

THESE

En vue de l'obtention du : **DOCTORAT**

Structure de recherche : Equipe de Botanique et Valorisation des Ressources Végétales et Fongiques.

Discipline : BIOLOGIE

Spécialité : ECOLOGIE VEGETALE

Présentée et soutenue publiquement le 26 Juillet 2021 par :

Mohamed SBAI

Etude d'évolution des écosystèmes de la cédraie du Moyen Atlas

JURY

Mohamed ARAHOU	PES	Université Mohamed V Rabat -l'Institut Scientifique	Président
Mohammed FEKHAOUI	PES	Université Mohamed V Rabat - l'Institut Scientifique	Rapporteur /Examinateur
Laila RHAZI	PES	Université Mohamed V Rabat - Faculté des Sciences	Rapporteuse/Examinateur
Abdelaziz MOKRIM	PES	Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II Rabat	Rapporteur /Examinateur
Said LAARIBYA	PH	Université Chouaib Doukkali El Jadida -Faculté des lettres et des sciences humaines	Examinateur
Youssef DALLAHI	PA	Université Cadi Ayyad Marrakech – Ecole Normale Supérieure	Invité
Ahmed EL ABOUDI	PES	Université Mohamed V Rabat - Faculté des Sciences	Directeur de Thèse

Année Universitaire : 2020-2021

DEDICACE

De tout mon cœur, je dédie ce travail :

A l'Eternel Allah Soubhan'a wa Ta'ala, pour sa protection et ses multiples bénédictions envers ma personne.

Entièrement à mes parents. Que Dieu leur accorde sa Pleine Miséricorde.

A ma très chère épouse Fatima EZAHRA MRANI, qu'elle trouve dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

A mes enfants

A ma très chère défunte sœur et à ses enfants. Que le tout puissant Allah les accueille dans son paradis éternel. Amen

A mes frères et sœurs

A mes beaux parents

A tous mes amis

REMERCIEMENTS

Avant d'engager l'exposé des résultats de notre travail, il m'est particulièrement agréable d'adresser mes vifs remerciements à tous ceux qui, de près ou de loin, par leurs conseils, leur collaboration et leur amitié ont contribué et facilité la tâche pour mener à bien la réalisation de ce travail.

Ce travail a été fait au Laboratoire de botanique, écologie et environnement, avec Monsieur **Ahmed EL ABOUDI**.

Je remercie vivement, Monsieur le Président de l'Université Mohamed V Rabat et Monsieur le Doyen de la Faculté des Sciences de Rabat.

Je remercie également, Monsieur le Directeur du Centre d'études Doctorales de la Faculté des Sciences de Rabat (Université Mohamed V Rabat).

J'exprime ma très grande reconnaissance et ma très sincère gratitude à l'égard de mon Directeur de thèse, Monsieur **Ahmed EL ABOUDI**, PES à la Faculté des Sciences de Rabat, pour avoir accepté d'encadrer cette thèse, et pour son accompagnement tout au long de ces longues années de thèse. Son exigence, sa disponibilité, ses conseils, sa gentillesse et son encouragement ont été indispensables à l'achèvement de cette thèse commencée il y a longtemps. Je lui exprime ma reconnaissance pour nos constructifs échanges, pour le soutien qu'il m'a apporté, pour la confiance qu'il a sue, à bien à mon égard, m'accorder, et la grande liberté qu'il m'a laissée dans la réalisation de ce travail. A sa grande expérience scientifique s'ajoute une capacité de critique constructive qu'il m'a fait largement partagé. Je tiens particulièrement à exprimer ma gratitude pour ses remarques, conseils et pour sa rigueur scientifique.

Je remercie Monsieur **Mohamed ARAHOU**, PES à l'Institut Scientifique de Rabat, pour avoir accepté de faire partie du jury de cette thèse, et en assurer la présidence. Grand fut honneur lorsque vous avez accepté la **présidence de mon jury**. Je vous remercie très sincèrement de votre disponibilité.

Je remercie Monsieur **Mohammed FEKHAOUI**, PES et Directeur de l'Institut Scientifique de Rabat, pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail en acceptant la lourde tâche d'en être le rapporteur et l'examineur. Je lui en suis très reconnaissant.

Je remercie Madame **Laila RHAZI**, PES à la Faculté des Sciences de Rabat, pour avoir accepté de faire partie du jury de cette thèse, de la juger et de l'examiner en acceptant d'en être la rapportrice et l'examinatrice. Je vous remercie du fond du cœur de votre disponibilité.

A Monsieur **Abdelaziz MOKRIM**, PES à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II Rabat, vous nous avez fait un grand honneur en acceptant de juger et examiner ce travail en acceptant d'en être le rapporteur et l'examineur. Votre énorme expérience dans le domaine de la climatologie a fait de vous une personne incontournable dans ce jury. Je vous prie de recevoir l'expression de ma sincère reconnaissance.

A Monsieur **Said LAARIBYA**, PH à la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Université Chouaib Doukkali d'El Jadida, pour avoir accepté d'examiner ce travail et d'en faire partie des membres du jury. Je vous prie de recevoir ma sincère reconnaissance pour votre disponibilité.

A Monsieur **Youssef DALLAHI**, PA à l'Ecole Normale Supérieure, Université Cadi Ayyad de Marrakech, pour avoir accepté également l'invitation de faire partie des membres du jury. Je vous prie de recevoir ma gratitude pour votre disponibilité.

Je remercie également toutes les personnes qui ont participé, avec moi, durant ces années de thèse, de la conception de la méthodologie, en passant par la collecte et vérification des données, au traitement des données, jusqu'à la rédaction du rapport final, notamment mes collègues de travail et l'ensemble du personnel de TTOBA S.A.R.L. Qu'elles trouvent ici ma pleine gratitude et ma reconnaissance.

Résumé

La présente étude s'est proposée d'exploiter les données forestières élaborées dans le cadre de la cartographie forestière de l'IFN, pour évaluer le procédé d'analyse de l'évolution forestière et de proposer une démarche adéquate pour appréhender le suivi du couvert forestier du Moyen Atlas. Ceci en adoptant l'analyse utilisée par le Département des Eaux et Forêts, basée sur la comparaison des superficies obtenues en deux dates d'élaboration (1986 et 2010) des 19 feuillets de cartes couvrant le Moyen Atlas. Ensuite, l'analyse par ajustement spatial des changements du couvert forestier avant de procéder à la génération des superficies d'occupation du sol. Cette étude a été portée également sur la caractérisation climatique dans le Moyen Atlas en utilisant les données mensuelles de la température et des précipitations (période 1982-2012) des 28 stations dans le Moyen Atlas. Elle a été réalisée en utilisant les indices climatiques (Angot, De Martone, Groczinski, Gams et le quotient pluviothermique d'Emberger). Le model de Thornthwaite a permis de caractériser le bilan hydrique mensuel, alors que la détermination du bilan hydrologique et ses composantes ont été faites selon Turc pour l'ETR et L'ETP selon Perman. Les résultats cartographiques ont mis en évidence une sous-estimation des taux du couvert forestier et de boisement par les deux cartographies forestières (1986 et 2010). Alors que les révisions de ladite cartographie ont permis de réévaluer ces taux pour les années 1986 et 2010 à respectivement de 41% à 50% et de 45 à 49% du couvert boisé, et de 43% à 52% et de 50% à 52% du couvert forestier (boisement + alfa). L'étude a montré que la nouvelle carte d'évolution forestière présente des taches, de progression et de régression, diffuses à l'échelle de la zone, contrairement aux grandes plages observées dans l'approche antérieure.

Mots clés : Moyen Atlas, écosystèmes, Cèdre, évolution, IFN, caractérisation climatique et bioclimatique, bilan hydrique, bilan hydrologique, saison sèche, saison de végétation, indices climatiques, changement climatique, gestion adaptée, adaptation.

Abstract

The present study proposed to exploit the forest data developed as part of the forest mapping of the "IFN" for evaluate the forest evolution analysis process and propose an adequate approach to apprehend monitoring of the Middle Atlas forest cover by adopting the analysis used by the Department of Water and Forests based on the comparison of the areas obtained in two dates of development (1986 and 2010) of 19 map sheets covering the Middle Atlas and spatial adjustment analysis of forest cover changes before proceeding to the generation of land use areas. This study also focused on climate characterization in the Middle Atlas using monthly temperature and precipitation data (1982-2012 period) for the 28 stations in the Middle Atlas. It was carried out using climatic indices (Angot, De Martone, Groczinski, Gams and the Emberger rainwater quotient). The Thornthwaite model was used to characterize the monthly water balance, while the water balance and its components were determined according to Turk for ETR and Perman FTE. Map results showed an underestimation of forest cover and afforestation rates by the two forest maps (1986 and 2010). While the revisions of this mapping allowed to re-evaluate these rates for the years 1986 and 2010 respectively from 41% to 50% and from 45 to 49% of the wooded cover, and from 43% to 52% and from 50% to 52% forest cover (afforestation + alfa). The study showed that the new forest evolution map shows patches, progression and regression, scattered across the area. unlike the large ranges observed in the previous approach.

Keywords: Middle Atlas, ecosystems, cedar, evolution, IFN, climatic and bioclimatic characterization, water balance, hydrological balance, dry season, growing season, climate indices, climate change, adapted management, adaptation.

