017). Les satellites africains sont répartis par dates de lancement dans l'annexe 6.

L'Algérie compte actuellement 6 satellites mis sur orbites depuis l'année 2002. Ils sont gérés par l'Agence Spatiale Algérienne (ASAL). Le microsatellite amélioré satellite Alsat-1 mis sur orbite terrestre de 700 km (Bekhti & Sweeting, 2008). Sa fauchée est de 600 km. Son capteur solaire a une résolution spatiale de 32 m et 3 bandes spectrales (vert, rouge et proche infrarouge) identiques à celles du capteur *TM* du satellite Landsat (Rachedi *et al.*, 2004). Il est dédié à la surveillance des catastrophes naturelles. Les données Alsat-1 ont été utilisées dans un cadre prévisionnel dans la mesure où elles permettent la localisation et l'identification des zones agricoles menacées par d'éventuelles invasions acridiennes (Benhamouda, 2005). Elles ont permis aussi de faire un suivi des incendies de forêts et un bilan chiffré des superficies touchées annuellement (entre le mois de Mai et Août) par le feu de forêts (Yousfi *et al.*, 2005).

Le deuxième satellite Alsat-2A mis sur orbite héliosynchrone de 670 km (Kameche *et al.*, 2011). Son capteur a une résolution au sol de 2,5 m pour la bande panchromatique et 4 m pour les 4 bandes multispectrales (bleu, vert, rouge et infrarouge). Sa fauchée est de 17,5 km. Les opérations sont effectuées à partir du segment terrestre Alsat-2 situé à Ouargla (Algérie) (Larbi *et al.*, 2012). Le satellite présente un intérêt technologique et économique considérable et qui garantit le renforcement de l'autonomie en termes de disponibilité et de couverture des données satellitaires, ce

qui permet d'améliorer et de mettre à jour la cartographie de base et thématique sur l'ensemble du territoire national (Boukerch *et al.*, 2012). Plus de 130.000 produits d'imagerie ont été reçus à la date 2016 (Kameche & Benmostefa, 2016).

Le satellite Alsat-1B et 2B ont été mis sur une orbite héliosynchrone de 700 km. La résolution spatiale est moyenne (24 m en multispectrale et 12 m en panchromatique). La fauchée est de 163 km. Parmi ses applications on cite l'observation de la terre telle que la surveillance des ressources naturelles (agriculture), gestion des catastrophes et la cartographie de l'occupation des sols (Serief, 2017).

Le satellite expérimental Alsat-1N est dédié à la recherche scientifique et le développement technologique.

Le satellite AlcomSat1 est le 6^{ème} satellite Algérien et le premier satellite de communication. Il assure une couverture nationale et régionale (nord-ouest de l'Afrique et le Sahel). Il permet le renforcement de la souveraineté nationale en matière de télécommunications. Il permettra la diffusion de 200 à 300 chaînes de télévision et du même nombre de radios numériques, mais aussi l'amélioration de certains services tels que la formation en ligne, la télémédecine et la visioconférence grâce à la diffusion de l'Internet à très haut débit sur l'ensemble du territoire Algérien. Il permet la réduction des coûts d'exploitation actuels liée à l'utilisation de la capacité spatiale fournie par des systèmes de télécommunications internationaux (ASAL, 2018).

1.1.2.12 Logiciels de traitements d'images satellites

Les logiciels permettent de mettre en place rapidement une chaîne de traitement des données multi sources, par exemple, à un projet SIG.

Les logiciels SIG, notamment le MapInfo est un logiciel de traitement de l'information géographique. Il permet la représentation de données statistiques sur des cartes mais comporte aussi un volet gestion de bases de données géolocalisées et programmation. Le fait qu'il ait été pionnier dans le domaine explique en partie sa position privilégiée dans un créneau de logiciels qui connaît actuellement une forte croissance (Grégoire *et al.*, 2012).

Le logiciel ArcGIS, fournit des outils intéressants de calculs et de mesures à partir des cartes (Saidi, 2013) et d'autres sources à références spatiales. ArcGIS est un ensemble de logiciels d'information géographique développés par la société américaine *ESRI*. Il permet d'acquérir, de traiter et d'analyser l'information géographique (Laala & Alatou, 2016). Le logiciel ArcGIS version 10.8 est

une plateforme développée en 2010. Ce système complet (ArcGIS) propose trois produits à savoir les produits bureautiques (ArcGIS Desktop), produits serveurs (ArcGIS Server) et produits nomades (ArcGIS Mobile, ArcPad). ArcGIS Desktop (littéralement « ArcGIS de bureau ») se compose de quatre applications intégrées (ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox et ArcGlobe). ArcCatalog est l'application de gestion des données, qui permet de parcourir l'ensemble de données et des fichiers sur l'ordinateur. Il permet aussi aux utilisateurs de prévisualiser les données sur une carte, offre aussi la possibilité de visualiser et gérer les métadonnées de l'aménagement de l'ensemble de données. ArcMap est l'application centrale d'ArcGIS Desktop, utilisée pour visualiser, éditer des données géospatiales, et créer des cartes. ArcToolbox (littéralement, la boîte à outils), il contient des outils de géotraitement, la conversion et d'analyse des données. ArcGlobe est similaire à ArcMap mais permet une visualisation 3D des données. ArcGIS comprend plus de 600 outils de géotraitement (ESRI, 2009). L'outil typique prend l'ensemble de données ArcGIS comme intrants (tels que des couches, des rasters, des tableaux, etc.), applique une opération aux données et crée un ensemble de nouveaux résultats (Chaaban, 2011). En utilisant conjointement ces applications et ces interfaces, ArcGIS permet d'effectuer toutes sortes de tâches SIG, y compris la cartographie, l'analyse géographique, l'édition de données (création, mise à jour), la gestion des données, la visualisation et le géotraitement (Denis, 2016). ArcGis, est aussi un logiciel qui permet de traiter les données optiques grâce aux modules et outils implémentés. Il est un logiciel de traitement des données décompressées ; ArcGis est non seulement un logiciel très efficace pour le traitement de données satellites mais aussi un bon gestionnaire de base de données (Barry *et al.*, 2015).

Les deux logiciels SIG (Mapinfo et ArcGIS) sont à peu près comparables quant à l'étendue de leurs fonctionnalités, mais certaines de ces fonctionnalités sont plus faciles avec l'un, et d'autres avec l'autre. ArcGIS permet de faire de la statistique spatiale c'est-à-dire des méthodes d'interpolation sont implémentées (Grégoire *et al.*, 2012).

Le logiciel *Global Mapper* version est un logiciel d'exploitation de cartes de tous types qui permet également de réaliser certaines opérations simples telle que la conversion de format à partir des données qu'on lui fournit (Vagliani & Ilinca, 2009).

Logiciel Excel

Le logiciel Excel de la suite Office de Microsoft est, comme chacun le sait, un tableur. Il possède un certain nombre de fonctions statistiques. Il joue un rôle dans le dispositif d'enseignement de la statistique (Grégoire *et al.*, 2012). Le logiciel de tableur (Excel) est utilisé pour faire les calculs et les représentations graphiques.

1.1.2.13 Objectifs de la télédétection

L'image satellitaire est sans doute le modèle visuel le plus fidèle, le plus riche de l'espace géographique. Elle est la source d'informations abondantes et précises sur l'occupation du sol et sur les phénomènes qui se déroulent à la surface de la terre (Sall *et al.*, 2019). L'intérêt de l'image satellitaire réside dans la stabilité de la qualité des données fournies et la possibilité avec un même flux d'obtenir différentes informations modulées par le nombre de capteurs, le domaine spectral, la résolution spatiale (Chehata, 2017). La télédétection aérienne a connu ses premières expérimentations dès le début du dix-neuvième siècle puis s'est réellement développée pendant les première et deuxième guerres mondiales par la prise de photographies militaires. Les premières images satellites apparaissent dans les années 60 mais c'est avec le lancement du satellite Landsat 1 en 1972 puis du satellite SPOT1 en 1986 que l'observation de la Terre par satellite devient réellement opérationnelle (Campbell, 2011). Ils ont été les précurseurs de séries de satellites d'observation qui sont aujourd'hui en orbite, et régulièrement renouvelés. Selon leurs caractéristiques, les images satellites peuvent permettre l'identification d'objets au sol de quelques dizaines de centimètres, ou d'avoir des images de la surface terrestre avec une fréquence d'acquisition quotidienne (Herbreteau *et al.*, 2018). La quantité de données de télédétection archivées est de plus en plus importante et grâce aux nouveaux et futurs satellites, ces données offriront une plus grande diversité de caractéristiques spatiales, spectrales, temporelles, et superficie de l'emprise du satellite (Masse, 2013). La bonne résolution, la répétitivité, les grandes possibilités de stockage et de restitution rapide d'informations des systèmes permettent de réduire la durée des travaux cartographiques (amélioration d'interprétation, diminution du temps consacré à la prospection sur le terrain, possibilités de cartographie automatique de certains ensembles homogènes), ces techniques d'acquisition et de mémorisation des données relatives à l'occupation des sols devraient permettre de résoudre, en partie, les problèmes liés à la surveillance régulière et efficace du territoire (Girel, 1986). La télédétection permet de cartographier les sols, de mesurer leur humidité et d'observer leur dynamique, par une observation diachronique, elle apparaît comme un outil précieux du suivi de l'état de l'environnement (Bonnet *et al.*, 2011). Traditionnellement, l'estimation du taux de couverture de la végétation à partir de l'imagerie satellitaire se fait soit à l'aide de la classification conventionnelle soit à l'aide d'indices de végétation (Hill *et al.* 1998).

La télédétection est un outil qui prendra la forme de produits qui permet de fournir des services assurant ainsi une meilleure efficacité, une plus grande rapidité d'opération, un accroissement de l'automatisation et une économie accrue de l'information forestière. Il permet aux gestionnaires des

forêts de traiter numériquement les images. Il permet de réduire le temps d'exécution des tâches et par conséquent les coûts (Missoumi & Djillali, 1999).

Les données hyper spectrales offrent une vue unique des couverts forestiers, une vue impossible sans la technologie de télédétection. L'imagerie hyper spectrale renferme de l'information spectrale détaillée qui peut aider l'interprète de distinguer la différence entre espèces végétales principales et de détecter certains stress des arbres (infestations d'insectes). L'imagerie hyper-spectrale consiste à acquérir une image avec un grand nombre (plusieurs centaines) de bandes spectrales étroites et contiguës. De par sa richesse spectrale, cette donnée offre le potentiel d'une caractérisation de l'occupation du sol plus fine qu'en utilisant les données multispectrales traditionnelles à 3 ou 4 bandes (Chehata, 2017).

1.1.2.14 Intégration des données télédétectées dans un SIG

Le SIG facilite l'intégration de diverses données hétérogènes et facilite ainsi le suivi des changements d'occupation et d'utilisation du sol. L'intégration des résultats issus de traitements des images satellitaires donne la possibilité de faire des interprétations et des synthèses avec d'autres sources de données. Le SIG sera alors utilisé comme outil de synthèse et d'analyse (Faiza *et al.*, 2017). L'intégration et l'emploi des données de télédétection constituent une demande croissante en particulier pour la cartographie numérique. Il s'agit de l'étape qui suit la structuration des données. Les travaux préparatoires qui précèdent facilitent d'autant plus cette étape que la réflexion aura été menée de manière approfondie (Koehl, 2006). L'intégration est une méthode qui implique la combinaison de données provenant de différentes sources et qui permet d'extraire une plus grande quantité et meilleure qualité d'informations. Ces dernières peuvent inclure des données multi temporelles, de plusieurs capteurs et des données d'autres types géométriquement liés entre elles ou ayant des coordonnées géographiques communes. L'intégration des données du MNT peut augmenter la précision et de la visualisation de l'image. L'imagerie et l'extraction de l'information peuvent être intégrées dans un SIG pour une analyse plus poussée ou pour présentation avec des données auxiliaires telles que les pentes, les limites de propriété ou les routes. Le système permet d'intégrer et de traiter les données multi sources. Toutes les données disponibles, aussi bien celles issues des cartes, du terrain ou celles de la télédétection peuvent être intégrées au sein d'une base de données gérée par un SIG.

1.1.2.15 Domaines d'applications de la télédétection

La télédétection est un outil très utile pour l'utilisation des terres ou la surveillance de la couverture des terres, ce qui peut être utile pour décider de la répartition de l'utilisation des terres et de la

couverture des terres (El Jazouli *et al.*, 2017). Les applications utilisant les données satellitaires optiques et radar sont multiples (Wade *et al.*, 2008) et nombreuses abouties à cause des développements récents des techniques de la télédétection. Parmi les principales applications nous citons celles qui sont utilisées dans le secteur de l'agriculture, foresterie et l'urbain.

Domaine de l'agriculture

La cartographie des parcelles agricoles et des changements d'occupation du sol sont des actions réalisables à l'aide de la télédétection. Vannier (2011) a montré la dynamique de l'occupation du sol d'un territoire agricole à l'aide d'images satellitaires *MODIS* de 2001 à 2008. Il était possible d'estimer la masse végétale au sol, de décrire l'état phénologique de la culture, ou même de prévoir les rendements sur une parcelle à l'aide de la télédétection (Wang *et al.*, 2012). La télédétection renseigne aussi sur l'état de santé des plantes (Atzberger, 2013) et elle permet une cartographie des parcelles et du changement d'occupation du sol.

Domaine de la foresterie

La télédétection offre des techniques et méthodes avancées de classification d'images satellites ayant pu améliorer les méthodes classiques utilisées dans la cartographie des types de peuplements ce qui a apporté plus de fiabilité à l'outil télédétection dans le domaine forestier par l'apport de données exogènes d'adaptation caractérisant les espèces forestières (Bijaber *et al.*, 2005). La biodiversité, les titres de propriété, le cadastre forestier, la surveillance du déboisement, la gestion du reboisement, les opérations de coupes commerciales, la protection des bassins versants, le suivi de la régénération, le contrôle de la croissance de forêt, la cartographie de feu de forêts et des zones brûlées sont autant d'applications qui utilisent la télédétection comme source d'information. Ce sont des paramètres clés mesurés par des méthodes de télédétection. Les coupes rases se caractérisent sur l'image par une augmentation de la radiométrie dans le MIR. La télédétection permettra donc de cartographier le massif forestier par classe d'âge. L'utilisation de la télédétection et des SIG a rendu possible la modélisation et la spatialisation de l'érosion hydrique à un coût raisonnable (Boggs *et al.*, 2001).

Domaine de l'urbanisation

La télédétection s'avère nécessaire, voire indispensable, dans les recherches sur l'étalement urbain. Les mesures et les cartes résultantes du traitement des données de télédétection offrent des outils quantitatifs et qualitatifs pour caractériser l'étalement urbain et pour contribuer à la gestion de la croissance spatiale des villes (Demaze, 2010). La télédétection permet de mieux comprendre et

cartographier les dynamiques d'urbanisation malgré leurs complexités et intensités (Faure *et al.*, 2004). Selon Donnay (1999), une HR permettra une bonne identification de la plupart des classes d'occupation du sol en milieu urbain. La texture, avec sa notion de voisinage, combine à la HR et spectrale du capteur forment un outil approprié pour la cartographie zonale en milieu urbain (Anys *et al.*, 1998). Les images satellitaires à très HR, qui ont une précision spatiale d'un ordre métrique, apparaissent alors comme une source de données incontournable pour toute analyse des espaces urbanisés (Puissant & Weber, 2004).

1.1.2.16 Conclusion sur la télédétection

La télédétection offre de nombreux avantages tels que le stockage numérique des données, la répétitivité fréquente, la livraison rapide, la possibilité d'intégration dans un SIG et une mise à jour aisée de l'information. La télédétection, de par sa vision synoptique, actualisée et objective sur l'état de la surface terrestre, constitue une source d'information pertinente pour le suivi de l'agriculture à l'échelle régionale et son utilisation dans le cadre des systèmes de suivi de la sécurité alimentaire pourrait être renforcée (Leroux, 2015). La télédétection est un outil d'investigation à associer à d'autres techniques pour l'analyse de l'évolution des couverts végétaux. La télédétection est considérée comme étant un outil performant de travail utilisé souvent pour la connaissance, le contrôle, le suivi et la surveillance des milieux physiques, biotiques et abiotiques. Avec les satellites on peut prendre conscience du changement climatique, on peut faire le suivi de l'environnement et de l'agriculture. La télédétection se couple avec les SIG d'où ils fournissent une plate-forme appropriée pour l'analyse et la mise à jour des données (Goodchild & Barbara, 2009).

1.1.3 Système de localisation *Global Positioning System (GPS)*

Le *GPS* est un système géré par le département américain de la défense et constitué par un réseau de 24 satellites qui permet aux utilisateurs de récepteurs *GPS* de se localiser en tout point dégager du globe. Schématiquement, le principe de calcul des coordonnées repose sur la connaissance de la position des satellites et la détermination de la distance récepteur-satellites à partir de la mesure du temps de vol des signaux entre les satellites émetteurs et le récepteur. Le récepteur calcule ses coordonnées par trilatération (recherche du point d'intersection de sphères centrées sur les satellites). Seulement trois satellites « visibles » du récepteur permettent de calculer la longitude et la latitude ; l'altitude est obtenue avec un satellite supplémentaire (Zwaenepoel & Le Bars, 1997).

1.2 Impacts du changement climatique

Clarification de quelques concepts cités dans notre travail. Dans cette thèse, on entend par :

Le climat correspond à la distribution statistique des conditions atmosphériques dans une région donnée pendant une période de temps donnée.

La notion de changement climatique, et celle de réchauffement climatique se réfèrent au climat planétaire et à ses variations globales et locales.

Aléa ; manifestation menaçante ou probabilité qu'un phénomène potentiellement préjudiciable se produise dans une période de temps ou une zone donnée.

Risque ; perte anticipée (mort, blessures, dégâts de propriété et perturbation des activités économiques) due à un aléa particulier et concernant une zone et une période de référence donnée. En se basant sur des calculs mathématiques, le risque est le produit de l'aléa et de la vulnérabilité. Il est aussi défini comme étant la probabilité et magnitude d'occurrence d'une perturbation ou d'un stress dans une région en un temps donné.

Vulnérabilité ; degré auquel un système est susceptible, ou se révèle incapable, de faire face aux effets néfastes des changements climatiques, notamment à la variabilité du climat et aux conditions climatiques extrêmes. La vulnérabilité est fonction de la nature, de la magnitude et du taux de variation climatique auxquels un système se trouve exposé ; sa sensibilité, et sa capacité d'adaptation (Adger *et al.*, 2003).

La vulnérabilité au changement climatique est définie par le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) comme « le degré par lequel un système risque de subir ou d'être affecté négativement par les effets néfastes des changements climatiques, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes. La vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur, et du rythme des changements climatiques auxquels un système est exposé, ainsi que sa sensibilité et sa capacité d'adaptation » in Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique, 2006.

Prévention : ensemble des dispositions prises pour prévenir un danger, un mal.

Adaptation ; c'est un processus d'ajustement des systèmes écologiques, social et économique à un risque climatique constaté ou anticipé, à ses effets et ses impacts. Il désigne un changement de procédures, de pratiques et de structures visant à limiter ou effacer les dommages potentiels ou à tirer bénéfice des opportunités créées par les changements climatiques. Il demande des ajustements

afin de réduire la vulnérabilité au changement climatique de certaines communautés, régions ou activités. L'interaction du climat et de l'homme vis-à-vis des milieux naturels est représentée par la Fig. 9.

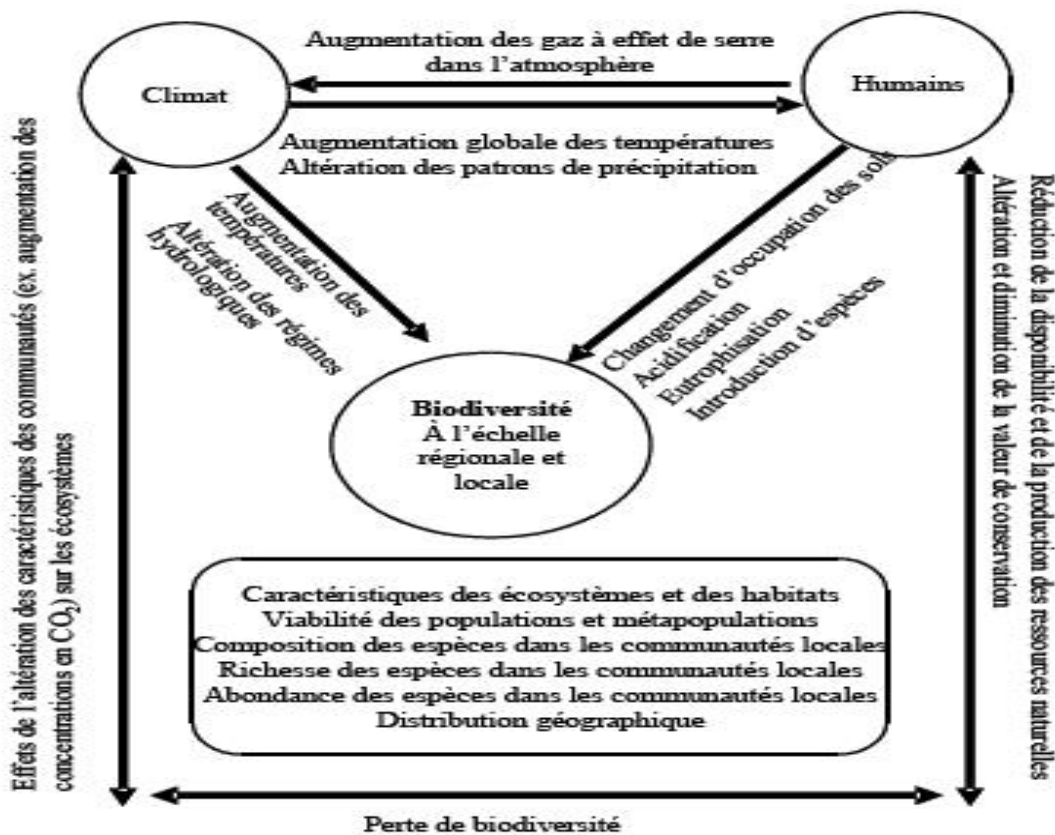


Fig. 9: Effet du changement climatique et de l'anthropisation (d'après Heino *et al.*, 2009)

L'analyse des effets naturels et anthropiques sur les milieux naturels montre que la biodiversité se trouve bien impactée.

1.3 Introduction

L'évidence de l'existence de changements climatiques est devenue de plus en plus certaine à mesure que les rapports du GIEC proposaient des analyses de l'évolution climatique globale au cours des dernières années 1990, 1995, 2001 et 2007.

Accroissement de la teneur en gaz carbonique et autres Gaz à Effet de Serre (GES) dans l'atmosphère, élévation de la température, modification des régimes pluviométriques, et donc des différents termes du bilan hydrique (évaporation, drainage, ruissellement) évolution de la couverture nuageuse, et donc du bilan radiatif ; l'ensemble des facteurs bioclimatiques qui régissent le fonctionnement des écosystèmes est amené à se modifier (Seguin, 2010).

La Terre a connu ainsi de nombreuses variations climatiques avec des variations de température de $\pm 15^{\circ}\text{C}$ par rapport à l'actuel et des variations du niveau marin d'au moins ± 200 m au cours des 650 derniers millions d'années. Le réchauffement de la planète est donc un fait ; entre 1900 et 2007, la température moyenne du globe a augmenté de 1°C (15°C de moyenne pour 2006) et le niveau moyen des océans a monté de 15 cm (Camus *et al.*, 2007).

A travers le monde, durant ces dernières années, on remarque une augmentation rapide de la température et des phénomènes comme les sécheresses et les inondations (Matari, 2010).

La société humaine s'est développée de façon très rapide, en particulier depuis la révolution industrielle, au dix-huitième siècle. Parallèlement à cette accélération, son environnement a également évolué du fait des activités humaines telles que le développement industriel, l'utilisation des combustibles fossiles, le déboisement, l'urbanisation et autres utilisations du sol. Depuis le début de l'ère industrielle, la concentration de gaz carbonique, d'oxyde d'azote et de méthane, dits (GES), a augmenté provoquant le réchauffement climatique (Woodfine, 2009).

Le changement climatique est de plus en plus admis à l'échelle mondiale. Il affecte la santé et le bien-être des populations (Delavière & Guégan, 2008).

En 2004, le gouvernement britannique en chef conseiller scientifique, Held (2007) a déclaré que le changement climatique est le plus grave problème auquel nous sommes confrontés aujourd'hui.

La région méditerranéenne est à la fois victime et témoin des risques et de changements globaux. C'est une zone de forte instabilité tellurique, où l'eau constitue à la fois un risque (précipitations extrêmes, inondations) et une ressource rare difficilement exploitable, ainsi qu'un hotspot de la biodiversité (Bonin *et al.*, 2001).

Dans les pays méditerranéens la sécheresse continue à s'accroître, dans un contexte où la violence et / ou la fréquence et gravité des aléas climatiques pourraient croître (Julliard *et al.*, 2006).

En Afrique de l'Ouest, la pluviométrie a chuté dès la fin des années 60, marquant le début d'une période de sécheresse persistante sans précédent. Les grands fleuves ouest-africains ont souffert de la sécheresse, leurs déficits en écoulements subissant une amplification d'un facteur 2 à 3 par rapport au déficit pluviométrique. Parallèlement, sous les effets conjugués des évolutions climatiques et des activités humaines (intensification de l'agriculture, déforestation, ...etc.), les états de surface ont été modifiés et ont pu entraîner d'importants changements dans les conditions de ruissellement et d'infiltration.

1.4 Définition

Le terme changement global se réfère à une série de changements naturels ou d'origine anthropique de la structure biologique et physique de la Terre, qui dans leur ensemble ont des effets significatifs à échelle globale (Pachauri & Reisinger, 2008).

Le changement climatique est un des enjeux les plus graves auxquels doit faire face le monde aujourd'hui et il est susceptible de causer des dégâts énormes et potentiellement irréversibles à l'environnement et à la société humaine à l'échelle mondiale (Agard *et al.*, 2010). Il constitue donc un obstacle au bien-être des pays et en particulier des pays les plus pauvres et de leurs habitants les plus démunis.

Le changement climatique est l'un des défis les plus complexes de notre jeune siècle. Aucun pays n'est à l'abri de ses effets et aucun pays ne peut, seul, faire face aux décisions politiques controversées, aux profondes transformations technologiques et autres enjeux indissociables et lourds de conséquences à l'échelle de la planète. En même temps que la planète se réchauffe, le régime des précipitations se modifie et des phénomènes extrêmes tels que sécheresses, inondations et incendies de forêts deviennent plus fréquents (Robert, 2010).

Les changements climatiques présentent des obstacles supplémentaires à l'éradication de la pauvreté et à l'accomplissement d'une justice sociale. L'augmentation des températures, l'irrégularité et la mauvaise répartition des pluies ainsi que les fortes inondations de plus en plus nombreuses, les cyclones et sécheresses sont tous des facteurs qui compromettent sérieusement la sécurité des moyens de subsistance des personnes pauvres (Dazé *et al.*, 2010).

1.5 Historique

L'homme est bien responsable du changement climatique que connaît la Terre. Les émissions de GES se sont accélérées depuis 1990 et les mesures de concentration de CO₂ dans l'atmosphère ne montrent pas de changement de tendance. La vitesse de montée de la mer a augmenté, de 1993 à nos jours (GIEC, 2007).

Depuis 1992, par protocole de Kyoto, les scientifiques considèrent que les émissions de GES comme responsables du réchauffement de la planète.

Le Sommet de Rio de 1992, l'entrée en vigueur de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) en 1994 et les différents rapports d'évaluation du GIEC pour

l'étude du climat ont mis en évidence l'existence de changements exceptionnels à l'échelle de milliers d'années et de changements non seulement dus à la variabilité naturelle de tout climat, mais également à des facteurs liés aux activités humaines (GIEC, 2007).

L'analyse de séries quotidiennes des données climatiques montre une augmentation du nombre de jours de vagues de chaleur et une diminution du nombre de jours de froid et de gel au cours des cinquante dernières années (Delavrière & Guégan, 2008).

Le GIEC a été mis en place en 1988 par les Nations-Unies. Il regroupe les travaux de plus de 2000 chercheurs du monde entier, il produit des synthèses sur le changement climatique en prenant en compte les perspectives scientifiques, techniques et socio-économiques.

La fin des années 1980 marque l'apparition des changements climatiques d'origine anthropique en tant qu'enjeu majeur sur la scène internationale (St-Laurent Samuel, 2011).

Le GIEC a publié en 1990, le premier rapport d'évaluation, par lequel il confirmait scientifiquement la réalité du changement climatique.

Le second rapport, en 1995, confirmait l'influence des activités humaines sur le climat.

Le troisième rapport finalisé en 2001 est le référentiel utilisé dans les négociations des Nations-Unis sur le climat.

Le quatrième rapport a été publié en 2007 et montre des avancées méthodologiques significatives sur l'identification des impacts potentiels (Bernier, 2005).

Le monde méditerranéen a été particulièrement affecté en raison de sa particularité climatique (sécheresse, intempéries), écologique (incendies), géomorphologique (érosion) et de l'ancienneté de l'occupation humaine (déséquilibres écologiques). Les derniers rapports du GIEC montrent que les régions méditerranéennes seront celles qui, en Europe occidentale, auront à subir des effets particulièrement négatifs sur le fonctionnement des écologies et des agrosystèmes. Les effets du réchauffement climatique sont donc de plus en plus perceptibles depuis plus d'une vingtaine d'années (Milano, 2010).

Le changement climatique au cours de la moitié du siècle dernier a déjà affecté les écosystèmes des forêts et les effets iront en s'augmentant dans le futur. Les services de régulation de gaz carbonique des forêts risquent de disparaître complètement si les émissions actuelles de dioxyde de carbone

(CO₂) ne sont pas réduites de façon substantielle, ce qui aurait pour résultat de libérer dans l'atmosphère des quantités énormes de CO₂ et d'aggraver ainsi le changement climatique (Seppala *et al.*, 2009).

Le changement climatique apparaît dès aujourd'hui comme le plus important défi environnemental auquel l'humanité devra faire face ses conséquences sont graves pour toute l'humanité car il pourrait détruire les progrès réalisés pour atteindre les objectifs millénaires pour le développement et pourrait aussi avoir de sérieuses implications pour la paix et la sécurité.

La nécessité d'une action urgente afin de combattre le changement climatique et réduire les émissions de GES est maintenant reconnue par toutes les nations comme une priorité internationale de premier plan.

1.6 Causes des changements climatiques

Le réchauffement de la planète est une réalité incontournable dont nous mesurons chaque jour les conséquences dévastatrices. Il a été montré que le climat est en train de changer et que l'émission de GES est le principal vecteur de ce changement.

Les causes du changement climatique peuvent être d'origine d'entreprises d'élevage intensif, qui émettent des GES dans l'atmosphère, par le biais des émissions de carburant (provenant des machines et de la fabrication de produits agrochimiques), du méthane dégagé par le bétail, mais aussi du méthane et de l'oxyde nitreux issus de l'exploitation des terres arables et du drainage des zones humides (Seppala *et al.*, 2009).

Il a été montré aussi que la réduction et la dégradation de la couverture forestière mondiale, qui occupe environ un tiers de la surface du globe, ont un impact considérable sur l'accélération du réchauffement climatique et la réduction de la biodiversité (ASJ, 2011).

Parmi les facteurs causals du réchauffement climatique nous citons ceux qui suivent :

1.6.1 Gaz à Effets de Serre (GES)

En particulier l'augmentation de la concentration des GES dans l'atmosphère qui contribue au réchauffement climatique (Deynès, 2008).

Certains experts pensent que les changements climatiques sont liés à l'aggravation de l'effet de serre, mais qu'est-ce donc que l'effet de serre ?

Le terme « effet de serre » a été adopté par analogie à ce que l'on observe dans les serres en verre ou en plastique des agriculteurs. En effet, une partie de l'énergie solaire accumulée dans une serre au cours de la journée reste piégée derrière les vitres grâce à la vapeur d'eau et entraîne une augmentation de la température.

De la même façon, il existe à la surface de la Terre un effet de serre naturel provoqué par la présence dans l'atmosphère de GES (Nefzi & Bouzidi, 2009).

L'effet de serre est un phénomène naturel : une partie du rayonnement infrarouge émis par la terre vers l'atmosphère terrestre reste piégée par les GES, augmentant ainsi la température de la basse atmosphère (troposphère). Ces gaz sont essentiellement de la vapeur d'eau, et une infime partie est d'origine humaine. Sans cet effet, la température de surface de la terre serait en moyenne de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Delavière & Guégan, 2008).

Ces gaz se comportent comme la vapeur d'eau dans la serre : ils contribuent à conserver la chaleur à la surface de la terre. Cet effet de serre naturel est une des conditions indispensables à la présence de la biosphère telle que nous la connaissons à la surface de la Terre (Nefzi & Bouzidi, 2009).

Selon le GIEC (2007), la déforestation et la dégradation des forêts tropicales sont responsables de 20% des émissions mondiales de GES.

Le réchauffement planétaire semble de plus corrélé avec une forte augmentation dans l'atmosphère de la concentration de plusieurs GES, dont le dioxyde de carbone, le méthane et le protoxyde d'azote (Both *et al.*, 2006).

L'augmentation des émissions de GES est une des causes du changement climatique. L'augmentation dans l'atmosphère des GES résulte de l'activité humaine d'où le réchauffement climatique est dû à l'activité humaine (Milano, 2010).

Le GIEC est parvenu à la conclusion que les GES produits par l'activité humaine, notamment le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), l'oxyde nitreux (N_2O) et les halo carbonés, sont responsables de la plus grande partie des hausses de température observées depuis le milieu du XXe siècle.

La contribution de l'agriculture à l'excédent des émissions de GES est significative du fait de la digestion des ruminants, du cycle de vie des intrants (engrais et phytosanitaires) et des pratiques

culturelles (plus de 20% des sources d'émission). L'activité agricole génère donc deux gaz qui contribuent fortement à l'effet de serre :

- a. Le méthane, résulte des processus de digestion du bétail et du stockage du fumier. Au niveau des exploitations, les émissions de méthane (CH_4) et d'oxyde nitreux (N_2O) sont le produit de la fermentation entérique et des effluents animaux. Dans la panse de l'animal, la fermentation microbienne transforme les fibres et la cellulose en produits qui peuvent être digérés et utilisés par l'animal. Le méthane est un sous-produit de cette fermentation exhalé par les espèces ruminantes, bovins, buffles, chèvres et moutons inclus.
- b. L'oxyde nitreux est rejeté durant le stockage et l'épandage des effluents d'élevage, et lorsque ces effluents sont stockés dans des conditions anaérobies et à la chaleur, ils produisent également du méthane (FAO, 2005).

L'élevage est donc une source d'émissions gazeuses qui polluent l'atmosphère et contribuent à l'effet de serre. Les émissions de GES des systèmes de production animale bovine en général sont aussi très élevées. Dans les systèmes extensifs, la plus grande partie de ces GES est le résultat de la dégradation des terres et de la fermentation entérique, tandis que dans les systèmes de production intensifs les effluents d'élevage sont la principale source de GES.

L'élevage, apparaît donc à la fois comme un facteur contribuant au processus de changement climatique et comme une victime potentielle (FAO, 2005) surtout quand leur source de nourriture est affectée ou dégradée par les effets du changement climatique.

Toutefois, la production des deux gaz (le méthane et le protoxyde d'azote) produit par l'élevage dans l'Union européenne est limitée et diminuée. Aujourd'hui, environ 9 % de l'ensemble des émissions de GES de l'UE proviennent de l'agriculture (contre 11 % en 1990) (Nefzi & Bouzidi, 2009).

Une tonne de GES relâchée vers l'atmosphère depuis l'Asie, l'Afrique ou n'importe quel point du globe contribue exactement de la même façon au réchauffement global. C'est pourquoi l'action collective est organisée dans le cadre des Nations Unies au plan international (Dazé *et al.*, 2010).

Les États-Unis sont le deuxième après la Chine, émetteur mondial de GES avec environ 20 % des émissions de GES (Delavière & Guégan, 2008).

On peut conclure que la hausse constante de la production animale se traduira sinon par d'énormes pressions sur la santé des écosystèmes, la biodiversité, les ressources en terres et forêts ainsi que la qualité de l'eau, et contribuera de manière substantielle au réchauffement de la planète.

La fumée provenant des arbres en combustion pollue l'atmosphère, y ajoutant plus de CO₂ et augmentant l'effet de serre (www.rncan.gc.ca).

1.6.1.1 Dioxyde de Carbone (CO₂)

L'addition du gaz carbonique à l'atmosphère par l'activité industrielle peut fournir une réponse à l'élévation récente de la température observée dans le monde entier (Wallén, 1962). Svante Arrhenius (1895) a démontré que l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère risquait d'accroître très significativement la température de la planète. Il avait calculé qu'un doublement de la teneur en CO₂ pourrait provoquer un réchauffement de 4 à 6 °C (Milano, 2010).

Les mesures de concentration du CO₂ atmosphérique montrent une forte différence entre les concentrations d'hiver et d'été, les concentrations étant plus fortes en hiver qu'en été, en raison de la fixation du dioxyde de carbone par la photosynthèse (Delbart, 2005).

La concentration en dioxyde de carbone, par exemple, a augmenté de 30% depuis le début de l'ère industrielle, bien que plus de la moitié des émissions anthropiques aient été absorbée par la biosphère terrestre et par l'océan. L'augmentation de la concentration des GES se traduit par un forçage radiatif « additionnel » atteignant de 2,3 W/m² et en considérant d'autres effets anthropiques comme le refroidissement lié aux aérosols, le changement d'usage des terres, la modification de l'albédo, on arrive à une évaluation de l'augmentation du forçage radiatif de 1,6 W/m² depuis 1850. Ce réchauffement global entraîne des modifications importantes, à présent visibles dans de nombreux domaines.

Le quatrième rapport du GIEC (2007) montre que 49 milliards de tonnes équivalent CO₂ sont émises annuellement par les activités humaines, réparties comme suit :

- a. La part due au secteur énergétique est de 25,9%,
- b. L'industrie à 19,4%,
- c. Le secteur forestier à 17,4%,
- d. L'agriculture à 13,5%,
- e. Les transports à 13,1%,
- f. Les habitations à 7,9%,

- g. Les déchets et eaux usées à 2,8%.

L'augmentation actuellement observée des quantités de GES, comme le CO₂, contribue à renforcer l'effet de serre. Les concentrations actuelles de CO₂ dans l'atmosphère surpassent de loin les taux des 650 000 dernières années. Elles sont passées de 280 ppm en 1970 à 379 ppm en 2005, et celles de méthane sont passées de 715 ppb à 1 774 ppb par ailleurs, la vitesse de croissance du taux de CO₂ dans l'atmosphère augmente également, passant de +1,5 ppm/an de (1970 à 2000), à +2,1 ppm/an entre 2000 et 2007. Il a été prouvé par l'étude isotopique du carbone dans l'air que cette augmentation des quantités de GES est due pour plus de la moitié à la combustion de matière carbonée fossile, l'autre partie étant due essentiellement aux déboisements massifs.

Le CO₂ est le principal GES responsable du réchauffement climatique et l'une des « solutions » préconisée est son stockage, après émissions, sous terre dans des poches comme pour les déchets radioactifs.

Les produits issus de la biomasse captent du CO₂ par photosynthèse et le rejettent lorsqu'ils sont dégradés en condition aérobie (Direm, 2002).

1.6.1.2 Autres gaz

Les émissions, par le secteur de l'énergie, comprennent d'autres gaz comme :

- a. L'oxyde nitreux (N₂O) dont les émissions sont généralement faibles en comparaison avec celles du Dioxyde de Carbone (CO₂) et du méthane (CH₄),
- b. Le monoxyde de carbone (CO),
- c. Les hydrocarbonés totaux (HC),
- d. Les oxydes d'azote (NO_x),
- e. Les oxydes de soufre (SO_x),
- f. Le dioxyde de soufre (SO₂),
- g. Les particules (MATE, 2001).

La fumée provenant des arbres en combustion pollue l'atmosphère, y ajoutant plus de CO₂ et augmentant l'effet de serre (www.rncan.gc.ca).

1.6.2 Bilan des émissions des gaz par l'Algérie

Par ses activités anthropiques, l'Algérie a émis en 1994 les gaz suivants :

- a. CO₂ : 75 870 Gg (Gigagrammes) en émissions brutes,
- b. CH₄ : 914 Gg,
- c. N₂O : 31 Gg.

La séquestration du CO₂ par les forêts est de l'ordre de 4 331 Gg si l'on tient compte du Potentiel de Réchauffement Global (PRG) à l'horizon de 100 ans de chaque gaz, les émissions brutes sont de 104.794 millions de tonnes équivalent CO₂ (TECO₂). Sachant que la population de l'Algérie était estimée en 1994 à 26 743 075 habitants, on a en moyenne 3,92 TE-CO₂/hab dont 2,84 t de CO₂ / habitant. L'absorption est de 0,16 t de CO₂ / habitant.

En tenant compte des PRG des trois principaux GES, 72,40% des émissions totales proviennent du CO₂, 18,31% proviennent du CH₄ et 9,29% du N₂O.

Ce dioxyde de carbone est enfoui depuis l'année 2000 dans un réservoir naturel rempli d'eau souterraine, soit l'équivalent de ce que rejettent en moyenne 200 000 voitures roulant 30 000 km/an.

1.7 Effets des gaz sur les écosystèmes agroforestiers

De nombreuses espèces végétales sont limitées dans leur croissance par le CO₂ atmosphérique ; par conséquent, une augmentation de sa quantité peut conduire à une accumulation de biomasse ou à une accélération des modifications phénologiques – dans la mesure où l'eau et d'autres nutriments ne sont pas des facteurs limitants.

1.7.1 Effets du CO₂ sur les milieux agricoles

Une concentration plus élevée de CO₂ dans l'atmosphère a un impact positif sur le processus de photosynthèse et peut entraîner, dans le cas où l'eau est disponible, une croissance plus rapide des plantes et un rendement plus élevé. Son augmentation pourrait avoir donc des effets substantiellement positifs (Bernardi, 2002). Il peut augmenter la productivité de certaines plantes, qui vont entrer en compétition avec des espèces plus sensibles et ainsi les faire disparaître (Boulain, 2004). Des travaux de recherche récents indiquent que la valeur nutritive de certaines plantes cultivées pourrait baisser car le CO₂ en excès favorise plus les sucres que les protéines (Katrin et Hermann, 2009).

1.7.2 Effets du CO₂ sur les forêts

Le CO₂ affecte la sensibilité des arbres à la sécheresse. L'augmentation de la teneur de l'atmosphère en CO₂ réduit l'ouverture des stomates, orifices situés à la surface des feuilles par lesquels la plante

absorbe le CO₂ et laisse échapper de la vapeur d'eau. Cet effet est très variable selon les espèces. Pour certaines, comme le Chêne, la réduction d'ouverture des stomates est nette, ce qui diminue les pertes d'eau par la transpiration foliaire de l'arbre et devrait donc réduire la sensibilité à la sécheresse. Pour d'autres espèces, comme le Pin maritime ou le Hêtre, cet effet "anti transpirant" est moins important, voire inexistant. Les implications écologiques de ces différences entre espèces sont évaluées en fonction du type de sol sur la base de simulations du climat futur.

L'accroissement du taux de CO₂ en lui-même modifie le fonctionnement de tous les végétaux en agissant sur la photosynthèse. Un doublement de la concentration de CO₂ peut augmenter de 20 à 30% la production photosynthétique des forêts. En revanche, cette tendance potentielle peut être affectée, voire inversée, par des températures excessives, des épisodes de sécheresse et les dépôts d'ozone. L'INRA mène plusieurs études pour évaluer l'impact du réchauffement climatique en prenant en compte tous ces facteurs. Il a été démontré que l'augmentation de la teneur de l'atmosphère en CO₂ accélère la croissance des arbres. Le CO₂ est en effet la matière première de la croissance des végétaux.

Grâce à des études expérimentales, menées dans des serres ou dans des chambres de culture à ciel ouvert, plusieurs équipes de chercheurs, dont celles de l'INRA ont pu chiffrer cette augmentation : elle est d'environ 40% pour un doublement de la teneur en CO₂. Ce chiffre varie selon les espèces forestières et est en règle générale plus élevé chez les espèces feuillues que chez les espèces résineuses. Les conséquences de cette augmentation ne sont pas forcément positives :

- a. Accroissement de la sensibilité des arbres aux contraintes du milieu (déséquilibres nutritionnels).
- b. Dégradation des propriétés technologiques du bois (propriétés mécaniques, composition chimique).

Le CO₂ de la photosynthèse pénètre dans les feuilles par les stomates, qui contrôlent aussi la transpiration. La fermeture des stomates qui permet de maintenir l'état hydrique foliaire diminue donc la photosynthèse, et donc la production des plantes (Attia, 2007).

Plusieurs études ont montré que la densité des stomates des plantes collectées récemment était significativement inférieure à celle des spécimens d'herbarium collectés 70 à 200 ans avant, et que cette variation était fortement corrélée à l'augmentation des niveaux de CO₂ du siècle dernier (Thuiller, 2003).

1.8 Effets des facteurs thermiques sur les écosystèmes agroforestiers

À la fin de l'hiver, les températures qui augmentent enclenchent les mécanismes qui sortent l'arbre de son état de dormance. Au printemps, le passage à un état actif enclenche le débourrement puis la feuillaison, deux stades aussi dirigés par la température. Pendant l'été, l'arbre consacre un certain temps à sa croissance pour ensuite arrêter de croître et accumuler des réserves en vue de la prochaine saison. À l'automne, l'arbre met en branle les processus physiologiques nécessaires à l'établissement de son état de résistance au froid de l'hiver (Rondeau, 2007).

Les températures globales sont liées à la quantité de GES dans l'atmosphère. La température est définie comme étant un paramètre abiotique fondamental qui règle de nombreux processus du vivant.

Selon le GIEC (1990), les estimations des modèles climatiques montrent que la température aurait augmentée de 0,4 à 1,3°C depuis un siècle uniquement à cause de l'accumulation des GES. Cette hausse de la température de l'air pourrait être plus importante aux latitudes nordiques, surtout en hiver, tandis que le réchauffement estival au-dessus des latitudes moyennes de l'hémisphère nord devrait être supérieur à la moyenne planétaire.

L'élévation de la température moyenne du globe entre 1906 et 2005 est estimée à 0,74 °C (à plus ou moins 0,18 °C près), dont une élévation de 0,65 °C durant la seule période 1956-2006 (Both *et al.*, 2006).

L'augmentation des températures agit sur l'activité photosynthétique et donc sur la croissance et la productivité (Lenoir, 2009). Les températures de la surface du globe ont augmenté d'environ 0,7° C en moyenne au cours du siècle dernier (GIEC, 2007).

Le climat, qui intègre la température ainsi que de nombreuses autres variables abiotiques, elles aussi, influencent de manière très importante la vie des organismes et les relations que ces organismes entretiennent dans le cadre des écosystèmes. Connaissant ce forçage climatique capital, on comprend qu'une modification du climat telle que nous la connaissons actuellement, c'est à dire une augmentation des températures moyennes mais aussi de la variabilité des températures autour de la moyenne, est susceptible d'avoir de lourdes conséquences sur les individus, les espèces et les communautés.

Le bilan d'énergie du couvert végétal montre qu'une partie importante de l'énergie radiative incidente est dispersée sous forme de transpiration (Attia, 2007). Une réduction de la transpiration

par fermeture stomatique se traduit donc par un échauffement de la feuille, souvent de plusieurs degrés Celsius. Le déficit hydrique se trouve ainsi fréquemment associé au stress thermique, non seulement parce que les périodes sèches sont souvent chaudes, mais aussi à cause des réductions de transpiration (Leinonen & Jones, 2004). L'échange "eau contre chaleur" est une limitation de la tolérance à la sécheresse, puisqu'une stratégie génétique consistant à réduire la transpiration par contrôle stomatique se trouve confrontée au risque de stress thermique (Tardieu, 2005).

D'après les études climatiques, les régions boréales sont parmi les régions ayant connu le plus fort réchauffement au cours du 20^{ème} siècle. Ce réchauffement est le plus marqué durant l'hiver et le printemps, or l'apparition des feuilles est contrôlée par les températures de printemps. Le réchauffement au printemps doit donc entraîner une avance progressive de l'apparition des feuilles (Delbart, 2005).

1.8.1 Effets des facteurs thermiques sur les milieux agricoles

Dans de nombreuses zones, l'augmentation de la température s'accompagne d'un déclin, ou au moins de fluctuations dans l'approvisionnement en eau. La culture associée à des températures élevées conduit à une oxydation rapide et à une réduction du carbone présent dans le sol (Katrin & Hermann, 2009).

En effet, la température influence fortement les phases printanières, telles que la floraison ou le déploiement des feuilles. Quand la température est très élevée, la floraison est complètement inhibée. Du point de vue biologique, le printemps commence de nos jours, douze jours plus tôt en moyenne qu'il y a cinquante ans (Defila & Clot, 2003).

Dans les conditions tempérées, l'augmentation de température peut favoriser la plupart des processus physiologiques. Pour le sud, où l'optimum thermique pour la photosynthèse est souvent déjà atteint, sinon dépassé dans certaines conditions. Des expérimentations en conditions contrôlées ont montré que la température est le paramètre principal influant la date de floraison (Chuine, 2010).

En France, La température moyenne annuelle a ainsi augmenté de 0,95 °C sur le territoire français (+0,74°C au niveau mondial) entre 1901 et 2000. Ce qui se traduit par des températures diurnes plus élevées, des températures de fin de nuit plus élevées, une diminution du nombre de jours de gel, une augmentation des vagues de chaleur, une diminution des vagues de froid et une augmentation de la variabilité des températures estivales, ce qui traduit une accentuation du risque de forte chaleur estivale (<http://www.onerc.gouv.fr>). Cet effet d'augmentation de températures a un effet sur la date

des récoltes agricoles. Dans de nombreux cas, les dates de vendanges sont régulièrement avancées (Camus *et al.*, 2007).

Dans le sud de la France, des chutes de rendement du blé et du maïs sont apparues à cause des effets combinés de températures excessives et de la sécheresse (Delecolle *et al.*, 1999). Les prédictions de hausse des températures et de diminution des précipitations vont amplifier les risques de sécheresses. En conséquence, la photosynthèse diminuera durant les périodes chaudes et la croissance et la production seront ainsi ralenties. Le stress causé par la chaleur et un approvisionnement en eau inadéquat influencent négativement la croissance du plant de pomme de terre et diminue la disponibilité de l'amidon qui est responsable du grossissement des tubercules. Les dommages les plus significatifs surviennent lorsque le stress se produit au moment du grossissement des tubercules. Il en résulte une baisse significative du rendement, de la qualité et du poids spécifique des tubercules (Bouchard, 2005).

1.8.2 Effets des facteurs thermiques sur les forêts

De plus, les sécheresses prolongées et les périodes de chaleur vont augmenter les risques d'incendies de forêts. Ceux-ci deviendront une grande menace pour les forêts méditerranéennes ainsi que pour les populations rurales. Dans les milieux très secs, la désertification pourra s'accélérer. Les peuplements forestiers affaiblis par la sécheresse seront sujets à l'augmentation des risques biotiques. Des changements dans l'aire de répartition des populations d'insectes sont prévisibles. Des espèces de pathogènes très thermophiles vont probablement devenir plus virulentes. Les services autres que la production de bois sont particulièrement importants dans la zone méditerranéenne. Il existe en effet une relation claire entre la production de champignons et la pluviométrie. Par conséquent, il peut être inféré qu'une diminution des précipitations couplées avec une augmentation des sécheresses réduira probablement la production de champignons (Seguin, 2010).

Les sécheresses entraînent une augmentation de la mortalité des forêts, une réduction de la résilience et peuvent avoir des conséquences importantes sur l'écosystème dans son ensemble (<http://biblioD4E.onerc.org/>).

L'augmentation des épisodes chauds peut entraîner une intensification du stress de chaleur qui augmente les risques de morbidité et de mortalité (MATE, 2001). Une augmentation de la température d'un stock de combustible augmente son inflammabilité. C'est une loi physique, ce qui peut augmenter le risque d'éclosion et de propagation de feu.

En milieu forestier, les conséquences des hautes températures estivales auront des effets directs (hausse de l'évapotranspiration et donc aggravation du stress hydrique) et des effets indirects (risques incendies...) sur les arbres et les forêts ont été très nets et assez différents selon les essences. L'augmentation des températures pourrait entraîner un déplacement des aires de répartition, ce qui est déjà observé chez la chenille processionnaire, dont l'aire a progressé de 55,6 km vers le nord de la France entre 1994 et 2004. De même les écarts de températures modifient la phénologie des espèces. Par exemple, si l'éclosion de chenilles intervient plus précocement en saison, une génération qui apparaîtrait avant la sortie des premières feuilles serait vouée à une disparition rapide (source : société forestière française, 2006).

En Méditerranée, la hausse des températures et l'accentuation des périodes de sécheresses modifieront la répartition spatiale et temporelle des précipitations et, par suite, des ressources en eau. Ceci, combiné aux fortes pressions anthropiques sur l'environnement et aux demandes en eau sans cesse croissantes, rendra la satisfaction des besoins en eau pour les différents usages de plus en plus difficile à assurer (Milano, 2010).

Les forêts et surfaces boisées en Méditerranée ne couvrent que 73 millions d'hectares, soit environ 8,5% du territoire. Elles constituent un des écosystèmes forestiers les plus vulnérables sur terre en raison de leur fragilité et de leur instabilité, dues notamment aux conditions climatiques, à la pression humaine de longue date et aux incendies à répétition.

La hausse de la température de la planète de (1850–1899) à (2001–2005) avoisine les 0,76°C ; alors qu'en Espagne, pays méditerranéen, la température a augmenté de quelque 1,5°C entre 1971 et 2000. Le principal effet porte sur les processus biochimiques, particulièrement sensibles aux changements de température, qui limitent la photosynthèse au plateau de double saturation en lumière et en CO₂ (Herrero & Johnson, 1980).

La respiration du sol est minime de la fin de mois d'Avril et au début du mois de Juin, due à un assèchement temporaire de la couche superficielle du sol réduisant son activité biologique (Manil, 1971).

Dans le contexte du changement climatique, Rigolot (2008) a montré qu'il y a une corrélation très significative entre feux de forêts et changement climatique, il a confirmé donc que si aujourd'hui « seulement » 33 % des forêts françaises sont « sensibles » aux feux de forêts elles seront 58 % à être dans cette situation en 2060.

Les notes d'alertes du Centre International des Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes (CIHEAM) montrent en 2008 que la région du Maghreb sera l'une des régions la plus affectée au monde. Les modèles climatiques prévoient une augmentation de la température de 1°C combinées à une diminution de 10 à 20% des pluies à l'horizon 2020 au sein de ladite région (Nefzi & Bouzidi, 2009).

Au printemps, dès le débourrage des feuilles, les jeunes chenilles écloses à l'aisselle des bourgeons commencent à dévorer les parenchymes. A la fin du mois de mai et au mois de juin, leur activité augmente avec leur taille. Quand des inversions sont importantes, les arbres sont pratiquement défoliés au moment où les chenilles se laissent tomber au sol pour s'y métamorphoser. Une seconde pousse de feuille apparaît alors et les dégâts apparents s'estompent mais la synthèse chlorophyllienne a été interrompue pendant plusieurs semaines, ce qui diminue d'autant la production de l'année. Cette situation provoque une perte de productivité primaire (Herrero & Johnson, 1980).

1.8.3 Effets des facteurs thermiques sur les terres humides

En Algérie, la sécheresse en 1993 a causé un assèchement complet de la zone humide de Dyet el Fred, située dans la wilaya de Tlemcen (DGF, 2004).

Alibou (2002) a montré que l'augmentation de la température sur les zones humides au Maroc contribue directement au déplacement des limites de végétation et à la décroissance de la productivité. Il a observé qu'il y a un déplacement de la végétation vers les zones Nord et donc une désertification progressive du pays.

1.9 Effets des facteurs hydriques sur les écosystèmes agroforestiers

L'eau est en passe de devenir un problème majeur du XXI^e siècle du fait du réchauffement climatique, de l'expansion démographique et des modifications des comportements alimentaires. 70 % de l'eau consommée dans le monde servent à l'agriculture (irrigation et élevage) et à la transformation alimentaire. L'étude des bilans hydriques montre une diminution importante des quantités d'eau consommées par hectare ces dernières années (Prugue, 2008).

Dandin (2006), a observé des baisses de précipitations (en cumul annuel) plus marquées en été dans le tiers Sud de la France.

Dans les régions tropicales, la variabilité des précipitations qui s'accroît pourrait faire baisser le nombre des générations de végétaux chaque année (Katrin & Hermann, 2009).

Une hausse des précipitations est observée dans l'Est de l'Amérique du Nord et du Sud, le Nord de l'Europe et le centre de l'Asie ; tandis que le Sahel, les zones méditerranéennes, l'Afrique Australe et l'Asie du Sud ont vu le niveau des précipitations diminué.

1.9.1 Effets des facteurs hydriques sur les milieux agricoles

Le changement climatique modifiera sensiblement la qualité et la disponibilité de la ressource en eau, ce qui aura des conséquences pour de nombreux secteurs, notamment pour l'agriculture.

L'agriculture (irrigation) et l'alimentation en eau potable serait observée à l'horizon 2050. Les projections indiquent que les zones les plus touchées seraient les zones déjà concernées aujourd'hui par des déficits structurels (<http://www.onerc.gouv.fr>).

Le déficit hydrique peut annuler largement les effets positifs du CO₂ et aller jusqu'à augmenter la mortalité des peuplements (source : société Forestière Française, 2006).

La diminution du gradient du potentiel hydrique entre la plante et le milieu, entraîne l'augmentation de la salinité et la déshydratation qui traduit le flétrissement et la perte de turgescence (Hamza, 1980).

Dans les zones semi arides, la phénologie est essentiellement pilotée par la saisonnalité des précipitations (Delbart, 2005).

L'état hydrique des couverts végétaux est un paramètre qui est en étroite liaison avec la sécheresse. Il conditionne leur évolution pendant leurs cycles végétatifs et leur production finale. Pour les cultures, la connaissance de ce paramètre, en conjonction avec d'autres ayant rapport avec l'activité chlorophyllienne, peut-être d'une grande utilité pour le suivi des cultures pendant leur cycle (Bergès *et al.*, 2005). Effets des facteurs hydriques sur les milieux floristiques

Les mousses sont de remarquables indicateurs des transformations du milieu. Aux latitudes moyennes, les mousses sont plus sensibles que les plantes à fleurs aux changements climatiques, notamment aux changements de température pendant la saison froide (Defila & Clot, 2003).

Le réchauffement climatique actuel entraîne des modifications dans la disposition temporelle des étapes du cycle de vie des organismes. Un exemple connu est la conséquence d'un printemps chaud

sur la précocité de floraison des arbres. Walther *et al.*, (2002) ont observé une avancée dans le débourrement des bourgeons et la floraison de 1,4 à 3,1 jours par décennie sur une cinquantaine d'années.

1.9.2 Effets des facteurs hydriques sur les forêts

En France, les dépérissements observés en 2010 dans les subéraies, sont expliqués par les experts français comme une conséquence d'une crise climatique qui a pu toucher le chêne liège et autres essences méditerranéennes - toutes les essences sont affectées avec des niveaux différents mais toujours pour l'instant à des endroits très localisés.

Des études globales, indiquent que les manifestations printanières telles que l'éclosion des feuilles ou la floraison sont toujours plus précoces – leur date est avancée en moyenne de 2,3 jours par décennie. En suisse, Les cerisiers fleurissent toujours plus tôt (Defila & Clot, 2003).

1.9.3 Effets des facteurs hydriques sur les milieux urbains

Une partie de la population a reculée face à la mer et prospectives, pour chercher à anticiper les effets des bouleversements climatiques attendus, liés notamment au forçage anthropique de l'effet de serre (Brian, 2007).

1.9.4 Effets des facteurs hydriques sur le milieu social

Dans le domaine d'application, comme par exemple la santé humaine. Comment sans données phénologiques, prévoir le début et la durée de la saison de pollinisation et donc du "rhume des foins", ou la répartition des maladies dépendant d'organismes vecteurs comme la malaria ? Enfin, plus fondamentalement, la phénologie est indispensable à la compréhension de la dynamique des écosystèmes : interactions entre espèces, compétition, durée de la saison de croissance, balance hydrique, évolution des populations, séquestration du carbone, ...etc (www.gdr2968.cnrs.fr). Les effets des changements sur les communautés sont représentés par la Fig. 10.

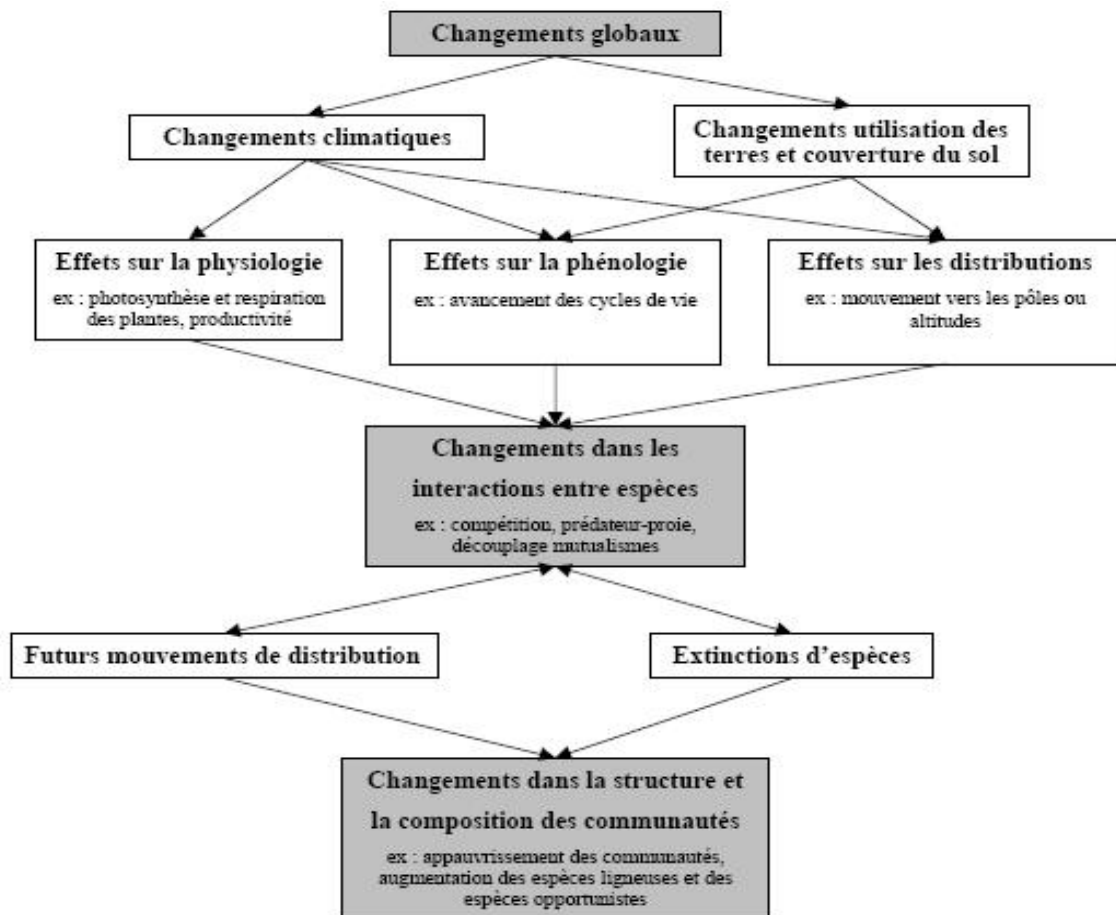


Fig. 10: Effets possibles des changements globaux sur les communautés (Thuiller, 2003).

L'analyse des effets de changements globaux montre que les espèces peuvent répondre de trois façons provoquant un changement dans les interactions biotiques. Ces changements peuvent mener à l'extinction d'espèces ou à de possibles mouvements dans les aires de distributions, provoquant un changement dans les communautés.

1.10 Indicateurs du changement climatique

La biodiversité est un indicateur précieux pour comprendre les changements en cours (Antonetti *et al.*, 2006). Grâce à elle on peut suivre les évolutions et la réaction du milieu naturel. Les indicateurs peuvent servir à évaluer la vulnérabilité d'une région ou d'un écosystème. La vulnérabilité est une mesure de la sensibilité d'un système par rapport à une attaque à laquelle il a été exposé. Trois composantes peuvent influencer la vulnérabilité d'un système :

- a. Les insectes sont de bons indicateurs des changements climatiques car leur cycle biologique est court (Lo Verde *et al.*, 2010),

- b. L'exposition du système à l'attaque : si le système est protégé (sous-entendu moins exposé), il sera moins vulnérable. Par exemple, une habitation construite en zone non inondable sera moins exposée aux inondations qu'une habitation construite en zone à risque d'inondation,
- c. La sensibilité du système : par exemple, une essence forestière adaptée à sa station sera plus résistante (et donc moins sensible) aux changements (ou attaques) qu'une essence exotique.

La capacité d'adaptation du système : un écosystème sain sera plus à même de réagir et de s'adapter à un impact qu'un écosystème fragilisé. Les évolutions peuvent témoigner que des changements s'opèrent dès à présent et qu'il est nécessaire d'agir sans attendre pour pouvoir s'adapter.

Parmi les premiers symptômes du réchauffement climatique reconnus en tant que tels, on trouve tout d'abord les modifications d'aires de répartition. La phénologie est aussi un moyen adéquat pour documenter les effets du réchauffement sur le développement de la végétation. Les plantes sont de bons indicateurs des changements environnementaux. Elles réagissent en effet à l'ensemble des conditions ambiantes : à côté de l'augmentation du CO₂ atmosphérique et des changements de la pluviosité, la température est un facteur auquel les plantes sont très sensibles au printemps (Defila & Clot, 2003).

Actuellement, il nous semble important de comprendre que les écosystèmes méditerranéens, ont une très grande capacité de résilience autoécologique et peuvent faire face à une très grande variabilité climatique même à une cadence d'accidents et d'extrêmes climatiques répétitifs. La question cruciale reste celle de l'évolution des pressions humaines.

1.11 Impacts du changement climatique

Étant donné que la faune et la flore dépendent de conditions environnementales bien précises, des variations dans les régimes de température et d'humidité affectent la performance et la compétitivité des espèces et les relations entre celles-ci. Les espèces adaptées au froid migrent vers des latitudes et des altitudes plus élevées tandis que celles des régions chaudes sont susceptibles d'étendre leur aire de répartition. Dans ce cas, des problèmes peuvent survenir si les espèces qui se propagent sont considérées comme des nuisibles ou vecteurs de maladies, ou si elles sont envahissantes et perturbent les écosystèmes locaux. Le criquet pèlerin en est un exemple. Une légère augmentation des précipitations dans les zones sensibles d'Afrique où vit cet insecte peut générer un accroissement de la population de criquets pèlerins (Cheke & Tratalos, 2007). Cependant, des modifications des aires de répartition ne sont pas toujours possibles car la fragmentation de plus en plus grande du paysage par les activités humaines empêche parfois la migration des espèces. Il se peut aussi qu'elles ne trouvent pas de nouvelle région pour se fixer si les régimes climatiques ne s'y prêtent pas ou si l'aménagement du territoire ne leur est pas favorable. Il faut donc s'attendre en général à ce que le changement climatique accentue davantage le nombre des espèces en voie d'extinction à l'échelon mondial (Katrin & Hermann, 2009). Thomas *et al.*, (2004) montre que les effets des changements climatiques vont avoir pour conséquences la disparition de 18 à 35% des espèces terrestres pour les prochaines décennies (Boulain, 2004). En Afrique, les cycles météorologiques tropicaux rendent le climat fortement variable dans les conditions actuelles. Cette variabilité climatique accrue, couplée avec la très grande dépendance des économies africaines à l'agriculture et la consommation directe des ressources naturelles, y crée un potentiel élevé pour que le changement climatique global ait des conséquences dramatiques. Les observations montrent que l'Afrique s'est réchauffée de 0,5°C par décennie au siècle passé, et elle a ainsi déjà subi dans le temps plusieurs événements climatiques extrêmes comme des inondations et des sécheresses (Deynès, 2008). Ce sont des changements climatiques qui représentent un multiplicateur de menaces qui exacerbe les tendances, les tensions et l'instabilité existantes d'où ils sont agrémentés de pertes économiques considérables. En effet, même si la contribution de l'Afrique au problème du changement climatique est insignifiante, elle demeure le continent le plus durement frappé par les impacts négatifs. La transformation rapide des conditions environnementales est particulièrement préoccupante pour certains hotspots de biodiversité, par exemple la région du Cap en Afrique du Sud ou la forêt amazonienne. Cette dernière, qui est une forêt tropicale humide, pourrait se transformer en savane arborée. Elle perdrait alors un grand nombre d'espèces, dont beaucoup sont

inconnues. Et ces espèces font partie du patrimoine vivant nécessaire pour découvrir de nouvelles substances pharmacologiques ou plantes cultivées (Katrin & Hermann, 2009).

Le milieu méditerranéen se caractérise par un climat et une situation géographique particulière. Il se retrouve sur les deux hémisphères mais toujours situées en latitude entre le 30^{ème} et le 45^{ème} parallèle. Il constitue une transition entre les régions tropicales et les régions à climat tempéré. Son orographie le place également comme transition entre climat montagnard et climat aride. Le climat méditerranéen est le dernier climat apparu sur terre entre 5 000 et 2 500 ans avant aujourd'hui (Godel, 2007). Actuellement, le climat méditerranéen couvre 2% de la surface de la planète mais contient 20 % du patrimoine végétal connu (50.000 espèces). Parmi les menaces, on trouve les changements climatiques qui marquent toujours un impact maximal en zones méditerranéennes.

Le cas des espèces méditerranéennes est plus compliqué. Ces espèces comme celles des milieux tropicaux secs devraient profiter du changement climatique. Les modèles montrent une extension de l'aire de répartition de ces espèces vers le nord, comme par exemple le chêne vert. On peut néanmoins noter que la région méditerranéenne sera probablement confrontée à des changements importants de paysage avec la prolifération d'espèces typiquement méditerranéennes au détriment d'espèces plus tempérées (Chuine & Thuiller, 2005). Bien que la végétation méditerranéenne soit adaptée aux fortes contraintes climatiques estivales, celles-ci pourraient devenir critiques avec le changement climatique. Dans le sud-est de la France, les conséquences de ces changements sur la forêt pourraient s'avérer très différentes d'une espèce à l'autre. En effet, les deux principales espèces forestières, le pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.) et le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) pourraient réagir de façon diamétralement opposées (Bruno, 2010).

Le réchauffement climatique est une réalité brûlante. L'épisode de sécheresse de 2003, par exemple, a fragilisé certaines essences comme le hêtre, le chêne pédonculé ou l'épicéa. La sécheresse et de déficit hydrique sont des phénomènes aggravants mais l'arbre réagit sur le long terme (Milano, 2010). Le changement climatique a donc déjà induit un changement de croissance au 20^{ème} siècle, appelé à s'intensifier. Si les scénarios climatiques se confirment, de grandes surfaces de pin sylvestre de l'arrière-pays méditerranéen sont menacées ; dans un premier temps probablement par une diminution importante de leur croissance, dans un second temps pour leur survie. Stressés par ces conditions climatiques défavorables, le pin sylvestre sera sans doute très vulnérable aux ravageurs et sensible à la concurrence. Il pourrait être progressivement éliminé et remplacé par le pin d'Alep et les chênes (Bruno, 2010). Pour le chêne liège, son liège provenant d'un même arbre gardait la même porosité qu'il soit dépérissant ou non, mais qu'il poussait par contre moins vite

dans une situation de stress hydrique prolongé. L'arbre de chêne liège dépérissant perd 30 % de croissance en épaisseur. On observe donc une relation étroite entre la santé du peuplement et sa productivité, caractérisée par la vitesse d'accroissement du liège. Une diminution de la qualité de la station peut donc avoir un effet sur l'épaisseur du liège. Par exemple, l'extension actuelle de l'aire de répartition de la chenille processionnaire du pin, qui a atteint Orléans en 1992 et Fontainebleau en 2005, pourrait être due au réchauffement climatique (Julliard *et al.*, 2006). Le changement climatique au cours des cinquante dernières années a touché plusieurs aspects des écosystèmes des forêts y compris la croissance des arbres et leur dépérissement, les distributions d'espèces indigènes, la prolifération d'espèces envahissantes, des modèles saisonniers dans les processus d'écosystèmes et les dynamiques de population d'espèces forestières. Dans certains cas, le changement climatique a été impliqué dans les extinctions d'espèces (Seppala *et al.*, 2009).

Les caractéristiques et spécificités naturelles, physiques, sociales et économiques de l'Algérie, en font un territoire sensible et vulnérable aux effets et conséquences des changements climatiques (Djamouai, 2008). Le pays connaît une hausse des températures et subit, ici et là, des sécheresses sévères, inondations, incendies de forêts, dégradation de la steppe sur les hauts plateaux, et malheureusement une aggravation de la désertification (Boucherf, 2010). Ces changements du climat sont liés au réchauffement de la planète dont l'effet actuel est aussi de perpétuer les canicules, de contribuer à la pénurie en eau et d'accentuer la désertification des zones arides (Raaf & Adane, 2010). Les impacts avérés ou probables des aléas climatiques seront exacerbés par les effets du changement global et de ses incidences régionales ou locales encore mal connues. Cette situation porte un risque réel d'amplification de phénomènes dont souffre déjà la région, tels que l'aridité, la désertification, l'accroissement des phénomènes extrêmes ou les effets sur la santé. Le changement climatique augmentera les risques d'incendie (Milano, 2010). En Algérie, les incendies de forêts causent la disparition annuelle de 20 à 23.000 hectares de forêts (MATE, 2001).

Le changement climatique peut accroître la fourniture de bois dans certaines régions malgré des variations climatiques considérables, mais les gains de productivité de bois en forêts escomptés sont du même ordre de grandeur que les pertes possibles par dépérissement, incendie, sécheresse, etc. (Bernier, 2005).

A cela s'ajoute les perturbations atmosphériques qui sont fréquemment observées en Algérie à plus petite échelle, exemples les tornades et les orages violents accompagnés de pluies torrentielles, comme celles qui ont dévasté Bab-El Oued à Alger en 2001 et la région de Ghardaïa dans le sud Algérien en 2008.

1.12 Secteurs impactés

Le changement climatique peut être une source de dangers du fait d'une modification des milieux directement (eau, air, sol) ou indirectement par inondations et/ou pollutions (sols, sédiments). Les secteurs les plus affectés par le changement climatique sont ceux des ressources en eau, de l'énergie, des zones côtières, de la santé, de l'agriculture et de la foresterie. Mais dans l'ensemble, les communautés côtières sont plus vulnérables aux changements climatiques que les communautés vivant à l'intérieur des terres parce qu'en plus des paramètres météorologiques, elles sont aussi affectées par les changements des paramètres océaniques, surtout l'élévation du niveau de la mer et de la hauteur des vagues (Fairbank & Jakeway, 2006).

1.12.1 Domaine de l'hydrobiologie marine

1.12.1.1 Milieux océaniques

Les tendances positives et négatives dans l'abondance du phytoplancton indiquent que les changements climatiques pourraient aussi affecter la productivité dans les océans, bien que de grandes différences régionales soient apparentes (Thuiller, 2003). En général, la production océanique semble être plus élevée dans les régions côtières à cause de la proximité des zones de résurgence des substances nutritives et des conditions de circulation favorables à l'accumulation de nourriture. Les substances nutritives dans l'océan sont associées aux zones de résurgence froides. L'arrivée d'un courant chaud comme El Niño, qui déplace le courant froid plus au large, cause des changements dans la migration des populations de poissons. En 1988, El Niño a causé la perte des réserves d'anchois près du Pérou. Le phénomène s'est par la suite déplacé vers le nord, ce qui a altéré les patrons climatiques régionaux et a créé un système météorologique instable. Les tempêtes qui s'en sont suivies ont poussé le jet-stream plus au nord, ce qui a bloqué le déplacement des précipitations continentales du Canada vers le centre des États-Unis. Les États américains centraux et de l'est ont été frappés par une sécheresse, ce qui a réduit la production agricole, et a augmenté le prix des produits alimentaires et des matières premières sur les marchés internationaux.

1.12.1.2 Ecosystèmes marins

Les données satellitaires sur la France du Nord et du Nord-Ouest indiquent une tendance à l'élévation du niveau moyen des mers d'environ 3 mm/an durant la période 1993- 2004 (Levoy, 2005)

Globalement, il a été démontré que 70% des plages de sable du monde subissent de l'érosion (Owen, 2008). Cette situation provoque sans doute la remontée du niveau de la mer qui aurait des

conséquences économiques très importantes pour les habitations et les entreprises : plusieurs dizaines de milliers de logements seraient exposés à un risque de submersion (Bernier, 2005). L'érosion des plages pourrait intensifier la pression sur les tortues, surtout à cause de la réduction des sites de nidification disponibles. La reproduction des tortues marines pourra être affectée par une hausse des températures car le sexe est déterminé pendant le deuxième tiers de l'incubation. Cependant, davantage de recherche sur les effets du changement climatique sur la reproduction des tortues marines est nécessaire (Owen, 2008).

A cela s'ajoute les rejets de saumure à forte concentration (environ 70 g/l) et la dilution insuffisante peuvent appauvrir ou détruire les écosystèmes aquatiques et dégrader la qualité de l'eau (Bleu, 2010) ce qui peut provoquer des modifications importantes dans l'activité microbienne des écosystèmes aquatiques et telluriques en perturbant le fonctionnement des cycles biogéochimiques (Delavrière et Guégan, 2008) en particulier de la biodiversité littorale et marine qui est indispensable pour le développement socioéconomique de la région de proximité. Les modes de vies de la plupart des communautés sont étroitement liés, que ce soit directement ou indirectement, avec un bon nombre de produits et de services éco systémiques des zones littorales et marines (Owen, 2008).

Une mer chaude, absorbe moins d'oxygène que normalement. Il y a donc une conséquence sur la durée de vie de certaines espèces (Fuentes & Bon Mardion, 2011).

Les études montrent que le changement climatique fera diminuer la densité des populations de poissons et de la biomasse sur les récifs à cause de la réduction de la couverture corallienne du fait du blanchissement et l'envahissement des algues. Ces études suggèrent que la biodiversité des poissons est aussi menacée là où se produit la dégradation permanente des récifs. Le changement climatique poussera certains groupes d'espèces de poissons vers des eaux plus froides, entraînant potentiellement des extinctions généralisées où les capacités de dispersion sont limitées ou l'habitat limité ou inapproprié (Owen, 2008).

Une récente étude a montré que sur 36 espèces de poissons d'Atlantique Nord (péchés ou non) 2/3 ont migré vers le nord de 50 à 400 km ou s'étaient déplacés vers des eaux plus profondes en une vingtaine d'années. Par exemple la morue et la lotte se sont déplacées vers le nord alors que le carrelet et la raie fleurie ont migré vers des eaux plus profondes. C'est également le cas du Saint-Pierre maculé et du Saint-Pierre rose, ainsi que d'autres espèces de la famille des zéidés qui, selon une étude de l'Ifremer, sont maintenant pêchées à 6° de latitude (660 km) plus au nord en moyenne

qu'il y a 20 ans. Les déplacements d'espèces de poissons s'expliquent en partie par les déplacements du plancton sous l'effet du réchauffement (Chuine & Thuiller, 2005).

Les recherches montrent que les espèces de mammifères marins migratrices seront vraisemblablement affectées par le changement climatique à un stade ou à un autre de leur cycle de vie, car elles sont soumises à un large éventail d'influences environnementales. Le changement climatique va accroître les risques de disparition des espèces vulnérables. L'une des principales menaces liées au changement climatique provient sans doute des changements dans la distribution des sources de nourriture, telles les poissons et le plancton, du fait de modifications dans les conditions océanographiques.

La montée du niveau de la mer a été supposée égale à 1 mètre à l'horizon 2100, ce qui se situe clairement vers la borne maximale des projections. L'usage de ces scénarios et de ces simulations implique que les scénarios les plus pessimistes n'ont pas été abordés, comme ceux qui résulteraient d'une accélération du réchauffement lié au cycle du carbone ou d'une accélération de la montée du niveau de la mer en raison d'une déglaciation plus rapide que prévue du Groenland.

Le GIEC (1990) estime que le nombre d'Africains confronté au risque d'inondations côtières passerait de 1 million en 1990 à 70 millions en 2080 et que plusieurs grandes villes du continent situées sur le rivage ou à proximité immédiate de la côte pourraient subir des dégâts importants dus à l'élévation du niveau de la mer (Deynès, 2008).

1.12.1.3 Milieux du domaine du littoral

Le littoral d'une manière général se caractérisera par l'élévation du niveau de la mer et la baisse du niveau des nappes d'eau souterraines provoquée par la diminution des apports d'eau d'origine superficielle. L'estimation actuelle du relèvement du niveau marin est de 4 cm en 30 ans.

Des signes de modifications de la biodiversité terrestre, aquatique et marine, attribuables aux changements graduels induits par le changement climatique, sont d'ores et déjà observables. La biodiversité est affectée directement par la modification de la température et de la pluviométrie, à laquelle s'ajoute l'acidification des eaux en domaine marin. Protéger les espèces et les écosystèmes impose de réduire les pressions qui diminuent leur résilience : fragmentation des milieux naturels, artificialisation des sols, etc.

Ce qui concerne l'Algérie. En effet, si les écosystèmes marins sont exposés à la contrainte thermique due à l'augmentation de la température, les écosystèmes terrestres sont à la fois soumis à

la contrainte thermique et à la baisse des précipitations qui conditionnent leur existence. L'impact variera en fonction de chaque écosystème compte tenu de sa capacité d'adaptation. On assistera à un déplacement des écosystèmes en direction du Nord. Ce qui signifie une désertification progressive du pays. Les dommages causés à l'infrastructure côtière par l'élévation du niveau de la mer (MATE, 2001).

Le changement climatique pourrait avoir un impact relativement positif sur les communautés de poissons, étant donné que l'on pourrait assister à une augmentation globale du nombre d'espèces le long du gradient amont-aval. Cette augmentation de la richesse pourrait particulièrement être due à l'expansion des espèces d'eau chaude dans les parties amont, ce qui rejoint les résultats de certaines études réalisées en Europe (Daufresne & Boet, 2007) et en Amérique (Jackson & Mandrak, 2002).

D'une manière générale que le littoral n'a pas aussi s'échappé des effets du changement climatique. Le GIEC prévoit que les impacts du changement climatique sur le littoral se traduiront par une montée du niveau de la mer, des pluies hivernales plus abondantes et des orages plus violents et plus fréquents, constituant une menace croissante pour de nombreuses communautés côtières déjà affectées par l'érosion, les inondations et l'instabilité du littoral et un défi croissant pour les responsables de la lutte contre les risques résultants.

Le littoral de la méditerranée constitue toujours un important bassin de population d'où 125 millions de personnes, soit 35% de la population des pays riverains, vivent sur la frange littorale. Le tourisme et l'urbanisation des côtes sont donc les principaux consommateurs d'espaces (Godel, 2007).

Le changement climatique va exercer une pression croissante sur les installations urbaines, touristiques, industrielles et agricoles du littoral. Parmi les risques littoraux, on cite le recul du trait de côte, submersions marines, avancées dunaires, chutes de falaises, aggravation d'inondations fluviales.

Les impacts du changement climatique auront des conséquences négatives graves voire irréversibles. Ceci est particulièrement vrai pour des secteurs tels que l'agriculture, la forêt et la biodiversité (GIEC, 2007). L'agriculture et la forêt restent sans aucun doute parmi celles qui sont le plus directement influencées par le climat. Le changement climatique aura donc un impact sur la composante biotechnique de la production (Seguin, 2010).

1.12.2 Secteur de l'agriculture

L'agriculture reste un secteur fondamental de nombreuses économies émergentes. Est un secteur essentiel à la croissance économique, à la diminution de la pauvreté et à la sécurité alimentaire. Les producteurs agricoles sont souvent confrontés à des risques climatiques (sécheresse, gelée, inondation, grêle, vague de chaleur, vague de froid, vent fort) qui peuvent affecter gravement leurs revenus (Benchikh, 2008). L'agriculture est donc l'un des secteurs économiques les plus concernés par les phénomènes météorologiques ainsi que par les maladies et les attaques des prédateurs entraînant de très grandes variations de la production agricole.