SIGLES & ABREVIATIONS

AEFCS	Administration des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols.
AGR	Activité Génératrice de Revenu.
ANCFCC	Agence Nationale de la Conservation Foncière, du Cadastre et de la Cartographie.
Art.	Article.
ASP	Amélioration sylvo-pastorale.
BV	Bassin versant.
Ca	<i>Cedrus atlantica</i> .
CCA	Comité Consultatif des Aménagements.
CCNUCC	Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques.
CES	Conservation des eaux et des sols.
Cm	Centimètre.
CO2	Dioxyde de carbone.
DEC	Domaine d'étude cartographique.
DH	Dirhams.
DPEFLCD	Direction Provinciale des Eaux et Forêts et à la lutte Contre la Désertification.
DREFLCD - FB	Direction Régionale des Eaux et Forêts et à la lutte Contre la Désertification Fès Boulemane.
DREFLCD- MA	Direction Régionale des Eaux et Forêts et à la lutte Contre la Désertification du Moyen Atlas.
DREFLCD- NE	Direction Régionale des Eaux et Forêts et à la lutte Contre la Désertification du nord-est.
DREFLCD- SO	Direction Régionale des Eaux et Forêts et à la lutte Contre la Désertification du sud-ouest.
EFE	Agence de presse en langue espagnole.
ETP	Evapotranspiration potentielle.
ETR	Evapotranspiration réelle.
F.	Forêt.
FAO	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.
Fig.	Figure.
FRA	Evaluation des ressources forestières mondiales.
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
GIFMA	Gestion Intégrée de Forêts du Moyen Atlas.
GPS	Système de positionnement par satellite et en anglais « Global Positioning System ».
HA	Hectare.
HCEFLCD	Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification.
HCP	Haut-Commissariat au plan.
HE	Huiles essentielles.
IF	Inventaire forestier.
IFN	Inventaire forestier national.
IGN	Institut national de l'information géographique.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change.
Jp	<i>Juniperus phoenicea</i> .
Km	Kilomètre.
Km²	Kilomètre carré.
m	Mètre.
M³	Mètre cube.
m³/ha	Mètre cube à l'hectare.
MA	Moyen Atlas.
MAGICC	Modèle d'évaluation des gaz à effet de serre inducteurs de changement climatique.
MCGs	Modèles de circulation générale.
mm	Millimètre.
MNT	Modèle Numérique de Terrain.
NE-SW-SE	Nord-est, Sud-ouest et Sud-est.
OLMC	Oléastre-Lentisque-Myrthe-Caroubier.
ONEP	Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable.
P (mm)	Précipitation en millimètre.
P.A.T	Pays d'Accueil Touristique d'Ifrane.
PERG	Programme d'Electrification Rurale Global.
Ph	<i>Pinus halepensis</i> .
PIB	Produit intérieur brut.
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement.
PV	Procès-verbal.
Q2	Quotient pluviométrique d'Emberger.
Qi	<i>Quercus ilex</i> .
Qx	Quintaux.

RADEEF	Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de Fès.
RADEETA	Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de Taza.
RADEM	Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de Meknès.
RAMSAR	Zones humides d'importance internationale.
RBCA	Réserve de Biosphère de la Cédraie d'Atlas.
RDU	Réserve Difficilement Utilisable.
REDD	Réduction des émissions causées par le déboisement et la dégradation des forêts.
RFU	Réserve Facilement Utilisable.
RGPH	Recensement Général de la Population et de l'Habitat.
RSSE	Rapport Spécial du GIEC sur les Scénarios d'Emission.
RU	Réserve utile en eau du sol.
RUM	Réserve utile maximale.
RUS	Réserve hydrique utile de survie.
SAU	Surface utile agricole.
SCENGEN	Scénario Generator ou Générateur de Scénario.
SIBE	Site d'intérêt biologique et écologique.
SIG	Système d'information géographique.
T °C	Température en degré Celsius.
Ta	Tetraclinis articulata.
Tmax	Température maximale.
Tmin	Température minimale.
TNB	Terrain non boisé.
UF	Unité fourragère.
UF/ha	Unité fourragère par hectare.
UF/j	Unité fourragère par jour.
VTT	Véhicule tout terrain.
WWF	Fonds mondial pour la nature.
ΔH	Variation du niveau de la Mer.
ΔP	Variation des précipitations.
ΔT	Variation des températures.
%	Pourcentage.

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Evolution des précipitations annuelles dans les stations d'Ifrane (altitude 1600 m ; période 1970-2006) et d'Azou (altitude 1200 m ; période 1973-2003) (Mokrim, 2008)	40
Figure 2: Evolution de la hauteur des précipitations neigeuses (en cm) au niveau de la station d'Ifrane (période 1958-2006)	40
Figure 3: Représentation schématique de la méthodologie du GIEC pour le développement de scénarios climatiques (Alibou, 2002)	43
Figure 4: Importance de l'étendue du dépérissement observé pour les principales cédraies du Moyen Atlas (Omar MHIRIT, 2009)	46
Figure 5: Situation des stations climatiques sur le climagramme d'Emberger-Sauvage	67
Figure 6: Bioclimat du Moyen Atlas	74
Figure 7: Schéma structural du nord du Maroc et la place de la zone d'étude	77
Figure 8: Structure géologique du Moyen Atlas	78
Figure 9: Images satellite, photo-aériennes et plans de vol multi-dates couvrant le Moyen Atlas	99
Figure 10: Importance et la portée d'ArcGIS	103
Figure 11: Image d'illustration de l'MNT 12 m et la place des zones non couvertes	104
Figure 12: Image d'illustration de l'MNT 12 m et les zones couvertes par l'MNT de 30 m	105
Figure 13: Extrait de la structure des tables attributaires des cartes forestières	111
Figure 14: Cas d'incohérence cartographique du 1 ^{er} et 2 nd cycle de la cartographie forestière	112
Figure 15: Irrégularités topologiques aux jonctions des cartes forestières au 1/100.00	118
Figure 16: Situation du couvert forestier des années 1980 (en ha)	128
Figure 17: Flux entre formations forestières (ha)	152
Figure 18: Réserve hydrique (% saturation sol) et grandeur (P-2T) pour Mai, juin et Juillet	153
Figure 19: Réserve hydrique (% saturation sol) et grandeur (P-2T) pour Septembre et Octobre	154
Figure 20: Durée de la saison de croissance selon Gaussen et le bilan hydrique	155
Figure 21: Aridité altitudinale selon l'angle de Gams.	158
Figure 22: Situation des stations climatiques sur le climagramme d'Emberger-Sauvage	160
Figure 23: Grandeurs des Précipitations selon ETRTh Thornthwaite, ETRTurc, ETPTTh Thornthwaite, ETTP Penman=68,64T et ETP Penman=77.5T	166
Figure 24: Bilan hydrique Moyen Atlas de Béni Mellal	169
Figure 25: Bilan hydrique du Moyen Atlas de Khénifra	169
Figure 26: Bilan hydrique Moyen Atlas d'Ifrane	169
Figure 27: Bilan hydrique Moyen Atlas Oriental	170
Figure 28: Grandeurs de la lame d'eau infiltrée, ruisselée, du surplus hydrologique et hydrique	171

LISTE DES CARTES

Carte 1 : Etat d'avancement du programme de la mise à jour des cartes forestières au 1/100.000 élaborées dans le cadre de la révision de l'IFN et la place de la zone d'étude _____	27
Carte 2 : Situation géographique du Moyen Atlas _____	62
Carte 3 : Situation administrative du Moyen Atlas (Région et Communes) _____	64
Carte 4 : Situation forestière du Moyen Atlas (DREFLCD et DPEFLCD) _____	65
Carte 5 : Tranches altitudinales du Moyen Atlas _____	69
Carte 6 : Classes de pentes à l'échelle du Moyen Atlas _____	71
Carte 7 : Expositions dominantes du Moyen Atlas _____	73
Carte 8 : Réseau hydrographique du Moyen Atlas _____	76
Carte 9 : Situation géologique du Moyen Atlas _____	79
Carte 10 : Etages de végétations du Moyen Atlas _____	85
Carte 11 : Stade d'évolution des groupements végétaux des forêts du Moyen Atlas _____	86
Carte 12 : Parcs nationaux du Moyen Atlas _____	92
Carte 13 : Sites d'Intérêt Biologiques et Ecologiques (SIBE) du Moyen Atlas _____	93
Carte 14 : Réserves naturelles du Moyen Atlas _____	94
Carte 15 : Circuits écotouristiques du Moyen Atlas (Moyen atlas Oriental) _____	95
Carte 16 : Circuits écotouristiques du Moyen Atlas (Moyen atlas Central) _____	96
Carte 17 : Circuits écotouristiques du Moyen Atlas (Moyen atlas de Béni Mellal) _____	97
Carte 18 : Liste des cartes topographiques au 1/100.000 couvrant le Moyen Atlas _____	101
Carte 19 : Localisation des stations climatiques du Moyen Atlas _____	107
Carte 20 : Couvert forestier du Moyen Atlas de la période 1982-1986 _____	129
Carte 21 : Couvert forestier du Moyen Atlas de la période 2008-2011 _____	131
Carte 22 : Comparaison diachronique des cartes forestières des années 1986 et 2010 _____	133
Carte 23 : Carte révisée, du couvert forestier du Moyen atlas de la période 1982-1987 _____	140
Carte 24 : Carte révisée du couvert forestier du Moyen Atlas, de la période 2008-2011 _____	142
Carte 25 : Carte forestière globale actuelle du Moyen Atlas _____	145
Carte 26 : Carte d'évolution forestière du Moyen Atlas (1986-2010) _____	147
Carte 27 : Carte d'évolution globale actuelle du Moyen Atlas _____	148

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n° 1 - Méthode de détection de changement _____	25
Tableau n° 2 - Importance des dépérissements du cèdre dans le Moyen Atlas _____	46
Tableau n° 3 - Synthèse des groupements végétaux existants dans le Moyen Atlas _____	83
Tableau n° 4 - Etat de conservation des écosystèmes forestiers, préforestiers, présteppiques et steppiques dans le moyen atlas _____	84
Tableau n° 5 - Liste et superficies des cartes topographiques au 1/100.000 couvrant la zone d'étude	100
Tableau n° 6 - Coordonnées des stations étudiées par région _____	106
Tableau n° 7 - Critères de suivi de l'évolution du couvert forestier _____	113
Tableau n° 8 - Indices de suivi de l'occupation du sol _____	114
Tableau n° 9 - Concordance entre les critères de stratification des cartes forestières _____	115
Tableau n° 10 - Superficie du couvert forestier du Moyen Atlas en 2010 (ha) _____	130
Tableau n° 11 - Matrice de confusion globale brute (superficie en ha) _____	134
Tableau n° 12 - Etat comparatif des superficies générées à partir des cartes diachroniques des 1987 et 2010 _____	134
Tableau n° 13 - Matrice de confusion semi-détaillée, brute _____	135
Tableau n° 14 - Etat de situation des changements d'occupations constatés entre 1986 et 2010 ____	137
Tableau n° 15 - Evolution approchée dans la zone d'étude _____	138
Tableau n° 16 - Etat comparatif globale des données des cartes brutes et révisées _____	139
Tableau n° 17 - Occupations du sol du Moyen atlas en 1986 _____	141
Tableau n° 18 - Occupation du sol du Moyen Atlas en 2010 _____	143
Tableau n° 19 - Synthèse de la matrice de confusion globale du couvert forestier 1986-2010 _____	149
Tableau n° 20 - Matrice de confusion détaillée d'évolution de l'occupation du sol _____	150
Tableau n° 21 - Caractéristique du test de Kappa _____	151
Tableau n° 22 - Durée de la saison de croissance et sa période d'occurrence _____	156
Tableau n° 23 - Répartition d'espèces forestières et ligneuses dans les domaines intermédiaires et internes adaptée au Moyen Atlas d'après Michalet (1991) _____	159
Tableau n° 24 - Saison de croissance et végétation forestière _____	161

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	1
REMERCIEMENTS	2
Résumé	3
Abstract	4
SIGLES & ABREVIATIONS	5
LISTE DES FIGURES	7
LISTE DES CARTES	8
LISTE DES TABLEAUX	9
TABLE DES MATIERES	10
INTRODUCTION GENERALE	13
PARTIE I : REVUES BIBLIOGRAPHIQUES	19
1.1 : Notion de base de l'Inventaire Forestier National (IFN)	20
1.1.1. Historique	20
1.1.2. Définition et objectif	21
1.1.3. Données de l'IFN et méthodes	22
1.1.3.1 Données de l'IFN	22
1.1.3.2 Méthodes de suivi de l'occupation du sol	23
1.1.4. Etat d'avancement de l'IFN au Maroc et la place de la zone d'étude	26
1.1.5. Intérêt et importance de l'approche	28
1.1.6. Limites et contraintes	28
1.2 : Synthèse climatique et bioclimatique	30
1.2.1 Relation entre les périodes de végétation des espèces et paramètres climatiques	30
1.2.2 Saison de croissance des végétaux	31
1.2.3 Réserve hydrique du sol	32
1.2.4 Saison estivale sèche selon Gaussen et taux de saturation hydrique du sol	32
1.3 : Bilan hydrique, hydrologique et caractérisation climatique du Moyen Atlas	33
1.4 : Changement climatique : synthèse et impact potentiel sur les arbres forestiers	35
1.4.1 Introduction	35
1.4.2 Changement climatique global et méditerranéen	36
1.4.3 Changements climatiques au Maroc	38
1.4.3.1 Conséquences du changement climatique antérieur sur les écosystèmes au Maroc	41
1.4.3.2 Tendances du changement climatique récent au Maroc	42
1.4.3.3 Projections futures du climat au Maroc	43
1.4.3.4 Conséquences du changement climatique récent au Maroc : cas du cèdre de l'Atlas	45
1.4.3.4.1 Le dépérissement du cèdre de l'Atlas : phénomène révélateur	45
1.4.3.4.2 Observations récentes du changement climatique dans le Moyen Atlas marocain	48
1.4.3.4.3 Conséquences observées sur la croissance du cèdre au Moyen Atlas	48
1.4.4 Changements climatiques et forêts	49
1.4.5 Conclusion relative au changement climatique au Maroc	56
PARTIE II : MATERIELS ET METHODES	58
2.1 : Présentation de la zone d'étude	59

2.1.1 Aperçu historique du Moyen Atlas	59
2.1.2 Cadre géographique	61
2.1.3 Cadre administratif et forestier	63
2.1.4 Milieu physique	66
2.1.4.1 Caractéristiques climatiques et forestières du Moyen Atlas	66
2.1.4.2 Topographie	67
2.1.4.3 Hydrologie	74
2.1.4.3.1 Bassins hydrauliques	75
2.1.4.3.2 Lacs du Moyen Atlas	75
2.1.4.3.3 Cascades du Moyen Atlas	75
2.1.4.3.4 Barrages	75
2.1.4.4 Géologie, géomorphologie et unités structurales	77
2.1.4.5 Pédologie	80
2.1.5 Végétation, biodiversité et caractéristique écologique	81
2.1.6 Atouts touristiques du Moyen Atlas	87
2.1.6.1 Introduction	87
2.1.6.2 Loisirs de la pêche continentale	89
2.1.6.3 Parcs nationaux du Moyen Atlas	89
2.2 : Approche méthodologique adoptée	98
2.2.1 Outils et données utilisées	98
2.2.1.1 Données relatives au couvert forestier	98
2.2.1.2 Données relatives au climat, bilan hydrique et hydrologique	105
2.2.2 Elaboration de la carte forestière et la carte d'évolution du Moyen Atlas	108
2.2.2.1 Stratification forestière	108
2.2.2.2 Interprétation, restitution et base de données cartographiques	109
2.2.2.3 Assemblage des cartes au 1/100.000 du 1er et 2nd cycle de l'IFN	111
2.2.2.4 Elaboration des cartes forestières du Moyen Atlas	112
2.2.2.5 Elaboration de la carte d'évolution forestière	113
2.2.2.6 Comparaison des superficies et analyse de l'évolution forestière	115
2.2.3 Cartographie rétrospective du Moyen Atlas	116
2.2.3.1 Démarche d'analyse spatiale et révision cartographique	116
2.2.3.2 Jonction des cartes et topologie des données	118
2.2.4 Caractérisation climatique et bioclimatique du Moyen Atlas	119
2.2.4.1 Calcul de la saison de croissance des végétaux	120
2.2.4.2 Calcul de la Réserve hydrique du sol	120
2.2.4.3 Saison estivale sèche selon BAGNOULS et GAUSSEN (P-2T)	121
2.2.4.4 Indice d'aridité de De Martone	121
2.2.4.5 Indices de continentalité	122
2.2.4.6 Indice de Gorczinski (K')	122
2.2.4.7 Indice de Gams	122
2.2.4.8 Indice bioclimatique d'Emberger	123
2.2.4.9 Saison de végétation et phénologie des espèces observées	123
2.2.5 Bilan hydrique et hydrologique du Moyen Atlas	123
2.2.5.1 Calcul de l'Evapotranspiration Potentielle (ETP)	123
2.2.5.2 Détermination de la Réserve Utile en eau du sol (RU)	124
2.2.5.3 Calcul de l'Evapotranspiration Réelle (ETR)	125
2.2.5.4 Ecoulement de l'eau dans le sol	125
PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS	126
Introduction	127

3.1 : Cartographie et analyse des résultats natifs des cartes de l'IFN	128
3.1.1 Cartographie forestière de la période 1982-1987	128
3.1.2 Cartographie forestière de la période 2008-2011	130
3.1.3 Analyse diachronique des changements des superficies du couvert forestier	132
3.1.3.1 Analyse des superficies	134
3.1.3.2 Analyse approfondie des changements des superficies	135
3.2 : Cartographie rétrospective du Moyen Atlas	139
3.2.1 Carte rétrospective du couvert forestier en 1986	139
3.2.2 Carte rétrospective du couvert forestier en 2010	141
3.2.3 Carte d'évolution forestière entre 1986-2010	146
3.2.4 Analyse de l'évolution forestière	149
3.2.4.1 Synthèse de la matrice de confusion globale d'évolution forestière	149
3.2.4.2 Détail de la matrice de confusion globale d'évolution forestière par essence	149
3.3 : Climat et bioclimat dans le Moyen Atlas	153
3.3.1 Saison estivale sèche selon Gaussen (P-2T) et taux de saturation hydrique du sol	153
3.3.2 Durée et période d'occurrence de la saison de végétation dans le Moyen Atlas	154
3.3.3 Caractérisation climatique et indices climatiques	156
3.3.3.1 Indice d'aridité de De Martone	156
3.3.3.2 Indices de continentalité	157
3.3.3.2.1 Indice d'Angot	157
3.3.3.2.2 Indice de Gorczynski (K')	157
3.3.3.2.3 Indice de Gams	158
3.3.3.3 Indice bioclimatique d'Emberger	159
3.3.3.4 Saison de végétation et phénologie des espèces observées	161
3.4 : Bilan hydrique et hydrologique du Moyen Atlas	164
3.4.1 Bilan hydrique mensuel dans le sol	164
3.4.1.1 Indice d'aridité de De Martone	164
3.4.2 Evapotranspiration potentielle (ETP) et Evapotranspiration réelle (ETR)	165
3.4.2.1 ETP et ETR mensuelles selon Thornthwaite	165
3.4.2.2 ETP et ETR selon Turc et Penman	166
3.4.2.3 Déficit hydrique mensuel selon la méthode Thornthwaite	167
3.4.2.4 Surplus hydrique et hydrologique	167
3.4.2.4.1 Surplus hydrique $P - ETP$	168
3.4.2.4.2 Surplus hydrologique $[P - ETP + (R - RUM)]$	170
3.4.2.4.3 Ruissellement et infiltration	170
3.4.3 Zonage bioclimatique	171
CONCLUSION GENERALE & RECOMMANDATIONS	173
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	185

INTRODUCTION GENERALE

Le climat et la forêt, deux anciens concepts qui ont été tant abordés par les climatologues, les forestiers et les biogéographes. La relation de complémentarité qui les lie en a fait un sujet d'actualité.