L'impact du changement climatique sur l'agriculture se vérifie déjà dans de nombreuses régions du monde. De par la pauvreté et les instabilités qui y règnent, celles du Sud de l'Europe y sont les plus exposées (Nefzi & Bouzidi, 2009).

En France, selon Seguin (2010), les changements observés dans les décennies récentes sont :

- a. Floraison plus précoce,
- b. Avancée des dates de vendange,
- c. Allongement de la saison de végétation,
- d. Extension de l'aire de certains ravageurs.

Nous évoquons aussi les impacts d'évènements extrêmes :

- a. Gel d'hiver et de printemps,
- b. Sécheresses,
- c. Pluies intenses et inondations,
- d. Orages violents

En Algérie, l'agriculture constitue une importante source d'emplois, pouvait offrir du travail à une hauteur de 20% de la population active totale pour une 8 458 680 has de SAU (Korichi, 2008). Il est essentiel de signaler que l'impact d'un tel réchauffement sur l'agriculture est intimement lié aux besoins physiologiques de la culture, à sa répartition spatiale et saisonnière ainsi qu'à l'amplitude du réchauffement. Ceci se traduit par un changement au niveau de l'intensité du froid pendant l'hiver, l'occurrence des événements froids et la durée du cycle végétatif (Attia, 2007). Le changement climatique se répercute de différentes façons sur la biodiversité. La biodiversité est définie comme étant un terme générique pour désigner un aspect essentiel de toutes les ressources biologiques, allant de la diversité des biotopes et des écosystèmes à la diversité des espèces et à la diversité génétique observée au sein de celles-ci. Le changement climatique affecte la biodiversité

de façon importante et par conséquent les services éco systémiques tels que l'approvisionnement en eau et l'alimentation (Katrin & Hermann, 2009). Au niveau de la plante même, le changement climatique affecte sa phénologie, c'est-à-dire l'époque de l'année où elle commence à fleurir, où elle fructifie et où elle meurt.

Dans les régions tempérées, les plantes ont tendance à fleurir plus tôt et à perdre leurs feuilles plus tard, prolongeant ainsi leur période de végétation.

Dans les régions tropicales, la variabilité des précipitations qui s'accroît pourrait faire baisser le nombre des générations de végétaux chaque année. Dans de nombreuses zones, l'augmentation de la température s'accompagne d'un déclin, ou au moins de fluctuations dans l'approvisionnement en eau (Katrin & Hermann, 2009).

La sécheresse se manifeste par la combinaison d'une part, de la restriction de la disponibilité en eau du sol et d'autre part, de l'augmentation de la demande évaporatoire.

Dans les zones arides, les plantes ont développé des mécanismes de régulation assurant leur survie en général aux dépens de la productivité. La diminution de la transpiration est principalement liée à la fermeture des stomates des feuilles car la régulation de la conductance stomatique dépend du potentiel hydrique foliaire et de l'humidité de l'air au champ (Attia, 2007). Le CO₂ de la photosynthèse pénètre dans les feuilles par les stomates, qui contrôlent aussi la transpiration. La fermeture des stomates qui permet de maintenir l'état hydrique foliaire diminue donc la photosynthèse, et donc la production des plantes (Attia, 2007). Il s'ensuit une chute de l'assimilation de CO₂ donc une baisse de production de biomasse car les réductions de croissance sont l'une des premières manifestations du déficit hydrique (Kramer & Boyer, 1995). Elles se produisent soit directement au travers d'une réduction de vitesse de croissance, soit indirectement en réduisant le nombre d'organes portant des feuilles. La réduction de vitesse de croissance foliaire met en jeu plusieurs mécanismes. La vitesse de division cellulaire décroît (Granier *et al.*, 2000), les parois cellulaires qui doivent se déformer pour permettre la croissance cellulaire deviennent plus rigides (Cosgrove, 2005) et la turgescence décroît (Attia, 2007). Chacun de ces phénomènes met en jeu plusieurs familles de gènes dont les régulations ne sont qu'imparfaitement connues (Kiani *et al.*, 2007). La signalétique des modifications de croissance est elle-même complexe, en particulier parce que plusieurs signalétiques se superposent et s'entrecroisent en particulier celles de l'acide abscissique, de l'éthylène et des sucres (Sharp, 2002). Il existe cependant un consensus sur le fait que la réduction de croissance n'est pas une conséquence passive du manque d'eau dans les cellules,

elle est contrôlée et programmée par la plante, avec l'intervention de gènes d'inhibition qui s'expriment avant les sécheresses catastrophiques. Il s'ensuit qu'une plante réduisant fortement sa taille lors d'un déficit hydrique n'a pas nécessairement été stressée au niveau cellulaire ; il peut s'agir de régulations précoces. L'architecture de la plante est profondément modifiée. Un déficit hydrique, même très modéré et ne présentant pas de symptômes flagrants, se traduit chez beaucoup d'espèces par une modification importante de l'architecture de la plante. Chez la vigne, la période de sensibilité maximale à la sécheresse correspond à celle comprise entre la floraison et la véraison, et en particulier durant la phase de nouaison et de multiplication cellulaire lorsque les baies sont vertes ; de la véraison à la maturité représente aussi une période de grande importance, des points de vue physiologique et technologique de la maturité de raisin (Attia, 2007). La croissance foliaire est stoppée très rapidement par un déficit hydrique, puisqu'elle intervient à des potentiels hydriques de turgescence de - 0,4 MPa (Kramer & Boyer, 1995) et le nombre de ramifications et d'organes élémentaires (phytomères) de la tige sont drastiquement réduits (Lecoeur *et al.*, 1995).

Les impacts du changement climatique sur l'arboriculture concernent principalement le problème des hivers doux sur les arbres fruitiers (problème de levée de dormance) et avancée de la phénologie (floraison) avec des risques de gel et de mauvaise fécondation, des modifications potentielles des relations plantes-parasites (Bernier, 2005).

L'avancée de la phénologie (floraison) peut entraîner des risques de gel et donc des dégâts sur la production. L'augmentation du degré alcoolique peut entraîner une chute potentielle de la qualité à la vendange. (Bernier, 2005).

La viticulture sera également affectée par le changement climatique, avec des disparités territoriales fortes et des effets sur la qualité des vins. Dans le cas des prairies, l'exercice réalisé pour la zone périméditerranéenne, amène à un coût de compensation des pertes de 200 millions d'euros par an sur la seconde moitié du XXIème siècle (Bernier, 2005).

Chez les graminées, le nombre de talles est réduit en cas de déficit hydrique (Attia, 2007). Les processus en jeu et les signalétiques sont encore assez mal connus mais, il s'agit de contrôles actifs de la plante mettant en jeu des signalétiques hormonales et l'expression de gènes induits par le stress, et non la conséquence passive du stress ou d'un manque de nutriments (Kiani *et al.*, 2007).

La croissance de plusieurs organes est inégalement affectée. Relativement peu d'études ont abordé les conséquences du déficit hydrique sur plusieurs organes de la plante. Un consensus existe cependant sur le fait que les racines sont les organes dont la croissance est la moins affectée, par

rapport aux parties aériennes, végétatives et reproductrices (Soar & Loveys, 2007). La régulation des gènes affectant la croissance est assez nettement différente chez les racines et les parties aériennes (Wu & Cosgrove, 2000).

De nombreuses plantes adaptées aux zones arides ne contrôlent que très peu leurs pertes en eau par transpiration, mais possèdent un enracinement très profond capable d'extraire l'eau du sol. La croissance racinaire en conditions sèches peut être maintenue par l'ajustement osmotique qui limite la baisse du potentiel de turgescence (Kramer & Boyer, 1995).

L'agriculture, qui reste vitale pour la survie de la majorité des Africains, risque de souffrir particulièrement de la variabilité et du changement climatique. Les industries de pêche pourraient aussi être affectées par des changements de températures des mers, les inondations et les sécheresses.

Malgré les progrès enregistrés ces dernières années, l'Afrique reste donc un continent très vulnérable qui risque de subir de plein fouet les impacts du changement climatique. Même si la population africaine est en partie capable de s'adapter, elle ne saurait affronter le défi considérable qui se dresse devant elle sans l'aide des pays en voie de développement qui contribuent pour la grande majorité des GES responsables du réchauffement climatique. Ces derniers doivent donc résolument maîtriser leurs émissions et fournir les ressources financières et techniques nécessaires pour permettre à l'Afrique de s'adapter au changement climatique. Sans cela, des conflits ne manqueraient pas de se développer en menaçant l'équilibre de la région (Deynès, 2008).

Le changement climatique représente une grande menace pour la croissance et le développement durable en Afrique. L'Afrique est le continent qui contribue le moins aux émissions globales de GES. Pourtant, elle est particulièrement vulnérable aux effets du changement climatique, notamment à cause de sa dépendance à l'égard des rendements de l'agriculture sous pluie, de la pauvreté et du manque de capacités. Les effets du changement climatique (réduction de la production agricole, détérioration de la sécurité alimentaire, incidence accrue des inondations et de la sécheresse, propagation des maladies et augmentation du risque de conflits en raison de la raréfaction des terres et de l'eau) sont d'ores et déjà évidents.

Plus de 95 % de l'agriculture africaine est une agriculture sous pluie. La production agricole sera fortement compromise par le changement et la variabilité climatiques : les superficies de terres arables, la durée des saisons de culture et le rendement par hectare sont susceptibles de baisser, ce qui pourrait compromettre la sécurité alimentaire et accentuer la malnutrition.

Un Africain, en moyenne, génère 13 fois moins de GES qu'un Nord-Américain et le continent est responsable de moins de 4 % des émissions de GES produites dans le monde entier. Alors que l'Afrique est le continent le plus durement touché par le changement climatique et qu'elle manque de capacités d'adaptation, les ressources destinées à l'aider à la gestion des risques liés aux catastrophes et à l'adaptation aux changements climatiques sont limitées et segmentées (Brian, 2007).

On peut néanmoins noter que la région méditerranéenne sera probablement confrontée à des changements importants de paysage avec la prolifération d'espèces typiquement méditerranéennes au détriment d'espèces plus tempérées. C'est dans les régions du sud et du sud-est de l'Europe que l'agriculture sera la plus touchée (Chuine & Thuiller, 2005).

Dans les zones méditerranéennes, le stress hydrique y est souvent présent. La fragilité des milieux méditerranéens sur le plan écologique a contribué encore davantage au déséquilibre des systèmes (Ghenim *et al.*, 2007). On assiste actuellement à un réchauffement de la planète, c'est une des composantes du changement global qui modifie le climat et provoque souvent des stress hydriques importants sur certains vignobles.

La réduction de la surface foliaire en conditions sèches diminue la surface évaporative de la plante et limite considérablement la production primaire. En réponse à la sécheresse, la sénescence foliaire conduit également à une allocation préférentielle des ressources vers les organes reproducteurs.

Les changements prévus auront des retombées sur les rendements, ainsi que sur la localisation de la production. Ainsi, il faut s'attendre à une hausse des rendements agricoles dans les régions froides et à une baisse dans les régions chaudes en raison du stress thermique. La multiplication des épisodes météorologiques extrêmes et le risque de prolifération de parasites affecteront également les récoltes (GIEC, 2009).

En effet, si au niveau mondial la hausse de température au 20^{ème} siècle a été de 0,74 °C, celle sur le Maghreb s'est située entre 1,5 et 2 °C selon les régions, soit plus du double que la hausse moyenne planétaire (Hervieu *et al.*, 2008) ceci montre que cette région du monde sera l'une des plus affectés au monde (Nefzi & Bouzidi, 2009).

Plusieurs publications récentes portant sur la région méditerranéenne montrent que l'agriculture du Maghreb seront très affectées par les impacts des changements climatiques, du fait de la raréfaction

attendue de l'eau disponible (chute des précipitations et surexploitation des aquifères) ainsi que de la dégradation des terres et des écosystèmes « désertification » (Requier-Desjardins, 2010).

Les modèles climatiques prévoient une augmentation de la température de 1°C combinées à une diminution de 10 à 20% des pluies à l'horizon 2020 au sein de ladite région (Nefzi & Bouzidi, 2009).

L'agriculture aux pays du Maghreb est touchée donc de plein fouet par le changement climatique et se doit de mettre en place une stratégie d'adaptation.

Les risques liés aux changements climatiques constituent un défi majeur pour le Maghreb. L'Afrique du Nord constitue une zone climatique spécifique en matière de changements climatiques. Elle doit faire l'objet d'investigation du GIEC. La communauté internationale devra être sensibilisée sur la nécessité de l'étude de l'évaluation des risques climatiques futurs sur le Maghreb. Le développement d'un modèle climatique régional pour le Maghreb serait d'un grand apport pour les études de vulnérabilité et d'adaptation.

La steppe Algérienne connaîtra une accentuation de l'effet de désertification à cause de la baisse des pluies et de l'augmentation de l'évapotranspiration des sols et des végétaux. Les hauts plateaux subiront un assèchement et évolueront vers le bioclimat de la steppe. L'impact des changements climatiques va exacerber les problèmes de dégradation des espaces sensibles comme la steppe, les hauts plateaux, l'Atlas tellien ou le littoral. Cette dégradation s'explique par l'accentuation de l'aridité et sera d'autant plus marquée (MATE, 2001).

1.12.2.1 Ressources en sols

Les sols sont un organe vivant qui abrite, à l'état microscopique, une faune et une flore riches et indispensables. Ils constituent l'actif le plus précieux des usagers des terres, mais aussi une ressource tarissable et souvent fragile, qui non seulement fournit aux espèces végétales des nutriments et de l'eau mais remplit aussi un rôle essentiel en tant que filtre et mécanisme tampon, en préservant le cycle d'approvisionnement en eau et la chaîne alimentaire d'éventuels polluants. (Woodfine, 2009). Globalement, la productivité végétale devrait s'accroître ; la concentration et la température accrues de CO₂ provoqueront une hausse du volume des résidus qui peuvent être enfouis dans le sol. Toutefois, l'augmentation du volume des résidus végétaux n'amènera pas pour autant une augmentation du CO₂ car cet élément dépend d'un équilibre entre les intrants et les pertes. Les températures plus élevées accéléreront la décomposition du carbone déjà stocké dans le

sol grâce à une minéralisation accrue du CO₂ (Kirschbaum, 1995). Les prévisions sont quasi unanimes à ce sujet : sans des efforts concertés, le réchauffement de la planète provoquera un déclin généralisé de ces stocks souterrains (Woodfine, 2009).

De par les modifications dans les températures, dans les régimes de précipitations et dans la concentration atmosphérique en CO₂, le fonctionnement des écosystèmes se trouve modifié, aussi bien au niveau du fonctionnement de la végétation que de celui du sol. Ces modifications ont lieu aussi bien au niveau du nombre d'espèces présentes que de leurs métabolismes, entraînant ainsi des changements dans les flux de matières au sein de ces systèmes. Avec 30 ans d'augmentation de température globale on a assisté à des changements dans les phénologies de certains organismes, dans la distribution des espèces et dans la composition et la dynamique des communautés. Les flux de matière peuvent aussi être modifiés, par exemple, une élévation de la température du sol peut impliquer une augmentation de l'activité des bactéries du sol et ainsi l'accélération des cycles de l'azote et du carbone, cet effet de la température étant conditionné par la quantité de carbone présente initialement dans le sol (Frangoie & Mahungu, 2012). Des simulations sur l'hémisphère Nord montrent qu'une augmentation des GES provoquerait une diminution du contenu en eau du sol. Ce phénomène s'explique principalement par une élévation de la température, qui augmenterait l'évaporation en hiver et au printemps et par une diminution des précipitations en été (Caballero & Noilhan, 2003). Le changement climatique aura donc des incidences colossales sur les sols (Woodfine, 2009). Or, les sols exportent l'azote vers les rivières et le calendrier saisonnier des pratiques agricoles (ex. fertilisation) peut avoir de grandes répercussions sur la disponibilité et le transfert des nutriments (ex. lessivage des sols en hiver). Une augmentation des concentrations en azote dans les écosystèmes aquatiques, comme source d'apport en nutriments, entraîne généralement une augmentation de la productivité primaire phytoplanctonique menant au processus d'eutrophisation. Il est largement admis que l'eutrophisation excessive des milieux peut perturber l'ensemble des processus fonctionnels de l'écosystème aquatique (réseaux trophiques), depuis l'acidification jusqu'à l'anoxie des milieux. Les poissons d'eau douce par exemple, situés au sommet des réseaux trophiques, pourraient subir l'accumulation de plusieurs perturbations qui affectent les niveaux trophiques inférieurs (Tisseuil, 2009).

Sur sols argileux, caractérisés par une réserve utile en eau élevée, la maturation des raisins (la vigne) est retardée et ils présentent des teneurs supérieures en acides organiques. A l'inverse, sur les sols très perméables, la maturation des raisins est accélérée et leur acidité est plus faible (Peynaud, 1984).

Caballero & Noilhan (2003) observaient dans leur étude régionale sur l'Europe du Sud, une diminution du contenu en eau du sol en été de l'ordre de 25%. Ce phénomène de sécheresse (également prévu par d'autres études régionales) est la conséquence de la diminution de la précipitation et de l'augmentation de l'évaporation. Cette étude conclut aussi à un changement dans le régime d'alimentation en eau du sol, qui recevrait plus d'eau au cours de l'hiver et moins au printemps. Ceci est dû à la modification de la phase des précipitations, qui voient les chutes de neige diminuer et fondent plus rapidement, réduisant de façon importante l'alimentation en eau des sols au printemps.

Ces sécheresses peuvent avoir des impacts secondaires comme la salinisation des sols qui, dans les zones côtières, risque d'être accentuée par la remontée du niveau de la mer (Caballero & Noilhan, 2003). Dans certains cas, une augmentation de la salinité pourrait entraîner une diminution du taux de survie des pousses et des taux de croissance et l'intrusion du sel pourrait entraîner la perte de zones humides d'eau douce (Owen, 2008). Les sols seraient donc moins soumis aux processus d'érosion de la pluie et du gel, ce qui modifierait aussi les processus d'infiltration et de ruissellement (Caballero & Noilhan, 2003).

Les sols argileux possèdent la particularité de se rétracter lorsqu'ils se dessèchent. Les effets se traduisent par des tassements différentiels du sol concernant, l'activité microbienne, fongique et virale naturelle dans les sols et l'eau, elle devrait être bouleversée par des changements plus ou moins importants dans la structure et le fonctionnement de leurs communautés, lesquelles participent au fonctionnement des cycles biogéochimiques (Delavrière & Guégan, 2008).

Les mouvements de terrain : très destructeurs, les grands mouvements de terrain dus au retrait-gonflement des argiles causent des dommages aux biens souvent considérables et irréversibles. D'après les différentes études et recherches, l'accroissement du risque de retrait-gonflement des argiles du fait du changement climatique semble pratiquement certain au cours du XXI^{ème} siècle pour la France (GIEC, 2007).

L'augmentation de l'évaporation du sol va aussi accentuer son degré de salinité provoquant ainsi sa dégradation. On voit donc, que du point de vue agricole, l'interaction entre l'air, l'eau et le sol va subir de nombreuses transformations entraînant un impact global négatif sur le végétal. Un réchauffement de la température signifie également un décalage des saisons (MATE, 2001).

1.12.2.2 Elevage

La diminution des rendements agricoles et la concurrence accrue d'autres secteurs auront probablement pour effet d'entraîner à la hausse le prix des céréales et des tourteaux oléagineux, qui sont les principales sources d'alimentation animale dans ces systèmes (FAO, 2008).

Le changement climatique jouera un rôle significatif dans la propagation des maladies à transmission vectorielle et des parasites animaux, lesquels auront des répercussions infiniment plus graves pour les hommes et les femmes les plus vulnérables engagés dans le secteur de l'élevage. Avec la hausse des températures et la variabilité accrue des précipitations, de nouvelles maladies risquent d'apparaître ou des maladies connues toucher des régions jusque-là préservées.

De plus, le changement climatique pourrait favoriser le développement de nouveaux mécanismes de transmission et de nouvelles espèces hôtes. Tous les pays seront vraisemblablement affectés par l'incidence accrue des maladies animales mais les pays pauvres sont particulièrement vulnérables face à l'émergence de nouvelles maladies du fait des faibles moyens de leurs services vétérinaires.

Le changement climatique peut-il être bénéfique pour l'élevage ? Il se peut que le réchauffement des températures ait des effets positifs sur l'élevage, mais cela dépendra largement du lieu et du moment où se produiront ces changements. Le relèvement des températures en hiver, par exemple, peut réduire le stress lié au froid du bétail élevé en plein air. Il peut par ailleurs entraîner une diminution des besoins énergétiques des animaux et réduire les besoins en chauffage dans les bâtiments d'élevage.

Les données montrent également que la période de croissance végétale pourrait se raccourcir sur de nombreux pâturages, en particulier en Afrique subsaharienne. La probabilité d'événements climatiques extrêmes devrait augmenter (FAO, 2005). Ben Jamâa (2010) constate qu'il y a peu de feux de forêts de grande envergure en Tunisie car le surpâturage empêche le développement d'un sous-bois combustible. Il a conclu que le surpâturage, phénomène considéré comme néfaste pour la conservation des sols et la régénération naturelle, mais devient dans ce cas un atout dans la lutte contre les incendies.

L'élevage en Algérie est affecté par la dégradation des écosystèmes. Le secteur de l'élevage peut aussi contribuer de manière significative à l'atténuation des effets du changement climatique. Les impacts sur l'élevage sont nombreux : impact sanitaire (maladies à vecteurs telle que Blue longue, Soussana), modification des saisons de pâturage (manque de fourrage et perte d'autonomie

fourragère), réduction de l'ingestion et de la production des ruminants (Soussana) réduite (Owen, 2008). Selon toute probabilité, certains des impacts du changement climatiques seront plus marqués pour les systèmes de pâture en zones arides et semi-arides, particulièrement sous des latitudes basses (Hoffman & Vogel, 2008). Le changement climatique aura de très larges répercussions sur la production animale en raison de son incidence sur l'alimentation du bétail et sa productivité. La hausse des températures et la diminution des précipitations entraînent une diminution du rendement des terres de parcours et contribuent à leur dégradation. La hausse des températures a également pour effet de réduire les quantités ingérées par les animaux et d'abaisser les taux de conversion alimentaire (Rowlinson, 2008). La diminution des précipitations et la fréquence accrue des sécheresses entraîneront une baisse de la productivité primaire des parcours, avec un risque de surpâturage et de dégradation des sols ; elles pourraient aggraver l'insécurité alimentaire et être à l'origine de conflits pour l'accès à des ressources raréfiées.

Compte tenu que le cheptel Algérien est concentré principalement dans les Hauts Plateaux et la Steppe où la production végétale se fait en cultures sèches, l'impact des changements climatiques sur le potentiel animal sera important à cause de la baisse du rendement végétal qui lui sert d'aliment. Le développement de l'élevage est subordonné aux programmes d'aménagement de la steppe par la protection et la revalorisation des parcours et l'aménagement des points d'eau (MATE, 2001).

1.12.3 Secteur de l'hydraulique

Les ressources en eau dépendent du bilan hydrique qui est gouverné lui-même par ceux des facteurs climatologiques qui influencent la pluviosité et l'évaporation. En effet, les ressources en eau sont très dépendantes des températures, précipitations, évapotranspiration, et, selon ce que nous savons du réchauffement global d'importants changements climatiques pourraient survenir, d'ici quelque 50 ans, qui auraient des effets significatifs sur les processus hydrologiques et sur la gestion de la ressource en eau (Daniel & Jacinthe, 1999).

Le réchauffement climatique pourrait aussi accélérer le cycle hydrologique et amener une augmentation de l'évaporation et des précipitations. A l'échelle du globe, cette hausse devrait se percevoir tout au long de l'année aux hautes latitudes, alors qu'elle serait plus perceptible en hiver, surtout en novembre, pour les latitudes moyennes. La proportion de pluie et de neige pourrait être modifiée aux latitudes moyennes et polaires (Daniel & Jacinthe, 1999).

Actuellement, un nombre croissant d'usagers se disputent les réserves d'eau existantes. Sur le plan socio-économique les usages de l'eau sont variés : approvisionnement en eau pour des fins domestiques, commerciales, industrielles et agricoles ; transport maritime, production d'énergie hydroélectrique et activités récréatives dont 70 % de tous les prélèvements d'eau dans le monde sont destinés à l'agriculture (FAO, 2008). Il s'agit donc d'une composante essentielle de l'environnement.

Les températures marqueraient une hausse variant de 1 à 2,2° C. Ce serait la saison d'été qui sera marquée le plus par le réchauffement, soit de 1,8 à 2,2° C. Les projections de baisse des moyennes régionales des précipitations saisonnières seraient de 10 à 15 % pour l'automne, de 16 % pour l'hiver, de 10 à 20 % pour le printemps (Nefzi & Bouzidi, 2009).

Un réchauffement du climat, accompagné d'une diminution sensible des précipitations en été, et donc d'une hausse de l'évaporation, affectera rapidement le niveau des nappes phréatiques ainsi que le ruissellement des petits chenaux utilisés pour l'irrigation (Lapel, 1989). Un climat plus chaud et plus aride nécessiterait donc une plus grande dépendance de l'irrigation (Mercier, 1993).

L'agriculture est l'activité économique qui dépend le plus de l'approvisionnement en eau. Selon Slivitzky (1997) près de 80% des prélèvements effectués à l'échelle mondiale le sont à des fins agricoles. Un changement climatique qui amènerait une augmentation de la température de l'air provoquerait un accroissement de la demande d'eau à des fins agricoles, soit à partir des précipitations ou de l'irrigation.

Des pénuries ont été constatées ces dernières décennies et les effets du changement climatique global sur le cycle de l'eau – précipitation, évaporation, écoulement vont très vraisemblablement appauvrir les ressources en eau, sous l'effet des élévations de températures et des diminutions des précipitations (Bleu, 2010) causant une sécheresse durant ces 25 dernières années qui a provoqué une baisse de la potentialité (du 19 à 17 milliard de m³/an) avec 10 milliard de m³/an des ressources superficielles dans les régions Nord (FAO, 2008).

La réalimentation calculée des eaux souterraines diminue dramatiquement de plus de 70% sur la côte sud de la Méditerranée (référence de climat normal 1961-1990 et années 2050).

Le changement climatique aura des conséquences sur la demande, avec une baisse de la consommation énergétique en hiver, mais une hausse en été en raison des besoins en climatisation pour les logements et les véhicules. L'évaluation économique de ces impacts fait apparaître une

tendance d'économie d'énergie de l'ordre de 3%, mais le développement spontané de la climatisation résidentielle et automobile amputerait de moitié les économies d'énergie liées au réchauffement. En termes de production d'électricité, il faut s'attendre, en raison des contraintes liées à la ressource en eau, à une baisse de productible de l'ordre de 15% des centrales hydroélectriques, pour lesquelles l'eau constitue la « matière première » (Bernier, 2005).

Le dessalement se présente donc comme une option d'adaptation au changement climatique dont l'adoption ne doit pas intervenir en substitution d'autres possibilités « durables », telles que l'utilisation rationnelle de l'eau. Il devrait, par ailleurs, privilégier la production d'eau potable pour la consommation humaine (Bleu, 2010).

L'hydro électricité est sensible aux variations et bouleversements climatiques. Un changement de température modifierait la demande de chauffage et de climatisation, en plus de modifier l'apport net en eau des bassins hydroélectriques (Daniel & Jacinthe, 1999).

Deux principaux paramètres influencent significativement les régimes hydrologiques en Europe : les températures et les précipitations. La hausse des températures du globe devrait renforcer le cycle hydrologique. Pour chaque degré Celsius supplémentaire, l'air peut en effet absorber environ 3% de vapeur d'eau en plus. S'agissant des précipitations, les projections jusqu'en 2100 montrent des changements dans leur distribution (augmentation dans le nord de l'Europe -surtout en hiver- et diminution en été dans le sud de l'Europe) qui peuvent modifier la disponibilité de l'eau : En effet, la recharge des aquifères se fait en période de forte pluviométrie et de température plutôt basse ; et la présence d'eau dans les rivières est corrélée à la pluviométrie (GIEC, 2007). Une baisse du niveau des cours d'eau a un impact sur la qualité des eaux de baignade avec un développement constaté de cyanobactéries ou de la bactérie *Aeromonas hydrophilla*, et qui peuvent proliférer dans ces milieux plus stagnants (Delavrière & Guégan, 2008). Le changement climatique peut affecter ainsi la qualité de l'eau, à travers par exemple l'augmentation de la mobilité des composés chimiques, des changements dans l'hydrologie et des changements dans le calendrier des modèles biologiques et météorologiques ainsi que de la température de l'eau.

Enfin, les précipitations extrêmes pourraient se produire plus fréquemment, surtout en hiver, ce qui pourrait conduire à des inondations plus fréquentes. Dans le centre et le sud de l'Europe, le risque de sécheresse est susceptible d'augmenter (GIEC, 2007).

La question de la ressource en eau est donc un point crucial dans l'analyse des impacts du changement climatique. Or les travaux déjà réalisés nous indiquent que si l'on considère une

stabilité de la demande, un déficit de 2 milliards de m³ pour la satisfaction des besoins actuels de l'industrie, l'agriculture (irrigation) et l'alimentation en eau potable serait observé à l'horizon 2050. Les projections indiquent que les zones les plus touchées seraient les zones déjà concernées aujourd'hui par des déficits structurels (GIEC, 2007).

En France, l'année 2003, a été le symbole d'un changement climatique important en raison d'une sécheresse estivale prolongée (associée à la canicule) mais déjà depuis le début des années 1980 on a assisté à une augmentation régulière de la température et à un changement du régime des précipitations avec une tendance à la baisse. De septembre 2004 à septembre 2005, une grande partie du territoire français a connu une pluviométrie inférieure d'un tiers à la moyenne des 50 dernières années, et une sécheresse d'une intensité comparable à celles de 1976 et de 1989. Sur les 8 dernières années, une vingtaine de départements connaissent des limitations de consommation d'eau en année « normale » ; ce chiffre est doublé les années relativement sèches (1998, 2004) et plus de 60 départements ont été concernés les années les plus sèches (2003, 2005). Même en année humide (2001) environ 6 départements ont connu des restrictions d'usage d'eau (Attia, 2007).

Les résultats des études d'impacts du changement climatique sur le cycle hydrologique de grands bassins versant français, montraient une diminution généralisée des débits en hiver et des baisses très importantes du niveau des eaux souterraines (de l'ordre de plusieurs mètres). L'étude a aussi montré une diminution systématique de l'humidité de la zone racinaire (-31mm soit -9%) qui est plus prononcée en été (Ducharme *et al.*, 2004).

En Afrique, Les exploitations agricoles irriguées sont moins sensibles au changement climatique que celles qui ne le sont pas, et peuvent même augmenter leur valeur si elles sont situées dans des régions tempérées (Deynès, 2008).

L'Algérie est divisée en 48 Wilayates et 1541 communes. Le volume d'eau utilisé en l'an 2000 a été évalué pour tout le pays à près de 4,250 milliards de m³ soit 141 m³ d'eau/an/habitant. La disponibilité de l'eau a constitué une contrainte nationale majeure pour le pays. Dans les régions à climat semi-aride et aride, les bassins hydrologiques sont sensibles à de faibles variations des caractéristiques climatiques. Des changements faibles dans la température et les précipitations peuvent avoir des répercussions importantes sur l'écoulement des eaux superficielles. Le réchauffement climatique contribue à l'extension géographique de la zone d'influence des parasites et maladies des plantes et donc l'expansion de leurs effets néfastes (MATE, 2001).

1.12.4 Secteur des forêts

Le changement climatique au cours du dernier demi-siècle a déjà affecté l'écosystème des forêts et ses effets ne feront qu'augmenter à l'avenir. À moins que les émissions de CO₂ soient réduites de façon substantielle, le rôle de régulateur de carbone que jouent les forêts court le danger de disparaître complètement ; ce qui aurait pour conséquence de libérer dans l'atmosphère une grande quantité de carbone et d'aggraver ainsi le changement climatique. Les changements climatiques constituent une autre menace. L'augmentation mondiale de la température pourrait entraîner des perturbations plus fréquentes et importantes causées par le feu et les insectes (Béland, 2006). Il a été montré que l'avancement moyen de débourrement des essences forestières en Europe et au Canada était de 2,9 j/décennie de la date débourrement (Chuine, 2010). Les forêts sont donc sensibles aux changements climatiques car la longévité des arbres limiterait leurs réponses adaptatives aux changements environnementaux (Seguin, 2010) d'où 13 millions d'hectares de forêts disparaissent chaque année (FAO, 2008). La surface des forêts dans les pays du pourtour méditerranéen en 2010 ; occupait 85 millions d'hectares soit 2 % du total de la surface forestière mondiale (4 milliards d'hectares) (Besacier, 2013). En lien avec les sécheresses, le risque incendie devrait augmenter en zone méditerranéenne (où il est déjà important) et apparaître dans des zones aujourd'hui épargnées. En zone méditerranéenne, on pourrait de ce fait assister à une augmentation de la surface de maquis au détriment des espaces boisés.

Les conséquences du changement climatique s'annoncent très importantes pour la forêt et la filière économique forêt-bois, et ce dès le court terme. Les écosystèmes forestiers sont vulnérables à la fois aux risques d'augmentation de la fréquence et de l'intensité des perturbations (sécheresses, insectes, incendies) induits par le changement climatique et à l'évolution du climat moyen (augmentation des températures, modification du régime des précipitations) (GIEC, 2007)

Avec 50 000 incendies et 600 000 ha brûlés en moyenne chaque année, les feux de forêt dans le bassin méditerranéen représentent une part importante des incendies de la planète. D'après diverses sources, le coût annuel total des mesures de lutte anti-incendie et de sécurité dans la région dépasserait un milliard de dollars EU (Le Houérou, 1987).

Les impacts du changement climatique sur les produits et les services de la forêt auront des conséquences économiques et sociales à long terme pour les populations qui dépendent des forêts, notamment les pauvres. Les mesures d'adaptation devront aller au-delà des seules solutions techniques et porter sur les dimensions humaines et institutionnelles de ce problème (Seppala *et al.*, 2009).

Le changement climatique affecte la fourniture de ces services d'écosystèmes essentiels, avec des conséquences potentiellement dangereuses pour le bien-être humain. Les personnes, les sociétés, les institutions doivent par conséquent être au courant des impacts probables du changement climatique sur les forêts et doivent avoir des stratégies en place pour s'y adapter.

Les modifications de la végétation, le manque d'eau, l'érosion des plages et les hautes températures auront un impact négatif sur la faune, la flore et donc aussi le tourisme.

1.12.5 Secteur des milieux urbains

Certains sols argileux peuvent gonfler et se tasser du fait de variations de teneur en eau. L'apparition des tassements différentiels peut occasionner des dégâts parfois importants aux constructions et en particulier à celles dont les fondations sont superficielles.

Les (grands) mouvements de terrain dus au retrait-gonflement des argiles sont en général peu rapides et les victimes fort heureusement peu nombreuses dans la plupart des cas. En revanche, ils sont très destructeurs car les aménagements y sont sensibles. Les dommages aux biens sont souvent considérables et irréversibles, ce qui nécessite de démolir les constructions (Bernier, 2005).

1.12.6 Secteur de l'économie

Le problème du changement climatique sera plus grave pour l'économie mondiale que les deux guerres mondiales et le krach de 1929 et que 20% des richesses mondiales pourraient être englouties à cause de ce changement climatique (Stem, 2006).

1.12.6.1 Secteur des équipements et d'infrastructures de bases

En ce qui concerne le risque de submersion marine permanente lié à une remontée d'ensemble du niveau de la mer d'un mètre, il représenterait un coût patrimonial pour le réseau routier national métropolitain (hors autoroutes concédées et autres voiries) de deux (02) milliards d'euros. Les facteurs climatiques, combinés à de plus hauts niveaux d'eau et à des tempêtes plus fréquentes, peuvent alors mener à l'augmentation des dommages sur l'infrastructure (impliquant des coûts d'entretien plus importants). La modification de l'intensité des pluies peut entraîner des risques d'inondation qui provoqueront des dommages au niveau des infrastructures, des routes et des voies de communications (MATE, 2001).

Le changement climatique en Afrique imposera un coût important pour l'économie, le développement humain et l'environnement. Les infrastructures de transport pourraient souffrir à

cause de la destruction des routes, des ponts, des lignes de chemin de fer, des voies navigables, des ports affectés par l'élévation du niveau de la mer et du transport aérien perturbé par l'augmentation des précipitations ou le mauvais temps.

1.12.6.2 Secteur du milieu socio-économique

Les changements qui se feront sentir dans les températures, l'humidité ou la salinité provoqueront la diffusion des parasites et des maladies dans de nouvelles zones géographiques constituant de nouveaux risques pour la sécurité alimentaire, la sécurité sanitaire des aliments et la santé humaine (FAO, 2008). Le changement climatique de par son caractère global est susceptible de conduire à des impacts socio-économiques transnationaux. Le risque de famine s'accroît avec le changement climatique, en particulier lorsque les systèmes agricoles et les moyens de subsistance ne dépendent que de quelques espèces, ou d'une seule, et quand les institutions ne peuvent fournir le soutien nécessaire (Fraser, 2007). L'Europe se réchauffe non seulement à 40 % plus rapidement que l'ensemble de la planète, mais elle a déjà subi des dégâts importants et durables dus aux changements climatiques. Les orages de 1999 et les inondations de 2002 ont chacun coûté 13 milliards d'€, et en 2003, la canicule a coûté 10 milliards d'€ (Fairbank & Jakeway, 2006). La canicule de 2003 en France a provoqué 14 800 décès en excès dont les causes principales sont liées à un impact direct de la chaleur sur la physiologie de l'organisme humain (coups de chaleur, déshydratation aiguë, accidents cardiovasculaires et cérébrovasculaires) (Delavière & Guégan, 2008). Dans les zones montagneuses surtout, les défrichements forestiers réduisent la capacité de stockage de l'eau des bassins hydrographiques. Les populations souffrent de la pénurie d'eau, de l'érosion des sols mais aussi des inondations et des sécheresses provoquées par le changement climatique (Katrin & Hermann, 2009). Le changement climatique peut imposer donc une tension supplémentaire sur les communautés qui dépendent de la forêt pour leur vie quotidienne et notamment sur les communautés rurales pauvres (Seppala *et al.*, 2009).

Les feux de forêt et d'autres types de végétation produisent des gaz et des émissions de particules qui affectent la composition de l'atmosphère. Les particules fines et ultrafines liées à la combustion de la biomasse ont un effet sur la santé humaine. En 1997-1998, les feux de forêt survenus en Asie du Sud-Est ont affecté quelques 200 millions de personnes. Avec le changement climatique, et notamment des pluies plus violentes, nous pourrions assister à des événements de coulée de boue ou de glissement de terrain plus fréquents, et affectant la santé des populations (Delavière & Guégan, 2008). Le changement climatique menace la pêche et l'aquaculture qui font vivre 42 millions de pêcheurs et des centaines de millions de travailleurs occasionnels du secteur (FAO, 2008). Pour les

biens et services intégrés à un marché mondial par exemple, les impacts du changement climatique en un lieu donné pourront influencer la dynamique du marché, en jouant sur les prix (marché du blé ou encore de l'énergie) et les avantages comparatifs des pays (GIEC, 2007).

Le travail d'évaluation économique qui a été porté sur l'impact de deux événements extrêmes majeurs (canicule de 2003 et inondation du Gard en 2002) en France, estime bien que la valeur perdue par la société a été estimée respectivement à un peu plus de 500 millions d'euros et de 234.000 euros (pour 953 personnes). On estime que la valeur totale actuelle des capitaux économiques situés dans un rayon de 500 mètres du littoral de l'UE, notamment les plages, les terrains agricoles et les structures industrielles, est de l'ordre de 500 à 1 000 milliards d'€. Les capitaux publics mobilisés pour lutter contre l'érosion sont en augmentation. En 2001, ils représentaient un montant estimé à 3,2 milliards d'€ (Marci, 2006). Nefzi & Bouzidi (2009) ont procédé à l'analyse de l'impact économique du changement climatique sur l'agriculture au Maghreb. Ils ont obtenu des résultats indiquant que la valeur ajoutée est sensible au climat. Ils ont conclu par conséquent que le changement climatique aurait un effet négatif sur la valeur ajoutée.

1.13 Mesures réglementaires sur les effets du changement climatique

1.13.1 Lois et conventions

En 1972 ; le Club de Rome publie le rapport Halte à la croissance (*The limits to growth*) donne les résultats de simulations sur l'évolution de la population humaine et de l'exploitation des ressources naturelles, avec des projections jusqu'en 2100. Il en ressort que la poursuite de la croissance économique entraînera au cours du XXI^e siècle une chute brutale des populations à cause de la pollution, de l'appauvrissement des sols cultivables et de la raréfaction des ressources énergétiques.

En 1972 : une conférence des Nations unies sur l'environnement humain à Stockholm expose notamment le concept d'écodéveloppement, les interactions entre écologie et économie, le développement des pays du Sud et du Nord. C'est un échec relatif, sans aucun compromis clair, mais la problématique est posée : l'environnement apparaît comme un patrimoine mondial vital à transmettre aux générations futures.

En 1980 ; L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) publie un rapport intitulé « la stratégie mondiale pour la conservation » où apparaît pour la première fois la notion de « développement durable », traduite de l'anglais « sustainable development ».

En 1987 : Une définition du développement durable est proposée par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (Rapport Brundtland). Le protocole de Montréal relatif aux substances qui appauvrissent la couche d'ozone est signé le 16 septembre, signe qu'un engagement collectif est possible.

En 1992 : Le sommet de la terre, à Rio de Janeiro marque la consécration du terme "développement durable" et permet que le concept soit largement médiatisé devant le grand public avec l'adoption de la convention de Rio et la naissance de l'Agenda 21. La définition Brundtland, axée prioritairement sur la préservation de l'environnement et la consommation prudente des ressources naturelles non renouvelables, y sera modifiée par la définition des « trois piliers » qui doivent être conciliés dans une perspective de développement durable : le progrès économique, la justice sociale, et la préservation de l'environnement.

En 1997 : 3^{ème} Conférence des Nations unies sur les changements climatiques, à Kyōto, au cours duquel sera établi le protocole éponyme.

En 2002 : Sommet de Johannesburg : plus de cent chefs d'État, plusieurs dizaines de milliers de représentants gouvernementaux et d'Organisations Non Gouvernementales (ONG) ratifient un traité prenant position sur la conservation des ressources naturelles et de la biodiversité.

En 2005 : Entrée en vigueur du protocole de Kyōto sur la réduction des émissions des GES.

En 2005 : Adoption par le Congrès de la Charte de l'environnement (élaborée par la commission Coppens à laquelle participait Christiane Lambert). Ce texte à valeur constitutionnelle consacre les droits de l'homme et de la société dans son environnement ainsi que le principe de précaution. Elle consacre un nouveau droit individuel, celui du droit de chacun à vivre dans un environnement équilibré et respectueux de sa santé (article 1er) (Requier-Desjardins, 2010).

En 2010, Protocole de Nagoya sur la Biodiversité ; signature du protocole portant sur les aires protégées. Elles couvrent actuellement 13% de la surface totale des terres et moins d'1% de la surface totale des océans. Un compromis a été trouvé à 17% pour les terres et 10% pour les mers. Selon la liste rouge de l'UICN, sont menacés :

- ✓ 41% des espèces amphibiens (batraciens ex. grenouilles),
- ✓ 33% des barrières de corail,
- ✓ 25% des mammifères,
- ✓ 20% des plantes,

- ✓ 13% des oiseaux.

60% des services rendus par les écosystèmes sont menacés (MEA, 2005)

La biodiversité est une source de services gratuits gigantesques pour l'Homme. Elle sert de :

- a. Fourniture d'aliments, de combustibles, etc,
- b. Support de production (sols, ...etc.),
- c. Production et purification de l'air,
- d. Épuration de l'eau,
- e. Diminution des conséquences des inondations.

L'Algérie n'a jamais manqué de ratifier ces dispositifs réglementaires alors que sur le plan national il a créé une assurance agricole comme moyen de protection et de préservation des revenus des agriculteurs. Les risques de nature calamiteuse ou risques climatiques (grêle et incendie) qui peuvent affecter les serres, les palmiers, le dattier, les pommes de terre, le bétail, l'apiculture et l'aviculture sont pris en charge dans le cadre d'un dispositif de subvention régi par le décret n° 90-118 du 26 mai 1990 portant organisation et fonctionnement du Fond de Garantie contre les Calamités Agricoles (FGCA) la gestion de ce fond est confiée à la Caisse Nationale de Mutualité Agricole (CNMA) (Korichi, 2008). La loi 02/02 du 05 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral. La loi n° 2003-10 du 19 juillet 2003 cite 114 articles portant la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable (P. 6. J.O.R.A N° 43 du 20/07/2003) dont l'article 31 décrit les aires protégées comme suit :

- a. Les réserves naturelles intégrales,
- b. Les parcs nationaux,
- c. Les monuments naturels,
- d. Les aires de gestion des habitats ou des espèces,
- e. Les paysages terrestres ou marins protégés,
- f. Les aires protégées de ressources naturelles gérées.

1.14 Mesures d'adaptation aux changements climatiques

Partout dans le monde, plantes et animaux ont modifiés leurs comportements ; leurs développements ont subi des changements, leurs zones de répartition se sont déplacées. Les changements climatiques semblent être un facteur important de cette évolution (Defila & Clot, 2003). Tisseuil (2009) montre que plusieurs études ont déjà pu observer/prédire des changements

significatifs dans la structure et le fonctionnement des communautés biologiques en réponse au changement global : déplacements des organismes vers de plus hautes latitudes et altitudes en accord avec leurs préférences thermiques (Parmesan & Yohe, 2003) changement dans la phénologie c'est à dire décalage saisonnier dans le cycle biologique (Walther *et al.*, 2002) ou diminution de la taille des organismes pouvant affecter les paramètres démographiques des populations, fertilité et interactions compétitives (Daufresne & Boet, 2007).

Les impacts de la variation du climat se font déjà sentir, avec l'augmentation du nombre de sécheresses, d'inondations, de tempêtes violentes et de périodes de canicule, qui grèvent les budgets des individus ainsi que des entreprises et des États, et absorbent une part importante des ressources qui pourraient être consacrées au développement. En outre, s'il se poursuit au même rythme, le changement climatique va ériger des obstacles grandissants au développement (Mondiale, 2010).

Les menaces du changement climatique ne peuvent pas être traitées de manière isolée, mais doivent être vues dans le contexte de pressions environnementales existantes telles que la perte d'habitats, la déforestation, la pollution littorale et la surpêche. Les impacts cumulés et concentrés du changement climatique poussent de nombreux écosystèmes (ex. les récifs coralliens) au bord de la destruction ou diminuent leur capacité à se remettre de maladies ou d'espèces nuisibles ou envahissantes (Agard *et al.*, 2010).

Définir et évaluer les effets du changement climatique permet d'envisager les mesures d'adaptation les plus appropriées (Prudent-Richard *et al.*, 2008). Deux réponses sociétales ont été développées par la communauté scientifique afin de faire face aux changements climatiques et leurs impacts : les stratégies d'atténuation et les stratégies d'adaptation. Les premières, les plus connues, visent la réduction des stress sur les écosystèmes par l'augmentation de la séquestration de CO₂ et la réduction des émissions de GES. Les secondes permettent, quant à elles, de modérer les impacts et de profiter des opportunités qui peuvent découler des changements climatiques, grâce à des ajustements des systèmes écologiques, économiques et sociaux.

Les stratégies doivent englober des synergies entre adaptation au changement climatique et atténuation de ses effets et entre une approche institutionnelle souple et un appui financier en faveur de l'adaptation. Les scénarios climatiques comportent eux-mêmes des incertitudes significatives surtout à petite échelle (<50 km) (Hallegatte, 2010). L'adaptation au changement climatique ne peut être que locale (Dazé *et al.*, 2010). L'adaptation se présente ainsi comme étant un moyen pouvant être adopté par les gestionnaires de la forêt afin de faire face aux impacts potentiels des

changements climatiques. Dans ce contexte, il est possible de se questionner sur la place accordée par la forêt à ce type de stratégies comme outil permettant de répondre aux vulnérabilités de la forêt devant ce phénomène (St-Laurent Samuel, 2011). Le réchauffement climatique modifie déjà les habitudes de bon nombre d'espèces végétales et animales terrestres. Nombreuses sont celles qui se déplacent plus au nord, où la température est plus fraîche (Christiane, 2005). Le changement climatique nous concerne tous, mais il frappera plus durement les centaines de petits agriculteurs et des petits pêcheurs ainsi que les populations dépendant des forêts déjà vulnérables et victimes d'insécurité alimentaire. Le changement climatique augmente les inégalités entre les pays développés et les pays en voie de développement parce qu'ils ont différentes capacités d'adaptation. Le changement climatique augmente l'insécurité alimentaire à cause d'une plus grande variabilité climatique, et spécialement des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes plus fréquents (Hallegatte, 2010).

Les mesures institutionnelles en Algérie sont assurées par l'Agence Nationale des Changements Climatiques et Observatoire des Changements Climatiques (ANCCOCC).

L'adaptation aux changements climatiques ou au dérèglement climatique désigne les stratégies, initiatives et mesures individuelles ou collectives (entreprises, associations, collectivités, ...etc.) visant, par des mesures adaptées, à réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et humains contre les effets réels ou attendus des changements climatiques. L'adaptation ; elle consiste à rendre les systèmes ou territoires moins vulnérables aux dérèglements climatiques, par des actions diminuant les impacts effectifs du changement climatique, ou améliorant les capacités de réponse des sociétés et de l'environnement. Le conseil économique pour le développement durable en France, a défini l'adaptation comme étant l'ensemble des évolutions d'organisation, de localisation et de techniques que les sociétés devront opérer pour limiter les impacts négatifs du changement climatique et en maximiser les effets bénéfiques. Il s'agit donc d'anticiper les effets des dérèglements climatiques sur l'environnement, et donc sur l'économie, la société, la santé et la vie quotidienne, voire d'en valoriser certains aspects là et quand cela apparait possible (Brian, 2007). L'adaptation vise à réduire la vulnérabilité des systèmes ou territoires par des actions qui permettent de réduire les impacts effectifs du changement climatique ou d'améliorer la capacité de réponse de la société (GIEC, 2007). Les acteurs de l'adaptation sont plus nombreux et appartiennent à des secteurs plus variés, incluant la santé, la biodiversité ou encore la gestion des coûts et des bénéfices (GIEC, 2007). Envisagée comme une politique complémentaire à l'atténuation, l'adaptation permettra de limiter les coûts des impacts du changement climatique de manière significative, voire de les transformer

en opportunités dans certains cas. Si l'adaptation spontanée peut déjà permettre de limiter les impacts négatifs du changement climatique, il est à noter qu'une adaptation non organisée peut également conduire à amplifier les impacts négatifs du réchauffement ou à en limiter les bénéfiques : c'est le cas de l'énergie, avec le développement spontané de la climatisation qui participe à augmenter la consommation d'énergie en été de manière significative et donc les émissions de GES; ou encore de l'agriculture, où une hausse spontanée de l'irrigation ne peut être compatible avec la diminution de la disponibilité de l'eau. Ceci souligne l'importance de coordonner et d'organiser l'adaptation afin d'éviter ces écueils (GIEC, 2007).

La résilience écologique est un des facteurs clé de l'adaptation de l'économie agricole et forestière notamment. La capacité actuelle des écosystèmes à supporter un réchauffement rapide, tout en subissant les effets des pollutions et de la fragmentation écologique n'est pas connue.

1.14.1 Expériences de mesures d'adaptations aux changements climatiques

Les stratégies d'adaptation aux changements climatiques dans les pays européens se présentent généralement sous la forme d'une stratégie nationale, sorte de cadre de référence regroupant dans une démarche cohérente et logique toutes les actions d'adaptation. L'expérience de l'Union européenne est récente et date depuis 2005. En France, la réflexion sur l'adaptation globale aux changements climatiques est donc récente, datait aussi depuis 2005. Un plan d'action établi par l'Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC) contient essentiellement des mesures d'atténuation dans la plupart des secteurs économiques et de la vie quotidienne.

En 1997, le Royaume-Uni a mis en place une structure pour la recherche et la diffusion d'informations sur l'adaptation aux changements climatiques.

En 2003, l'Allemagne a lancé une première étude et parmi les mesures d'adaptation on cite en particulier le décalage des dates de semailles et le choix des espèces moins sensibles au stress hydrique et option de gestion économe en eau et en sol.

En 2001, le Finlande a lancé le travail sur le sujet et le premier rapport sur les travaux d'adaptation a été publié en 2005.

En particulier, le système d'assurance des dommages naturels en Suisse, déjà important et éprouvé, a été adapté dans une perspective de garantie à long terme et d'évolution sociale, économique et

climatique (notamment en raison des intempéries d'août 2005 en Suisse et suite à un besoin accru mis en évidence par des études).

1.14.2 Mesures d'adaptation pour l'agriculture

Assurer la sécurité alimentaire, sécuriser les conditions de vie des populations rurales et réguler leurs migrations seront trois enjeux cruciaux de l'adaptation aux impacts des changements climatiques sur l'agriculture et les écosystèmes. Ces enjeux se posent en des termes concrets pour les décideurs : quels investissements choisir, quelles adaptations financer, et par quels mécanismes institutionnels appropriés ? (Requier-Desjardins, 2010). L'adaptation implique un changement des pratiques agricoles en réponse à un changement des conditions climatiques. Elle inclut des changements des procédures de gestion, telles que la synchronisation de l'ensemencement et la moisson, l'intensification des intrants, et le changement des variétés de cultures. Naturellement, l'adaptation suppose que les agriculteurs ont accès aux pratiques et aux technologies alternatives qui sont déjà pratiquées ailleurs (Nefzi & Bouzidi, 2009). L'entretien attentif des fonctions du sol permet de pratiquer une agriculture plus durable afin de faire face aux changements climatiques (Katrin & Hermann, 2009). L'utilisation de techniques optimales d'irrigation permettra de réaliser entre 10 et 20 % d'économie sur la dotation en eau de l'agriculture. Il s'agit de généraliser les techniques d'irrigation (irrigation par goutte à goutte ou par aspersion contrôlée, ..., etc.). L'objectif ultime est d'assurer le maintien de la productivité au niveau des systèmes agricoles. Ceci nécessite des efforts de recherche substantiels pour mieux comprendre les émissions et les puits des GES et améliorer l'absorption de CO₂ atmosphérique par la végétation et le sol en relation avec les contraintes imposées par l'existence quasi permanente du stress d'origine hydrique. Parmi les mesures préconisées, on peut citer :

- a. De nouvelles pratiques agricoles et la refonte du calendrier agricole traditionnel en tenant compte du régime des pluies et du dérèglement des saisons dus aux changements climatiques, un choix de variétés céréalières à cycle court et adaptées aux conditions locales par l'utilisation de semences sélectionnées, une optimisation de la relation sol-végétal-climat en développant des recherches multidisciplinaires et une meilleure connaissance de la relation entre le bilan hydrique du sol et l'évolution climatique, l'amélioration du matériel génétique permettant d'atténuer l'impact des changements climatiques sur la production céréalière et mise au point de nouvelles espèces hybrides entre le blé tendre et le blé dur.

- b. La mise en valeur des zones sujettes au phénomène de désertification et d'une stratégie de réponse socio-économique, la protection des sols contre l'érosion par les travaux de Défense et de Restauration des Sols (DRS), la prise en charge des terres abandonnées,
- c. L'élaboration d'un plan d'occupation des sols dans le cadre du plan national d'aménagement du territoire, la mise en œuvre des techniques de lessivage et de traitement des sols pour éviter leur salinisation et assurer leur conservation, l'augmentation de capacité de rétention en eau du sol pour lui permettre de retenir plus d'eau. Ce qui aura pour effet d'assurer un meilleur approvisionnement en eau et une meilleure croissance des céréales, l'association de façon optimale de l'arboriculture et des cultures céréalières, dans le but de protéger les terres agricoles situées en pente, le renforcement des capacités humaines pour assurer la mise en œuvre des mesures choisies (MATE, 2001),

L'élevage peut jouer un rôle important à la fois dans l'adaptation au changement climatique et l'atténuation des effets du changement climatique sur la santé humaine. En ce qui concerne l'atténuation des effets de l'élevage sur le changement climatique, les efforts portent essentiellement sur la réduction des émissions de GES.

L'élevage peut aussi aider les pauvres à s'adapter aux effets du changement climatique. La capacité des communautés à s'adapter et à atténuer ces effets dépend de leurs conditions socio-économiques et environnementales ainsi que de leur accès à l'information et à la technologie qui répondent à leurs besoins (FAO, 2005).

Le développement phénologique rapide avec une floraison précoce, permet à la plante d'éviter les périodes sèches. Cette stratégie appliquée aux espèces cultivées a amené à décaler la date de semis et/ou à sélectionner des variétés plus précoces permettant d'éviter les déficits hydriques de fin de cycle. La deuxième façon d'éviter la sécheresse est la capacité de la plante à maintenir un état hydrique satisfaisant. La stratégie de l'évitement est principalement liée, d'une part, à la réduction de la transpiration et d'autre part, à une optimisation de l'absorption d'eau par les racines. La diminution de la transpiration est principalement liée à la fermeture des stomates. Il s'ensuit une chute de l'assimilation de CO₂ donc une baisse de production de biomasse.

1.14.3 Mesures d'adaptation pour les forêts

Elles consistent à prendre des mesures pour préserver les forêts et laisser aux générations futures des forêts adaptées et résistantes aux risques naturels et évolutions climatiques. La gestion durable

des forêts est essentielle pour réduire la vulnérabilité des forêts au changement climatique. L'impossibilité actuelle de la mettre en œuvre réduit la capacité des forêts et des personnes qui dépendent des forêts de s'adapter au changement climatique. Pour répondre aux défis de l'adaptation, l'engagement d'atteindre les objectifs de la gestion durable des forêts doit être renforcé aux niveaux national et international. Les gestionnaires des forêts doivent par conséquent montrer une souplesse suffisante pour déployer des mesures d'adaptation les plus appropriées aux situations locales (Rist, 2009). Parmi les mesures de gestion forestière que les États pourraient prendre afin de faciliter l'adaptation au changement climatique, il s'agit de favoriser les variétés et les espèces forestières adaptées ou susceptibles de s'adapter aux nouvelles conditions climatiques :

- a. Mettre en œuvre des pratiques de gestion forestière qui réduisent la vulnérabilité à la fois au changement climatique graduel et aux phénomènes extrêmes tels que les tempêtes et les incendies,
- b. Renforcer les aménagements de protection contre les incendies,
- c. Mettre en œuvre des mesures de conservation in situ et ex situ et aménager des espaces et des couloirs pour faciliter la migration des espèces.

Le changement climatique va par ailleurs entraîner, directement ou indirectement, des variations de l'offre et de la demande de bois, auxquelles devront s'adapter les industries forestières. Avec le changement climatique, selon le livre vert de la CCE (2001) le rôle joué par les forêts dans la fourniture de services environnementaux c'est-à-dire la protection des cours d'eau, la gestion des crues, le maintien et la restauration de paysages multifonctionnels et la conservation de la biodiversité va prendre une importance accrue et nécessiter des réorientations des politiques et des modes de gestion. Les forêts sur les sols à forte réserve utile en eau supporteront mieux l'évolution climatique (Milano, 2010). Alors que le phénotype du Pin Sylvestre d'Auvergne apparaît comme un des plus adapté face aux stress hydriques et aux attaques d'insectes (Morisset, 2009).

En France, on constate que les espèces qui ont une amplitude thermique importante sur leur aire de distribution ont mieux résisté à la canicule de 2003 (Julliard *et al.*, 2006).

1.15 Mesures d'atténuations des effets du changement climatique

L'atténuation implique en grande partie les grands émetteurs (acteurs du secteur de l'énergie, des transports...) habitués à prendre des décisions d'investissement à long-terme (GIEC, 2007). L'atténuation ; elle consiste à limiter la vitesse d'augmentation des taux de GES dans l'air, en maîtrisant mieux les gaspillages énergétiques, en substituant des énergies nouvelles aux énergies

fossiles et en stockant le carbone (Brian, 2007) afin de protéger l'environnement et les ressources naturelles. Il s'agit de mettre en œuvre des mesures pour limiter l'augmentation des émissions de GES et de polluants qui perturbent le climat. Une production durable des ressources naturelles consiste à appliquer, de façon régulière, une stratégie d'environnement préventive, intégrée aux procédés de production et aux produits, en vue de réduire les risques de vulnérabilité encourus par les ressources naturelles, les écosystèmes et l'environnement liés aux impacts négatifs des changements climatiques.

La stratégie de réponse, en matière de changements climatiques, doit être dynamique et évolutive en fonction des capacités existantes et des nouvelles acquisitions scientifiques dans ce domaine. Cette stratégie doit porter sur une série d'actions coordonnées qui seront mises en œuvre de façon parallèle :

- a. Mesures d'atténuation des GES,
- b. Mesures d'adaptation pour limiter l'impact des changements climatiques sur les ressources naturelles et les écosystèmes,
- c. Développement d'outils d'aide à la décision,
- d. Renforcement des bases de données fiables.

L'Algérie s'implique dans l'effort mondial d'atténuation des émissions des GES par la prise de mesures effectives dans les secteurs de l'énergie, de l'industrie, des transports et des déchets qui sont les plus gros émetteurs des GES et aussi les secteurs clés de l'économie nationale. Entre 1994 et 2020 les émissions de CO₂ seront multipliées par 2,5.

1.15.1 Réponses des activités agricoles

Il est possible de réduire les émissions de GES en aménageant la gestion de l'alimentation animale, des effluents d'élevage et de la production fourragère par ceux qui suivent :

- a. Améliorer la gestion de l'alimentation ; la composition des aliments pour bétail a des effets sur la fermentation entérique et les émissions de méthane provenant du rumen ou de l'intestin postérieur. Par ailleurs, la quantité de nourriture ingérée est directement liée à la quantité de déchets produits. Une augmentation de la part des concentrés dans l'alimentation du bétail entraîne une réduction des émissions de méthane (Rigolot, 2008),
- b. Réduire la production de méthane au cours de la digestion ; la production de méthane dans le système digestif de l'animal (particulièrement chez les ruminants) peut être réduite grâce à l'utilisation d'additifs alimentaires, d'antibiotiques ou de vaccins (Martin, 2006),

- c. Améliorer la conversion des aliments ; réduire la quantité d'aliments requis par unité de produit animal (bœuf, lait, ..., etc.) peut permettre à la fois de réduire les émissions de GES et d'accroître les bénéfices de l'exploitation. L'efficacité alimentaire peut être améliorée en développant des races à croissance plus rapide, avec de meilleures caractéristiques en termes de vigueur, de gain de poids et de production d'œufs ou de lait. Améliorer la santé des troupeaux grâce à de meilleurs services vétérinaires, à des programmes de santé préventifs ou à l'amélioration de la qualité de l'eau peut aussi contribuer à la hausse du taux de conversion alimentaire,
- d. Améliorer la gestion des effluents d'élevage ; la majeure partie des émissions de méthane dues aux effluents d'élevage concerne les élevages de porcs, les parcs d'engraissement de bovins et les exploitations laitières, où la production est concentrée sur une grande échelle et où les effluents sont stockés dans des conditions anaérobies. Les options techniques incluent la capture du méthane par des installations de stockage couvertes (collecteurs de biogaz). Le méthane capté peut être brûlé ou utilisé comme source d'énergie pour les générateurs électriques, le chauffage ou l'éclairage (et compenser ainsi les émissions de CO₂ des combustibles fossiles). L'augmentation de l'utilisation des pâturages pour l'alimentation animale et leur bonne gestion en pâturage rotatif sont potentiellement le moyen le plus rentable de réduire et compenser les émissions de GES. La régénération du couvert végétal et de la teneur des sols en MO favorise la séquestration du carbone, tandis que l'incorporation de fourrage de haute qualité dans l'alimentation animale contribue à la réduction des émissions de méthane par unité de produit animal. La gestion améliorée de la pâture a généralement aussi des effets positifs sur la rentabilité de l'exploitation,
- e. Changer la consommation des produits d'élevage ; réduire la consommation de produits d'origine animale auxquels sont associés des niveaux élevés d'émission de GES (viande de bœuf et de mouton) au profit de produits qui s'accompagnent de plus faibles taux d'émission (comme la volaille et les protéines végétales) permettrait de réduire le niveau mondial des émissions de GES. Donner aux consommateurs pauvres qui n'ont qu'un accès réduit aux produits d'origine animale, voire qui n'y ont pas accès, la possibilité de consommer davantage de ces produits peut procurer des avantages importants pour la santé humaine, mais diminuer les niveaux élevés de consommation pourrait contribuer à réduire les émissions sans effets préjudiciables sur la santé (McMichael *et al.*, 2009).

1.15.1.1 Plans d'actions agricoles d'atténuation engagées par l'Algérie

Les changements climatiques sont un phénomène global qui touche toute la planète et qui auront des conséquences au niveau mondial, ils toucheront notamment les écosystèmes et l'économie d'une façon générale. Il est certain que notre pays « l'Algérie » sera d'une manière ou d'une autre concerné par les conséquences de ces changements dont il faudra prendre conscience et mesures pour s'adapter aux nouvelles conditions climatiques. Le plan d'action de l'agriculture algérienne repose sur un programme de reconversion qui concerne les zones arides et semi-arides et celles soumises à l'aridité, réservées actuellement aux céréales ou laissées en jachère et qui sont menacées de dégradation irréversible. La reconversion va se faire au profit de l'arboriculture, de la viticulture, de l'élevage et autres activités adaptées. Il s'agit de concentrer la production des céréales dans les zones reconnues favorables. Ce plan a aussi pour but d'améliorer le revenu de l'agriculteur et de réaliser le développement durable par l'utilisation optimale des ressources naturelles. Ce plan repose sur l'adhésion des populations aux actions d'adaptation préconisées des systèmes de cultures. Il inaugure une démarche spécifique de la sécheresse et de la réduction de la jachère dans les zones nord du pays. Le programme d'action concerne essentiellement la répartition des cultures par zone :

- a. Les cultures fourragères : au niveau du littoral pour les espèces intensives et au niveau des zones sublittorales et des hauts plateaux pour les cultures moins exigeantes d'eau,
- b. Les légumes secs : au niveau des zones potentielles des régions de Tiaret, Tissemsilt, Ain Témouchent, Tlemcen, Relizane, Mila, Skikda, Bouira, etc,
- c. Les oléagineux : au niveau des hauts plateaux pour le carthame (Oum El Bouaghi, Tiaret, Sétif...) et au niveau des zones littorales et sublittorales (El Tarf, Guelma, Ain-Defla et Chlef) pour le tournesol,
- d. La betterave sucrière au niveau de son ancienne aire de culture (Haut Cheliff, Bounamoussa et Guelma),
- e. La viticulture au niveau de son aire de culture et particulièrement l'Ouest du pays (Ain Témouchent, Mostaganem, Tlemcen, Sidi-Bel-Abbés et Mascara),
- f. L'oléiculture et l'arboriculture fruitière rustiques (amandier, pistachier) au niveau des zones arides et des zones de piémonts et de montagnes.
- g. Les agrumes : rajeunissement des vergers, leur constitution et réalisation de nouvelles plantations au niveau des zones du Centre et de l'Est où les ressources hydriques le permettent.

Au niveau des régions steppiques, le programme vise à supprimer la pratique de la céréaliculture et son remplacement par l'ensemencement et les plantations d'espèces pastorales afin de rendre à ces

régions leur vocation initiale qui est l'élevage. Il s'agit d'assurer l'alimentation naturelle du bétail. Il s'agit de mener, de façon parallèle, un certain nombre d'actions toutes aussi importantes les unes que les autres comme la protection des terres contre l'érosion et le risque de désertification, l'intensification d'un programme de brise vent dans les hauts plateaux, la protection et la mise en valeur de la steppe, l'organisation des parcours et la gestion rationnelle des terres agricoles. Ce qui permettra au secteur de l'agriculture de mieux contribuer à la balance économique du pays, de satisfaire et d'améliorer la ration alimentaire de l'habitant, de développer les industries agro-alimentaires, de créer des emplois, de réduire les flux migratoires de la campagne vers la ville, d'assurer une meilleure occupation du territoire et de protéger le patrimoine foncier agricole du pays (MATE, 2001).

1.15.2 Réponses des activités forestières

L'agriculture et la sylviculture ont un rôle important à jouer dans la réduction des GES et notamment du CO₂. Favoriser le phénomène naturel de stockage du carbone par les forêts et les sols est une des options qui permettraient de limiter temporairement l'augmentation du CO₂ atmosphérique. Le stock de carbone contenu dans la forêt métropolitaine française est de 2,2 Gt dont 52 % dans le sol et 47 % dans la biomasse (chiffrage effectué par les laboratoires INRA Nancy et Orléans à partir des données de l'IFN. Mais surtout le stock dans la seule biomasse s'accroît de 17 Mt de carbone par an (hors tempête de 1999) ce qui équivaut à environ 17 % des émissions de carbone fossile nationale (Milano, 2010). La forêt quant à elle a un rôle important à jouer dans le cycle du carbone. Au Canada, les forêts renferment de 20 à 100 fois plus de carbone que les cultures agricoles et le gardent pendant de plus longues périodes (Béland, 2006). Le 4^{ème} rapport du GIEC publié en 2007 prévoit que « les stratégies d'aménagement durable des forêts, dont le but est de maintenir ou d'augmenter les stocks de carbone forestiers, tout en produisant un rendement annuel soutenu de bois, de fibre ou d'énergie de la forêt, est l'option qui générera à long terme les plus grands bénéfices d'atténuation ». Un des rôles importants joués par la végétation est d'atténuer l'augmentation de la température. La respiration de la végétation, des forêts surtout, rafraîchit de la zone environnante et peut même accentuer la probabilité des précipitations (Katrin et Hermann, 2009).

La préservation des forêts, par exemple, contribue à l'atténuation via la séquestration du carbone, ainsi qu'à l'adaptation en réduisant l'exposition aux événements climatiques, en modérant la force des vents et des vagues dans les zones côtières, en favorisant la recharge des nappes phréatiques (Bruno, 2010). Le reboisement présente donc un bon rapport coût efficacité et rentabilité (FAO,

2005). Le défrichement des forêts pour mise en pâture ou production fourragère libère donc plus de CO₂ que toute activité liée à l'élevage. L'adaptation des forêts méditerranéennes au changement climatique passe principalement par une diversification des espèces, une diversification génétique et une diversification de la structure des peuplements. En termes de séquestration du carbone il apparaît que le chêne-liège par exemple en fixe relativement peu comparativement à d'autres essences forestières (une tonne par hectare et par an contre trois tonnes par hectare et par an pour le peuplier). Par contre il possède une longévité bien meilleure, puisqu'il continue à fixer du carbone tout au long de son cycle d'exploitation, soit pendant près de deux siècles, contre seulement quelques décennies pour les essences à croissance rapide et au bilan hydrique bien moins favorable que le chêne-liège (Pintus & Ruiu, 2010).

1.15.2.1 Plans d'actions forestières d'atténuation engagées par l'Algérie

Le plan d'actions relatif aux forêts porte en particulier sur :

- a. L'intensification du reboisement en portant de la surface de 20.000 à 40.000 hectares/an,
- b. L'actualisation de l'IFN qui date de 1985 puis 2008,
- c. L'élaboration d'études d'aménagement des forêts et leur mise en œuvre,
- d. La réalisation de ceintures forestières urbaines (ceintures et espaces verts, plantations d'alignement le long des voies d'accès),
- e. Le renforcement et la protection des réserves naturelles (parcs nationaux).
- f. Les mesures d'accompagnement portent sur l'établissement du cadastre forestier pour la récupération des terres à vocation forestière, le renforcement et l'application de la réglementation concernant la protection des forêts.

Dans le cadre de la protection et de la valorisation des potentialités forestières, des actions ont été entreprises pour protéger les forêts contre les incendies et les défrichements. Parmi les mesures qui ont été prises on peut citer ce qui suit :

- a. La réalisation des travaux sylvicoles et l'aménagement pour une exploitation rationnelle du bois, le reboisement avec les essences appropriées au sol, les plus productives et à croissance rapide (pin, peuplier, arbres fruitiers rustiques).
- b. Le barrage vert qui a été créé sur 200.000 hectares. Il y a donc près d'un million d'hectares a été reboisé depuis l'indépendance.

Ce qui n'est pas négligeable en termes de séquestration des GES, l'aménagement de parcs nationaux et de réserves naturelles, les travaux de régénération des surfaces incendiées ou dégradées, les traitements phytosanitaires pour lutter contre les attaques parasitaires (la chenille

processionnaire, etc.), création des infrastructures forestières de base (pistes forestières, tranchées pare feu, postes de vigie, brigades forestières et points d'eau), la mise en œuvre d'un programme d'information et de sensibilisation relatif aux forêts, Le branchement du gaz naturel dans le milieu rural a permis de lutter efficacement contre le phénomène de déforestation.

Le plan d'action au profit de la steppe Algérienne porte en particulier sur ; les mesures ont visé l'organisation de la steppe et la rationalisation du pastoralisme. Ce qui a conduit à la création, en 1981, du Haut-Commissariat pour le Développement de la Steppe (HCDS) à Djelfa. Devant l'ampleur de la dégradation de la steppe, un programme de grands travaux a été mis en œuvre depuis 1994 par le gouvernement à travers le HCDS pour :

- a. Régénérer les parcours par la mise en défens de 700 000 hectares,
- b. Aménager les parcours par la plantation de 100 000 hectares,
- c. Améliorer le petit hydraulique pastoral par la création ou la réfection de 350 puits répartis sur la steppe,
- d. Réhabiliter la palmeraie steppique dans sept wilayas.

Ce programme a été initié dans le cadre de la lutte contre la désertification et de la sauvegarde de la biodiversité. Il convient de rappeler que ce programme reste insuffisant au regard de la superficie à réhabiliter (MATE, 2001).

1.15.3 Réponses des activités hydrauliques

Le programme d'action en matière d'eau doit intégrer la conservation du sol, la protection, la conservation, l'extension forestière et l'aménagement des bassins versants. Il faudra mener de front deux types d'actions : la gestion optimale et l'économie des ressources en eau.

Les cas d'envasement des barrages, la pollution, la salinité des eaux, le coût des ouvrages et le prix de revient de l'eau. Ces études, par région, permettront de projeter les transferts interrégionaux des zones excédentaires vers les zones déficitaires en eau du pays. En raison de l'importance du potentiel de ressources en eau conventionnelles, pendant de nombreuses années, encore, la politique de l'eau restera basée sur le développement des ouvrages classiques de mobilisation (barrages, retenues collinaires, forages, etc.).

La concurrence, entre l'eau potable et l'eau d'irrigation, impose un choix et un arbitrage pour déterminer les zones d'irrigation les plus favorables et les types de cultures à développer. Il

convient de réduire le déphasage entre la mobilisation des ressources et la mise en exploitation au niveau des périmètres irrigués.

En premier lieu, le dessalement de l'eau de mer concerne, les grosses unités industrielles qui sont généralement localisées en bord de mer. L'option de dessalement de l'eau de mer est à envisager pour mobiliser de nouvelles ressources en eau afin d'améliorer l'approvisionnement des villes. Ce qui permettra d'envisager une redistribution des eaux des barrages vers l'intérieur du pays et vers les hauts plateaux. Ce sera un appoint important pour l'approvisionnement en eau des zones agricoles de l'intérieur du pays.

L'amélioration des conditions de collecte et de conservation des eaux pluviales au niveau des bassins versants par des techniques de re végétalisation intensive et de Défense et Restauration des Sols (DRS) la modernisation des réseaux de distribution dans les grands centres urbains du littoral pour mesurer les consommations et réduire les pertes dues aux fuites d'eau estimées à plus de 40% (MATE, 2001). L'Algérie a mis trois (03) unités en exploitation à Arzew, Alger et Skikda, entre 2006 et 2009, pour une capacité totale de 400.000 m³/j. Elle vise une capacité globale de 2,5 M m³/j par la mise en œuvre de 12 nouvelles unités (Bleu, 2010). Une autre unité de 500.000 m³/j est implantée à Mers El Hadjadj wilaya d'Oran.

1.16 Contraintes d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques

Ce que l'on sait moins, c'est dans quelle mesure exactement l'augmentation de la température ou tout simplement la chaleur affecte la biologie des animaux et favorise l'apparition de nouvelles maladies.

L'incidence du changement climatique sur la relation fragile entre moyens d'existence et production tributaire des ressources naturelles est particulièrement mal connue.

1.17 Conclusion

L'utilisation des différents constituants de la plante entière est une des conditions nécessaires pour créer une agro-industrie durable, ayant la capacité de rivaliser avec la pétrochimie (Milano, 2010). Les molécules constitutives des végétaux peuvent remplacer donc le pétrole dans la majorité des technologies chimiques. Elles ont l'avantage d'être renouvelables, biodégradables et leur production ne contribue pas ou peu aux GES qui causent le changement climatique.

Chapitre II : présentation de la zone d'étude

2.1 Présentation de la zone d'étude

Compte tenu donc de la vulnérabilité climatique de l'Algérie, il est nécessaire de mener des recherches dans le cadre de l'adaptation des ressources naturelles aux changements climatiques et particulièrement les écosystèmes agricoles et forestiers. Ametys (2021) montrait que les régions montagneuses réagissent rapidement et de manière extrême au changement climatique, affectant les écosystèmes et le bien-être de la population. La montagne est définie comme une région à fortes pentes. En plus de ce critère, certains auteurs intègrent aussi le facteur altitude et le fixent à 500 mètres (Laouina, 2000). La montagne Algérienne regroupe 25 % de la population totale du pays et 11 % de la Surface Agricole Utile (SAU). L'évolution du ratio (SAU) qui devrait régresser de 0,3 à 0,2 ha/hab doit passer par une optimisation des potentialités agricoles des zones de montagnes (Khelil, 2000). Les enjeux se posent donc en termes de sécurité alimentaire, de croissance urbaine et de revitalisation des espaces ruraux (Ghenim *et al.*, 2007). La montagne en Algérie peut être géographiquement subdivisée en trois grands ensembles :

- a. L'Atlas tellien du nord,
- b. L'Atlas saharien du sud,
- c. L'ensemble Tassili – Hoggar dans l'extrême sud.

Les massifs telliens sont représentés par deux types de milieux :

- a. Les massifs humides du Nord-Est de l'Algérie s'étendent de l'Est Algérois jusqu'à la frontière Tunisienne ; les altitudes ne dépassent guère les 2 300 m, le point culminant est à 2 305 m au niveau du Djurdjura. Ces massifs les plus humides sont aussi les plus boisés et les plus peuplés,
- b. Les massifs du centre et de l'Ouest, généralement moins boisés, sont soumis à des phénomènes de dégradation plus accentuée. Les pentes sont généralement moyennes à élevées.

La wilaya de Tlemcen réunit quatre bassins versants qui configurent son réseau hydrographique. Il s'agit du sous-bassin du Côtier Oranais Occidental, du Bassin de la Tafna, ainsi qu'une portion réduite des Bassins de la Macta et du Chott Chergui (ANAT, 2010) comme le montre la Fig. 11 suivante :

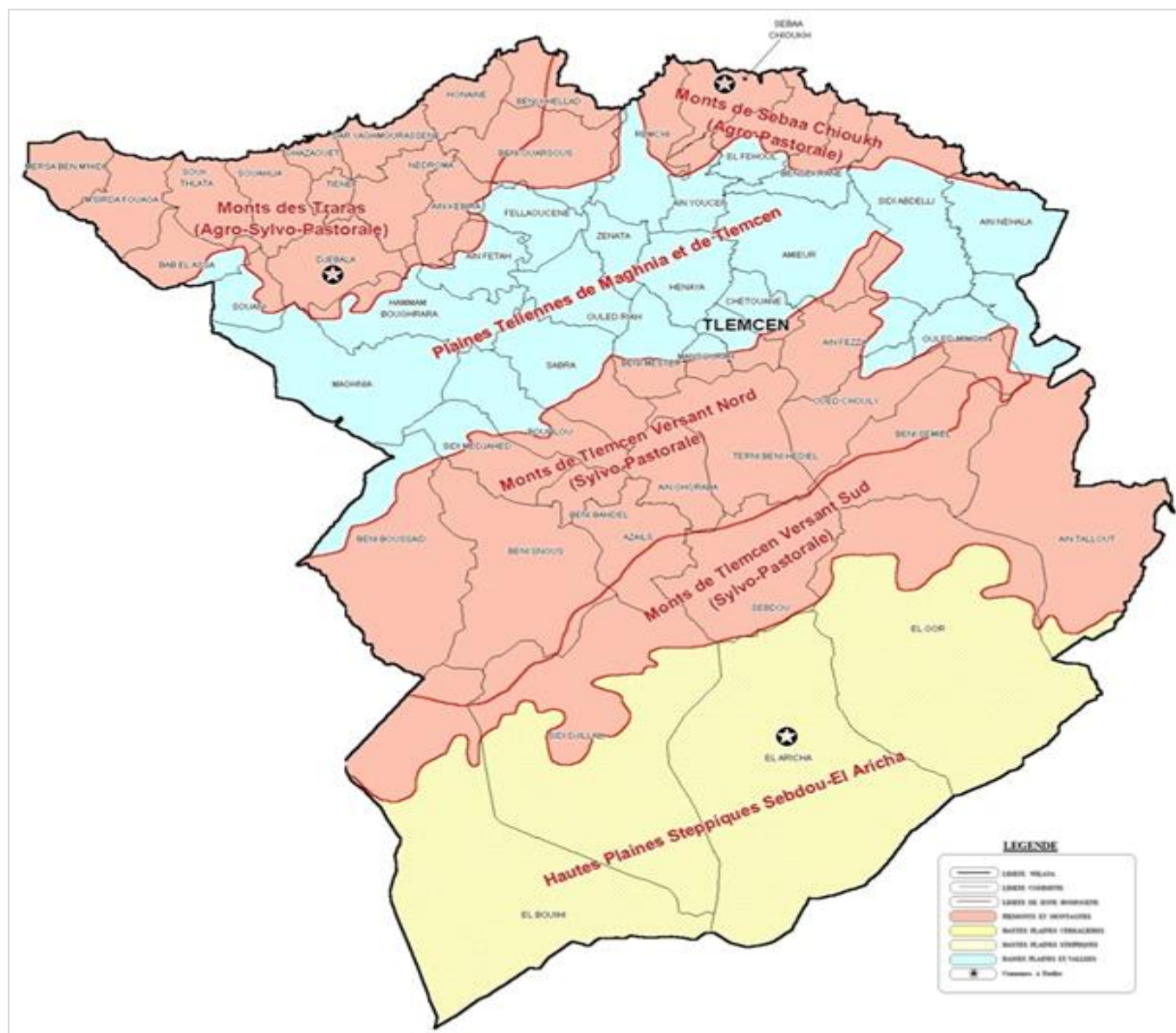


Fig. 11: Répartition des bassins versants de la wilaya de Tlemcen (d'après ANAT, 2010)

Faisant partie de la chaîne tellienne, le massif des Traras (notre zone d'intérêt) n'est autre qu'un prolongement de cette chaîne. Cette dernière s'étend de l'ouest (le Rif et les Beni Znessen au Maroc) vers l'Est (Dahra Zaccar). C'est un bourrelet montagneux d'altitude (500 à 1000m), prolongé à l'Est par les monts de Sebaa Chioukh, longe la méditerranée sur plus de 70 kilomètres de côte comme le montre la Fig. 12 suivante :



Fig. 12: Localisation géographique des Monts des Traras (d'après ANAT, 2010).

Cette zone littorale se réduit à une bande étroite ne comportant pas de plaines littorales mais seulement la chaîne côtière qui borde la mer de falaises abruptes ouvertes seulement par la Baie de Ghazaouet de l'embouchure de la Tafna, au niveau de la wilaya de Ain Témouchent (ANAT, 2010).

Le massif des Traras est une chaîne côtière où le relief est accidenté. Cet espace représente une entité géographique bien identifiée compte tenu de son relief accidenté, d'orientation Est - Ouest et situé dans la partie nord-ouest de la Wilaya de Tlemcen.