La forêt a vécu depuis des millions d'années en étroite corrélation avec le climat, qui se traduit par une grande diversité et productivité des écosystèmes forestiers dans les zones aux climats favorables et vice-versa. En effet, le climat conditionne dans une part la répartition des espèces forestières à la surface du globe, tandis que la forêt modifie davantage le climat local en le rendant plus doux et plus favorable à la vie et crée en association avec d'autres critères biogéographes ce qu'on appelle le microclimat.

Les perspectives du changement du climat prévoient une réduction des précipitations, une augmentation de la température et de la fréquence des événements extrêmes combinés avec le changement des rythmes saisonniers (DAVI, 2015).

Les prévisions pour le Maghreb indiquent que les diminutions des précipitations peuvent atteindre jusqu'à 50% alors que l'augmentation des températures peut dépasser 5°C en 2100 (ROUSET et ARRUS, 2006). Les analyses des tendances actuelles du climat, pour le Maroc, montrent un réchauffement global moyen de 1°C et une baisse significative des précipitations variant entre 3 à 30% selon les régions. A la fin de ce siècle, on prévoit une augmentation de la température moyenne estivale de 2 à 6°C et une régression moyenne des précipitations de 20% (ANONYME, 2014). Les disponibilités hydriques des sols peuvent en outre diminuer sous l'effet de l'augmentation des phénomènes d'évapotranspiration.

Le Maroc, de part sa situation géographique entre l'Océan Atlantique, la Mer Méditerranéenne et le Sahara et du fait de la présence de nombreuses chaînes montagneuses présente une grande diversité écologique.

Sur le plan de la diversité biogéographique, le Maroc présente un éventail très large des types de bioclimats : les moyennes annuelles des précipitations sont comprises entre 30 mm dans les zones sahariennes et plus de 2.000 mm dans le Rif centro-occidental. Tous les bioclimats sensu lato Emberger (perhumide, humide, subhumide, semi-aride, aride et saharien) et toutes les variantes bioclimatiques (chaude, tempérée, fraîche, froide, très froide, extrêmement froide) y sont représentées. Le territoire marocain est soumis à des conditions climatiques sévères puisque la majeure partie de son territoire se caractérise par l'aridité (Aafi A., 2003c).

Dernièrement, la relation étroite entre les changements climatiques et le développement des forêts, notamment en France, au Canada et aux Etats Unis a été traitée à plusieurs reprises pour ne laisser aucun doute. Au Maroc, ce genre de corrélation et de traitement a toujours été très restreint en raison d'indisponibilité d'information et de la double thématique de ce sujet qui exigent des chercheurs ayant une formation pluridisciplinaire. Lors des 3^{ème} assises de la recherche forestière tenue à Khénifra en 2009 sur : « *L'écosystème cédraie : Un enjeu stratégique pour le développement régional* », il a été démontré que la résilience et la capacité d'adaptation des forêts Marocaines, **notamment les cédraies du Moyen Atlas** sont alors épuisées lorsqu'elles sont soumises au phénomène du changement climatique, accompagné de vagues de chaleurs, sécheresse, une augmentation généralisée des températures et une chute notable des précipitations.

Vu l'importance et la place qu'occupe le cèdre au Maroc étant une essence noble et endémique et vu l'ampleur des impacts des changements climatiques sur son développement, il nous a semblé évident de concentrer une partie de ce document sur le sujet « **Le Changement Climatique et son Impact sur le Développement des Forêts du Cèdre dans le Moyen Atlas** »

Les forêts du Moyen Atlas (Ifrane, Khénifra, Boulemane, Sefrou, Taza, Béni Mellal) s'étendent sur près de 1 million d'hectares dont les principales formations forestières sont à base de chêne vert, de cèdre, de thuya, des pins et de genévriers. Ces forêts représentent depuis toujours un enjeu stratégique pour le Maroc, tant sur le plan économique que socio-économique, du fait qu'il constitue : (i) un espace multifonctionnel par la production de bois, de fourrage et des activités d'écotourisme, de chasse et de pêche, (ii) un patrimoine protecteur des sols, des eaux et de la biodiversité biologique, et (iii) un levier de développement régional par les recettes et l'emploi qu'elles procurent (Naggar M., 2017).

La région du Moyen Atlas, par sa situation géographique, recèle une importante couverture forestière, riche et diversifiée dont le cèdre représente l'espèce emblématique. En effet, le cèdre de l'Atlas, constitue une espèce emblématique du Moyen Atlas et s'organise en trois ensembles : la Cédraie du Moyen Atlas central sur près de **78 000 ha**, représente l'ensemble le plus important du cèdre de l'Atlas (les forêts de Sidi M'guild, d'Azrou situés au cause atlasique et les forêts de Bekrit, d'Aghbalou Laarbi, d'Aïn Nokra, d'Itzer, d'Ajdir, Talaghine et de Senoual localisées dans le secteur plissé), la Cédraie du Moyen Atlas oriental représentant près de **10 000 ha** s'individualise dans les massifs de Jbel Bouiblanc dominées par les forêts de Taffert, El Adej, Tamjilt, Maghraoua et Berkine) et la Cédraie du Haut Atlas oriental dans la région de Khénifra sur près de **32 000 ha** (Naggar M., 2017).

Ces écosystèmes sont soumis à des fortes pressions multiformes, conduisant à une évolution régressive de ses écosystèmes et à un déséquilibre des sociétés rurales qui y vivent ; dont les principales contraintes sont celles d'ordre climatique, car les modifications inhabituelles enregistrées au niveau des paramètres climatiques (pluviométrie, températures minimales et maximales) ont induit par conséquent à la détérioration et au dépérissement de ces écosystèmes et d'ordre humain (surpâturage, prélèvement du bois de feu, délits forestiers,...).

La conservation, des forêts et de la végétation forestière du bassin méditerranéen, constitue un problème complexe du fait de l'hétérogénéité des situations et des multiples usages et pressions anthropiques pratiqués par les diverses entités culturelles de la Méditerranée depuis des millénaires (Quézel & Médail, 2003). Sur le pourtour méditerranéen, « gap analysis » (= l'analyse des lacunes) réalisée par le **WWF (2001)** estime que la couverture forestière originelle présentait environ 82% de la surface totale des pays méditerranéens, actuellement il en reste que 17% de ce patrimoine forestier souvent considéré comme profondément dégradé dans les pays du sud. La situation actuelle est qualifiée de dramatique dans les divers pays d'Afrique du Nord et seuls des programmes ambitieux de gestion écologique intégrée permettront de sauver les lambeaux de forêts qui subsistent, ou de préserver quelques zones qui sont encore restées miraculeusement à l'abri de ces destructions (Quézel & Médail, 2003).

La forte pression exercée par l'homme et son bétail est parmi les principaux facteurs qui ont eu un effet néfaste et conduit à la [régression des écosystèmes du Moyen Atlas](#) sans oublier l'effet des techniques et méthodes d'exploitation programmées dans le cadre des projets d'aménagement, le ramassage du bois de feu et de quelques plantes comme le doum, le myrte et quelques espèces de plantes aromatiques, médicinales et mellifères, et les coupes de bois de manières illégales, les opérations de défrichement, les incendies et le surpâturage. Les exploitations irrationnelles et abusives de ces patrimoines ont conduit et contribué d'une façon nette à la dégradation et à la régression des forêts de cette région du Maroc, ce qui se traduit par une perturbation dans la composition spécifique, une régression des superficies couvertes par le cèdre de l'atlas en particulier et une réduction du nombre des espèces floristiques.

En plus, de la forte pression démographique exercée par plusieurs milliers de personnes vivantes dans la région du moyen atlas (4.236.892 habitants en 2014 selon le dernier recensement général de la population et de l'habitat) répartis entre 106 communes rurales et urbaines. Le moyen Atlas supporte un cheptel de 4 097 000 têtes dont 2 663 054 têtes ovines (65%), 1 147 160 têtes caprines (28%) et 286 790 têtes bovines (7%) et génère des milliers de journées de travail par an. L'ensemble de ses productions est évalué à plusieurs millions dh/an (Ministère de l'Agriculture et de la pêche maritime, 2013).