2.1.1 Localisation géographique

De la frontière Marocaine jusqu'au Dahra Ouest, la zone nord-ouest est dominée par la chaîne montagneuse des Traras, d'une altitude moyenne variant de 500 à 1.000 m, elle culmine à 1.136 m au niveau de djebel Fellaoucène et 1.125 m à Nedroma. Ce sont des montagnes connues sous les noms des Monts des Traras. Elles sont caractérisées par des reliefs accidentés en particulier dans le nord de la wilaya de Tlemcen. Par manque de données récentes sur l'étude du milieu de la zone d'étude, nous avons utilisé les données de Berrayah (2009) qui montrent que les Monts des Traras dans la limite du territoire de la wilaya apparaissent comme un massif montagneux en un seul tenant occupés par des formations végétales diversifiées. La zone d'étude est délimitée au nord par la mer méditerranée, au sud par le reste du territoire de la wilaya de Tlemcen, à l'ouest par le Maroc et à l'Est par la wilaya de Ain Temouchent comme le montre la Fig. 13.

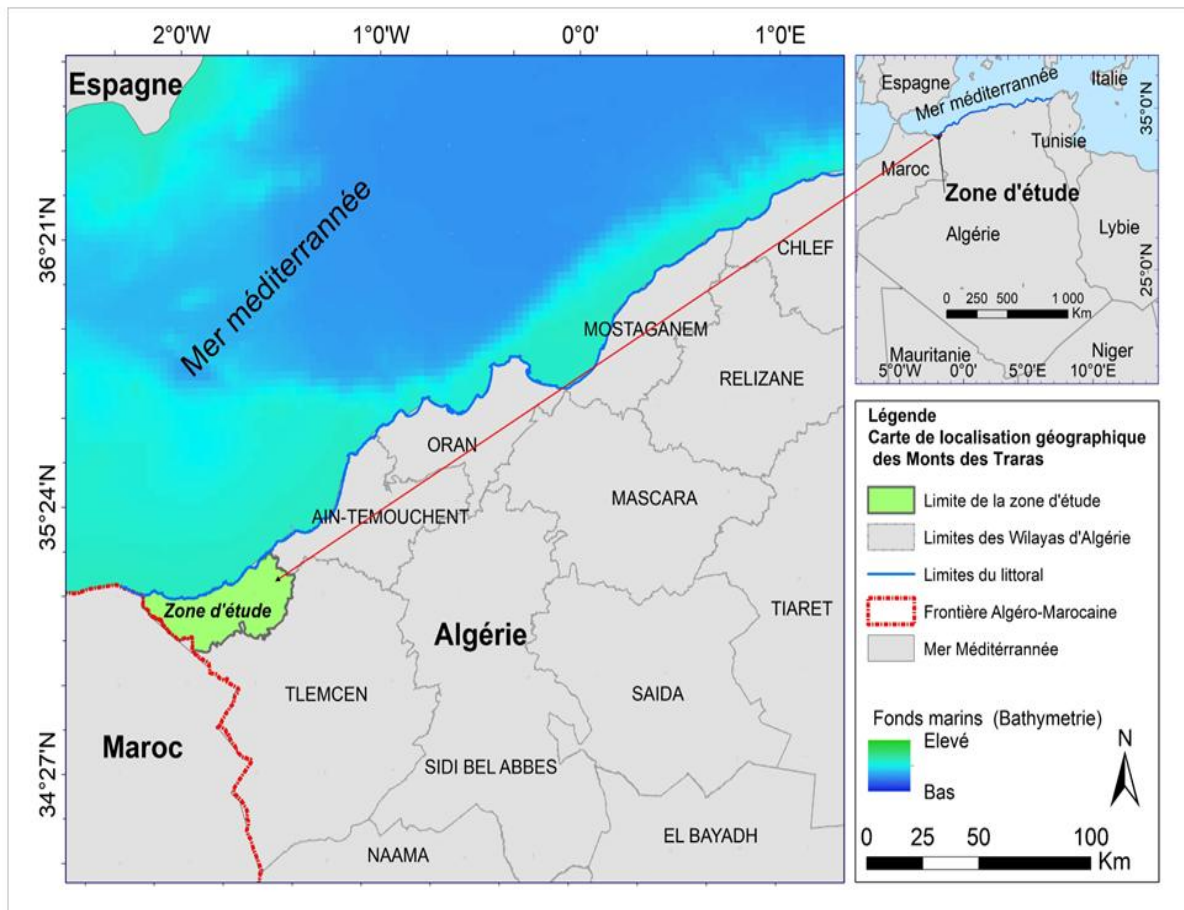


Fig. 13 : Situation géographique de la zone d'étude

L'analyse de la situation géographique (Fig. 13) montre que la zone d'étude est côtière située dans le nord ouest du pays.

2.1.2 Localisation administrative

La délimitation de la zone a été déterminée selon deux délimitations suivantes :

- a. Une délimitation faite par Berrayah (2009) qui admet pour limites les obstacles naturels. Les oueds séparant la zone montagneuse de la plaine, oued Kiss à l'ouest (frontière Algéro-Marocaine), oued El Mouilah et oued Tafna au sud et à l'Est,
- b. Une autre délimitation faite par l'Agence Nationale d'Aménagement du Territoire (ANAT, 1989) lors de l'étude d'élaboration du plan d'aménagement de la Wilaya de Tlemcen qui intègre en plus des limites naturelles, les limites administratives de 17 communes appartenant à la wilaya de Tlemcen (Béni Khaled- Honaine – Beni Ouarsous – Dar Yaghmourassene – Ghazaouet- Nedroma- Mersa Ben Mhidi – Ain Kebira – Souahlia – Souk Thlata – Msirda Fouaghala – Tianet – Fallaoucene – Djebala – Bab El Assa- Ain Fettah et Souani).

Administrativement la zone d'intérêt s'étend sur une superficie de 1.295 km² soit 129.500 hectares.

2.1.3 Géomorphologie

2.1.3.1 Milieu marin de proximité

La zone d'étude borde la mer méditerranée. Les falaises sont abruptes, elles sont ouvertes seulement par la baie de Ghazaouet et de l'embouchure de la Tafna. Le plateau continental sur lequel repose la zone marine de proximité est nettement marqué. Son talus est en pente douce et s'étale largement. Les fonds de 600 mètres sont éloignés de la côte d'une distance comprise entre 25 et 35 milles marins ce qui correspond respectivement à une largeur comprise entre 46 et 65 km (Benmansour, 2009). Le plateau continental s'élargit au niveau de Ghazaouet, peu profond, avec une bordure allant jusqu'à 50 m de profondeur le long d'une pente de 10 à 15% et une zone de plus faible déclivité profonde de 50 à 150 m. La présence d'un courant marin froid en provenance de l'Atlantique rend cette zone particulièrement poissonneuse (Khemies, 2013) ce qui constitue pour la région un milieu faunistique riche (Benmansour, 2009). De par sa proximité du détroit de Gibraltar, favorisé par les courants froids de l'atlantique, ce plateau continental est considéré comme étant une zone des plus poissonneuses du pays.

L'Algérie occupe la quatrième position en Méditerranée au niveau de la production, avec plus de 100.000 tonnes et ce grâce aux programmes de soutien lancés durant ces dernières décennies par l'Etat pour permettre la modernisation des navires, l'augmentation de la puissance motrice, du nombre de navires de pêche et le développement des techniques de pêche. La production halieutique a été multipliée par trois entre 1970 et 2000 (Tab. 5).

Tab. 5: Production halieutique nationale (d'après Boulkeddid, 2014).

Moyenne annuelle	1970 / 1979	1980 / 1989	1990 / 1999	2000 / 2003
Production halieutique (en tonnes)	33,380	69,014	99,930	130,657

Ces produits représentent un ratio de production/cote de 87,13 tonnes au km, qui y est cinq fois supérieure à la moyenne de la Méditerranée. La production est estimée à 5,10 kg/hab/an laquelle reste toujours insuffisante par rapport au seuil de 6,2 kg/hab/an recommandé par l'organisation mondiale de santé. L'analyse du Tab. 12 montre que la production halieutique en Algérie a diminué de 17% suivie d'une régression du nombre de marins pêcheurs de 1,4% en 2013 par rapport à l'année 2012. La production halieutique au niveau de la région locale de Ghazaouet a augmenté. Le taux estimé à 8,65% en 2003 (Ounnaci, 2003) a passé à 11% de la production nationale en 2013 (Tab.6).

Tab. 6 : Production halieutique (en tonnes) de la wilaya de Tlemcen (Source : <http://www.ons.dz/>).

Direction de pêche	2009	2010	2011	2012	2013	2010 / 2009	2011 / 2010	2012 / 2011	2013 / 2012
Tlemcen	11.189	6.563	5.812	8.544	9.503	-41,3	-11,4	47	11,2

La production halieutique présente un accroissement continu des prises particulièrement des poissons bleus en raison de la mise en place par les chalutiers de nouveaux types de chalut ciblant les poissons bleus (chalut de fond 4 faces) et l'augmentation de la dimension des filets de pêche des senneurs. La sardine (*Sardina pilchardus*) représente 68,88 % des prises totales. Elle est suivie par le rouget (*Mullus barbatus* et *Mullus surmuletus*) en second rang avec 1,35 % et la langoustine (*Nephrops norvegicus*) en troisième rang avec 0,57 % des prises totales.

2.1.4 Conclusion sur le milieu marin de proximité

La zone d'étude fait partie des limites et de frontières avec le pays voisin le Maroc. L'analyse du milieu marin de proximité montre que l'érosion côtière est très présente, elle sévit localement sur les plages et les falaises, occasionnant des régressions des plages et tout changement de courants entraîne le déplacement des zones d'accumulation de sédiments (ANAT, 2010). La bande côtière abrite un port mixte à Ghazaouet. Dans la zone de Ghazaouet, le problème d'érosion hydrique est bien ressenti à travers une mosaïque de bassins versants orientés tous vers la mer. Le plus important est celui de l'Oued Ghazouanah qui couvre une surface de 34.000 ha. Il est considéré comme un périmètre très sensible à l'érosion où des centaines de tonnes d'éléments solides sont charriés vers le port de Ghazaouet. L'analyse du bilan de la production halieutique montre que malgré les efforts consentis dans le domaine de la pêche, la production a fortement chuté durant ces dernières années à cause du réchauffement des eaux marines, de la littoralisation et de la pollution marine. Cela montre que le secteur socio-économique associé et le système naturel sont impactés. A cela s'ajoute l'impact physique lié à l'augmentation du niveau de la mer qui peut aggraver la submersion sur les côtes basses. L'eau peut inonder saisonnièrement les espaces situés dans les niveaux inondables en les transformant en marécages, puis en tourbières faisant ainsi migrer toute vie animale, végétale et humaine. Ces phénomènes fragilisent de plus en plus la capacité de résilience du littoral.

2.1.4.1 La zone du littoral

La bande côtière de la zone d'étude jalonnée de falaises rocheuses à accès généralement difficiles, elle compte environ 23 plages desservies par un réseau routier relativement développé (RN 99, RN 7A, CW108, CW102, CW104, CW103). Actuellement seulement huit plages sont autorisées à la baignade. Elles présentent dans l'ensemble des conditions jugées favorables en matière de surveillance, d'accessibilité, d'hygiène et de sécurité. Les forêts qui surplombent la frange maritime sont à base de Pin d'Alep, d'Eucalyptus, de Pin maritime, Genévrier, Thuya et autres végétations spontanées lesquelles agrémentent la majorité des sites balnéaires.

2.1.5 Milieu physique terrestre

2.1.5.1 Orographie

Les montagnes méditerranéennes sont profondément découpées, complexes, et partiellement instables, avec de nombreuses pentes abruptes (Naveh & Lieberman, 1984). Le relief se termine généralement par des glacis d'érosion donnant des pentes. Les monts des Traras sont situés dans la partie la moins élevée de la chaîne tellienne (700 à 800 m d'altitude en moyenne), ils sont subdivisés par deux bassins versants. Au nord le bassin côtier et au sud la Tafna (Berrayah, 2009).

2.1.5.2 Hypsométrie

Les zones de moyennes montagnes sont localisées dans sept (07) communes (Mersa Benmhidi, Msirda Fouaga, Souk Tlata, Ghazaouet, Honaine, Beni Ouarsous et Fellaoucene). Leurs altitudes varient du nord au sud avec des points culminants situés à djebel Fillaoucene (1.113 m), djebel El Ghoula (976 m) et djebel Tedjra (861 m). Dans les collines de Beni Ouarsous, vers l'Est, les altitudes n'excèdent pas les 400 m, tandis qu'à l'ouest, elles dépassent les 600 m (djebel Si Boukrirat (638m) et djebel Zendel (631 m).

2.1.5.3 Géologie

La connaissance de la géologie et de la géomorphologie des zones tient une place essentielle pour apprécier son évolution passée, ainsi que son évolution probable à l'avenir. Les formations géologiques qui constituent le littoral contrôlent fondamentalement la morphologie actuelle et la nature / le rythme des réactions futures à un forçage environnemental. Le transport des sédiments joue aussi un rôle important afin d'évaluer les changements côtiers historiques, contemporains et futurs (Fairbank & Jakeway, 2006). Les Monts de Trara sont limités au Nord par la mer, à l'Ouest par la frontière, au Sud par la plaine de Maghnia et à l'Est par la vallée de la Tafna. Ils se caractérisent par une géologie très complexe composée essentiellement de calcaire, de marne et de calcaire marneux (ANAT, 2010). La zone d'étude appartient au domaine Riffien Tellien. Elle représente la bande maritime la plus récente. Elle est marquée par sa

complexité particulièrement accusée. Elle se manifeste sur le terrain par des affleurements et des contacts anormaux, qui sont dus au charriage d'éléments rocheux. Les Traras sont caractérisés par des terrains allochtones. C'est ainsi que Bellon & Guardia (1980) a regroupé les diverses unités tello-rifaines en cinq ensembles bien distincts :

- a. L'autochtone et para autochtone,
- b. L'allochtone à affinité rifaine,
- c. L'allochtone à affinité tellienne,
- d. L'unité numidique,
- e. Le complexe triasique.

Ce sont les principaux ensembles qui constituent le substratum géologique du périmètre littoral de la wilaya de Tlemcen. Chaque ensemble comporte des unités et chaque unité des étages de lithologie et de structure différente. Les Traras sont formés de roches sédimentaires plissées autour de noyau cristallin du Djebel Fillaoucène (1.136 m) (Berrayah, 2009). Ils sont caractérisés par des affleurements rocheux très variés où dominent les argiles et les marnes qui augmentent l'effet érosif en l'absence de couvert végétal et quelques affleurements durs sur les sommets calcaires ou granites (Khemies, 2013). De son côté, Aimé (1991) a regroupé les différents substrats géologiques de l'Oranie nord occidental en quatre principales formations :

- a. Les formations carbonatées,
- b. Les formations non carbonatées,
- c. Les formations volcaniques,
- d. Les formations quaternaires.

Formations carbonatées

Deux grands types de formations partagent la zone d'étude, les formations carbonatées compactes (calcaires, grés et dolomies) et les formations carbonatées tendres (argiles et marbres) (Berrayah, 2009).

Les formations carbonatées compactes ; elles occupent la zone comprise entre le Cap Tarsa et Honaine. Elles constituent l'essentiel des principaux sommets de djebel Tedjra, Sidi Sofiane et djebel Zendel. Il s'agit de calcaires jurassiques de l'unité de Tedjra. Quelques formations de grés calcaires (miocène ou pliocène) se rencontrent également dans la région de Marsat Ben Mhidi ainsi que sur quelques zones dolomitiques de la frange littorale. Sur ces formations dures, se développent essentiellement des sols jeunes de type Rendzines calcaires. On trouve également par endroit des sols fersialitiques.

Les calcaires durs constituent une formation à fort potentiel aquifère à cause des fissures et des chenaux qui absorbent les eaux de pluies. Le basalte absorbe plus de chaleur que le calcaire.

Formations non carbonatées

Les terrains non calcaires sont limités et ne se rencontrent que dans la partie Est de Honaine et Beni Ouarsous en particulier. Il s'agit d'un massif schisteux primaire entrecoupé de passées conglomératiques. Il existe également quelques lambeaux de grés quartzeux massifs dans la région d'El Mokrane située dans les communes de Honaine et Beni Khaled.

Les sols qui se développent sont décarbonatés, souvent acides et fortement lessivés en surface. Il s'agit dans la plupart des cas de sols fersialitiques lessivés qui conditionnent l'existence de rares enclaves de végétation calcifuge de la région. C'est le cas de la forêt de Beni Ouarsous dans le canton de Menarah ou existe encore quelques reliques de chênes liège (Boudy, 1955).

Formations non carbonatées tendres ; les calcaires tendres représentés essentiellement par les marnes et les argiles sont de loin les plus répandus. Ils sont constitués par des formations néogènes au sud de cap Noé (marnes plus ou moins sableuses). Au niveau du bassin de Bab El Assa (marnes miocènes à bancs de grés) et les marnes de djebel Zendel (marnes miocènes à bans de Trias gypseux).

Les calcaires tendres de la région Est, entre Honaine et El Mokrane sont constituées principalement par des marnes de l'unité d'El Mokrane.

On trouve également des vertisols plus ou moins salins (marnes gypseuses) ou des rendzines sableuses. Souvent leur susceptibilité aux actions érosives ajoutées aux conditions climatiques agressives, fait évoluer ces terrains par érosion linéaire ou par déplacement en masse vers des bads lands. Ces derniers occupent des superficies importantes dans la région de Souk Tleta, Ain Fettah, Msirda Fouagua et Bab El Assa (Gharbi, 1997).

Formations volcaniques

Ces formations sont représentées par deux types de substrats selon le type d'éruption qui leur donne naissance. Les éruptions effusives ont surtout donné des roches basiques poreuses (basalte) qui couvrent d'importantes superficies au sud de Ghazaouet entre Tounane et Tient.

Elles existent également mais sur des superficies restreintes au niveau de la commune de Marsa Ben Mhidi entre les Cap Milonia et El Kala. Quant à elle, la région de Msirda Fouagua est occupée par des andésites.

Sur les roches basaltiques existent quelques paléosols rubéfiés, affleurant ou coincés entre deux coulées. Toutefois, il semblerait que la pédogenèse récente fournit des sols très sombres qui sont en totalité mis en culture. La basse altitude de ces formations s'associe au caractère filtrant de la roche pour en faire de sols très secs (Aimé, 1991).

Pour ce qui est des formations volcano-sédimentaires, elles ne se rencontrent qu'en petits lambeaux dans les environs de Honaine. Elles résultent d'un comportement explosif lorsqu'un magma arrive au contact avec des terrains saturés en eau. Elles donnent en conséquence des sols à tendance vertique pouvant aller jusqu'à la formation de véritables bads lands.

Formations quaternaires

La quaternaire demeure mal connu au niveau de la région nord-ouest. C'est le cas évidemment de certains sites relevant de la zone d'étude (Benest *et al.*, 1999). Les terrains quaternaires fournissent des substrats diversifiés selon leur origine et leur dynamique. Il s'agit de deux grands types ; les formations d'origine éolienne et les formations alluviales. Deux phénomènes se superposent localement sur ces formations avec d'une part des processus de confinement qui ont donné des accumulations calcaires (encroûtements) et d'autre part des phénomènes pédogénétiques qui se sont succédé à plusieurs reprises et qui ont donné naissance à de nombreux paléosols.

Les formations alluviales ; sont représentées par des terrasses étagées ou non et se rencontrent le long de l'oued Kiss et la vallée de la Tafna.

Seules quelques données sur la vallée de la Tafna sont disponibles. En effet, il est possible de distinguer des niveaux :

Les deux plus anciens ; sont surmontés par une dalle calcaire (Bellon & Guardia, 1980). Le matériel grossier est très abondant dans ces deux dalles. Une terrasse plus récente généralement peu encroûtée. La terrasse qui succède présente un matériel riche en galets à la base. Au-dessus, il devient plus fin et les sables cèdent place à une matrice argilo limoneuse (sol brun foncé). Elle est très étendue et au niveau de l'embouchure, elle fossilise une dune grésifiée. Enfin la terrasse la plus récente est probablement halocénique. Elle est très caillouteuse, de teinte jaune sombre à gris calcaire et la matrice est sableuse.

2.1.5.4 Sols

Le sol est une composante essentielle de l'environnement et des activités humaines. En servant la production agricole, il est à la base de l'alimentation des populations et joue ainsi un rôle socio-économique majeur. Sa position d'interface avec les autres compartiments de l'environnement (atmosphère, biosphère, hydrosphère, géosphère) lui confère aussi un rôle important dans la régulation des grands cycles planétaires comme celui de l'eau et du carbone (Aubert, 2012). Les sols constituent, par la MO (biocénoses et humus) qu'ils renferment d'importants réservoirs de carbone (Pautrot, 2012).

Origines et natures des sols

Les sols des régions méditerranéennes provenant de leur roche mère. Ils sont souvent peu profonds (Zinke, 1973) et ont par conséquent une couche de sol exposée à la dessiccation durant les étés secs et aux pluies torrentielles en hiver (Naveh & Lieberman, 1984). Ils sont soumis à un lessivage généralisé et ont généralement une très faible teneur en humus (Bourbouze, 1999).

La mise en place du climat, de la végétation et des sols méditerranéens est très ancienne et très complexe. Elle commença au début du quaternaire et s'affirme à partir de l'holocène. Il s'agit dans ce contexte de sols anciens selon le concept de Duchaufour (1983) c'est-à-dire des sols ayant évolué pendant plus de dix mille ans, avec des phases d'accélération et de ralentissement, mais dont le processus fondamental est resté pratiquement le même pendant toute la durée de l'évolution. Il s'agit également de sols polycycliques dans la mesure où à un moment de leur histoire évolutive, il y a eu des phases d'interruption, plus au moins longues, résultant d'une destruction de la végétation provoquée par un processus géologique, cataclysme naturel (incendies de forêts) ou simplement par l'action de l'homme. Pour le cas des Traras, il y a un troncage du sol rouge fersialitique suite à la détérioration de la végétation préexistante combinée à une action mécanique de l'érosion. Par la suite commence un autre cycle pédogénétiques amorcé par la colonisation de l'horizon dénudé par une nouvelle végétation le plus souvent une pelouse à graminées ayant une phytomasse hypogée bien fournie donnant un humus très polymérisé de type mull calcique.

Les travaux réalisés par Medjahdi (2001) et Kazi-Tani (2008) sur les différents types génétiques des sols existants au niveau de la zone côtière ont permis de prendre conscience de l'extrême complexité du phénomène pédologique de ce massif montagneux. Ceci s'explique par le très grand nombre d'agents et de facteurs pédogénétiques qui ont agi et agissent encore pour donner aux sols leurs caractères actuels. Des tracés encore perceptibles ont été laissés par les processus pédologiques des différentes phases. Ils ont ainsi produit des sols appelés de ce fait polycyclique. Ils caractérisent cette région à histoire

pédologique tourmentée. D'une manière générale l'on peut dire que les Traras contiennent surtout des sols calcaires (60 %), principalement des régosols sur des faciès marneux et dans une moindre mesure des lithosols sur calcaires et dolomies durs lui conférant ainsi, des faciès généralement résistants à l'érosion. Les faciès marneux peu résistants à l'érosion touchent une bonne partie des terres notamment centrales et orientales de la zone (Berrayah, 2009). Malgré la forte hétérogénéité des sols on distingue cependant ; des terres d'alluvions qui recouvrent les basses terrasses (dans la zone de Tient et au nord de Nedroma) et les lits majeurs des oueds favorables à toutes les cultures notamment aux primeurs, des terres caillouteuses sur les monts propices aux plantations viticoles et rustiques (amandier en particulier).

Les sols sont de type rouge et brun fersialitiques. L'interdépendance du climat et de géologie dans la région de Tlemcen ont favorisé l'apparition de sols diversifiés. Les sols argileux et calcaires occupent respectivement 49% et 22% de la surface totale de la zone (Khemies, 2013).

2.1.5.5 Ressources en eau

Les ressources en eau, qu'elles soient superficielles ou souterraines, ont un impact direct sur le développement socio-économique d'une région. Dans la région de Tlemcen, la conjoncture climatique se caractérise, depuis une trentaine d'années, par une pluviométrie en baisse à laquelle s'ajoute une explosion démographique qui a mené à une mobilisation intensive des ressources en eau (Bensaoula & Adjim, 2008). La configuration géographique de cette région ne permet l'exploitation que d'un potentiel mobilisable de l'ordre de 21 millions de mètres cubes (ANAT, 1987). En effet il n'existe que très peu de sites favorables pour la réalisation des ouvrages de mobilisation.

La répartition des ressources en eau de surface et souterraine est difficilement maîtrisable. La connaissance des volumes d'eau ruisselés ou infiltrés dans le sol dépend de plusieurs facteurs variables et complexes (perméabilité du sol, la densité du couvert végétal, la structure géologique du sol, l'évaporation etc...). Le manque d'eau est toujours enregistré. Ce déficit provient principalement d'une part de l'envasement des barrages, ce qui limite leurs capacités et de la sécheresse persistante de ces dernières années qui a obligé les producteurs à surexploiter les nappes souterraines et donc leur épuisement (Khemies, 2013).

Hydrographie

Le massif des Traras a deux grands bassins versants, celui du Sud qui est drainé par l'Oued Tafna et qui a deux affluents Oued Boukiou et Oued Dahmane. Le versant Nord du Djebel Fillaoucène est drainé par l'Oued Tléta qui se jette à la mer au niveau de Ghazaouet. L'Oued Kiss sert de frontière avec le Maroc et

se jette à Marsat Ben M'Hidi. Le réseau hydrographique est composé d'un ensemble d'oueds tels qu'oued Kiss, Tafna, Isser, Mouilah ...etc.



Fig. 14: Répartition du réseau hydrographique à l'amont de la zone d'étude (d'après ANAT, 2010).

Les éléments hydrographiques forment les principaux drains du bassin versant. Le réseau est structuré en deux grands bassins versants comme montre la Fig. 15 suivante :

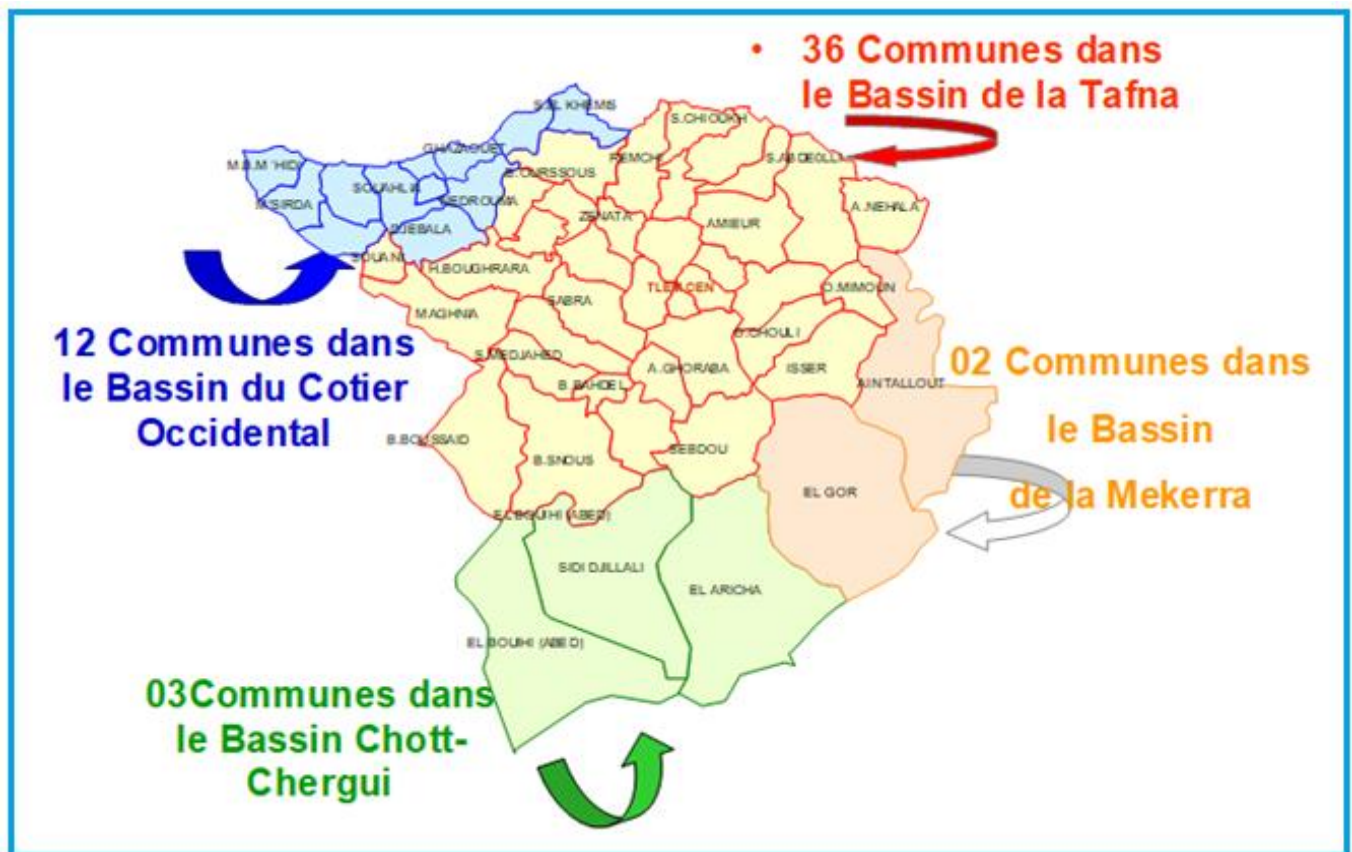


Fig. 15: Répartition des bassins versants (d'après ANAT, 2010).

Le bassin côtier et le bassin versant de la Tafna. Les oueds (Tafna, Isser, Mouilah ...etc.) forment les principaux drains du grand bassin versant.

Bassin versant côtier

Il est formé par un ensemble d'oueds répartis comme suit :

- Oued Kiss ; il prend naissance dans le territoire marocain. Il rentre en confluence avec oued El Malha au niveau de Bab El Assa avant de se déverser dans la mer méditerranée au niveau de l'agglomération de Marsa Ben Mhidi. Il représente également une limite administrative de séparation d'état (frontière avec le Maroc). Le long de cet oued on peut identifier trois petites aires d'irrigation à savoir le Kiss aval. Le Kiss amont et Oued Sidi Slimane totalisant une superficie de près de 300 ha,
- Oued Kouarda ; il draine un sous bassin de 82 km². Il est formé par le versant nord de Bab El Assa et Djebel Zendel. La totalité de ses affluents (oued Berhoume, oued Mizab, oued Ouaddane) se rejoignent au niveau de la commune de Souk Tleta. Ils donnent naissance à un cours d'eau très encaissé qui se jette au niveau de la plage de Ouled Ben Aïd,

- c. Oued Ghazouanah ; appelé également oued El Marsa. Il est formé par la confluence de deux grands oueds : oued Tleta qui draine la partie orientale de la commune de Nedroma et Oued Taima qui draine la zone occidentale de la commune de Djebala. Son bassin versant est relativement très important (320 km²). De plus il est caractérisé par des pluies torrentielles qui sont à l'origine de nombreux problèmes au niveau de la ville de Ghazaouet (inondation de la ville et envasement de son port par les différents apports de particules solides). Différentes aires d'irrigation sont développées sur les plaines alluviales par des prises d'eau le long de ces oueds en particulier la plaine de Mezaourou et la plaine de Bekhata,
- d. Oued Bouaich ; Il est dénommé également oued El Ouidane. Il draine une superficie de 54 km² et se déverse au niveau de la petite plage d'Agla à l'Est de Honaine. Ses deux principaux affluents sont oued Eddéfali qui draine le versant sud de la commune de Beni Khaled et oued Sidi Yakhlef qui draine une partie du versant Nord de djebel Sidi Sofiane.

Bassin versant de la Tafna

Il est sillonné par les oueds suivants :

- a. Oued Boukiou ; prend naissance aux confins de djebel Fillaoucene (versant nord) et djebel Chkika (versant sud) sous le nom d'oued Sbaä. La superficie drainée est d'environ 90 km². C'est un bassin relativement bien boisé et mieux arrosé. A partir de la localité de sidi Mohamed El Khouane, son lit devient plus élargi et donne naissance de part et d'autre à de nombreuses plaines alluviales où sont pratiquées diverses cultures maraîchères notamment sous serres,
- b. Oued Dahmane ; prend naissance au pied de Djebel Ras El Maadene par l'émergence de nombreuses sources. Après sa confluence avec oued Sidi Madani le lit de l'oued sort de son encaissement et devient une vallée plus étendue. La superficie drainée au point de confluence avec la Tafna est de l'ordre de 62 km². Au fil de l'oued des prises d'eau par canaux de dérivations et par pompes servent pour l'irrigation de petites parcelles agricoles notamment les cultures protégées,
- c. Oued Zailou, Oued Ziane, Oued Chtibia ; ce sont des oueds de moindre importance mais charriant un débit important en périodes de crues. Ils drainent le versant sud de djebel Fillaoucene et participent à la recharge des nappes phréatiques avant de se déverser au niveau de la moyenne Tafna. D'une manière générale il apparaît que les eaux de surface de la partie centrale des monts des Traras, beaucoup plus arrosée et mieux protégée par un couvert végétal relativement dense est la principale source d'alimentation de la majorité des oueds. A l'origine, ils sont profonds et encaissés au milieu d'un relief fortement accidenté. L'émergence de nombreuses sources leurs permettent un écoulement plus ou moins pérenne par endroit durant les années pluvieuses.

Eaux souterraines

Les ressources en eaux globales de la wilaya de Tlemcen représentent 22,63% des potentialités actualisées de la région Nord-ouest estimées en période de pluviométrie normale à 1 174 Hm³/an et ce, en tenant compte des unités de dessalement en fonction. Le volume des ressources en eaux que la wilaya exploite actuellement n'atteint pas 10% de ce potentiel. Alors que le volume des eaux souterraines mobilisées représente 22% du potentiel souterrain régional (ANAT, 2010). La wilaya compte 49 communes avec 96,60 % de la population de la wilaya et détient un potentiel en ressource en eaux souterraines estimé entre 60 hm³/an et plus de 80 hm³/an, emmagasiné dans de différentes formations aquifères.

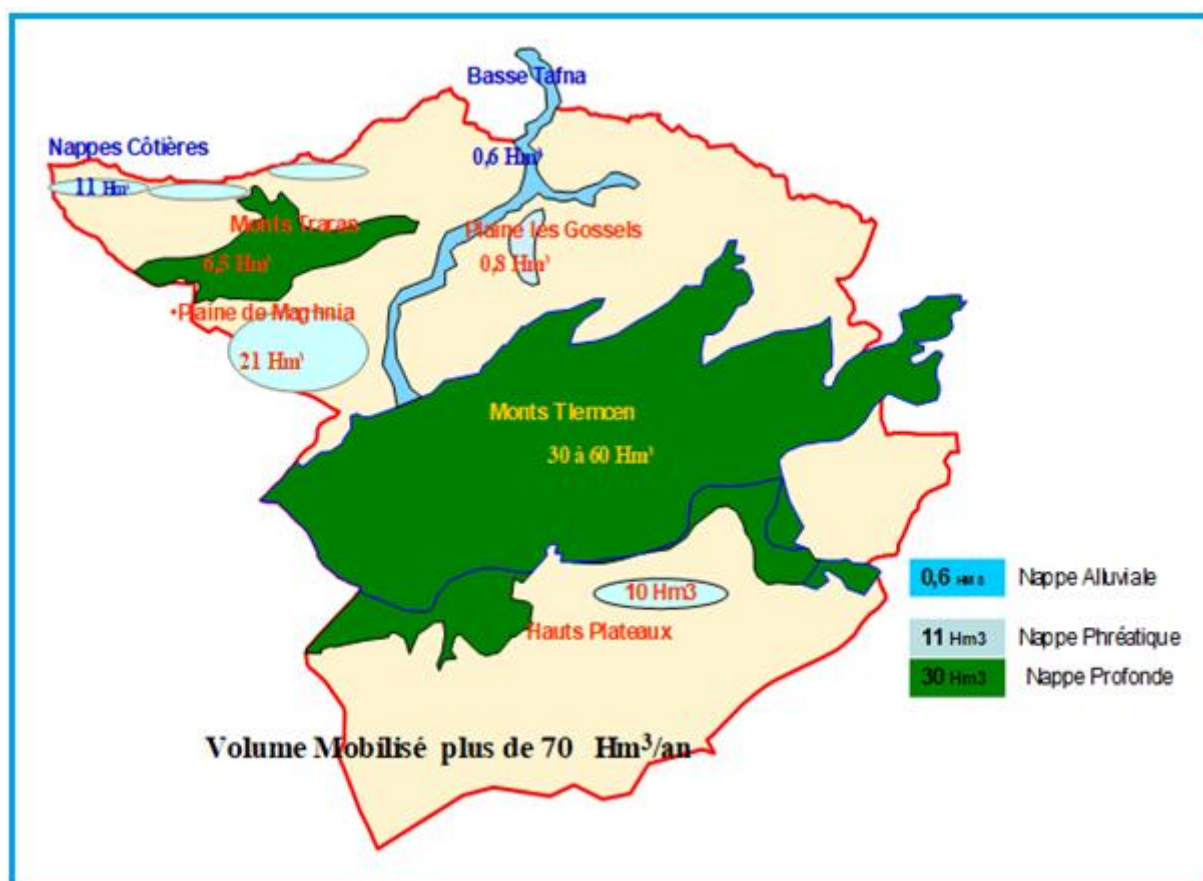


Fig. 16: Répartition des ressources souterraines et potentialités (d'après ANAT, 2010).

Les études hydrogéologiques font énormément défaut au niveau de la zone d'étude. D'une manière générale, les monts des Traras ont une potentialité de 6,5 Hm³, ils peuvent être répartis en trois grands bassins hydrogéologiques d'importance inégale suivants :

1. **Bassin occidental** ; s'étend de la commune de Souk Tleta jusqu'à la frontière Algéro-Marocaine. Les faibles précipitations que reçoit cette zone, la structure pédologique des sols (en majorité argilo marneuse) ainsi que la faible couverture végétale sont autant d'éléments qui favorisent beaucoup plus le ruissellement. De ce fait, les eaux pluviales sont presque entièrement canalisées par un réseau hydrographique important qui rejoint rapidement la mer. Toutefois, deux exceptions peuvent être soulevées. La vallée du Kiss dispose d'une nappe d'importance locale dans sa partie aval. L'inconvénient de l'exploitation de cette dernière réside dans la remontée des sels marins pendant les périodes d'étiages ce qui les rend parfois inconsommables. Le Versant nord de djebel Zendel qui représente le bassin le mieux arrosé de toute la partie occidentale. Plusieurs émergences de sources sont à l'origine d'une vallée marécageuse,
2. **Bassin central** ; il est représenté par djebel Fillaoucene et ses affleurements rocheux formant une véritable ceinture. Il est limité au sud par la vallée de la Tafna et au Nord par Oued Taima et Oued Tleta. Les formations géologiques (grès et calcaires dolomitiques) ainsi que l'abondance du couvert végétal favorisent la formation d'aquifères profonds très complexes. Les plus proches de la surface (nappes perchées) donnent naissance à des émergences. La source de Ain Kebira représente la source la plus importante au niveau de tous les monts des Traras. La série de forages réalisés près de Nedroma a permis également de mettre en évidence la présence de nombreux réservoirs profonds superposés. Il s'agit certainement d'une nappe Karstique à très faible stockage étant donné que les forages réalisés se tarissent rapidement. Ses limites ne sont pas précises mais les zones favorables apparaissent plus intéressantes le long du couloir Nord de Nedroma jusqu'à Oued Taima (ANAT, 2000). Les formations calcaires du massif montagneux Ras El Maadene – Djebel Chkika ont révélé également l'existence d'une nappe non négligeable (commune de Beni Ouarsous),
3. **Bassin oriental** ; il représente les mêmes caractéristiques géologiques que la partie extrême ouest si ce n'est la présence d'un nombre plus important de vallées et par conséquent la présence de nappes phréatiques. (Boukiou, Dahmane, Honaine etc.). On note toutefois une légère amélioration des apports pluviaux ainsi qu'un réseau hydrographique beaucoup plus dispersé permettant ainsi une meilleure chance de recharge des nappes alluviales. Les équipements hydrauliques ; l'alimentation en eau potable est fournie aux populations essentiellement par forages locaux ou par réseau de distribution depuis les barrages de la wilaya. Ce réseau atteint pratiquement toutes les

communes avec des taux de raccordement dépassant les 70 % exception faite pour les communes de Tient (19,8 %) et Djebala (58 %). La fourniture de l'eau n'est pas quotidienne tant pour des raisons de disponibilité que de gestion.

Selon les études de la Direction des ressources hydriques de la wilaya de Tlemcen, la demande globale estimée serait de l'ordre de 32.233 m³/jour. Les besoins en eau potable par commune sont exprimés dans l'annexe 8.

L'analyse des besoins en eau potable par commune montre que pour plus de la moitié des communes, la couverture des besoins est inférieure à 50%. Cette situation oblige souvent les populations à acheter l'eau par citernes pour les besoins domestiques. Pour ce qui est de la zone occidentale, celle-ci accuse un grand déficit. L'eau qui est extraite à partir de certains puits et forages est souvent légèrement saumâtre.

Les activités hydro agricoles ; pour ce qui est du grand hydraulique, les Traras sont concernés par une importante infrastructure en l'occurrence le barrage des ponts des trembles au niveau de la commune de Nedroma. Sa capacité est prévue pour régulariser six millions de mètres cubes destinés essentiellement pour l'irrigation d'une superficie de 1.000 hectares environ au niveau de la plaine de Mezaourou. L'intérêt de la réalisation de cet ouvrage réside dans la régularisation des crues d'oued Tleta et par conséquent la protection de la ville de Ghazaouet contre les inondations et son port contre l'envasement. Quant aux retenues collinaires déjà réalisées dans le passé et qui sont en nombre de 30, on trouve à peine une dizaine est fonctionnelle. Le reste a subi un envasement. A titre d'exemple au niveau de la commune de souk Tleta qui a bénéficié de 13 retenues, seulement deux ouvrages sont opérationnels.

Conclusion sur les ressources en eau

Les monts des Traras se subdivisent en deux grands bassins versants. Au nord, le bassin côtier de Ghazaouet s'étendant sur 892 km², et au sud le bassin versant de la Tafna. Dans le bassin côtier les ressources superficielles sont aménagées en points et bassins d'eau. Les monts des Traras sont sillonnés par un réseau hydrographique important. Ce dernier a motivé la réalisation d'une infrastructure hydraulique importante. Les eaux sont captées par deux petits barrages et 43 retenues collinaires qui représentent une capacité de trois millions de m³. L'état actuel de ces équipements hydrauliques montre que leur envasement a pu atteindre une hauteur de plus de 70 %.

2.1.5.6 Electrification rurale

Les Traras constituent l'une des régions où l'état a déployé des efforts colossaux pour améliorer les conditions socio-économiques des populations. De ce fait le taux d'électrification rurale est dans

l'ensemble très élevé. Il dépasse largement les 80 % pour l'ensemble des communes. Par zone il apparaît que les Traras centraux sont les mieux électrifiés.

2.1.6 Milieu biotique

L'Algérie est un pays aride et semi-aride. La Surface Agricole Utile (SAU) qui reçoit plus de 400 mm de pluie par an ne représente que 30% de la SAU soit 8.458.680 hectares dont 7% sont irriguées. Cette SAU représente 0,25 hectare par habitant. La SAU est structurée en 1.032.799 d'exploitations agricoles qui comprennent 20 % de la population active qui travaillent dans la terre (Bessaoud, 2008). La wilaya de Tlemcen compte un potentiel foncier agricole qui compte dans le pays. La SAU relevée en 2010 est de 351.579 ha, soit moins de 40 % de la surface totale de la wilaya. La surface des terres irriguée est de 22.450 ha, soit un taux de 6 % de la SAU. La SAU de la wilaya de Tlemcen représente 22,4 % de la superficie agricole de la région Nord-Ouest de l'Algérie, et la place ainsi au premier rang. Rapportée à la population, la part est de 0,35 ha par habitant. A l'échelle nationale, elle est de 0,25 ha (ANAT, 2010). La wilaya de Tlemcen compte 36.023 exploitations tous statuts juridiques confondus (Tab. 7).

Tab. 7 : Répartition du foncier agricole de la wilaya de Tlemcen (d'après Khemies, 2013).

Nature des exploitations	Nombre	Superficie (ha)
Privés	31.466	236.799
EAC	1.141	76.451
EAI	3.408	31.915
Fermes pilotes	8	6 414
Total	36.023	351.579

La répartition des terres agricole en 2010 fait ressortir que la superficie des terres destinées aux grandes cultures annuelles est dominante avec 85 %. Les céréales figurent comme étant la principale culture agricole dans la wilaya de Tlemcen. Les rendements sont réduits en raison du déficit pluviométrique qui a perturbé sérieusement la production végétale et par conséquent diminuent les revenus des agriculteurs (Khemies, 2013).

Les structures foncières dans les Monts des Traras (zone d'étude) sont réparties par commune dans le Tab. 8 suivant :

Tab. 8: Répartition des exploitations agricoles dans les Monts de Traras (d'après Berrayah, 2009).

Communes	S.A.U (ha)	Nombre d'exploitations agricoles	Superficie moyenne par exploitation
Ain Fettah	3.685	737	5,00
Ain Kebira	900	209	4,3
Bab El Assa	4.611	564	8,2
Beni Ouarsous	10.190	2.336	4,4
Dar Yaghmourassene	2.150	908	2,40
Djebala	4.930	640	7,7
Fellaoucene	6.241	498	12,50
Ghazaouet	1.620	317	5,10
Honaine	2.644	754	3,5
Marsat Ben Mhidi	4.592	488	9,4
Msirda Fouaga	4.654	363	12,8
Nedroma	4.862	597	8,10
Tient	1.840	241	7,6
Souahlia	5.471	911	6,00
Souk Tleta	2.360	357	6,6
Beni Khaled	5.926	1.040	5,7
Total	66.676	10.960	6,1

L'analyse du nombre des exploitations agricoles montre que la surface agricole totale couvre 66.676 has dont l'effectif par exploitation est réparti par commune dans le Tab.9.

Tab. 9: Répartition de l'effectif des exploitations agricoles (d'après Berrayah, 2009).

Communes	Effectifs exploitants	< 5 ha	Taux (%)	5 - 10 ha	Taux (%)	> 10 ha	Taux (%)
Ain Fettah	737	374	50,7	296	40,2	67	9,1
Ain Kebira	209	153	73,2	49	23,4	7	3,4
Bab El Assa	564	230	40,8	255	45,2	79	14
Beni Ouarsous	2,336	1,231	52,7	984	42,1	121	5,2
Dar Yaghmourassene	908	589	64,8	174	19,1	145	16,1
Djebala	640	125	19,5	344	53,8	171	26,7
Fellaoucene	498	224	45	191	38,4	225	16,6
Ghazaouet	317	211	63,5	94	29,7	12	6,8

Honaine	754	598	79,3	153	20,3	3	0,4
Marsat Ben Mhidi	488	231	47,3	179	36,7	78	16
Msirda Fouaga	363	161	44,4	177	48,7	25	6,9
Nedroma	597	293	49,1	174	29,1	130	21,8
Tient	241	62	25,7	91	37,8	88	36,5
Souahlia	911	321	35,2	462	50,7	128	14,1
Souk Tleta	357	223	62,5	76	21,3	58	16,2
Beni Khaled	1.040	641	61,6	353	33,9	46	4,5

L'analyse de la répartition des exploitations agricoles montre que le nombre total est de 10.960 exploitations agricoles dont la surface moyenne par exploitation est de 6 ha. La nature juridique des terres agricoles est répartie par commune dans le Tab.10.

Tab. 10: Répartition de la nature juridique des terres agricoles par commune (d'après Berrayah, 2009).

Nature juridique	Exploitation Agricole Collective (E, A, C)		Exploitation Agricole Individuelle (E, A, I)		Privé	
	Nombre	Superficie (ha)	Nombre	Superficie (ha)	Nombre	Superficie (ha)
Communes						
Beni Ouarsous	1	19	72	838	2.304	9.333
Honaine	0	0	2	9	753	2.635
Beni Khaled	0	0	0	0	1.041	5.926
Fellaoucene	15	925	7	74	516	5.242
Ain Fettah	2	286	0	0	748	3.399
Ain Kebira	1	198	0	0	240	702
Nedroma	5	332	12	43	603	4.487
Djebala	1	67	7	33	667	4.830
Ghazaouet	4	140	17	127	299	1.353

Souahlia	0	0	10	112	904	5.359
Tient	2	183	2	16	239	1.641
D. Yaghmourassene	0	0	0	0	910	2 150
Bab El Assa	0	0	35	316	530	4.295
Souk Tleta	0	0	6	111	352	2.249
Marsat Ben Mhidi	1	6	87	528	397	4.059
Msirda Fouaga	0	0	13	67	352	4.587

L'analyse des terres agricole montre qu'une bonne partie de la SAU fait partie du statut privé, La SAU est évaluée à 66.676 hectares soit 53 % de la superficie totale de la zone et 20 % du potentiel agricole de la Wilaya. Le secteur agricole représente l'activité dominante dans cet espace puisque la proportion d'active agricole est très importante, Elle est évaluée à 45 % contre une moyenne Wilaya de 27 %. Les agriculteurs et surtout les petits exploitants (exploitation de moins de cinq hectares) sont les plus abondants.

2.1.6.1 Milieu agricole

D'une manière générale, et de par leurs potentialités agricoles la zone s'étend sur trois sous-zones (occidentale, centrale et orientale) réparties comme suit :

- a. Zone occidentale ; elle renferme 30 % de la SAU totale, A l'exception de quelques zones très bien localisées (vallée du Kiss notamment, le versant nord du djebel Zendel et la vallée de Ouled Ben Ayed) où les dépôts d'alluvions ont relativement enrichi les sols, la quasi-totalité des terres sont de nature argilo limoneuse avec des problèmes d'instabilité structurale au niveau de Bab El Assa. Leur valeur agricole est incontestable mais l'irrégularité et la faiblesse des précipitations annuelles, ajoutées aux mauvaises pratiques culturales ont fortement réduit leur fertilité. La zone située entre Haoud El Belka et Chaib Rasso favorisée par l'absence de gelées est également réputée par ses produits maraîchers précoces,
- b. Zone centrale ; elle représente 25% du potentiel agricole total de la zone. Les terres, par leur structure agro pédologique et leur position géographique (ouverture directe sur la mer) donnent les meilleurs rendements et s'adaptent à une gamme de cultures très variées en sec et en irrigué (Plaine de Mezaourou, plaine de Bekhata - Ksob, plateau de Tient etc.). Ce sont en général des sols argilo limoneux enrichis par des apports d'alluvions considérables, Ils doivent leur richesse également

aux disponibilités des eaux d'irrigation (prise sur oueds et captage des sources) et d'un microclimat favorable (influence maritime) et des pluies relativement supérieure (438 mm à djebel Fillaoucene situé à 1.113m),

- c. Zone orientale ; cette zone est la plus importante par sa SAU estimée à 45% du total. Les formations agro pédologiques sont relativement identiques que celles de la zone centrale (argilo marneuses). La différence réside dans la nature géomorphologique des terrains, Les plateaux sont plus étendus et les pentes sont beaucoup plus douces, De plus le régime pluviométrique est plus abondant. Cette zone est également caractérisée par la présence de sols alluvionneux et des nappes phréatiques d'importance locale, la moyenne Tafna (en partie), la vallée de Boukiou et la vallée de Dahmane. Cette zone représente également l'une des régions de la wilaya où l'on pratique la plasticulture à grande échelle.

Les terres agricoles sont représentées par commune dans le Tab. 11.

Tab. 11: Répartition des terres agricoles par commune (d'après Berrayah, 2009).

Communes	S.A.U (ha)						Autres	
	Total (ha)	SAU (ha)	Terres Irriguées	Terres Labourées	Cultures permanentes	Cultures s/serres	Paccages et parcours	Terres improductives
B. Ouarsous	12.884	10.190	269	7.959	2.231	70	1.000	1.694
Honaine	2.767	2.644	52	2.207	437	0	123	0
Beni Khaled	6.223	5.926	82	5.076	850	10	297	0
Fellaoucene	6.517	6.241	241	5.718	523	38	0	276
Ain Fettah	6.747	3.685	562	3,539	146	15	0	3.062
Total zone orientale	35.038	28.686	1.206	24.499	4.187	133	1.420	5.032
Ain Kebira	2.740	900	62	832	68	4	1.800	40
Nedroma	6.790	4.862	141	4.292	570	2	1.778	150
Djebala	8.883	4.930	163	3.768	1.162	3	0	3.953
Ghazaouet	1.862	1.620	395	1.363	256	3	127	115
Souahlia	6.232	5.471	256	2.982	2.489	0	0	761

Tient	1.907	1.840	144	1.315	525	4	0	67
D.Yaghmourasene	3.751	2.150	60	1.876	274	0	0	1.601
Total zone centrale	32.165	21.773	1.221	16.428	5.345	16	3.705	6.687
Bab El Assa	6.934	4.611	142	4.227	384	0	0	2.323
Souk Tleta	6.389	2.360	99	2.048	312	0	0	4.029
M.B. Mhidi	5.381	4.592	33	4.476	116	1	0	789
M. Fouaga	8.199	4.654	50	4.473	181	0	0	3.545
Total zone occidentale	26.903	16.217	324	15.224	993	1	0	10.686
Total général	94.106	66.676	2,741	56.101	10.525	150	5.125	22.405

L'analyse des surfaces des terres agricoles montre que la SAU est relativement importante (66.676 ha).

Vocations agricoles

Le système de cultures dominant au niveau de la zone est l'association céréales - jachères qui occupe près de 70 % de la SAU. Ce dernier ne reflète nullement la vocation réelle de la zone. Les cultures annuelles restent largement dominantes au détriment des cultures pérennes reconnues pour leur rôle fixateur du sol. Elles sont réparties comme suit :

- a. Les grandes cultures (la céréaliculture) ; avec 20.475 hectares emblavés, les céréales représentent actuellement 30 % contre 40 % de la SAU en 1990. Les spéculations les plus pratiquées sont le blé pour la consommation locale et l'orge pour l'alimentation du bétail. Les rendements enregistrés demeurent encore faibles et ne dépassent que rarement les 10 quintaux à l'hectare à l'exception des communes de Nedroma, Djebala, Souahlia et Tient qui disposent de conditions édaphiques relativement favorables,
- b. Les légumes secs ; ils représentent 10 % de la SAU. Ce sont surtout les pois chiches, les pois secs, les fèves et à un degré moindre les haricots. Ce désintéressement est dû en grande partie à la présence d'un microclimat favorable pour le développement des légumineuses en vert précoces (petit pois). Cette position géographique devrait militer pour l'extension de ces cultures qui sont

actuellement confrontées à de nombreuses contraintes notamment la rareté de la ressource eau d'irrigation et la faiblesse des précipitations. Ce sont en effets près de 20 000 ha de plateaux et de vallées encaissées qui se prêtent à cette culture. D'une manière générale la production des légumes secs reste très faible,

- c. Les cultures fourragères ; elles occupent près de 12 % de la SAU. Elles sont généralement cultivées en sec. Ce sont surtout l'avoine et l'association vesce – avoine qui sont les plus pratiquées. Le déficit en eau exclue toute possibilité ou tentative d'intensification de ces cultures en irrigué,
- d. Les cultures maraîchères ; elles représentent à peine 8 % de la SAU. Elles sont concentrées essentiellement au niveau de la vallée de Boukiou, les plaines encaissées, les piémonts côtiers. Le maraîchage de plein champ est caractérisé par la prédominance du petit pois (35%) de la superficie consacrée aux cultures maraîchères. La précocité de cette culture et le revenu appréciable qu'elle procure sont à l'origine de cette préférence. Les petits pois de Tounane sont connus et appréciés au niveau de toute la région nord-ouest. Leur production globale avoisine les 50.000 quintaux à l'hectare. Les cultures protégées sont concentrées essentiellement au niveau de la vallée de Boukiou où les contours du relief favorisent largement la réalisation des serres, Elles occupent actuellement plus de 150 hectares. Les spéculations les plus pratiquées sont les tomates, les poivrons, les piments et les concombres.

Les rendements de production des cultures saisonnières et annuelles sont répartis par commune dans le Tab. 12.

Tab. 12: Production des cultures saisonnières et annuelles par commune (Berrayah, 2009).

Communes	Céréales		Fourages		Légumes secs		C. maraichères	
	Sup. (ha)	Prod. (Qx)	Sup. (ha)	Prod. (Qx)	Sup. (ha)	Prod. (Qx)	Sup. (ha)	Prod. (Qx)
Beni Ouarsous	4.050	49.900	300	9.000	1.020	8.940	483	45.770
Honaine	115	1.700	25	625	130	940	105	4.945
Beni Khaled	1.900	27.500	300	7.500	1.690	14.800	378	23.625
Fellaoucene	1.253	19.780	150	4.500	240	1.960	131	18.430
Ain Fettah	1.547	24.140	100	3.000	330	2.560	517	35.400
Total zone	8.865	123.02	875	24.625	3.410	29.200	1.614	128.17

Ain Kebira	350	5.310	50	1.500	60	520	86	5.450
Nedroma	1.500	14.100	300	14.000	315	2.080	558	19.795
Djebala	1.800	21.000	200	4.000	345	2.230	595	20.005
Ghazaouet	200	3.020	190	5.050	270	2.700	729	47.414
Souahlia	1.420	20.180	150	4.500	480	4.700	917	54.230
Tient	840	10.880	0	0	140	1.160	285	18.160
Dar	450	6 690	0	0	300	3 220	695	26 150
Total zone centrale	6.560	84.180	890	29.050	1.910	16.610	3.865	191.20
Bab El Assa	1.500	17.500	100	2.000	74	419	134	9.095
Souk Tleta	850	11.550	50	1.000	22	115	136	6.285
Mersa Ben Mhidi	1.160	12.600	0	0	30	240	33	1.150
Msirda Fouaga	1.070	12.200	75	1.875	32	272	40	2.225
Total zone	4.580	53.850	225	4.875	158	1.046	343	18.755
Total général	20.005	261.05	1.990	58.550	5.478	46.856	5.822	338.12

L'analyse des rendements agricoles (Tab. 12) montre que les terres de la zone centrale produisent les forages et les maraichers alors que celles de l'orientale produisent plus de la céréale et de légumes secs.

- a. Les cultures pérennes (l'arboriculture) ; elle représente moins de 10 % de la SAU, alors que plus de 30 % des terres s'y prêtent à abriter de telle spéculation. L'arboriculture pratiquée se limite à une arboriculture rustique en sec. Elle est constituée surtout d'amandier, d'olivier et de figuier. Cependant, elle connaît ces dernières années une augmentation spectaculaire en particulier dans les communes de de Souahlia, Djebala et Beni Ouarsous où près de 30 % de leur superficie est plantée en arboriculture et ce grâce aux différents programmes d'appui et aux progrès de l'irrigation. L'amandier, arbre caractéristique des Traras représente plus de 70 % de la superficie des plantations rustiques. Les rendements restent toutefois médiocres en raison de conditions climatiques défavorables. Ils oscillent autour de 10 à 15 qx par hectare (voir annexe 8). L'arboriculture en irrigué (agrumes, noyaux, pépins) est très peu introduite. Elle est concentrée au niveau des zones de vallées encaissées,

- b. La viticulture ; elle occupe près de 1 000 hectares. Elle est répartie dans la plaine de Bekhata (commune de Djebala), la plaine de Mezaourou (commune de Nedroma), le plateau de Tient et les coteaux de Souahlia. La préférence est beaucoup plus accordée au raisin de table.

Les produits agricoles sont commercialisés en frais sur les marchés locaux ou bien sur place au moment de la collecte (primeurs en particulier). La transformation au niveau de la zone est quasiment inexistante. La demande du marché est suffisamment élevée pour permettre l'écoulement facile de l'ensemble de la production.

Elevage

La production animale ; la pratique d'élevage s'est développée avec les extensions progressives des grandes cultures. Cet état de fait est souvent dû à la recherche d'un complément de revenu des exploitants agricoles. Les données 2005 émanant des services agricoles de la wilaya de Tlemcen montrent que les effectifs du gros élevage se composent comme suit :

- a. 52.000 têtes ovines dont 32.000 brebis,
- b. 2.300 têtes bovines dont 1.780 vaches laitières,
- c. 5.800 têtes caprines.

Le nombre total du cheptel bovin, ovin et caprins est réparti par commune dans l'annexe 9.

L'élevage avicole ; l'activité avicole compte environ trois millions de sujets de poulet de chairs. Cette activité avicole est localisée surtout au niveau de la zone centrale des Traras notamment dans les communes de Nedroma, Djebala et Ain Kebira.

L'élevage apicole ; le potentiel mellifère est évalué à près de 7.300 ruches. Durant les dernières années cette activité a connu un net recul et cette suite à des conditions climatiques défavorables.

Conclusion sur le milieu agricole

Le milieu agricole occupe plus de la moitié (53%) de la surface totale ; le statut privé représente 87 % de la SAU. L'agriculture représente l'activité dominante dans le territoire. L'effectif des exploitants agricoles est dominé par ceux qui possèdent moins de ? cinq hectares, domine. Quant à la répartition des terres agricoles, on trouve la zone orientale qui dispose plus de SAU (45%) que les deux autres. Les sols sont généralement enrichis par des apports d'alluvions considérables qui favorisent ainsi l'aptitude et l'adaptation avec des meilleurs rendements de plusieurs variétés de cultures en sec et en irrigué. Cette observation est faite surtout au niveau de la zone centrale, grâce à la présence d'un microclimat local

favorable (influence maritime, disponibilité d'eau et gain supérieur en précipitation sur djebel Fellaoucene situé à 1.113 m d'altitude (Berrayah, 2009). Les chutes de rendements (10 qx de blé/ha, 10 à 15 qx arboricole/ha) constatés durant ces dernières années s'expliquent peut-être par l'irrégularité, la faiblesse des précipitations annuelles et les mauvaises pratiques culturales, Les zones de fertilité réduite commencent à être occupées par les arbres fruitiers rustiques tel que l'Amandier qui représente actuellement plus de 70% des surfaces des plantations rustiques et ce dans le but de s'adapter à ces nouvelles conditions climatiques et édaphiques qui affectent en particulier les zones sensibles et fragiles. C'est la raison pour laquelle que les programmes de développement agricole et rurale prennent en charge cette situation et prévoient en priorité à la mise en place et l'extension de l'arboriculture avec de l'olivier, l'amandier et le figuier. Durant ces dernières années la plantation arboricole a pu toucher plus de 30% des surfaces des communes de Souahlia, Djebala et Beni Ouarsous. La viticulture est à base de raisin de table, variété plus préférée. Cette vocation occupe les plaines, les plateaux et les coteaux. Elle s'étend sur près de 1.000 hectares. En parallèle des activités agricoles, les exploitants agricoles pratiquent d'autres types d'activités d'élevages traditionnels dont le nombre dépasse les 60.000 têtes. Le cheptel est composé d'ovins (52.000 têtes) de bovins (23.000 têtes) et de caprins (5.800 têtes). Cet élevage est mené dans le but de trouver un complément de revenu afin de couvrir les charges multiples de l'exploitation agricole Ce potentiel d'élevage pourra être à la fois une cause (par ces GES) et une victime (suite à la dégradation des milieux de pâture) du changement climatique. L'élevage apicole connu durant ces dernières années un recul considérable suite aux nouvelles conditions climatiques défavorables.

2.1.6.2 Milieu forestier

La végétation constitue un élément important du milieu physique. D'ailleurs elle n'est que le reflet de la qualité du sol et bien sûr du climat (Benabdelli, 1996). La forêt occupe un tiers de la surface du globe. Sa réduction et sa dégradation ont un impact considérable sur l'accélération du réchauffement climatique et la réduction de la biodiversité, C'est pourquoi, la connaissance du statut des forêts et de ses changements dans le temps à l'échelle du globe constitue un défi important, d'où l'intérêt des satellites qui permettent de faire le suivi en temps réel des changements dans la forêt (ASJ, 2011). En Afrique du nord on compte 270 espèces ligneuses dont 68 essences forestières : 17 principales ou sociales et 51 subordonnées. Les essences principales sont des arbres de première grandeur constituant des peuplements purs ou en mélange. La flore nord-africaine est très proche de celle du domaine méditerranéen d'Europe avec cependant un caractère nettement xérothermique. A ce sujet Boudy (1948) notait « en Algérie, Tunisie, on compte 3.000 espèces végétales dont 1.900 se retrouvent en Espagne, 1.600 en Italie, 1.500 en France avec 700 endémiques ». La forêt Algérienne est directement liée au climat méditerranéen qui caractérise tout le nord de l'Algérie ainsi qu'une grande partie du Sahara. Ces forêts sont hétérogènes et inégalement

réparties en fonction de la distribution des méso climats, de l'orographie et de l'action anthropique. Le patrimoine forestier ne représente que 11% de l'Algérie du Nord et 1,5% de l'ensemble du territoire. Une partie de la forêt se trouve en zone de montagne où vit 35 % de la population totale. Les peuplements forestiers sont beaucoup plus denses à l'Est qu'à l'ouest en raison de la présence d'un relief très important dans la partie orientale. Un recensement des espèces principales et subordonnées, en reprenant les termes de Boudy (1948) en Oranie donne la liste suivante :

- a. Espèces principales ; *Pinus halapensis* - *Quercus suber* - *Quercus faginea* - *Pinus pinaster* - *Quercus coccifera* - *Quercus rotundifolia* - *Tetraclinis articulata*,
- b. Espèces subordonnées ; *Juniperus oxycedrus* - *Laurus nobilis* - *Prunus avium* - *Arbutus unedo* - *Erica arborea* - *Phyllyrea angustifolia* - *Olea europea* - *Rhus pentaphylla* - *Pistacia lentiscus* - *Pistacia therebentus* - *Ilex aquifolium* - *Acer campestre*.

Les principales plantes ligneuses de l'Oranie (à l'ouest du pays) ont été répertoriées puis classées selon d'abord les aspects botaniques puis physiologiques. C'est surtout sur les groupements climatiques que les travaux se sont le plus concentrés. Les formations actuelles ne peuvent que représenter les grandes lignes, cependant mêmes modifiées et perturbées, elles gardent un aspect indicateur important pour la reconstitution de la végétation. Pour leur part, la région nord-ouest en particulier les monts des Traras est incluse sur le plan botanique au domaine « méditerranéen », secteur Oranais de la classification phytogéographique de René Maire ou au sous-secteur de l'Atlas tellien du secteur Oranais de Quézel & Santa (1962).

Depuis le tertiaire jusqu'à aujourd'hui les composants floristiques se sont transgressés puis régressés plusieurs fois aux grés du climat, en laissant des empreintes, raison pour laquelle on trouve un fort pourcentage d'endémiques en Algérie. Durant la période inter pluviale actuelle où le climat est aride on assiste à une expansion d'essences xériques (Letreuch, 1981). La dynamique de ces essences est soumise en premier lieu à l'action anthropique, dégradante, imposant une évolution souvent régressive des formations forestières masquant les diverses nuances écologiques locales. Quant aux actions écologiques, c'est le climat avec sa sécheresse et la durée de la saison sèche ainsi que la température moyenne « m » qui détermine l'étagement de la végétation et sa dynamique. Le sol n'intervient que d'une manière secondaire en accentuant la sécheresse ou l'humidité du climat de la saison sèche. En plus, la plasticité pédologique est bien reconnue pour les plus importantes de ces essences. Dans ce contexte, et pour ce qui est de la zone d'étude, les conditions semi arides avec l'influence littorale, semblent désavantager le chêne liège très sporadique sur les substrats acides. C'est généralement là, mais plus près de la mer, qu'on trouve les formations de genévrier oxycèdre et genévrier rouge qui restent tous les deux liés aux substrats sableux

des dunes. En dehors de ces espèces qui sont très localisés, c'est le thuya qui paraît le plus naturellement répondu dans toute la zone. Le thuya constitue schématiquement en Oranie le vicariant littoral du Pin d'Alep et se rencontre alors essentiellement sur les sols calcaires. Les groupements qu'il individualise sont assez proches de ceux à Pin d'Alep, Il s'intègre à l'ordre des *Pistacio Rhamnétalia* (Rivas-Martinez, 1974). Du point de vue dynamique, Hadjadj (1995) remarque l'interpénétration des séries de Thuya au détriment du chêne liège. D'une manière générale pour décrire la végétation des Traras notamment celle proche du littoral, on s'est contenté de reprendre les travaux de Quézel *et al.*, (1988), Aimé (1991), Hadjadj (1995), Medjahdi (2001) et Ayache (2007). Cette végétation présente une grande originalité. Les conditions particulières dans lesquelles les plantes doivent se développer et l'adaptation à un milieu difficile et hostile ont entraîné des modifications anatomiques et physiologiques. Cet ensemble original est actuellement menacé : les embruns pollués, la fréquentation excessive et la pression anthropique estivale risquent de faire réduire fortement le couvert végétal. L'étude et la connaissance de la façon dont ces plantes s'adaptent à ce milieu particulier sont d'autant plus intéressantes, que l'homme est très souvent confronté aux problèmes de l'alimentation en eau et de cultures sur les sols salés (Aillaud & Criouzet, 1990). Au niveau de la cote, la végétation se disperse sur deux types de milieu avec d'une part les milieux sableux (plages et cordons dunaires) qui sont occupés par des groupements Psammo - halophyles. D'un autre côté les zones rocheuses présentent une végétation plus spécifiquement halophile composé de ce qui suit :

- a. Végétation halophile ; les groupements des dunes maritimes ; sur les substrats sableux du bord de la mer se développe une végétation Psammo - halophile caractéristique qui s'organise en fonction de la fréquence et l'abondance des embruns, ainsi que la dynamique de sable, en bande étroite le long de la côte. Sur les premiers sable vif en arrière de la plage apparaît l'Amnophyletum qui forme un groupement discontinu dominé par les touffes d'oyats (*Amnophila arenaria*) qui présente une excellente adaptation à l'enfouissement. Cette association n'est pas riche en espèces à cause des conditions extrêmement difficiles (Lazreg, 1983). Dès que les dunes deviennent relativement stables, le milieu permet la croissance de plusieurs espèces, Dans les zones les plus stabilisées apparaît *Rétama monosperma* qui prépare l'implantation des espèces arborescentes, On peut ainsi observer de très beaux peuplements de *Rétama* près de la plage d'oued Sidi Abdellah (Ghazaouet). Alkaraz (1977) a signalé la présence de trois espèces Psammo - halophile endémiques du littoral oranais : *Anthémis chysanta*, *Ononis antenata*, et *Corynephorus articulatus*.

Les groupements des roches maritimes ; cette végétation est composée essentiellement des espèces suivantes :

- a. *Chrysanthemum Maritimum*, *Crucianella Maritima*, *Plantago Coronopus*, *Limonium Gumeferum*, *Limonium Minutiflorum* ...etc, qui sont généralement communes à toutes les cotes rocheuses d'Algérie. La végétation non halophile ; elle s'installe juste après les ceintures de végétation psammo – halophile. Elle est souvent dominée par les espèces arborescentes. Le thuya étant l'espèce la plus répandue. Il peut se mélanger à d'autres essences grâce à sa capacité de s'accommoder à différents substrats (Hadjadj, 1995). Le Pin d'Alep est aussi présent mais il est beaucoup plus artificiel. Ces reboisements, s'ils réussissent relativement bien, ne sont suivis d'aucune sylviculture spéciale de l'essence. Dans de telles conditions l'absence de modèle de traitement, aucune prévision ou planification de production de l'essence n'est possible (Letreuch, 1981).

Les essences arborescentes et leurs séries dynamiques se regroupent dans les deux principales classes phytosociologiques : les *Quercetea illicis* pour les formations forestières et pré forestières et les Ononido – Rosmarinetea pour les formations les plus ouvertes de garrigues ou de maquis. On se contentera de donner ci-dessous les résultats des derniers relevés de végétation effectués par Ayache (2007) au niveau de différents endroits des Traras répartis comme suit :

- a. Station de Marsa Ben Mhidi ; elle abrite les strates suivantes :
- ✓ Strate arborée : *Pinus halapensis* - *Tetraclinis articulata* - *Juniperus phoenicea*
 - ✓ Strate arbustive : *Pistacia lentiscus* - *Olea europea*- *Phyllyria angustifolia*
 - ✓ Strate buissonnante : *Pistacia lentiscus*- *Cistus heterophyllus*- *Rosmarinus tournefortu*- *Erica multiflora*- *Lavandula dentata* -*Thymus ciliatus* -*Genista tricuspidata* -*Calycotome intermedia*- *Chamoerops humilis* -*Cistus ladaniferus* -*Ampelodesma mauritanicum*- *Lavandula stoechas* - *Daphné gnidium* - *Stipa tenacissima*.
- b. Station de Ghazaouet ; elle abrite les strates suivantes :
- ✓ Strate arborée : *Ceratonia silica*- *Tetraclinis articulata*- - *Oléa europea* - *Juniperus phoenicia* - *Pinus halapensis*.
 - ✓ Strate arbustive : *Pistacia lentiscus* - *Pistacia terebinthus* -*Phillyrea angustifolia*- *Asparagus acutifolius*- *Erica multiflora* -*Myrthus communis* - *Ampelodesma mauritanicum* - *Genista Trecuspidata* -*Erica arborea* - *Calycotome oilloso* -*Chamoerops humilis* - *Nerium oleander* - *Ulex boivini* - *Ziziphus lotus* - *Daphne gnidium*.
 - ✓ Strate herbacée : *Bromus lanceolatus*- *Hordeum murinum*- *Chrysanthemum coronarium*- *Centauria pullata*- *Chrysanthemum grandiflorum*- *Teucrium fruticans*- *Plantago lagopus*-

Rosmarinus tourneforti- Asteriscus maritimus- Eerodium moschatum - Bellis annua- Emarrubium vulgare- Bromus rubens- Globularia alupum - Cistus monopeliensis - Aristolochia baltica- Papaver rhoeas- Stippa tenacissima- Jasminium fruticans.

Structure de la végétation forestière

Les essences les plus répandues forment des peuplements purs et mélangés de Pin d'Alep, d'Eucalyptus introduites et de chêne liège qui sont soit à l'état sporadique ou de massif. Les peuplements ne sont guère maintenant que des matorrals arborés dont l'essence principale est le Thuya et selon la composition et la structure, ces matorrals peuvent aller vers une dégradation plus accentuée où des essences secondaires telles que les lentisques forment alors le fond de cette composition. Sur le plan administratif, les forêts sont réparties en triages et districts dans l'annexe 10. Les noms, nature juridique et la composition des formations forestières sont réparties par commune dans le Tab. 13 et 14.

Tab. 13 : Répartition des formations forestières par commune (d'après Berrayah, 2009).

Daira	Commune	Superficie totale (ha)	Superficie forestière totale (ha)				
			Forêts naturelles	Reboisements	Maquis / parcours	Taux de boisement total	Taux de boisement forêts (%)
Honaine	Honaine	5.700	3.600	289	0	68	63,16
	Beni Khaled	8.000	200	0	2.700	36,25	2,50
Remchi	Beni Ouarsous	17.000	991	716	8.000	57,1	5,83
Fellaoucene	Fellaoucene	7.229	0	0	2.336	35	00
	Ain Fettah	10.100	0	120	3.500	38,84	00
	Ain Kebira	5.040	2.016	0	1.008	60	40
Nedroma	Nedroma	9.050	0	480	3.500	43,9	0
	Djebala	11.500	200	600	4.000	41,7	1,74
Ghazaouet	Ghazaouet	2.800	1.128	669	0	64,17	40,29
	Souahlia	7.100	0	400	0	5,63	00
	Tient	2.200	0	100	100	9	00

	D.Yaghmourassene	5.700	2.840	400	500	65,61	49,82
Bab El Assa	Bab El Assa	9 700	0	350	150	5,15	00
	Souk Tleta	8 500	150	350	300	9,41	1,76
	Mersat Ben Mhidi	7.000	0	1.400	500	27,14	00
	Msirda Fougua	8.600	0	500	1.500	23,25	00
Total	Total	125.219	11.125	6.374	28.094	36,41	8,88

L'analyse du Tab. 13 montre que les forêts couvrent un taux de 36% de la surface totale de la zone d'étude. Les forêts domaniales c'est-à-dire ayant un statut juridique domaniale sont réparties par commune dans le Tab. 14.

Tab. 14: Répartition des forêts domaniales par commune (d'après Berrayah, 2009).

Commune	Nom de la forêt	Nom du Canton	Superficie	Essences principales
Ghazaouet	Forêt Domaniale (F,D) Touent	Caroubier	355	Pin d'Alep
	F,D Oued Abdellah	Oued Abdellah	24	Eucalyptus
Souahlia	F,D Zaouiet El Mira	Zaouiet El Mira	88	Eucalyptus
Souk Tleta	F,D Tarasmouth	n°1 nord	503,28	Pin d'Alep + Thyua
	F,D Souf El Biod	n°2 sud	96,4	Pin d'Alep + Thyua
	F,D Souf El Biod	Souf El Biod	152	Pin d'Alep
Marsat Ben Mhidi	F,D Chaib Rasso	Chaib Rasso	754	Pin d'Alep + Eucalyptus
	F,D Tamaerchent	Tamaerchent	200	Pin d'Alep
Nedroma	F,D Beni Menir	Beni Menir	410	Pin d'Alep + Eucalyptus + Thyua
	F,D de Nedroma	Section de	233	Pin d'Alep + Thyua
	F,D Mechouar	Mechouar	80	Pin d'Alep
Beni	F,D Chaabet Trou	Chaabet Trou	126,2	Pin d'Alep

	F,D Khanzir	Khanzir	111,8	Thyua
	F,D Apt Reboun	Apt Reboun	551,2	Pin d'Alep + Thyua
	F,D Ain Berghout	Ain Berghout	220,04	Chêne liège + Thyua
	F,D Maktouta	Maktouta	98,8	Eucalyptus
	F,D Rof	Rof	447,4	Eucalyptus + Thyua
	F,D Menara	Menara	198,4	Chêne liège
Honaine	F,D Sidi Brahim	Sidi Brahim	94,8	Pin d'Alep
	F,D Oued Regou	Oued Regou	239	Pin d'Alep + Thyua
Bab El Assa	F,D Bessam	Bessam	200	Pin d'Alep
Msirda	F,D Tizi Aicha	Tizi Aicha	150	Pin d'Alep + Eucalyptus

NB : F.D : Forêt Domaniale (la nature juridique de la forêt est domaniale)

L'analyse du Tab. 14 montre que les monts des Traras sont couverts par 20 forêts domaniales occupant une surface totale de 5.333,32 ha ce qui correspond à 12% de la surface totale des massifs forestiers. Les espèces forestières présentes sont de type méditerranéen connu par leur rusticité, persistance et résistance à la sécheresse. Les essences forestières constituent la strate arborescente (Pin d'Alep, Eucalyptus, Chêne liège et Thuya).

Les essences secondaires sont variées. Elles sont dites espèces du maquis ou du sous-bois. Elles vivent en association avec les espèces principales en formant la structure de la broussaille et renforce la densité des vides. Parmi ces essences on cite ce qui suit :

- ✓ *Pistachia lentiscus*, *Calycotôme spinosa*, *Lavandula dentata*, *Lavandula stoechas*, *Cistus ladaniferus*, *Cistus villosus*, *Cistus trifolus*, *Erica arborea*, *Erica multiflora*, *Chamaerops himilis*, *Ampelodesma mauritanica* et *Olea europea*, Ce sont des arbustes d'origine naturelle, Elles forment par conséquent la strate arbustive.

Les plantes annuelles sont aussi présentes, nombreuses et variées, Elles constituent la strate herbacée, Parmi les espèces on cite principalement :

- ✓ *Anagallis arvensis*, *Selvia verbeneca*, *Centaurea pullata*, *Teucrium polium*, *Convolvulus althaeoides*, *Echium vulgare*, *Plantago serraria*, *Plantago lagopus*, *Pallenis spinosa*, *Malva*

sylvestris - *Reseda alba* - *Urginea maritima* - *Arisarum vulgare* - *Asteriscus maritimus*, *Papaver rhoeas* - *Euphorbia paralias*, *Chrysanthemum grandiflorum*, *Silene coelirosa*, *Calendula arvensis* - *Ballota hirsute*, *Aegilops triuncialis* et *Erodium moschatum*.

Infrastructures de bases forestières

Compte tenu de son relief accidenté les accès aux zones forestières demeurent très insuffisants. Des travaux d'ouverture et d'aménagement de pistes forestières ont été entrepris depuis l'indépendance toutefois beaucoup d'efforts restent encore à déployer pour améliorer la situation et atteindre les normes techniques admises (2,5 km de pistes pour 100 ha de forêts). En comparaison avec ces normes, on constate que le réseau présente un déficit de l'ordre de 1,3 km pour 100 hectares de forêts.

Les Tranchées Pare Feu (TPF) constituent un bon moyen de prévention et d'isolement des incendies. Elles ne couvrent que faiblement le potentiel forestier. La superficie totale des TPF est de 89,6 hectares soit une densité moyenne de 0,51 ha de TPF pour 100 ha de forêts. Les tronçons des TPF sont répartis dans le Tab. 15.

Tab. 15: Répartition des Tranchées Pare Feu (TPF) par commune (d'après Berrayah, 2009).

District	Commune	Nom de la forêt	Caractéristiques des TPF		
			Superficie (ha)	Largeur (m)	Longueur (m)
Nedroma	Nedroma	Mechouar	1,6	20	800
	Ain Kebira	Oued Sbaa	10	20	5.000
	Nedroma	Beni Menir	10	20	5.000
	Fellaoucene	Ain Ketoum	09	20	4.500
Beni Ouarsous	Beni Ouarsous	Chaabet Trou	10	20	5.000
		Reboun	07	20	3.500
	Honaine	Oued Reyan	12	20	6.000
		Oued Sriti	10	40	2.500
Ghazouet	D.Yaghmouras ne	Touent	10	40	2.500

Bab El Assa	Bab El Assa	Bessam	10	20	5.000
Total			89,6	/	/

L'analyse du réseau des TPF montre que la surface moyenne est inférieure (0.51 ha/100 ha) à la norme technique (5 ha pour 100 ha de forêts). Il importe de mentionner que durant les dernières années la zone enregistre des incendies très fréquents qui ont endommagé et amoindri la ressource précieuse.

La zone abrite trois postes de vigilance installés sur les sommets des montagnes forestières afin de mieux superviser les massifs forestiers de la zone. Les postes de vigie sont répartis dans le Tab. 16.

Tab. 16: Répartition des postes de vigie par commune (d'après Berrayah, 2009).

District	Triage	Dénomination du poste de vigie
Beni Ouarsous	Beni Ouarsous	Ain Berghout
Bab El Assa	Bab El Assa	Bessam
Ghazouet	Dar Yaghmourassene	Touent

L'analyse des postes de vigie (Tab. 16) montre que les forêts de la zone sont supervisées et surveillées contre les incendies par trois postes de vigie.

L'eau qui constitue un moyen efficace pour la lutte contre les incendies de forêts est peu abondante au niveau de la zone. La région des Traras sont réputée comme étant un espace sec sur le plan hydrogéologique. On dénombre actuellement quatre points d'eau d'une capacité globale de 5 litres/seconde (l/s). Cette dernière est très insuffisante pour répondre aux normes admises. Les points d'eau sont répartis par commune forestière dans le Tab. 17.

Tab. 17: Répartition des points d'eau par commune forestière (d'après Berrayah, 2009).

District	Triage de forêt	Dénomination du point d'eau	Capacité (l/s)	Observation
Beni Ouarsous	Beni Ouarsous	Ain skhouna	1 l/s	Chaabet Trou
	Honaine	Ain Souaidji	1 l/s	F,D Honaine
Ghazouet	D. Yaghmourassene	Puit Sidna Youchaa	2 l/s	Forêt Ziatene et

	D. Yaghmourassene	Ain Kitouna	1 l/s	
--	-------------------	-------------	-------	--

L'analyse du réseau des points d'eau (Tab.17) montre que la zone centrale et occidentale ne sont pas équipés de points d'eau.

Conclusion sur le milieu forestier

Les formations forestières s'étendent sur les terrains situés sur des altitudes qui varient de 10 m à 1.120 m. Les groupements forestiers sont présents sur toutes les expositions du relief. Parmi les essences forestières nous citons le *Pin d'Alep* de la Méditerranée qui est un conifère de type résineux. Il est bien répandu au sein de la zone où il occupe une superficie de 18.026 ha ce qui correspond à 38,45 % de la surface totale. On le rencontre également sur des sols exposés au Nord-Est (NE) et au Nord-Ouest (NO). Il se répartit sur des classes de pentes qui varient de 6,0 - 12,5 et 25 %. L'essence s'étend sur des reliefs dont l'altitude varie entre 10 et 850 m ; au-delà de 850 m, l'espèce est complètement absente. Cette absence s'explique soit par l'agressivité des conditions écologiques du site soit par l'effet de l'altitude associé à la pente (25 et + 50%).