En outre, malgré toutes ces problématiques exercées sur la région du moyen Atlas, ces écosystèmes constituent un espace environnemental et récréatif pour la protection des villes contre l'ensablement ; un espace pour les jeux et repos ; un poumon pour les villes les plus proches (Beni Mellal, Khénifra, Boulemane, Azrou, Ifrane, El Hajeb, Sefrou, Taza, ...) et environnantes et un milieu d'une grande importance en ce qui concerne la biodiversité.

Le moyen Atlas, constitue un espace socio-économique et environnemental d'une extrême importance sur les plans local, régional, national et international. Il procure aux habitants riverains, aux collectivités territoriales, à la région et au pays des revenus et recettes directes ou indirectes.

En effet, depuis plusieurs décennies, la région méditerranéenne est l'objet d'une attention croissante de la part de la communauté internationale. La prise de conscience des bienfaits sociaux, économiques et environnementaux que procurent les espaces boisés de la région et des effets néfastes de leur dégradation et destruction, explique l'intérêt que le secteur forestier suscite de plus en plus (**Naggar M., 2017**).

Malgré leur fonction principale de protection, les espaces boisés de l'Afrique du Nord produisent un large éventail de produits forestiers ligneux et non ligneux assurant les moyens de subsistance et de soutien pour des millions de personnes et sont à la base de plusieurs activités qui assurent des revenus et de l'emploi pour les populations rurales (**Naggar M., 2017**).

Dans de nombreux pays, la forêt est une ressource naturelle importante et au niveau mondial, les problèmes d'approvisionnement en bois se posent avec de plus en plus d'acuité.

Le développement des populations et l'augmentation de leurs besoins en bois ont mis en exergue la nécessité de gérer les ressources boisées de façon responsable, sous peine de les voir s'appauvrir ou même disparaître dans des proportions inquiétantes. Assez paradoxalement, ce sont les pays riches en "or vert" qui ont innové dans ce domaine (*Suède, Finlande, Canada, ...*) et le Maroc n'en reste pas là indifférent.

Mais comment gérer une ressource aussi étendue et diversifiée sans se doter des moyens de la connaître ? A ce titre, un inventaire forestier réalisé à l'échelle des nations est devenu indispensable.

De plus en plus, suite à une meilleure prise de conscience du caractère non forcément renouvelable des ressources forestières, la connaissance et la gestion suivie de celles-ci constituent un préalable à l'utilisation rationnelle des produits de la forêt et à l'établissement de politiques forestières plus cohérentes (**H. LECOMTE, J. RONDEUX., 2005**). Dans ce but, la plupart des pays européens et Africains dont le royaume du Maroc réalisent un inventaire forestier national permanent, parfois depuis plusieurs dizaines d'années.

En effet, la forêt est à l'ordre du jour dans le monde depuis la Conférence des Nations-Unies pour l'environnement et le développement, tenue en **1992 à Rio**. De sa part, la FAO élabore un rapport quinquennal de l'évaluation des ressources forestières mondiales (FRA). Le rapport du FRA 2010 estime la superficie forestière mondiale à un peu plus de 4 milliards d'hectares soit 31% de la superficie, du globe, ce qui correspond à une moyenne de 0,6 hectare par habitant. Selon la même source, la déforestation et les pertes dues à des causes naturelles est estimée à 16 millions d'hectares par an durant la période 1990-2000.

Ainsi, la forêt prend une place importante dans les négociations internationales sur le changement climatique jusqu'à l'aboutissement de cadre de **Varsovie en 2013** sur la réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts dans les pays en développement (REDD+).

Le suivi du couvert forestier est devenu une discipline à mettre en place pour la quantification de l'évolution des stocks forestiers et l'état des formations forestières à l'échelle d'un pays. Le **GIEC 2006** a réservé un volume des lignes directrices pour l'estimation des stocks de carbones en terrains forestiers. Il recommande par ailleurs, de subdiviser les terres forestières en deux sections à savoir i) les terres forestières restant terres forestières et ii) les terres converties en terres forestières.

Dorénavant, le rapportage à propos de l'état d'évolution du couvert boisé deviendra une nécessité. Il en sera une obligation pour les pays en développement, sollicitant de bénéficier des opportunités offertes dans le cadre du marché international du carbone.

Au Maroc, la superficie boisée est estimée **6.748.580 ha** et la superficie des nappes alfatières avoisine **2.641.133 ha (IFN 2015 : Marché n°32/HCEFLCD/2015)**. Elle assure une grande diversité biologique et elle a un impact positif sur l'équilibre socio-économique du Royaume. De par sa fonction multiple, la forêt marocaine est soumise à une pression intense et subit sans équivoque une perpétuelle dégradation. En l'occurrence, la déforestation a été estimée au Maroc à une perte de l'équivalent de 31.000 ha par an (2ème communication nationale du Maroc à la CCNUCC). Toutefois, ce chiffre de 31.000 ha/an reste controversé par les pouvoirs politiques chargés de la gestion forestière.

En l'absence de données scientifiques estimant l'évolution du couvert forestier à l'échelle nationale pour une période déterminée, le Département des Eaux et Forêts a procédé à la révision de la cartographie forestière élaborée durant la période 1994-2005 sur l'ensemble du territoire national, et ce à partir des photographies aériennes des années 1980 à 1992, puis complétée par l'usage des images satellite sur les vastes étendues à potentiel forestier limité notamment dans les hauts

plateaux de l'oriental et les provinces du Sud. Cette révision prévoit la cartographie d'évolution du couvert forestier sur une période de retour d'environ un quart de siècle.

Dans la perspective de répondre à une préoccupation majeure de la compréhension et l'analyse de l'évolution du couvert forestier, **la présente étude** se propose d'exploiter les données forestières élaborées dans le cadre de la cartographie forestière de l'IFN pour évaluer le procédé d'analyse de l'évolution forestière et de proposer une démarche adéquate pour appréhender le suivi du couvert forestier sur des grandes étendues du **Moyen Atlas**.

La démarche est décomposée en deux approches : la première épouse l'analyse utilisée par le Département des Eaux et Forêts basée sur la comparaison des superficies obtenues en deux dates d'élaboration des cartes et la seconde démarche prévoit une analyse par ajustement spatial des changements du couvert forestier avant de procéder à la génération des superficies d'occupation du sol.

L'objectif primordial de la présente étude vise l'amélioration des connaissances et des techniques de suivi du couvert forestier par le procédé wall-to-wall. Cet objectif se décline en objectifs spécifiques à réaliser sur la zone d'étude de la montagne du Moyen Atlas. Egalement, en plus des objectifs spécifiques relatifs à l'étude de l'évolution du couvert forestier, la présente vise aussi d'autres objectifs en relation étroite avec les facteurs qui influencent cette évolution. Il s'agit de répondre aux questionnements suivants :

- 1. Les conditions écologiques actuelles dans le Moyen Atlas, sont-elles favorables à la cédraie ?**
 - Le milieu Abiotique est-il favorable à la cédraie ?**
 - Les conditions climatiques actuelles (changement climatiques) restent-elles favorables à la cédraie ?**
- 2. La dynamique actuelle de l'aire de la cédraie au Moyen Atlas est-elle fatalement et irréversiblement régressive ?**
- 3. Les dynamiques actuelles régressives (Moyen Atlas Oriental) ou progressives (Moyen Atlas Central) sont-elles réelles ?**
- 4. La superficie officielle de la cédraie au Moyen Atlas est-elle exacte ?**
- 5. Quelle est la plus grande menace, sur l'avenir des écosystèmes de la cédraie du Moyen Atlas ?**

Les outils utilisés pour répondre à ces objectifs sont les suivants :

1. Climatologie de **28 stations avérées sur une trentaine d'année** (climat, bioclimat et changement climatique) ; Incluant les derniers cycles récurrents de la sécheresse.
2. Le phyto-dynamisme des écosystèmes, réalisés au niveau de 45 massifs déjà étudiés ;
3. Assemblage des cartes forestières au 1/100.000 du Département des Eaux et Forêts pour élaborer une carte forestière du Moyen Atlas en 1986 et en 2010 ;
4. Elaboration de cartes d'évolution du couvert forestier du Moyen Atlas en 1986 et en 2010 ;
5. Analyse des changements d'occupation des sols à partir d'une comparaison diachronique de l'état du Couvert Végétal en 1986 et en 2010, en deux étapes ;
6. Utilisation d'imagerie satellitale pour vérifier l'évolution déclarée (cartographie rétrospective à l'aide des images Landsat (1986) et Google Earth (open source)).

Pour ce faire, le présent travail est organisé en trois parties différentes :

- ↪ La première sera réservée à la revue bibliographique sur l'inventaire forestier national (IFN) et sur la caractérisation climatique, le bilan hydrique et hydrologique ainsi que sur le changement climatique au Maroc et dans le Moyen Atlas.
- ↪ La deuxième est consacrée à l'approche méthodologique adoptée.
- ↪ Et la troisième sera dédiée aux résultats et à leur discussion.

PARTIE I : REVUES BIBLIOGRAPHIQUES

1.1 : Notion de base de l'Inventaire Forestier National (IFN)

1.1.1. Historique

La forêt est à l'ordre du jour dans le monde depuis la Conférence des Nations-Unies pour l'environnement et le développement, tenue en **1992 à Rio**. De sa part, la **FAO** élabore un rapport quinquennal de l'évaluation des ressources forestières mondiales (FRA). Le rapport du **FRA 2010** estime la superficie forestière mondiale à un peu plus de 4 milliards d'hectares soit 31% de la superficie, ce qui correspond à une moyenne de 0,6 hectare par habitant. Selon la même source, la déforestation et les pertes dues à des causes naturelles est estimée à 16 millions d'hectares par an durant la période 1990-2000.

Ainsi, la forêt prend une place importante dans les négociations internationales sur le changement climatique jusqu'à l'aboutissement de cadre de **Varsovie en 2013** sur la réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts dans les pays en développement (REDD+).

Le suivi du couvert forestier est devenu une discipline à mettre en place pour la quantification de l'évolution des stocks forestiers et l'état des formations forestières à l'échelle d'un pays. **Le GIEC 2006** a réservé un volume des lignes directrices pour l'estimation des stocks de carbones en terrains forestiers. Il recommande par ailleurs, de subdiviser les terres forestières en deux sections à savoir i) les terres forestières restant terres forestières et ii) les terres converties en terres forestières.

Dorénavant, le rapportage à propos de l'état d'évolution du couvert boisé deviendra une nécessité. Il en sera une obligation pour les pays en développement, sollicitant de bénéficier des opportunités offertes dans le cadre du marché international du carbone.

Au Maroc, la superficie boisée est estimée **6 748 580 ha** et la superficie des nappes alfatières avoisine **2.954.200 ha (IFN 2012)**. Elle assure une grande diversité biologique et elle a un impact positif sur l'équilibre socio-économique du Royaume. De par sa fonction multiple, la forêt marocaine est soumise à une pression intense et subit sans équivoque une perpétuelle dégradation. En l'occurrence, la déforestation a été estimée au Maroc à une perte de l'équivalent de 31.000 ha par an (2ème communication nationale du Maroc à la CCNUCC). Toutefois, ce chiffre de 31.000 ha/an reste controversé par les pouvoirs politiques chargés de la gestion forestière.

Depuis plusieurs décennies, l'inventaire forestier national (IFN) fut entamé dans beaucoup de pays du monde.

Lucien Daubré (1844-1921) qui fit des études à l'école forestière de Nancy et eut une brillante carrière qui l'amena à prendre la Direction Générale des Eaux et Forêts de la France Métropolitaine en 1903. Il devait être à l'origine du premier inventaire forestier national.

Mais, c'est à après la création en 1958 de l'inventaire forestier national qui fut un établissement public national Français, chargé de l'inventaire permanent des ressources forestières nationales avec pour charge de faire l'inventaire permanent des ressources forestières Françaises, indépendamment de toute question de propriété qu'on a pu voir naître un vrai processus de développement de la méthode. Dans le cadre de la révision générale des politiques publiques

(RGPP 2007/2012), cet établissement a fusionné avec l'IGN (Institut national de l'information géographique) le 1^{er} Janvier 2012.

En Roumanie, un inventaire national a été initié en 2006, en cycles de 5 ans. Il est réalisé par le service Inventaire forestier national de l'Institut de recherche et d'aménagement sylvicoles.

En Belgique, l'inventaire forestier national de la Région flamande est effectué par l'Agent schap voor Natuur en Bos depuis l'année 2008.

En Russie, un inventaire national a été décidé en 2008. Il est réalisé par 250 équipes de terrain. Le projet est prévu pour 10 ans. Le projet est commandé par le Ministre des forêts russe par l'intermédiaire de l'organisme Rozlesinforg. L'impulsion pour l'élaboration de l'IFN russe a été donnée par la mise en application de la nouvelle loi forestière deux ans auparavant qui a fondamentalement transformé la gestion forestière russe ; de plus, une location commerciale à grande échelle des forêts a été lancée (non seulement pour l'abattage, mais aussi pour la récréation et les autres objectifs). En conséquence, il était nécessaire de mettre en place un système de contrôle minutieux de l'état des forêts qui est l'IFN.

Dans le continent Américain, tout récemment, le **Pérou** a réalisé son premier inventaire national pendant l'année 2010. Quinze équipes ont été déployées pendant le projet pilote.

En Afrique, plus particulièrement au Maroc, tient son premier inventaire forestier national en 1990, et ce après trois tentatives de projets pilotes sub-nationaux. La cartographie et l'inventaire dendrométrique du premier IFN du Maroc ont été effectués entre 1990-1994. Le second IFN a débuté en 2003 et qui fut étendu depuis l'année 2005 à 2000 en s'appuyant sur une méthode qui fait appel à l'utilisation des photographies aériennes combinées aux images satellitaires et à la technique d'échantillonnage statistique pour le mesurage des arbres au sol.

1.1.2. Définition et objectif

L'Inventaire Forestier National (IFN) est un outil d'aide à la planification forestière, il constitue une base pour la connaissance de l'état des ressources. Il est considéré comme un type d'inventaire extensif et stratégique s'appliquant à de très grandes surfaces.

L'inventaire forestier national (IFN) a pour **objectif** d'évaluer les ressources forestières et les arbres hors forêt. Il vise à apporter de nouvelles informations, à la fois quantitatives et qualitatives, sur le statut des ressources forestières et des arbres ainsi que sur leur utilisation, leur gestion et leur évolution. L'inventaire couvre un large éventail de variables biophysiques et socio-économiques, afin d'apporter une vue complète de l'état et l'utilisation des ressources forestières dans l'ensemble d'un pays. L'information produite servira notamment à élaborer et mettre en œuvre des politiques et des stratégies visant à l'utilisation durable des écosystèmes forestiers. Elle permettra également de comprendre les relations qui existent entre les ressources forestières et les utilisateurs de ces ressources (source : Département des Forêts, FAO : Inventaire forestier national : manuel de terrain modèle : Document de travail 94/F, **Rome, 2002**).

En gros, un inventaire forestier national est un inventaire forestier réalisé pour un pays entier, grâce à des méthodes statistiques (https://fr.wikipedia.org/wiki/Inventaire_forestier_national).

Ses principaux objectifs sont :

- Évaluer la ressource de bois et son évolution ;
- Disposer d'éléments chiffrés pour décider la politique forestière et évaluer son impact.

Ces inventaires concernent souvent des milliards d'arbres et de vastes surfaces dont les quantités et qualités ne peuvent être qu'approchées grâce à des extrapolations. Leur précision dépend aussi de la régularité des mises à jour de tableaux statistiques.

Au Maroc, il a été créé pour mieux connaître les potentialités des forêts marocaines, il est chargé de l'inventaire permanent des ressources forestières nationales en vue d'une meilleure planification et une gestion durable de ces ressources.

1.1.3. Données de l'IFN et méthodes

1.1.3.1 Données de l'IFN

Trois catégories de données sont disponibles : cartographiques, dendrométriques et éco-floristiques.

↳ **Les données cartographiques :**

Comportent principalement une carte des formations forestières et des landes, qui différencie plusieurs types de formation végétale. La définition des types de peuplements forestiers est essentiellement basée sur 2 critères : la structure du peuplement (taillis, futaie, mélange futaie-taillis) et la composition en essences, parfois complétés par une répartition par classe d'âge ou de richesse. La délimitation des types de formation est effectuée par photo-interprétation, généralement de couverture aérienne à l'échelle adaptée. Cette carte est complétée par deux couches supplémentaires d'information : les limites des régions forestières et des catégories de propriété (domaniale, communale, privée). Les données numériques sont produites et archivées au format Arc Info.

Au Maroc, la **méthode cartographique forestière** élaborée dans le cadre de l'IFN est réalisée soit à partir des photographies aériennes dans les zones potentiellement forestières ou à partir des images satellitaires dans les zones où le couvert forestier n'est pas important. Les principales étapes suivies pour l'élaboration des cartes sont :

- **Interprétation des photos aériennes panchromatique au 1/20.000 ou d'images satellitaires selon des nomenclatures nationales ;**
- **Restitution sur fond topographique (1/50.000 ou 1/100.000) ;**
- **Elaboration de base de données cartographique numérique ;**
- **Génération des statistiques relatives aux surfaces forestières ;**
- **Généralisation des données cartographiques à des échelles plus petites ;**
- **Edition des cartes forestières.**

↳ **Les données dendrométriques :**

Les autres données d'origine IFN sont celles de la base de données dendrométriques (**Deheeger et al., 1990**). Elles proviennent de l'échantillonnage statistique sur le terrain ; il s'agit de l'ensemble des descriptions, observations et mesures d'arbres ou de peuplements effectuées sur les placettes de l'IFN. Les données dendrométriques complètent l'analyse cartographique en fournissant des estimations des surfaces boisées, du volume sur pied, de l'accroissement en volume et du nombre d'arbres, ventilées selon de nombreux critères : région forestière, propriété, type de peuplement, structure, essence, classe d'âge, exploitabilité, qualité des bois, classe de diamètre... Elles permettent le calcul de nombreux indicateurs relatifs à la conservation et à l'amélioration des ressources forestières et de la production ligneuse. On citera par exemple l'évolution du taux de boisement, ou du volume de bois à l'hectare. Le taux de prélèvement, rapport du prélèvement total de bois à la production courante, est un indicateur important qui permet d'apprécier la pression exercée par les prélèvements sur la ressource forestière.

Au Maroc, l'inventaire dendrométrique repose sur un système d'échantillonnage national de 3.635 placettes, basé sur des virés et des placettes temporaires. La collecte des données est réalisée sur des placettes dendrométriques à dimension variables en fonction de sa contenance en arbres d'essences principales.

L'estimation du volume se fait par usage des tarifs individuels (par arbres) à une seule entrée, dont l'étendue concerne l'aire de répartition de l'essence pour laquelle le tarif est concis.