Le *Thuya* ; est une espèce méditerranéenne. Il est de type résineux, se trouvant bien répartie au sein de la zone. Il est d'origine naturelle. Il occupe une superficie de 4.767,85 ha soit 10 % de la surface totale. Il s'étend sur des altitudes qui varient entre 50 m et 1 120 m, Il se retrouve sur des classes de pentes qui varient de 3,0 - 12,5 - 25,0 et à + 50 %. Il se présente sur des terrains exposés au Sud et Sud Est. Le *Thuya* prouve sa forte résistance à l'aridité et au taux de dessiccation dû principalement par la forte évaporation sur les versants exposés au sud.

L'*Eucalyptus* ; est une essence forestière de type feuillus, d'origine Australienne, introduite dans la zone par des procédés de reboisement. Cette essence occupe une superficie de 4.490 ha ou 9,6 % de la surface totale. L'espèce s'étend sur des terrains d'altitudes qui varient de 100 m à 770 m. Elle se retrouve sur des versants exposés au Sud, Nord Est et Sud Est. Elle occupe les classes de pentes qui varient entre 0 – 3- 6 et 12,5 %.

Le *Chêne Liège* ; est une espèce de type feuillus caractérisée par une écorce très recherchée par les débouchés de bois. Elle présente une valeur économique très appréciable. Elle est d'origine naturelle. Elle occupe une superficie de 565 ha ce qui correspond à 1,2 % de la surface totale. Elle s'étend sur des altitudes qui varient de 150 m à 470 m. Elle occupe les versants situés sur des classes de pentes de 0 , 6 - 9 et 12,5 %, lesquels sont exposés au Nord-Ouest, Sud et Sud-Ouest. La présence de *Chêne Liège* dans la parcelle forestière nous renseigne sur l'existence de stations humides et un sol non calcaire.

Les essences secondaires ; ce sont des arbustes qui vivent en association avec les arbres en formant le mélange de broussaille en donnant la structure de matorral bas ligneux. Les espèces sont d'origines naturelles, sociables et résistantes à la sécheresse. Elles occupent une grande partie de l'espace entre les arbres en formant le sous-bois. Elles constituent la strate arbustive qui occupe une superficie importante de 18.571 ha soit 39,75 % de la surface totale. Elles sont situées sur des classes de pentes de 3 – 6 - 12,5 - 25 et 50 %, elles sont exposées à l'Ouest, Nord-Ouest, Nord Est, Sud et Sud-Ouest. Elles s'étendent sur des altitudes qui varient de 50 m à 1.120 m sauf la répartition de l'Oléastre qui y reste limitée à 700 m d'altitude. La présence de l'Oléastre et les Lentisques nous renseignent sur la présence de la qualité argileuse dans les sols de la zone.

La végétation forestière du nord de la zone est représentée par les séries de trois essences arborescentes qui sont le *Thuya*, le *Genévrier rouge* et le *Chêne liège*.

Sur les hauteurs du littoral apparaît la série du genévrier rouge qui occupe généralement les dunes et les substrats gréseux. Le Thuya quant à lui vient généralement s'installer après le genévrier où il forme souvent des groupements pré forestiers mixtes.

Après cette transition le Thuya domine le paysage végétal du littoral et il ne se mélange aux espèces de la série du *Chêne liège* que dans des situations bien particulières notamment au niveau des sols décarbonatés, les sommets des hauteurs et les substrats siliceux ou schisteux.

Cette transition reste très schématique car le plus souvent les pressions humaines ouvrent les formations précitées et permettent aux formations dégradées de s'imposer et imprimer de leur physionomie tout le paysage végétal. La transition est aussi perturbée par les reboisements massifs de *Pin d'Alep* qui occupent une surface non négligeable dans l'aire du genévrier et du Thuya.

D'une manière générale la végétation de la zone est représentée par des formations assez dégradées et perturbées dans leur ensemble.

Les principales espèces qui imposent une physionomie par leur dominance dans la composition floristique grâce à leur pouvoir de résistance aux diverses agressions, se résument aux *Pin d'Alep*, l'Eucalyptus, le *Chêne liège* et au Thuya (*Tetraclinis Articulata*) pour les espèces forestières principales et *Juniperus Phoenicea*, *Pistacia Lentiscus*, *Phyllerea Media* et *Olea Europea* pour les espèces secondaires.

On peut déduire également que la végétation ligneuse est organisée sur le plan horizontal en trois strates, Une strate arborescente représentée par les peuplements de *Pin d'Alep*, Eucalyptus, *Chêne Liège* et le

Thuya, Une strate arbustive caractérisée par une gamme variée d'espèces offrant un large spectre d'adaptation aux conditions du milieu et occupant le sous étage de la strate précédente notamment : *Pistacia lentiscus*, *Quercus coccifera*, *Juniperus phoenicea*, *Olea europea*, etc.

La strate buissonnante où dominant les espèces suivantes : *Cystus heterophyllus* *Lavandula dentata*, *Erica multiflora*, *Rosmarinus tourneforti*, *Chamaerops humilis*, *Ampelodesma mauritanicum*, *Genista tricuspidata*, *Thymus ciliatus*, *Calycotome intermedia*, *Daphné gnidium*, *Genista erioclada* et *Stippa tenacissima*.

Les groupements forestiers sont situés en majorité sur des terrains accidentés. Ils constituent une couverture biologique qui joue le rôle de protéger non seulement les bassins versants à l'amont mais aussi toutes les installations de l'aval (la petite hydraulique, voies d'accès, villes, terres agricoles et autres infrastructures de base). Les espèces présentes se répartissent sur l'ensemble de la zone ce qui nous renseignent sur leurs bonnes adaptations et acclimatation avec les conditions écologiques du milieu. Ces essences sont résistantes à la rigueur des nouvelles conditions climatiques. Le potentiel forestier de la zone est dominé dans son ensemble par des formations basses (maquis). Les espèces dominantes sont le Thuya et le *Pin d'Alep*.

Les peuplements forestiers sont plus denses à l'Est qu'à l'Ouest en raison de la configuration du relief. L'aspect contrasté de la végétation se présente de la même manière entre les versants nord bien arrosés et ceux du sud moins arrosés et souvent exposés aux vents secs. D'une manière générale l'enjeu majeur du patrimoine forestier demeure sa préservation contre toute forme de perturbation. La dégradation des structures végétales est due à l'action conjuguée de l'homme et le climat. Elle se traduit par un appauvrissement de la richesse floristique, une évolution régressive des aires de répartition, un sol squelettique, des plantes rabougris, un changement continu des paysages écologiques (Hasnaoui *et al.*, 2005).

2.1.7 Milieu urbain

En 1998, la population des wilayas littorales d'Algérie est estimée à 12.564.151 habitants soit 43% de la population nationale, résidant en permanence sur une bande du littoral de 50 kilomètres de profondeur (ONS, 1998). En 2005, la population rurale Algérienne représentait 38 % de la population totale nationale. Les 2/3 de la population pauvre d'Algérie vivent dans les zones rurales (Bessaoud, 2008). La wilaya de Tlemcen compte au dernier recensement (2008) une population de l'ordre de 965.759 habitants soit une densité moyenne de 131 habitants/km², dont la zone des Traras comptent une population totale de 177.971 habitants avec une densité moyenne de 143 habitants/km² (ANAT, 2010).

La zone d'étude abrite deux types d'espaces urbanisés répartis comme suit :

- a. Une urbanisation de type urbain, Elle est répartie sur le nord et bien concentrée dans la région centrale, Elle constitue principalement les villes de la zone,
- b. Une urbanisation de type rural. Elle est éparpillée dans le milieu rural dont la zone orientale compte une densité importante.

2.1.7.1 Facteurs anthropozoogènes

Les tribus vivant dans les espaces montagneux se regroupaient depuis le moyen âge, dans une confédération appelée Traras (nom de ladite montagne). La population est d'origine berbère, très ancienne, très conservatrice. Leur adaptation au milieu montagnard s'est traduite par le développement d'une économie locale traditionnelle qui était, certes, archaïque, mais suffisante pour sa survie (Berrayah, 2009). Les Traras constituaient jusqu'au début du 19^{ème} siècle l'une des régions les plus densément peuplée de l'Oranie avec une densité moyenne de 84 habitants au km² (Berrayah, 2009). Cette densité très élevée résultait d'une croissance démographique accélérée. Les Traras centraux sont attractifs de population et son taux d'accroissement ne cessait d'augmenter. L'accroissement le plus important a été enregistré dans les communes de Ghazaouet, Nedroma et Souahlia avec un taux de l'ordre de 2,26 %. La zone orientale a connu un taux qui la rapproche de la moyenne wilaya avec 1,71 %. La zone occidentale a enregistré un solde migratoire négatif avec un taux d'accroissement très faible de 0,49 % et c'est dû à un départ massif de population vers la France et vers l'agglomération de Maghnia.

Compte tenu d'une conjoncture particulière, durant la dernière décennie, les monts des Traras ont connu une croissance modérée de leur peuplement. Les Traras orientaux qui ont été le plus concerné par la conjoncture particulière. Leur population a largement fui cet espace. Près de 7.000 habitants sont partis essentiellement vers la ville de Remchi. Les communes de Beni Khaled, Beni Ouarsous et Ain Fettah ont été considérées comme étant les plus répulsives. A partir de 1999 la population des Traras a tendance à se stabiliser progressivement. Le rythme de croissance demeure faible. Toutefois on constate l'apparition de nouveaux centres de concentration de population en dehors des centres classiques (Nedroma, Ghazaouet et Tounane). Il s'agit notamment de Bab El Assa, Marsa Ben Mhidi, Fellaoucene, Honaine et Beni Khaled. Les données récentes de la population de l'année 2003 nous montre que la zone centrale est fortement concentrée avec 64 % de la population totale de la zone. La population de la zone centrale représente 62 % au niveau des agglomérations chefs-lieux, 21 % au niveau des agglomérations secondaires et 17 % au niveau des zones éparses. La zone occidentale concentre 42 % au niveau des agglomérations chefs-lieux, 26 % au niveau des agglomérations secondaires et 32 % au niveau des zones éparses. La zone orientale concentre 70 % au niveau des agglomérations chef lieux, 26 % au niveau des

agglomérations secondaires et 4 % au niveau des zones éparses. La densité de populations est forte au niveau des Traras centraux avec 272 habitants/km², par ailleurs elle devient faible au niveau des zones Est et Ouest avec 84 et 74 habitants/km². La densité la plus faible est enregistrée au niveau de la commune de souk Tleta avec 37 habitants/km², alors que la plus forte est enregistrée au niveau de la commune de Ghazaouet avec 1.272 habitants/km². La population rurale est définie par rapport au statut de l'agglomération ainsi que la proportion d'actifs agricoles au niveau de chaque commune. La population rurale représente une proportion significative des habitants. Le recensement général de la population et de l'habitat effectué en 1998 nous montre que plus de 50% de la population des monts des Traras est classée rurale. Elle représente 90 % pour la région orientale, 73,5 % pour la région occidentale et 42 % pour la région centrale. Le nombre total de la population est réparti par commune dans l'annexe 11.

Parmi les activités socioéconomiques nous citons ceux qui suivent :

- a. Le tourisme de transit ; la présence d'une bande frontalière assez conséquente fait que le territoire de la wilaya de Tlemcen draine des flux de population très importants. Actuellement les postes de transit ne sont pas fonctionnels mais il n'empêche que ce type de tourisme pourrait être développé à l'avenir à travers le poste frontalier de Boukanoun,
- b. Les activités agricoles et d'élevage ; les pratiques agricoles (agriculture et élevage) de la population rurale de proximité peuvent exercer sans doute une pression sur les terres en particulier agrosylvopastorales des zones rurales. Les pressions sur les milieux sont nombreuses, on cite en particulier l'agriculture (élevage, pacage et piétinement) le défrichage, la coupe de bois et le feu de forêts, Ces différentes formes de pressions peuvent induire des impacts négatifs pouvant accentuer la sensibilité, la fragilité et la vulnérabilité des écosystèmes de la zone. L'analyse des données d'élevage nous montre que le cheptel existant dans la zone est important. Il est composé principalement d'ovins (45,85%) et de caprins (62,52%) qui fréquentent souvent les zones de montagnes. L'action intense de cette charge de troupeau sur les parcours de la région modifie considérablement la richesse floristique à l'exception du cheptel bovin qui est alimenté en extensif se trouve concentré au niveau des agglomérations (Hasnaoui *et al.*, 2005).

Conclusion sur le milieu urbain

La population des Monts des Traras représentait 28% de la population totale du chef-lieu (wilaya de Tlemcen). Le nombre d'habitant au sein de la zone s'accroît dans le temps et l'espace surtout au niveau des communes attractives. La population des Traras a passé de 98.077 hab. en 1966 à 177.971 hab. en 2008 ce qui correspond à une augmentation de 79.894 hab. en 42 ans (1.902 hab./an) (ANAT, 2010). La

survie de cette population qui demeure croissante nécessite une forte demande en ressources naturelles pour satisfaire leurs besoins vitaux. Une telle satisfaction est assurée au détriment de l'exercice de fortes pressions en particulier sur les ressources en eau et en sols. Cette situation montre à première vue la priorité à accorder aux programmes de développement de proximité en matière d'eau, logement, l'agriculture et de l'industrie. La semi aridité du climat conjuguée à la nature des sols expose le milieu aux phénomènes d'érosion fragilisant davantage l'agriculture de montagne qui a le caractère vivrier et stabilisateur de la population riveraine sur place.

2.2 Utilisation des données météorologiques

La connaissance du climat est un élément indispensable de l'approche du milieu. La circulation atmosphérique est le mouvement à l'échelle planétaire de la couche d'air entourant la terre qui redistribue la chaleur provenant du soleil. En conjonction avec la circulation océanique, elle contribue ainsi à la variabilité spatiale et temporelle des climats (Tisseuil, 2009). Le climat est une ressource naturelle qui affecte une bonne partie des activités humaines telles que la production agricole, la consommation d'énergie, l'utilisation de certaines ressources telle que l'eau, etc..., son influence sur notre vie est très grande (Boucherf, 2010). La synthèse climatique est donc une étape indispensable à toute étude environnementale. Elle conditionne par le biais de ces composantes, le type de climat et de la couverture végétale (Hedidi, 2020). La caractérisation climatologique du site reste un document de base indispensable et très facilement exploitable pour toute construction en place et tout projet de construction ou d'aménagement (FAO, 2008) surtout celui de type biotique car tous les êtres vivants de la plante est le seul qui subit entièrement le climat du lieu où elle végète. De nombreux facteurs influent sur les cycles annuels du monde végétal et animal et parmi eux les conditions climatiques jouent un rôle important (Defila & Clot, 2003). Les variables climatiques influencent incontestablement la distribution géographique des espèces, souvent au travers de seuils de tolérance physiologique à la température, la précipitation ou l'humidité spécifiques à l'espèce (Thuiller, 2003). Le facteur climatique détermine donc les caractéristiques et les possibilités du couvert végétal. Le domaine méditerranéen, répond à un climat spécifique dans lequel, cas unique au monde, la saison sèche coïncide avec la chaleur estivale et en constitue le seul trait immuable. La durée de la saison sèche varie dans l'année entre 1 et 7 mois, introduit plus que des nuances entre les rivages Nord et Sud de la méditerranée (Bourbouz, 1999). Les températures chaudes en été dépendent de la latitude, de l'altitude et de la continentalité. Dans la région méditerranéenne, les étés sont chauds et secs et les hivers relativement doux, les pluies concentrées principalement au printemps et en automne et très rares en été. La tendance méditerranéenne s'opposant aux tendances désertiques et tropicales vers le Sud et le Sud-Est, à la tendance (steppique) vers le Nord-

Est et à la tendance tempérée au Nord (Unesco-Fao, 1963). Bessaoud (2008) montrait que l'évolution du climat au Maghreb au XXème siècle a été marquée par ceux qui suivent :

- a. Augmentation de température de 1 et 2°C soit le double de la hausse moyenne planétaire (0,74°C) à partir de 1970,
- b. Modification de la quantité et de la répartition des pluies, baisse de la moyenne annuelle comprise entre 10 et 20%,
- c. Occurrence plus grande des sécheresses (1 année sur 3),
- d. Intensification des inondations (1990 en Tunisie, 2001 en Algérie et 2002 au Maroc, vagues de chaleur en toute saison),
- e. Elévation du niveau de la mer (3 à 4 fois plus rapide à Sfax -Tunisie que la moyenne mondiale de 1,5 -2mm/an).

L'analyse des séries de température et de précipitation observées dans la région de l'Ouest Algérien (la particularité des 30 dernières années) a bien montré qu'il y a déjà une tendance à la hausse marquée d'environ de 2°C des températures minimales et maximales et une diminution des précipitations de l'ordre de 25% (constatée en particulier dans la région de Mascara) conjuguée à l'augmentation de l'évapotranspiration suite au déficit du bilan hydrique du sol. L'Ouest Algérien a connu ainsi de grandes sécheresses (Matari, 2010). Le nombre de journées chaudes et le nombre de vagues de chaleur se sont élevés de plus de 50 % durant les trente dernières années, Cette tendance à la hausse a commencé un peu avant (à la fin des années 1980) à Oran (Matari, 2016).

2.2.1 Facteurs thermiques (température)

Pour caractériser le climat des Monts des Traras (zone d'étude) nous avons téléchargé à partir du site web (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>) les moyennes mensuelles et annuelles des températures et des précipitations enregistrées entre 1984 et 2020 (36 ans) pour la région de Ghazaouet située en latitude (35,0616° N), longitude (1,7799° O) et altitude moyenne de 375 m. Avant d'utiliser les données fournies par le site, nous avons comparé les valeurs moyennes annuelles des températures et des précipitations enregistrées en 2010 par le site de la Nasa (T moy = 19,48°C et P Moy = 580,08 mm) avec celles enregistrées localement en 2010 par la station météorologie de Ghazaouet (T moy = 19,30°C et P Moy = 531,90 mm). L'analyse montre que les valeurs sont comparables et peuvent être exploiter. Parmi les valeurs de températures, avons utilisé les valeurs moyennes (T) des maxima du mois le plus chaud (M) et minima du mois le plus froid (m). Les valeurs sont exprimées en °C (annexes 25).

L'analyse des données thermiques (annexes 25) montre que la température moyenne annuelle a passée de 19,45 °C en 1984 à 20,97 °C en 2020 ce qui correspond à une augmentation moyenne de 1,52 °C en 36

ans (0,04 °C/an). L'analyse montre que les mois de juin, juillet, août, septembre et octobre sont chauds et secs et ce qui montre que les vagues de chaleur débutaient dès le mois de Juillet (Matari, 2016). Cette augmentation de température a provoqué la prolongation des mois chauds et secs (Unesco-Fao, 1963) durant plusieurs années. La variation des températures moyennes annuelles est représentée par la Fig. 17 suivante :

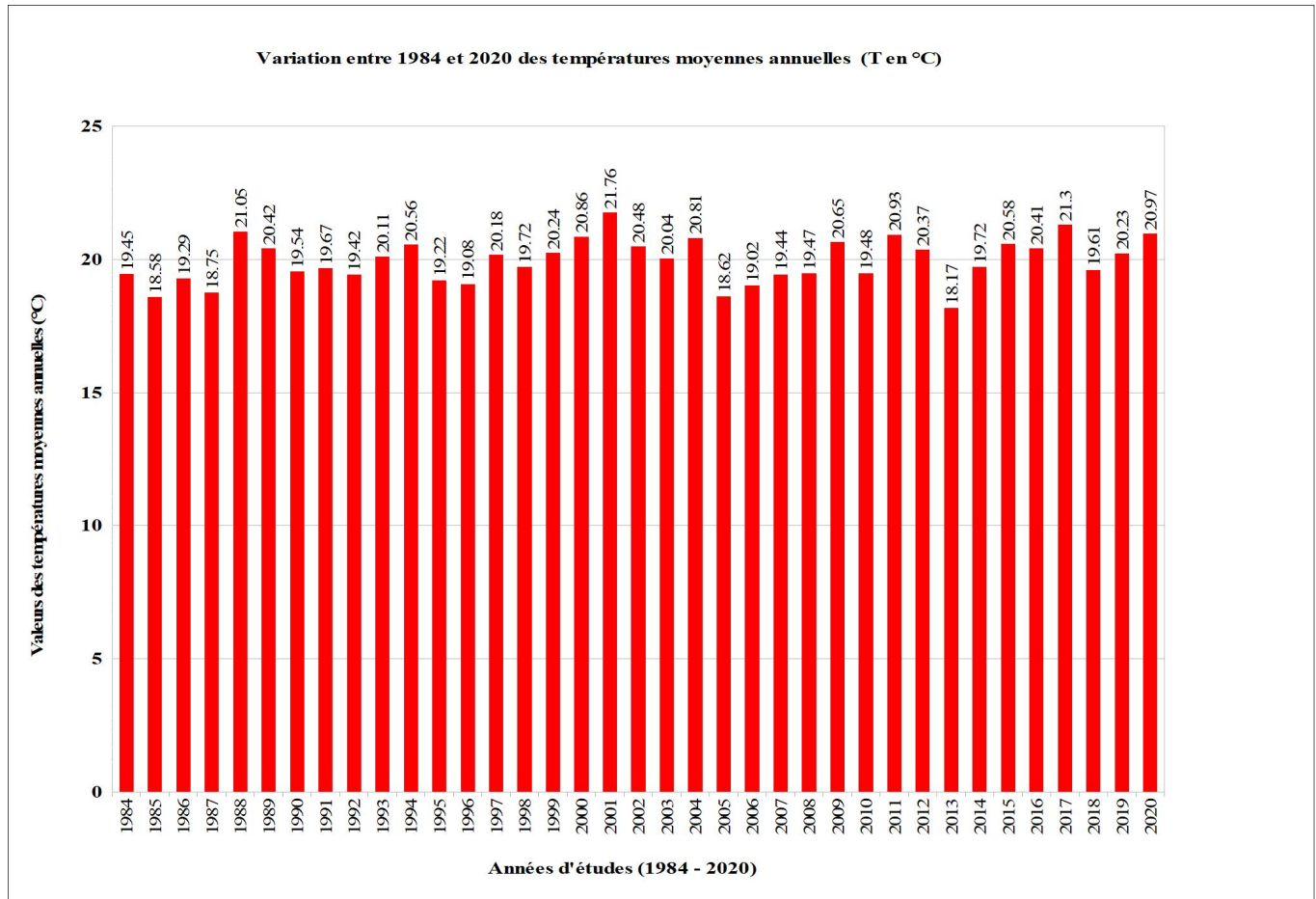


Fig. 17: Variation entre 1984 et 2020 des températures moyennes annuelles (°C).

L'analyse de la variation des données thermiques (Fig. 17) montre que la température moyenne annuelle est variable d'une année à l'autre, elle dépassait 20 °C pendant 18 années soit la moitié (50%) des années de la période étudiée. La température a dépassé même le seuil de 21 °C durant l'année 1988, 2001 et 2017. Cette élévation de température augmente l'évaporation (Ababou, 2010) et en accentue la période de sécheresse.

2.2.1.1 Indice de continentalité

Pour déterminer le type d'influences locales sur la zone, nous avons calculé pour chaque année l'écart thermique entre la température moyenne des maximas (M) et des minimas (m). Les résultats sont exprimés en °C (annexe 27).

L'analyse de l'indice de continentalité (annexe 27) 19 montre que l'indice de continentalité moyen est de 34,58, il est compris entre 25 et 35 ce qui montre que la zone est soumise à l'influence du climat semi-continental. Cette amplitude thermique peut avoir des répercussions négatives sur l'état de la végétation spontanée (Floret & Pontanier, 1984).

2.2.1.2 Conclusion (facteurs thermiques)

Nous pouvons conclure que la température moyenne a augmentée de 1,52 °C en 36 ans (1984 à 2020) ce qui correspond à une augmentation moyenne annuelle de 0,04 °C. La moyenne annuelle a dépassé 20 °C pendant 18 années c'est-à-dire la moitié (50%) de la période fixée pour l'étude et elle a dépassé 21 °C durant l'année 1988, 2001 et 2017. Cela montre que la zone a subi une sécheresse prolongée et accentuée.

2.2.2 Facteurs hydriques (précipitation)

Il faut bien retenir que le développement des végétaux est fonction de la quantité absolue d'eau disponible et sa répartition le long de son cycle végétatif (Boudy, 1948). Le facteur précipitation joue un rôle majeur. L'intervention du climat régional sur la croissance n'est pas homogène car les facteurs stationnels (sol, pente, altitude et exposition) modulent l'action. La distribution de la variabilité des précipitations n'est pas aléatoire. Trois éléments structurent les fluctuations annuelles des pluies à savoir la latitude, la longitude et l'altitude de la zone. La variabilité interannuelle des pluies augmente lorsque l'on se rapproche des régions arides (Meddi & Meddi, 2007). En Afrique du Nord, les pluies sont souvent enregistrées durant les périodes fraîches d'octobre à avril avec une tranche pluviométrique ne dépassant 400 mm que sur une petite partie de leurs territoires (Bessaoud, 2008). En Algérie, la pluviosité a été constaté à la baisse et ce depuis 1975 (Boucherf, 2010). Entre 1926 et 2006, la quantité moyenne annuelle des précipitations à l'ouest du pays en particulier à Oran a chuté d'environ 15% (Bessaoud, 2008). Les pluies sur la région de Tlemcen sont soumises à l'influence de l'altitude d'une part et de la proximité des steppes d'autre part. Pour caractériser les facteurs hydriques des Monts des Traras, avons téléchargé à partir du site web (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>) les moyennes mensuelles et annuelles des précipitations enregistrées entre 1984 et 2020 (36 ans) pour la région de Ghazaouet située en latitude (35,0616° N), longitude (1,7799° O) et altitude moyenne de 375 m. Les valeurs sont exprimées en mm (annexe 26).

L'analyse des données hydriques (annexe 26) montre que la moyenne annuelle des précipitations a passé de 400 mm en 1984 à 316 mm en 2020 ce qui correspond à une diminution de 84 mm en 36 ans soit une baisse moyenne annuelle de 2,33 mm. Cela montre que cette diminution a provoqué un déficit de précipitation sur plusieurs mois de l'année. Entre 1980 à 2003 (23 ans) le déficit est estimé à 30% au sein de la station de Ghazaouet (Okkacha *et al.*, 2005). Le grand déficit se coïncide avec les mois secs (mai, juin, juillet, août, septembre et octobre) de la saison estivale. La variation interannuelle des précipitations est présentée graphiquement dans la Fig. 18.

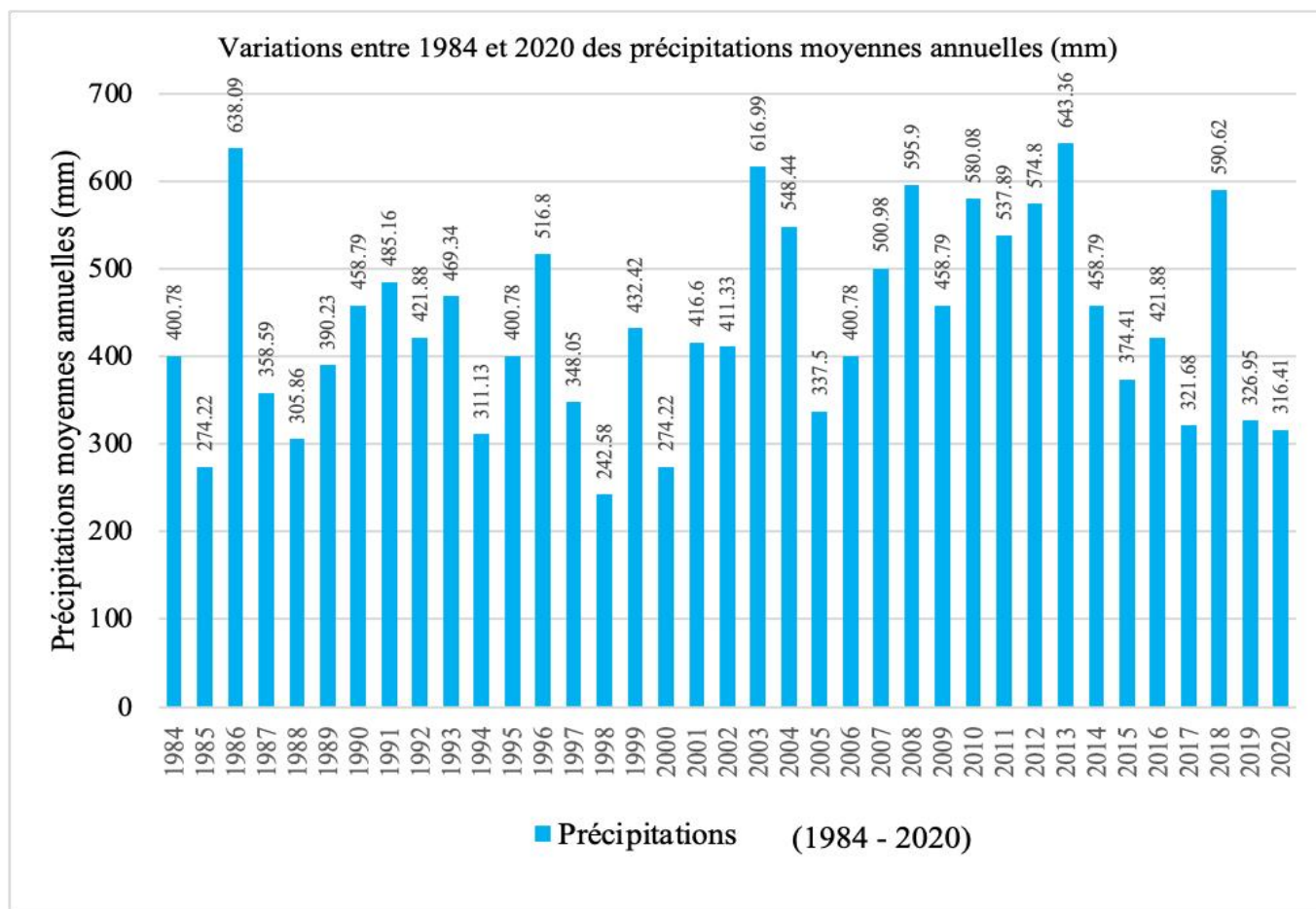


Fig. 18: Variation entre 1984 et 2020 des précipitations moyennes mensuelles et annuelles.

L'analyse de la variation des données hydriques (Fig. 18) montre que la tranche pluviométrique moyenne annuelle était supérieure ou égale à 400 mm pendant 2/3 (24 années) et inférieure à 400 mm durant 1/3 (12 années) des années de la période étudiée. L'analyse statistique montre que le coefficient de variation entre les moyennes mensuelles et annuelles varie entre 66 et 92 %.

2.2.2.1 Régime saisonnier des pluies

Tab. 18 : Précipitations moyennes saisonnières

Période	Hiver (H)	Printemps (P)	Eté (E)	Automne (A)	Total	Type de régime saisonnier
1984 à 2020	154,64	89,36	39,62	153,21	436,83	HAPE

L'analyse du Tab. 21 montre que le régime saisonnier des pluies est de type Hiver - Automne - Printemps - Eté (HAPE) dont plus de 71% de la pluviométrie moyenne annuelle sont enregistrées durant la saison de l'Automne et de l'Hiver. La saison de l'Eté est la saison la plus sèche (9%).

Conclusion sur les facteurs hydriques

L'analyse statistique montre que les précipitations moyennes mensuelles et annuelles ont été estimées à la baisse par rapport à l'année de référence (1984). Un recul de 84 mm d'eau de pluie ce qui correspond à une régression moyenne annuelle de 2,33 mm, Cela montre que cette diminution a des répercussions négatives sur les milieux de la zone.

2.2.2.2 Diagramme Ombrothermique

Selon Jean-Sébastien GION (1998) le climat méditerranéen apparaît quand les précipitations d'été deviennent inférieures à deux fois la valeur des températures moyennes (T) c'est-à-dire $P < 2T$. La période de sécheresse apparaît dès que la courbe des températures ($2T$) vient de couper celle des précipitations (P). Le mois est biologiquement sec lorsque $P < 2T$.

Pour caractériser les saisons de la période étudiée, nous avons tracé selon la loi de classification ($P = 2T$) mise au point par Gaussen & Bagnouls (1957), le diagramme Ombrothermique pour l'année 1984 est présenté dans la Fig. 19.

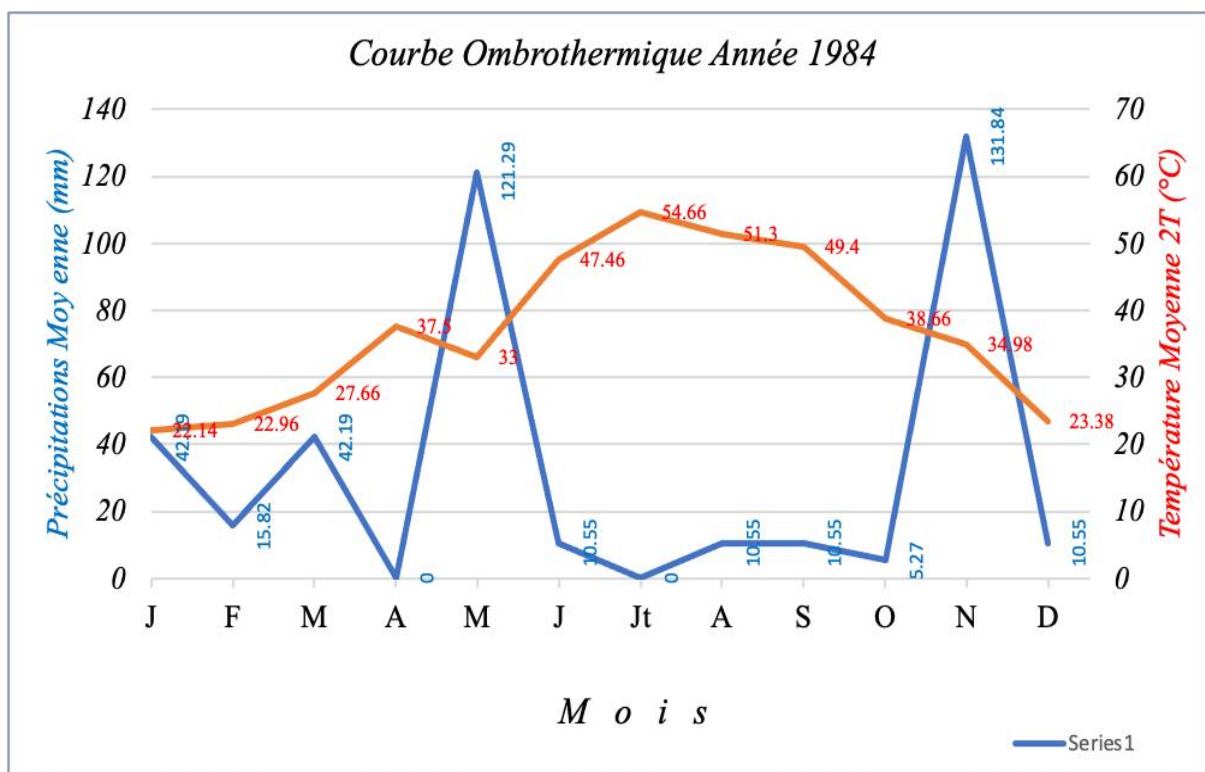


Fig. 19 : Diagramme ombrothermique de Gaussen & Bagnouls, établi pour la période (1984).

L'analyse du diagramme ombrothermique (Fig. 19) montre que durant l'année 1984, la période sèche s'est étalée du mois de juin au mois d'octobre, soit 5 mois secs durant la même année.

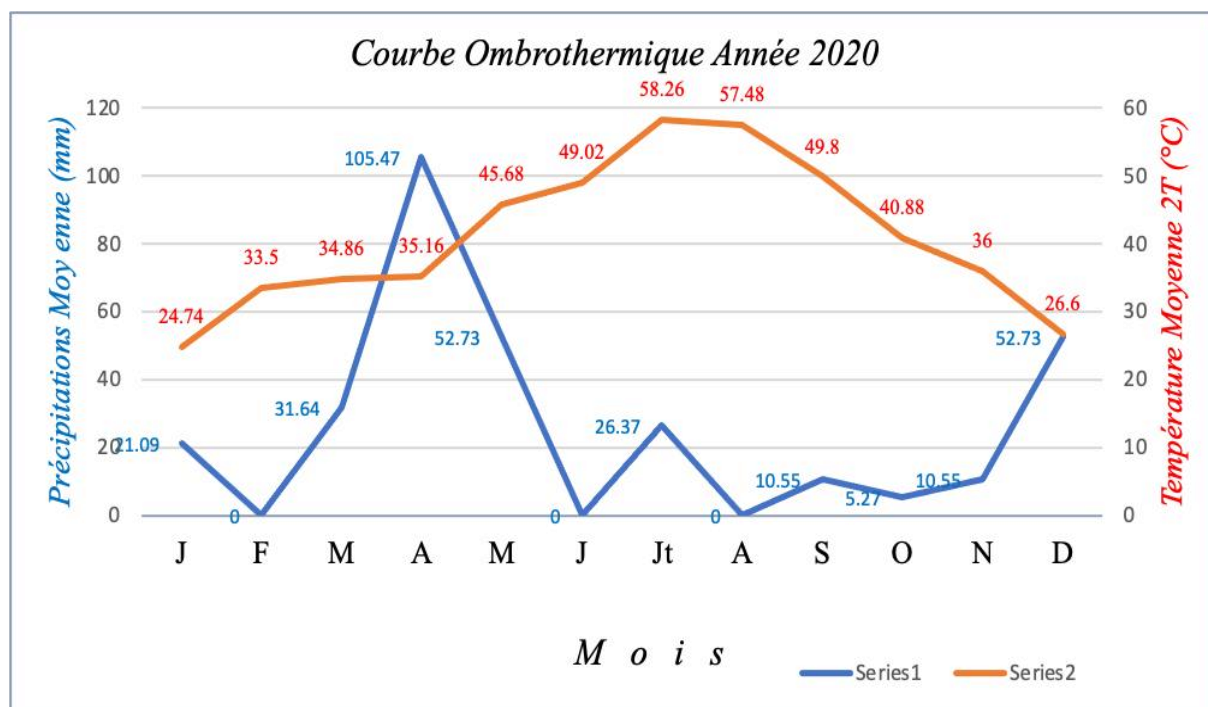


Fig. 20: Diagramme ombrothermique de Gaussen & Bagnouls, établi pour l'année 2020.

L'analyse du diagramme ombrothermique (Fig. 20) montre que la période sèche a duré 7 mois (juin à décembre) durant l'année 2020, ce qui correspond à une période sèche plus longue (7 mois) dans l'année.

Conclusion

L'analyse des deux courbes ci-dessus (Fig. 11 et 12) montre que le nombre de mois secs a passé de 5 mois secs en 1984 à 7 en 2020, ce qui correspond à une prolongation de la période sèche de 2 mois secs en 36 ans soit une moyenne d'un (1) jour et demi par an. La période humide a passé aussi de 7 mois humides en 1984 à 5 mois en 2020 ce qui correspond à une réduction de la période humide de 2 mois. Les changements dans la durée des périodes sèches et humides ont été provoqués naturellement par le changement dans les variables climatiques (température et précipitation). La variabilité climatique a été causée principalement d'après nos résultats par l'augmentation de la température moyenne de 1,52°C en 36 ans (0,04°C/an) et de la diminution des moyennes mensuelles des précipitations de 84 mm d'eau en 36 ans (2,33mm/an).

2.2.2.3 Quotient d'Emberger

Le quotient d'Emberger est spécifique du climat méditerranéen. Les méthodes d'Emberger tiennent compte des extrêmes thermiques (M) et (m) entre lesquels se déroulent la vie végétale, ces deux niveaux (M et m) peuvent être considérés comme des seuils écologiques pour telle ou telle espèce végétale (Benabadji & Bouazza, 2000).

Pour calculer le quotient d'Emberger, nous avons appliqué la formule de Stewart (1974) suivante :

$$Q2 = 3,43 P / (M - m).$$

Avec :

- ✓ P : pluviométrie moyenne annuelle,
- ✓ m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid,
- ✓ M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud.

Pour tracer le Climagramme, nous avons porté en abscisse du plan la valeur de m (°C) du mois le plus froid ou l'intensité de la rigueur de l'hiver et la valeur de Q2 sur l'axe des ordonnées (Q2). Les valeurs exprimées en °C et mm sont représentées dans le Tab. 19.

Tab. 19 : Quotient d'Emberger (Q2) de la station d'observation (1984 à 2020).

Période	M (°C)	m (°C)	P (mm)	Q2	Étage bioclimatique
1984 à 2020	37,24	2,66	436,84	37,57	Semi-aride à hiver frais

L'analyse du quotient d'Emberger (Tab. 19) montre que les températures moyennes minimales (m) varient entre 1,8 (1984) et 3,7°C (2020). Le quotient d'Emberger (Q2) est 37,57. Les résultats ainsi obtenus ont permis de situer le site d'observation dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais (Fig. 21).

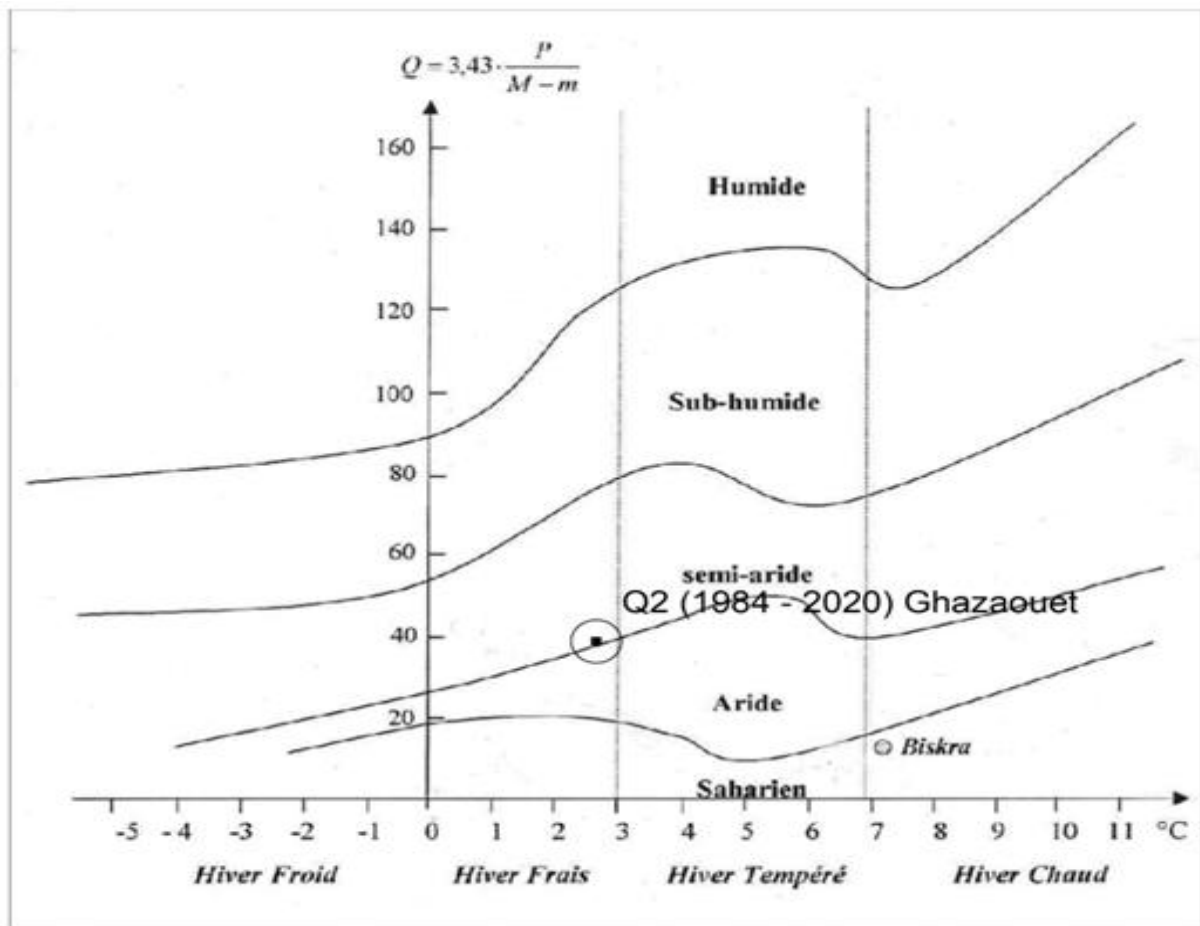


Fig. 21: Climagramme d'Emberger (d'après Quézel *et al.*, 1988) pour la période (1984 - 2020).

L'analyse du Climagramme d'Emberger (Fig. 21) montre que l'hiver au niveau du site d'observation est frais avec $m = 2,66 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.2.3 Facteurs mécaniques

2.2.3.1 Le Vent

Les vents sont importants en région méditerranéenne. L'alternance de chaîne de montagne et de plaines fluviales créent des couloirs de vent entre la mer et l'intérieur des terres. Ces vents ont un fort impact sur la végétation. Les vents secs assèchent la terre et une partie des précipitations tombées ne parvient pas aux végétaux (Godel, 2007). Le vent accentue les effets des éléments du climat (température, humidité et précipitation). Il est fortement influencé par les conditions topographiques locales. Le Houérou (1979) a mis en évidence l'existence d'un écart de 20 % pour les valeurs des précipitations pour les versants exposés ou abrités par rapport aux vents pluviaux. Ainsi un vent dominant peut constituer un élément dévastateur pour la végétation. Le vent peut être également responsable du façonnement du relief, de l'évapotranspiration et de la formation de la végétation. Il est également connu pour son effet

disséminateur des graines et des spores. Notre zone d'étude est fortement influencée par la présence de la mer. Les vents dominants sont souvent humides et sont en provenance du Nord - Est et du Nord-Ouest. En effet au cours de la journée la terre se réchauffe plus vite que la mer. Au-dessus de la surface terrestre la chaleur se propage dans les basses couches et donne naissance à des courants ascendants. L'air qui s'élève est remplacé par l'air plus froid et donc plus dense provenant de la mer ; c'est la brise de mer. Au cours de la nuit le phénomène s'inverse car la terre se refroidit plus rapidement que la mer ; c'est la brise de terre, Ce phénomène est responsable des directions sud et nord. Enfin il est possible de retenir de cet aperçu que les groupements végétaux situés sur les versants en pente et exposés au nord ou à l'ouest sont les mieux arrosés.

2.2.3.2 La neige

Il est probable qu'une augmentation globale des températures et/ou une diminution des précipitations hivernales favorise la diminution globale du manteau neigeux (Tisseuil, 2009).

2.2.4 Conclusion sur les données climatiques

La zone d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen de type continental. Elle est située dans l'étage bioclimatique semi-aride avec un hiver frais et un régime pluviométrique saisonnier de type HAPE. Entre 1984 et 2020 (36 ans), les précipitations moyennes annuelles ont été diminuées de 84 mm d'eau de pluie ce qui correspond à une régression moyenne annuelle de 2,33 mm par rapport à l'année de référence 1984. La température moyenne annuelle a augmenté de 1,52 °C ce qui correspond à une augmentation annuelle moyenne de 0,04 °C. Matari (2016) montrait qu'il est très vraisemblable que l'accroissement de la température durant les dernières décennies est dû à l'effet de serre. Entre 1926 et 2006, la température a augmenté dans l'Oranie de plus de 1,5 °C et les précipitations moyennes ont enregistré une baisse comprise entre 10 et 20 % (Tabet-Aoul, 2008). L'étude menée par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) en 2009, basée sur l'examen de séries de données pluviométriques depuis 1900, a montré que la pluviométrie est en baisse de 40 % dans l'Ouest algérien (Bessaoud *et al.*, 2019). La période sèche devient actuellement plus longue ; durant l'année 2020, elle perdure 7 mois. Les études climatiques menées durant la période 1913-1938 et 1987-2012 montraient que l'aridité au niveau de l'Ouest algérien a augmenté ce qui a prolongé la période de sécheresse à 7 mois (Yahiaoui, 2015). La prolongation de la sécheresse a provoqué la diminution de la période humide, ce qui qualifie qu'il y a dans l'année plus de sécheresse que d'humidité. Le grand déficit coïncide toujours avec les mois secs de la saison estivale (Mai, juin, juillet, Août, septembre et octobre). Ce déficit pluviométrique révèle que les milieux physiques et biotiques tendent à vivre des années moins favorables à la bonne croissance des végétaux et au bon développement biologique des écosystèmes. Cela montre

que la zone a subi une sécheresse prolongée et accentuée ce qui a provoqué des répercussions négatives sur ces milieux. De tels phénomènes climatiques extrêmes avec des probabilités différentes d'apparition peuvent provoquer des dégâts importants par des sécheresses, des inondations et, par suite, des pertes de production. Ce genre d'aridité quasi généralisée et prolongée peut réduire d'une manière drastique les ressources naturelles qui dépendent de l'eau.

Chapitre III : Matériels et méthodes

Gérer l'environnement implique d'être capable de décrire son état passé et actuel, de comprendre les processus qui y prennent place, et d'être en mesure de simuler des scénarios de gestion en prévoyant son évolution sous la contrainte des pressions que nous lui imposons. La détection de changements des couvertures du sol à long terme peut indiquer une réaction à des modifications des conditions climatiques locales ou régionales qui sont la base même de la surveillance à l'échelle du globe. Les impacts du changement climatique ne seront pas répartis ni uniformément, ni équitablement à l'échelle du territoire. Sur le plan spatial, certaines régions pourraient se trouver très affectées par les changements, alors que d'autres le seraient moins et pourraient même en tirer parti, ces différences tenant autant à l'exposition aux aléas climatiques qu'aux spécificités géographiques et socio-économiques territoriales susceptibles d'influencer la vulnérabilité des systèmes. Sur le plan humain, les individus les plus défavorisés seront probablement les plus affectés par les impacts du changement climatique car de graves menaces pèsent sur les ressources naturelles soumise d'une part à l'effet des changements climatiques et d'autre part aux impacts des actions de l'homme (Prudent-Richard *et al.*, 2008) d'où le système climatique possède une variabilité naturelle à laquelle il faut ajouter à présent un dérèglement forcé par l'activité humaine. L'étude de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol est utile car elle permet de comprendre les mécanismes de fonctionnement des écosystèmes terrestres naturels. Elle sert aussi comme support à toutes les études environnementales d'aménagement, de gestion et de conservation des écosystèmes naturels. Quel que soit le type d'installation mécanique ou biologique, il est considéré comme étant des unités d'occupation des sols qui nécessitent d'être inventorié et cartographié pour comprendre leurs interactions avec le milieu environnant et d'évaluer l'impact des changements spatiotemporels qui sont mal connus par la société comme le cas de la zone méditerranéenne semi-aride des Monts des Traras situés dans l'Oranie (nord-ouest de l'Algérie). Cette région a connu entre 1926 et 2006 (80 ans), une augmentation de température de plus de 1,5°C et une baisse de précipitation comprise entre 10 et 20% (Tabet-Aoul, 2008) ce qui impacte sans doute les écosystèmes dépendants des facteurs thermiques et hydriques. C'est dans ce concept que nous avons mené notre étude pour détecter, spatialiser et évaluer l'impact des changements climatiques sur les écosystèmes des monts Traras. Pour ce faire, nous avons effectué un diagnostic sur les milieux physiques et biotiques à l'aide des outils de la géomatique (SIG, GPS et la télédétection). La télédétection est l'outil le plus utilisé et le plus efficace dans l'étude de l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol (Benkrid, 2008) et les méthodes de télédétection sont capables d'analyser les informations spectrales, spatiales et temporelles contenues dans l'imagerie satellitaire. Pour caractériser les indices et les variables des milieux, avons appliqué à l'aide des logiciels appropriés les méthodes SIG et télédétection sur les données multi sources (cartographiques, optiques,

exogènes et terrain). Pour se faire, nous avons utilisé les images optiques du satellite Américaine Landsat car la fauchée de l'image couvre la totalité de la zone d'étude, les images d'archives couvrent la période d'étude (1984 à 2020) et les capteurs présentent une richesse spatiale (30m) et spectrale (4 à 11 bandes). A l'aide du logiciel ArcGis 10.8, avons traité 50 images satellites mensuelles, saisonnières et annuelles acquises entre 1984 à 2020 (36 ans) par les capteurs (MSS, TM, ETM⁺ et OLI8) du Landsat (4,5,7 et 8). Les images contiennent des réponses spectrales des unités d'occupation et de couverture des sols et couvraient de grandes périodes temporelles pour la zone (www, nrcan-rncan, gc, ca). Les méthodes de traitement de la série d'images permettaient de détecter le changement qui y est un processus d'identification des différences d'état en l'observant à plusieurs dates différentes ainsi le long de période aussi longue équivalente à celle de la décennie (NASA, 1988) car certains changements importants ont pu intervenir dans cet intervalle de temps susceptibles de conduire à une révision de l'évaluation des surfaces d'occupation du sol, Néanmoins l'évolution lente est beaucoup plus difficile à mettre en évidence qu'une évolution brusque "exemple coupe rase en forêt" (Fall, 2005). Les méthodes ont permis de réaliser pour la zone d'intérêt une série de cartes (géologiques, pédologiques, topographiques et thématiques) décrivant l'historique, l'état et l'évolution de l'inventaire des écosystèmes agricoles, forestiers, urbains et environnementaux du 1984 à 2020 (36 ans). L'interprétation, traitement et l'analyse des résultats graphiques et statistiques ont pu faire apparaître les terres impactées par le changement climatique.

3.1 Choix de la méthode de travail

Nous avons choisi une méthode basée sur la collecte et le traitement des données multi sources. Parmi les sources nous citons les documents administratifs de gestion, les cartes topographiques, données télédéetectées ainsi que celles du terrain. Nous avons appliqué à l'aide du logiciel ArcGis 10.8 les méthodes de scannérisation, géoréférencement, numérisation et la mise en forme des informations géographiques dans un environnement SIG. Pour affiner l'interprétation des images satellitaires, avons appliqué les méthodes de classification automatique et de calcul des indices spectraux (indice de végétation, de l'eau, de l'urbain et de zones forestières brûlées). Pour valider la qualité d'acquisition des données télédéetectées, avons effectué des enquêtes d'observations et de vérification des catégories thématiques sur le terrain afin de rendre les résultats finaux exploitables. Pour ce faire nous avons adopté l'organigramme de la méthodologie (Tab. 20).

Tab. 20: Organigramme de l'approche méthodologique utilisée.

<p>Mise en forme des données :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Recueil des données à partir des documents (de gestion, topographiques, cartographiques et externes tels que images googles earth pro....), 2. Scanarisation et géoréferencement des cartes topographiques, 3. Numérisation des couches d'informations (courbes de niveau, réseau hydrographique, limites, infrastructure de base, équipements, agglomérations rurales et urbaines). 	<p>Recueil et acquisition des données :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Reconnaissance des milieux (physiques, biotiques et environnementaux), 2. Reconnaissance des équipements et des unités d'occupation des sols, 3. Echantillonnage, description des habitats écologiques et vérification des données télédéteectées.
<p>Traitement des données multisources :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Traitement des documents cartographiques, 2. Traitement des images satellitaires, 3. Traitements statistiques, 4. Mise à jour des bases de données, 	<p>Traitement des données terrain :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Contrôle et analyse statistique des données,
<p>Elaboration des cartes thématiques :</p>	<p>Résultats :</p>
<p>Résultats graphiques :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cartes de situation géographique et administrative, 2. Cartes géomorphologiques (hypsométrie, pentes et expositions), 3. Carte du réseau hydrographique, 4. Carte des voies d'accès (RN, CW, Pistes). 5. Carte de lithologie, 6. Carte pédologique, 7. Carte des incendies de forêts, 8. Cartes de l'occupation et couverture des sols, 9. Carte de l'évolution des changements spatiotemporels des secteurs impactés. 	<p>Inventaire général de la zone d'étude :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Milieu physique (MNT, hypsométrie, pentes, et expositions), 2. Milieu hydrographique (réseau des éléments hydrographique), 3. Milieux environnementaux (milieu marin, voies d'accès), 4. Habitats écologiques d'occupations et de couverture de sols (agriculture, forêts et urbanisation).

L'analyse de l'organigramme de l'approche adoptée montre que les résultats finaux sont des produits de cartographie de reconnaissance des milieux physiques, biotiques et abiotiques de la zone d'étude.

3.2 Application de l'outil SIG

3.2.1 Logiciels utilisés

Les données multi sources sont traitées sous une plateforme multi logiciels SIG (Map info 8,0, ArcGis 10,8, Global Mapper 16, ENVI 4,5, Excel 2010 et Paint Shop). Les coordonnées géographiques des échantillons ont été prises sur le terrain à l'aide d'un GPS de marque Garmin 78, Ce GPS fait partie de la génération qui présente une bonne précision planimétrique (Osseni *et al.*, 2014). Ceux-ci ont permis de créer une base de données géographique et alphanumérique pour la zone.

3.2.2 Documents utilisés

Pour acquérir les informations géographiques sur la zone, nous avons utilisé les documents multi sources énumérés comme suit :

➤ Documents de gestion

1. Le plan d'aménagement du territoire de la wilaya de Tlemcen, phase 1 évaluation territoriale réalisé par l'Agence Nationale d'Aménagement du Territoire (ANAT) de Tlemcen,
2. Les données statistiques (2009 et 2013) sur les terres et leurs vocations agricoles fournies par la Direction des Services Agricoles (DSA) de Tlemcen,
3. Les données de l'IFN de la wilaya de Tlemcen établi en 2008 par le Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural (BNEDER) d'Alger fournies par la conservation des forêts de Tlemcen,
4. Les bilans des incendies survenus en forêts de la zone entre 1992 et 2020 établis par la circonscription des forêts de Ghazaouet.

➤ Documents cartographiques

Pour cartographier les milieux physiques, biotiques et environnementaux, nous avons traité les documents cartographiques suivants :

1. Cartes topographiques au 1/50 000 établies en date du 1959,
2. Carte des sols d'Algérie (Oran - f^{elle} N, I,30-NE) au 1/500 000 établie en date du 1952,
3. Carte géologique de l'Algérie au 1/500 000 établie en date du 1952,
4. Carte pluviométrique (moyennes annuelles en mm) de l'Algérie 1913-1963 (50 ans) publié en 1971.

➤ **Documents numériques**

1. Fichier numérique (Comgéo) de découpage administratif des communes d'Algérie,
2. Cartes de Google Maps,
3. Interfaces d'images satellites de Google Earth professionnel et Bing de Microsoft,
4. Image du MNT acquise en date du 20/02/2000 avec une résolution spatiale de 30 m par le satellite "*Shuttle Radar Topography Mission*" (SRTM).

3.2.3 Méthodes de traitement

Pour créer un SIG pour la zone d'étude, nous avons scanné les cartes topographiques avec une résolution de 300 dpi à l'aide d'un scanner professionnel ce qui a permis de reproduire les cartes en images de qualité. Les cartes scannées ont été enregistrées dans un disque dur externe de 1to. A l'aide du logiciel SIG (ArGis 10,8) avons affiché et géoréférencé les cartes en choisissant le référentiel mondial *WGS1984* et la projection *Universal Transverse Mercator UTM zone 30 Nord*. Le géoréférencement des cartes est validé une fois que l'erreur moyenne est minimisée à 1. Les cartes géoréférencées ont été assemblées, mosaïquées et découpées en une seule image couvrant la totalité de la zone d'intérêt. Ensuite avons découpé la mosaïque suivant la taille de la zone afin de réduire la capacité de stockage et d'économiser le temps de traitement. Pour extraire les informations à partir des cartes géoréférencées, avons appliqué à l'aide de la souris de l'ordinateur la méthode de digitalisation à l'écran. La méthode de numérisation des cartes a permis de reproduire sur un fond numérique la géométrie et les attributs des objets géographiques du terrain. Les objets numérisés ont été organisés en couches vectorielles de types ponctuels, linéaires et polygonales (ou zonales). Les produits vectoriels ont été sauvegardés sous format *Shapefile* (*,shp*) et *data base* (*,dbf*) en formant ainsi une base de données géographiques et alphanumériques pour la zone. Les objets topographiques ont été numérisés et reproduits selon les modes de représentations cartographiques suivants :

➤ **Représentation de types ponctuels :**

- a. Toponymie (nom des villes, localité et lieux géographiques),
- b. Points côtés,
- c. Points d'eau, postes de vigie,
- d. Foyers d'incendies survenus en forêts.

➤ **Représentation de types linéaires :**

- a. Voies de communication (routes nationales, chemin de wilaya, pistes agricoles, forestières et sentiers pédestres),
- b. Altitudes du terrain et profondeur du fond marin (courbes de niveau altimétriques et bathymétriques),
- c. Réseau hydrographique (éléments hydrographiques, oueds et chaabets).

➤ **Représentation de types polygonales (ou zonales) :**

- a. Situation géographique et administrative de la zone (limites géographiques et découpage administratif),
- b. Variabilités spatiales du relief (classes d'altitudes, pentes et d'expositions),
- c. Variabilités spatiales des sols (types des sols),
- d. Variabilités spatiales des substrats géologiques (nature du substrat géologique),
- e. Habitats écologiques et unités d'occupations du sol (terres agricoles, forestières, improductives et artificielles).

Dans mettre en place un SIG pour la zone, nous avons appliqué à l'aide du logiciel ArcGis les méthodes de scannérisation, géoréférencement, mosaïquage et découpage sur six (06) cartes topographiques au 1/50 000. Les cartes sont référencées dans le Tab. 21.

Tab. 21: Tableau d'assemblage des cartes topographiques utilisées.

Références des cartes topographiques au 1/50 000 utilisées		
Zone occidentale	Zone centrale	Zone orientale
	1 - EL MOKREUM Feuille n° 207	
2- CAP MILONA Feuille n° 237	3- NEMOURS Feuille n° 238	4- PONT DE L'ISSER Feuille n° 239
5- SIDI BOU DJENANE Feuille n° 268	6- NEDROMA Feuille n° 269,	

L'analyse du fond topographique (Tab. 23) montre que la zone est couverte par 6 cartes au 1/50 000 ce qui montre que le territoire de la zone occupe une grande surface. Les méthodes SIG ont permis d'élaborer le fond topographique pour la zone comme le montre la Fig. 22.

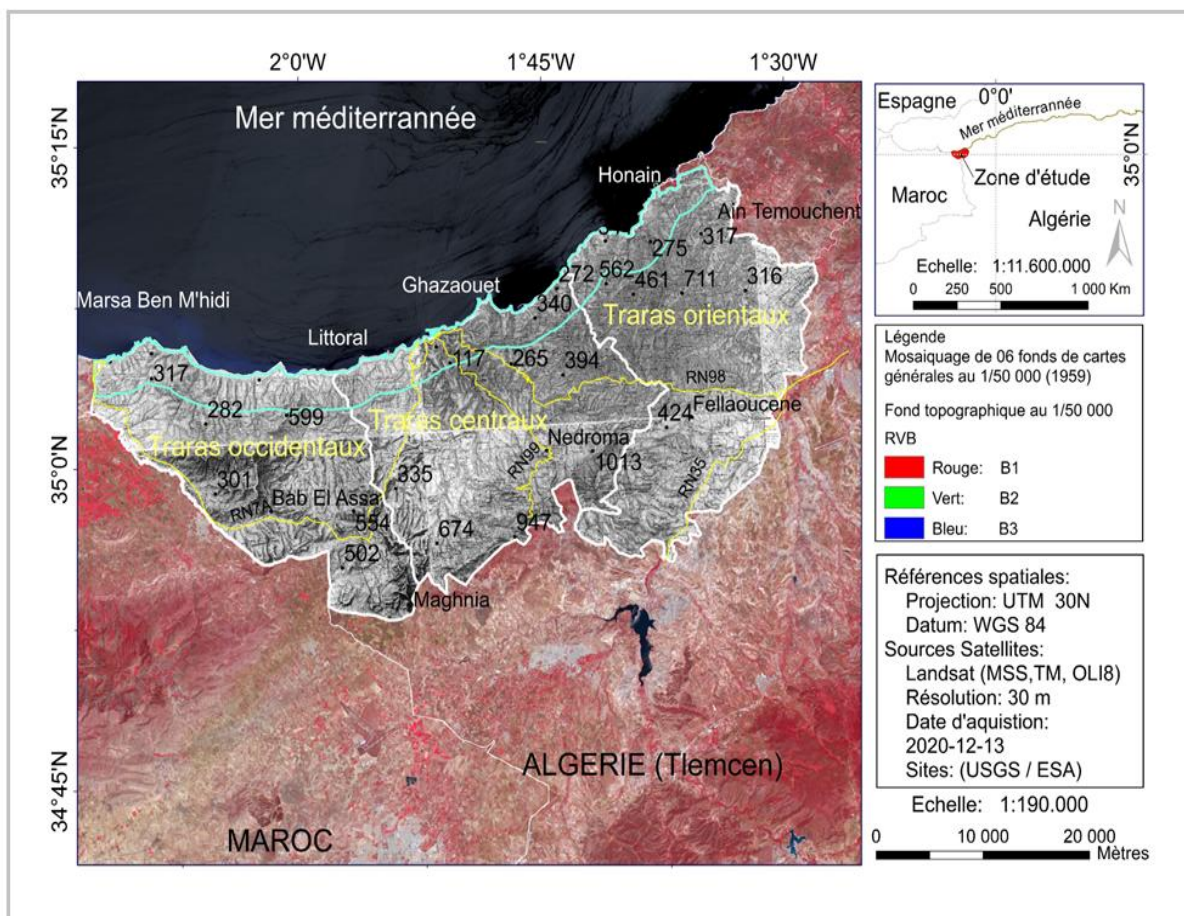


Fig. 22: Délimitation de la zone d'étude sur fond d'image satellite Landsat.

L'analyse du fond topographique (Fig. 22) montre que la zone est située dans le nord-ouest algérien entre les latitudes 35° 23' et 34° 88'N et les longitudes 2°21' et 1°46'O ; leurs coordonnées métriques sont équivalentes à X1= 571 539 m, Y1 = 3 859 974 m et X2 = 639 758 m et Y2 = 3 899 314 m. La méthode SIG d'import du fichier vectoriel (Comgéo) de découpage administratif des communes et wilayas d'Algérie a permis de délimiter administrativement la zone comme le montre la Fig. 23.

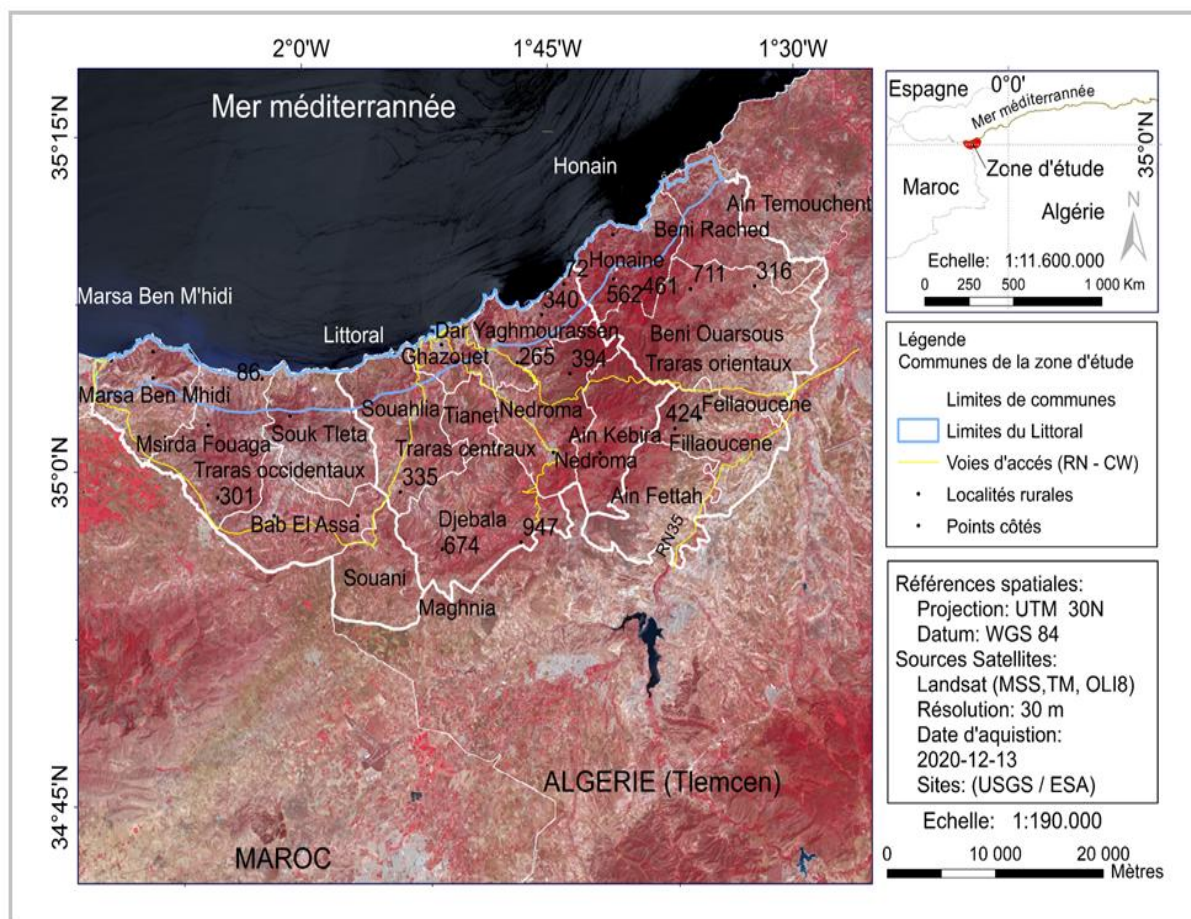


Fig. 23: Situation administrative de la zone d'étude sur fond d'image satellite Landsat.

L'analyse du découpage administratif (Fig. 23) montre que le territoire de la zone s'étend sur 17 communes dont 08 côtières et toutes appartiennent à la wilaya de Tlemcen.

3.3 Application de l'outil télédétection

3.3.1 Données télédéteectées utilisées

Pour remonter l'historique de l'état des lieux et d'inventaires à l'année de référence 1984 et de le mettre à jour à la date 2020, nous avons utilisé les données télédéteectées entre 1984 et 2020. Nous n'avons pas pu utiliser les images du satellite Algérien d'observation de la terre (Alsat-1 et 2) car les images ne sont pas disponibles sur les sites web. Pour les images du satellite Européen (Sentinel-2 de résolution 10 m, 20 m et 60 m) sont disponibles sur le site de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) depuis 2015 mais leurs usages nécessitent l'application de la méthode de mosaïquage car la zone d'étude est couverte par deux images Sentinel-2. Les images mosaïquées n'ont pas pu être croisées avec celles du Landsat car l'outil de traitement *GEOclassifier* du logiciel ArcGis 10.8 n'acceptent en entrée que les images de même résolution spatiale, spectrale et de taille d'emprise identiques. Parmi les images utilisées, nous citons la liste d'images identifiées comme suit :

- 50 images optiques acquises entre 1984 et 2020 par les capteurs du satellite Landsat (*MSS*, *TM*, *ETM⁺* et *OLI8*) avec une résolution moyenne.
- Images optiques générées par le calcul des indices spectraux (*NDVI*, *NDBI* et *NBR*),
- Images Bing de microsoft,
- Images d'archives du Google earth pro. (1984 – 2020).

Nous avons utilisé les images satellites acquises par les capteurs du satellite Landsat (*MSS*, *ETM⁺*, *TM* et *OLI8*) de résolution de 79 m, 28.5 m et 30 m. Welch (1982) a montré que la résolution spatiale de 20 à 30 m constituait un bon compromis et que l'occupation des sols pourra être déterminée à partir du signal spectral enregistré par le capteur (Sparfel, 2011). Nous avons effectué une analyse diachronique sur les mesures spectrales de changements d'affectations des sols contenues dans les images Landsat (Bechet *et al.*, 2017) qui assurent une couverture globale de la Terre depuis 1972 grâce aux capteurs multispectraux ce qui permet de suivre l'évolution globale de l'occupation des sols notamment, l'état de la végétation naturelle et la dynamique urbaine (Souléye *et al.*, 2007). Les images sont corrigées géométriquement et ayant des résolutions (spatiales, spectrales et temporelles) qui répondent aux exigences de la surveillance thématique et au changement des composantes terrestres (Chander *et al.*, 2009) pouvant ainsi cerner les interactions homme-environnement (El Hage, 2011). Pour ce faire, avons téléchargé 50 images satellites à partir du site (<http://glovis.usgs.gov/>) pour observer et analyser les changements d'occupation des sols (Bechet *et al.*, 2017). Les images utilisées sont réparties par type de capteur et dates dans le Tab. 22.

Tab. 22: Liste des images satellitaires utilisées.

Dates d'acquisition des images acquises par les capteurs du satellite Landsat			
MultiSpectral Scanner (MSS)	Thematic Mapper (TM)	Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM ⁺)	Operational Land Imager 8 (OLI8)
MSS (03/07/1984)	TM (13/01/2000)	ETM ⁺ (01/06/2013)	OLI8 (22/07/2014)
MSS (04/08/1984)	TM (23/03/2002)	ETM ⁺ (03/07/2013)	OLI8 (07/08/2014)
MSS (23/09/1987)	TM (24/07/2003)	ETM ⁺ (04/08/2013)	OLI8 (23/08/2014)
	TM (23/06/2006)	ETM ⁺ (10/12/2013)	OLI8 (24/09/2014)
	TM (25/02/2007)	ETM ⁺ (16/03/2014)	OLI8(18/10/2014)
	TM (13/03/2007)	ETM ⁺ (28/02/2014)	OLI8 (26/10/2014)
	TM (8/05/2010)		OLI8 (29/10/2015)

	TM (05/09/2010)		OLI8 (27/07/2016)
	TM (18/12/2010)		OLI8 (28/08/2016)
	TM (04/05/2011)		OLI8 (15/10/2016)
	TM (8/06/2011)		OLI8 (19/11/2017)
	TM (08/09/2011)		OLI8 (21/10/2018)
	TM (23/09/2011)		OLI8 (14/03/2019)
	TM (18/03/2012)		OLI8 (09/10/2019)
	TM (01/12/2012)		OLI8 (28/01/2020)
	TM (24/07/2012)		OLI8 (19/05/2020)
	TM (26/09/2012)		OLI8 (20/06/2020)
			OLI8 (06/07/2020)
			OLI8 (07/08/2020)
			OLI8 (23/08/2020)
			OLI8 (08/09/2020)
			OLI8 (24/09/2020)
			OLI8 (11/11/2020)
			OLI8 (13/12/2020)

L'analyse de la liste des images traitées (Tab. 22) montre que les images téléchargées à partir du site USGS ont été disponibles avec un niveau de correction géométrique et radiométrique suffisants ce qui nous a poussé d'étendre notre étude diachronique sur une période de 36 ans (1984 à 2020). La disponibilité des images temporelles ajoutait une nouvelle dimension et permet une meilleure discrimination pour la cartographie thématique (Dobson *et al.*, 1991) et améliore les possibilités de cartographier les changements (exemple les cicatrices des feux de forêts). Pour affiner l'interprétation des images satellites, avons utilisé les images Bing de Microsoft et du google earth professionnel (images d'archives de 1984 à 2020).

3.3.2 Méthodes de traitement des images satellites

Dans la présente étude, nous avons utilisé une démarche basée sur l'analyse diachronique de l'imagerie satellitaire compte tenu de leurs grands apports dans les études de détection des changements d'utilisation et d'occupation du sol (Heiskanen *et al.*, 2017) en un moins de temps, à faible coût et avec une meilleure précision (Corgne *et al.*, 2016). A l'aide du logiciel ArcGis 10.8, avons appliqué les méthodes de prétraitements et traitements des images satellites.

3.3.2.1 Correction géométrique et radiométrique

Pour mieux exploiter les données télédéteectées, nous avons corrigé et traiter les images à l'aide des outils arctoolbox et GEOclassifier-1.2.3-win32 implémentés sur le logiciel ArcGis. L'outil *GEOclassifier* a été développé par l'Agence Spatiale Européenne (Beltram *et al.*, 2015) dans le cadre du projet *GlobWetland-II* (Wolf, 2011). Avec l'outil *GEOclassifier*, la fusion des bandes (composition colorée), la correction (géométrique et radiométrique), la partition de l'image (segmentation) et la classification automatique en objets thématiques selon un seuil d'homogénéité moyen (25-35) ont été réalisées. Le principe de correction géométrique est basé sur la méthode de correction d'image à image (Jensen, 1996) exemple par rapport à une image de date très récente afin de rendre les pixels sur le même référentiel géométrique. Cette méthode de correction géométrique a été réalisé à l'aide de l'outil *Coregistration*, par contre la correction radiométrique consistait à corriger l'image par rapport à une image saisonnière (acquise au mois de Mai) en utilisant l'outil *Radiometric adaptation* qui ramène les valeurs spectrales sur le même niveau. Ces deux méthodes de prétraitement rendent les images satellitaires utilisables et exploitables.

3.3.2.2 Composition colorée

Pour rendre les images exploitables et comparables entre elles, avons appliqué à l'aide du logiciel ArcGis la méthode de fusion des bandes du profil spectrale (visible et infrarouge) qui a permis de reconstituer les images en modes multispectrales. La méthode de fusion offrant la possibilité d'exploiter simultanément des images provenant de capteurs différents lors de l'étape de prétraitement précédant la classification d'images (Bechet *et al.*, 2017). Ensuite avons découpé les images multispectrales selon la taille de la zone en imagettes de dimension économique en taille, en capacité de stockage et en temps de traitement.

3.3.2.3 Segmentation

La méthode consiste à extraire de l'information à partir de l'image. Cette technique repose sur deux étapes. Une fois que l'image est corrigée, elle est segmentée en régions afin d'obtenir des objets significatifs. Puis des données spectrales, spatiales et contextuelles sur ces objets sont recueillies afin d'orienter la classification de l'image en utilisant des fonctions statistiques d'appartenance. Pour préparer

la classification des catégories thématiques présentes sur les images, nous avons appliqué tout d'abord la méthode de segmentation à l'aide de l'outil *image segmentation* de *GEOclassifier*. Ce type de traitement est une approche « orientée-objet » qui repose sur la notion de segmentation, c'est-à-dire elle divise l'image en « objets » ou « segments » ou en polygones. Ce sont des groupes de pixels de propriétés spectrales et spatiales similaires, générés à partir de critères d'homogénéité. Les segments produits entreront par la suite dans une étape de classification automatique de l'image (Bonnet *et al.*, 2011). La méthode a permis de partitionner l'image en plusieurs polygones homogènes caractérisés par les mêmes caractéristiques et propriétés spectrales. Les polygones ainsi obtenus représentent les classes réelles d'occupation du sol similaire.

3.3.2.4 Création des zones d'entraînement au sol

Afin de caractériser les habitats écologiques de la zone, la typologie appliquée de l'inventaire est *Corine Land Cover*. Cette dernière associe les deux champs sémantiques de l'occupation des sols en méditerranée (Sparfel, 2011). C'est une base de données géographique issue de l'interprétation visuelle d'images satellitaires (Oncea, 2014) et de la méthode de classification de Corine et Ramsar appliquée aux catégories thématiques présentes dans le bassin méditerranéen (Beltram *et al.*, 2015). Cette approche a déjà été utilisée dans le cadre des travaux d'observation, de cartographie et de suivi de l'évolution des terres humides méditerranéennes par la télédétection (Beltrame *et al.*, 2015). Pour appliquer cette méthode dans notre travail, avons identifié les unités d'occupation du sol observées dans la zone d'étude selon la nomenclature de la base de données géographique *CLC* (CGDD, 2009) afin de permettre d'élaborer une cartographie (Beltram *et al.*, 2015) de l'occupation des terres. Dans notre travail, avons appliqué le model de cette base de données géographique pour uniformiser les classes d'habitats écologiques observées sur le terrain. La méthode consiste à identifier, codifier et éditer les catégories thématiques observées sur le terrain en *Classe Land Cover (CLC)*. Parmi les principales classes d'occupation des sols observées, nous citons la *CLC24* (zones agricoles hétérogènes) *CLC31* (Forêts) *CLC33* (espaces ouverts sans ou/ avec peu de végétation) et *CLC11* (Zones urbanisées). L'artificialisation désigne toutes activités humaines par lesquelles certaines surfaces de terres sont converties en constructions d'infrastructures socio-économiques qui deviennent par conséquent une occupation urbaine, périurbaine et éparses ou isolées en milieu rural. L'urbanisation est l'un des principaux moteurs de l'artificialisation des sols (Bechet *et al.*, 2017). Les sols artificialisés regroupent les zones urbanisées, les zones industrielles ou commerciales, les réseaux de communication, les mines, les décharges et les chantiers (Bleu & Antipolis, 2003). Dans notre étude nous désignons par sols artificialisés toutes constructions qui occupaient les surfaces retirées de leurs états naturels, c'est-à-dire de leurs usages agricoles ou forestiers.

Les classes thématiques observées sur le terrain sont identifiées, codifiées et éditées en *Classe Land Cover (CLC)* dans le Tab. 23.

Tab. 23 : Classes *CLC* d'occupation et couverture du sol

Classes <i>Corine Land Cover (CLC)</i> d'occupation et couverture du sol	Codes
Zones urbanisées	<i>CLC11</i>
Zones agricoles hétérogènes	<i>CLC24</i>
Forêts	<i>CLC31</i>
Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation	<i>CLC33</i>

A la fin nous avons appliqué à l'aide de l'outil *classification*, la méthode de la classification supervisée « orientée objet » en utilisant les classes *CLC* (11, 24, 31 et 33) d'apprentissage. Ensuite avons intégré les produits de la classification dans un environnement SIG pour la spatialiser et mettre à jour les données d'inventaires (Elbouqdaoui *et al.*, 2005).

3.3.2.5 Calcul des indices spectraux

Pour affiner l'interprétation des images et améliorer les résultats des classifications, avons calculé les indices spectraux (Bechet *et al.*, 2017). L'indice de végétation nous permet de caractériser la diminution du couvert végétal liée à l'intensification de la pression humaine. Pour cela, deux techniques sont utilisées, l'une basée sur la différence des indices de végétation *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)* qui est basée sur la mesure de luminance dans le visible et l'infrarouge, et l'autre sur la comparaison des images classées, afin de mettre en évidence le changement affectant la végétation.

L'indice de bâti ou urbain *Normalized Difference Built-up Index (NDBI)* et des zones forestières brûlées *Normalized Burn Ratio (NBR)* sont aussi calculés. Les indices sont connus sous des sigles anglophones lesquels peuvent être déterminés par les formules suivantes :

1. $NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$
2. $NDBI = (MIR - PIR) / (MIR + PIR)$
3. $NBR = (PIR - MIR) / (PIR + MIR)$

Avec :

PIR : Proche Infrarouge,

MIR : Moyen Infrarouge

R : Rouge,

Nous avons appliqué la méthode de calcul des indices spectraux à l'aide de l'outil Arctoolbox "Calculatrice Raster" implémenté sur le logiciel ArcGis. La méthode a permis d'obtenir une image qui met en relief l'activité et l'intensité chlorophylliennes de la couverture végétale, surfaces bâties et zones forestières brûlées. La méthode de croisement avec ces images d'indices a permis d'apporter un complément utile à l'interprétation. L'analyse des résultats a permis de différencier entre les catégories thématiques et de mieux comprendre leurs changements d'affectation des sols surtout ceux qui connaissent une vitesse de changement très rapide exemples les feux de forêt.

3.3.2.6 Application de l'algorithme adapté et classification automatique

L'objectif de la classification est d'exploiter l'information de l'image pour produire une carte thématique car le traitement numérique d'image permet d'automatiser les processus et, par conséquent, de gagner du temps notamment pour travailler sur des grandes surfaces (Bonnet *et al.*, 2011). Pour réaliser une représentation cartographique la plus fidèle possible de la réalité du terrain, avons appliqué la méthode de classification automatique (De Wispelaere, 1994). A l'aide de l'outil *image classification*, avons appliqué la méthode de classification supervisée de type orientée-objet qui offre des avantages considérables sur les classifications classiques pixel à pixel (Sparfel *et al.*, 2010). Le principe de la méthode orientée-objet est de regrouper les pixels similaires en objets que l'on classe sur la base de critères spectraux, texturaux, forme et de voisinage (Gao et Mas, 2008). La classification orientée-objet a montré que l'occupation du sol est significative du point de vue sémantique et réponds mieux à l'interprétation (vérité terrain) (Achbun *et al.*, 2011). L'application de cette méthode a montré un réel intérêt pour la caractérisation des grands types de végétation (Sellin *et al.*, 2013). La méthode a permis de rendre les classes spectrales échantillonnées en unités réelles d'occupation de sols regroupées en classes thématiques (*CLC11, CLC24, CLC31 et CLC 33*) quantifiables. La méthode a permis d'élaborer pour la zone deux cartes d'occupation et de couverture des sols (1984 et 2020).