Les données sont traitées par une application concise à cet effet.

↳ **Les données écologiques et floristiques :**

Également, collectées sur les placettes par les équipes de l'IFN constituent une description détaillée de l'écosystème forestier : situation topographique, description du sol, relevé floristique. L'utilisation de ces données pour le calcul d'indicateurs de gestion durable reste encore du domaine expérimental. La connaissance du milieu naturel qu'elles apportent devrait en particulier permettre d'apprécier l'adéquation des essences constituant le peuplement avec la station forestière, et d'évaluer la superficie des situations potentiellement à risque.

1.1.3.2 Méthodes de suivi de l'occupation du sol

Le suivi de l'occupation de sol d'une manière générale ou particulièrement le couvert forestier consiste à élaborer des constats à des dates différentes pour en faire la comparaison de l'état de couvert, l'analyse des résultats obtenus, déduction des conclusions et orientation de la gestion. La prospection de connaissance de cette évolution de l'occupation du sol est un enjeu décisif combinant les moyens mobilisés et les objectifs assignés. Elle est décidée selon l'utilité, le degré de fiabilité tolérée, le coût alloué et les délais octroyés. L'accomplissement de l'opération se réalise par un échantillonnage ou d'une manière exhaustive.

Le **GIEC en 2006**, propose trois approches de suivi des affectations des terres notamment celles forestières pour pouvoir estimer le stock du carbone dans le cadre de la convention des nations pour le changement climatique. Ces approches sont synthétisées comme suit :

- ❖ **Approche 1** : connaissance de la superficie nette d'utilisation des terres pour différentes catégories d'affectation de terre, sans le suivi de conversion d'affectation de terres entre ces catégories. Il s'agit d'une méthode des gains-perdes, basée sur la différence des superficies. Dans le cas de suivi du couvert forestier, l'approche concerne les superficies des terres forestières qui restent forestiers au début et à la fin de la période d'analyse. L'opérationnalisation de l'approche peut être effectuée par un échantillonnage de placettes temporaires dont les deux échantillons sont indépendants l'un de l'autre.
- ❖ **Approche 2** : suivi de la conversion d'affectations des terres entre les catégories d'affectations sans qu'il soit spatialement explicite. Il s'agit d'une méthode de différence de stock selon une matrice simple de changement d'affectation des terres en déterminant la superficie de chaque transition entre les catégories. C'est une approche d'analyse sommaire des changements des occupations du sol.
- ❖ **Approche 3** : Suivi de la conversion d'affectations des terres d'une manière spatialement explicitée afin de déterminer toutes les variations d'affectation observées.

L'approche 3 qui s'insère dans la démarche systématique ou exhaustive est réalisée par usage de la télédétection. Elle peut être opérée sur l'ensemble des territoires d'une manière systématique ou à l'aide d'un échantillon de prise des vues aériennes.

L'analyse diachronique ou multi-chronique pour le suivi du couvert forestier repose sur deux alternatives à savoir la différence d'image par comparaison des images satellite multi-dates ou superpositions des cartes thématiques élaborées sur la base des prises de vue aérienne ou spatiale de dates différentes.

a) Différence d'images

La méthode de détection de changement proprement dite est développée par **Desclée et al, 2006** pour l'évaluation de la déforestation dans les régions tempérées. L'auteur a fait recours à la segmentation d'images multi-dates et l'usage de l'image différence.

Les techniques des traitements d'images pour la détection de changement sont multiples. Il s'agit en l'occurrence de la différence d'images, de régression d'images, de différence d'indices de végétation, de division d'images, de soustraction (différence) d'images de base et d'analyse par vecteur de changement, etc,...

Le principe de la méthode se résume aux étapes suivantes (**L'IFN, 2008**) :

- Prétraitement géométrique de l'image afin d'assurer les parfaites superpositions entre deux images multi-dates ;
- Normalisation des images pour minimiser les effets des conditions des prises d'images à des dates différentes notamment l'atmosphère ;
- Application de la technique de traitement pour la détection de changement. Le traitement s'opère pixel par pixel et bande spectrale par bande spectrale afin d'élaborer un produit offrant la différence radiométrique due au changement de l'état du couvert forestier ;

- L'interprétation de la différence d'image en définissant des seuils à partir desquels la différence radiométrique calculée est significative, pour exprimer des probabilités de certitude du changement du couvert ;
- Mise en évidence du changement selon trois classes usuelles notamment i) un changement certain, ii) un changement probable et iii) pas de changement. ;
- Post-traitement du produit par des filtres afin d'éliminer des pixels ou groupes de pixels isolés et insignifiant de point de vue cartographique ;
- Simplification des classes de changement et validation des résultats pour l'élaboration de la carte de changement.

b) Superpositions des cartes forestières

Le suivi du couvert forestier par superposition des cartes forestières élaborées à partir de l'interprétation multi-dates des produits de télédétection (photographies aériennes ou images satellite) est une discipline très ancienne. Elle est pratiquée bien avant l'avènement technologique et ce, par superposition des calques transparents.

L'étude du changement du couvert forestier dans les zones tropicales réalisées par la FAO dans le cadre du **FRA 2000** a été procédée par superposition des calques issus des interprétations des images satellite des années 1980, 1990 et 2000.

L'amélioration de la technologique numérique et le développement de la cartographie assistée par ordinateur ainsi que les systèmes d'information géographique, allait révolutionner la géomatique.

Les techniques adoptées pour l'élaboration des cartes d'évolution forestière sont multiples et variées. Le tableau suivant résume ces méthodes (**Fiston 2010**).

Tableau n° 1 - Méthode de détection de changement

Catégorie	Techniques
Transformations	<ul style="list-style-type: none"> - Comparaison de post-classification - Analyse spectrale temporelle - Détection du maximum de probabilité - Détection de changements non dirigée - Détection de changements hybride - Réseaux de neurones
Méthodes avancées	<ul style="list-style-type: none"> - Modèle de réflectance de Li-Strahler - Modèles de mixage spectral - Méthode de paramètres biophysiques
Approche de SIG	- <i>Méthode d'intégration de SIG et de données de télédétection</i>
Analyse visuelle	- Interprétation visuelle d'image ou interprétation des photographies aériennes
Autres techniques	<ul style="list-style-type: none"> - Mesure de dépendance spatiale - Système d'observation basée sur la connaissance - Méthode de génération de superficie (area production method) - Combinaison de trois indicateurs : indices de végétation, température de surface et - Structure spatiale - Courbe de changements - Modèles linéaires généralisés - Approche basée sur le théorème de courbe - Approche basée sur la structure - Méthode basée sur la statistique spatiale

Chacune des méthodes proposées a des avantages et des inconvénients.

La démarche adoptée dans la présente étude concerne l'approche de système d'information géographique combinant la cartographie numérique et la télédétection au sens large (image satellite ou photographies aériennes) (cf. **2.2 « Approche méthodologique adoptée »**).

Au Maroc, en absence de données scientifiques estimant l'évolution du couvert forestier à l'échelle nationale pour une période déterminée, le Département des Eaux et Forêts a procédé à la révision de la cartographie forestière élaborée durant la période 1994-2005 sur l'ensemble du territoire national, et ce à partir des photographies aériennes des années 1980 à 1992, puis complétée par l'usage des images satellite sur les vastes étendues à potentiel forestier limité notamment dans les hauts plateaux de l'oriental et les provinces du Sud. Cette révision prévoit la cartographie d'évolution du couvert forestier sur une période de retour d'environ un quart de siècle.