3.3.2.7 Données terrain et évaluation de la qualité des résultats (ou post-classification)

La méthode d'évaluation de la classification consiste en comparer les résultats des images classifiées (Sparfel, 2011) avec un plan d'échantillonnage. Il existe plusieurs protocoles d'évaluation de la classification et de validation des cartes (Olofsson *et al.*, 2013). Dans notre présent travail, avons utilisé le protocole d'évaluation appliqué par l'institut Tour du valat (France) dans le projet (*Globewetland : GW*) du suivi des changements spatiotemporels des terres humides méditerranéennes car les classes thématiques *CLC* présentes dans notre zone d'étude sont similaires. Pour ce faire, avons choisi aléatoirement cinq (05) échantillons dans chaque segment de classe *CLC* classifiée. La méthode a permis de dégager 330 échantillons sur l'image (1984) et 490 sur l'image (2020). Pour vérifier les échantillons de

l'année de référence (1984). Avons utilisé les données exogènes (archives des documents cartographiques, inventaire forestier, bilans et images Landsat et Google earth Pro.) (Olofsson *et al.*, 2014). Les échantillons pris sur l'image (1984) ont été convertis au format KML/KMZ puis insérés sur les images Google Earth Pro. Cette méthode de croisement a permis le repérage, visualisation, l'interprétation et la comparaison entre les classes *CLC* de l'année de référence 1984 (Fig. 24).

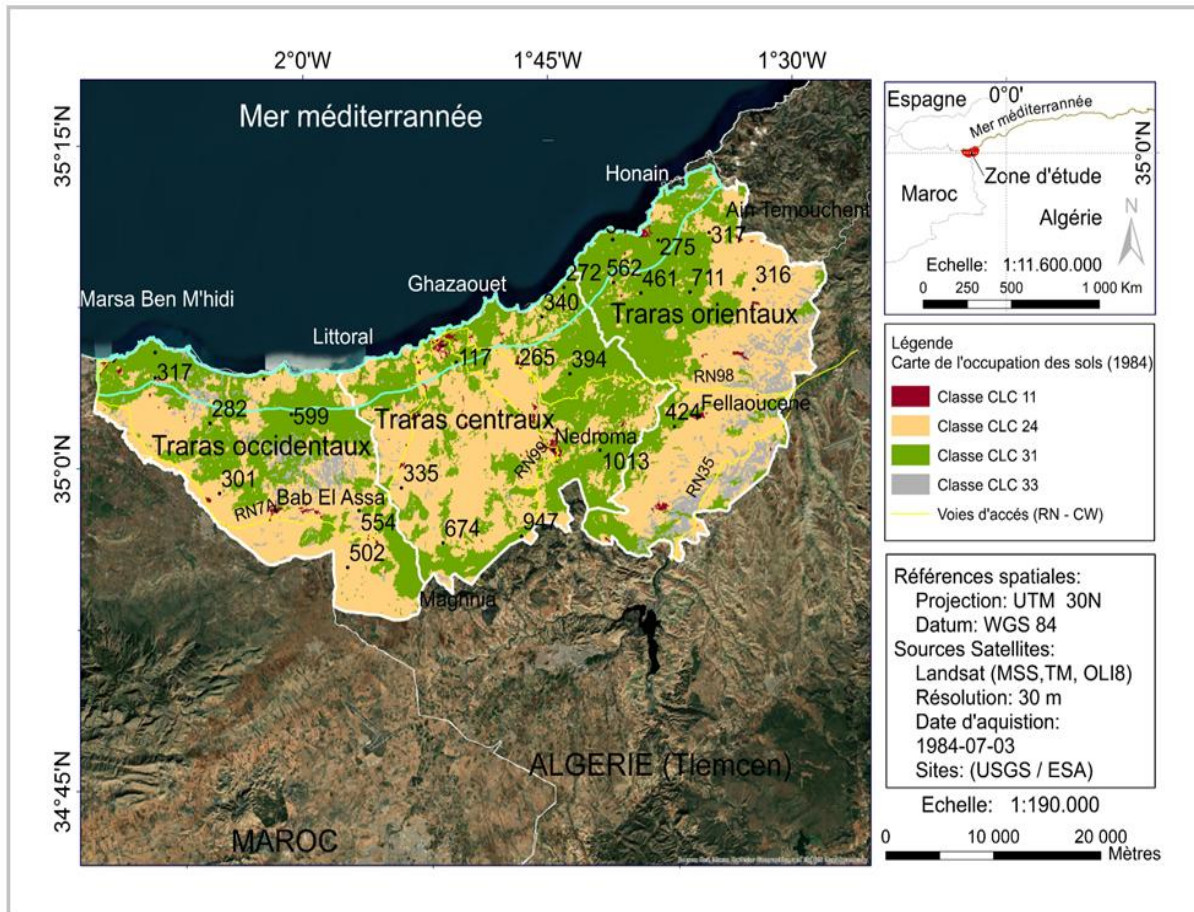


Fig. 24 : Carte des classes *CLC* classifiées (1984) insérées sur l'image Google Earth (1984).

L'analyse du croisement entre les images (Fig. 24) montre que les classes *CLC* de l'année de référence (1984) ont été correctement géoréférencées.

Sur le terrain, avons utilisé un GPS Garmin pour repérer et localiser au sol les échantillons pris sur l'image classifiée (2020). Ensuite avons noté les classes *CLC* par une note 1 à 5 comme Niveau de Certitude (NC) et de 0 à 8 comme Note de référence (Nref) (voir annexe). Le traitement statistique consiste en diviser le total de la colonne NC sur celle de Nref. L'analyse des résultats montre que le taux de précision de la classification de l'image de référence 1984 est de 93% (NC :1380/Nref :1484) et 97% (NC :2240/Nref :2310) pour l'image (2020), ce qui montre que les images (1984 et 2020) ont été bien classifiées et que les données télédéetectées sont assez proches de la réalité du terrain. Les résultats des

classifications peuvent donc être intégrés dans un environnement SIG pour une éventuelle estimation des superficies (Thomlinson *et al.*, 1999).

3.4 Intégration et analyse des résultats dans un environnement SIG

La méthode d'intégration des données fines dans l'environnement SIG a permis d'élaborer pour la période de référence 1984 et 2020 deux spatiocartes d'occupation et de couverture des sols. A l'aide du logiciel ArcGis avons appliqué la méthode de croisement entre les cartes qui a permis de détecter les changements spatiotemporels d'affectation des sols. Par requête de type attributaire, avons obtenu les statistiques qui ont permis de quantifier pour chaque période la dynamique des classes *CLC* d'occupation des sols. Les traitements statistiques ont permis de quantifier pour chaque période étudiée les indicateurs d'état et de suivi de changement spatiotemporel d'affectations des sols.

3.5 Création de la carte et exportation

A l'aide du logiciel ArcGis 10.8, avons appliqué les méthodes SIG de mise en forme universelle sur tous les produits cartographiques. Les méthodes ont permis d'exporter les cartes sous format JPEG, A4 type paysage avec une résolution 300 ppp (*dpi*) et une échelle de sortie de 1/190 000. Les cartes ont été insérées sur un fond d'image satellite ce qui montre leur bon géoréférencement. L'analyse des cartes montre que les objets graphiques présentent une meilleure qualité de visibilité, lecture et de compréhension.

Chapitre IV : Résultats et discussions

L'étude diachronique réalisée à l'aide de l'outil SIG et télédétection a permis d'élaborer pour la zone d'étude une série de cartes qui représentent la situation géographique et administrative, la configuration du terrain, la nature des sols, le type de substrat géologique, le réseau hydrographique, les voies d'accès et la dynamique de changements spatiotemporels d'affectations des sols causé principalement par l'érosion, les incendies de forêts et l'urbanisation.

4.1 Analyse des résultats topographiques

4.1.1 Modèle bathymétrique de la mer de proximité

L'analyse spatiale montre que la zone se situe près de la frontière Algéro-marocaine et elle occupe une surface de 129.500 ha (1.295 km²) le long de la façade sud de la Méditerranée, Elle longe une côte de longueur totale de 70 km, ce qui lui qualifie d'occuper une place de choix sur la mer Méditerranée. Ceci montre que les enjeux environnementaux et économiques sont importants, d'où il est nécessaire d'avoir un renseignement continu du relief au travers des milieux terrestre et maritime (Mascret, 2010). Le traitement des données bathymétriques acquises sur le milieu marin a permis d'élaborer un modèle numérique du fond marin comme le montre la Fig. 25.

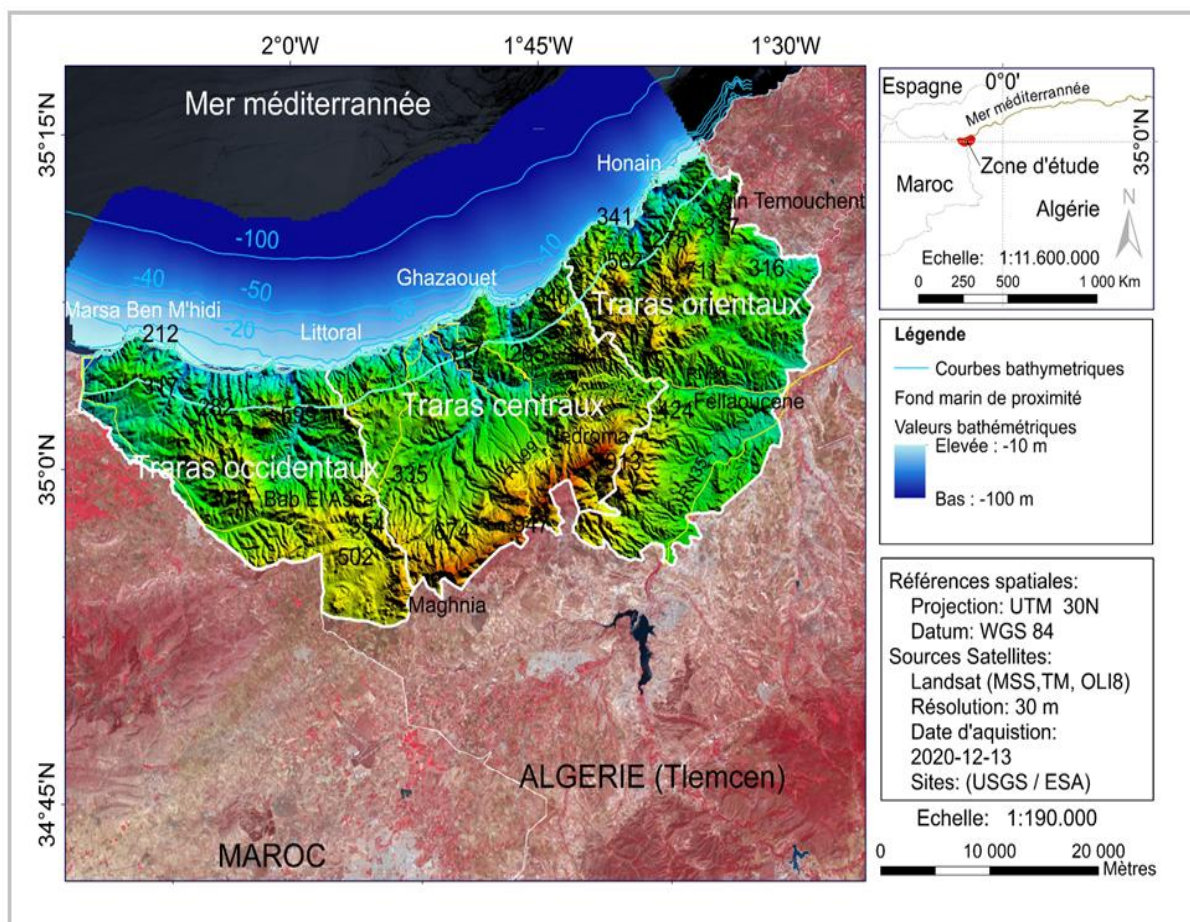


Fig. 25: Carte du relief sous-marin de proximité de la zone d'étude,

L'analyse du fond marin de proximité (Fig. 25) montre que le relief sous-marin est accidenté, L'élévation bathymétrique varie entre 0 et 100 mètres de profondeur dont l'isobathe 100 m épouse la forme de la côte. La méthode SIG de reclassement en six (06) classes d'élévation bathymétrique espacées de 10 m de profondeur (-10, -20,-30,-40,-50 et -100) a permis d'estimer la surface en hectare et le taux en pourcentage de chaque tranche bathymétrique comme le montre le Tab. 24.

Tab. 24: Surfaces et taux des classes bathymétriques du relief sous-marin de proximité.

Classes d'élévations bathymétriques (m)	Superficie (ha)	Taux (%)
-10	5.841,6	8,00%
-20	5.864,23	8,00%
-30	4.622,12	6,00%
-40	3.850,91	5,00%

-50	30.820,58	42,00%
-100	22.852,77	31,00%
Total	73.852,21	

L'analyse des classes du fond bathymétrique (Tab. 24) montre que la classe bathymétrique (-50 m) occupe une surface de 30 820,5 ha. Cette configuration sous-marine représente 42% de la surface totale considérée. Cette zone forme le plateau continental large (Ounnaci, 2003). Ceci qualifie à la zone de pêche d'occuper localement une meilleure position particulière et stratégique. Ce site stratégique justifié sans doute le choix d'implanter le port mixte à Ghazaouet. Ce port est situé à 111 Miles (205 km) du port espagnol d'Almeria avec lequel il est relié par une desserte maritime régulière en ferries. Le port se trouve au fond d'une anse sablonneuse de 1 300 mètres et de 400 mètres de creux. Il est caractérisé par une surface plane très importante soit 23 ha de terre-pleins et 25 ha de plan d'eau "dont une darse de pêcheurs de 1ha (Benmansour, 2009).

4.1.2 Modèle Numérique Terrestre (MNT)

Pour mieux apprécier le relief terrestre, nous avons généré le Modèle Numérique de Terrain (MNT) à partir de l'image *Digital Elevation Model (DEM)* acquise par le satellite *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* en date du 11/02/2000 avec une résolution spatiale de 30 m. Le MNT contient une très grande quantité d'information pouvant décortiquer et caractériser les éléments du relief (Kalbermatten & Caloz, 2004). L'image du MNT ainsi générée est représenté par la Fig. 26.

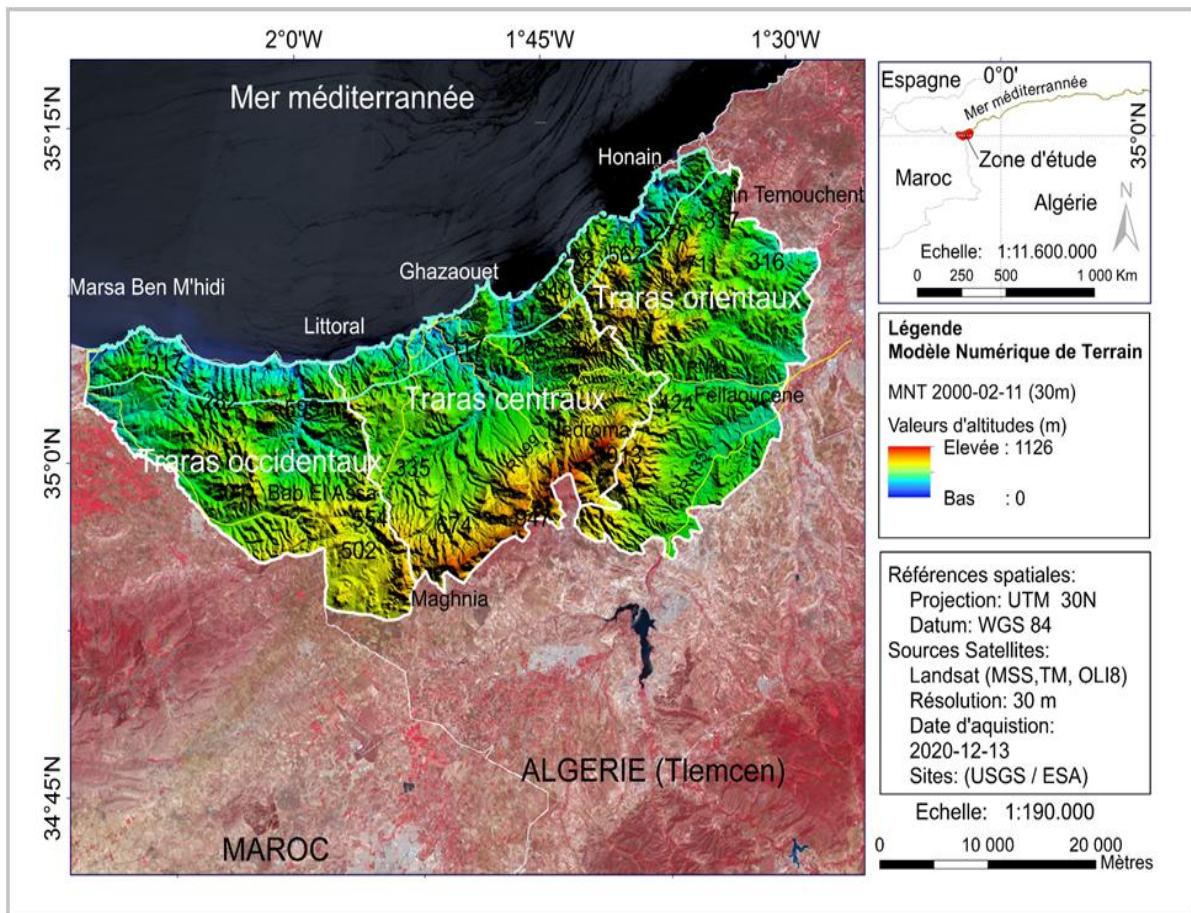


Fig. 26: Image du Modèle Numérique de Terrain (MNT) de la zone d'étude,

L'analyse du MNT (Fig. 26) montre que le relief est accidenté surtout au niveau de la zone côtière où une série de falaises rend certaines zones difficilement accessibles. Le point culminant se situe à 1.126 m d'altitude au niveau des sommets de Nedroma (zone centrale).

4.1.3 Cartes des indices topographiques

4.1.3.1 Carte hypsométrique

La méthode SIG de reclassement du MNT en 11 tranches altitudinales espacée chacune de 100 mètres d'élévation a permis de générer une carte hypsométrique représentée par la Fig. 27.

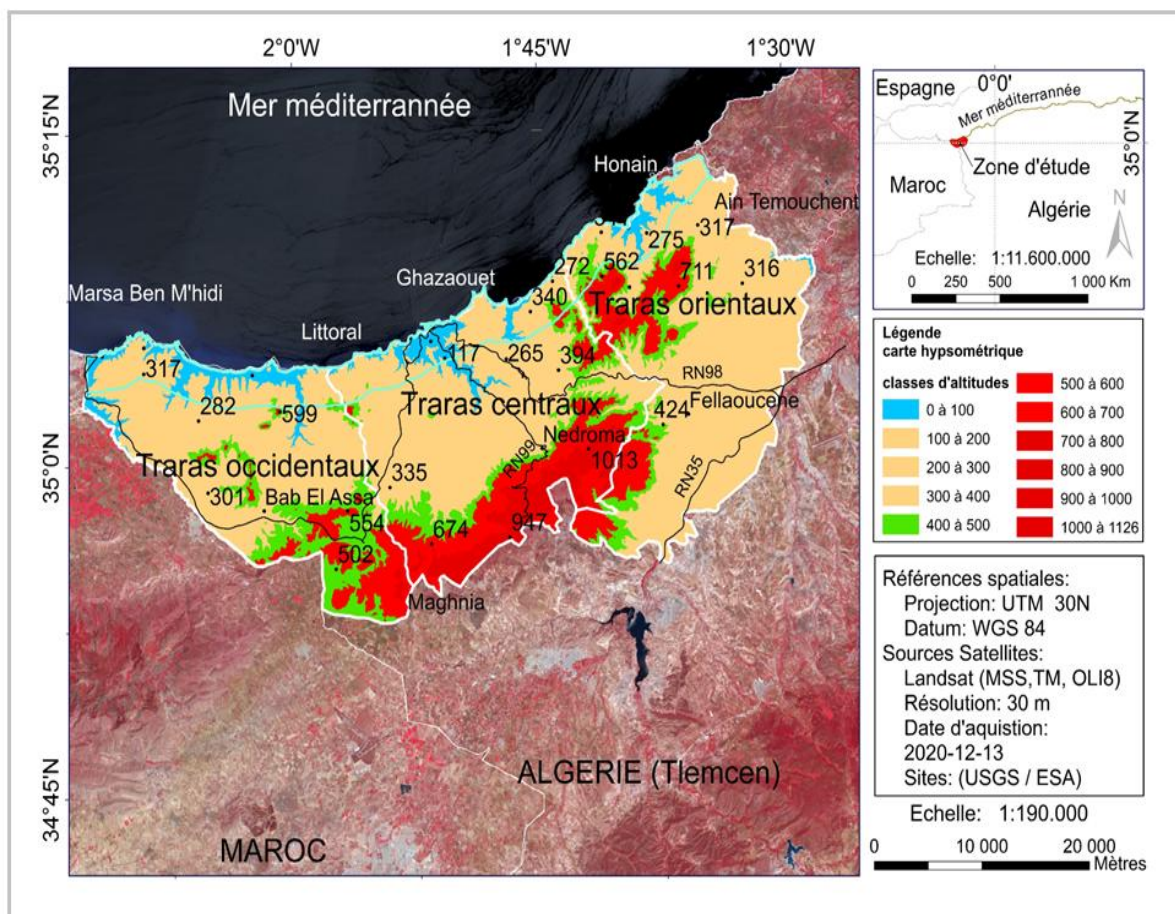


Fig. 27 : Carte hypsométrique de la zone d'étude.

L'analyse des classes d'altitudes (Fig. 27) montre que l'altitude de la zone varie entre 0 et 1 126 m. La surface et le taux d'occupation de chaque classe d'altitudinales ont été exprimés en (ha) et (%) dans le Tab. 25.

Tab. 25: Classes d'altitudes de la zone

Classes d'altitudes (m)	Superficie (ha)	Taux (%)
0 à 100	7.006,84	5 %
100 à 200	26.232,80	20 %
200 à 300	34.281,33	27 %
300 à 400	22.432,98	17 %
400 à 500	15.815,49	12 %

500 à 600	10.939,54	8 %
600 à 700	6.056,13	5 %
700 à 800	2.848,12	2 %
800 à 900	1.493,46	1 %
900 à 1000	772,96	0,6 %
1000 à 1126	155,18	0,1 %

L'analyse des classes d'altitudes (Tab. 25) montre que les terrains situés sur de faibles altitudes (0 à 100 m) occupent une surface de 7.000 ha soit 5% de la surface totale. Les terrains situés sur des altitudes moyennes (100 à 500 m) couvrent 80% de la surface totale. Les sols situés sur des altitudes supérieures (500 à 1.126 m) occupent la partie du sud et sud-Est, ils couvrent 15% de la surface totale.

4.1.3.2 Carte des pentes

La pente du terrain représente un paramètre important dans l'étude et la caractérisation de l'état de dégradation du sol. La pente est un facteur principal pour l'évaluation de la sensibilité des terres à l'érosion (Ousmana *et al.*, 2017). Le traitement du MNT a permis de générer la carte des pentes du terrain comme le montre la Fig. 28.

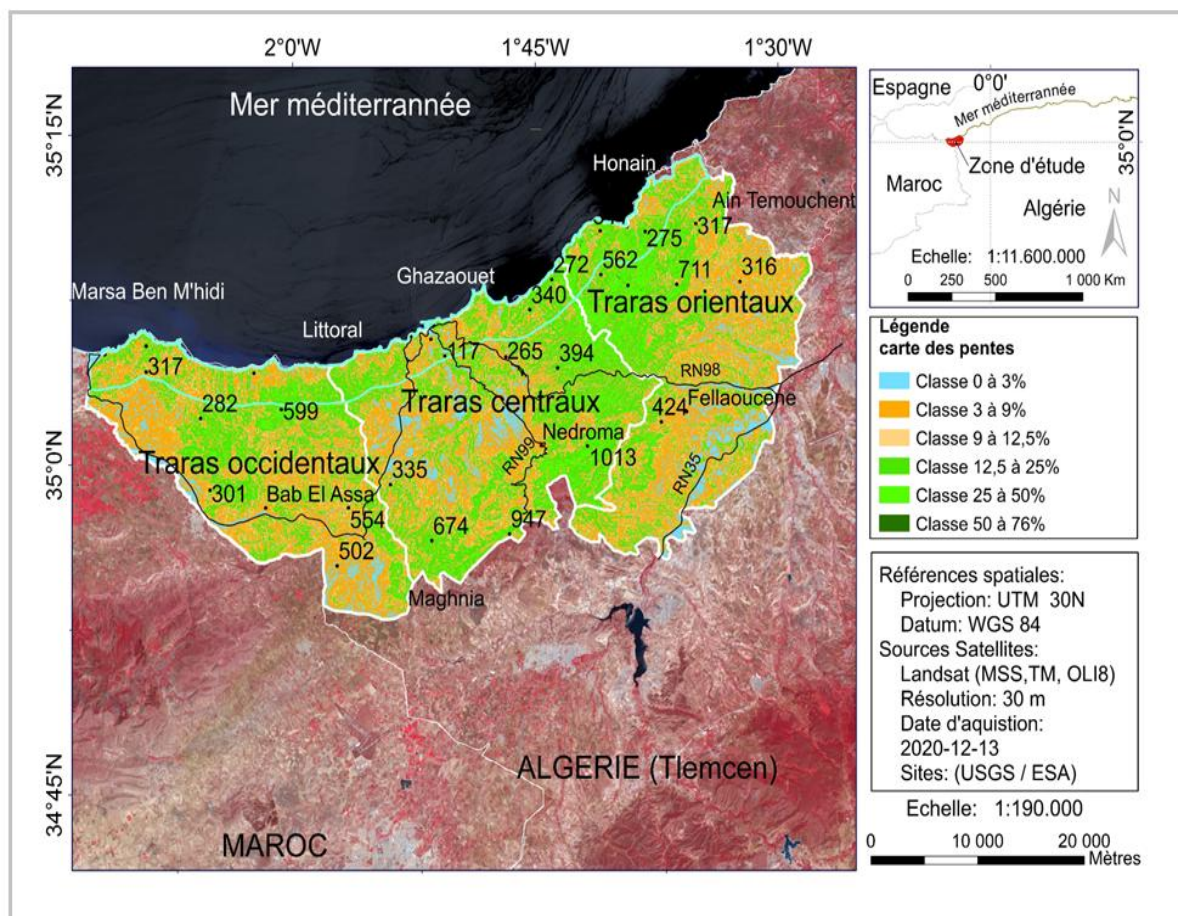


Fig. 28: Carte des pentes du terrain

L'analyse des classes de pentes (Fig. 28) montre que les terres sont situées sur des pentes qui varient entre 0 et 76%. Les pentes ont été classées en 6 classes. Les classes de pentes sont estimées en hectares et pourcentages dans le Tab. 26.

Tab. 26: Répartition des classes de pentes.

Classes de pentes du terrain (%)	Superficie (ha)	Taux (%)
1 (0 - 3 %)	10.744	8 %
2 (3 - 9 %)	44.425	34 %
3 (9 - 12,5 %)	22.948	18 %
4 (12,5 - 25 %)	43.434	33 %
5 (25 - 50 %)	7.885	6 %
6 (50 - 76 %)	85	1 %

L'analyse des classes de pentes (Tab. 26) montre que les classes de pentes comprises entre 0 et 9% occupent 43 % de la surface totale de la zone. Ces pentes facilitent le drainage des sols et permet l'accès à l'agriculture et en particulier à l'irrigation. Les pentes comprises entre 9 et 76% couvrent plus de la moitié (57%) de la surface totale. Ces pentes sont abruptes et confèrent par conséquent une vigueur particulière à l'érosion car la pente forte accélère le ruissellement ; par conséquent, la vulnérabilité du sol à l'érosion augmente (Chikhaoui *et al.*, 2010).

4.1.3.3 Carte des expositions

Le traitement du MNT a permis de générer la carte d'expositions ou de direction des pentes du terrain. Les valeurs de l'orientation de la pente sont comprises entre 0 et 360°, la valeur zero (0) indique une orientation nord (Chikhaoui *et al.*, 2010). Les expositions ont été reclassées en cinq (5) principales orientations comme le montre la Fig. 29.

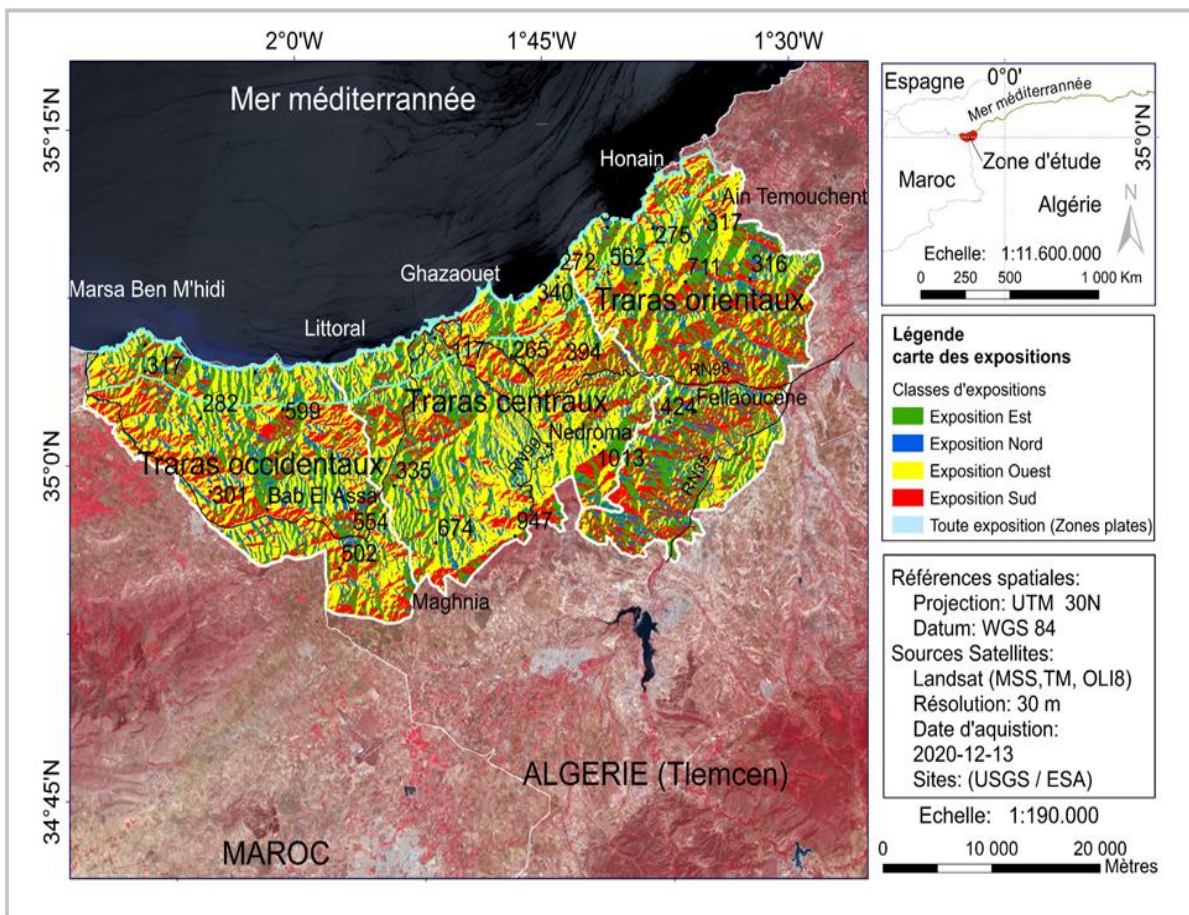


Fig. 29: Carte des expositions du terrain

L'analyse des directions des pentes (Fig. 29) montre que la zone est caractérisée par cinq (5) principales expositions. Les expositions ont été estimées en hectare (ha) et pourcentage (%) dans le Tab. 27.

Tab. 27: Répartition des classes d'expositions du terrain

Classes d'expositions du terrain	Surfaces (ha)	Taux (%)
1 (toute expositions ou zones plates)	1.007	1 %
2 (Exposition au Nord)	16.823	13 %
3 (Exposition au Sud)	28.197	22 %
4 (Exposition à l'Est)	31.459	24 %
5 (Exposition à l'Ouest)	52.035	40%

L'analyse des classes d'expositions de terrains (Tab. 27) montre que les versants exposés à l'Ouest couvrent une surface de 52.035 ha soit 40% de la surface totale. Les versants exposés à l'Est et au Sud occupent respectivement 24% et 21%. L'exposition au Nord occupe 13% de la surface totale. Les terres plates (ou toute exposition) couvrent une superficie de 1 007 ha soit 0,7% de la surface totale. L'exposition de la pente permet de définir la direction des flux. En ce qui concerne le bassin méditerranéen, cette variable joue un rôle important dans la cartographie des types de sol (Boer *et al.*, 1996). De plus, elle est fortement corrélée au taux de recouvrement de la végétation (Poesen *et al.*, 1998) celle exposée au sud étant caractérisée par un taux de couverture végétal faible.

4.1.4 Carte du réseau hydrographique

Les méthodes SIG appliquées sur les cartes et le MNT ont permis de générer et classer les éléments hydrographiques en 6 ordres d'écoulements comme le montre la Fig. 30 suivante :

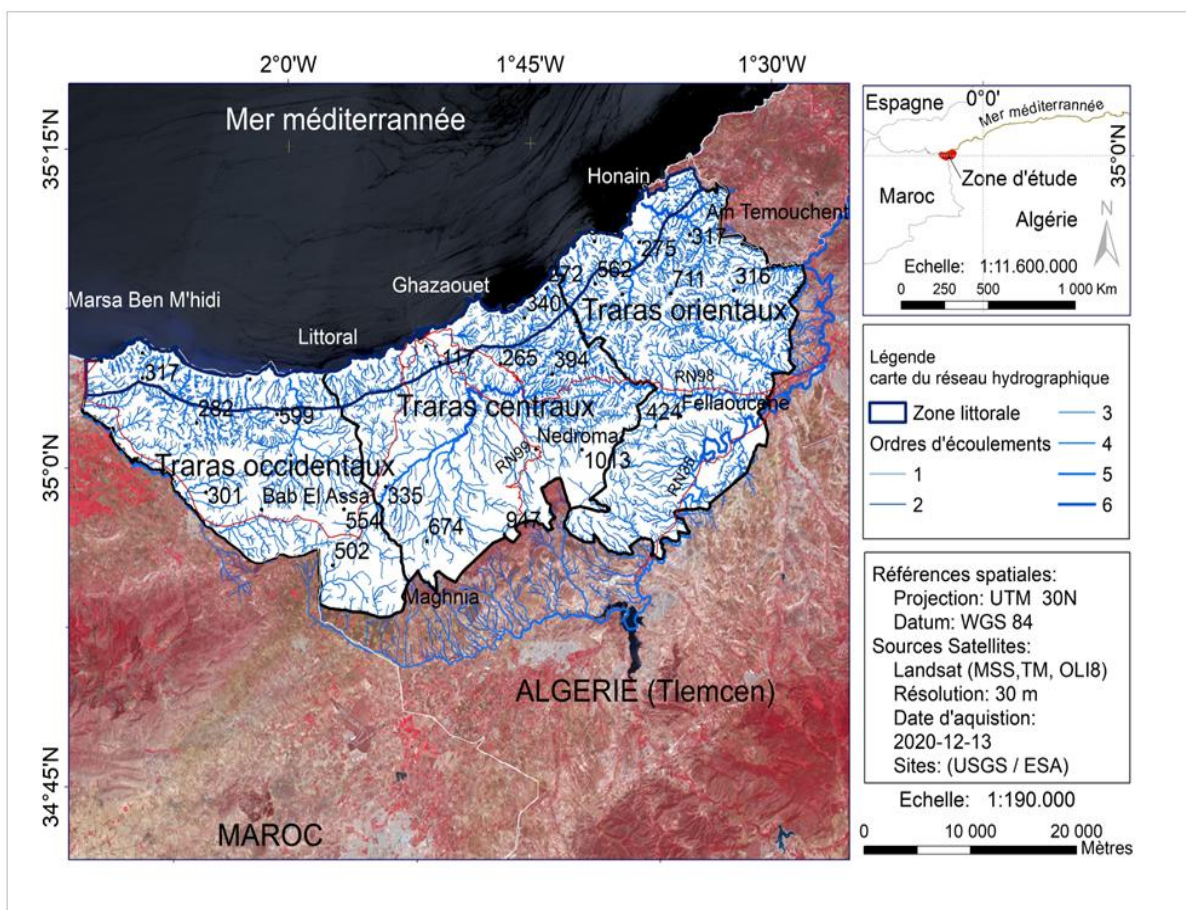


Fig. 30: Carte du réseau hydrographique

L'analyse du réseau hydrographique (Fig. 30) montre que la zone est sillonnée par un réseau hydrographique dense et important. Les éléments hydrographiques sont classés en six (6) ordres d'écoulements (de 1 à 6) dont celui du 4, 5 et 6 sont les collecteurs principaux. La longueur de chaque ordre d'écoulement est exprimée en kilomètre (km) et en pourcentage (%) dans le Tab. 28.

Tab. 28: Répartition des classes d'ordre d'écoulement des éléments hydrographiques

Classes	Traras occidentaux		Traras centraux		Traras orientaux		Total (km)
	Longueur (km)	Taux (%)	Longueur (km)	Taux (%)	Longueur (km)	Taux (%)	
1	532.575	55%	603.207	51%	750.524	50%	1.886,306
2	217.111	22%	322.007	27%	386.547	26%	925.665
3	135.393	14%	149.772	13%	183.280	12%	468.445

4	612.29	6%	64.765	5%	85.116	6%	211.111
5	15.934	2%	28.981	3%	63.074	4%	107.989
6	21,88	1%	15.634	1%	22.973	2%	38.629
Total	962	/	1 184	/	1 491	/	3 638

L'analyse des données de composantes hydrographiques (Tab. 28) montre que la zone est traversée par une longueur totale de 3.638 km d'éléments hydrographiques dont 41% sillonne la zone orientale.

4.1.5 Carte géologique

Les méthodes SIG appliquées sur la carte géologique de l'Algérie au 1/500 000 (1952) ont permis de générer pour la zone la carte géologique comme le montre la Fig. 31.

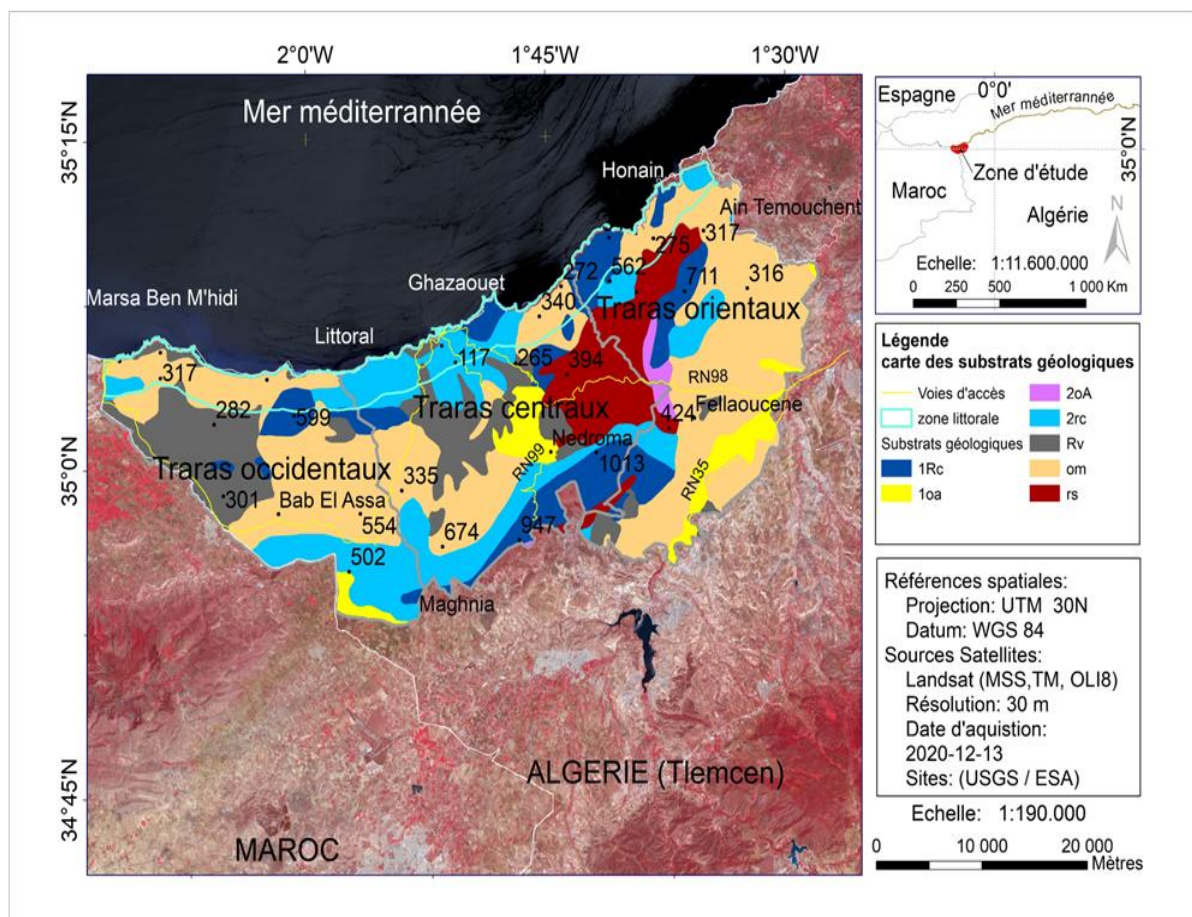


Fig. 31: Carte géologique et lithologique

L'analyse des données géologiques (Fig. 31) montre que la zone est constituée de huit (8) types de substrats géologiques répartis en surfaces et en pourcentage correspondants (Tab. 29).

Tab. 29: Répartition des types de substrats géologiques

Substrats géologiques	Traras occidentaux	Traras centraux	Traras orientaux	Monts des Traras	Taux (%)
	Surface (ha)	Surface (ha)	Surface (ha)	Surface totale (ha)	
Marnes (om)	17.339	10.729	24.585	52.653	41%
Calcaires friables (2rc)	6.790	11.977	3.851	22.618	18%
Roches volcaniques (Rv)	9.968	7.187	1.247	18.402	14%
Calcaires et dolomies dures (1Rc)	2.543	6.922	5.879	15.344	12%
Schistes (rs)	/	6.848	5.125	11.973	9%
Alluvions et sables (1oa)	931	2.281	3.126	6.338	5%
Argiles (2oA)	/	220	964	1.184	1%

L'analyse des données géologiques (Tab. 29) montre que les substrats géologiques marneux couvrent 52.635 ha dont la moitié est localisée à l'Est de la zone. Les sols marneux occupent 41% de la surface totale. Les calcaires (friables et dolomies dures) couvrent 37.962 ha dont la moitié est située au centre de la zone. Les calcaires occupent 30% de la surface totale. Les roches volcaniques couvrent 18.402 ha ce qui correspond à 14% de la surface totale. Les schistes, sables et argiles occupent 15% de la surface totale. Les Argiles sont absentes dans la région occidentale de la zone.

4.1.6 Carte des sols

Les méthodes SIG appliquées sur la carte des sols d'Algérie (Oran - 1^{ère} N, I,30-NE) au 1/500 000 (1952) ont permis de générer la carte des types de sols pour la zone comme le montre la Fig. 32.

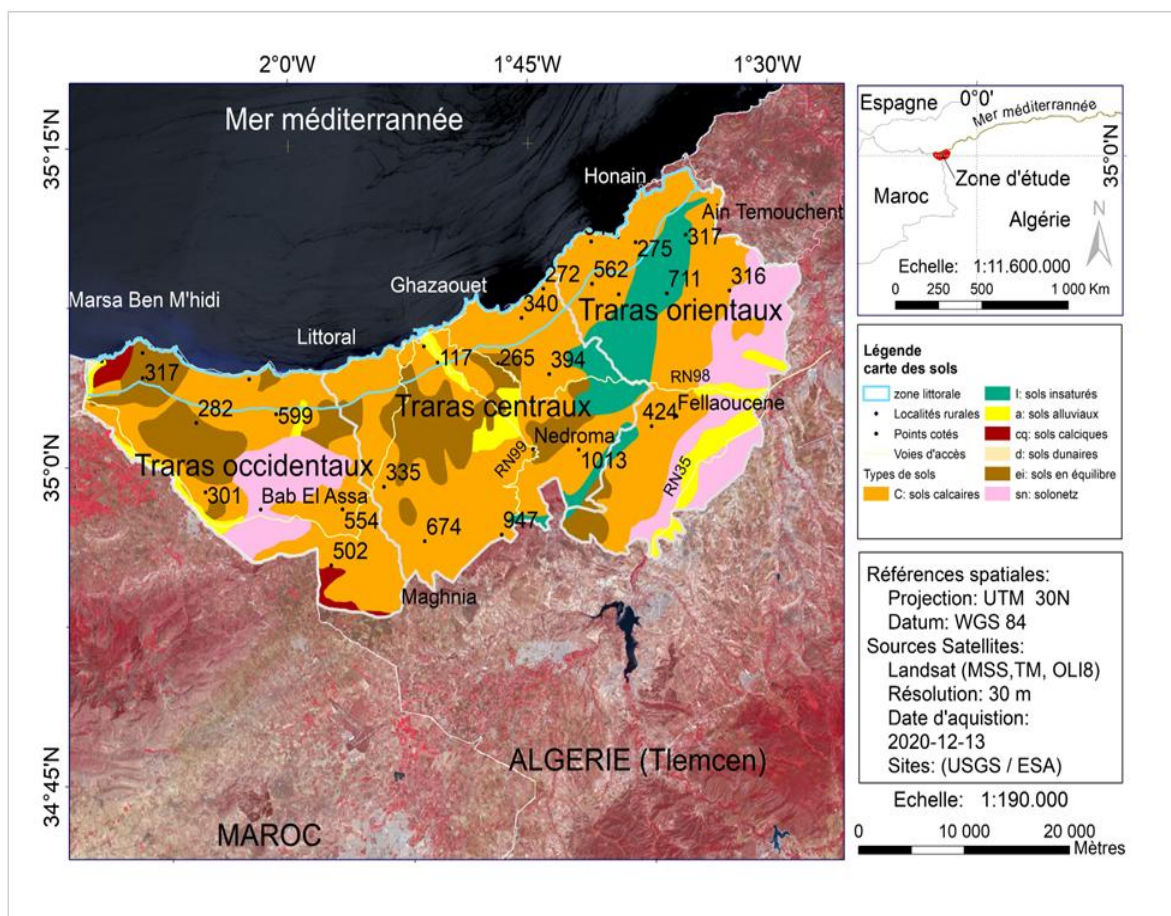


Fig. 32: Carte des types de sols.

L'analyse de la carte des types de sols montre que la zone repose sur sept (7) types de sols. Les surfaces et le taux des types de sols sont exprimés en hectare (ha) et pourcentage (%) dans le Tab. 30.

Tab. 30: Répartition des différents types de sols.

Types de sols	Traras occidentau	Traras centraux	Traras orientaux	Monts des Traras	Taux (%)
	Surface (ha)	Surface (ha)	Surface (ha)	Surface totale (ha)	
C : sols calcaires	19.307	31.025	22.590	72.923	56 %
ei : sols en équilibre	8.582	9.882	1.275	19.739	15 %
sn : solonetz	6.863	/	10.600	17.463	13 %
I : sols insaturés	/	3.577	7.175	10.752	8 %
a : sols alluviaux	1.454	1.928	3.557	6.940	5 %

C : sols calciques	1.454	/	/	1.455	2 %
d : sols dunaires	79,15	/	/	79,15	1 %

L'analyse des données édaphiques (Tab. 30) montre que les sols calcaires couvrent une superficie de 72.923 ha ce qui correspond à plus de la moitié (56 %) de la surface totale.

4.1.7 Carte des voies d'accès

Les méthodes SIG appliquées sur les données exogènes multi sources (Google Maps, Google earth, Bing de Microsoft et données .shp « <https://extract.bbbike.org/> ») ont permis de réaliser une carte des voies d'accès à la zone comme le montre la Fig. 33.

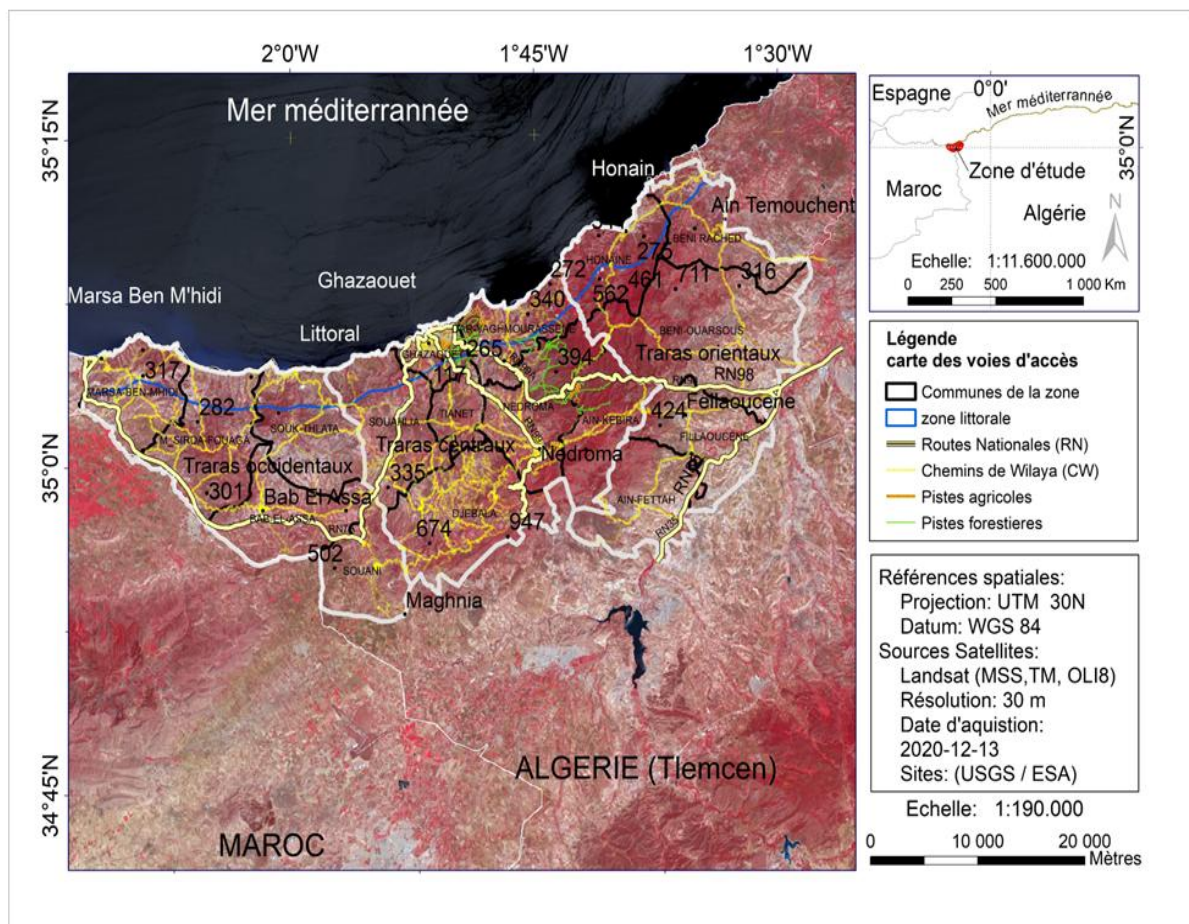


Fig. 33: Carte des voies d'accès de la zone.

L'analyse du réseau des voies d'accès à la zone (Fig. 33) montre que le réseau est composé de Routes Nationales (RN) et de Chemin de Wilaya (CW). Les voies sont classées en RN7, RN98, RN39 et RN36, CW46, CW103, CW108, CW100, CW108 et CW38. Les méthodes SIG ont permis de calculer la longueur de chaque type de tronçon. Les longueurs ont été exprimées en kilomètres (km) dans le Tab. 31.

Tab. 31: Répartition des voies d'accès de la zone d'étude.

Voies d'accès	Longueur (km)
Route Nationale (RN)	207
Chemin de Wilaya (CW)	431
Pistes Forestières (PF)	107
Pistes Agricoles (PA)	8

L'analyse du réseau des voies d'accès (Tab. 31) montre que la zone est desservie par 207 km de RN et 431 km de CW. La zone est sillonnée par une longueur totale de 638 km dont la zone centrale et occidentale sont parcourues par la plus grande densité de réseau. La zone orientale est moins desservie à cause du relief.

4.1.8 Conclusion

L'analyse des résultats topographiques montre que la zone d'étude longe une côte de longueur totale de 70 km présentant un relief terrestre pentu et accidenté dont l'altitude varie entre 0 et 1.126 m. Les pentes du terrain varient entre 0 et 76 % dont la classe de 9 à 76 % occupe plus de la moitié (57 %) de la surface totale. Les terres orientées ou exposées à l'ouest occupent 40 % de la surface totale. Les terres plates, c'est-à-dire complètement exposées couvrent une surface de 1.000 ha ce qui correspond à 0,7 % de la surface totale. Les substrats géologiques marneux occupent 41 % de la surface totale dont la moitié est située dans la zone orientale. Les sols calcaires couvrent plus de la moitié (56 %) de la surface totale. La zone est desservie par un réseau de routes nationales, chemins de wilaya, pistes agricoles et forestières.

4.2 Analyse des résultats thématiques

4.2.1 Carte de l'occupation du sol (2008)

Les méthodes SIG appliquées sur la carte d'IFN de l'Algérie réalisée par le BNEDER en 2008 ont permis de générer un IFN pour la zone comme le montre la Fig. 34.

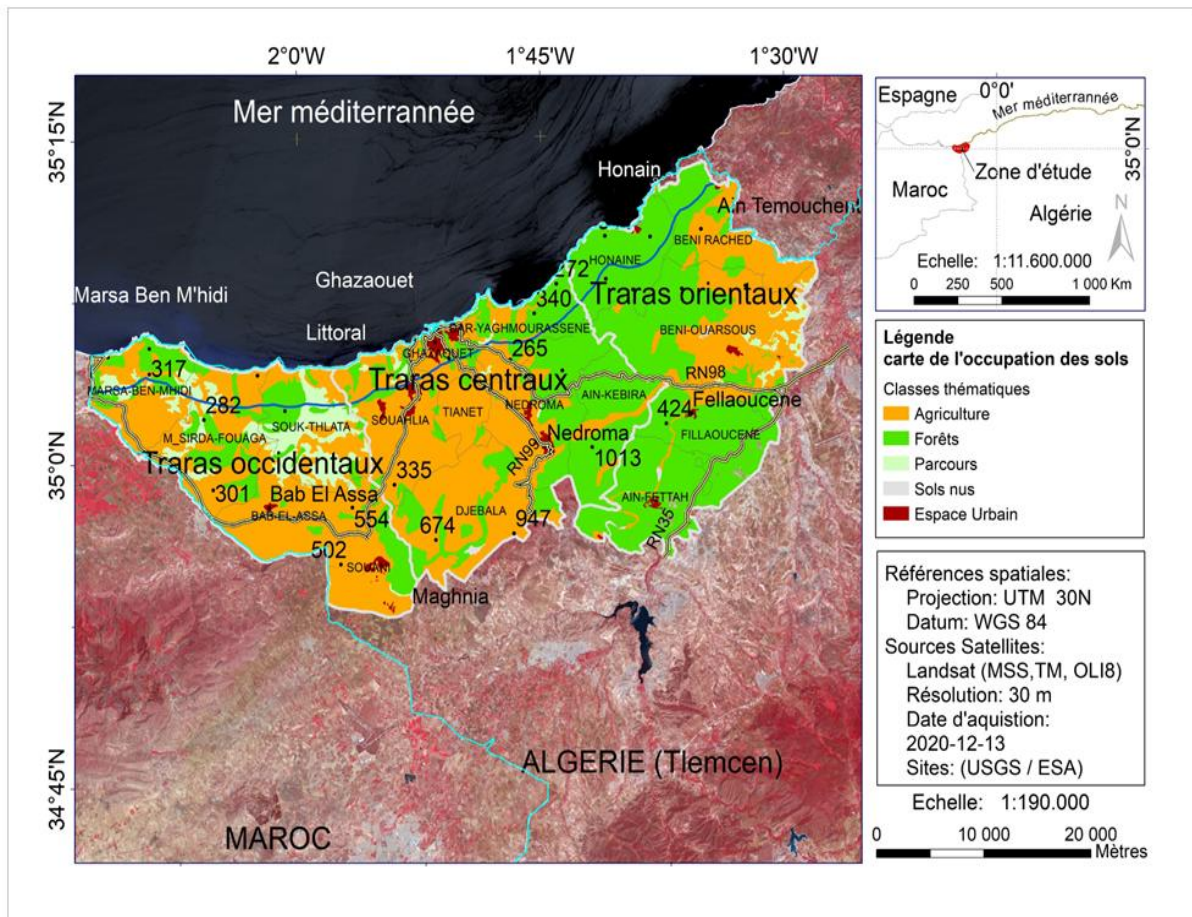
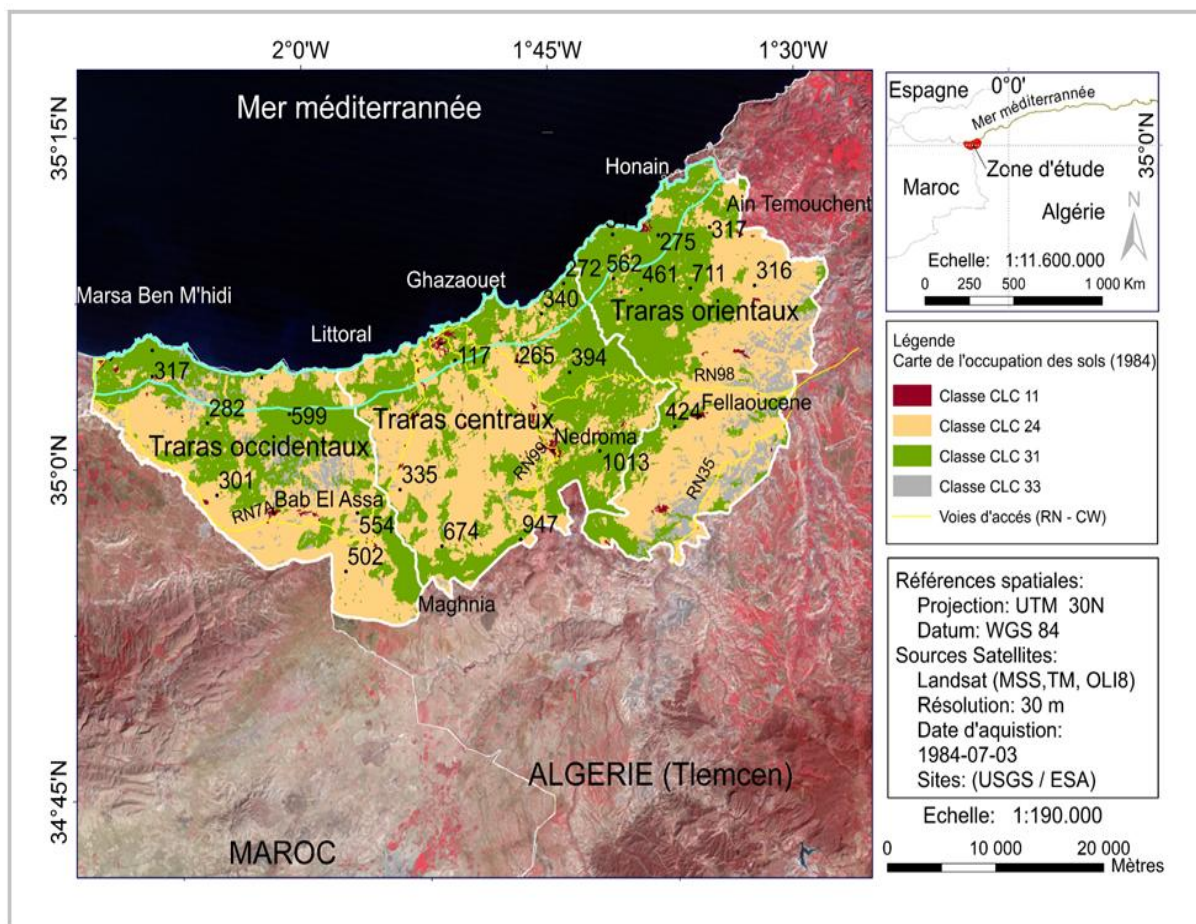


Fig. 34: Carte d'Inventaire Forestier National (IFN) de la zone (BNEDER, 2008)

L'analyse de la carte d'inventaire écologique de la zone (Fig. 34) montre que les sols sont occupés par l'agriculture, les forêts et parcours, sols nus et espaces urbanisés. L'analyse de l'IFN (2008) de la zone montre que les terres à vocations agricoles ayant un statut juridique privé et privé de l'état. Elles sont gérées par les propriétaires privés et la Direction des Services Agricoles (DSA) de la wilaya. Les forêts y compris toutes les formations forestières (maquis et broussailles) sont gérées par la conservation des forêts de la wilaya. Cette administration est érigée en quatre services techniques et administratifs, de cinq circonscriptions des forêts (Tlemcen, Sebdou, Ghazaouet, Ouled Mimoun, Maghnia), de quinze districts et de cinquante triages de forêts. La zone d'étude s'étend sur quatre districts de forêts (Bab El Assa, Ghazaouet, Honaine et Nedroma). Le district des forêts de Nedroma couvre 32% de la surface totale (Berrayah, 2009).

4.2.2 Carte de l'occupation du sol (1984)

L'analyse de la carte de l'occupation du sol obtenue pour l'année de référence (1984) montre la présence de terres agricoles, forestières, improductives (ou sols nus) et urbanisées. Ces catégories thématiques ont été identifiées en classes CLC (11-24-31 et 33) d'occupations du sol (Fig. 35).



Note : Classes *CLC* (*Corine Land Cover*) d'occupation du sol.

Fig. 35: Carte de l'occupation du sol des monts des Traras (année de référence 1984)

L'analyse thématique (Fig. 35) montre que les classes *CLC* sont toutes présentes dans la zone occidentale, centrale, orientale et littorale. L'analyse statistique a permis de quantifier les classes *CLC* en surfaces (ha) et taux de couverture (%) (Tab. 32).

Tab. 32: Surfaces (ha) et pourcentages (%) des classes *CLC* d'occupations du sol des monts des Traras (année de référence 1984).

Classes <i>CLC</i> d'occupation du sol	Surface (ha)	Taux (%)
Zones urbanisées (<i>CLC11</i>)	1.100	1
Zones agricoles hétérogènes (<i>CLC24</i>)	65.200	50
Forêts (<i>CLC31</i>)	56.000	43
Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation (<i>CLC33</i>)	7.200	6
Total	129.500	100

Note : Classes *CLC* (*Corine Land Cover*) d'occupation du sol.

L'analyse des surfaces d'occupation du sol (Tab. 32) montre que les terres agricoles (*CLC24*) et forestières (*CLC31*) occupaient une surface de 121.200 ha ce qui correspond à 93% de la surface totale. Les Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation (*CLC 33*) et zones urbanisées (*CLC11*) couvraient respectivement 6 % et 1 % de la surface totale de la zone.

Les méthodes SIG appliquées sur la carte de l'occupation du sol (1984) a permis de redimensionner le territoire de la zone en Traras occidentaux, centraux et orientaux.

4.2.2.1 Carte de l'occupation du sol des Traras occidentaux (1984)

L'analyse statistique a permis de quantifier les classes *CLC* en surfaces (ha) et taux (%) (Tab. 33).

Tab. 33: Surfaces (ha) et pourcentages (%) des classes *CLC* d'occupation du sol dans les Traras occidentaux (1984)

Classes <i>CLC</i> d'occupation du sol	Surface (ha)	Taux (%)
Zones urbanisées (<i>CLC11</i>)	200	0,5
Zones agricoles hétérogènes (<i>CLC24</i>)	19.200	51
Forêts (<i>CLC31</i>)	15.500	42
Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation (<i>CLC33</i>)	2.400	6,5

Note : Classes *CLC* (*Corine Land Cover*) d'occupation du sol.

L'analyse des surfaces thématiques au sein de la zone occidentale (Tab. 33) montre que les zones agricoles hétérogènes (*CLC24*) et les forêts (*CLC31*) occupaient 34 700 ha ce qui correspond à 93% de la surface totale. Les espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation (*CLC33*) et les zones urbanisées (*CLC11*) couvraient 2 600 ha ce qui correspond à 7% de la surface totale.

4.2.2.2 Carte de l'occupation du sol des Traras centraux (1984)

L'analyse statistique a permis de quantifier les classes *CLC* en surfaces (ha) et taux (%) (Tab. 34).

Tab. 34: Surfaces (ha) et pourcentages (%) des classes *CLC* d'occupation du sol dans les Traras centraux (1984)

Classes <i>CLC</i> d'occupation du sol	Surface (ha)	Taux (%)
--	--------------	----------

Zones urbanisées (<i>CLC11</i>)	600	1,4
Zones agricoles hétérogènes (<i>CLC24</i>)	24.300	51
Forêts (<i>CLC31</i>)	22.000	47
Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation (<i>CLC33</i>)	300	0,6

Note : Classes *CLC* (*Corine Land Cover*) d'occupation du sol.

L'analyse des surfaces thématiques au sein de la zone centrale (Tab. 34) montre que les zones agricoles hétérogènes (*CLC24*) et les forêts (*CLC31*) occupaient 46.300 ha ce qui correspond à 98% de la surface totale. Les espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation (*CLC33*) et les zones urbanisées (*CLC11*) couvraient 900 ha ce qui correspond à 2% de la surface totale.

4.2.2.3 Carte de l'occupation du sol des Traras orientaux (1984)

L'analyse statistique a permis de quantifier les classes *CLC* en surfaces (ha) et taux (%) (Tab. 35).

Tab. 35: Surfaces (ha) et pourcentages (%) des classes *CLC* d'occupation du sol dans les Traras orientaux (1984).

Classes <i>CLC</i> d'occupation du sol	Surface (ha)	Taux (%)
Zones urbanisées (<i>CLC11</i>)	300	1
Zones agricoles hétérogènes (<i>CLC24</i>)	21.700	48
Forêts (<i>CLC31</i>)	18.500	41
Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation (<i>CLC33</i>)	4.500	10

Note : Classes *CLC* (*Corine Land Cover*) d'occupation du sol.

L'analyse des surfaces thématiques au sein de la zone orientale (Tab. 35) montre que les zones agricoles hétérogènes (*CLC24*) et les forêts (*CLC31*) occupaient 40.300 ha ce qui correspond à 89% de la surface totale. Les espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation (*CLC33*) et les zones urbanisées (*CLC11*) couvraient 4.800 ha ce qui correspond à 11% de la surface totale.

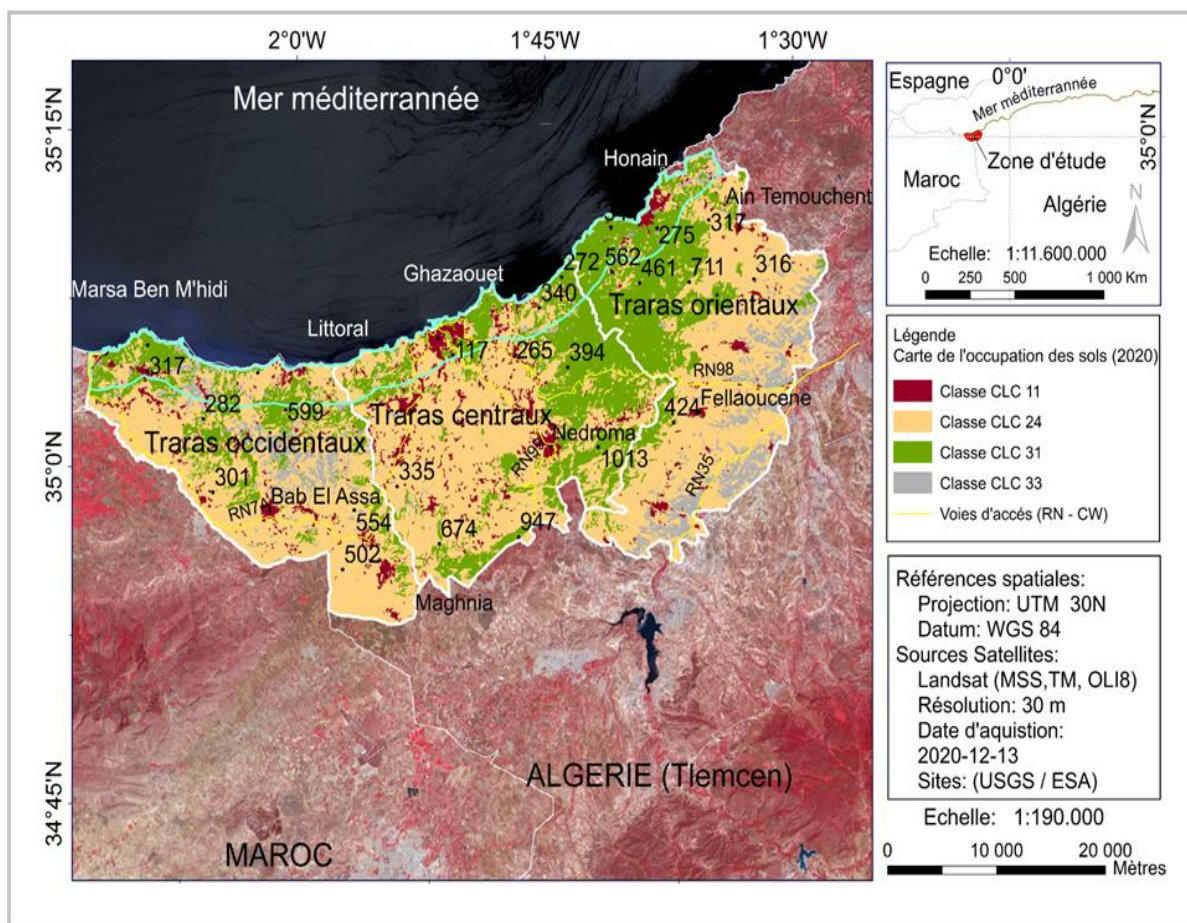
4.2.2.4 Conclusion

Les résultats thématiques révèlent un état des lieux et un inventaire écologique de la zone d'étude qui remonte à l'année de référence 1984. L'analyse de l'inventaire montre que les terres agricoles (*CLC24*) et forestières (*CLC31*) occupaient respectivement 65.200 ha et 56.000 ha ce qui correspond respectivement

à 50 % et 43 % de la surface totale. Les terres agricoles couvraient plus de la moitié (51%) de la surface totale dans la zone occidentale et centrale. Les forêts occupaient plus de 40% de la surface totale dans les trois sous zones (occidentale, centrale et orientale). Les besoins en infrastructures socio-économiques ont provoqué la construction et l'urbanisation sur les terres agricoles et forestières. La surface des zones urbanisées (*CLC11*) couvrait 1.100 ha correspondant à 1% de la superficie totale. La surface des sols nus ou improductifs couvrait 7.200 hectares soit 5 % de la surface totale. Les sols nus sont situés sur des pentes comprises entre 25 et 50 % et d'expositions Sud et Est. Ils occupent 4.500 ha à l'Ouest et 2.400 ha à l'Est. L'érosion agit négativement sur les couches arables des terres ce qui a provoqué la dégradation de la végétation naturelle en rendant les sols nus. Les sols affectés perdaient leur potentiel biotique et deviennent par conséquent nus. Cette situation de dégradation des terres nous renseigne sur la présence d'une agressivité naturelle très ancienne sur les terres des Monts des Traras.

4.2.3 Carte de l'occupation du sol (2020)

La carte obtenue pour l'année 2020 par les méthodes de la télédétection et la vérification de leurs classes *CLC* observées sur le terrain, ont permis de valider les classes *CLC* d'occupation du sol des monts des Traras comme le montre la Fig. 36.



Note : Classes *CLC* (*Corine Land Cover*) d'occupation du sol.

Fig. 36: Carte de l'occupation du sol des monts des Traras (2020)

L'analyse des surfaces d'occupation du sol (Fig. 36) montre un changement spatiotemporel dans les affectations des sols. L'analyse statistique appliquée sur les couches vectorielles a permis d'évaluer les classes *CLC* d'occupation du sol (2020) en surfaces (ha) et taux (%) (Tab. 36).

Tab. 36: Surfaces (ha) et pourcentages (%) des classes *CLC* d'occupations du sol/ zone d'étude (2020).

Classes <i>CLC</i> d'occupation du sol	Surface (ha)	Taux (%)
Zones urbanisées (<i>CLC11</i>)	7.400	6
Zones agricoles hétérogènes (<i>CLC24</i>)	77.100	59
Forêts (<i>CLC31</i>)	36.000	28
Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation (<i>CLC33</i>)	9.000	7
Total	129.500	100

Note : Classes *CLC* (*Corine Land Cover*) d'occupation du sol.

L'analyse des surfaces d'occupation du sol (Tab. 36) montre que les terres agricoles (*CLC24*) et forestières (*CLC31*) couvrent respectivement 77.100 ha et 36.000 ha ce qui correspond respectivement à 59% et 28% de la surface totale. L'écosystème agroforestier couvre une surface de 113.100 ha ce qui correspond à 87 % de la surface totale. Les espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation (*CLC33*) et les terres urbanisées (*CLC11*) occupent respectivement 9.000 ha et 7.200 ha ce qui correspond respectivement à 7% et 6% de la surface totale des monts des Traras.

4.2.3.1 Carte de l'occupation du sol des Traras occidentaux (2020)

L'analyse statistique a permis de quantifier les classes *CLC* en surfaces (ha) et taux (%) (Tab. 37).

Tab. 37: Surfaces (ha) et pourcentages (%) des classes *CLC* d'occupation sol dans les Traras occidentaux (2020).

Classes <i>CLC</i> d'occupation du sol	Surface (ha)	Taux (%)
Zones urbanisées (<i>CLC11</i>)	2.100	6
Zones agricoles hétérogènes (<i>CLC24</i>)	24.500	65
Forêts (<i>CLC31</i>)	7.800	21
Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation (<i>CLC33</i>)	3.200	8

Note : Classes *CLC* (*Corine Land Cover*) d'occupation du sol.

L'analyse des surfaces thématiques au sein de la zone occidentale (Tab. 37) montre que les terres agricoles (*CLC24*) et forestières (*CLC31*) occupaient respectivement 24.500 ha et 7.800 ha ce qui correspond respectivement à 65% et 21% de la surface totale de la zone occidentale. L'écosystème agroforestier couvre 86% de la surface totale. Les espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation (*CLC33*) et les zones urbanisées (*CLC11*) couvraient respectivement 3.200 ha et 2.100 ha ce qui correspond respectivement à 8% et 6% de la surface totale des Traras occidentaux.

4.2.3.2 Carte de l'occupation du sol des Traras centraux (2020)

L'analyse statistique a permis de quantifier les classes *CLC* en surfaces (ha) et taux (%) (Tab. 38).

Tab. 38: Surfaces (ha) et pourcentages (%) des classes *CLC* d'occupation sol dans les Traras centraux (2020)

Classes <i>CLC</i> d'occupation du sol	Surface (ha)	Taux (%)
--	--------------	----------

Zones urbanisées (<i>CLC11</i>)	3.800	8
Zones agricoles hétérogènes (<i>CLC24</i>)	27.700	59
Forêts (<i>CLC31</i>)	15.000	32
Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation (<i>CLC33</i>)	400	1

Note : Classes *CLC* (*Corine Land Cover*) d'occupation du sol.

L'analyse des surfaces thématiques au sein de la zone centrale (Tab. 40) montre que les terres agricoles (*CLC24*) et forestières (*CLC31*) occupaient respectivement 27.700 ha et 15.000 ha ce qui correspond respectivement à 59% et 32% de la surface totale de la zone centrale. L'écosystème agroforestier occupe 91% de la surface totale. Les espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation (*CLC33*) et les zones urbanisées (*CLC11*) couvraient respectivement 400 ha et 3.800 ha ce qui correspond respectivement à 1% et 8% de la surface totale des Traras centraux.

4.2.3.3 Carte de l'occupation du sol des Traras orientaux (2020)

L'analyse statistique a permis de quantifier les classes *CLC* en surfaces (ha) et taux (%) (Tab. 39).

Tab. 39: Surfaces (ha) et pourcentages (%) des classes *CLC* d'occupation du sol dans les Traras orientaux (2020)

Classes <i>CLC</i> d'occupation du sol	Surface (ha)	Taux (%)
Zones urbanisées (<i>CLC11</i>)	1.500	4
Zones agricoles hétérogènes (<i>CLC24</i>)	24.900	55
Forêts (<i>CLC31</i>)	13.200	29
Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation (<i>CLC33</i>)	5.400	12

Note : Classes *CLC* (*Corine Land Cover*) d'occupation du sol.

L'analyse des surfaces thématiques au sein de la zone orientale (Tab. 39) montre que les terres agricoles (*CLC24*) et forestières (*CLC31*) occupaient respectivement 24.900 ha et 13.200 ha ce qui correspond respectivement à 55% et 29% de la surface totale de la zone orientale. L'écosystème agroforestier occupe 84% de la surface totale. Les espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation (*CLC33*) et les zones urbanisées (*CLC11*) couvraient respectivement 5.400 ha et 1.500 ha ce qui correspond respectivement à 12% et 4% de la surface totale des Traras orientaux.

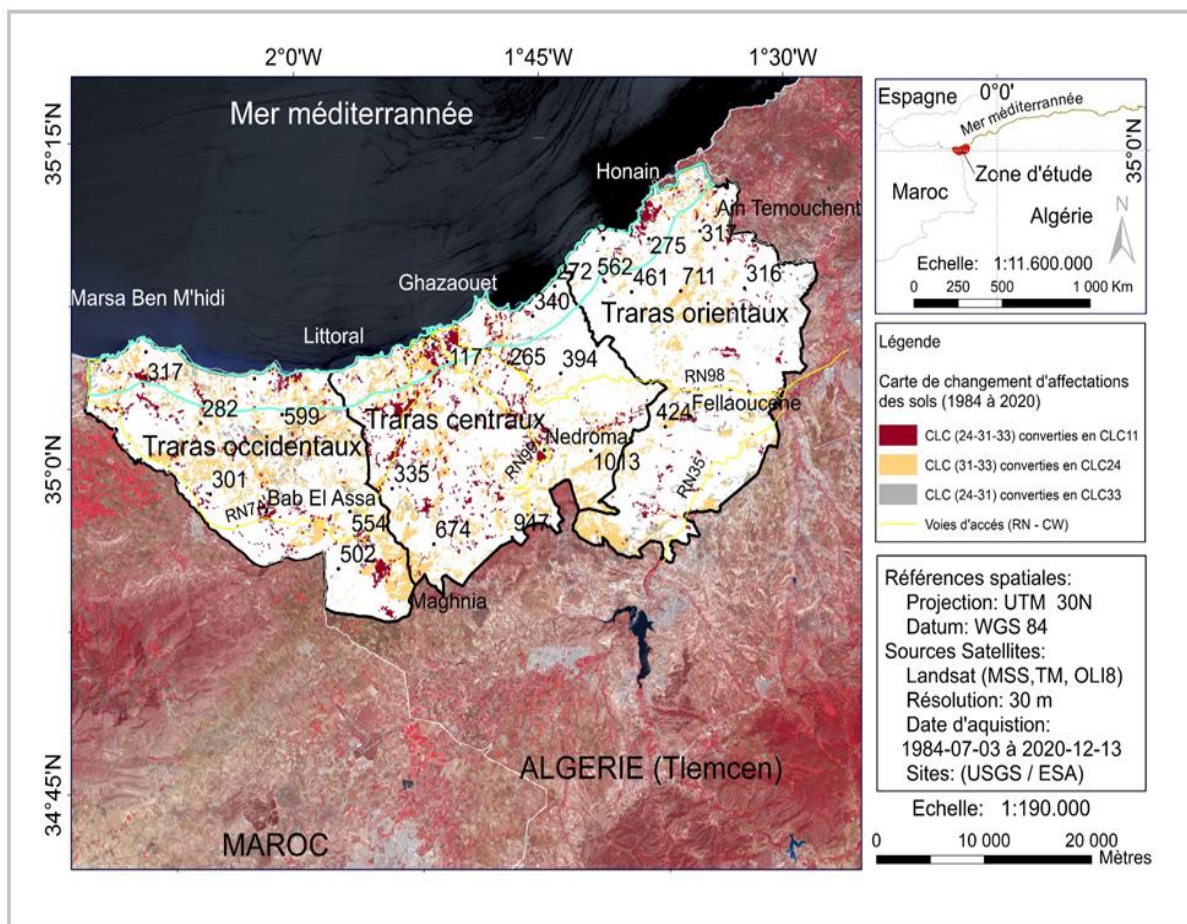
4.2.4 Conclusion

L'analyse de la carte d'inventaire écologique concernant l'année 2020 montre que le milieu naturel des Monts des Traras est constitué de 77.100 ha de terres agricoles et de 36.000 ha de terres forestières ce qui correspond respectivement à 59 % et 28 % de la surface totale. L'écosystème naturel agroforestier couvre une surface totale de 113.100 ha ce qui correspond à 87 % de la surface totale. La surface moyenne des terres agricoles et forestières dans les Traras occidentaux, centraux et orientaux couvrent respectivement 61 % et 28 % de la surface totale. Dans la zone centrale et orientale, l'agriculture et les forêts occupent respectivement 60 % et 32 % de la surface totale. Dans la zone occidentale, l'agriculture et les forêts occupent respectivement 65 % et 21 % de la surface totale ce qui montre que la couverture forestière est faible à l'Ouest de la zone. Sous l'effet naturel et anthropique, le paysage est fragmenté en espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation c'est-à-dire sols nus (*CLC33*) et zones urbanisées (*CLC11*). Deux classes couvrent respectivement une surface totale de 9.000 ha et 7.400 ha correspondant à 7 % et 6 % de la surface totale. La surface des zones urbanisées dans la zone centrale occupe 3.800 ha ce qui correspond à plus de la moitié (51%) de la surface totale urbaine. Cela montre que l'urbanisation a provoqué une grande pression sur le foncier dans la zone centrale. Dans la zone occidentale et orientale la surface urbaine couvre respectivement 28 % et 21 % de la surface totale urbaine ce qui montre que les Traras occidentaux et orientaux sont moins peuplés que les Traras centraux. À cela s'ajoute les sols nus qui occupent une surface totale de 5.400 ha dans le sud et sud-est de la zone orientale ce qui correspond à 60 % de la surface totale des sols nus. Dans la zone orientale et centrale, les sols nus couvrent respectivement 35 % et 5 % de la surface totale. L'analyse graphique montre que 5.400 ha soit 60 % de la surface totale des sols érodés sont situés sur des pentes comprises entre 25 % et 50 % et d'expositions Sud et Est. Ceux-ci expliquent que l'action érosive de l'eau a été favorisée par la pente du terrain (Bleu & Antipolis, 2003).

4.3 Analyse de l'impact du changement entre 1984 et 2020 de l'occupation du sol

4.3.1 Carte de changement entre 1984 et 2020 de l'occupation du sol

Pour détecter le changement spatiotemporel et d'évaluer son impact sur les écosystèmes de la zone, avons appliqué à l'aide du logiciel ArcGis 10.8 les méthodes SIG de croisement entre les deux cartes d'occupation du sol (1984 et 2020) en utilisant les outils arctoolbox de traitement (fusion, découpage et intersection). Les méthodes ont permis de générer une carte de détection de changement spatiotemporel entre les classes *CLC* d'affectations des sols comme le montre la Fig. 37.



Note : Classes *CLC* (*Corine Land Cover*) d'occupation du sol.

Fig. 37: Carte de changements entre 1984 et 2020 des classes *CLC* d'occupation du sol.

L'analyse de la carte de détection de changement spatiotemporel (Fig. 37) montre que l'érosion et l'urbanisation ont provoqués la conversion de trois classes *CLC* (24, 31 et 33) d'occupation du sol. Entre 1984 et 2020 (36 ans) la conversion entre les classes *CLC* a provoqué un changement spatiotemporel dans les surfaces d'occupations du sol. Les écosystèmes impactés sont estimés en surfaces (ha) et taux (%) dans le Tab. 40.

Tab. 40: Evolution des classes *CLC* d'occupation du sol entre 1984 et 2020 dans la zone d'étude.

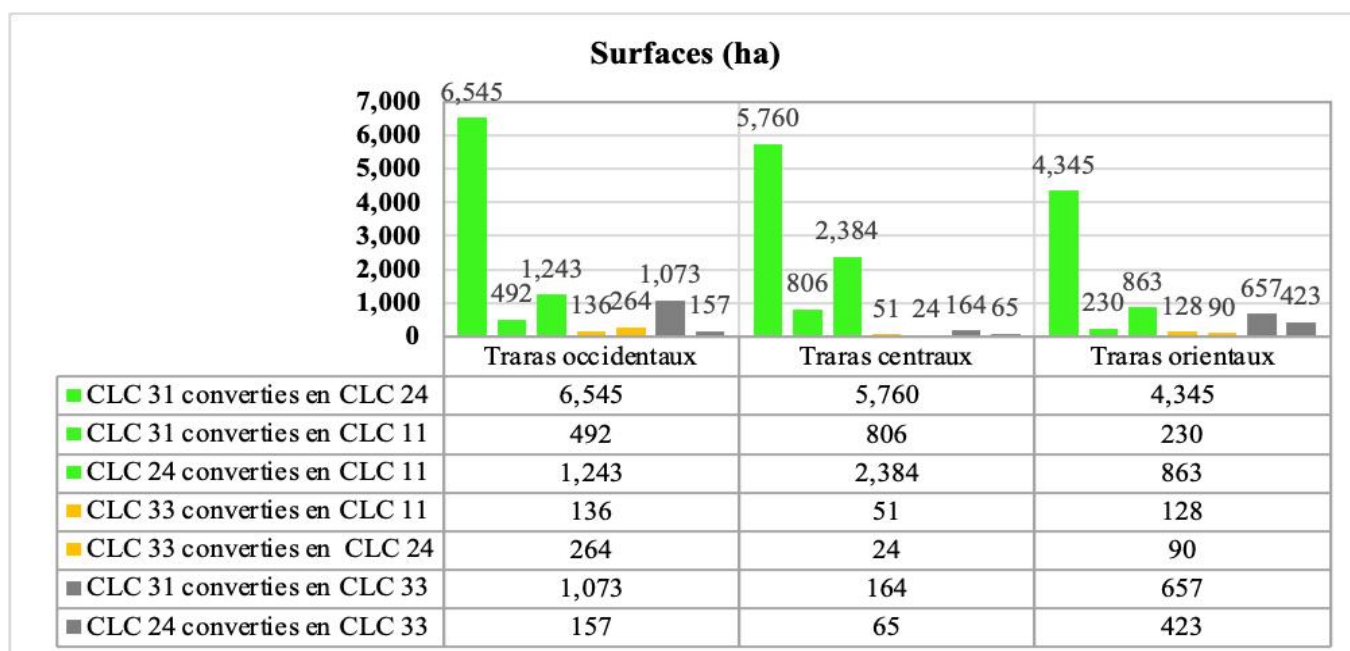
Evolution des classes <i>CLC</i> de l'occupation du sol entre 1984 et 2020 dans la zone d'étude	Traras occidentaux		Traras centraux		Traras orientaux		Total (ha)
	Surface (ha)	Taux (%)	Surface (ha)	Taux (%)	Surface (ha)	Taux (%)	
<i>CLC</i> 31 converties en <i>CLC</i> 24	6.545	12	5.760	26	4.345	13	16.700
<i>CLC</i> 31 converties en <i>CLC</i> 11	492	5	806	8	230	3	1.500

<i>CLC 24</i> converties en <i>CLC 11</i>	1.243	1	2.384	0,5	863	2	4.500
<i>CLC 33</i> converties en <i>CLC 11</i>	136	66	51	62	128	65	300
<i>CLC 33</i> converties en <i>CLC 24</i>	264	11	24	2	90	10	400
<i>CLC 31</i> converties en <i>CLC 33</i>	1.073	2	164	1	657	6	1.900
<i>CLC 24</i> converties en <i>CLC 33</i>	157	3	65	0,5	423	1	600
Total	9.910	100	9.254	100	6.736	100	25.900

Note : Classes *CLC* (*Corine Land Cover*) d'occupation du sol.

L'analyse des surfaces de changement d'affectations des sols ou de conversion (Tab.40) montre qu'entre 1984 et 2020 les classes *CLC24*, *31* et *33* d'occupation du sol ont subies un changement spatiotemporel dans leurs surfaces d'affectations. En 36 ans, l'érosion, défrichement et l'urbanisation ont impacté une surface totale de 25.900 ha soit 20% de la surface totale de la zone ce qui correspond à 719 ha/an. Sous l'effet de l'érosion, la surface des sols nus (*CLC33*) a été augmentée de 1.800 ha en 36 ans ce qui correspond à 50 ha/an. Cette augmentation en surfaces érodées représente 7% de la surface totale impactée. Ce phénomène a impacté l'écosystème agricole et forestier à hauteur de 900 ha de terres à l'Est, 800 ha à l'ouest et 100 ha au centre de la zone (Fig.31 et Tab. 42). L'effet anthropique lié au défrichement des forêts par les riverains pour usages agricoles a aussi impacté l'écosystème forestier. Le défrichement des forêts a provoqué la conversion de 16.700 ha de forêts en usages agricoles (*CLC24*). L'urbanisation (*CLC11*) a aussi exercé une pression sur les écosystèmes agricoles et forestiers de la zone. L'urbanisation occupe une surface totale de 7.400 ha dont 2.000 ha (27%) sont situés dans le littoral. Cette surface urbaine a augmenté de 6.300 ha en 36 ans ce qui correspond à 175 ha/an. Cette augmentation représente 24% de la surface totale impactée. L'urbanisation dans la zone centrale, occidentale et orientale couvre respectivement 50%, 30% et 20% de la surface totale urbaine. Cela montre que les écosystèmes agricoles et forestiers ont été plus impacté dans le centre et l'ouest de la zone. Cet indice d'urbanisation nous renseigne sur l'importance de l'explosion démographique dans la zone d'étude. L'urbanisation a été réalisée dans le cadre des programmes de développement de l'habitat et de l'industrie initiés par l'Etat au profit de la wilaya tutelle (Tlemcen). Entre 2007 à 2010, la surface des terres agricoles cédées à l'urbanisation dans le cadre des Plans Directeur d'Aménagement Urbain (PDAU) de la wilaya est estimée à 3.120 ha en 4 ans (Khemies, 2013) ce qui correspond à une perte en surface moyenne annuelle de 780 ha de terres nourricières. A l'échelle du Grand Alger (centre du pays), l'étalement urbain dévorait 140.000 ha de terres fertiles, notamment dans la plaine de la Mitidja (Bleu & Antipolis, 2003). L'artificialisation

des sols devient une des principales causes de l'érosion de la biodiversité (Bechet *et al.*, (2017)). Les surfaces des écosystèmes agricoles et forestiers impactés sont réparties par région dans l'histogramme de la Fig. 38.



Note : Classes CLC (*Corine Land Cover*) d'occupation du sol.

Fig. 38: Variation entre 1984 et 2020 des classes de l'occupation et couverture des sols de la zone

L'analyse de la variation spatiotemporelle des surfaces thématiques (Fig. 38) montre que les écosystèmes agricoles et forestiers ont été tous impactés par l'érosion, défrichement et l'urbanisation. En 36 ans, 20.100 ha de forêt (36% de la surface forestière de référence « 1984 ») ont été converties en usages agricoles (83%), sols nus (9%) et zones urbanisées (8%). A cela s'ajoute une surface totale de 5.135 ha de terres agricoles (8% de la surface agricole de référence « 1984 ») a été convertie en zones urbanisées (87%) et en sols nus (13%). Les pertes totales en surfaces forestières et agricoles ont été estimées à 9.910 ha (38%) à l'ouest, 6.736 ha (26%) au centre et 4.345 ha (21%) à l'Est (Fig. 35, 36 et Tab. 40).

4.3.1.1 Conclusion

Nous concluons que l'écosystème agricole et forestier sont les plus impactés par l'effet naturel lié à l'érosion et l'effet anthropique lié au défrichement des forêts et à l'urbanisation. Entre 1984 et 2020, une surface totale de 25.900 ha soit 20 % de la surface totale de la zone, a subi un changement spatiotemporel dans ses affectations des sols. Entre 1984 et 2020 (36 ans), la surface totale des écosystèmes agricoles et forestiers a passé de 121.200 ha en 1984 (Fig. 35, Tab. 32) à 113.100 ha en 2020 (Fig. 36, Tab. 36) soit un recul de 8.100 ha en 36 ans correspondant à 225 ha/an. Cette perte en surfaces agricoles et forestières

représente 6 % de la surface totale de référence (Fig. 35, 36, Tab. 32, 36). L'analyse du changement montre qu'une surface forestière de 20.072 ha a été convertie en usages agricoles (83 %), sols nus (9 %) et zones urbanisées (8 %). À cela s'ajoute une surface totale de 5.135 ha de terres agricoles a été convertie en zones urbanisées (87 %) et en sols nus (13 %). Les pertes totales en surfaces forestières et agricoles sont estimées à 9.910 ha (38 %) à l'Ouest, 6.736 ha (26 %) au centre et à 4.345 ha (21 %) à l'Est (Fig. 35, 36 et Tab. 40).

4.3.2 Impacts des incendies de forêts

L'analyse de 28 bilans des incendies survenus en forêts des monts des Traras entre 1992 et 2020 (source : circonscription des forêts de Ghazaouet et images satellites : voir annexe) montre que les feux de forêts ont été déclarés durant la saison estivale entre 14 heure et 16 heures de l'après-midi de la journée. Cela montre que le déclenchement des incendies est favorisé par l'élévation de la température de la saison. A cela s'ajoute les actions anthropiques (pratiques agricoles, élevage apicole, tourisme, ...etc.). Les méthodes SIG et le calcul de l'indice de brûlure (*NBR*) appliqués sur les images acquises par le capteur OLI8 du satellite Landsat ont permis de géo référencer 210 foyers d'incendies comme le montre la Fig. 39.

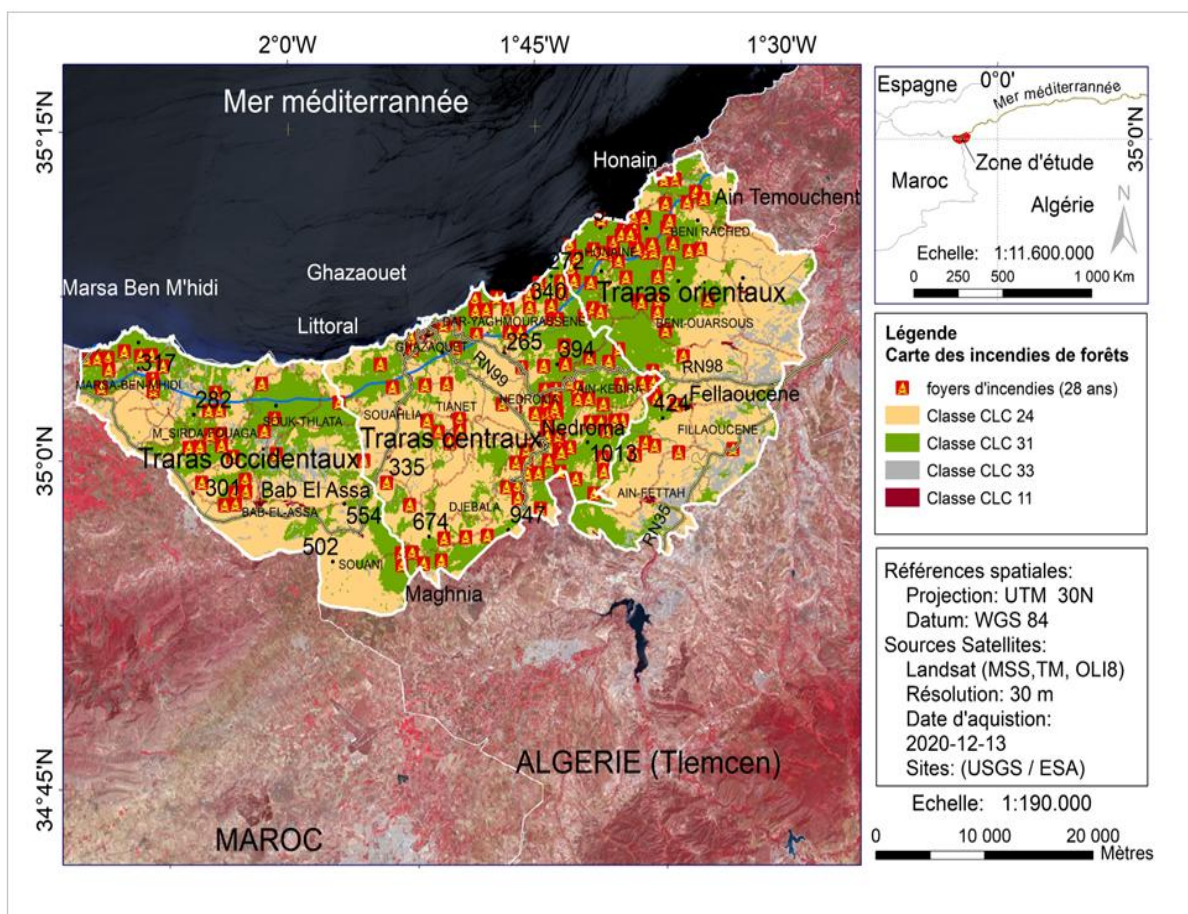


Fig. 39: Carte des incendies de forêts survenus entre 1992 et 2020 dans les monts des Traras.

L'analyse de la carte des incendies (Fig. 39) montre qu'entre 1992 et 2020 (28 ans) l'écosystème forestier a été impacté par un nombre de 210 incendies dont la moitié des foyers (50%) ont été localisée le long du littoral et sublittoral des monts des Traras. L'écosystème forestier dans la zone centrale (Honaine, Nedroma et Dar Yeghmorasene) et occidentale (Msirda Fouaga et Ain El Kebira) est plus impacté par les feux de forêts, Les surfaces forestières parcourues par les incendies sont exprimées en hectares (ha) et en taux (%) dans le Tab. 41.

Tab. 41: Surfaces et taux des surfaces forestières parcourues par les incendies (1992 à 2020)

Surfaces forestières parcourues par les feux survenus entre 1992 et 2020						Total (has)
Zone occidentale		Zone centrale		Zone orientale		
Surface (has)	Taux (%)	Surface (has)	Taux (%)	Surface (has)	Taux (%)	
1.590	17	2.840	31	4.770	52	9.200

L'analyse des bilans d'incendies (Tab. 41) montre qu'entre 1992 et 2020, 210 foyers d'incendies ont parcourus 9.200 ha de surfaces forestières en 28 ans ce qui correspond à 328 ha/an. Les surfaces forestières impactées couvrent 4.770 ha (52%) à l'Est, 2.840 ha (31%) au centre et 1.590 ha (17%) à l'ouest. Cela montre que l'écosystème forestier dans les Traras orientaux est sensible aux incendies. L'analyse statistique des pertes en surfaces forestières liées aux incendies montre que les feux de forêts ne cessent d'augmenter en fréquences et en surfaces comme le montre l'histogramme de la Fig. 40 suivante :

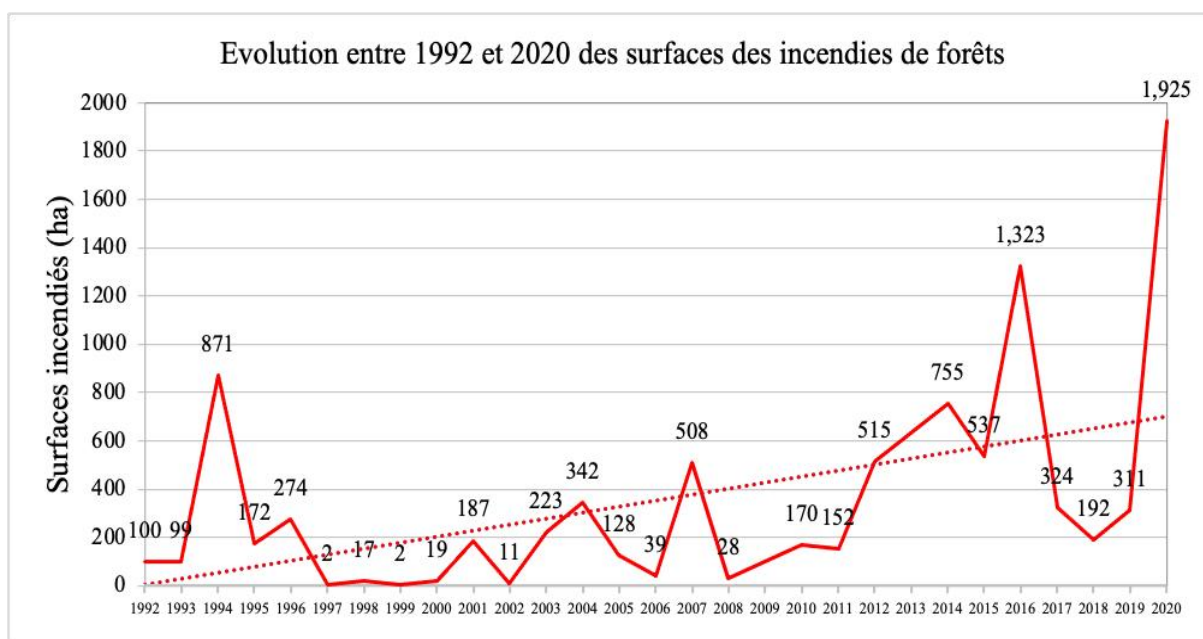


Fig. 40: Evolution entre 1992 et 2020 des surfaces parcourues par les feux de forêts,

L'analyse de l'évolution des incendies de forêts (Fig. 40) montre que la fréquence et la surface des incendies ont augmentés durant les dernières années de la période étudiée. Durant l'année 2016 et 2020 les surfaces impactées par les incendies ont été estimées respectivement à 1.323 ha et 1.925 ha ce qui correspond respectivement à 14% et 21% de la surface totale impactée par les feux comme le montre la Fig. 41 ci-dessus. Entre 1980 et 2015 (35 ans), l'analyse des bilans des incendies survenus en forêts de la wilaya de Tlemcen montre que les feux ont parcourus 60.000 ha de forêts ce qui correspond à une moyenne annuelle de 1.500 ha (Mortada, 2017). Entre 1962 et 2012, l'analyse des bilans des incendies survenues en forêts de l'Algérie montre qu'environ 1,7 million ha de forêts, maquis et broussailles ont été incendiés, soit une moyenne de 30 000 ha chaque année (Mortada, 2017). Dans le Bassin méditerranéen 600.000 à 800.000 ha sont annuellement la proie des flammes, notamment dans les pays de la rive nord de la méditerranée (Mortada, 2017). Le feu de forêt est un facteur déterminant de la dynamique de la végétation dans la région méditerranéenne. Le risque d'incendie n'est jamais totalement éliminé ou écarté. Il est seulement diminué et sa nature en est modifiée (Claudot, 1970).

4.3.2.1 Conclusion

Entre 1992 et 2020 (28 ans), 210 incendies (7 feux/an) ont survenu dans les forêts des Monts des Traras. Les incendies ont parcouru 9.200 ha de forêts ce qui correspond à 328 ha/an. À l'échelle de la wilaya de Tlemcen, 1.500 feux/an ont détruit 60.000 ha de forêt en 35 ans (1980 à 2015) (Mortada, 2017). L'analyse des bilans montre que la plupart des incendies survenus en forêts dans la région sont dus à la négligence humaine constatée lors des exploitations des bois, pâturage et les activités de défrichement (Ghezlaoui & Benabadji, 2018) ; d'autres activités comme l'apiculture, l'urbanisation et le tourisme qui augmentent également la susceptibilité aux feux de forêt en particulier dans les zones côtières et montagneuses (Meddour-Sahar *et al.*, 2012). Les résultats de notre étude montrent que plus de la moitié (55%) de la surface impactée par les incendies a survenu en forêts des communes côtières de Marsa Ben Mhidi, Dar Yaghmourassen et Honaine et dans les montagnes de Nedroma et Ain Kebira. Les études montraient que le nombre de vagues de chaleur le plus élevé a été enregistré à Oran (Nord-Ouest algérien) en 1994 et 2004, avec 5 vagues par an (Matari, 2016). Nos résultats montrent que presque la moitié (49%) de la surface totale incendiée a eu lieu entre 2004 et 2020 (16 ans). À l'Est du pays, entre 1987 et 2017 (30 ans), la wilaya de Tizi Ouzou a enregistré 145 grands incendies qui ont détruit 47.942 ha de forêt ce qui correspond à 48,45% de la surface forestière totale de la wilaya. L'analyse des rapports annuels montre que l'Algérie enregistre 1.500 incendies/an détruisant une superficie totale de 35.000 ha (Meddour-Sahar *et al.*, 2020). Entre 1985 et 2010 (25 ans), 1.702 feux/an ont parcouru une superficie totale de 910.640 ha. Les bilans annuels de 1993, 1994, 2000 et 2007 ont souligné que la perte de forêt par le feu était catastrophique en Algérie (Meddour-Sahar *et al.*, 2008). La perte économique entre 1985 et 2006 (21 ans) a atteint 11 milliards de Dinars Algériens (DA) ce qui montre que les forêts algériennes sont vulnérables et ont besoin d'être protégées car les feux répétés ne cessent d'augmenter (Meddour-Sahar *et al.*, 2008). Nos résultats montrent aussi que les feux répétés entre 2014 et 2020 ont provoqué une perte en surfaces forestières de 2.390 ha dans la commune de Honaine, 1.244 ha à Beni Khaled et 209 ha à Beni Ouarsous. À l'échelle régionale, le Maroc, perd annuellement 30.000 ha de surface forestière à cause des incendies (Bijaber, 2005). Le Houérou (1987) estime que les zones méditerranéennes perdent annuellement 600.000 ha de forêts, soit presque le double des années 1970. Il montre que le coût annuel des plans de prévention et de lutte contre les incendies est estimé à plus d'un milliard de dollars (US). La France a enregistré entre 2018 et 2019, une moyenne annuelle de 3.600 feux et 3.000 feux respectivement (Borne, 2020). Les études menées sur différents bassins versants dans le monde ont indiqué une augmentation significative de la perte de sol après un incendie de forêt. En conséquence, la sensibilité du sol à l'érosion de surface reste élevée pendant un à deux ans, puis diminue rapidement lorsque la végétation reprend possession des terres (Vennetier *et al.*, 2013). On observe que les incendies de forêts

peuvent être un perturbateur majeur, un ravageur de la forêt et un acte de changement qui se traduit sur le terrain par la dégradation de certaines formations forestières. Cette destruction du couvert végétal expose le sol aux agents d'érosion et en particulier à l'eau, particulièrement agressive en climat méditerranéen (Pautrot, 2012). Nos constats sur le terrain montrent que les forêts impactées par les incendies reprennent très lentement et ce à cause de la sécheresse, l'érosion et le pacage.

4.3.3 Impact de l'érosion

Les effets naturels ont agi négativement sur les sols sensibles entraînant leur dessiccation dont les conséquences sont physiques, chimiques et biologiques (Halitime *et al.*, 2016). Les effets du ruissellement et de l'érosion sont fortement aggravés en milieu agricole à cause des labours et en milieu forestier à cause du surpâturage et des incendies de forêts (Bleu & Antipolis, 2003) mais nous constatons que l'érosion a eu lieu même en milieu boisé et herbacé situés sur des pentes significatives (Vennetier *et al.*, 2013). La qualité et la capacité du service écosystémique sont considérablement réduites par la dégradation causée par l'érosion qui conduit à une perte de MO du sol (Montanarella *et al.*, 2016). Les sols érodés ont perdu leurs couvertures végétales et deviennent par conséquent nus et improductifs. Nos résultats montrent les espaces ouverts sans ou avec peu de végétation (CLC33) ou sols impactés par l'érosion couvrent une surface totale 7.400 ha ce qui correspond à 6% de la surface totale. Les sols impactés sont représentés par la Fig. 41.

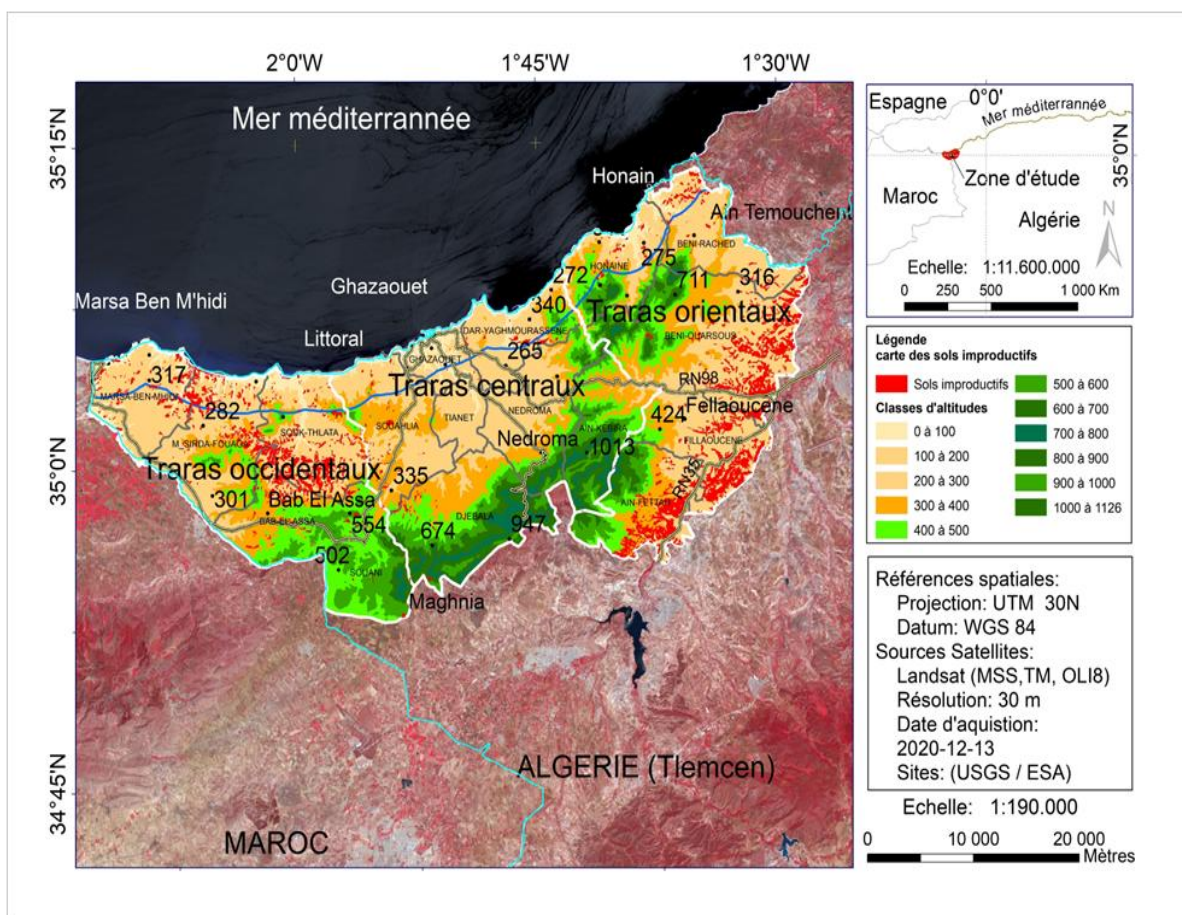


Fig. 41: Carte des sols nus dans les monts des Traras.

L'analyse de la carte des sols impactés par l'érosion (Fig. 41) montre que les sols impactés par l'érosion sont répartis à l'Est et à l'ouest de la zone. Les surfaces des sols impactés sont estimées en hectare (ha) et en taux (%) dans le Tab. 42.

Tab. 42: Surfaces et pourcentages des sols impactés par l'érosion dans la zone (2020)

Classes CLC d'occupation du sol	Zone occidentale		Zone centrale		Zone orientale	
	Surface (ha)	Taux (%)	Surface (ha)	Taux (%)	Surface (ha)	Taux (%)
Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation ou sols nus (CLC33)	3.200	35	400	5	5.400	60

L'analyse des surfaces de sols érodés (Tab. 42) montre que les sols nus dans la zone orientale et occidentale couvrent respectivement 5.400 ha (60%) et 3.200 ha (35%) de la surface totale impactée par l'érosion.

4.3.3.1 Conclusion

Entre 1984 et 2020, les surfaces des espaces ouverts avec ou peu de végétation (*CLC33*) dans les Monts des Traras ont passé sous l'effet de l'érosion de 7.200 ha en 1984 (Fig. 35 et Tab. 32) à 9.000 ha en 2020 (Fig. 36, Tab. 36) ce qui correspond à une augmentation moyenne annuelle de 50 ha. Les sols impactés par l'érosion couvrent 5.400 ha (60%) à l'Est, 3.200 ha (35%) à l'Ouest et 400 ha (5%) au centre de la zone. Les badlands (sols marneux) couvrent au Nord-Ouest de Tlemcen plus de 64 % de la superficie totale (Medjahdi, 2010) ; nos résultats confirment cette situation. À l'Ouest, la surface des sols nus occupe 1.326 ha dans la commune de Souk Tleta, 628 ha à Msirda Fouaga, 627 ha à Bab El Assa et 476 ha à Marsa Ben Mhidi soit 97 % de la surface totale des sols nus dans la zone occidentale, montrant que l'érosion est très présente dans cette région. Ceci explique que parmi les 13 retenues collinaires d'eau créées dans la zone, seulement deux sont opérationnelles à cause de l'érosion et l'envasement. À l'Est de la zone, la dégradation spécifique moyenne des sols du bassin versant de l'Isser de proximité est estimée à 150 t/km²/an (Sogreah, 1967). Le territoire du bassin versant couvre les communes de l'Est (Beni-Ouarsous, Fillaoucene et Ain-Fettah). À ce niveau, nos résultats montrent que la surface des sols nus couvre 2.113 ha dans la commune de Beni-Ouarsous, 1.419 ha à Fillaoucene, 1.381 ha Ain-Fettah, 337 ha à Beni Rached et 108 ha à Honaine. Pour lutter contre ce phénomène de dégradation des sols qui a impacté les communes côtières (Dar Yaghmourcène et Honaine), l'administration chargée des forêts a réalisé en 2011 un programme de lutte contre l'érosion sur 30.800 m³ de correction torrentielle, 200 ha de réparation des berges, 50 ha de fixation des berges et 455 ha de plantations forestières et fruitières (Medjahdi, 2010). La dégradation des sols qui en résulte est due au fort ruissellement provoqué par les averses violentes et abondantes qui s'abattent sur la région en automne et en hiver. Les effets du ruissellement et de l'érosion se sont fort aggravés en milieu agricole à cause des labours et en milieu forestier à cause du surpâturage, des incendies de forêts (Bleu & Antipolis, 2003). Nos résultats montrent que les sols affectés par l'érosion ont été occupés antérieurement par les forêts et l'agriculture. Les pentes fortes accélèrent aussi le ruissellement ; par conséquent, la vulnérabilité du sol à l'érosion augmente (Chikhaoui *et al.*, 2010) et les sols après le feu sont rapidement appauvris en MO et deviennent plus vulnérables à l'érosion et au dessèchement (Morsli *et al.*, 2013) ; les épisodes de sécheresse ont également conduit à l'érosion des sols (Boughalem, 2013). À cela s'ajoutent la qualité du substrat géologique, la nature des sols et la couverture végétale (Toumi *et al.*, 2013) qui augmentent la sensibilité des sols à l'érosion (Bouanani, 2006). Nos résultats montrent que plus de la moitié (64%) de la surface totale impactée par l'érosion repose sur des terrains marneux et calcaires dont les pentes sont comprises entre 9 et 76% (57%) et orientées à l'ouest (40%). Les études montrent que l'ouest algérien est la région la plus érodée du pays, avec 47% des terres affectées par l'érosion (Morsli *et al.*, 2013) ; l'érosion spécifique des

sols au niveau du pays varie entre 2.000 et 4.000 t/km²/an (Demmak, 1982) en causant la perte de 45% des terres fertiles en Algérie (Gataâ, 2016). Sous l'effet érosif, l'Algérie perd 45 à 50 millions de m³ d'eau chaque année (Abdelli & Zaggane, 2007). Ces volumes de pertes en sols ont classé l'Algérie parmi les pays dont les sols sont les plus érodables au monde (Touaibia, 2010).

En Afrique du Nord, les précipitations provoquent une érosion hydrique importante dans les bassins versants et contribuent à l'envasement des réservoirs des barrages (Touahir *et al.*, 2018). Dans la région méditerranéenne, la période où le risque d'érosion est le plus élevé se situe environ un mois après l'apparition du feu (Fox *et al.*, 2006), notamment lors des premières pluies d'automne (Prieto-Fernandez *et al.*, 1998). Dans ce contexte, la destruction du couvert végétal a donc entraîné une augmentation considérable de la perte de sol et de l'érosion. Cependant, l'impact peut être plus important et persistant en cas d'incendies répétés, ou d'incendies affectant des terrains en forte pente ou soumis à de fortes pluies post-incendie. Plus un incendie est intense et sévère, plus la végétation sera altérée et plus le paysage sera transformé, que ce soit à l'échelle locale ou régionale. Les résultats sont identiques dans le cas d'incendies répétés (Jacquet & Cheylan, 2008). Nos résultats montrent que les feux répétés entre 2014 et 2020 (7 ans) en forêts dans la zone orientale ont provoqués une perte en surfaces totales de 3.383 ha dans la zone orientale ce qui correspond à une moyenne de 483 ha/an en 7 ans. Les études montrent qu'en un siècle, la surface forestière en Algérie est passée de 7 à 2,5 millions d'ha (Heddadj, 1997). En 2011, le ministère algérien de l'agriculture et du développement rural et de la pêche a estimé qu'environ 14 millions d'hectares de zones montagneuses dans le nord du pays étaient dégradés par l'érosion hydrique (Touahir *et al.*, 2018). Les études montrent que le déclenchement des phénomènes érosifs est lié au feu, corollaire de l'activité humaine (Lavabre & Martin, 1997). Nos résultats montrent que plus de la moitié (51%) du nombre total des incendies ont survenu en forêts des communes côtières attractives pour le tourisme balnéaire (Marsa Ben Mhidi, Msirda Fouaga, Ghazouet, Dar Yaghmorassene, Honaine et Beni Rached). Dans ces communes la surface des écosystèmes impactés par les incendies, l'érosion et l'urbanisation couvre respectivement 4.419 ha (48 %), 2.806 ha (38 %) et 1.817 ha (20 %).

4.3.4 Impact de défrichements

Le couvert forestier de l'Algérie du nord est exposé en permanence au risque naturel lié à l'incendie ou à la pression anthropique due au déboisement et défrichement (Bessaoud *et al.*, 2019). Les forêts d'utilité sociale se trouvent à proximité des agglomérations d'où les riverains utilisent les espaces périodiquement comme terrain de parcours avec toutes les conséquences qui en découlent. C'est un fléau dont l'impact sur les écosystèmes forestiers reste constant et perturbe la durabilité de toutes les formations forestières. Ce phénomène est considéré comme l'un des facteurs les plus marquants de la dégradation au cours des

dernières décennies, du fait de la charge animale excessive sur la forêt (Hamel *et al.*, 2019). A cela s'ajoute le défrichement qui permet l'entrée de l'agriculture par les riverains dans les écosystèmes forestiers, notamment au niveau des clairières et des Tranchées Pares-Feux (TPF). L'autorisation d'exploitation des vides labourables, des TPF et de la mise en valeur de terrains limitrophes de l'espace forestier n'étant autre qu'un moyen de défrichement qui ne peut se traduire que par la régression du patrimoine forestier (Haichour & Benabdeli, 2022). Plusieurs lois portant sur la mise en valeur des terres agricoles et forestières ont été décrétées par l'Etat, exemple loi 83-18 relative à l'Accession à la Propriété Foncière Agricole par la mise en valeur (APFA), le décret n° 97-483 du 15/12/1997 portant la mise en valeur des terres par la concession agricole gérée par la Générale des Concessions Agricoles (GCA) et le droit d'usage en milieu forestier (Daoudi *et al.*, 2015). En l'absence de chiffres identifiés, ces actions de défrichement avoisinent les 10.000 hectares annuellement en moyenne (Haichour & Benabdeli, 2022). Nos résultats montrent que les actions liées au défrichement des forêts dans les monts des Traras ont conduit à la conversion de 16.700 ha de forêts (CLC31) en usages agricoles (CLC24) en 36 ans ce qui correspond à 464 ha/an. La surface forestière impactée par le défrichement couvre 6.590 ha à l'ouest, 5.760 ha au centre et 4.350 ha à l'Est. Cela montre que l'écosystème forestier dans l'ouest est plus impacté car les pertes en surfaces forestières occupent 12% de la surface totale de la zone.

4.3.5 Impact de l'urbanisation

L'analyse de la carte d'occupation du sol (2020) montre que l'urbanisation a impacté les écosystèmes agricoles et forestiers dans la zone comme la montre la Fig. 42.

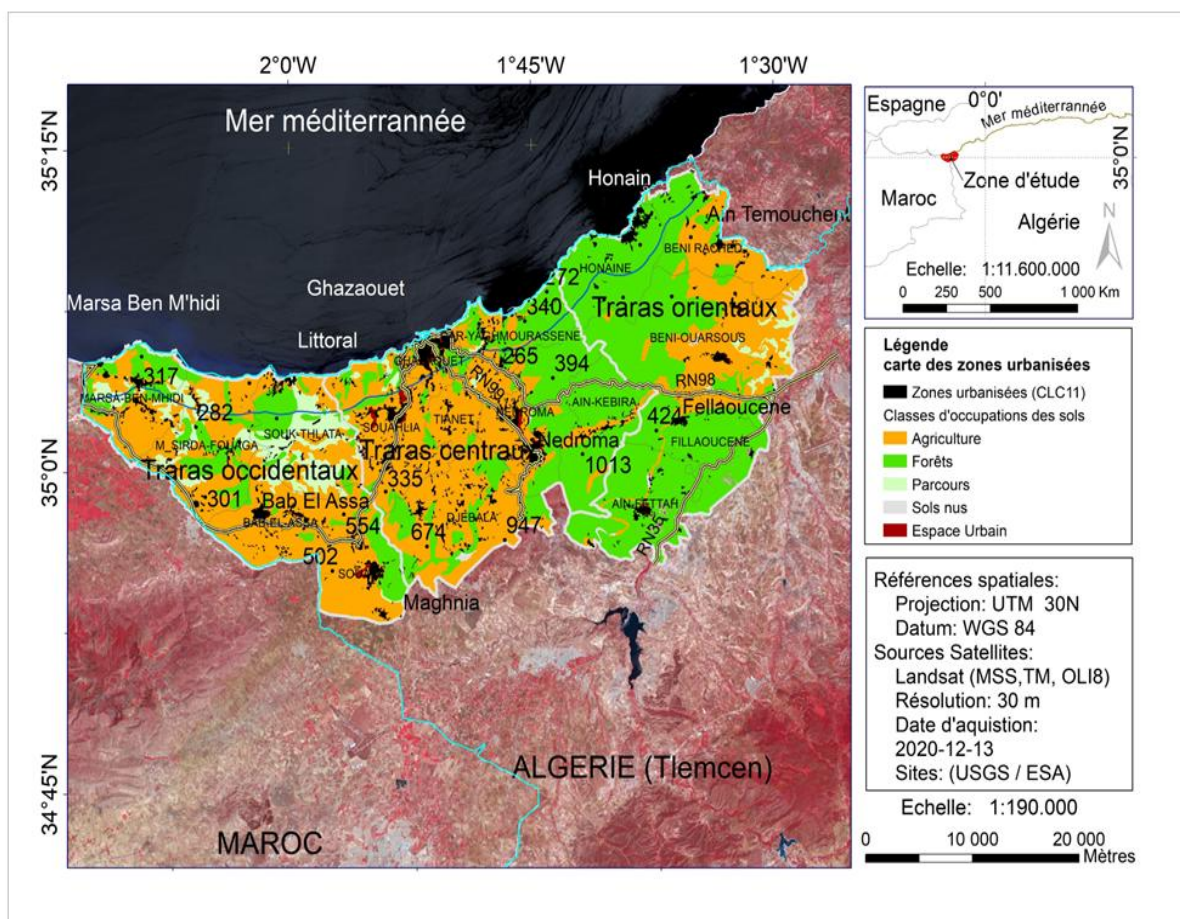


Fig. 42 : Carte de répartition des zones urbanisées dans la zone (2020)

L'analyse de la carte des zones urbanisées (Fig. 42) montre que les zones urbanisées (CLC11) sont concentrées dans la zone centrale et occidentale. Les surfaces des zones urbanisées sont estimées en hectare (ha) et taux (%) dans le Tab. 43.

Tab. 43: Surfaces et taux de couverture des zones urbanisées dans la zone (2020)

Classes CLC d'occupation du sol	Zone occidentale		Zone centrale		Zone orientale	
	Surface (ha)	Taux (%)	Surface (ha)	Taux (%)	Surface (ha)	Taux (%)
Zones urbanisées (CLC11)	2.100	28	3.800	51	1.500	21

L'analyse des surfaces des zones urbanisées (Tab. 43) montre que plus de la moitié (51%) de la surface totale urbanisée est concentrée dans la zone centrale. Les zones urbanisées couvrent 2.100 ha (28%) dans la zone occidentale et 1.500 ha (21%) dans la zone orientale. L'analyse spatiale montre que 3/4 des surfaces urbanisées ont été réalisées sur des terrains de faibles altitudes (0 à 400 m) et 1/4 sur altitudes

comprises entre 500 et 900 m. Par rapport à d'autres indices topographiques, l'analyse montre que plus de 60% de la surface totale urbanisée ont été construites sur des pentes faibles (0 à 9%) et d'expositions nord et nord – Est. Quant à l'assise physique, L'analyse montre que plus de la moitié (54%) de la surface totale urbanisées est concentrée au voisinage des grandes voies d'accès (routes nationales et chemins de wilaya). La zone littorale n'est pas épargnée de l'impact de l'urbanisation comme le montre la Fig. 43.

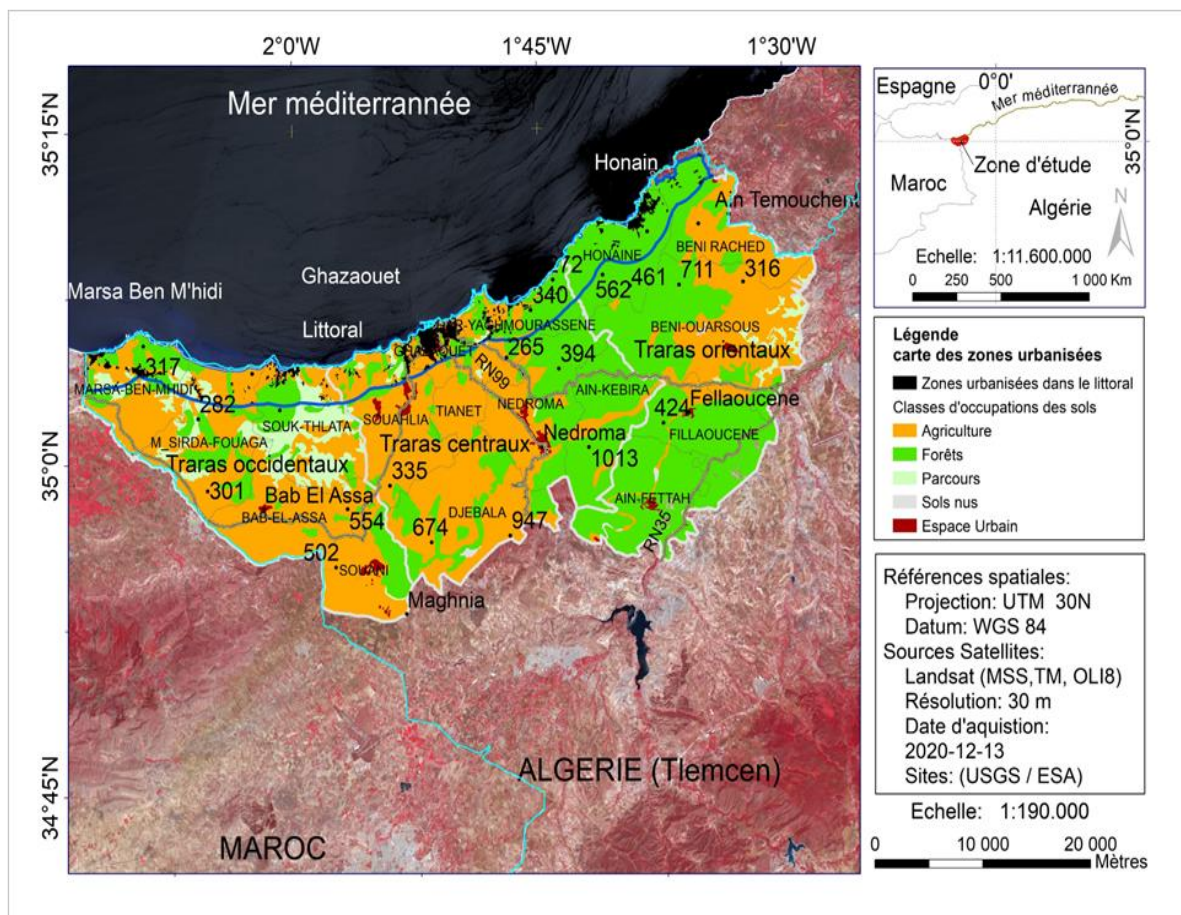


Fig. 43: Carte de répartition des zones urbanisées dans la zone du littoral (2020)

L'analyse de la carte des zones urbaine dans la zone littorale (Fig. 43) montre que l'urbanisation a impacté aussi les écosystèmes agricoles et forestier dans la zone littorale (bande de 3km). Les zones urbanisées (CLC11) dans les communes côtières (Mers Ben Mhidi, Souk Tleta, Ghazouet, Dar Yaghmourassene et Honaine) occupent une surface totale de 2.000 ha ce qui correspond à 27% de la surface totale urbanisée. Entre 1984 et 2020, les zones urbanisées dans la zone littorale ont augmenté de 1.640 ha en 36 ans ce qui correspond à une extension moyenne annuelle de 45,55 ha. Cet indice d'urbanisation nous renseigne sur l'importance de la littoralisation et leur pression exercée depuis sur les écosystèmes littoraux des monts des Traras. Ceci montre que l'interaction de l'homme avec son

environnement (Sparfel, 2011) est ancienne et ne cesse d'augmenter la sensibilité et la fragilité des écosystèmes agroforestiers dans le littoral.

4.3.5.1 Conclusion

Entre 1984 et 2020, les zones urbanisées dans les Monts des Traras ont passé de 1.100 ha en 1984 (Fig. 35, Tab. 32) à 7.400 ha en 2020 (Fig. 36, Tab. 36) ce qui correspond à une augmentation de 6.300 ha en 36 ans (175 ha/an). L'urbanisation a causé une perte en surfaces de 4.500 ha de terres agricoles (CLC24), 1.500 ha de forêts (CLC31) et 300 ha de sols nus (CLC33). Nos résultats demeurent comparables avec d'autres résultats obtenus à l'aide des outils de la géomatique au niveau local, régional et mondial. En Algérie, entre 1960 et 2006 (46 ans), la surface bâtie a augmenté de 5.400 ha par an détruisant 250.000 ha de terres agricoles (Boukourt & Mekhaled, 2016). Entre 1960 et 1970, la Surface Agricole Utile (SAU) algérienne a diminué de 01 ha/habitant à 0,52 ha/habitant, Entre 1985 et 2008, l'urbanisation a conduit à la perte de la SAU (0,34 - 0,24 ha/habitant). Depuis la fin des années 1970, les villes algériennes ont connu une expansion dynamique multipliant sa surface par 5 en 30 ans (Boukourt & Mekhaled, 2016). L'urbanisation de la côte Centre-Nord d'Alger est passé de 26 % à 59,4 % (Rabehi *et al.*, 2020). Avec ces taux d'urbanisation, les villes d'Alger et de Blida situées au Centre-Nord de l'Algérie, séparées par 50 km de distance, risquent de ne constituer qu'une seule masse urbaine d'ici 20 ans (Rabehi *et al.*, 2020). La pression urbaine sur le foncier agricole prive l'agriculture de ses meilleures terres. Alger n'occupait pas plus que 7.500 ha en 1977, aujourd'hui elle s'étale sur plus de sur 80.900 ha (Bessaoud *et al.*, 2019). À Oran, située au Nord-Ouest algérien, la croissance urbaine annuelle a été estimée à 3 % sur la période 1991-2003 (152 ha/an) (Bendraoua *et al.*, 2011). A l'Est du pays, la ville de Batna a enregistré un taux d'expansion de 50 ha/an entre 1961 et 2014 (Benyahia & Dridi, 2017). Les zones urbaines du monde entier connaissent une croissance deux fois supérieure à celle de leur population (Angel *et al.*, 2011). Les résultats de notre étude montrent que plus de la moitié des zones urbanisées (51,4%) sont localisées dans la zone centrale qui abrite la plus grande densité de population dans les Monts des Traras. La croissance démographique dans la wilaya de Tlemcen est passée de 78,9 habitants/km² en 1987 à 104,7 habitants/km² en 2008 ce qui correspond à une augmentation de 25,8 habitants/km² (ONS, 2008). Cette situation montre que les besoins en infrastructures urbaines sont derrière ce phénomène d'artificialisation des terres. L'Europe est l'un des continents les plus urbanisés au monde en raison de son urbanisation intense, qui a un impact direct sur sa capacité à produire des aliments (Gardi *et al.*, 2015). Le phénomène de littoralisation en Algérie suit les dynamiques bâties telles qu'observées à l'échelle régionale, notamment au Maghreb où l'urbanisation a causé de forts dégâts dans les rivages (Ghodhani *et al.*, 2015). Nos résultats montrent que 27 % de la surface totale urbanisée sont situées dans la zone littorale des Monts des Traras. Les zones urbanisées ont été réalisées sur des terres agroforestières de faibles altitudes

(0 à 400 m), situées sur de pentes comprises entre 0 et 9 %, exposées en majorité au Nord, Nord-Est et Nord-Ouest et au voisinage des voies d'accès de proximité (RN et CW). La surface des zones urbanisées dans la zone centrale occupe 3.800 ha ce qui montre que l'urbanisation a provoqué une grande pression sur le foncier dans la zone centrale. Dans la zone occidentale et orientale la surface urbanisée couvre respectivement 28 % et 21 % de la surface totale urbanisée. Ce fait montre que la vitesse d'urbanisation à l'Ouest et à l'Est a été confrontée à la configuration des terrains. En Europe, entre 1990 et 2006, le taux d'artificialisation des terres a augmenté d'environ 9 % (Prokop *et al.*, 2011) avec une croissance annuelle moyenne de 0,5 % (Guerois & Pumain, 2017). L'imperméabilisation liée à l'urbanisation des sols pourrait représenter une menace importante pour la sécurité alimentaire (Commission européenne, 2012).

Chapitre V : Conclusion générale

Ce travail représente les résultats de produits cartographiques et thématiques obtenus par l'application de la télédétection et du système d'information géographique (GIS) dans l'étude diachronique de l'évolution de l'occupation et de l'utilisation des sols dans la zone semi-aride des Monts Traras située au Nord-Ouest de l'Algérie. Durant la période 1984-2020 (36 ans), la synthèse bibliographique montre que la zone a attiré l'attention de plusieurs auteurs. Depuis 1840, 26 botanistes, ont visité la région, parmi lesquels, le docteur Krémer, botaniste qui a le plus exploré les Monts Traras. De 1852 à 1855, il a exploré l'ensemble des Traras. Les auteurs (Berrayah, 2009 ; Medjahdi, 2010 ; Nichane *et al.*, 2013 ; Medjahdi et Letreuch, 2017) ont étudié la végétation des Traras. Kazi-Tani et Gaouar (2015) ont esquissé une cartographie des sols dans les Traras orientaux. Ceci explique que les Traras ont nécessité une étude complète de l'occupation des sols afin de comprendre le fonctionnement et l'interaction du climat et de l'homme avec leurs environnements (physique, biologique et environnemental). La méthodologie appliquée a montré que les sols de la zone n'étaient pas à l'abri de l'influence de l'homme et du climat. Une surface forestière de 20.100 ha a été impactée par une conversion (défrichage et urbanisation) en zones agricoles (16.700 ha), zones urbanisées (1.500 ha) et sols nus (1.900 ha) ; la surface forestière impactée représente 36 % de la surface forestière de référence de l'année 1984. La surface des zones urbanisées a augmenté de 6.300 ha en 36 ans, ce qui correspond à une augmentation moyenne de 175 ha/an. Plus de la moitié (51%) de la surface totale urbanisée est située au centre des Traras et 27 % le long de la côte en rendant ainsi les sols sensibles, fragiles et imperméables. La surface des espaces ouverts, avec ou sans végétation (*CLC33*) a augmenté de 1.800 ha en 36 ans, ce qui correspond à une perte moyenne de couverture végétale de 50 ha/an. Par rapport aux surfaces des sols nus de référence de l'année 1984, les surfaces impactées par l'érosion ont augmenté de 900 ha à l'Est et 800 ha à l'Ouest. En comparaison par rapport à la vitesse de changement spatiotemporel, nous avons constaté que la moyenne annuelle de la surface des zones urbanisées en 36 ans est estimée à trois fois et demi plus que celle des sols érodés ; cette situation montre l'ampleur de l'effet anthropique lié au défrichage et l'urbanisation sur les terres de l'écosystème agroforestier dans les Monts des Traras. Il s'agit d'un diagnostic réalisé pour la zone à l'aide des outils de la géomatique, grâce auquel il a été possible de connaître la zone des Monts des Traras dans sa globalité spatiale, physique, biotique, abiotique et dynamique. Ce travail a permis de démontrer l'importance et l'apport des SIG et télédétection dans l'identification, la compréhension et l'analyse (topographique et thématique) des milieux étudiés. Cette approche a contribué à la mise à jour des références existantes. Les spatio-cartes élaborées pour les Monts des Traras constituent une base de données géographiques et alphanumériques utiles à la prise de décision, permettant de prendre conscience des problèmes environnementaux liés aux dégradations de l'écosystème forestier (défrichage, incendies, érosion et

urbanisation), à la perte de terres agricoles ou nourricières et à la littoralisation. Dans ce contexte, il serait important de mettre une copie de cette base de données à la disposition des gestionnaires de la zone ; il leur fournirait des informations supplémentaires sur la sensibilisation, la planification, la gestion durable et l'aide à la prise de décision.

En perspectives, pour lutter contre l'usage abusif des forêts par les riverains, il faut les mettre les jeunes forêts en défens, pour lutter contre l'érosion dans les Monts des Traras, il y a lieu de laisser le moins de surface de sol nu pendant le moins longtemps possible, de défendre et de restaurer les sols nus par les procédés mécaniques et biologiques. Pour lutter contre les incendies de forêts, il faut sensibiliser les usagers des forêts (éleveurs, riverains et estivants) et appliquer un aménagement normatif et une sylviculture compatible afin de permettre à la forêt de « s'auto-protéger ». Au tour des zones urbanisées, il y a lieu de créer et développer les espaces verts en implantant les arbres et arbustes afin de rafraîchir les espaces urbains, de réguler les crues, les inondations et de réduire les polluants dans l'atmosphère et d'oxygéner davantage les aires de proximité.

Cette étude, mériterait d'être continuée dans l'avenir pour suivre l'évolution des classes *CLC* d'occupation du sol dans leurs détails en utilisant les données des capteurs de télédétection de haute résolution spatiale, spectrale, radiométrique et temporelle à une échelle de temps et d'espaces réduits car les résultats de notre présent travail laissent entrevoir des perspectives de recherche très prometteuses.

Suggestion et recommandations

Il est absolument urgent d'adopter donc des stratégies efficaces d'adaptation au changement climatique, sachant que ce changement prend de vitesse nos capacités d'adaptation. Il peut aggraver les vulnérabilités existantes et accroître l'impact d'autres stress tels que les catastrophes naturelles, pauvreté, inégalité d'accès aux ressources, insécurité alimentaire et incidence des maladies. Dans un but de prévention, il y a lieu de lutter contre la dégradation des écosystèmes agroforestier causée par le défrichement, le feu et l'urbanisation qui sont l'une des principales menaces pour la biodiversité (Bechet *et al.*, (2017).

Ecosystèmes agricoles

Compte tenu des résultats obtenus, il importe pour les autorités des monts des Traras de prendre des dispositions en vue d'un développement durable. Au nombre de ces dispositions, il faut :

- a. L'exploitation de la base des données de la carte de l'occupation et l'utilisation des sols, pour une meilleure prise de décisions ; car elle comporte des informations (graphiques et descriptives) à jour

qui pourront servir à la planification et l'aménagement dans le domaine de l'agriculture, foresterie et à la protection de l'environnement, ...etc,

- b. La mise en œuvre des programmes de sensibilisation sur l'impact du changement climatique local,
- c. La mise en place d'outils juridiques et adéquats pour la sécurisation des terres agricoles contre le phénomène d'urbanisation,

Les résultats montrent qu'il est nécessaire de consolider le développement technique du secteur agricole afin de faire face aux nouvelles conditions climatiques. La situation agricole actuelle nous oblige de procéder à la modification des pratiques agricoles vers une expansion des zones agro - écologiques et sylvopastorales gérées par des stratégies contribuant aux objectifs communs de l'adaptation au changement climatique et de la sécurité alimentaire par les actions suivantes :

- a. Augmentation de la productivité agricole en utilisant les outils de l'agriculture de précision, de la résilience au climat et de la durabilité, notamment pour les petits agriculteurs (par exemple, en faisant la promotion des pratiques agricoles de conservation, de la restauration des sols dégradés et de la biodiversité agricole),
- b. Promotion du droit d'accès des personnes vulnérables, en particulier des femmes, aux ressources vitales telles que les terres et l'eau,
- c. Gestion intégrée des ressources en eau,
- d. Gestion durable de l'utilisation des sols et des services de l'écosystème,
- e. Transfert de technologies (irrigation, conservation et agriculture durable, technologie du biogaz, etc.),
- f. Stratégies de réduction des risques de catastrophes,
- g. Augmentation de la capacité des gouvernements à mettre en œuvre des programmes de protection sociale,
- h. Amélioration du suivi de la sécurité alimentaire, avec l'intégration d'indicateurs liés à l'égalité des genres, la nutrition, la variabilité et les changements climatiques,
- i. Partenariats avec d'autres organisations humanitaires de développement et environnementales, des instituts de recherche, des gouvernements et le secteur privé pour identifier des réponses pratiques et efficaces aux changements climatiques et à l'insécurité alimentaire,
- j. Gestion et partage des connaissances dans tous les secteurs, communication et sensibilisation,
- k. Il faudra sensibiliser et motiver l'ensemble des exploitants agricoles afin d'augmenter le taux d'assurance agricole contre les risques des aléas climatiques.

Ecosystèmes forestiers

Parmi les actions prioritaires à entreprendre, la conservation qui ne peut se concevoir que par la sensibilisation et la lutte préventive contre le défrichement, l'incendie, l'érosion et l'urbanisation. Il faut admettre que la conservation du patrimoine forestier est avant tout un problème socio-économique dont il faudra impliquer en particulier les riverains dans le cadre de la concertation et la participation des communautés locales.

La situation actuelle des forêts des Monts des Traras sous les nouvelles conditions climatiques agressives, nous oblige d'appliquer une sylviculture compatible et adaptative afin de permettre à la forêt de « s'auto-protéger » sachant qu'une forêt exploitée et bien entretenue est protégée contre les risques des feux de forêts. Ces mesures sylvicoles permettent de réguler le régime de l'eau, de diversifier et réduire la densité de reboisement des espèces résistantes au stress hydrique.

Il y a lieu de protéger les espèces qui démontrent leurs résistances aux changements climatiques par des procédés mécaniques tels que le renforcement des infrastructures de bases (pistes forestières, tranchées pare feux et points d'eau). Pour la lutte et la prévention contre les incendies, le débroussaillage réglementaire est de rigueur dans les zones sensibles, ainsi que la création de coupures de combustible dans certains massifs forestiers. Ce débroussaillage est intensif et régulièrement répété avant le début de chaque campagne de lutte contre les incendies de forêts. Si le stockage de carbone dans les forêts gérées durablement est un fait acquis, il apparaît que les cultures annuelles peuvent également contribuer au stockage de carbone et donc à la lutte contre l'effet de serre (Direm, 2002).

Milieu urbain

L'analyse des résultats montre qu'il y a lieu de créer et développer les espaces verts autour des zones urbanisées afin de rafraîchir les espaces urbains, de réguler les crues, les inondations et de réduire les polluants dans l'atmosphère et d'oxygéner davantage les aires de proximité.

Références bibliographiques

- Ababou A. (2010). *Utilisation de la télédétection dans l'étude de la réflectance des sols salés des plaines sublittorales et analyse des réponses spectrales des constituants minéralogiques et de la végétation, Cas de la région du Bas Chélif (Algérie Nord occidentale)* [Doctoral dissertation, Université de Mostaganem-Abdelhamid Ibn Badis]. Disponible sur : <https://www.pnst,cerist,dz/detail,php?id=27424/> (Consulté le 03/05/2013).
- Abdelli, M, Zeggane, M. (2007). Les barrages en Algérie, problématique et enjeu de l'envasement, *Journal de l'expression*, <http://www,djazair,com/fr/lexpression/45566>
- Achbun, A, Mansour, M, Layelmam, M, & Smiej, M, F. (2011). Etude comparative de la classification orientée objet d'une image spot5 pour la cartographie de l'occupation du sol via eCognition® 9, *GEO OBSERVATEUR*, (19). 13, Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00915067/> (Consulté le 22/02/2013).
- Adger, W, N, Huq, S, Brown, K, Conway, D, & Hulme, M. (2003). Adaptation to climate change in the developing world, *Progress in development studies*, 3(3). 179-195, Disponible sur : <https://www,mikehulme,org/wp-content/uploads/2007/04/adger-et-al-pids,pdf>, (Consulté le 12/02/2012).
- AEE, Agence Européenne de l'Environnement (2009). Regional climate change and adaptation: The Alps facing the challenge of changing water resources, Report No 8/2009, p, 17-29). https://www,eea,europa,eu/publications/alps-climate-change-and-adaptation-2009/at_download/file.
- Agard, J. et al. (2010). *Les impacts du changement climatique sur la biodiversité des îles de la Caraïbe*. Rapport technique n° 386.
- Aimé, S. (1991). Etude écologique de la transition entre les bioclimats subhumide, semi-aride et aride dans l'étage thermo-méditerranéen du tell oranais (Algérie occidentale) (Thèse de doctorat, Aix-Marseille 3). <https://www.theses.fr/1991AIX30081>
- Alibou, J. (2002). Impacts des changements climatiques sur les ressources en eau et les zones humides du Maroc, *Table Ronde Régionale en Méditerranée Athènes, Grèce*, 1-39, Disponible sur : https://www,uicnmed,org/web2007/CDCambio_climatico/contenido/E/PDF/CC_e5,pdf (Consulté le 23/09/2012).
- Allen, W, A, Gausman, H, W, Richardson, A, J, & Wiegand, C, L. (1970). Mean effective optical constants of thirteen kinds of plant leaves, *Applied Optics*, 9(11). 2573-2577, <https://opg,optica,org/abstract,cfm?uri=ao-9-11-2573>.
- Ametys C, M, S. (2021). Les montagnes, sentinelles du changement climatique (Observatoire Midi-Pyrénées France). ENSAT Toulous France, <https://www,ensat,fr/fr/ensat/toutes-nos-actualites/les-montagnes-sentinelles-du-changement-climatique,html>.
- ANAT, Agence Nationale d'Aménagement du Territoire (2010). Plan d'aménagement du territoire de la wilaya de Tlemcen, phase 1 évaluation territoriale, wilaya de Tlemcen- Algérie,
- Angel, S, Parent, J, Civco, D, L, Blei, A, & Potere, D. (2011). The dimensions of global urban expansion: Estimates and projections for all countries, 2000–2050, *Progress in Planning*, 75(2).53-107, <https://www,sciencedirect,com/science/article/pii/S0305900611000109>
- Antonetti, P, Brugel, E, Kessler, F, Barbe, J, P, & Tort, M. (2006). *Atlas de la flore d'Auvergne* (pp, 1-984). Chavaniac-Lafayette : Conservatoire botanique national du Massif central. http://www,tela-botanica,org/actu/IMG/Communique_de_presse_en_couleur,pdf.
- Anys, H, Bannari, A, He, D, C, & Morin, D. (1998). Cartographie des zones urbaines à l'aide des images aéroportées MEIS-II, *International Journal of Remote Sensing*, 19(5). 883-894, Disponible sur : <http://www,tandfonline,com/doi/pdf/10,1080/014311698215775?needAccess=true> (Consulté le 12/02/2014).
- Ariaux, B. (2000). *Les SIG utilisés en agriculture de précision*. In Colloque Agriculture de Précision, Educagri, Dijon (pp. 55-65).

- <https://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=33iREqdj010C&oi=fnd&pg=PA55&ots=sElrPjr29K&sig=ynFXSH98BOFPI3zBA-8-r0lh68Q>
- ASAL, Agence Spatiale Algérienne (2018). *Utilisation des systèmes spatiaux nationaux dans le développement et le suivi des zones frontalières 13-14 octobre 2018* (ASAL). Disponible sur : www.interieur.gov.dz/,,,/MICALATsept2018v3DEF-ilovepdf-compressed,p,,, (Consulté le 14/02/2019).
- ASJ, Agence Spatiale Japonaise, (2011). Des cartes du couvert à l'échelle du globe de 2009 réalisées à l'aide des données de PALSAR/ALOS et de MERIS maintenant disponibles, *Bulletin d'information publié par L'Association Québécoise de Télédétection (AQT)*. 26(2). P11.
- Attia, F. (2007). Effet du stress hydrique sur le comportement écophysio-logique et la maturité phénologique de la vigne *Vitis vinifera* L : étude de cinq cépages autochtones de Midi-Pyrénées (Doctoral dissertation). Disponible sur : F Attia - 2007 - oatao.univ-toulouse.fr (Consulté le 18/03/2015).
- Atzberger, C. (2013). Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs, *Remote sensing*, 5(2). 949-981, <https://www.mdpi.com/2072-4292/5/2/949>.
- Aubert, M. (2012). Caractérisation de l'état de surface des sols nus agricoles par imagerie radar TerraSAR-X (Doctoral dissertation, AgroParisTech). Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00764268/> (Consulté le 25/02/2014).
- Ayache, F. (2007). Les résineux dans la région de Tlemcen (aspect écologique et cartographie). *Mém, Mag, Ecol, Vég, Univ, Abou Bakr Belkaid, Tlemcen*, 223, https://scholar.google.com/scholar?cluster=9799750490692994504&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0,5.
- Barbier, P. (2003). La formation à distance en cartographie. *Le Monde des cartes*. (177- 78). pp.43- 44.
- Barry, M, B, M, Badiane, D, B, Sall, S, M, M, Balde, M, L, N, Millimono, T, N, Diaby, I, & Diallo, D. (2015). Apport d'une methode de detection et d'estimation des surfaces brulees par imagerie MODIS : application aux savanes guineennes, *Revue scientifique de l'université julius n'yérére de kankan*, Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01457253/document> (Consulté le 14/08/2016).
- Bechet, B, Le Bissonnais, Y, Ruas, A, Aguilera, A, Andrieu, H, Barbe, E, & Desrousseaux, M. (2017). *Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols : déterminants, impacts et leviers d'action, Synthèse* (Doctoral dissertation, Inra). Disponible sur : <https://hal.inrae.fr/hal-02791450/document> (Consulté le 24/06/2018).
- Bekhti, Mohammed and Sweeting, M-N. (2008). Power system design and in orbit performance of Algeria's first micro satellite Alsat-1, *Electric power systems research*, 78(7). 1175-1180, <https://openresearch.surrey.ac.uk/esploro/outputs/journalArticle/Power-system-design-and-in-orbit-performance-of-Algerias-first-micro-satellite-Alsat-1/99514324802346>.
- Beliakov, Gleb, and Matthew King. (2006). Density Based Fuzzy c-Means Clustering of Non-Convex Patterns. *European Journal of Operational Research* 173 (3): 717-28, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221705006703>.
- Bellon, H, & Guardia, P. (1980). Le volcanisme alcalin plio-quatenaire d'Algérie occidentale, Etude radiométrique et paléomagnétique, *Revue de géologie dynamique et de géographie physique Paris*, 22(3). 213-222, <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=12631039>.
- Beltrame, C, Perennou, C, & Guelmami, A. (2015). Évolution de l'occupation du sol dans les zones humides littorales du Bassin méditerranéen de 1975 à 2005, *Méditerranée, Revue géographique des pays méditerranéens/Journal of Mediterranean geography*, (125). 97-111, Disponible sur : <https://journals.openedition.org/mediterranee/8046>.
- Benabadji, N, & Bouazza, M. (2000). Quelques modifications climatiques intervenues dans le Sud-Ouest de l'Oranie (Algérie Occidentale). *Journal of Renewable Energies*, 3(2). 117-125, <https://revue.cder.dz/index.php/rer/article/view/916>.

- Bendraoua *et al.* (2011). Spatio-temporal dynamics of the Oranaise agglomeration (Algeria) using remote sensing and GIS, (Dynamique spatio-temporelle de l'agglomération Oranaise (Algérie) par télédétection et SIG). *Cfc N°209*, 11P, DOI : lecfc.fr/new/articles/209-article-9.pdf.
- Benest, M., Bensalah, M., Bouabdellah, H., & Ouadas, T. (1999). La couverture mésozoïque et cénozoïque du domaine Tlemcénien (Avantpays Tellien d'Algérie occidentale): Stratigraphie, paléoenvironnement, dynamique sédimentaire et tectogénèse alpine, *Bulletin du service géologique de l'Algérie*, 10(2). 127-157.
- Benhamouda, F. (2005). Systtème d'analyse et d'aide à la décision de lutte antiacridienne, Workshop International Télédétection et Systèmes d'Information Géographique "*Information Spatiale et Développement Durable*", 14 au 16 novembre 2005, Rabat, Maroc, Disponible sur : http://www.israbat.ac.ma/wp-content/uploads/2015/03/Doc,%20IS%20n%C2%B020%20%20Workshop%20Inter,%20TSIG_ISD D%20-2006.pdf.
- Benkrid, E. (2008). Etude de l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la plaine du Bas Chélif (Algérie). *Université Montpellier*, Disponible sur: https://scholar.google.com/scholar?cluster=9140084481537335525&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0, 5 (Consulté le 13/05/2013).
- Benmansour, N-E. (2009). Contribution a l'étude de l'anchois (*Engrasdis Encrasicolus* 1,1758) de l'extrême ouest Algérien (Ghazaouet et Beni Saf). Recherche de quelques métaux lourds, (Université Aboubekr Belkaid Tlemcen). Disponible sur : <https://www.scribd.com/document/365042370/contribution-a-l-etude-de-l-anchois-de-l-extreme-ouest-algerien> (Consulté le 12/09/2013).
- Bensaoula, F, & Adjim, M. (2008). La mobilisation des ressources en eau : contexte climatique et contraintes socio-économiques (cas de la wilaya de Tlemcen). *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (7). Disponible sur : <http://www.larhyss.net/ojs/index.php/larhyss/article/download/95/89> (Consulté le 25/01/2014).
- Benyahia, L, Dridi H. (2017). Diachronic analysis of the urban area by remote sensing and GIS of a large Algerian city (Batna) (L'analyse diachronique de la superficie urbaine par télédétection et SIG d'une grande ville Algérienne (Batna)). *Sciences & Technologie D*, 45, 101–108, <http://revue.umc.edu.dz/index.php/d/article/download/2236/pdf>,
- Bergeron, M. (1993). Vocabulaire de la géomatique : Terminologie technique et industrielle, vocabulaire anglais-français, (Gouvernement du Québec, Office de la langue française,). Disponible sur : https://scholar.google.fr/scholar?hl=fr&as_sdt=0%2C5&q=Bergeron%2C+1993+g%C3%A9omatiq ue+&btnG= (Consulté le 02/06/2013).
- Bergès J, -C, Lacaze B, Smiej M, F. (2005). Vers un suivi en temps réel de la sécheresse au Maroc à partir des données Météosat Seconde Génération (MSG). Communication au colloque international « Aménagement du territoire et risques environnementaux », Fès, Maroc, 15-16 avril 2005 (sous presse, revue de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Fès, et disponible sur Internet : <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00126505>).
- Bernardi, M. (2002). Application des méthodologies élaborées au sein du projet CLIMAGRI aux pays en développement du bassin méditerranéen.
- Bernier, P. (2005). La forêt face aux changements climatiques : les nouvelles sont-elles bonnes ou mauvaises ?
- Berrayah, M. (2009). Analyse de la dynamique des systèmes et approche d'aménagement intégrée en zones de montagne, Cas des montagnes des Trara (wilaya de Tlemcen). Magister en foresterie, 178 p, [archive], Université de Tlemcen, p12,). Disponible sur : https://scholar.google.com/scholar?cluster=3762229615290122466&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0, 5 (consulté le 12/08/2013).

- Besacier, C. (2013). Les pays du pourtour de la Méditerranée se dotent d'un Cadre stratégique sur les forêts méditerranéennes, *Forêt méditerranéenne*, 34(4). 257-260, Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03556639/document> (Consulté le 02/06/2014).
- Bessaoud, O. (2008, October). Changement climatique et agriculture au Maghreb, In *Séminaire régional : Changement climatique en Méditerranée* (pp, 18-p). Disponible sur : <https://hal.inrae.fr/hal-02824224> (Consulté le 04/07/2011).
- Bessaoud, O, Pellissier, J, P, Rolland, J, P, & Khechimi, W. (2019). *Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie* (Doctoral dissertation, CIHEAM-IAMM). Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02137632/document> (Consulté le 28/06/2019).
- Bijaber, N, et al. (2005). Utilisation des méthodes avancées de classification pour la cartographie forestière par télédétection, P18 Workshop International Télédétection et Systèmes d'Information Géographique "Information Spatiale et Développement Durable", 14 au 16 novembre 2005, Rabat, Maroc, http://www.israbat.ac.ma/wp-content/uploads/2015/03/Doc,%20IS%20n%C2%B020%20Workshop%20Inter,%20TSIG_ISD%20-2006.pdf
- Bleu, P, & Antipolis, S. (2003). Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens, <https://planbleu.org/publications/les-menaces-sur-les-sols-dans-les-pays-mediterraneens/>
- Bleu, P. (2010). Les Notes du plan bleu, *Environnement et développement en Méditerranée*, https://scholar.google.com/scholar?cluster=15420246104746338494&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0,5
- BNEDER, Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural (2008). Etude d'Inventaire Forestier National (IFN) - Rapport sur le schema directeur d'aménagement - Wilaya de Tlemcen, Conservation des forêts de Tlemcen, p, 21p, Algérie.
- Boer, M, Del Barrio, G, & Puigdefàbres, J. (1996). Cartographie des classes de profondeur du sol dans les zones méditerranéennes sèches à l'aide d'attributs de terrain dérivés d'un modèle numérique d'élévation, *Géoderma*, 72 (1-2). 99-118, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0016706196000249>.
- Boggs, G, Devonport, C, Evans, K, & Puig, P. (2001). GIS-based rapid assessment of erosion risk in a small catchment in the wet/dry tropics of Australia, *Land Degradation & Development*, 12(5). 417-434, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.457>.
- Bonin, M, Augusseau, X, & Arnaud, M. (2001). SIG et statistiques pour l'analyse des dynamiques d'occupation et d'utilisation du sol : application à une commune du Parc naturel régional des Monts d'Ardèche et à une zone d'accueil de migration dans le sud-ouest du Burkina Faso, Disponible sur : <https://agritrop.cirad.fr/488967/> (Consulté le 12/12/2016).
- Bonnet, F. & Rochon, G. (1992). Précis de télédétection volume 1 : Principes et méthodes, Sainte- Foy : Presse de l'université du Québec/AUPELF, 485 p, Disponible sur : [https://www.scirp.org/\(S\(vtj3fa45qm1ean45vvffcz55\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1878582](https://www.scirp.org/(S(vtj3fa45qm1ean45vvffcz55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1878582) (consulté le 12/02/2015).
- Bonnet, S et Toromanoff, F, Fourneau, F, & Lejeune, P. (2011). Principes de base de la télédétection et ses potentialités comme outil de caractérisation de la ressource forestière, I, Images aériennes et satellitaires, *Forêt Wallonne*, (114). 45-56, Disponible sur : <https://orbi.uliege.be/handle/2268/103250> (Consulté le 12/03/2013).
- Borne , E. (2020). Forest fires - preventing and protecting against them, Press pack 2020 (Feux de forêt les prévenir et s'en protéger, Dossier de presse 2020). https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020,06,19DP_Feux_foret_campagne_2020_vf.pdf.
- Both, C, Bouwhuis, S, Lessells, C, M, & Visser, M- E. (2006). Climate change and population declines in a long-distance migratory bird, *Nature*, 441(7089). 81-83, Disponible sur : <https://www.nature.com/articles/nature04539> (Consulté le 14/08/2012).
- Bouanani, A. (2006). Transport Solide Et Modélisation Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérie). Thèse Doctorat d'état UnivA, belkaid Tlemcen,250p,

- <https://scholar.archive.org/work/nhtdfkfkxzfdvgzjcx27a3juae/access/wayback/http://hydrologie.org/THE/BOUANANI.pdf>
- Bouchard, S. (2005). Effet du stress sur la production de pomme de terre, *Agri Reseau*, Disponible sur : <https://www.agrireseau.net/pdt/documents/StressPdt.pdf> (Consulté le 02/08/2012).
- Boucherf, D. (2010). *Étude spatio-temporelle et prévision saisonnière des températures sur le Nord de l'Algérie* [Doctoral dissertation, université d'Alger]. <https://www.ccdz.cerist.dz/admin/notice.php?id=00000000000000040870000000>
- Boudy, P. (1948). Economie forestière Nord-africaine-Tome 1 : milieu physique et milieu humain, Disponible sur : <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR2019147814> (Consulté le 10/02/2013).
- Boudy, P. (1955). Économie forestière nord-africaine : Description forestière de l'Algérie et de la Tunisie (Vol, Disponible sur : 4). Larose, https://scholar.google.com/scholar?cluster=7719895220618106628&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0,5 (Consulté le 15/05/2013).
- Boughalem, K-M. (2013). Impact of management systems on soil vulnerability to erosion; case of the Isser-Tlemcen watershed (Algeria) (Impact des systèmes de gestion sur la vulnérabilité des sols à l'érosion; cas du bassin versant de l'Isser- Tlemcen -Algérie) *Devant*, 215, <http://dspace.univ-tlemcen.dz/handle/112/8431>.
- Boukerch, I, Hadied, M, Mahmoudi, R, Takarli, B, & Hasni, K. (2012). Rigorous geometrical modeling of ALSAT-2A Algerian satellite, In *Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XVI* (Vol, 8533, pp, 437-445). SPIE, Disponible sur : <https://www.semanticscholar.org/paper/Rigorous-geometrical-modeling-of-ALSAT-2A-Algerian-Boukerch-Hadied/096acb19de8da84d78fd21452d78ee797c70a8f4> (Consulté le 25/01/2015).
- Boukort, K. Mekhaled, Z. (2016). Cartographie diachronique de l'occupation du sol et détection de changement en zone périurbaine, Le cas de l'ACL de Mostaganem). Département de Mathématiques et d'Informatique Filière Informatique, 57, <http://e-biblio.univ-mosta.dz/bitstream/handle/123456789/9563/MINF163.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Boulain, N. (2004). Effet des facteurs climatiques et anthropiques dans l'évolution récente des écosystèmes tropicaux : modélisation spatialisée du bilan hydrique d'un petit bassin versant sahélien (Doctoral dissertation, Paris 6). <https://www.theses.fr/2004PA066016>
- Boulkeddid, T. (2014). *L'utilisation des ressources productives dans l'agriculture algérienne : évolution et perspectives* (Doctoral dissertation, Thèse de Magistre en Sciences Economiques, Université de Constantine). https://scholar.google.com/scholar?cluster=9796267957007481531&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0,5
- Bourbouze, A. (1999). Gestion de la mobilité et résistance des organisations pastorales des éleveurs du Haut Atlas marocain face aux transformations du contexte pastoral maghrébin, In : Niamir Fuller M, ed, *Managing mobility in African rangelands : the legitimization of transhumance*, Londres : Immediate technology Publications, 1999, <http://www.museum.agropolis.fr/pages/savoirs/agdal/maryam.pdf>
- Brian, S. (2007). L'Afrique et le changement climatique.
- Brück, L, Mérenne-Schoumaker, B. (2002). Peri-urbanization in Belgium: understanding the process of urban sprawl (La périurbanisation en Belgique : comprendre le processus de l'étalement urbain) P14, disponible à l'adresse <http://www.lmg.ulg.ac.be/didac/periurbanisation.pdf>
- Bruno, V. (2010). Conséquences des changements climatiques sur la forêt méditerranéenne française.
- Caballero, Y, & Noilhan, J. (2007). Etude de l'impact du changement climatique sur les ressources en eau du bassin Adour Garonne, *Météo-France/Agence de l'eau-Ardour Garonne*, Disponible sur : http://docs.gip-ecofor.org/libre/Caballero_2003.pdf (Consulté le 12/07/2012).
- Cabanettes, A. (1979). Croissance, biomasse et productivité de, *PinU-1 pinea*, Disponible sur : https://infodoc.agroparistech.fr/index.php?lvl=notice_display&id=119401

- Caloz, R., & Collet, C. (2001). *Précis de télédétection-Volume 3 : Traitements numériques d'images de télédétection* (Vol. 3). PUQ, https://www.researchgate.net/publication/327538872_Precis_de_teledection_-_Volume_3_Traitements_numeriques_d'images_de_teledection
- Campbell, J., Wynne, R-H. (2011). Introduction to remote sensing, *Guilford Press*, 662 p, 2000, <https://doaj.org/article/2025d555140d455aa7ea75fc9d53d942>
- Camus, G, Dequincey, O, & Moussus, J, P. (2007). *Réchauffement climatique et biodiversité*, (Planet-Vie). Disponible sur : <https://planet-terre.ens-lyon.fr/pdf/climat-biodiv.pdf> (Consulté le 14/05/2012).
- Caspar, M, Yesou, H, Selle, A, Tinel, C, Tessier, P, Durand, A, & de Fraipont, P. (2015). Forest recolonization monitoring based on HR and VHR imagery: the case of the Maido forest fire exploiting Pléiades HR and SPOT Kalideos database, *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, (209). 149-155, <https://rfpt,sfpt.fr/index.php/RFPT/article/view/99>
- CCE, Commission des Communautés Européennes. (2001). *Livre vert : promouvoir un cadre européen pour la responsabilité sociale des entreprises*, Commission des Communautés européennes, https://scholar.google.com/scholar?cluster=15009556462574758485&hl=fr&as_sdt=2005&sciold=0,5
- CGDD, Commissariat général au développement durable. (2009). *CORINE Land Cover France Guide d'utilisation*, Service de l'observation et des statistiques, document technique, Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire—France, (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire-France,). Disponible sur : https://scholar.google.com/scholar?cluster=17299728741914810312&hl=fr&as_sdt=2005&sciold=0,5 (Consulté le 13/03/2012).
- Chaaban, F. (2011). Apport potentiel des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) pour une meilleure gestion d'un littoral dans une optique de développement durable, approches conceptuelles et méthodologiques appliquées dans le Nord de la France (Doctoral dissertation, Présentée Pour l'obtention du titre de Docteur de l'Université Lille Sciences et Technologies). Disponible sur : <http://www.theses.fr/2011LIL10064> (Consulté le 01/03/2014).
- Chakroun, H. (2014). Cours SIG (système d'information géographique). Introduction aux SIG et à la télédétection en génie civile, (Ecole nationale des ingénieurs de Tunisie (ENIT)). Disponible sur : https://www.academia.edu/5138784/cours_SIG_syst%C3%A8me_dinformation_g%C3%A9ographique (Consulté le 12/03/2015).
- Chander, G, Markham, B, L, & Helder, D-L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, *Remote sensing of environment*, 113(5). 893-903, Disponible sur : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425709000169> (Consulté le 12/03/2016).
- Chehata, N. (2017). *Contributions méthodologiques pour la caractérisation des milieux par imagerie optique et LiDAR* (Thèse de doctorat, université paris-est). Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01494206/document> (Consulté le 19/03/2019).
- Cheke, R-A. et Tratalos, J-A. (2007). Migration, répartition et processus de population illustrés par deux ravageurs migrants, *Biosciences*, 57 (2). 145-154, <https://academic.oup.com/bioscience/article-abstract/57/2/145/228463>
- Chikhaoui, M, Merzouk, A, Lacaze, B, & Madramootoo, C-A. (2010). Etude de la dégradation des sols en milieu semi-aride à l'aide de l'approche neuronale et de données multi sources, *Revue télédétection*, 9, 139-150, <https://hal.archives-ouvertes.fr/halshs-00731760/> (Consulté le 19/02/2015).
- Chuine, I. & Thuiller, W. (2005). Impact du changement climatique sur la biodiversité, *Le Courrier de la nature*, 223, 20-26, Domaine Universitaire de Saint Martin d'Hères, BP53, 38041 Grenoble Cedex 9 France.
- Chuine, I. (2010). *Impacts du changement climatique sur la répartition géographique des espèces et leurs traits fonctionnels*. CNRS. France.

- Claudot, E, J. (1970). Premières réflexions sur le système de maîtrise des feux forestiers dans les régions méditerranéennes par l'utilisation de pare feu, <https://hal.inrae.fr/hal-02607754>
- CNES, Centre National d'Etudes Spatiales (1999). General description of the system, The VEGETATION Web site, <http://vegetation,cnes.fr:8080/overview/descript.html>
- Commission Européenne (2012). Lignes directrices concernant les meilleures pratiques pour limiter, atténuer ou compenser l'imperméabilisation des sols). <https://doi.org/10,2779/79012>,
- Corgne, S., Hubert-Moy, L. & Betbeder, J. (2016). Monitoring of agricultural landscapes using remote sensing data, In *Land Surface Remote Sensing in Agriculture and Forest* (pp, 221-247). Elsevier, Disponible sur : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781785481031500066> (Consulté le 19/02/2019).
- Cosgrove, D-J. (2005). Croissance de la paroi cellulaire végétale, *Nature examine la biologie cellulaire moléculaire*, 6 (11). 850-861, <https://www.nature.com/articles/nrm1746>
- Crick, H, Q, & Sparks, T-H. (1999). Climate change related to egg-laying trends, *Nature*, 399(6735). 423-423, <https://www.nature.com/articles/20839>
- Dandin, P. (2006). Evolution du climat et sécheresses, *Congrès de la FNCCR, Bordeaux, sept, 2006, Météo-France, Direction de la Climatologie*, https://www.researchgate.net/profile/Philippe-Dandin/publication/266340121_Evolution_du_climat_et_secheresses/links/57306fff08aeb1c73d147712/Evolution-du-climat-et-secheresses.pdf
- Daniel, R. et Jacinthe, L. (1999). L'eau et le climat, deux variables indissociables – (Mémoire présenté à la Commission de la gestion de l'eau) pour l'Association de climatologie du Québec inc, <https://archives,bape,gouv,qc.ca/sections/archives/eau/docdeposes/memoires/MEMO249.pdf>
- Daoudi, A., Colin, J. P., Derderi, A., & Ouendeno, M-L. (2015). Mise en valeur agricole et accès à la propriété foncière en steppe et au Sahara (Algérie). *Les Cahiers du Pôle Foncier*, 13, 34. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers16-06/010067476.pdf
- Daufresne, M. & Boet, P. (2007). Climate change impacts on structure and diversity of fish communities in rivers, *Global Change Biology*, 13(12). 2467-2478, https://scholar.google.com/scholar?cluster=11980713567915691081&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0,5
- Dazé, A. Ambrose, K, & Ehrhart, C. (2010). Analyse de la vulnérabilité et de la capacité d 'adaptation au changement climatique, *Traduction : Béatrice Esquivel, Awais Yahaya et Olivier Braunsteffer*. CARE International. Disponible sur : https://careclimatechange.org/wp-content/uploads/2019/06/CVCA_FR.pdf (Consulté le 12/08/2012).
- De Wispelaere, G. (1994). Contribution of satellite remote sensing to the mapping of land use and of potential glossina biotopes: case study of the Adamawa plateaux in Cameroon, *Etude FAO: Production et Sante Animales (FAO)*. <https://agris,fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF9551457>
- Defila, C, & Clot, B. (2003). Comparaisons urbaines-rurales à long terme, Dans *Phénologie : une science environnementale intégrative* (pp, 541-554). Springer, Dordrecht, https://link.springer.com/chapter/10,1007/978-94-007-0632-3_33
- Delavière M, & Guégan, J-F. (2008). Les effets qualitatifs du changement climatique sur la santé en France, *Ministère de la santé, de la jeunesse, des sports et de la vie associative* Disponible sur : https://solidarites-sante,gouv,fr/IMG/pdf/rapport_changt_climatique_et_sante_France.pdf,(Consulté le 20/05/2012).
- Delbart, N. (2005). *Téledétection de la phénologie dans les régions boréales* (Doctoral dissertation, Toulouse 3). Disponible sur : http://www.cesbio,ups-tlse,fr/data_all/theses/Th_Delbart_2005.pdf (Consulté le 11/06/2012).
- Delecolle, R, Soussana, J, F, & Legros, J, P. (1999). Impacts attendus des changements climatiques sur l'agriculture française, *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, (4). 45-51, <https://hal.inrae.fr/hal-02694694>
- Demaze, M-T. (2010). Un panorama de la télédétection de l'étalement urbain, *ESO Travaux et Documents*, (29). 99-124, Disponible sur : <https://halshs.archives-ouvertes,fr/halshs-00508974/document> (Consulté le 15/05/2015).

- Demmak, A. (1982). Contribution to the study of erosion and solid transport in northern Algeria, (Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale). Thèse de doct, Ing, Paris, France, 323p,
- Denis, A. (2012). Initiation à ArcGIS-Travaux pratiques sur les Systèmes d'Information Géographique-SIG, Disponible sur : https://www.academia.edu/7656509/Initiation_%C3%A0_ArcGIS_Travaux_Pratiques_sur_les_Sys_t%C3%A8mes_d'Information_G%C3%A9ographique_SIG (Consulté le 19/02/2015).
- Denis, A. (2016). Initiation à QGIS-Travaux pratiques sur les Systèmes d'Information Géographique-SIG, p, p12, Disponible sur : <https://orbi.uliege.be/handle/2268/135775> (Consulté le 15/05/2015).
- Denis, A. (2021). Systèmes d'Information Géographique SIG. Présentation générale des SIG & Exemples d'applications SIG pour la gestion de l'environnement et de l'agriculture. 03-04-05.
- Deynès, F. (2008). Les impacts du changement climatique en Afrique, conflictualité associée, Mémoire dans le cadre du séminaire (Prospectives sur l'Afrique).
- DGF, Direction Générale des Forêts (2004). Atlas des zones humides algériennes d'importance internationale, DGF, Alger, https://scholar.google.com/scholar?cluster=12789538651159378016&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0,5
- Di Baldassarre, G. (2012). *Floods in a changing climate: inundation modelling* (Vol, 3). Cambridge University Press, https://assets.cambridge.org/97811070/18761/frontmatter/9781107018761_frontmatter.pdf
- Direm, A. (2002). Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production de biocarburants, *Note de synthèse, (Décembre 2002)*. Disponible sur : <http://aoatools.aua.gr/pilotec/files/bibliography/ECOBILAN-4247589633/ECOBILAN.pdf> (Consulté le 22/02/2013).
- Djamouai, L-S. (2008). *Etude de quelques groupements phytosociologiques du parc national de l'Ahaggar (wilaya de Tamanrasset) Algérie*, Disponible sur : http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/5171/djemouai-lemiti_s.pdf (Consulté le 25/11/2011).
- Dobson, M, C, McDonald, K, Ulaby, F, T, & Sharik, T. (1991). Relating the temporal change observed by AIRSAR to surface and canopy properties of mixed conifer and hardwood forests of northern Michigan, In *JPL, Proceedings of the Third Airborne Synthetic Aperture Radar (AIRSAR) Workshop*, <https://ntrs.nasa.gov/citations/19920018774>
- Donnay J, P, Collet, C, & Weber, C. (1999). La télédétection urbaine à l'aube de la très haute résolution spatiale, In *VIIèmes journées scientifiques du réseau Télédétection de l'AUPELF-UREF*, Disponible sur : www.bibliotheque.auf.org/doc_num.php?explnum_id=767, (Consulté le 13/08/2013).
- Duchafour, P. (1983). Pédogenèse et classification, *Masson (éd)*. t1, 490p,
- Ducharne, A, Théry, S, Billen, G, Benoit, M, Brisson, N, Garnier, J, & Sicart, JE. (2004). Influence du changement climatique sur le fonctionnement hydrologique et biogéochimique du bassin de la Seine, *Rapport intermédiaire du contrat PIREN-Seine*, <http://www.gip-ecofor.org/doc/drupal/gicc/8-01DucharneRF.pdf>
- Ducrot, D. (2005). Méthodes d'analyse et d'interprétation d'images de télédétection multi-sources, Extraction de caractéristiques du paysage, *Habilitation à diriger des recherches, INP, Toulouse*, 235, Disponible sur : https://scholar.google.com/scholar?cluster=57243437039989834&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0,5 (Consulté le 14/08/2014).
- Eckhardt, D, W, Verdin, J, P, & Lyford, G-R. (1990). Automated update of an irrigated lands GIS using SPOT HRV imagery, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56(11). 1515-1522, https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1990journal/nov/1990_nov_1515-1522.pdf
- Einhorn, B, Eckert, N, Chaix, C, Ravanel, L, Deline, P, Gardent, M, Boudières, V, Richard, D, Vengeon, J, -M, Giraud, G, Schoeneich, P. (2015). Changements climatiques et risques naturels dans les Alpes :

- Impacts observés et potentiels sur les systèmes physiques et socio-économiques, *Revue de géographie alpine*, 103 (2). <https://journals.openedition.org/rga/2829>,
- El Hage, H. (2011). *Les apports d'un SIG dans la connaissance des évolutions de l'occupation du sol et de la limitation du risque érosif dans la plaine de la Bekaa (Liban) : exemple d'un secteur du Bekaa el Gharbi* (Doctoral dissertation, Orléans). Disponible sur : <https://www.theses.fr/2011ORLE1113> (Consulté le 12/09/2013).
- El Jazouli, A. Barakat, A. Khellouk, R. Rais J, El Baghdadi, M. (2017). *Apport de la télédétection et SIG dans la surveillance et prévision du changement de l'utilisation des terres / de la couverture terrestre cas du haut bassin de l'oumrbia (moyen Atlas, Maroc)*. (Colloque International des Jeunes Chercheurs (CIJC2017) Tetouan-Maroc). Disponible sur : https://geoecotrop.be/uploads/publications/pub_291_03.pdf (Consulté le 19/08/2019).
- Elbouqdaoui, K. Ezzine, H, Badrahoui, M, Rouchdi, M, Zahraoui, M, & Ozer, A. (2005). Approche méthodologique par télédétection et SIG de l'évaluation du risque potentiel d'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Srou (Moyen Atlas, Maroc). *Geo-Eco-Trop*, 29(1-2). Disponible sur : <https://orbi.uliege.be/handle/2268/248867> (Consulté le 13/05/2015).
- Elmi Ali, H. (2016). Method of identification and mapping of land use at fine scale by image analysis, (Méthode d'identification et de cartographie de l'occupation du sol à fine échelle par analyse d'images, Mémoire de Master 2ème année Domaine : Sciences, Technologies, Santé, Université de Paris-Est marne-lavallée, France, 39p, https://imu.universite-lyon.fr/wp-content/uploads/2015/07/stage-IMU-ARMATURE-Rapport_Stage.pdf
- ESA, European Space Agency (2018). Classification of agricultural land use by satellite remote sensing (Classification de l'occupation des terres agricoles par télédétection satellitaire). *United Space in Europe*. <http://www.esa.int>
- Escadafal, R. (1989). Caractérisation de la surface des sols arides par observations de terrain et par télédétection, *Editions de l'ORSTOM, Collections Études et Thèses, Paris*, Disponible sur : <https://core.ac.uk/download/pdf/39865262.pdf> (consulté le 29/08/2016).
- EEA, European Environment Agency (2009). Regional climate change and adaptation: The Alps facing the challenge of changing water resources. Report No 8/2009, p. 17-29). https://www.eea.europa.eu/publications/alps-climate-change-and-adaptation-2009/at_download/file
- Fairbank, H. & Jakeway, J. (2006). Cartographie de l'évolution et des risques du littoral liés au changement climatique, *Dossier de formation, Copyright (c) Centre dor the coastal Environment, Isle of Wight Council*, Disponible sur : https://scholar.google.com/scholar?cluster=6664216825978178498&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0,5 (Consulté le 01/06/2012).
- Faivre, R. (2018). *Introduction à la réalisation de spatio-cartes* (université de Strasbourg-France). Formation Télédétection, UEH, 10-12 mai 2018, Disponible sur : <https://www.recovery-bservatory.org/drupal/fr/system/files/public/News/20180511%20-%20Intro%20Realisation%20Spatiocarte.pdf> (Consulté le 12/03/2019).
- Faiza, K-A. Ahmed R, O, M, D, H, A, N, E, Slim S, L, I, M, & Youssef, M-S. (2017). Apport des SIG à l'étude de la dynamique spatio-temporelle de l'Agrosystème d'une grande exploitation conduite en milieu semi-aride (Tunisie). *Algerian journal of arid environment*, 7(02). 58-71, Disponible sur : https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/16504/1/6,-_KHEBOUR-ALLOUCHE_Faiza.pdf (Consulté le 12/05/2018).
- FALL, M. (2005). Télédétection et SIG : Étude méthodologique sur la détection automatique des changements du couvert forestier à partir d'images satellites SPOT : Application à la Corrèze pour la détection des surfaces Afforestation / Reforestation.
- FAO, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation & agriculture (2001). *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2001* (Vol, 33). Food & Agriculture Org, Disponible sur : [https://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=b6JGk3v4zEoC&oi=fnd&pg=PA61&dq=FAO+\(2009\).La+situation+mondiale+de+l%E2%80%99alimentation+et+de+l%E2%80%99agriculture++%C](https://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=b6JGk3v4zEoC&oi=fnd&pg=PA61&dq=FAO+(2009).La+situation+mondiale+de+l%E2%80%99alimentation+et+de+l%E2%80%99agriculture++%C)

- 2%AB+%C3%89levage+et+environnement+%C2%BB,+&ots=vGfPHvKBlc&sig=q_fUx6dz7vsg0 vsJLIYgokW3NUs
- FAO, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation & agriculture (2008). *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2001* (Vol, 33). Food & Agriculture Org, ISBN 978-92-5-205980-6, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italie, Disponible sur : <https://www.fao.org/3/i0100f/i0100f.pdf> (Consulté le 12/03/2013).
- FAO, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation & agriculture (2009). *The state of food and agriculture, Livestock in the balance*, FAO, Rome, Italie, 166p,
- FAO, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation, & agriculture (2010). *Plan Stratégique de Recherche sur les Forêts méditerranéennes 2010–2020, Forest-Based sector Technology platform*, p, P24, Disponible sur : <http://www.abhato.net/ma/maalama-textuelle/developpement-economique-et-social/developpement-economique/agriculture/forets/plan-strategique-de-recherche-sur-les-forets-mediterraneennes-2010-2020,,> (Consulté le 12/02/2012).
- Faure, J-F. Fotsing, J-M. & Baghdadi, N-N. (2004). Couplage de données optiques et radar pour la caractérisation de paysages urbains amazoniens, Application à l'île de Cayenne, *Rev, Int, Géomatique*, 14(3-4). 379-401, Disponible sur : <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR2021093766>(Consulté le 04/02/2015).
- Floret, C. & Pontanier, R. (1984). Aridité climatique, aridité édaphique, *Bulletin de la Société Botanique de France, Actualités Botaniques*, 131(2-4). 265-275, [https://www.tandfonline.com/doi/abs/10,1080/01811789,1984,10826667](https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01811789,1984,10826667)
- Forman, R-T. & Godron, M. (1986). *Landscape ecology* John Wiley & Sons, *New York*, 4, 22-28, Forman R,-T,-T,, Godron M,, 1986, *Landscape ecology*, Wiley, New York, [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjtl1aadkozje\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2031638](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjtl1aadkozje))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2031638)
- Fox, D. Berolo, W. Carrega, P. & Darboux, F. (2006). Mapping erosion risk and selecting sites for simple erosion control measures after a forest fire in Mediterranean France, *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 31(5). 606-621, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10,1002/esp,1346>
- Frangoie, N. & Mahungu, N-M. (2012). Partenariat IITA–PANA/ASA, (Module I : Intégration du changement climatique dans la sélection, la maintenance variétale et la production des semences de base, https://www.globalsupportprogramme.org/sites/default/files/downloads/production_des_semences_module_1.pdf
- Fraser, E-D. (2007). Voyager dans des terres antiques : utiliser les famines passées pour développer un cadre d'adaptabilité/résilience afin d'identifier les systèmes alimentaires vulnérables au changement climatique, *Changement climatique*, 83 (4). 495-514, <https://link.springer.com/article/10,1007/s10584-007-9240-9>
- Fuentes, S. et Bon Mardion, J. (2011). *Modification du comportement du Saumon d'Atlantique face au réchauffement climatique et à la pollution*, Disponible sur : [chamilo1.grenet.fr/,,/2010-2011_S2_-_BON_MARDION_-_FUENTES_-_Saumon_a,,](http://chamilo1.grenet.fr/2010-2011_S2_-_BON_MARDION_-_FUENTES_-_Saumon_a,,) (Consulté le 19/08/2013).
- Gao, Y. & Mas, J-F. (2008). A comparison of the performance of pixel-based and object-based classifications over images with various spatial resolutions, *Online journal of earth sciences*, 2(1). 27-35, http://people.ucalgary.ca/~gjhay/geobia/Aug18/GEOBIA%20Themes/_Theme03/6589_Y_Gao_Pr_oc_pap.pdf
- Gardi, C. Panagos, P. Liedekerke M-V, Bosco, C. Brogniez, D. (2015). Land take and food security: Assessment of land take on the agricultural production in Europe, *Journal of Environmental Planning and Management*, <https://www.researchgate.net/publication/262000309>,

- Gardner, BR, Blad, BL, Thompson, DR et Henderson, K-E. (1985). Évaluation et interprétation des ratios de cartographie thématique dans les équations d'estimation des paramètres de croissance du maïs, *Téledétection de l'environnement*, 18 (3). 225-234, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0034425785900598>
- Gataâ, N. (2016). L'étude de vulnérabilité à l'érosion hydrique du bassin versant du barrage de Boughrara (W,Tlemcen -Algérie). http://library,ensh,dz/images/site_lamine/pdf/these_master/2017/6-0025-17.pdf,
- Gaussen, H. & Bagnouls, F. (1953). Saison sèche et indice xérothermique, *Toulouse, França : Université de Toulouse, Facultei des Sciences*, https://scholar.google.com/scholar?cluster=5616826448670595579&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0,5
- Gharbi, M. (1997). Problématique d'Aménagement d'une zone littorale par une approche cartographique : cas de la commune de Dar Yaghmourassene, Thèse, Ing, Ecologie, Univ, Tlemcen, 78 P ;
- Ghenim, A. Seddini, A. & Terfous, A. (2007). Production et exportation des sédiments en suspension lors des événements de crue, Cas du bassin versant de l'oued Mouilah, *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (6). <http://larhyss.net/ojs/index.php/larhyss/article/viewFile/82/76> (Consulté le 09/09/2013).
- Ghezlaoui, S, M, B, E, & Benabadi, N. (2018). The vegetation of the Tlemcen mounts (Algeria). Phytoecological aspect/ Apariencia fitoecológica, *Botanica Complutensis*, (La vegetation des monts de Tlemcen (Algerie). Aspect phytoecologique/) 101-125, <https://go.gale.com/ps/i,do?id=GALE%7CA562695200&sid=googleScholar&v=2,1&it=r&linkaccess=abs&issn=02144565&p=IFME&sw=w>
- Ghodbani, T. Milewski, A. & Bellal. S, A. (2015). Un écosystème littoral fragile menacé sur la rive sud de la Méditerranée, La région côtière de Terga et ses zones humides (ouest de l'Algérie). *Méditerranée, Revue géographique des pays méditerranéens*, 125(125). 153-164, Disponible sur : <https://journals.openedition.org/mediterranee/8104> (Consulté le 20/03/2018).
- GIEC, Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (2007). Des changements climatiques : Rapport de synthèse, *Contribution des groupes de travail I, II, III, au quatrième rapport du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Genève, Suisse (2007)*. Disponible sur : https://library,wmo,int/?lvl=notice_display&id=259,
- Girard, M-C. & Girard, C-M. (2010). Traitement des données de télédétection-2e éd : *Environnement et ressources naturelles*, Dunod. <https://cursus,univ-rennes2,fr/mod/resource/view,php?id=508912>
- Girel, J. (1986). Télédétection et cartographie à grande échelle de la végétation alluviale : exemple de la basse plaine de l'Ain, *P, Ozenda, Documents de Cartographie Écologique*, 29, 45-74, Disponible sur : https://scholar.google.fr/scholar?hl=fr&as_sdt=0%2C5&q=Girel+J,+%281986%29,+T%3%A9l%3%A9d%3%A9tection+et+caryographie+%3%A0+grande+%3%A9chelle+de+la+v%3%A9g%3%A9tation+alluviale,+Exemple+de+la+basse+plaine+de+l%E2%80%99Ain,+P,+Ozenda%2C+Documents+de+Cartographie+&btnG= (Consulté le 12/08/2014).
- Godel, C. (2007). Forêt méditerranéenne et conservatoire du littoral. Une situation et une gestion originale, une approche intéressante de la forêt méditerranéenne, (AgroParisTech-ENGREF Montpellier -France,). Disponible sur : https://infodoc,agroparistech,fr/doc_num,php?explnum_id=3201 (Consulté le 12/04/2012).
- Gond, V. Bartholomé, E. Ouattara, F. Nonguierma, A. et Bado, L. (2004). Surveillance et cartographie des plans d'eau et des zones humides et inondables en régions arides avec l'instrument VEGETATION embarqué sur SPOT-4, *International Journal of Remote Sensing*, 25(5). 987-1004, Disponible sur: <https://doi.org/10.1080/0143116031000139908> (Consulté le 13/06/2014).
- Goodchild, MF and Barbara, S. (2009). GIS and Cartography, 500–505, University of California, Santa Barbara Affiliate Professor of Geography University of Washington,

- Gourmelon, F. (2003). La contribution des SIG à la connaissance et à la gestion de l'environnement littoral. Sciences de l'Homme et Société, (Université de Bretagne occidentale-Brest.). Disponible sur : <https://hal.inria.fr/tel-00321106/> (Consulté le 25/12/2013).
- Granier, A. Biron, P. & Lemoine, D. (2000). Bilan hydrique, transpiration et conductance de la canopée dans deux peuplements de hêtres, *Météorologie agricole et forestière*, 100 (4). 291-308, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192399001513>
- Grégoire, G. Jollois, F-X. Petiot, J-F, Qannari, A. Sabourin, S. Swertwaegher, P. & Viguiet-Pla, S. (2012). Les logiciels et l'enseignement de la statistique dans les départements" Statistique et Informatique Décisionnelle"(STID) des IUT, *Statistique et Enseignement*, 2(2). 5-24, Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00913110/> (Consulté le 19/09/2013).
- Guardia, P. (1975). *Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie Nord occidentale, (Relations structurales et paléogéographiques entre le Rif externe, le Tell et l'avant pays atlasique)*. [Thèse Doc, D'Etat, Univ, Nice, 289 P]. disponible sur : <https://www.ccdz,cerist,dz/admin/notice,php?id=135010> (Consulté le 09/10/2013).
- Guerois, M. & Pumain, D. (2017). Urbanisation trends in France and Europe (Des tendances de l'urbanisation en France et en Europe) (p, pp,18,). (S, 1,): (s, n,). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02270043>,
- Hadjadj-Aoul, S. (1995). *Les peuplements du thuya de Berbérie (Tetraclinis articulata, (Vahl) Masters) en Algérie : phytoécologie, syntaxonomie, potentialités sylvicoles* (Doctoral dissertation, Aix-Marseille 3). <https://www.theses,fr/1995AIX30045>
- Haichour, S. & Benabdeli, K. (2022). L'écosystème forestier algérien face aux pressions anthropiques et climatiques. *Geo-Eco-Trop*, 46, 1: 109-124. https://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_461_07.pdf
- Halitim, A. Abdelhafidh, Y. Dekki, N. & Rechachi, M. (2016). Réactions physiques du sol à la sécheresse et aux canicules en régions arides, *Journal Algérien des Régions Arides (JARA)*. 13, 48-55, <https://wwwh,asjp,cerist,dz/en/downArticle/102/13/0/77736>
- Hallegatte, S. (2010). Défis à venir : gestion des risques et analyse coûts-avantages dans un contexte de changement climatique, dans « The Economic Impact of Natural Disaster, D, *EarthScan, en attente de publication*, https://scholar,google,com/scholar?cites=17631071291879066124&as_sdt=2005&scioldt=0,5&hl=fr
- Hamel, T. Boulemtafes, A., & Bellili, A. (2019). L'impact de surpâturage sur les subéraies de la péninsule de l'Edough (Nord-Est algérien). *Geo-Eco-Trop*, 43(1), 119-128. https://geoecotrop.be/uploads/publications/pub_431_08.pdf
- Hamza, M. (1980). Réponses des plantes à la salinité, *Physiologie Végétale*, 13, 69-81, https://scholar,google,com/scholar?cluster=17993236908707161044&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0,5
- Hamzaoui, A. (2005). Télédétection multispectrale et hyperspectrale appliquée à l'exploration minière, Journées nationales de l'industrie minière, 23-25 Novembre 2005, Marrakech, <https://docplayer,fr/55411966-Teledetection-multispectrale-et-hyperspectrale-appliquee-a-l-exploration-miniere-a-hamzaoui,html>
- Hasnaoui, O. *et al.* (2005). La végétation du Sud ouest de la partie occidentale Algérienne en danger – université Moulay Tahar saida –Algérie,
- Heddadj, D. (1997). The fight against erosion in Algeria (La lutte contre l'érosion en Algérie). *Bulletin Réseau Erosion*, 18, 168 – 175, <http://www,beep,ird,fr/collect/bre/index/assoc/HASH0140,dir/17-168-175,pdf>,
- Hedidi, D. (2020). *Étude phytoécologique des groupements végétaux de la subéraie de Djebel saadia*. [Doctoral dissertation, Université de Chlef-Hassiba Benbouali Algérie]. Disponible sur : <https://www,ccd,cerist,dz/admin/notice,php?id=00000000000001003133000071>

- Heino, J. Virkkala, R. & Toivonen, H. (2009). Climate change and freshwater biodiversity: detected patterns, future trends and adaptations in northern regions, *Biological Reviews*, 84(1). 39-54, [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10,1111/j,1469-185X,2008,00060,x](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1469-185X.2008.00060.x)
- Heiskanen, J. Liu, J. Valbuena, R. Aynekulu, E. Packalen, P. & Pellikka, P. (2017). Remote sensing approach for spatial planning of land management interventions in West African savannas, *Journal of Arid Environments*, 140, 29-41, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196316302324>
- Held, D. (2007). De l'urgente nécessité de réformer la gouvernance globale, *Recherches sociologiques et anthropologiques*, 38(38-1). 65-88, <https://journals.openedition.org/rsa/514>
- Herbreteau, V. Kassié D. Roux, E. Marti, R. Catry, T. Attoumane, A. et Tran, A. (2018). Observer la Terre pour appréhender spatialement les inégalités de santé : Regard historique et prospectif sur l'utilisation de la télédétection dans le domaine de la santé, *Confins, Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia*, (37). Disponible sur : <https://journals.openedition.org/confins/15362> (Consulté le 22/08/2019).
- Herrero, MP. & Johnson, RR. (1980). Stress à haute température et viabilité pollinique du maïs 1, *Crop science*, 20 (6). 796-800, [https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10,2135/cropsci1980,0011183X002000060030x](https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci1980.0011183X002000060030x)
- Hervieu, B. Abis, S. Blanc, P. & De Jouvenel, H. (2008). *Mediterra 2008 : les futurs agricoles et alimentaires en Méditerranée* (No, 10, p, 368). Presses de Sciences Po, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02481786/>
- Hill, J. Hostert, P. Tsiourlis, G. Kasapidis, P. Udelhoven, T. & Diemer, C. (1998). Monitoring 20 years of increased grazing impact on the Greek island of Crete with earth observation satellites, *Journal of Arid Environments*, 39(2). 165-178, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196398903925>
- Hoffman, T. & Vogel, C. (2008). Climate change impacts on African rangelands, *Rangelands*, 30(3). 12-17, [https://bioone.org/journals/Rangelands/volume-30/issue-3/1551-501X\(2008\)30\[12:CCIOAR\]2,0,CO;2/Climate-Change-Impacts-on-African-Rangelands/10,2111/1551-501X\(2008\)30\[12:CCIOAR\]2,0,CO;2/full](https://bioone.org/journals/Rangelands/volume-30/issue-3/1551-501X(2008)30[12:CCIOAR]2,0,CO;2/Climate-Change-Impacts-on-African-Rangelands/10,2111/1551-501X(2008)30[12:CCIOAR]2,0,CO;2/full)
- Jackson, D. A. & Mandrak, N-E. (2002). Changing fish biodiversity: predicting the loss of cyprinid biodiversity due to global climate change, In *American fisheries society symposium* (pp, 89-98). American Fisheries Society, <http://jackson,eeb,utoronto,ca/files/2012/10/climate-change-and-biodiversity.pdf>
- Jacquet, K. Cheylan, M. (2008). Synthèse des connaissances sur l'impact du feu en région méditerranéenne, Technical Report January 2008 (Researchgate). <https://www.researchgate.net/publication/308120822> DOI : 10,13140/RG,2,2,15955,58404
- Jamaa, HFB. Muller, SD, Daoud-Bouattour, A, Ghrabi-Gammar, Z, Rhazi, L, Soulié-Märsche, I,, ,, & Saad-Limam, S-B. (2010). Structures de végétation et conservation des zones humides temporaires méditerranéennes : la région des Mogods (Tunisie septentrionale). *Comptes Rendus Biologies*, 333 (3). 265-279, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631069109003187>
- Jensen, J-R. (1996). Introductory digital image processing: a remote sensing perspective (No, Ed, 2). Prentice-Hall Inc, <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20001911540>
- John, O-N. (2017). *Africa in Space: Legal Issues and Responsibilities Related to Space Technology Development Programmes* (United Nations/South Africa Symposium on Basic Space Technology "Small Satellite Missions for Scientific and Technological Advancement", Stellenbosch, South Africa, 11 – 15 December 2017). Disponible sur : www.unoosa.org/documents/pdf/psa/activities/2017/SouthAfrica/slides/Presentation53.pdf (Consulté le 23/02/2019).
- Julliard, R, Clavel, J, Devictor, V, Jiguet, F, & Couvet, D. (2006). Spatial segregation of specialists and generalists in bird communities, *Ecology letters*, 9(11). 1237-1244, Disponible sur : <http://vincent,devictor,free,fr/Articles/Julliard%20et%20al%202006.pdf> (Consulté le 19/02/2013).

Références bibliographiques

- Kalbermatten, M. & Caloz, R. (2004). Détermination d'indicateurs géomorphologiques à partir de données altimétriques laser (No, STUDENT). [https://infoscience,epfl,ch/record/63244](https://infoscience.epfl.ch/record/63244)
- Kameche, M. Gicquel, AH et loalland, D. (2011). ALSAT-2A transfer and first year operations, *Journal of Aerospace Engineering*, 3(2). 67, Disponible sur : [https://www,semanticscholar,org/paper/ALSAT-2A-transfer-and-first-year-operations-Kameche-Gicquel/7cbf1e125727d06464998db5c8da142b7a61483d](https://www.semanticscholar.org/paper/ALSAT-2A-transfer-and-first-year-operations-Kameche-Gicquel/7cbf1e125727d06464998db5c8da142b7a61483d)(Consulté le 19/08/2014).
- Kameche, M. et Benmostefa, S. (2016). In-flight MTF stability assessment of ALSAT-2A satellite, *Advances in Space Research*, 58(1). 117--130, Disponible sur : [https://www,sciencedirect,com/science/article/pii/S0273117716301041](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273117716301041) (Consulté le 02/05/2018).
- Katrin, V. et Hermann L-C. (2009). La biodiversité et le changement climatique, (*Institut de Recherche de Potsdam sur les Conséquences du Changement Climatique Potsdam, Allemagne* [katrin,vohland@pik-potsdam](mailto:katrin.vohland@pik-potsdam), Disponible sur: <https://www,rural21,com/,,biodiversite/la-biodiversite-et-le-changement-climatique> (Consulté le 15/06/2012).
- Kazi-Tani, L-M. (2008). Formes des arbustes dans les monts de tlemcen en relation avec le broutage : tentative d'explication à travers le cas du chene kermès (*quercus coccifera* l.). [https://www,researchgate,net/profile/Choukry-Tani/publication/311666039_FORMES-DES-ARBUSTES-BROUTAGE/links/5852dad808ae7d33e01ab1c9/FORMES-DÈS-ARBUSTES-BROUTAGE,pdf](https://www.researchgate.net/profile/Choukry-Tani/publication/311666039_FORMES-DES-ARBUSTES-BROUTAGE/links/5852dad808ae7d33e01ab1c9/FORMES-DÈS-ARBUSTES-BROUTAGE.pdf)
- Kazi-Tani, L-M. & Gaouar, A. (2015). Soil mapping in the Traras region - NW Algeria (Ebauche cartographique des sols dans la région des Traras - NO de l'Algérie). *Geo-Eco-Trop*, 39 (1). 67–86, http://www,geoecotrop,be/uploads/publications/pub_391_04,pdf,
- Kergomard, C. (1990). La télédétection aérospatiale: Une introduction, p, p74, Disponible sur : [https://scholar,google,fr/scholar?hl=fr&as_sdt=0%2C5&q=Kergomard+C,+%281990%29,+La+t%2C%20A9%2C%20A9d%2C%20A9tection+a%2C%20A9rospatiale%20%28AF&btnG=](https://scholar.google.fr/scholar?hl=fr&as_sdt=0%2C5&q=Kergomard+C,+%281990%29,+La+t%2C%20A9%2C%20A9d%2C%20A9tection+a%2C%20A9rospatiale%20%28AF&btnG=) (Consulté le 12/08/2013).
- Khemies, F. (2013). Inventaire des variétés locales d'arboriculture fruitière et leurs biotopes respectifs dans la wilaya de Tlemcen, [Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen—Algérie], Disponible sur : <http://dspace,univ-tlemcen,dz/handle/112/2234> (Consulté le 25/04/2015).
- Kiani, SP. Grieu, P. Maury, P. Hewezi, T. Gentzbittel, L. & Sarrafi, A. (2007). Variabilité génétique des traits physiologiques en conditions de sécheresse et expression différentielle des gènes associés au stress hydrique chez le tournesol (*Helianthus annuus* L.). *Génétique théorique et appliquée*, 114 (2). 193-207, [https://link,pringer,com/article/10,1007/s00122-006-0419-7](https://link.springer.com/article/10,1007/s00122-006-0419-7)
- Kirschbaum, M-U. (1995). The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage, *Soil Biology and biochemistry*, 27(6). 753-760, [https://www,sciencedirect,com/science/article/pii/003807179400242S](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003807179400242S)
- Koehl, M. (2006). SIG et e-learning. In *SIG 2006* (pp. 1-10). Disponible sur : [https://halshs,archives-ouvertes,fr/halshs-00264950/document](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00264950/document) (Consulté le 12/05/2014).
- Kramer, P-J. & Boyer, J-S. (1995). *Water relations of plants and soils*, Academic press, [https://books,google,com/books?hl=fr&lr=&id=H6aHAWAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=KRAMER,+P,+J,+and+BOYER,+J,+S,+1995\).Water+Relations+of+Plants+and+Soils,+Academic+Press,+Orlando,+FL,+USA,+495+pp,&ots=BYKfa1X87O&sig=flwVR6pDgDX6tfxYscM1KGWuOic](https://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=H6aHAWAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=KRAMER,+P,+J,+and+BOYER,+J,+S,+1995).Water+Relations+of+Plants+and+Soils,+Academic+Press,+Orlando,+FL,+USA,+495+pp,&ots=BYKfa1X87O&sig=flwVR6pDgDX6tfxYscM1KGWuOic)
- Laala, A. & Alatou, D. (2016). Analyse de la dynamique des massifs forestiers de l'Est algérien par la télédétection satellitaire/[Dynamics Analysis of the forests of eastern Algeria by satellite remote sensing], *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 17(3). 954-964, Disponible sur : [https://www,researchgate,net/publication/331702801_Analyse_de_la_dynamique_des_massifs_forestiers_de_l'Est_algerien_par_la_teledetection_satellitaire_Dynamics_Analysis_of_the_forests_of_eastern_Algeria_by_satellite_remote_sensing](https://www.researchgate.net/publication/331702801_Analyse_de_la_dynamique_des_massifs_forestiers_de_l'Est_algerien_par_la_teledetection_satellitaire_Dynamics_Analysis_of_the_forests_of_eastern_Algeria_by_satellite_remote_sensing)(Consulté le 27/03/2018).
- Lagabrielle, E. (2003). Télédétection des changements et SIG : application à l'étude de l'évolution des modes d'occupation des sols à La Réunion entre 1989 et 2002 (CIRAD France). Disponible sur : <https://agritrop,cirad,fr/551257/> (Consulté le 23/02/2012).

- Laouina, A. (2000). Dynamiques agraires et dégradation des terres dans les régions de montagne au Maroc, la perspective d'un développement durable, *La montagne marocaine*, 5-34, https://scholar.google.com/scholar?cluster=5288892723931540269&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0,5
- Lapel, G-C. (1989). Conséquences du changement climatique sur le Saint-Laurent : valuation potentielle des impacts physiques, biologiques et sociaux, rapport Pour Environnement Canada, région du Québec, 93 p,
- Larbi, N, Attaba, M, & Beaufume, E. (2012). ALSAT-2A power subsystem behavior during launch, early operation, and in-orbit test, In *Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XVI* (Vol, 8533, pp, 453-461). SPIE, Disponible sur : <http://spie.org/Publications/Proceedings/Paper/10,1117/12,978701> (Consulté le 14/06/2014).
- Lavabre, J. Martin, C. (1997). Impact d'un incendie de forêt sur l'hydrologie et l'érosion hydrique d'un petit bassin versant méditerranéen, *Human Impact on Erosion and Sedimentation* (Proceedings of Rabat Symposium S6, April 1997). IAHS Publ, no, 245, 1997, <https://iahs.info/uploads/dms/10816,39-47-245-Lavabre.pdf>
- Le Houérou, H-N. (1987). Vegetation wild fires in the Mediterranean basin: evolution and trends, *Ecologia mediterranea*, 13(4). 13-24, https://www.persee.fr/doc/ecmed_0153-8756_1987_num_13_4_1185
- Lecoeur, J., Wery, J, Turc, O, & Tardieu, F. (1995). Expansion des feuilles de pois soumises à un court déficit hydrique : le nombre et la taille des cellules sont sensibles au stress à différentes périodes du développement foliaire, *Tourillon de botanique expérimentale*, 46 (9). 1093-1101, <https://academic.oup.com/jxb/article-abstract/46/9/1093/575753>
- Leinonen, I., & Jones, HG. (2004). Combinaison d'imagerie thermique et visible pour estimer la température de la canopée et identifier le stress des plantes, *Journal de botanique expérimentale*, 55 (401). 1423-1431, <https://academic.oup.com/jxb/article-abstract/55/401/1423/478977>
- Lenoir, J. (2009). Impacts d'un réchauffement rapide du climat sur la distribution des espèces végétales forestières le long du gradient d'altitude (Doctoral dissertation). Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/29974908_Impacts_d'un_rechauffement_rapide_du_climat_sur_la_distribution_des_especes_vegetales_forestieres_le_long_du_gradient_d'altitude (Consulté le 14/04/2012).
- Leroux, L. (2015). Suivi et caractérisation des dynamiques de la production agricole en Afrique de l'ouest par télédétection à moyenne résolution spatiale (Doctoral dissertation, AgroParisTech). (AgroParisTech). Disponible sur : <https://agritrop.cirad.fr/579669/> (Consulté le 19/02/2017).
- Letreuch, B-N. (1981). *Les reboisements en Algérie et leurs perspectives d'avenir*. [Ed,OPU, T1et T2, Alger, 414 p]. Disponible sur : <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/321/4/4/43600>
- Levoy, F. (2005). Contrôle par Laser Aéroporté des Risques Environnementaux Côtiers CLAREC Manche - Mer du Nord
- Lili Chabaane, Z., & Caloz, R. (2005). Télédétection et analyse spatiale de la régénération forestière post-incendie dans le massif de Boukornine au sud de Tunis, *Télédétection*, 5(ARTICLE). 103-123,
- Lillesand, T-M., & Kiefer, R-W. (1979). Remote sensing and image interpretation (Book). *New York, John Wiley and Sons, Inc, 1979, 624 p*, https://scholar.google.com/scholar?cluster=5574753640582528964&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0,5
- Lo verde, G., dhahri, S., & Jamaa, MLB. (2010). Premier enregistrement en tunisie de closterocerus chamaeleon (girault) parasitoide de l'eucalyptus gallwasp ophelimus maskelli (ashmead) (hymenoptera eulophidae). *Naturalista siciliano*, 34 (34 (1-2)). 207-210, <https://iris.unipa.it/handle/10447/53576>
- Lobo, A., Maisongrande, P, Coret, L., & Hagolle, O. (2004). Réponse du couvert végétal à la vague de chaud de l'été 2003 en Europe occidentale et en Afrique du Nord-Ouest : Étude à partir de données du capteur SPOT/VEGETATION, *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 15(4). 374- 377,

- Disponible sur : https://www.jle.com/fr/revues/sec/edocs/reponse_du_couvert_vegetal_a_la_vague_de_chaud_de_lete_2003_en_europe_occidentale_et_en_afrique_du_nord_ouest_etude_a_partir_264721/article.phtml (Consulté le 02/09/2012).
- Lounis, B., & Belhadj, A. (2005). Processus de correction radiométrique relative "PCRR" appliqué aux images Landsat TM multi-dates, In *SETIT, 3rd International Conference, Sciences of Electronic*, http://www.setit.rnu.tn/last_edition/setit2005/image-video/73.pdf,
- Manil, G. (1971). L'édaphologie forestière, Principe et techniques de recherche – inesco, 1971, Productivité des écosystèmes forestiers, acte de coll, Bruxelles, 1969,
- Marci, H. (2006). W Êâm Ê sea lii, <https://www.vliz.be/imisdocs/publications/259299.pdf>
- Mariama Zerhouni, A-F., & Hakdaoui, M. (2013). Manuel de télédétection spatiale Telecan, *Journal Homepage* : www.journalijar.com, Disponible sur : https://www.grss-ieee.org/wp-content/uploads/2014/07/FR_TUTORIAL_COMPLETO.pdf (Consulté le 19/02/2018).
- Martin, C., Morgavi, D, Doreau, M, & Jouany, JP. (2006). Comment réduire la production de méthane chez les ruminants ? *Fourrages*, 187, 283-300, <https://hal.inrae.fr/hal-02658253/>
- Martinez, JM. (2000). *Estimation de la biomasse forestière et caractérisation de la structure verticale des peuplements de conifères par radar VHF et radar sondeurs aéroportés* (Doctoral dissertation, Doctorat Sciences forestières, ENGREF). <https://hal.inrae.fr/tel-02583413>
- Mascret, A. (2010). *Développement d'une approche SIG pour l'intégration de données Terre/Mer* (Doctoral dissertation, Arts et Métiers ParisTech). Repéré à <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00542500/> (consulté le 15/03/2014).
- Masse, A. (2013). Développement et automatisation de méthodes de classification à partir de séries temporelles d'images de télédétection-Application aux changements d'occupation des sols et à l'estimation du bilan carbone (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier-Toulouse III). Disponible sur : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00921853/file/manuscrit_these_final_antoine_masse_libredroit.pdf (Consulté le 14/05/2016).
- Matari, A. (2010). Le risque sécheresse, Atelier International de Formation sur les Risques Majeurs et les Catastrophes Naturelles Stratégies de Prévention et de Protection, Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides Omar El Barnaoui (C,R,S,T,R,A). Biskra - Algerie, (9-17) disponible sur : <https://www.crstra.dz/telechargement/seminaires/atelier-secheresse.pdf> (consulter le 15/06/2013).
- Matari, A. (2016). Climat et changement climatique, *Journal Algérien des Régions Arides (jara). Numéro Special*. Disponible sur : <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/102/13/0/77731>, (Consulté le 10/07/2016).
- MATE, Ministère Algérien de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (2001). *Elaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques (Projet national ALG/98/G31)*. (Direction générale de l'environnement Algérie). Disponible sur : <https://unfccc.int/resource/docs/natc/algnc1.pdf> (Consulté le 16/02/2011).
- Mayaux, P, Gond, V., Massart, M., Pain-Orcet, M., & Achard, F. (2003). Évolution du couvert forestier du bassin du Congo mesurée par télédétection spatiale, *BOIS & FORETS DES TROPIQUES*, 277, 45-52, http://bft.cirad.fr/cd/BFT_277_45-52.pdf
- Meddi, H., & Meddi, M. (2007). Variabilité spatiale et temporelle des précipitations du Nord-Ouest de l'Algérie, *Géographia technica*, 2, 49-55, Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/272567821_VARIABILITE_SPATIALE_ET_TEMPORELLE_DES_PRECIPITATIONS_DU_NORD-UEST_DE_L%27ALGERIE?enrichId=rgreq-5a34cb72044c81faa29a4cd51b2c0d7b-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI3MjU2NzgyMTtBUzoxOTk1NzYxNDY0NTI0ODBA MTQyNDU5NDA2OTY4Mw%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf (Consulté le 19/03/2012).
- Meddour-Sahar, O. *et al.* (2008). Analysis of forest fires in Algeria over the long term (1876-2007). Les Notes d'analyse du CIHEAM, 39(11). (Analyse des feux de forêts en Algérie sur le temps long

- (1876–2007). *Les Notes d'analyse du CIHEAM*, 39(11)). <http://portail2.reseau-concept.net/Upload/ciheam/fichiers/NAN39.pdf>
- Meddour-Sahar, O. *et al.* (2012). Forest fires in Algeria: spatio-temporal analysis and risk mapping (period 1985-2010). *Science and Global Change/Drought*, 23(2). 133-141, (Bilan des feux de forêts en Algérie : analyse spatio-temporelle et cartographie du risque (période 1985-2010). *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 23(2). 133-141). DOI : 10,1684/sec,2012,0342
- Meddour-Sahar, O. *et al.* (2020). Study of large forest fires in Algeria: Case of the province of Tizi Ouzou, Department of Agronomic Sciences, Faculty of Biological Sciences and Agronomic Sciences, Université Mouloud Mammeri, B,P, 17 RP, 15,000, Tizi Ouzou, Algeria, *Geo-Eco-Trop*, 2020, 44, 3: 427-442, (Etude des grands feux de forêts en Algérie: Cas de la wilaya de Tizi Ouzou Study of large forest fires in Algeria: Case of the province of Tizi Ouzou). http://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_443_06.pdf,
- Medjahdi, B. (2001). Réponse de la végétation du littoral des monts des Traras (Ouest algérien) aux différents facteurs de dégradation, *Mém, Magistère : Université de Tlemcen*, https://scholar.google.com/scholar?cluster=14746404754131098224&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0,5
- Medjahdi, B. (2010). Response of the vegetation of the Oranese coast to disturbances: Case of the Traras Mountains (North-West Algeria). (Réponse de la végétation du littoral Oranais aux perturbations : Cas des Monts des Traras -Nord-ouest de l'Algérie). <https://www.researchgate.net/publication/337844630>,
- Medjahdi, B., & Letreuch-Belarouci, A. (2017). Biodiversité des habitats forestiers des monts des Traras (Ouest algérien). *Geo-Eco-Trop*, 41(1). 29-38, http://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_411_03.pdf
- Mercier, O. (1993). Adaptations aux changements climatiques : écosystèmes et habitats du bassin du Saint-Laurent (Cornwall, Québec). *Climat (Montréal)*. 11, 46-95, <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=6509767>
- McMichael, AJ., Neira, M, Bertollini, R, Campbell-Lendrum, D, et Hales, S. (2009). Changement climatique : une période de besoin et d'opportunité pour le secteur de la santé, *The Lancet*, 374 (9707). 2123-2125, [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(09\)62031-6/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(09)62031-6/fulltext)
- Milano, M. (2010). Les impacts prévisibles du changement climatique sur les ressources en eau de quatre grands bassins versants Méditerranéens, *Plan Bleu, Sophia Antipolis, janvier 2010*, Disponible sur : <https://planbleu.org/wp-content/uploads/2005/10/Perspectives-du-PB-sur-le-DD-en-Medi.pdf> (Consulté le 15/04/2013).
- Minvielle, E. & Souiah, SA. (2003). L'analyse statistique et spatiale : statistiques, cartographie, télédétection, SIG, Editions du temps, Disponible sur : https://scholar.google.com/scholar?hl=fr&as_sdt=0%2C5&q=Minvielle+et+Souiah%2C+2003&btnG= (consulté le 19/03/2012).
- Missoumi, A. & Djillali, A. (1999). ArcInfo et la protection des forêts contre les incendies, In *Conférence des utilisateurs*, Disponible sur : <https://www.esrifrance.fr/sig1999/experiences/cnts/cnts.htm>
- Mokhtari, S. (2018). Contribution à la gestion des connaissances en gestion des risques : application aux feux de forêt dans le massif des Aurès (Doctoral dissertation, Université de Batna 2). <http://eprints.univ-batna2.dz/1653/>
- Mondiale, LB. (2010). *Rapport sur le développement dans le monde 2010 : Développement et changement climatique*, Pearson Education France, Disponible sur: <https://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=n5AshNZut6gC&oi=fnd&pg=PR9&dq=Mondiale,+B,+2010.+Rapport+sur+le+d%C3%A9veloppement+2010+dans+le+monde,+D%C3%A9velopp>

- ement+et+changement+climatique,+&ots=K5BvSWVprs&sig=_JMtlN3vNePF1FKIVGNyjTrUqn Y (Consulté le 02/03/2013).
- Montanarella, L., Pennock, D, McKenzie, N, Alavipanah, S, K, Alegre, J, Alshankiti, A, & Zhang, GL. (2016). Etat des Ressources en Sols dans le Monde (Résumé technique). Disponible sur : <https://agris,fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR20210175607> (Consulté le 02/07/2017).
- Morsli, B. *et al.* (2013). Erosion dynamics in the Algerian Mediterranean zone : Explanatory factors of runoff and erosion variation under different land uses, (Dynamique de l'érosion en zone Méditerranéenne Algérienne : Facteurs explicatifs de variation du ruissellement et de l'érosion sous différentes occupations du sol). *Revue Des Sciences de l'Eau*, 26 (2). <http://doi.org/10.7202/1016061ar>,
- Morsli, B. *et al.* (2013). Impact of forest fires on soil cover : case of the cork oak forest of Yfri -Tlemcen -Algeria, (Impact des incendies de forêt sur la couverture pédologique : cas de la forêt de chêne liège d'Yfri -Tlemcen, Journées d'Etude sur la Réhabilitation des Subéraies Incendiées et Reboisements 16 -17 Janvier 2013, INRF Tlemcen – Algérie).
- Mortada, CM. (2017). *Etude de la reprise végétative du chêne liège (Quercus suber L.) et mode de gestion après incendies de 2015-2016, Cas de la forêt de Zarieffet (Wilaya de Tlemcen)*. (Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, la Terre et l'Univers Université de Tlemcen,). Disponible sur : <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/12417/1/Cherifi.pdf> (Consulté le 02/07/2018).
- Moulin, S, Kergoat, L, Viovy, N, & Dedieu, GG. (1997). Global-scale assessment of vegetation phenology using NOAA/AVHRR satellite measurements, *Journal of Climate*, 10, 1154–1170, https://vip.arizona.edu/documents/dataviewer/Monitoring_Phenology_Zhang.pdf
- NASA, National Aeronautics and Space Administration (1988). Earth System Science: A Closer View, Washington, D, C, National Aeronautics and Space Administration, 208p, <https://ci.nii.ac.jp/naid/10019644973/>
- Naveh, Z., & Lieberman, AS. (1984). Théorie et application, <https://link.springer.com/978-1-4757-2331-1>
- Nefzi, A, & Bouzidi, F. (2009, June). Evaluation de l'impact économique du changement climatique sur l'agriculture au Maghreb, In *Cinquième colloque international : Energie, Changement Climatique et développement durable, Hammamet (Tunisie, Juin 15 (Vol, 17, p, 2009)*. Disponible sur :
- Olofsson, P, Giles M, Foody, Stephen V, Stehman, Curtis EW. (2013). Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation, *Remote Sensing of Environment*, Vol, 129: 122-131, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.031>
- Olofsson, *et al.* (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change, *Rem Sens of Env* 42-47, http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/olofsson_et_al._2014_-_good_practices_for_estimating_area_and_assessing_accuracy_of_land_change.pdf

- ONCEA, Observatoire Nationale de la Consommation des Espaces Agricoles (2014). Panorama de la quantification de l'évolution nationale des surfaces agricoles, Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt—France, *Observatoire Nationale de la Consommation des Espaces Agricoles*, Disponible sur : [https://www,vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/144000288.pdf](https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/144000288.pdf) (Consulté le 14/06/2016).
- ONS, Office National des Statistiques (1998). <https://www,ons,dz/spip,php?rubrique44>
- ONS, Office National des Statistiques (2011). L'armature urbaine RGPH 2008 /Les principaux résultats de l'exploitation exhaustive / Office National des Statistiques, - Alger : O,N,S,, 2011, – 220 : (Coll, Statist,, n° 163 : Série S) /urbain/ rural/ villes/ agglomérations/ Algérie 2008 ISSN : 1111 – 5114 ISBN : 978 - 9961 – 792 – 74-248 - 334 – 6, https://www,ons,dz/IMG/pdf/armature_urbaine_2008,pdf
- Osseni, A, Tohozin, C, A, B, Toko Mouhamadou, I, & Sinsin, B. (2014). Contribution des SIG dans l'analyse floristique des espaces verts dans la ville de Porto-Novo au Bénin, *Revue Ivoirienne des Sciences et Technol*, 23, 103-121, Disponible sur : https://revist,net/REVIST_23/REVIST_23_8,pdf (Consulté le 14/03/2015).
- Ounnaci, R. (2003). *Les raisons de la faiblesse quantitative de production halieutique en Algérie, cas du port de Beni-Saf dans la wilaya de AinTemouchent*, [Thèse magister, INA (El Harrach). Alger, 97p].
- Ousmana, H, El Hmaïdi, A, Essahlaoui, A, Bekri, H, & El Ouali, A. (2017). Modélisation et cartographie du risque de l'érosion hydrique par l'application des SIG et des directives PAP/CAR, Cas du bassin versant de l'Oued Zgane (Moyen Atlas tabulaire, Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de La Terre*, 39, 103-119, Disponible sur : http://www,israbat,ac,ma/wp-content/uploads/2018/01/Ousmana_2017,pdf (Consulté le 12/08/2019).
- Owen, D. (2008). Les impacts du changement climatique sur la biodiversité des îles de la Caraïbe : (Le Changement Climatique et la Réduction du Risque de Désastre). Rapport Technique, n° 386 (www,canari,org,).
- Pachauri, R, K, & Reisinger, A. (2008). Climate change 2007, Synthesis report, Contribution of Working Groups I, II and III to the fourth assessment report, https://www,ipcc,ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report,pdf
- Paegelow, M. (2004). Géomatique et géographie de l'environnement, De l'analyse spatiale à la modélisation prospective (Université Toulouse le Mirail-Toulouse II France). Disponible sur : <https://tel,archives-ouvertes,fr/tel-01063119/document> (Consulté le 15/08/2015).
- Parmesan, C., & Yohe, G. (2003). Une empreinte globalement cohérente des impacts du changement climatique sur les systèmes naturels, *Nature*, 421 (6918). 37-42, <https://www,nature,com/articles/nature01286>
- Pautrot, C. (2012). Érosion et dégradation des sols, *Mémoires de l'Académie nationale de Metz*, Disponible sur : <https://core,ac,uk/download/pdf/33522108,pdf> (Consulté le 24/04/2013).
- Peynaud, E. (1984). *Connaissance et travail du vin*, John Wiley & Sons, [https://books,google,com/books?hl=fr&lr=&id=tNSL7evYkOUC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Peynaud+\(1984\).&ots=LzlSM98vxU&sig=0Sfdkhfm_2ioOgPwi-a4MMRWvXQ](https://books,google,com/books?hl=fr&lr=&id=tNSL7evYkOUC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Peynaud+(1984).&ots=LzlSM98vxU&sig=0Sfdkhfm_2ioOgPwi-a4MMRWvXQ)
- Pintus, A. & Ruiiu, P-A. (2010). Le changement climatique et la gestion durable des forêts, Le cas de la Sardaigne, Vivexpo 2010, 23 p, <https://hal.archives-ouvertes,fr/hal-03556686/document>
- Poesen, JW, van Wesemael, B, Bunte, K, et Benet, A-S. (1998). Variation de la couverture et de la taille des fragments rocheux le long des versants semi-arides : une étude de cas du sud-est de l'Espagne, *Géomorphologie*, 23 (2-4). 323-335, <https://www,sciencedirect,com/science/article/pii/S0169555X98000130>
- Prieto-Fernández, A., Acea, M-J, & Carballas, T. (1998). Soil microbial and extractable C and N after wildfire, *Biology and Fertility of Soils*, 27(2). 132-142, <https://link,springer,com/article/10,1007/s003740050411>

- Prokop, G., Jobstmann H, Schönbauer, A. (2011). Overview on best practices for limiting soil sealing and mitigating its effects in EU-27 (Environment Agency Austria). Technical Report - 2011-50, ISBN: 978-92-79-20669-6, <http://ec.europa.eu/environment/soil/sealing.htm>
- Prudent-Richard, G., Gillet, M, Vengeon, J-M, Descotes-Genon, S, Einhorn, B, Bourjot, L, & Gillet, F. (2008). Changement climatique dans les Alpes : impacts et risques naturels, *Rapport technique*, (1). Disponible sur : https://scholar.google.com/scholar?cluster=18020526925679507723&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0,5 (Consulté le 13/05/2012).
- Prugue, M. (2008). *Une agriculture productive soucieuse de prévenir les risques sanitaires et environnementaux*, Direction des journaux officiels, https://www.lecese.fr/sites/default/files/pdf/Fiches/2008/NI_2008_22_michel_prugue.pdf (Consulté le 12/09/2013).
- Puissant, A., & Weber, C. (2004). Démarche orientée « objets-attributs » et classification d'images THRS, *Revue française de photogrammétrie et de télédétection*, (173-74). 123-134, <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=16056251>
- Quézel, P., & Santa, S. (1962). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales, Disponible sur : <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300081960> (Consulté le 02/07/2012).
- Quézel, P., Barbero, M, Benabid, A, Loisel, R, & Rivas-Martinez, S. (1988). Contribution à l'étude des groupements pré-forestiers et des matorrals rifains, *Ecologia mediterranea*, 14(1). 77-122, Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/ecmed_0153-8756_1988_num_14_1_1208 (Consulté le 02/09/2012).
- Raaf, O, et Adane, A. (2010). Extraction des champs de vitesse des précipitations à partir d'images radar en utilisant le flot optique, (Faculté d'Informatique et d'Electronique, Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene (U,S,T,H,B,) Oran (Algérie)). Disponible sur : <https://docplayer.fr/7248329-Extraction-des-champs-de-vitesse-des-precipitations-a-partir-d-images-radar-en-utilisant-le-flot-optique-1-problematique.html> (Consulté le 12/05/2012).
- Rabehi, W, Guerfi, M, & Habib, M, A, H, I. (2020). La baie d'Alger, un espace côtier prisé, entre pressions d'urbanisation et gouvernance territoriale, *Geo-Eco-Marina*, 25, 113–130, DOI : 10,5281/zenodo,3609744). (Consulté le 19/05/2019).
- Rachedi, A., Hadj-Sahraoui, N, et Brewer, A. (2004). *AlSat-1: First results of multispectral imager* (Proceedings of 20th ISPRS Congress, Istanbul, Turkey). Disponible sur: A Rachedi, N Hadj-Sahraoui, A Brewer - Proceedings of 20th ISPRS ..., 2004 - Citeseer (Consulté le 12/03/2014).
- Requier-Desjardins, M. (2010). Impacts des changements climatiques sur l'agriculture au Maroc et en Tunisie et priorités d'adaptation, *Centre International de Hautes Études Agronomiques Méditerranéennes, Montpellier*, Disponible sur : http://portail2.reseau-concept.net/Upload/ciheam/fichiers/NAN56_Requier.pdf (Consulté le 13/08/2015).
- Riaño, D, Chuvieco, E, Ustin, S, Zomer, R, Dennison, P, Roberts, D, & Salas, J. (2002). Assessment of vegetation regeneration after fire through multitemporal analysis of AVIRIS images in the Santa Monica Mountains, *Remote Sensing of Environment*, 79(1). 60-71, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425701002395>
- Richard *et al.* (2010). Changement climatique et développement des territoires de montagne : Quelles connaissances pour quelles pistes d'action ? *Journal of Alpine Research Revue de géographie alpine*, (98-4). DOI :10,4000/rga,1322,
- Rigolot, E. (2008). Impact du changement climatique sur les feux de forêt, *Forêt méditerranéenne*, 29(2). 167-176, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03573294/> (Consulté le 25/10/2010).
- Risto, S. (2009). Préparer les forêts au changement climatique (directive politique) vue générale des conséquences du changement climatique sur les forêts et les populations et les options d'adaptation, (Ministère des affaires étrangères de Finlande, union internationale des instituts de recherches

Références bibliographiques

- forestières). Disponible sur : [www,fao,org/forestry/17677-0487fe5e92920e358a0633ade128960db,pdf](http://www.fao.org/forestry/17677-0487fe5e92920e358a0633ade128960db.pdf) (Consulté le 02/07/2012).
- Rivas-Martínez, S. (1974). Faits sur la flore et la végétation de la Montagne Estrela (Datos sobre la flora y vegetación de la Serra da Estrela) (Portugal). *Anal. Real. Acad. Farm.*, 40(1). 65-74, https://scholar.google.com/scholar?cluster=6781577687441994976&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0,5
- Robert, B -Z. (2010). *Réfugiés climatiques : les mouvements de population s'accélèrent, 20 millions de réfugiés climatiques en 2008, un milliard en 2050 ?* Rapport sur le développement dans le monde 2010 : développement et changement climatique, Disponible sur : [https://www,bioaddict,fr/article/refugies-climatiques-les-mouvements-de-population-s-accelerent-a688p1.html](https://www.bioaddict.fr/article/refugies-climatiques-les-mouvements-de-population-s-accelerent-a688p1.html),
- Rondeau, A. (2007). L'acériculture face aux changements climatiques : inventaire des impacts potentiels et mesures d'adaptation (Doctoral dissertation, éditeur non identifié). Disponible sur : [https://www,agrireseau,net/erable/documents/AudreyRondeau%20final.pdf](https://www.agrireseau.net/erable/documents/AudreyRondeau%20final.pdf) (Consulté le 12/02/2011).
- Rouse, J,W,, R,H, Hass, J,A, Schell, and D,W, Deering. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, *Proceedings of the Third ERTS Symposium*, Vol, I, https://scholar.google.com/scholar?cluster=16801655802080015969&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0,5
- Rowlinson, P. (2008). Adaptation des systèmes de production animale au changement climatique – zones tempérées, *Élevage et changement global*, 61-63, [https://www,researchgate,net/profile/Morten-Tvedt/publication/40800262_Riding_out_the_storm_animal_genetic_resources_policy_options_under_climate_change/links/00b49534fb6cda9fe4000000/Riding-out-the-storm-animal-genetic-resources-policy-options-under-climate-change.pdf#page=73](https://www.researchgate.net/profile/Morten-Tvedt/publication/40800262_Riding_out_the_storm_animal_genetic_resources_policy_options_under_climate_change/links/00b49534fb6cda9fe4000000/Riding-out-the-storm-animal-genetic-resources-policy-options-under-climate-change.pdf#page=73)
- Saidi, M, E, M. (2013). Apport des logiciels de SIG dans la morphométrie des bassins versants L'exemple d'ArcGIS, Disponible sur : [https://www,researchgate,net/publication/262935236_Apport_des_logiciels_de_SIG_dans_la_morphometrie_des_bassins_versants_L'exemple_d'ArcGIS_Guide_methodologique_d'utilisation](https://www.researchgate.net/publication/262935236_Apport_des_logiciels_de_SIG_dans_la_morphometrie_des_bassins_versants_L'exemple_d'ArcGIS_Guide_methodologique_d'utilisation) (Consulté le 12/12/2015).
- Sall, A., Toure A., Kane A., & Fall, A, N. (2019). Contribution à l'étude de la vulnérabilité des terres de cultures de la région de Thiès (Sénégal) à l'aide de la télédétection et des systèmes d'information géographique (SIG). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 41(1). p 6731-6746, Disponible sur : https://m,elewa,org/Journals/wp-content/uploads/2019/07/1,Sall_.pdf (Consulté le 20/08/2019).
- Scanvic, JY. (1983). Utilisation de la télédétection dans les sciences de la terre, *Manuels et méthodes-Bureau de recherches géologiques et minières*, (7). Disponible sur : [http://pascal-francis,inist,fr/vibad/index,php?action=getRecordDetail&idt=9306818](http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=9306818) (consulté le 12/11/2018)
- Seguin, B. (2010). Le changement climatique : conséquences pour l'agriculture et la forêt, *Rayonnement du CNRS*, 54, 36-47, Disponible sur : [https://journals,openedition,org/quaderni/525](https://journals.openedition.org/quaderni/525) (Consulté le 02/01/2013).
- Seguin, B. (2010). Le changement climatique : conséquences pour les végétaux, *Quaderni, Communication, technologies, pouvoir*, (71). 27-40, Disponible sur : [https://journals,openedition,org/quaderni/525](https://journals.openedition.org/quaderni/525) (Consulté le 22/03/2013).
- Sellin, V., Gourmelon, F, Magnanon, S, Debaine, F, Hubert-Moy, L, Rapinel, S, & Nabucet, J. (2013). Cartographie des grands types de végétation par télédétection : étude de faisabilité (Bretagne, Basse-Normandie et Pays-de-la-Loire). Disponible sur : [https://hal.archives-ouvertes,fr/hal-00826807/](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00826807/) (Consulté le 20/05/2014).
- Seppala, R., Buck, A., & Katila, P. (2009). Preparer les forets au changement climatique : vue generale des consequences du changement climatique sur les forets et les populations et les options d'adaptation, Disponible sur : <https://agris,fao,org/agris-search/search,do?recordID=XF2015033121>(consulté le 12/10/2015)

- Serief, C. (2017). Estimate of the effect of micro-vibration on the performance of the Algerian satellite (Alsat-1B) imager, *Optics & Laser Technology*, 96, 147-152, Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2017.05.035> (Consulté le 20/06/2018).
- Sharp, RE. (2002). Interaction with ethylene: changing views on the role of abscisic acid in root and shoot growth responses to water stress, *Plant, cell & environment*, 25(2). 211-222, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-3040.2002.00798.x>
- Skole, DL. (1994). Changes in land use and land cover: A global perspective, *Data on global land-cover change: Acquisition, assessment and analysis* (pp, 437–471). Cambridge: Cambridge University Press (Ch.). [https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjt55,\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2835224](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjt55,))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2835224)
- Sleimi, T. (2018). Étude du potentiel de l'imagerie historique Landsat pour la délimitation des cotes des crues de référence : Cas de la rivière Petite Nation, (Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique). Disponible sur : <http://espace.inrs.ca/7981/> (Consulté le 19/05/2019).
- Slivitzky, M. (1997). Les ressources en eau, leurs usages et disponibilités et les variations climatiques, Compte rendu du colloque : Les défis des changements environnementaux, L'échelle planétaire, 63e congrès de l'ÖACFAS, Chicoutimi, *Le Climat*, vol, 14, no 2, pp, 103-107, *Le Climat*, 14(2). https://scholar.google.com/scholar?cluster=16177964361183935777&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0,5
- Soar, CJ et Loveys, BR. (2007). L'effet de l'évolution des modèles de disponibilité de l'humidité du sol sur la distribution des racines de la vigne et les implications viticoles pour la conversion de l'irrigation à couverture totale en un système d'irrigation à source ponctuelle, *Journal australien de recherche sur le raisin et le vin*, 13 (1). 2-13, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1755-0238.2007.tb00066.x>
- Sobrie, O., Pirlot M, & Joerin, F. (2013). Intégration de la méthode d'aide à la décision ELECTRE TRI dans un système d'information géographique open source, *Revue internationale de géomatique*, 23(1). 13-38,
- Sogreah, (1967). Étude générale des aires d'irrigation et d'assainissement agricole en Algérie, Dossier, Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire, Alger, Memoire de l'Institut de Geologie du Bassin d'Aquitaine, Bordeaux, France, N°22,
- Souléye, W., A., D., E., Rudant, J, BA, K, & Ndoeye, B. (2007). Télédétection, SIG et géorisques : applications à l'étude des inondations urbaines de Saint-Louis et du ravinement lié à l'érosion hydrique à Nioro-du-Rip (Sénégal). Disponible sur : https://www.academia.edu/26374387/T%C3%A9l%C3%A9d%C3%A9tection_SIG_et_g%C3%A9orisques_applications_%C3%A0_l%C3%A9tude_des_inondations_urbaines_de_Saint_Louis_et_du_ravinement_li%C3%A9_%C3%A0_l%C3%A9rosion_hydrique_%C3%A0_Nioro_du_Rip
- Sparfel, L. Gourmelon, F, & Le Berre, I, I. (2010). Approche orientée-objet de l'occupation des sols en zone côtière, *Télédétection*, 8(4). 237-256, Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00559730/> (Consulté le 19/02/2015).
- Sparfel, L. (2011). *Etude des changements d'occupation des sols dans la zone côtière à partir de données hétérogènes : application au Pays de Brest* (Doctoral dissertation, Brest). Disponible sur : <https://www.theses.fr/2011BRES1008> (Consulté le 25/03/2013).
- St-Laurent Samuel, A. (2011). Forêt Québec et l'adaptation aux changements climatiques : construction d'un concept par une typologie des discours des acteurs, Disponible sur : <https://corpus.ulaval.ca/jspui/handle/20,500,11794/23100> (Consulté le 01/02/2013).
- Stewart, P. (1974). Un nouveau climagramme pour l'Algérie et son application au barrage vert, *Bull Soc Hist Nat Afrique du Nord*, 65, 239-248, https://scholar.google.com/scholar?cluster=14932890783191500908&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0,5

- Stoner, E. R., & Baumgardner, M. F. (1981). Characteristic variations in reflectance of surface soils, *Soil Science Society of America Journal*, 45(6), 1161-1165, Disponible sur : <https://doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500060031x> (Consulté le 15/05/2017).
- Tabet-Aoul, M. (2008). Impacts du changement climatique sur les agricultures et les ressources hydriques au Maghreb, *Les notes d'alerte du CIHEAM*, (48). Disponible sur : <http://portail2.reseau-concept.net/Upload/ciheam/fichiers/Nal48.pdf>, (Consulté le 15/07/2017).
- Tamali, M. (2013). Système d'Information Géographique, Master, Algérie, 2013, ? cel-01445409v2 ? 25p, Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/cel-01445409v2> (Consulté le 12/09/2014).
- Tardieu, F. (2005). Tolérance des plantes au déficit hydrique : limites physiques et possibilités de progrès, *Comptes Rendus Géoscience*, 337 (1-2), 57-67, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631071304002731>
- Tchotsoua, M, Aboubakar, M, Mpoko, G, F, A, Bangara, A, B, Fotsing, E, Ganota, B, & Picard, J. (2009). *Contribution de la géomatique à la gestion des territoires villageois des savanes d'Afrique centrale*, (Savanes africaines en développement : innover pour durer Cirad). Disponible sur : https://scholar.google.fr/scholar?hl=fr&as_sdt=0%2C5&q=Contribution+de+la+g%C3%A9omatique+%C3%A0+la+gestion+des+territoires+villageois+des+savanes+d%E2%80%99Africque+centrale,+&btnG= (Consulté le 19/10/2013).
- Thomas, CD, Cameron, A., Green, RE, Bakkenes, M, Beaumont, LJ, Collingham, YC, & Williams, SE. (2004). Risque d'extinction dû au changement climatique, *Nature*, 427 (6970), 145-148, <https://www.nature.com/articles/nature02121>,
- Thomlinson, J.R., Bolstad P.V. & Cohen, W.B. (1999). Coordinating methodologies for scaling land cover classifications from site-specific to global: steps toward validating global map products. *Remote Sensing of Environment* 70: 16– 28. <https://experts.umn.edu/en/publications/coordinating-methodologies-for-scaling-landcover-classifications->
- Thuiller, W. (2003). Impact des changements globaux sur la biodiversité en Europe : projections et incertitudes (Doctoral dissertation, Montpellier 2). Disponible sur : <https://www.theses.fr/2003MON20101> (Consulté le 12/05/2012).
- Tisseuil, C. (2009). *Modéliser l'impact du changement climatique sur les écosystèmes aquatiques par approche de downscaling* (Doctoral dissertation, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier). Disponible sur : <http://www.theses.fr/2009TOU30246> (Consulté le 19/03/2012).
- Touahir, S, Asri, A, Remini, B, & Saad, H. (2018). Prédiction de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued zeddine et de l'envasement du barrage ouled mellouk (nord-ouest algérien). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 24(2), 167-182, <https://doi.org/10.4000/geomorphologie,12083>
- Touaibia, B. (2010). The problem of erosion and solid transport in northern Algeria (Problématique de l'érosion et du transport solide en Algérie septentrionale). *Sécheresse*, 21(4), 333–335, DOI :10.1684/sec,2010,0271,
- Toumi, S., Meddi, M, Mahé, G, & Brou, Y, T. (2013). Cartographie de l'érosion dans le bassin versant de l'Oued Mina en Algérie par télédétection et SIG, *Hydrological sciences journal*. 58(7), 1542-1558, Disponible sur : <https://doi.org/DOI:10.1080/02626667.2013.824088> (Consulté le 14/02/2015).
- Touzi, *et al.* (2004). Forest type discrimination using calibrated C-band polarimetric SAR data, *Ournal canadien de télédétection* Volume 30, 2004, Disponible sur : <https://doi.org/10.5589/m03-072>
- Unesco-Fao, (1963). Etude Écologique de la Zone Méditerranéenne, Carte Bioclimatique de la zone Méditerranéenne Ecological Study of the Mediterranean Area : Bioclimatic Map of the Mediterranean Sea, *Natural Resource Conservation Service, Soil Survey Inv Rep N 42, vers, 3,0*, Disponible sur : https://scholar.google.fr/scholar?cluster=3538775994147107834&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0,5 (Consulté le 12/08/2012).
- Vaché, M. (2006). " En quoi les changements dans la phénologie de la végétation, découlant du réchauffement global. Présentent-ils des répercussions sur la phénologie reproductive de vertébrés

Références bibliographiques

- terrestres ? Université du Québec à Rimouski, Disponible sur : https://scholar.google.fr/scholar?cluster=12532542143945721862&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0,5 (Consulté le 12/06/2014).
- Vagliani, R., & Ilinca, A. (2009). Study and conception of tools to help fulfill the use of the AnemoScope; Etudes et conception des outils aidant a completer l'utilisation d'AnemoScope,
- Vannier, C. (2011). *Observation et modélisation spatiale de pratiques agricoles territorialisées à partir de données de télédétection : application au paysage bocager* [Thèse de doctorat, Université Rennes 2]. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00651991/>
- Vennetier, M, Ladier, J, & Rey, F. (2013). Le contrôle de l'érosion des sols forestiers par la végétation face aux changements globaux, *Revue Forestière Française*, 66(4). 15p, Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01180744/>
- Wade, S, Rudant, J, P, Ba, K, & Ndoye, B. (2008). Télédétection et gestion des catastrophes naturelles : applications à l'étude des inondations urbaines de Saint Louis et du ravinement lié à l'érosion hydrique à Nioro-Du-Rip (Sénégal). *Télédétection*, 8(3). 203-210, Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00434297/> (Consulté le 19/02/2015).
- Wallén, CC.(1962). *La climatologie et l'hydrométéorologie pour les pays arides- Recherches sur la zone aride* (L'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et culture, place de Fontenoy, Paris-7^e Imprimé par Vaillant-Carmanne, S, A, Liège (Belgique)). Disponible sur : https://unesdoc.unesco.org/,,/annotationSVC/,,/attach_import_467f55d2-3047-4dae-8a,, (Consulté le 25/03/2012).
- Walther, GR., Post, E, Convey, P, Menzel, A, Parmesan, C, Beebee, TJ, & Bairlein, F. (2002). Réponses écologiques au changement climatique récent, *Nature*, 416 (6879). 389-395, <https://www.nature.com/articles/416389a>
- Wang, Y, P, Chen, S, H, Chang, K, W, & Shen, Y. (2012). Identifying and characterizing yield limiting factors in paddy rice using remote sensing yield maps, *Precision agriculture*, 13(5). 553-567, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-012-9266-5>
- Welch, R. (1982). Spatial resolution requirements for urban studies, *International Journal of Remote Sensing*, 3(2). 139-146, Wolf, B, (2011). Disponible sur : <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431168208948387> (Consulté le 12/06/2012).
- Wolf, B. (2011). GlobWetland II: Wetland mapping in North Africa, In *2011 GEOSS Workshop XLI* (pp, 1-40). IEEE, Disponible sur : <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6047973/> (Consulté le 12/06/2012).
- Woodfine, A. (2009). L'adaptation au changement climatique et l'atténuation de ses effets en Afrique subsaharienne au moyen des pratiques de gestion durable des terres, *TerraAfrica, regional Sustainable Land Management*, Disponible sur : http://www.ipcinfo.org/fileadmin/user_upload/terrafrica/docs/Adaptation_changement_climatique_et_pratiques.pdf (Consulté le 19/12/2012).
- Wu, Y, & Cosgrove, DJ. (2000). Adaptation des racines aux faibles potentiels hydriques par des modifications de l'extensibilité de la paroi cellulaire et des protéines de la paroi cellulaire, *Journal de botanique expérimentale*, 51 (350). 1543-1553, <https://academic.oup.com/jxb/article-abstract/51/350/1543/738112>
- Yahiaoui, D. (2015). Impacts des variations climatiques sur l'agriculture en Oranie, *Mémoire de Magister, Université d'Oran I, Algérie*, Disponible sur : https://scholar.google.com/scholar?cluster=5708583161781995225&hl=fr&as_sdt=2005&scioldt=0,5 (Consulté le 12/10/2012).
- Yousfi, et al. (2005). Inventaire des feux des forêts dans le nord de l'Algérie par utilisation des données du satellite Alsat-1, Workshop International Télédétection et Systèmes d'Information Géographique "Information Spatiale et Développement Durable", 14 au 16 novembre 2005, Rabat, Maroc, Disponible sur : http://www.israbat.ac.ma/wp-content/uploads/2015/03/Doc,%20IS%20n%C2%B020%20%20Workshop%20Inter,%20TSIG_ISD%20-2006.pdf

- Zhang, X., Friedl, M, A, Schaaf, C, B, Strahler, A, H, Hodges, J, C, Gao, F, & Huete, A. (2003). Monitoring vegetation phenology using MODIS, *Remote sensing of environment*, 84(3). 471-475, Disponible sur: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00135-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00135-9),
- Zinke, P.J. (1973). Analogies entre les types de sol et de végétation de l'Italie, de la Grèce et de la Californie, Dans *les écosystèmes de type méditerranéen* (pp, 61-80). Springer, Berlin, Heidelberg, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-65520-3_6
- Zwaenepoel, P, & Le Bars, J.M. (1997). L'agriculture de précision, *Ingénieries eau-agriculture-territoires*, (12). p-67, Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00461080/document> (Consulté le 19/06/2014).

Adresses sites Web

[www,rncan,gc,ca](http://www.rncan.gc.ca)
<http://www.osgeo.org/qgis>
<http://glovis.usgs.gov/>
([http://www,onerc,gouv,fr](http://www.onerc.gouv.fr)).
[http://biblioD4E,onerc,org/](http://biblioD4E.onerc.org/)
[https://www,rncan,gc,ca/cartes-outils-et-publications/imagerie-satellitaire-et-photos-aeriennes/tutoriel-notions-fondamentales-teledetection/9310](https://www.rncan.gc.ca/cartes-outils-et-publications/imagerie-satellitaire-et-photos-aeriennes/tutoriel-notions-fondamentales-teledetection/9310)
[http://collections,banq,qc,ca/ark:/52327/bs44573](http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/bs44573)
[https://power,larc,nasa,gov/data-access-viewer/](https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/)
([https://power,larc,nasa,gov/data-access-viewer/](https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/))
[http://www,ons,dz/](http://www.ons.dz/)
([www,rncan-rncan,gc,ca](http://www.rncan-rncan.gc.ca))
[http://www,ons,dz/](http://www.ons.dz/)
[www,gdr2968,cnrs,fr](http://www.gdr2968.cnrs.fr)
[https://mern,gouv,qc,ca/documents/territoire/satellites,pdf](https://mern.gouv.qc.ca/documents/territoire/satellites.pdf)
[https://mern,gouv,qc,ca/documents/territoire/satellites,pdf](https://mern.gouv.qc.ca/documents/territoire/satellites,pdf)

Annexe 1 : Longueurs d'ondes et fréquences radar utilisées en télédétection

Désignation de Bande	λ : Longueur d'ondes (cm)	Fréquence Mégahertz (10 ⁶ cycles/sec)
Ka (0,86 cm *)	0,8 à 1,1	40 000 à 26 500
K	1,1 à 1,7	26 500 à 18 000
Ku	1,7 à 2,4	18 000 à 12 500
X (3 et 3,2 cm *)	2,4 à 3,8	12 500 à 8 000
C	3,8 à 7,5	8 000 à 4 000
S	7,5 à 15,0	4 000 à 2 000
L (25 cm *)	15,0 à 30,0	2 000 à 1 000
P	30,0 à 100,0	1 000 à 300

(*) Indique les longueurs d'ondes utilisées généralement avec les radars imageurs.

Annexe 2 : Autres formules de calcul de l'indice de l'eau

Indice	Source	Formule
$NDWI_{McFeeters}$	(McFeeters, 1996)	$(V - PIR) / (V + PIR)$
$NDWI_{Xu} = MNDWI$	(Xu, 2007)	$(V - MIR1) / (V + MIR1)$
$AWEI_{no\ shadow}$	(Feyisa, Meilby, Fensholt, & Proud, 2013)	$4 * (V - MIR1) - (0.25 * PIR + 2.75 * MIR2)$
$AWEI_{shadow}$	(Feyisa, Meilby, Fensholt, & Proud, 2013)	$B + 2.5 * V - 1.5 * (PIR + MIR1) - 0.25 * MIR2$
WI_{2015}	(Fisher, Flood, & Danaher, 2015)	$1.7204 + 171 * V + 3 * R - 70 * PIR - 45 * MIR1 - 71 * MIR2$

Annexe 3 : Caractéristiques techniques des satellites à moyenne résolution (<https://mern.gouv.qc.ca/documents/territoire/satellites.pdf>)

	LANDSAT 1, 2 et 3	LANDSAT 4 et 5	LANDSAT 7	LANDSAT 8	SPOT 1, 2 et 3	SPOT 4	SPOT 5
Pays	États - Unis	États - Unis	États - Unis	États - Unis	France	France	France
Année de lancement	1972, 1975 et 1978	1982 et 1984	1999	2013	1986, 1990 et 1993	1998	2002
Résolution spatiale	60 x 80 m	Multispectrale: 30m Infra rouge thermique : 120m	Multispectral : 30 m Infra rouge thermique : 60 m Panchromatique : 15 m	Multispectral : 30 m Infra rouge thermique : 100 m Panchromatique : 15 m	Multispectrale: 20m Panchromatique: 10 m	Multispectrale: 20m Panchromatique: 10 m	Vert, rouge et IR : 10 Infra rouge moyen : 20 m Panchromatique : 5 m et 2 à 3 m
Dimension de l'image	185 x 185 km	185 x 172 km	185 x 172 km	185 x 172 km	60 x 60 km (80 km en visée latérale extrême)	60 x 60 km (80 km en visée latérale extrême)	60 x 60 km (80 km en visée latérale extrême)
Fréquence de passage	18 jours	16 jours	16 jours	18 jours	3 à 26 jours	3 à 26 jours	3 à 26 jours
Application	Occupation du sol et végétation	Occupation du sol et végétation	Occupation du sol et végétation	Occupation du sol et végétation	Occupation du sol, cartographie et physiographie	Occupation du sol, cartographie et physiographie	Occupation du sol, cartographie et physiographie
Site web	http://www.landsat.org	http://www.landsat.org	http://www.landsat.org	/	http://www.spot.com	http://www.spot.com	http://www.spot.com

Annexe 3 (suite) : Caractéristiques techniques des satellites à moyenne résolution (d'après Faivre, 2018)

Pays	Spot 6 & 7	Sentinel 2
	France	Agence Spatiale Européenne (ASE)
Année de lancement	2012 et 2014	2015 et 2016
Résolution spatiale	Multispectrale : 6 m Panchromatique : 1,5 m	Multispectrale : 10, 20 et 60 m
Dimension de l'image	60 x 60 km	290 x 290 km
Fréquence de passage	26 jours	5 jours
Application	Occupation du sol, cartographie et physiographie	Occupation du sol et végétation

Annexe 4 : Principales caractéristiques techniques des satellites Landsat (1,2,3,4,5,6,7 et 8).

Principales caractéristiques des satellites Landsat ^{1,2,3,4,5,6,7 et 8}					
Caractéristiques	Landsat-1 à 3	Landsat-4 et 5	Landsat-6	Landsat-7	Landsat 8/ Landsat Data Continuity Mission (LDCM)
Début et fin de mission	Landsat-1 : 1972-1978 Landsat-2 : 1975-1981 Landsat-3 : 1978-1983	Landsat-4 : 1982-1993 Landsat-5 : 1984-2013	1993 (échec)	1999-	2013
Statut satellite	Achevée	Achevée (L-4) Fonctionne en mode dégradé (L-5)	Echec au lancement	Actif	Actif
Masse	816–960 kg	1 938–1 961 kg	-	2 200 kg	2 600 kg
Instruments	MSS : radiomètre RVB : caméra vidéo	MSS et TM : radiomètre	MSS et TM : radiomètre	ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) : radiomètre	OLI et TIRS : radiomètre
Bandes spectrales	0,5-0,6 µm 0,6-0,7 µm 0,7-0,8 µm 0,8-1,1 µm	0,45-0,52 µm 0,52-0,6 µm 0,63-0,69 µm 0,76-0,9 µm 1,55-1,75 µm 2,08-2,35 µm	-	0,45-0,52 µm 0,53-0,61 µm 0,63-0,69 µm 0,78-0,9 µm 1,55-1,75 µm 2,09-2,35 µm	0,433-0,453 µm 0,45-0,515 µm 0,525-0,6 µm 0,63-0,68 µm 0,845-0,885 µm 1,56-1,66 µm 1,36-1,39 µm 2,1-2,3 µm

Annexes

Infrarouge thermique	-	10,4-12,5 μm	-	10,4-12,5 μm	10,3-11,3 μm 11,5-12,5 μm
Panchromatique	-	-	-	0,52-0,9 μm	0,5-0,68 μm
Résolution	Générale : 79 m	Générale : 30 m Infrarouge thermique : 120 m	-	Générale : 30 m Panchromatique : 15 m Infrarouge thermique : 120 m	Générale : 30 m Panchromatique : 15 m Infrarouge thermique : 100 m
Technique de prise d'image	Whiskbroom	Whiskbroom	-	Whiskbroom	Pushbroom
Orbite	Altitude : 907-915 km cycle : 18 jours heure : 9 h 45	Altitude : 705 km cycle : 16 jours heure : 9 h 30-10 h	-	Altitude : 705 km cycle : 16 jours heure : 10 h-10 h 15	Altitude : 705 km cycle : 16 jours heure : 10 h

Annexe 5 : Caractéristiques des bandes spectrales du satellite optique Sentinel-2 (d'après Faivre, 2018)

Bandes Sentinel-2	Longueur d'onde centrale (micromètres)	Résolution (mètres)
Band 1 –Aérosol (bleu côtier)	0.443	60
Band 2 –Bleu	0.490	10
Band 3 –Vert	0.560	10
Band 4 –Rouge	0.665	10
Band 5 –Végétation RedEdge	0.705	20
Band 6 –Végétation RedEdge	0.740	20
Band 7 –Végétation RedEdge	0.783	20
Band 8 –PIR	0.842	10
Band 8A –VégétationRed Edge	0.865	20
Band 9 –Vapeur d'eau	0.945	60
Band 10 –MIR –Cirrus	1.375	60
Band 11 –MIR	1.610	20
Band 12 –MIR	2.190	20

Annexe 6 : Liste des satellites Africains (d'après John, 2017).

Pays	Satellites	Dates de lancement
Afrique du Sud	NSIGHT-1, ZA-AEROSAT	20/11/1998
	SUNSAT	23/02/1999
	SUMBANDILA	17/09/2009
	ZACUBE	21/11/2013
	KONDOR E	19/12/2014
Egypt	NILESAT	28/04/1998
	NILESAT 102	17/08/2000
	EGYPTSAT 1	17/04/2007
	NILESAT 201	04/08/2010
	EGYPTSAT 2	16/04/2014
Algérie	ALSAT 1	28/11/2002
	ALSAT 2A	12/07/2010
	ALSAT 1B, ALSAT 2B, ALSAT 1N	26/09/2016
	ALCOMSAT1	11/12/2017
Nigéria	NSIGHT-1, ZA-AEROSAT	20/11/1998
	SUNSAT	23/02/1999
	SUMBANDILA	17/09/2009
	ZACUBE	21/11/2013
	KONDOR E	19/12/2014
Ghana	GhanaSat-1	07/07/2017
Maroc	MOHAMMED VI-A	08/11/2017

Annexe 7 : Besoins en eau potable par commune (d'après Berrayah, 2009).

Communes	Besoins (m ³ /j)	Volume produit (m ³ /j)	Taux de satisfaction (%)
Beni Ouarsous	1.829	1.041	57
Ghazaouet	7.309	5.205	71
Souahlia	3.587	603	17
Tient	762	411	54
Dar Yaghmourassene	1.027	137	13
Nedroma	6.901	2.704	39
Djebala	1.555	1.274	82
Fillaoucene	1.284	863	67
Ain Fettah	1.168	260	22
Ain Kebira	612	781	100
Bab EL Assa	1.567	1.380	88
Souk Tleta	493	1.641	100
Marsat Ben Mhidi	1.258	378	30
Msirda Fouagua	901	441	49
Honaine	884	630	71
Beni Khaled	1.096	230	21
Total Traras	32.233	17.979	66

Annexe 8 : Répartition de la production des cultures pérennes par commune (d'après Berrayah, 2009).

Communes	Viticulture		Agrumes		Oliviers			Arbres fruitiers diverses		Figuiers	
	Sup (ha)	Prod (Qx)	Sup (ha)	Prod (Qx)	Sup (ha)	Nbre isolés pieds	Prod (Qx)	Prod (Qx)	Prod (Qx)	Prod (Qx)	Prod (Qx)
Beni Ouarsous	10	270	2	60	30	0	295	373	6.238	22	220
Honaine	44	800	0	0	79	0	900	610	12.800	117	1.757
Beni Khaled	39	1.250	55	6.150	134	4.552	2.020	291	5.360	4	200
Fellaoucene	2	0	2	200	26	540	313	110	2.430	6	300
Ain Fettah	130	3.000	0	0	37	1.100	850	2.037	19.000	27	800
Total zone orientale	225	5.320	59	6.410	306	6.192	4.378	3.421	45.828	176	3.277
Ain Kebira	0	0	0	0	16	1.900	185	47	920	5	300
Nedroma	154	2.340	9	540	47	1.572	80	355	2.360	5	250
Djebala	361	6.100	2	0	136	1.210	150	663	3.890	0	0
Ghazaouet	10	60	14	830	0	0	0	233	4.020	0	2.000
Souahlia	107	3,090	9	610	9	500	80	2,297	17,796	67	3,350
Tient	50	1.000	11	300	11	400	48	423	2.555	30	700

Annexes

Dar Yaghmourassene	5	150	0	0	13	0	100	251	2.400	5	150
Totale zone centrale	687	12.740	45	2.280	232	5.582	643	4.269	33.941	112	6.750
Bab El Assa	29	135	1	0	12	1.100	135	330	4,194	12	320
Souk Tleta	5	100	0	0	7	1.000	165	245	5.021	55	1.100
Mersa Ben Mhidi	15	45	14	140	15	400	0	70	830	2	330
Msirda Fouaga	3	120	0	0	0	1.800	180	178	10.380	0	600
Total zone occidentale	52	400	15	140	34	4.300	480	823	20.425	69	2.350
Total général	964	18.460	109	8.830	572	16.074	4.378	8.513	100.194	357	12.377
Total wilaya	7.180	167.400	203	132.300	3.633	222.468	100.755	17.602	274.756	492	22.434

Annexe 9 : Répartition du cheptel du gros élevage par commune (d'après Berrayah, 2009).

Communes	Ovins		Bovins		Caprins
	Total	Brebis Moutons	Total	Vaches litière	
Bab El Assa	2.500	2.300	75	55	150
Souk Tleta	1.800	1.500	140	90	170
M,B,Mhidi	2.000	1.400	100	45	140
M, Fouagua	3.000	1.900	110	70	500
Ain Kebira	1.900	1.300	170	90	450
Nedroma	3.300	1.900	540	230	110
Djebala	2.500	2.200	150	50	170
Ghazaouet	2.900	1.200	50	30	200
Souahlia	3.200	1.700	80	70	60
Tient	1.500	1.200	50	30	30
Dar	1.300	1.000	50	40	170
Beni Ouarsous	9.000	7.500	560	260	1.600
Honaine	1.800	1.200	80	60	450
Beni Khaled	2.000	1.100	110	70	120
Fellaoucene	5.400	3.900	120	90	500
Ain Fettah	6.000	4.800	140	80	650
Total	52.000	32.000	2.300	1.780	5.800

Annexe 10 : Répartition des districts et triages des forêts par commune dans les Monts des Traras (d'après Berrayah, 2009)

District	Triage	Superficie (ha)									Tx de recouvrement (%)	Volume DRS (ha)	Communes concernées
		Sup. (ha)	Forêt déjà constituée			Domaine forestier national			Forêt privée	Couverture forestière totale			
			Hectare	Are	Centiare	Hectare	Are	Centiare					
District n° 13 (Nedroma)	N° 49	9.050	644	01	00	882	00	00	2.913	3.797	41	2.000	Nedroma
	N° 50 (Fellaoucene)	22.369	---	---	---	270	00	00	2.873	3.143	14	---	Fellaoucene, A.Kebira, A.Fettah,
	N° 51 (Djebala)	11.500	---	---	---	326	00	00	2.658	2.984	26	3.000	Djebala)
	Total	42.119	644	01	00	1.478	01	00	8.444	9.922	23	5.000	/
District n° 14 (Ghazaouet)	N° 52 (Tient)	12.000	355	52	00	855	01	00	709	1.565	13	10.435	Ghazaouet - Tient - Souahlia
	N° 53 (Dar Yaghmourassene)	5.700	---	---	---	24	52	--	1.561	1,585	28	4.115	D.Yaghmoura ssene
	Total	17.700	355	52	00	879	83	00	2.270	3150	18	14.550	/
District n° 15 (Bab El Assa)	N° 54 (M, Fouagua)	15.600	848	83	00	2.282	04	00	2.253	4.536	29	11.063	M.B.Mhidi, M. Fouagua

Annexes

	N° 55 (M, Fouagua)	23.700	996	04	00	2.372	87	20	1.904	4.276	18	25.224	B.E.Assa – Souani, S.Tleta,
District n°/ (Beni Ouarsous)	Total	39.300	1.844	87	00	4.654	94	00	4.157	8.812	22	36.287	/
	Beni Ouarsous	17.000	1.753	94	00	4.711	60	00	1.040	5.759	34	/	Beni Ouarsous
	Honaine	13.700	334	60	00	825	60	00	3.873	4.700	34	/	Honaine, B.Khaled
	Total	30.700	2.088	54	00	5.537	54	00	4.913	10.459	34	/	/

Annexe 11 : Répartition de la population par commune (ONS, 1998).

Communes	Code	Nature	Population
Beni Khaled	1348	Commune côtière	6.518
Honaine	1344	Commune côtière	5.424
Beni Ouarsous	1336	Commune	11.018
Dar Yaghmourassene	1319	Commune côtière	6.274
Ghazaouet	1307	Commune côtière	33.094
Nedroma	1340	Commune	31.136
Mersa Ben Mhidi	1339	Commune côtière	5.554
Ain Kebira	1353	Commune	3.512
Souahlia	1329	Commune côtière	20.823
Souk Tleta	1333	Commune côtière	2.886
Msirda Fouaga	1330	Commune côtière	5.496
Tienet	1345	Commune	4.686
Fellaoucene	1320	Commune	7.619
Djebala	1309	Commune	9.167
Bab El Assa	1318	Commune	8.989
Ain Fetah	1331	Commune	7.005
Souani	1308	Commune	8.227
Total			177.428 habitants

Annexe 12 : Types de sols agricoles dans les Monts des Traras

Communes	Sols argileux lourds (ha)	Sols légers siliceux (ha)	Sols calcaires (ha)	Autres (ha)
Béni Ouarsous	13.600	0	3.400	0

Honaïne	1.915,5	1.915,5	2.554	0
Béni Khellad	5.852	365,75	365,75	731,5
Fillaoucène	4.281,5	1.712,6	2.568,9	0
Ain Fettah	752,7	3.010,8	1.505,4	2.258,1
Ain Kébira	1.512	0	2.520	1.008
Nédroma	2.715	0	0	6.335
Djebala	4.602	4.602	1.150,5	1.150,5
Ghazaouet	1.120	1.120	0	560
Souahlia	905,4	0	8.148,6	0
Tient	210	630	0	1.260
D. Yhomoracene	570	2 850	1 710	570
Bab el assa	7.580,8	0	1.895,2	0
Souani	4.400	0	1.100	0
Souk Tlata	5.579	0	1.594	797
M. Ben M'hidi	6.300	0	0	700
M'sirda Fouaga	2.580	0	0	6.020

Annexe 13 : Surfaces et taux de couverture agricoles dans les Monts des Traras durant la campagne 2009/2010 (d'après Khemies, 2013)

Communes	Superficie totale (ha)	Surface Agricole Utile (SAU) (ha)	Taux (%)
Beni Ouarsous	17.000	10.190	59,94
Ghazaouet	2.800	1.620	57,86
Souahlia	7.100	5.471	77,06
Tient	2.100	1.840	87,62

D. Yaghmoracène	5.700	2.150	37,72
Honaine	5.700	1.959	34,37
Beni khelad	8.000	6.546	81,83
Nedroma	9.050	4.862	53,72
Djeballa	11.500	4.930	42,87
Fillaoucène	7.229	5.759	79,67
Ain Fettah	10.100	4.167	41,26
Ain Kébira	5.040	900	17,86
Bab.El Assa	9.700	4.611	47,54
Souani	5.500	3.555	64,64
Souk Tleta	8.500	2.410	28,35
M. B. M'Hidi	7.000	4.592	65,60
M'Sirda Fouaga	8.600	4.654	54,12

Annexe 14 : Surfaces des terres utilisées par l'agriculture dans les Monts des Traras durant la campagne 2009/2010 (d'après Khemies, 2013)

Communes	Superficie Agricole Totale (ha)	Surfaces Agricoles Utiles (SAU) (Ha)					Autres terres utilisées par l'agriculture	
		Total	Irriguée	Terres labourées	Cultures permanentes	Cultures sous serres	Parcours & Pacages	Terres improductives
B/Ouarsous	12.884	10.190		164	8.359	1.831	55	1.000
Honaine	2.082	1.959		71	1.618	341	0,5	123
B/Khellad	6.843	6.546		59	5.806	740	17	297
Fillaoucène	6.035	5.759		446	5.111	648	38	0
A/Fettah	7.229	4.167		382	3.855	312	11	0

Annexes

A/Kebira	2.626	900		170	756	144	4	1.686
Nedroma	6.706	4.862		250	4.329	533	1,5	1.694
Djebala	8.752	4.930		260	3.828	1102	3,25	0
Ghazaouet	1.862	1.620		284	1.391	229	0,32	127
Souahlia	6.232	5.471		527	2.956	2515	2,2	0
Tient	1.907	1.840		213	1.493	347	1,5	0
D/Yaghmouracen	3.751	2.150		68	2.033	117	0	0
B/Assa	6.934	4.611		140	4.293	318	0	0
Souani	4.330	3.555		295	3.077	478	0	0
S/Tlete	6.389	2.410		49	2.101	309	0	0
M/ Ben m'hidi	5.381	4.592		92	4.253	339	0	0
M'sirda Fouaga	8.199	4.654		175	4.292	362	0	0

Annexe 15 : Surfaces des terres agricoles dans les Monts des Traras durant la campagne 2008/2009 (d'après Khemies, 2013)

Communes	Cultures herbacées (ha)	Terres au repos (ha)	Arboriculture + viticulture (ha)	SAU (ha)	Parcours & paccage (ha)	Terres improductives (ha)	SAT (ha)
B/Ouarsous	2 825	5563	1 802	10 190	1 000	1 694	12 884
Honaine	244	1320	395	1 959	123	0	2 082
B/Khellad	2 212	3602	732	6 546	297	0	6 843
Fillaoucene	1 985	3112	662	5 759	0	276	6 035
A/Fettah	2 265	1586	316	4 167	0	3 062	7 229
A/Kebira	671	84	145	900	1 686	40	2 626
Nedroma	2 332	1999	531	4 862	1 694	150	6 706
Djebala	2 358	1466	1 106	4 930	0	3 822	8 752

Annexes

Ghazaouet	833	558	229	1 620	127	115	1 862
Souahlia	2 783	166	2 522	5 471	0	761	6 232
Tient	1 278	32	530	1 840	0	67	1 907
D/Yaghmouracen	1 610	423	117	2 150	0	1 601	3 751
B/Assa	1 078	3217	316	4 611	0	2 323	6 934
Souani	1 601	1491	458	3 550	0	780	4 330
S/Tlete	612	1489	309	2 410	0	3 979	6 389
M/ Ben m'hidi	1 417	2689	486	4 592	0	789	5 381
M'sirda Fouaga	1 389	2799	466	4 654	0	3 545	8 199

Annexe 16 : Surfaces des terres agricoles dans les Monts des Traras durant la campagne 2007/2008 (d'après Khemies, 2013)

Communes	Superficie Agricole Totale (ha)	Surfaces Agricoles Utiles (SAU) (Ha)					Autres terres utilisées par l'agriculture (ha)	
		Total	Irriguée	Terres labourées	Cultures permanentes	Cultures sous serres	Parcours & Pacages	Terres improductives
B/Ouarsous	12 884	10 190	96	8 067	2 123	58	1 000	1 694
Honaine	2 082	1 959	5	1 543	416	0	123	0
B/Khellad	6 843	6 546	0	5 789	757	17	297	0
Fillaoucene	6 035	5 759	399	5 093	666	42	0	276
A/Fettah	7 229	4 167	284	3 856	311	25	0	3 062
A/Kebira	2 626	900	141	757	143	5	1 686	40
Nedroma	6 790	4 862	235	4 276	586	2	1 778	150
Djebala	8 752	4 930	230	3 633	1 297	5	0	3 822
Ghazaouet	1 862	1 620	267	1 361	259	1,32	127	115

Annexes

Souahlia	6 232	5 471	924	2 958	2 513	2	0	761
Tient	1 907	1 840	188	1 316	524	1,5	0	67
D/Yaghmouracen	3 751	2 150	68	2 033	117	0	0	1 601
B/El Assa	6 934	4 611	180	4 229	382	0	0	2 323
Souani	4 330	3 555	275	3 093	462	0,08	0	775
S/Tleta	6 389	2 360	70	2 052	308	0	0	4 029
M/ Ben m'hidi	5 381	4 592	0	3 955	637	0	0	789
M'sirda Fouaga	8 199	4 654	182	4 113	541	0	0	3 545

Annexe 17 : Surfaces des terres utilisées par l'agriculture dans les Monts des Traras durant la campagne 2007/2008, 2009/2010 (d'après Khemies, 2013)

Compagnes	Superficie Agricole Totale (ha)	Surfaces Agricoles Utiles (SAU) (Ha)					Autres terres utilisées par l'agriculture	
		Total	Irriguée	Terres labourées	Cultures permanentes	Cultures sous serres	Parcours & Pacages	Terres improductives
(2007/2008)	98 226	70 166	3 544	58 124	12 042	158,9	5 011	23 049
(2009/2010)	98 142	70 216	3 645	59 551	10 665	134,27	4 927	22 999

Annexe 18 : Evolution de la superficie et de la production de la vigne dans la wilaya de Tlemcen (d'après Khemies, 2013).

Périodes	Vignes à vin				Vignes à raisin de table			Vignes à raisins secs			Pieds mères et pépinières	Sup. totale (ha)
	Sup. totale (ha)	Sup.en rapport	Productions		Sup, totale (ha)	Sup. en rapport	Productions (qx)	Sup. totale (ha)	Sup. en rapport	Productions (ha)		
			Raisins (qx)	Vins (Hl)								
2009/	1 487	1 283	16 960	6 155	2 946	2 720	78 500	16	16	470	20	4 469
2004	2 709	2 427	33 500	11 226	3 632	3 057	110 760	30	/	28	970	107
1999	2 502	2 235	26 310	19 733	3 252	3 051	98 810	28	/	28	1 020	91
1994	3 170	3 070	/	18 610	3 270	2 870	100 820	40	/	40	1 150	70
1989	5 110	4 690	/	32 430	3 220	2 660	69 170	30	/	30	140	380
1984	6 260	5 840	/	40 650	3 000	2 450	57 830	/	/	/	/	510

Annexe 19 : Evolution de la superficie et de la production de l'olivier dans la wilaya de Tlemcen (d'après Khemies, 2013)

Périodes	Oliviers					Production totale (Qx)		
	En masse			Nombre totale	Nombre d'oliviers en rapport	En oliviers (Qx)		En huile (HL)
	Surfaces occupées (ha)	Oliviers en masse (nbre)	Oliviers isolés (nbre)			Pour la conserve (Qx)	Pour l'huile (Qx)	
2009/ 2010	5 992	66 5785	24 0147	905 932	815 596	98 335	94 105	13 840
2004/ 2005	4 760	476 000	22 2870	698 870	571 362	62 500	52 800	7 899,85
1999/ 2000	3 274	326 160	214293	540 453	519 241	36 917	42 437	4 298
1994/ 1995	3 390	33 7090	216 580	553 670	534 770	45 270	31 370	4 130
1989/ 1990	3 400	33 7760	226 820	564 580	530 850	12 400	32 370	4 480
1984/ 1985	3 530	324 770	214 360	539 130	486 560	12 720	10 140	1 530

Annexe 20 : Bilan annuel 2003 des incendies survenus en forêts des Monts des Traras.

Commune	Dénomination de la forêt	Lieu dit	Superficie Incendiée (ha)	date
Djebala	Djorf El Agueb	Djorf El Agueb	75 ha	15 - 06 - 03
Beni Ouarsous	Djebel Gorine	Djebel Grine	03 ha	15 - 06 - 03
Souahlia	Bouchfia	Bouchfia	02 ha	22 - 06 - 03
Souahlia	La gare Ouladji	La gare Ouladji	01 ha	27 - 06 - 03
Nedroma	FD Beni Menir	Beni Menir	01 ha	27 - 06 - 03
Ain Kebira	Oued Sbaa	Oued Sbaa	05 ha	03 - 07 - 03
Msirda Fouagua	Oued Mnaceb	Oued Mnaceb	07 ha	04 - 07 - 03
Beni Khaled	FD	Gueddin	02 ha	17 - 07 - 03
Nedroma	FD Beni Menir	Djorf El Asgou	40 ha	24 - 07 - 03
Beni Ouarsous	Canton Rof	Canton Rof	03 ha	27 - 07 - 03
Souk Tleta	FD Tarasmouth	Tarasmouth	150 ha	27 - 07 - 03
Beni Ouarsous	Djebel Chkika	Djebel Chkika	30 ha	02 - 08 - 03
Total	/	/	319	/

Circonscription des forêts de Ghazaouet juin (2005)

Annexe 21 : Bilan des superficies incendiées entre 1994 et 2005.

Année	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Superficies (ha)	1452	262	482	1,5	17,8	2	19	314	15,5	396	393,2	413,5

Annexe 22 : Bilan détaillé des incendies survenus en forêts entre 1994 et 2005.

Année	1994		1995		1996		1997		1998		1999		2000		2001		2002		2003		2004		2005		Total	
	Nbre	Super (ha)	Nbre	Super (ha)	Nbre	Super (ha)	Nbre	Super (ha)	Nbre	Super (ha)	Nbre	Super (ha)	Nbre	Super (ha)	Nbre	Super (ha)	Nbre	Super (ha)	Nbre	Super (ha)	Nbre	Super (ha)	Nbre	Super (ha)	Nbre	Super (ha)
Marsa B. Mhidi	0	0	0	0	0	0	1	1,5	0	0	0	0	0	0	1	0,2	1	7	0	0	1	5	1	4	5	17,7
Msirda Fouagna	1	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	2	113	4	19	8	169
Bab El Assa	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	20	0	0	2	21
Souk Tleta	1	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	180	0	0	0	0	2	200
S/Total Trara Occidentaux	3	51	0	0	0	0	1	1,5	0	0	0	0	0	0	1	0,2	1	7	2	187	4	138	5	23	17	407,7
Ghazaouet	6	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3,5	0	0	0	0	0	0	0	8	70,5
Nedroma	2	182	7	12	5	0	0	0	1	0,8	1	1	2	19	6	242	0	0	2	41	1	25	2	9	27	531,8
Djebala	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	2	75	4	69	1	50	8	216
Ain Kebira	3	13	7	31,05	1	25	0	0	0	0	1	1	0	0	1	25	0	0	2	11	3	48	1	0,25	19	154,3
Souahla	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	1	2,1	1	2	5	10,1	
Tient	2	3,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	3	8,25
Dar Yaghmourassene	6	235	1	1	1	0,65	0	0	0	0	0	0	1	0,1	1	5	0	0	0	0	0	0	1	12	10	253,75
S/ Total Trara Centraux	21	510,25	15	44,05	7	25,65	0	0	1	0,8	1	2	3	19,1	8	287	2	3,5	8	130	9	144,1	7	78,25	79	1244,7
Houaine	9	557	0	0	3	390	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	1	15	3	47	5	82,3	22	1096,3	
Beni Khaled	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	2	180	1	2,1	1	0,5	5	185,6	
Beni Ouarsous	7	355	3	215	2	60	0	0	3	14	0	0	0	0	1	27	0	0	5	61	3	62	3	106	27	900
Ain Fettah	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	122	3	122	
Fellaoucene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S/Total Trara Orientaux	16	912	3	215	5	475,65	0	0	4	17	0	0	0	0	1	27	1	5	256	7	111,1	12	310,8			
Total	40	1473,25	18	259,05	12	501,3	1	1,5	5	17,8	1	2	3	19,1	10	314,2	4	15,5	10	573	20	393,2	24	412,05	96	1652,4

Circonscription des Forêts de Ghazaouet Août 2005

Annexe 23 : Bilan des essences forestières touchées par les incendies

Essences	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Broussailles (ha)	17	12	5	0	0	0	0	4	0	5	4	1
Pin d'Alep	20	7	6	1	2	2	2	1	0	11	2	8
Eucalyptus	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0
Thuya	3	0	1	0	0	0	0	2	1	1	1	7
Chêne liège	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pin d'Alep + broussailles	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	5	1
broussailles + thuya	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	3
pin d'Alep + eucalyptus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
eucalyptus + broussailles	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Thuya + pin d'Alep	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	2	3

Annexe 24 : Fréquences des incendies survenus entre 1992 et 2011 en forêts de la zone

Commune	Forêt ou lieu dit	Années des incendies	Surface totale (ha)	Altitude (m)	Exposition dominante	Lithologie	Essence principale
Honaine	O,B,Abdelah	92 /93/94/98/01/02/03/04/11,	856,6	80 - 400	SE	R,C	Thyua
A,Kebira	G,Aicha+ O,Sbaa	92/94/95/96/98/99/01/03/04/0 5/06/07/10	768,5	295 - 730	SE	R,S+RC	Thyua
M,Fouagua	Bessam	92/93/94/04/05/06/11	246	240 - 500	SO+NO	R,V	P,d'Alep
D,Yeghmor	FD Touent	94/96/02/07/08/10,	99,05	60 - 255	SE	R,C	P,d'Alep
Nedroma	FD B,Menir	92/93/94/95/99/03/05/10,	79,3	200 - 400	SO+SE	R,V	Thyua
	Total	----	2049,45	---	----	----	----

Annexe 25 : Moyennes mensuelles et annuelles des températures (min. et max.) enregistrées entre 1984 et 2020 pour la zone (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>).

Températures de surface (°C)														
Année	Paramètres	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Moyenne
1984	M	20,30	19,61	24,33	27,61	23,67	35,94	37,05	34,03	34,53	28,86	25,62	20,90	37,05
	m	1,84	3,34	3,33	9,89	9,33	11,51	17,61	17,26	14,86	9,80	9,36	2,48	1,84
	T	11,07	11,48	13,83	18,75	16,50	23,73	27,33	25,65	24,70	19,33	17,49	11,69	19,45
1985	M	20,53	26,28	22,56	26,52	30,58	32,49	36,10	36,59	34,02	32,80	30,27	23,15	36,59
	m	0,57	6,63	4,54	7,15	8,71	14,69	16,59	18,12	16,44	12,35	6,68	4,30	0,57
	T	10,55	16,46	13,55	16,84	19,65	23,59	26,35	27,36	25,23	22,58	18,48	13,73	18,58
1986	M	19,19	22,69	21,88	24,39	31,35	32,58	35,95	35,08	32,58	28,27	22,91	18,94	35,95
	m	2,63	4,58	5,72	5,87	8,42	14,44	17,40	19,73	15,81	11,77	7,69	3,51	2,63
	T	10,91	13,64	13,80	15,13	19,89	23,51	26,68	27,41	24,20	20,02	15,30	11,23	19,29
1987	M	20,87	23,33	24,55	29,22	28,15	30,79	32,58	36,26	33,58	29,41	26,70	23,28	36,26
	m	1,23	4,26	6,23	7,14	9,97	14,45	17,68	18,47	18,21	11,48	5,75	6,80	1,23
	T	11,05	13,80	15,39	18,18	19,06	22,62	25,13	27,37	25,90	20,45	16,23	15,04	18,75
1988	M	20,54	22,14	26,03	26,99	28,14	31,05	35,86	39,23	35,69	31,51	25,73	21,42	39,23
	m	5,76	4,71	4,86	8,05	10,32	14,81	17,40	21,12	13,76	12,98	6,53	2,86	2,86
	T	13,15	13,43	15,45	17,52	19,23	22,93	26,63	30,18	24,73	22,25	16,13	12,14	21,05
1989	M	20,06	22,28	25,20	27,14	27,95	35,12	36,62	37,28	32,62	29,24	26,37	26,59	37,28
	m	3,55	3,91	6,77	6,82	9,87	13,19	18,05	19,41	16,28	13,46	10,05	6,51	3,55
	T	11,81	13,10	15,99	16,98	18,91	24,16	27,34	28,35	24,45	21,35	18,21	16,55	20,42
1990	M	20,26	23,38	25,49	25,12	29,27	33,28	34,58	34,88	33,04	29,87	25,90	19,61	34,88
	m	4,19	7,03	6,64	7,14	12,13	15,03	18,68	20,40	18,30	12,40	6,30	4,57	4,19
	T	12,23	15,21	16,07	16,13	20,70	24,16	26,63	27,64	25,67	21,14	16,10	12,09	19,54
1991	M	19,93	19,92	23,23	24,65	26,65	33,86	35,94	36,48	33,66	27,94	24,94	19,94	36,48
	m	4,58	2,86	6,76	6,01	8,47	12,97	15,90	18,72	13,46	9,40	5,30	4,59	2,86
	T	12,26	11,39	15,00	15,33	17,56	23,42	25,92	27,60	23,56	18,67	15,12	12,27	19,67
1992	M	17,86	21,66	22,78	26,26	29,21	28,24	35,51	36,33	33,30	27,51	23,33	20,28	36,33
	m	3,96	4,56	5,30	6,76	10,10	11,40	17,20	15,73	12,68	10,16	7,84	2,51	2,51
	T	10,91	13,11	14,04	16,51	19,66	19,82	26,36	26,03	22,99	18,84	15,59	11,40	19,42
1993	M	20,15	19,15	24,60	25,10	28,75	30,23	36,56	38,03	29,47	27,92	22,36	19,88	38,03
	m	3,86	3,93	2,19	6,55	9,87	14,56	17,55	15,44	13,10	9,67	7,00	5,65	2,19
	T	12,01	11,54	13,40	15,83	19,31	22,40	27,06	26,74	21,29	18,80	14,68	12,77	20,11
1994	M	20,31	24,80	25,62	24,54	34,23	37,19	37,53	38,01	32,47	28,03	24,05	21,86	38,01
	m	4,39	3,71	7,85	5,43	10,19	14,01	19,94	18,81	13,62	13,65	10,24	3,11	3,11
	T	12,35	14,26	16,74	14,99	22,21	25,60	28,74	28,41	23,05	20,84	17,15	12,49	20,56
1995	M	21,12	22,67	23,49	26,14	28,12	31,51	34,56	35,00	30,74	28,68	27,50	21,47	35,00
	m	3,44	5,80	6,63	5,21	11,44	14,18	16,03	18,65	13,01	12,87	7,72	7,70	3,44
	T	12,28	14,24	15,06	15,68	19,78	22,85	25,30	26,83	21,88	20,78	17,61	14,59	19,22
1996	M	22,27	20,37	26,26	25,57	28,73	31,59	36,08	32,26	28,62	26,42	25,17	20,91	36,08
	m	6,44	2,08	5,42	9,08	9,22	13,62	16,41	17,25	13,76	11,26	7,99	4,45	2,08
	T	14,36	11,23	15,84	17,33	18,98	22,61	26,25	24,76	21,19	18,84	16,58	12,68	19,08
1997	M	22,16	23,23	24,26	28,02	29,00	31,19	33,13	34,65	33,58	29,75	27,10	20,62	34,65
	m	5,71	5,74	7,10	9,73	10,39	13,62	15,59	17,54	16,83	9,58	8,13	6,44	5,71
	T	13,94	14,49	15,68	18,88	19,70	22,41	24,36	26,10	25,21	19,67	17,62	13,53	20,18
1998	M	21,29	22,01	25,61	27,71	28,45	32,73	36,11	36,82	33,88	27,75	25,06	21,34	36,82
	m	5,45	4,77	4,59	7,30	9,13	14,43	18,08	18,25	16,60	10,60	6,65	2,62	2,62
	T	13,37	13,39	15,10	17,51	18,79	23,58	27,10	27,54	25,24	19,18	15,86	11,98	19,72
1999	M	22,10	19,92	24,42	24,98	33,98	34,65	37,01	39,08	35,83	30,58	26,39	20,49	39,08
	m	4,04	1,39	5,72	8,51	11,05	14,83	18,07	19,90	14,03	14,15	4,76	3,64	1,39

Annexes

	T	13,07	10,66	15,07	16,75	22,52	24,74	27,54	29,49	24,93	22,37	15,58	12,07	20,24
2000	M	21,66	21,71	25,23	26,80	31,56	33,37	37,11	38,94	32,30	27,98	26,29	21,90	38,94
	m	2,78	7,06	7,63	7,76	11,05	14,17	18,28	19,57	14,72	10,59	7,23	6,78	2,78
	T	12,22	14,39	16,43	17,28	21,31	23,77	27,70	29,26	23,51	19,29	16,76	14,34	20,86
2001	M	22,32	22,50	29,65	26,13	31,44	35,34	39,69	35,38	34,44	32,48	25,64	21,39	39,69
	m	5,56	5,38	8,02	8,96	8,66	16,72	16,79	18,62	16,18	14,79	3,83	4,28	3,83
	T	13,94	13,94	18,84	17,55	20,05	26,03	28,24	27,00	25,31	23,64	14,74	12,84	21,76
2002	M	21,62	23,20	26,28	27,87	32,96	35,70	36,44	34,72	31,53	29,05	25,19	23,34	36,44
	m	4,69	5,56	6,64	8,51	9,34	12,37	16,75	17,04	16,30	12,52	8,80	4,52	4,52
	T	13,16	14,38	16,46	18,19	21,15	24,04	26,60	25,88	23,92	20,79	17,00	13,93	20,48
2003	M	21,94	21,37	25,08	30,15	28,58	34,65	36,81	38,17	34,05	29,81	23,43	21,45	38,17
	m	2,58	1,90	6,97	6,25	11,28	15,58	18,74	18,97	16,21	11,12	8,38	3,66	1,90
	T	12,26	11,64	16,03	18,20	19,93	25,12	27,78	28,57	25,13	20,47	15,91	12,56	20,04
2004	M	21,80	22,68	22,87	26,07	27,78	34,01	36,39	39,47	35,69	33,04	22,91	19,80	39,47
	m	4,55	4,45	2,94	5,21	9,36	14,56	17,72	20,37	16,06	11,61	6,50	2,15	2,15
	T	13,18	13,57	12,91	15,64	18,57	24,29	27,06	29,92	25,88	22,33	14,71	10,98	20,81
2005	M	20,31	18,73	27,25	25,44	31,81	33,74	36,49	38,10	33,98	29,85	28,19	19,41	38,10
	m	-0,87	0,67	1,62	7,04	12,19	15,35	19,51	19,56	15,17	13,42	6,01	3,78	-0,87
	T	9,72	9,70	14,44	16,24	22,00	24,55	28,00	28,83	24,58	21,64	17,10	11,60	18,62
2006	M	17,97	19,75	28,96	28,91	34,04	33,62	35,19	35,11	34,73	34,13	26,53	20,87	35,19
	m	2,85	4,22	4,98	10,02	12,98	13,99	19,33	18,19	14,56	13,62	9,70	4,35	2,85
	T	10,41	11,99	16,97	19,47	23,51	23,81	27,26	26,65	24,65	23,88	18,12	12,61	19,02
2007	M	21,76	27,90	25,70	23,65	29,69	30,39	35,82	36,74	32,61	27,43	24,60	19,30	36,74
	m	2,14	5,30	2,91	7,20	10,51	14,92	18,81	18,94	16,20	10,33	7,10	2,67	2,14
	T	11,95	16,60	14,31	15,43	20,10	22,66	27,32	27,84	24,41	18,88	15,85	10,99	19,44
2008	M	21,13	21,62	26,30	27,83	26,59	34,68	35,23	35,48	34,30	28,66	21,80	18,23	35,48
	m	3,70	6,23	3,45	7,34	10,75	11,94	19,76	19,85	16,27	7,24	5,92	4,94	3,45
	T	12,42	13,93	14,88	17,59	18,67	23,31	27,50	27,67	25,29	17,95	13,86	11,59	19,47
2009	M	20,40	18,71	24,54	28,00	32,48	33,41	38,15	34,44	33,51	31,68	27,23	24,94	38,15
	m	3,15	4,57	6,66	7,57	9,64	14,33	18,78	20,42	14,97	13,76	10,21	5,53	3,15
	T	11,78	11,64	15,60	17,79	21,06	23,87	28,47	27,43	24,24	22,72	18,72	15,24	20,65
2010	M	22,39	28,36	25,33	27,30	29,53	32,21	37,51	37,35	32,01	31,15	22,66	26,40	37,51
	m	3,22	6,31	4,02	7,73	9,39	12,89	19,65	20,30	15,01	10,73	6,99	1,44	1,44
	T	12,81	17,34	14,68	17,52	19,46	22,55	28,58	28,83	23,51	20,94	14,83	13,92	19,48
2011	M	20,72	20,66	23,54	28,73	29,77	33,90	39,04	37,86	32,21	28,26	25,22	19,91	39,04
	m	4,18	3,27	2,81	9,75	10,76	12,78	18,99	20,94	16,94	12,46	7,14	4,73	2,81
	T	12,45	11,97	13,18	19,24	20,27	23,34	29,02	29,40	24,58	20,36	16,18	12,32	20,93
2012	M	19,40	19,59	25,06	26,73	30,17	36,27	37,66	40,87	34,62	31,01	27,98	23,33	40,87
	m	2,33	-0,13	3,44	7,11	9,83	16,25	18,41	20,32	15,37	10,99	6,90	4,93	-0,13
	T	10,87	9,73	14,25	16,92	20,00	26,26	28,04	30,60	25,00	21,00	17,44	14,13	20,37
2013	M	21,63	20,61	23,04	26,69	28,44	33,33	32,67	34,65	32,61	32,73	25,28	18,24	34,65
	m	5,80	1,69	3,90	6,09	7,75	12,12	17,62	19,15	16,80	11,64	3,77	2,76	1,69
	T	13,72	11,15	13,47	16,39	18,10	22,73	25,15	26,90	24,71	22,19	14,53	10,50	18,17
2014	M	20,96	23,22	22,23	28,13	29,89	34,39	36,88	35,15	36,08	31,47	25,98	20,47	36,88
	m	5,09	5,08	5,60	8,51	12,20	13,40	16,05	18,33	17,80	13,73	8,80	2,55	2,55
	T	13,03	14,15	13,92	18,32	21,05	23,90	26,47	26,74	26,94	22,60	17,39	11,51	19,72
2015	M	20,87	17,92	26,30	29,20	34,67	35,50	37,67	37,57	32,51	31,76	28,21	23,26	37,67
	m	3,76	3,48	4,20	10,15	12,63	14,39	20,89	18,06	16,15	12,38	6,52	8,09	3,48
	T	12,32	10,70	15,25	19,68	23,65	24,95	29,28	27,82	24,33	22,07	17,37	15,68	20,58
2016	M	21,53	22,03	27,76	25,44	31,96	36,43	36,50	35,13	36,94	32,62	27,84	20,48	36,94
	m	3,87	4,84	4,82	6,62	10,44	14,18	18,96	18,60	15,66	11,84	8,15	4,57	3,87
	T	12,70	13,44	16,29	16,03	21,20	25,31	27,73	26,87	26,30	22,23	18,00	12,53	20,41
2017	M	19,70	22,34	26,34	26,60	31,34	36,87	39,09	36,81	32,06	31,20	27,40	21,30	39,09
	m	3,51	6,08	4,89	7,51	11,30	16,69	15,90	19,35	15,83	13,46	7,58	4,44	3,51

Annexes

	T	11,61	14,21	15,62	17,06	21,32	26,78	27,50	28,08	23,95	22,33	17,49	12,87	21,30
2018	M	21,51	23,72	24,60	27,28	28,43	32,69	34,25	35,55	34,27	28,87	24,99	24,57	35,55
	m	4,26	3,66	5,48	7,61	9,15	12,12	17,40	19,37	18,33	9,16	8,12	5,86	3,66
	T	12,89	13,69	15,04	17,45	18,79	22,41	25,83	27,46	26,30	19,02	16,56	15,22	19,61
2019	M	19,44	20,05	23,75	29,34	30,01	34,53	37,31	36,86	33,07	31,16	24,16	23,55	37,31
	m	3,14	3,95	6,08	8,06	12,79	14,07	18,67	20,19	14,49	9,81	6,18	5,55	3,14
	T	11,29	12,00	14,92	18,70	21,40	24,30	27,99	28,53	23,78	20,49	15,17	14,55	20,23
2020	M	21,02	25,02	27,30	26,06	33,78	34,69	38,23	37,62	33,35	29,98	29,23	22,43	38,23
	m	3,71	8,48	7,55	9,10	11,90	14,33	20,02	19,85	16,44	10,90	6,76	4,17	3,71
	T	12,37	16,75	17,43	17,58	22,84	24,51	29,13	28,74	24,90	20,44	18,00	13,30	20,97

Annexes

Annexe 26 : Précipitations moyennes mensuelles et annuelles enregistrées entre 1984 et 2020 pour la zone (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>).

Précipitations (mm)													
Année	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	Moyenne
1984	42,19	15,82	42,19	0	121,29	10,55	0	10,55	10,55	5,27	131,84	10,55	400,78
1985	21,09	10,55	36,91	31,64	42,19	0	0	0	5,27	0	73,83	52,73	274,22
1986	89,65	116,02	63,28	31,64	31,64	5,27	0	5,27	52,73	73,83	137,11	31,64	638,09
1987	47,46	126,56	0	5,27	5,27	0	10,55	0	21,09	68,55	63,28	10,55	358,59
1988	89,65	36,91	10,55	36,91	21,09	5,27	0	0	31,64	31,64	21,09	21,09	305,86
1989	26,37	21,09	163,48	36,91	15,82	10,55	0	5,27	31,64	21,09	36,91	21,09	390,23
1990	121,29	0	26,37	94,92	63,28	0	0	0	36,91	5,27	58,01	52,73	458,79
1991	47,46	79,1	200,39	10,55	15,82	15,82	0	0	36,91	31,64	26,37	21,09	485,16
1992	10,55	15,82	84,38	84,38	89,65	73,83	5,27	0	0	26,37	15,82	15,82	421,88
1993	5,27	94,92	47,46	52,73	84,38	5,27	0	0	21,09	52,73	94,92	10,55	469,34
1994	36,91	84,38	15,82	31,64	15,82	0	0	0	26,37	52,73	26,37	21,09	311,13
1995	15,82	36,91	174,02	5,27	0	26,37	5,27	10,55	21,09	15,82	10,55	79,1	400,78
1996	100,2	94,92	105,47	52,73	42,19	5,27	0	0	47,46	21,09	0	47,46	516,8
1997	94,92	0	0	47,46	21,09	0	0	21,09	42,19	21,09	42,19	58,01	348,05
1998	26,37	47,46	15,82	15,82	31,64	5,27	0	10,55	10,55	15,82	47,46	15,82	242,58
1999	105,47	47,46	63,28	0	0	0	0	0	36,91	21,09	79,1	79,1	432,42
2000	0	0	5,27	21,09	31,64	5,27	0	5,27	26,37	58,01	79,1	42,19	274,22
2001	73,83	58,01	15,82	10,55	5,27	0	0	0	47,46	15,82	137,11	52,73	416,6
2002	0	10,55	47,46	79,1	52,73	0	0	47,46	5,27	31,64	105,47	31,64	411,33
2003	121,29	94,92	31,64	47,46	26,37	10,55	0	0	10,55	73,83	89,65	110,74	616,99
2004	47,46	26,37	121,29	73,83	84,38	15,82	0	10,55	5,27	58,01	47,46	58,01	548,44
2005	36,91	52,73	63,28	15,82	5,27	5,27	0	0	31,64	52,73	63,28	10,55	337,5
2006	79,1	52,73	36,91	63,28	73,83	10,55	5,27	0	10,55	5,27	10,55	52,73	400,78
2007	15,82	26,37	58,01	126,56	10,55	0	0	15,82	36,91	131,84	73,83	5,27	500,98
2008	36,91	15,82	15,82	5,27	42,19	10,55	10,55	5,27	63,28	142,38	116,02	131,84	595,9
2009	105,47	47,46	36,91	52,73	21,09	0	0	0	94,92	5,27	36,91	58,01	458,79
2010	94,92	73,83	89,65	79,1	21,09	21,09	0	31,64	31,64	73,83	42,19	21,09	580,08
2011	31,64	31,64	15,82	73,83	89,65	31,64	0	5,27	26,37	63,28	131,84	36,91	537,89
2012	36,91	31,64	52,73	58,01	5,27	0	0	5,27	31,64	68,55	237,3	47,46	574,8
2013	105,47	68,55	52,73	100,2	52,73	0	5,27	15,82	36,91	10,55	58,01	137,11	643,36
2014	73,83	58,01	36,91	15,82	31,64	21,09	0	0	36,91	21,09	79,1	84,38	458,79
2015	73,83	58,01	31,64	15,82	36,91	5,27	0	63,28	15,82	47,46	26,37	0	374,41
2016	21,09	52,73	42,19	36,91	52,73	5,27	0	5,27	26,37	31,64	58,01	89,65	421,88
2017	94,92	31,64	10,55	10,55	10,55	0	0	42,19	0	31,64	52,73	36,91	321,68
2018	73,83	47,46	116,02	89,65	26,37	5,27	0	10,55	42,19	110,74	63,28	5,27	590,62
2019	42,19	15,82	10,55	36,91	5,27	0	10,55	10,55	26,37	73,83	58,01	36,91	326,95
2020	21,09	0	31,64	105,47	52,73	0	26,37	0	10,55	5,27	10,55	52,73	316,41

Annexe 27 : Indice de continentalité en °C (1984 – 2020).

Année	Températures moyennes annuelle maximales du mois le plus chaud (M en °C)	Températures moyennes annuelle minimales du mois le plus froid (m en °C)	M-m (°C)
1984	37,05	1,84	35,21
1985	36,59	0,57	36,02
1986	35,95	2,63	33,32
1987	36,26	1,23	35,03
1988	39,23	2,86	36,37
1989	37,28	3,55	33,73
1990	34,88	4,19	30,69
1991	36,48	2,86	33,62
1992	36,33	2,51	33,82
1993	38,03	2,19	35,84
1994	38,01	3,11	34,9
1995	35,00	3,44	31,56
1996	36,08	2,08	34
1997	34,65	5,71	28,94
1998	36,82	2,62	34,2
1999	39,08	1,39	37,69
2000	38,94	2,78	36,16
2001	39,69	3,83	35,86
2002	36,44	4,52	31,92
2003	38,17	1,90	36,27
2004	39,47	2,15	37,32
2005	38,10	-0,87	38,97
2006	35,19	2,85	32,34
2007	36,74	2,14	34,6
2008	35,48	3,45	32,03
2009	38,15	3,15	35
2010	37,51	1,44	36,07
2011	39,04	2,81	36,23
2012	40,87	-0,13	41
2013	34,65	1,69	32,96
2014	36,88	2,55	34,33
2015	37,67	3,48	34,19
2016	36,94	3,87	33,07
2017	39,09	3,51	35,58
2018	35,55	3,66	31,89
2019	37,31	3,14	34,17
2020	38,23	3,71	34,52

Annexes

Annexe 28 : Tableau de validation des résultats de la classification automatique des images (période 2020) avec les données terrain.

Echantillons	CLC images	CLC observées	Note (CN)	Note (NR)	X (UTM)	Y (UTM)
1	31	31	5	6	575866	3882542
2	31	31	5	6	575929	3882597
3	11	11	5	6	572462	3882524
4	33	31	3	0	574230	3879239
5	11	11	5	6	588366	3869704
6	11	11	5	6	588351	3869745
7	11	11	5	6	588403	3869755
8	24	24	5	6	584665	3868583
9	24	24	5	6	584725	3868556
10	31	31	4	3	590826	3875597
11	31	31	4	3	590863	3875602
12	31	24	4	3	592306	3875379
13	31	31	5	6	602488	3884034
14	31	31	5	6	602591	3884032
15	24	24	5	6	606709	3880308
16	24	24	5	6	606788	3880321
17	24	24	5	6	606822	3880367
18	24	24	5	6	606571	3878823
19	11	11	5	6	605792	3879221
20	24	24	5	6	612123	3875555
21	24	24	5	6	612202	3875577
22	24	24	5	6	612128	3875651
23	24	24	5	6	612168	3875471
24	24	24	5	6	612132	3875395
25	31	24	3	0	627717	3898205
26	31	24	3	0	627809	3898218
27	33	31	3	0	627794	3896821
28	33	31	3	0	627791	3896964
29	33	31	3	0	627772	3897019
30	33	31	3	0	627845	3896987
31	11	11	5	6	624422	3870017
32	11	11	5	6	624472	3870001
33	11	11	5	6	624496	3870061
34	11	11	5	6	624365	3869952
35	11	11	5	6	624451	3869957
36	11	11	5	6	618493	3876350
37	11	11	5	6	618486	3876429
38	31	31	5	6	604971	3865133
39	31	31	5	6	605037	3865162
40	31	31	5	6	605098	3865210
41	31	31	5	6	605184	3865236
42	31	31	5	6	605149	3865173
43	24	24	5	6	605397	3866046
44	24	24	5	6	605418	3866112

Annexes

45	24	24	5	6	605486	3866105
46	11	11	5	6	605587	3867389
47	11	11	5	6	605596	3867459
48	31	31	5	6	596896	3878723
49	31	31	5	6	596878	3878801
50	31	31	5	6	596917	3878861
51	11	11	5	6	622576	3893484
52	31	31	5	6	621491	3885283
53	31	31	5	6	621494	3885402
54	31	31	5	6	621438	3885487
55	11	11	4	3	620418	3888089
56	11	11	4	3	620337	3888025
57	24	24	5	6	629306	3882862
58	24	24	5	6	629287	3882800
59	24	24	5	6	629193	3882788
60	33	33	5	6	633114	3883661
61	33	33	5	6	633140	3883713
62	33	33	5	6	633215	3883682
63	33	33	5	6	633249	3883727
64	33	33	5	6	633273	3883626
65	24	24	5	6	626675	3878292
66	24	24	5	6	631666	3878645
67	24	24	5	6	631706	3878670
68	24	24	5	6	631702	3878601
69	24	24	5	6	629448	3872753
70	24	24	5	6	629987	3873897
71	24	24	5	6	630066	3873927
72	33	33	5	6	631424	3874322
73	33	33	5	6	631576	3874292
74	11	11	5	6	634339	3875094
75	11	24	3	0	581829	3876142
76	11	24	3	0	581792	3876069
77	33	24	3	0	581840	3875539
78	33	24	3	0	581787	3875560
79	33	24	3	0	581777	3875495
80	33	24	3	0	581732	3875512
81	24	24	5	6	581919	3875175
82	24	24	5	6	609283	3883827
83	24	24	5	6	609251	3883796
84	24	24	5	6	577023	3877352
85	24	24	5	6	577089	3877304
86	24	24	5	6	577198	3877305
87	24	24	5	6	577216	3877370
88	24	24	5	6	577224	3877438
89	31	31	5	6	575751	3882529
90	31	31	5	6	575733	3882481
91	31	31	5	6	575799	3882516
92	11	11	5	6	572515	3882376

Annexes

93	11	11	5	6	572503	3882457
94	11	11	5	6	572371	3882563
95	11	11	5	6	572255	3882536
96	33	31	3	0	574267	3879265
97	33	31	3	0	574224	3879298
98	33	31	3	0	574250	3879326
99	33	31	3	0	574168	3879249
100	31	31	5	6	592557	3867759
101	31	31	5	6	592625	3867839
102	31	31	5	6	592692	3867827
103	31	31	5	6	592670	3867743
104	31	31	5	6	592596	3867708
105	11	11	5	6	588361	3869795
106	11	11	5	6	588373	3869847
107	11	24	4	3	584928	3868254
108	11	24	4	3	584974	3868253
109	11	11	4	3	585020	3868277
110	11	11	4	3	585003	3868320
111	11	11	4	3	584957	3868294
112	24	24	5	6	584601	3868561
113	24	24	5	6	584592	3868602
114	24	24	5	6	584562	3868618
115	31	24	4	3	590917	3875641
116	31	31	4	3	590842	3875652
117	31	24	4	3	590912	3875709
118	33	24	3	0	589866	3875519
119	33	24	3	0	589899	3875543
120	33	24	3	0	589877	3875592
121	33	24	3	0	589916	3875609
122	33	24	3	0	589944	3875645
123	24	24	5	6	591031	3875067
124	24	24	5	6	591092	3875063
125	24	24	5	6	591127	3875036
126	24	24	5	6	591178	3875012
127	24	24	5	6	591075	3874989
128	31	31	4	3	592287	3875474
129	31	24	4	3	592261	3875381
130	31	31	4	3	592232	3875319
131	31	31	4	3	592296	3875313
132	11	11	5	6	603869	3884656
133	11	11	5	6	603793	3884626
134	11	11	5	6	603782	3884563
135	11	11	5	6	603843	3884594
136	11	11	5	6	603826	3884517
137	31	31	5	6	602596	3883982
138	31	31	5	6	602569	3883909
139	31	31	5	6	602474	3883977
140	11	11	5	6	603492	3883171

Annexes

141	11	11	5	6	603448	3883210
142	11	11	5	6	603366	3883162
143	11	11	5	6	603451	3883120
144	11	11	5	6	603406	3883073
145	24	24	5	6	606871	3880305
146	24	24	5	6	606747	3880247
147	24	24	5	6	606713	3879049
148	24	24	5	6	606592	3879071
149	24	24	5	6	606548	3878904
150	24	24	5	6	606512	3878768
151	11	11	5	6	605794	3879348
152	11	11	5	6	605732	3879316
153	11	11	5	6	605726	3879178
154	11	11	5	6	605791	3879133
155	11	11	5	6	614371	3875119
156	11	11	5	6	614439	3875115
157	11	11	5	6	614439	3875073
158	11	11	5	6	614390	3875084
159	11	11	5	6	614323	3875066
160	31	31	5	6	615607	3872252
161	31	31	5	6	615586	3872360
162	31	31	5	6	615489	3872422
163	31	31	5	6	615542	3872521
164	31	31	5	6	615633	3872563
165	31	24	3	0	627874	3898286
166	31	24	3	0	627800	3898093
167	31	24	3	0	627747	3898015
168	33	31	3	0	627823	3896791
169	24	24	5	6	629271	3898042
170	24	24	5	6	629331	3898073
171	24	24	5	6	629383	3898112
172	24	24	5	6	629448	3898156
173	24	24	5	6	629202	3898020
174	24	11	4	3	620894	3867056
175	24	24	4	3	620812	3867070
176	24	24	4	3	620711	3867067
177	24	24	4	3	620789	3867128
178	24	24	4	3	620784	3867193
179	33	24	3	0	624052	3870961
180	33	24	3	0	624024	3871009
181	33	24	3	0	623962	3871107
182	33	24	3	0	623942	3871025
183	33	24	3	0	623848	3871025
184	33	33	4	3	625428	3869817
185	33	11	4	3	625397	3869748
186	33	33	4	3	625511	3869754
187	33	33	4	3	625573	3869728
188	33	33	4	3	625460	3869760

Annexes

189	31	24	4	3	620160	3876591
190	31	31	4	3	620242	3876588
191	31	24	4	3	620192	3876535
192	31	31	4	3	620237	3876489
193	31	31	4	3	620327	3876531
194	31	31	5	6	621440	3885299
195	31	31	5	6	621388	3885307
196	11	31	4	3	620155	3888010
197	11	31	4	3	620248	3888021
198	11	24	4	3	620417	3888054
199	11	11	5	6	623359	3894361
200	11	11	5	6	623352	3894325
201	11	11	5	6	623318	3894299
202	11	11	5	6	623301	3894243
203	11	11	5	6	623271	3894205
204	31	31	5	6	622667	3877883
205	31	31	5	6	622701	3877923
206	31	31	5	6	622696	3878005
207	31	31	5	6	622707	3878072
208	31	31	5	6	622772	3878086
209	11	11	5	6	618525	3876397
210	11	11	5	6	618474	3876481
211	11	11	5	6	618527	3876271
212	24	24	5	6	605461	3866042
213	24	24	5	6	605543	3866100
214	31	31	5	6	604841	3864691
215	31	31	5	6	604772	3864713
216	31	31	5	6	604764	3864781
217	31	31	5	6	604837	3864748
218	31	31	5	6	604972	3864740
219	11	11	5	6	605627	3867390
220	11	11	5	6	605604	3867356
221	11	11	5	6	605631	3867325
222	11	11	5	6	599694	3878810
223	11	11	5	6	599643	3878817
224	11	11	5	6	599586	3878791
225	11	11	5	6	599555	3878768
226	11	11	5	6	599475	3878730
227	11	11	4	3	601145	3876287
228	11	11	4	3	601129	3876401
229	11	24	4	3	601067	3876444
230	11	11	4	3	601051	3876363
231	11	24	4	3	601056	3876279
232	11	11	5	6	622609	3893476
233	11	11	5	6	622644	3893489
234	11	11	5	6	622693	3893491
235	11	11	5	6	622697	3893457
236	24	24	5	6	629243	3882833

Annexes

237	24	24	5	6	629344	3882920
238	24	24	5	6	626712	3878279
239	24	24	5	6	626667	3878249
240	24	24	5	6	626741	3878232
241	24	24	5	6	626703	3878179
242	11	11	5	6	628484	3878172
243	11	11	5	6	628443	3878168
244	11	11	5	6	628393	3878171
245	11	11	5	6	628333	3878172
246	11	11	5	6	628227	3878187
247	24	24	5	6	631666	3878686
248	24	24	5	6	631693	3878725
249	24	24	5	6	629277	3872615
250	24	24	5	6	629301	3872650
251	24	24	5	6	629433	3872705
252	24	24	5	6	629477	3872787
253	24	24	5	6	630112	3873938
254	24	24	5	6	630166	3873943
255	24	24	5	6	630045	3873964
256	33	33	5	6	631487	3874332
257	33	33	5	6	631553	3874324
258	33	33	5	6	631639	3874305
259	11	11	5	6	634293	3875060
260	11	11	5	6	634280	3875027
261	11	11	5	6	634319	3875031
262	11	11	5	6	634348	3875065
263	11	24	3	0	581825	3875966
264	11	24	3	0	581823	3875922
265	11	24	3	0	581813	3875873
266	33	24	3	0	581821	3875627
267	24	24	5	6	582014	3875156
268	24	24	5	6	581953	3875176
269	24	24	5	6	581881	3875224
270	24	24	5	6	581917	3875264
271	11	11	5	6	585792	3875088
272	11	11	5	6	585776	3875047
273	11	11	5	6	585824	3875028
274	11	11	5	6	585853	3874983
275	11	11	5	6	585822	3874939
277	31	31	5	6	607701	3884315
278	31	31	5	6	607731	3884347
279	31	31	5	6	607756	3884385
280	31	31	5	6	607685	3884254
281	31	31	5	6	607743	3884285
282	11	11	5	6	609258	3885529
283	11	11	5	6	609254	3885453
284	11	11	5	6	609210	3885421
285	11	11	5	6	609188	3885355

Annexes

286	11	11	5	6	609236	3885356
287	24	24	5	6	609312	3883851
288	24	24	5	6	609346	3883887
289	24	24	5	6	609298	3883777
290	11	11	4	3	596324	3881210
291	11	11	4	3	596324	3881171
292	11	11	4	3	596337	3881128
293	11	24	4	3	596314	3881061
294	11	24	4	3	596387	3881105
295	31	31	5	6	596861	3878726
296	31	31	5	6	596837	3878757
297	11	11	5	6	631212	3883311
298	11	11	5	6	631297	3883347
299	11	11	5	6	631370	3883277
300	11	11	5	6	631420	3883310
301	11	11	5	6	631447	3883231
302	24	24	5	6	630966	3878243
303	24	24	5	6	630977	3878276
304	24	24	5	6	631008	3878260
305	24	24	5	6	631039	3878306
306	24	24	5	6	631042	3878269
307	33	33	4	3	631539	3880287
308	33	33	4	3	631451	3880294
309	33	24	3	0	631013	3880232
310	24	24	5	6	630045	3880240
311	24	24	5	6	629334	3880242
312	24	24	5	6	629213	3880168
313	24	24	5	6	628806	3879959
314	11	24	3	0	627757	3880145
315	11	24	3	0	627666	3880141
316	31	31	5	6	624541	3880928
317	31	31	5	6	624507	3880915
318	24	24	5	6	620110	3881197
319	31	31	5	6	616597	3880253
320	24	31	3	0	614993	3879345
321	24	31	3	0	614919	3879287
322	24	31	3	0	614840	3879229
323	31	31	5	6	613012	3879770
324	31	31	5	6	612953	3879675
325	11	31	3	0	612853	3880893
326	31	31	5	6	612378	3881406
327	31	31	5	6	612312	3881381
328	31	31	5	6	612231	3881423
329	31	31	5	6	612351	3881428
330	11	11	5	6	611377	3882008
331	11	11	5	6	611396	3881981
332	11	11	5	6	611338	3881981
333	31	31	5	6	606977	3884017

Annexes

334	11	24	3	0	606294	3884768
335	11	24	3	0	606294	3884820
336	11	24	3	0	606308	3884882
337	31	31	5	6	608217	3886504
338	31	31	5	6	608270	3886576
339	31	31	5	6	608323	3886629
340	31	31	5	6	610455	3885387
341	11	33	3	0	605033	3885161
342	11	33	3	0	604958	3885150
343	33	24	4	3	631487	3880235
344	33	33	4	3	631490	3880317
345	33	33	4	3	631543	3880319
346	33	24	3	0	631186	3880234
347	33	24	3	0	631109	3880232
348	33	24	3	0	630996	3880197
349	33	24	3	0	630949	3880243
350	24	24	5	6	630039	3880270
351	24	24	5	6	629988	3880267
352	24	24	5	6	629990	3880224
353	24	24	5	6	630016	3880313
354	24	24	5	6	629324	3880182
355	24	24	5	6	629289	3880124
356	24	24	5	6	629098	3880123
357	24	24	5	6	628982	3880082
358	24	24	5	6	628881	3880078
359	24	24	5	6	628895	3880026
360	24	24	5	6	628772	3879918
361	24	24	5	6	628107	3880041
362	24	24	5	6	628063	3880081
363	24	24	5	6	628007	3880048
364	24	24	5	6	627985	3880081
365	24	24	5	6	627945	3880090
366	11	24	3	0	627828	3880097
367	11	24	3	0	627725	3880080
368	11	24	3	0	627623	3880076
369	31	31	5	6	625936	3880385
370	31	31	5	6	625920	3880453
371	31	31	5	6	625903	3880518
372	31	31	5	6	625891	3880579
373	31	31	5	6	625850	3880486
374	31	31	5	6	624497	3880884
375	31	31	5	6	624468	3880923
376	31	31	5	6	624582	3880938
377	31	31	5	6	622639	3881019
378	31	31	5	6	622552	3881008
379	31	31	5	6	622564	3880983
380	31	31	5	6	622481	3880948
381	31	31	5	6	622423	3880923

Annexes

382	31	31	5	6	621760	3880859
383	31	31	5	6	621703	3880912
384	31	31	5	6	621614	3881024
385	31	31	5	6	621762	3880913
386	31	31	5	6	621587	3881070
387	24	24	5	6	620162	3881126
388	24	24	5	6	620205	3881152
389	24	24	5	6	620132	3881164
390	24	24	5	6	620174	3881187
391	31	31	5	6	617391	3880344
392	31	31	5	6	617382	3880406
393	31	31	5	6	617338	3880361
394	31	31	5	6	617335	3880448
395	31	31	5	6	617369	3880533
396	31	31	5	6	616690	3880318
397	31	31	5	6	616658	3880291
398	31	31	5	6	616568	3880194
399	31	31	5	6	616517	3880161
400	24	31	3	0	614900	3879233
401	24	31	3	0	614941	3879375
402	31	31	5	6	613970	3878810
403	31	31	5	6	613899	3878825
404	31	31	5	6	613860	3878804
405	31	31	5	6	613780	3878852
406	31	31	5	6	613702	3878915
407	31	31	5	6	612971	3879737
408	31	31	5	6	612969	3879805
409	31	31	5	6	613034	3879807
410	11	31	3	0	612887	3880823
411	11	31	3	0	612845	3880825
412	11	31	3	0	612798	3880856
413	11	31	3	0	612785	3880909
414	31	31	5	6	612389	3881343
415	11	11	5	6	611413	3881931
416	11	11	5	6	611326	3882021
417	11	11	4	3	610752	3882210
418	11	11	4	3	610665	3882238
419	11	11	4	3	610688	3882186
420	11	24	4	3	610622	3882211
421	11	24	4	3	610612	3882155
422	11	11	5	6	608686	3883464
423	11	11	5	6	608671	3883497
424	11	11	5	6	608600	3883499
425	11	11	5	6	608556	3883471
426	11	11	5	6	608438	3883465
427	33	31	5	6	607576	3883672
428	33	31	5	6	607521	3883676
429	33	31	5	6	607480	3883676

Annexes

430	33	31	5	6	607437	3883650
431	33	31	5	6	607368	3883614
432	31	31	5	6	606924	3883999
433	31	31	5	6	606862	3884010
434	31	31	5	6	606793	3884011
435	31	31	5	6	606794	3883976
436	11	24	3	0	606325	3884725
437	11	24	3	0	606284	3884863
438	31	31	5	6	606251	3885350
439	31	31	5	6	606196	3885386
440	31	31	5	6	606132	3885409
441	31	33	5	6	606062	3885392
442	31	11	5	6	606205	3885305
443	31	31	5	6	608177	3886395
444	31	31	5	6	608036	3886349
445	11	31	3	0	608718	3886436
446	11	31	3	0	608729	3886532
447	11	31	3	0	608737	3886483
448	11	31	3	0	608760	3886441
449	11	33	3	0	608829	3886427
450	11	11	4	3	608845	3885906
451	11	11	4	3	608863	3885885
452	11	24	4	3	608864	3885856
453	11	24	4	3	608819	3885870
454	11	24	4	3	608805	3885825
455	11	11	5	6	609513	3884952
456	11	11	5	6	609581	3884945
457	11	11	5	6	609603	3885012
458	11	11	5	6	609636	3884945
459	11	11	5	6	609675	3884871
460	31	31	5	6	610507	3885367
461	31	31	5	6	610518	3885428
462	31	31	5	6	610610	3885488
463	31	31	5	6	610698	3885558
464	11	11	5	6	610274	3885575
465	11	11	5	6	610232	3885614
466	11	11	5	6	610232	3885690
467	11	11	5	6	610279	3885694
468	11	24	5	6	610191	3885577
469	11	11	5	6	610157	3886269
470	11	11	5	6	610177	3886320
471	11	11	5	6	610140	3886315
472	11	11	5	6	610123	3886347
473	11	11	5	6	610087	3886396
474	11	33	3	0	604907	3885130
475	11	33	3	0	605242	3885237
476	11	33	3	0	605104	3885175
477	11	33	3	0	604580	3885201

Annexes

478	11	33	3	0	604518	3885226
479	11	33	3	0	604498	3885199
480	11	33	3	0	604464	3885154
481	11	33	3	0	604539	3885174
482	24	24	5	6	633046	3879827
483	24	24	5	6	633037	3879906
484	24	24	5	6	632946	3879813
485	24	24	5	6	632940	3879847
486	24	24	5	6	633114	3879928
487	24	24	5	6	633222	3880380
488	24	24	5	6	633231	3880320
489	24	24	5	6	633223	3880274
490	24	24	5	6	633259	3880248
491	24	24	5	6	633254	3880187

Note : *CLC* image (classes télédétectées), *CLC* observées (classes observées sur le terrain), Note CN (Note de certitude), Note NR (Note de référence).

Annexes

Annexe 29 : Tableau de validation des résultats de la classification automatique des images (période de référence 1984) avec les données terrain.

Echantillons	CLC image	CLC observées	Note (CN)	Note (NR)	X (UTM)	Y (UTM)
1	24	24	5	6	577058	3877284
2	24	24	5	6	577172	3877414
3	24	24	5	6	577304	3877615
4	24	24	5	6	577373	3877464
5	24	24	5	6	577270	3877350
6	31	31	5	6	575941	3882490
7	31	31	5	6	575786	3882482
8	31	31	5	6	575822	3882591
9	31	31	5	6	575866	3882542
10	31	31	5	6	575929	3882597
11	11	11	5	6	572312	3882513
12	11	11	5	6	572462	3882524
13	11	11	5	6	572612	3882501
14	11	11	5	6	572405	3882454
15	11	11	5	6	572691	3882488
16	33	33	5	6	574102	3879191
17	33	33	5	6	574180	3879209
18	33	33	5	6	574230	3879239
19	33	33	5	6	574261	3879344
20	33	33	5	6	574302	3879260
21	31	31	5	6	592857	3867632
22	31	31	5	6	592817	3867798
23	31	31	5	6	592936	3867812
24	31	31	5	6	592939	3867904
25	31	31	5	6	593029	3867912
26	11	11	5	6	588322	3869635
27	11	11	5	6	588409	3869642
28	11	11	5	6	588366	3869704
29	11	11	5	6	588351	3869745
30	11	11	5	6	588403	3869755
31	24	24	5	6	584634	3867966
32	24	24	5	6	584729	3868169
33	24	24	5	6	584896	3868304
34	24	24	5	6	584928	3868089
35	24	24	5	6	585229	3867998
36	33	24	3	1	584665	3868531
37	33	24	3	1	584665	3868583
38	33	24	3	1	584725	3868556
39	33	24	3	1	584774	3868602
40	33	24	3	1	584763	3868529
41	11	11	4	4	590780	3875569
42	11	24	4	4	590826	3875597
43	11	24	4	4	590863	3875602

Annexes

44	11	11	4	4	590830	3875548
45	11	24	4	4	590866	3875522
46	33	24	3	1	589848	3875433
47	33	24	3	1	589791	3875548
48	33	24	3	1	589863	3875571
49	33	24	3	1	589928	3875544
50	33	24	3	1	589920	3875654
51	24	24	5	6	591087	3874898
52	24	24	5	6	591044	3874995
53	24	24	5	6	591122	3875080
54	24	24	5	6	591099	3874975
55	24	24	5	6	591134	3874947
56	31	31	5	6	592112	3875404
57	31	31	5	6	592118	3875490
58	31	31	5	6	592197	3875486
59	31	31	5	6	592221	3875413
60	31	31	5	6	592306	3875379
61	11	11	5	6	603681	3884808
62	11	11	5	6	603753	3884826
63	11	11	5	6	603813	3884873
64	11	11	5	6	603723	3884748
65	11	11	5	6	603676	3884679
66	31	31	5	6	602488	3884034
67	31	31	5	6	602591	3884032
68	31	31	5	6	602661	3883999
69	31	31	5	6	602667	3883920
70	31	31	5	6	602667	3883862
71	24	24	5	6	603326	3883033
72	24	24	5	6	603416	3882970
73	24	24	5	6	603397	3882909
74	24	24	5	6	603513	3882972
75	24	24	5	6	603484	3883171
76	31	31	5	6	606709	3880308
77	31	31	5	6	606788	3880321
78	31	31	5	6	606822	3880367
79	31	31	5	6	606897	3880435
80	24	24	5	6	606379	3878895
81	24	24	5	6	606440	3878948
82	24	24	5	6	606546	3878986
83	24	24	5	6	606571	3878823
84	24	24	5	6	606222	3878917
85	11	11	5	6	605792	3879221
86	11	11	5	6	605847	3879190
87	11	11	5	6	605889	3879359
88	11	11	5	6	605813	3879432
89	11	11	5	6	605824	3879550
90	24	24	5	6	612123	3875555
91	24	24	5	6	612202	3875577

Annexes

92	24	24	5	6	612128	3875651
93	24	24	5	6	612168	3875471
94	24	24	5	6	612132	3875395
95	11	11	5	6	614255	3875052
96	11	11	5	6	614244	3875134
97	11	11	5	6	614325	3875115
98	11	11	5	6	614373	3875109
99	11	11	5	6	614399	3875179
100	31	31	5	6	615425	3872477
101	31	31	5	6	615406	3872881
102	31	31	5	6	615594	3872758
103	31	31	5	6	615472	3872656
104	31	31	5	6	615664	3872993
105	31	24	3	1	627717	3898205
106	31	24	3	1	627809	3898218
107	31	31	3	1	627841	3898303
108	31	31	3	1	627942	3898305
109	31	24	3	1	627914	3898189
110	33	33	4	4	627794	3896821
111	33	31	4	4	627791	3896884
112	33	33	4	4	627791	3896964
113	33	24	4	4	627772	3897019
114	33	33	4	4	627845	3896987
115	24	24	5	6	629155	3898099
116	24	24	5	6	629227	3898067
117	24	24	5	6	629282	3898120
118	24	24	5	6	629214	3898145
119	24	24	5	6	629227	3898219
120	31	31	5	6	620407	3867305
121	31	31	5	6	620337	3867399
122	31	31	5	6	620240	3867531
123	31	31	5	6	620291	3867610
124	31	31	5	6	620275	3867293
125	11	11	5	6	624422	3870017
126	11	11	5	6	624472	3870001
127	11	11	5	6	624496	3870061
128	11	11	5	6	624365	3869952
129	11	11	5	6	624451	3869957
130	24	24	5	6	623034	3871282
131	24	24	5	6	623068	3871437
132	24	24	5	6	623157	3871356
133	24	24	5	6	623263	3871481
134	24	24	5	6	623237	3871204
135	33	11	3	1	626204	3869801
136	33	11	3	1	626200	3869885
137	33	24	3	1	626312	3869896
138	33	11	3	1	626281	3869752
139	33	11	3	1	626266	3869844

Annexes

140	31	31	5	6	620706	3875503
141	31	31	5	6	620735	3875627
142	31	31	5	6	620830	3875545
143	31	31	5	6	620912	3875619
144	31	31	5	6	621068	3875669
145	11	11	5	6	618493	3876350
146	11	11	5	6	618486	3876429
147	11	11	5	6	618443	3876402
148	11	11	5	6	618427	3876461
149	11	11	5	6	618418	3876534
150	24	24	5	6	622810	3877815
151	24	24	5	6	622859	3877876
152	24	24	5	6	622911	3877943
153	24	24	5	6	622981	3877946
154	24	24	5	6	623067	3877933
155	31	31	5	6	604971	3865133
156	31	31	5	6	605037	3865162
157	31	31	5	6	605098	3865210
158	31	31	5	6	605184	3865236
159	31	31	5	6	605199	3865172
160	24	31	3	1	605529	3866040
161	24	31	3	1	605397	3866046
162	24	24	3	1	605418	3866112
163	24	31	3	1	605420	3866195
164	24	24	3	1	605486	3866105
165	33	24	3	1	606062	3864545
166	33	24	3	1	606286	3864665
167	33	24	3	1	606179	3864597
168	33	24	3	1	606295	3864826
169	33	24	3	1	606452	3864756
170	11	11	5	6	605550	3867364
171	11	11	5	6	605587	3867389
172	11	11	5	6	605596	3867459
173	11	11	5	6	605583	3867522
174	11	11	5	6	605523	3867522
175	11	11	4	4	596331	3881188
176	11	24	4	4	596349	3881234
177	11	11	4	4	596327	3881297
178	11	11	4	4	596349	3881334
179	11	24	4	4	596384	3881352
180	31	31	5	6	596896	3878723
181	31	31	5	6	596878	3878801
182	31	31	5	6	596917	3878861
183	31	31	5	6	596944	3878924
184	31	31	5	6	597017	3878932
185	33	11	3	1	599590	3878724
186	33	11	3	1	599602	3878831
187	33	11	3	1	599542	3878915

Annexes

188	33	11	3	1	599628	3878872
189	33	24	3	1	599742	3878872
190	24	24	5	6	600723	3876798
191	24	24	5	6	600903	3876740
192	24	24	5	6	600913	3876873
193	24	24	5	6	601001	3876846
194	24	24	5	6	601003	3876738
195	11	11	5	6	622576	3893484
196	11	11	5	6	622505	3893483
197	11	11	5	6	622541	3893519
198	11	11	5	6	622487	3893530
199	11	11	5	6	622515	3893589
200	31	31	5	6	621389	3885273
201	31	31	5	6	621491	3885283
202	31	31	5	6	621494	3885402
203	31	31	5	6	621438	3885487
204	31	31	5	6	621361	3885390
205	24	24	5	6	620418	3888089
206	24	24	5	6	620445	3888058
207	24	24	5	6	620400	3888027
208	24	24	5	6	620337	3888025
209	24	24	5	6	620271	3888065
210	33	33	5	6	623371	3894364
211	33	33	5	6	623440	3894374
212	33	33	5	6	623535	3894351
213	33	33	5	6	623572	3894301
214	33	33	5	6	623478	3894329
215	11	11	5	6	631180	3883367
216	11	11	5	6	631244	3883352
217	11	11	5	6	631292	3883292
218	11	11	5	6	631362	3883229
219	11	11	5	6	631259	3883216
220	24	24	5	6	629195	3882852
221	24	24	5	6	629269	3882923
222	24	24	5	6	629306	3882862
223	24	24	5	6	629287	3882800
224	24	24	5	6	629193	3882788
225	33	33	5	6	633114	3883661
226	33	33	5	6	633140	3883713
227	33	33	5	6	633215	3883682
228	33	33	5	6	633249	3883727
229	33	33	5	6	633273	3883626
230	31	24	3	1	626491	3878203
231	31	24	3	1	626532	3878272
232	31	24	3	1	626675	3878292
233	31	24	3	1	626623	3878231
234	31	24	3	1	626569	3878161
235	11	11	5	6	627962	3878108

Annexes

236	11	11	5	6	627982	3878031
237	11	11	5	6	628120	3878156
238	11	11	5	6	628074	3878143
239	11	11	5	6	628056	3878082
240	24	24	5	6	630960	3878291
241	24	24	5	6	631025	3878324
242	24	24	5	6	631054	3878428
243	24	24	5	6	631019	3878497
244	24	24	5	6	630970	3878404
245	33	24	3	1	631609	3878600
246	33	24	3	1	631666	3878645
247	33	24	3	1	631706	3878670
248	33	24	3	1	631702	3878601
249	33	24	3	1	631665	3878576
250	31	24	3	1	629448	3872753
251	31	24	3	1	629480	3872808
252	31	24	3	1	629524	3872741
253	31	24	3	1	629480	3872705
254	31	24	3	1	629486	3872619
255	24	24	5	6	629968	3873948
256	24	24	5	6	629987	3873897
257	24	24	5	6	630066	3873927
258	24	24	5	6	630042	3873895
259	24	24	5	6	630014	3873875
260	33	33	5	6	631424	3874322
261	33	33	5	6	631577	3874321
262	33	33	5	6	631576	3874292
263	33	33	5	6	631673	3874290
264	33	33	5	6	631750	3874291
265	11	11	5	6	634332	3875112
266	11	24	5	6	634450	3875118
267	11	11	5	6	634439	3874997
268	11	11	5	6	634350	3875013
269	11	11	5	6	634375	3875080
270	31	31	5	6	581727	3876151
271	31	31	5	6	581829	3876142
272	31	31	5	6	581792	3876069
273	31	31	5	6	581744	3876057
274	31	31	5	6	581741	3875983
275	33	24	3	1	581840	3875539
276	33	11	3	1	581787	3875560
277	33	11	3	1	581777	3875495
278	33	24	3	1	581732	3875512
279	33	24	3	1	581658	3875474
280	24	24	5	6	581944	3875235
281	24	24	5	6	582017	3875194
282	24	24	5	6	582012	3875140
283	24	24	5	6	581955	3875115

Annexes

284	24	24	5	6	581919	3875175
285	11	11	4	4	585931	3874850
286	11	11	4	4	585864	3874933
287	11	31	4	4	585779	3874974
288	11	11	4	4	585791	3874911
289	11	11	4	4	585817	3874839
290	31	31	5	6	607669	3884368
291	31	31	5	6	607620	3884308
292	31	31	5	6	607666	3884249
293	31	31	5	6	607724	3884283
294	31	31	5	6	607821	3884285
295	11	11	3	1	609165	3885539
296	11	24	3	1	609106	3885538
297	11	24	3	1	609177	3885502
298	11	24	3	1	609147	3885447
299	11	24	3	1	609123	3885376
300	24	24	5	6	609283	3883827
301	24	24	5	6	609251	3883796
302	24	24	5	6	609263	3883733
302	24	24	5	6	609317	3883743
303	24	24	5	6	609290	3883779

Note : *CLC* image (classes télédétectées), *CLC* observées (classes observées sur le terrain), Note CN (Note de certitude), Note NR (Note de référence).