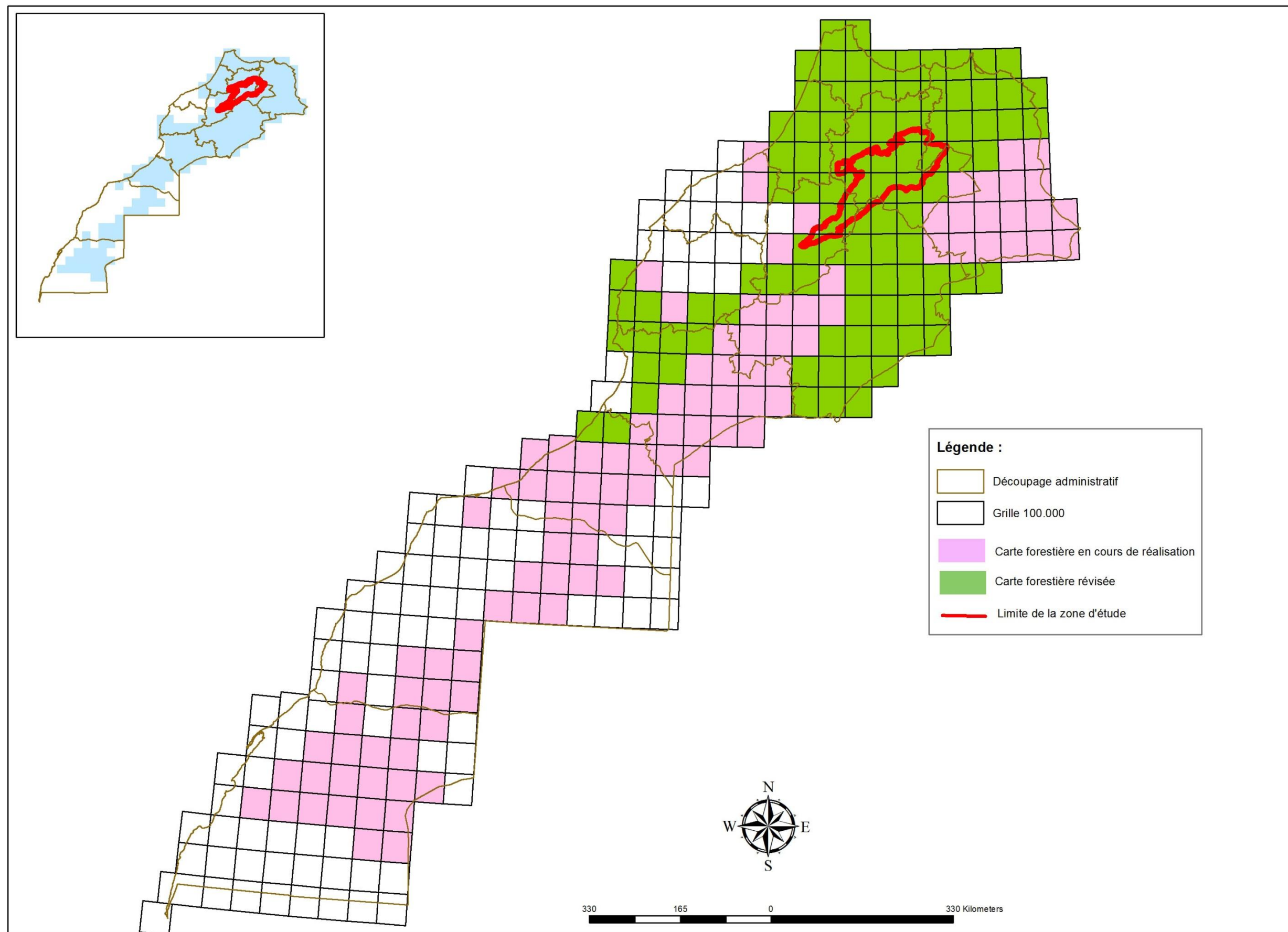
1.1.4. Etat d'avancement de l'IFN au Maroc et la place de la zone d'étude

La cartographie forestière réalisée durant la période 1990-2005, dans le cadre de l'inventaire forestier national (IFN), a permis d'estimer la superficie forestière à l'échelle nationale à **9 037 713 ha** (**5 718 454 ha** de formations boisées et **3 318 259 ha** des nappes alfatières), soit un **taux de boisement de l'ordre de 8%** hors mis les nappes alfatières.

Pour appréhender les changements intervenus au niveau des strates forestières, le Département des Eaux et Forêts a entamé depuis 2004, l'opération de la mise à jour de la cartographie réalisée dans le cadre du premier IFN à l'aide de l'interprétation des photographies aériennes issues des prises de vue aériennes récentes. La clé de stratification a été retenue de manière à assurer la comparaison entre les deux cartographies. Toutefois, certaines améliorations de ladite clé de stratification ont été apportées soit pour détailler davantage des formations boisées, soit de tenir compte des formations négligées antérieurement.

Actuellement au Maroc, l'approche adoptée consiste à procéder au préalable à des prises de vue aériennes (**photo-aériennes ou images satellitaires**) dans les zones couvertes par les cartes au 1/100.000 concernées par les mises à jour cartographiques du 1^{er} IFN. **Cette opération a été lancée à partir du nord et de proche en proche suivant le découpage cartographique** au 1/100.000 en vigueur au niveau de l'Agence Nationale de la Conservation Foncière, du Cadastre et de la Cartographie.

Dans le Moyen Atlas, cette révision a concerné jusque-là **19 cartes** au 1/100.000 sur près de **1 666 400 ha** tout terrain confondu selon le découpage de l'ANCFCC par utilisation des photos-aériennes panchromatique au 1/20.000 et/ou par usage d'images satellitaires.



Carte 1 : Etat d'avancement du programme de la mise à jour des cartes forestières au 1/100.000 élaborées dans le cadre de la révision de l'IFN et la place de la zone d'étude

1.1.5. Intérêt et importance de l'approche

L'inventaire forestier national (IFN) fournit des informations objectives relatives à la forêt. Au plan national, l'IFN constitue une base centrale de la politique forestière et le principal instrument de contrôle de la gestion durable des forêts d'un pays. C'est un outil de décision pour la gestion des ressources naturelles. Ces informations cartographiques permettent une analyse spatiale du territoire forestier utilisable dans des domaines variés relatifs aux multiples fonctions des forêts. Par exemple, la répartition spatiale des peuplements est une donnée importante pour évaluer la biodiversité forestière d'un territoire et sa capacité à accueillir certains animaux. La fragmentation et l'hétérogénéité des massifs, la longueur des lisières forêt/non forêt et la nature de ces interfaces sont autant de critères qu'il est possible d'apprécier à partir de la carte des formations végétales de l'IFN.

Des indicateurs relatifs à la fonction récréative des forêts peuvent également être calculés en rapprochant cette carte de données démographiques spatialisées. Il est ainsi possible d'évaluer la surface forestière dans un rayon de 50 km autour des grandes villes (distance moyenne qu'un habitant est censé être prêt à parcourir pour une visite en forêt) et de la rapporter au nombre d'habitants de la zone étudiée. De même, les données cartographiques permettent de construire des indicateurs de vulnérabilité au feu basé sur l'inflammabilité et la combustibilité des différents types de formation et leur répartition dans l'espace. Ces quelques exemples ne constituent qu'un échantillon restreint des perspectives offertes par l'exploitation des cartes de l'IFN. Le calcul d'indicateurs plus élaborés ne pourra toutefois se développer qu'au prix de travaux comportant à la fois des aspects méthodologiques et l'utilisation de données complémentaires (zone de protection, réseau routier et de desserte, équipements...).

Alors que les données dendrométriques fournissent également une première approche, "rustique", de la biodiversité forestière à partir de la strate arborée des peuplements. La diversité globale de la forêt dans une zone donnée peut être appréciée par la répartition de la surface boisée par essence principale ; la répartition de cette surface en fonction du nombre d'essences présentes sur les placettes fournit une évaluation de la proportion de peuplements mélangés, qui peut être complétée par le calcul de taux de pureté en volume. Les données dendrométriques de l'IFN permettent également d'évaluer l'importance de formations forestières caractérisées par une grande biodiversité, comme les peuplements mûrs et sénescents qui constituent des habitats spécifiques pour certaines espèces animales ou végétales.

1.1.6. Limites et contraintes

Selon les conclusions tirées d'une étude de la **FAO réalisée en 1981**, intitulée « Manuel d'inventaire forestier, Rome 1981 », nous présentons ici un certain nombre de limites et contraintes de l'IFN dont entre autres :

- Des délais imposés ;
- Des crédits disponibles ;
- La qualification du personnel, ...

Les personnes responsables de la conception et de la réalisation des inventaires sont souvent critiquées parce qu'elles entreprennent ce travail sans avoir une idée claire des objectifs à atteindre et ne présentant ainsi aux forestiers, économistes, sylviculteurs, et industriels qu'une information incomplète, voire inutile.

Parfois, une étude approfondie du problème peut montrer qu'un inventaire ne répondra pas aux buts recherchés.

Une analyse des coûts et des bénéfices peut aussi aboutir à la conclusion qu'un inventaire forestier, du fait de ses contraintes et ses limites, n'est pas l'outil le plus adéquat pour appréhender l'information recherchée. Le regroupement des renseignements disponibles, la comparaison avec des forêts semblables déjà inventoriées et l'utilisation des résultats de recherches permettent parfois d'obtenir à moindre frais le degré de précision requis.

On ne peut s'attendre, par exemple à pouvoir élaborer un plan détaillé d'aménagement local d'après les données recueillies au niveau d'un inventaire forestier national. Cela doit être signalé aux administrateurs qui pensent parfois qu'un type d'inventaire unique leur fournira toutes les informations qu'ils recherchent, à tous les niveaux. En général, faute de moyens, la priorité doit être donnée au type d'inventaire qui permettra de résoudre les problèmes les plus urgents.

D'après WOLSACK. J (1993), l'IFN est limité par deux contraintes, l'une institutionnelle, l'autre technique :

- La contrainte institutionnelle est l'obligation de secret statistique de l'IFN : le service ne peut divulguer d'informations permettant l'identification des propriétaires forestiers.
- La contrainte technique découle de la précédente : les estimateurs utilisés par l'IFN ne prennent pas en compte la localisation précise des points de mesure mais seulement leur domaine d'étude cartographique (DEC) de rattachement. Il s'ensuit que les résultats d'inventaire extraits de la base sont à attacher aux DEC, lesquels sont en général constitués d'un grand nombre de faces dispersées dans la région forestière concernée.

Les applications de type SIG rencontrent bien d'autres recueils, non spécifiques au domaine forestier. Notamment le croisement de couches d'information géographique diverses impose de multiples contraintes, parmi lesquelles :

- **Le repérage des données** dans un même système de projection : aussi extravagant que cela paraisse, de nombreux logiciels qualifiés de SIG par leur distributeur n'ont aucune fonction de conversion de coordonnées, d'autres en ont qui sont erronées (confusion entre Lambert tangent et Lambert sécant par exemple) ;
- **La coïncidence des objets** présents dans plusieurs couches : par exemple une lisière de bois et un bord de route. L'un des deux fournisseurs devrait se caler sur l'autre, mais lequel ? Et comment répercuter les mises à jour ? Ce genre de problèmes est actuellement à la charge des utilisateurs qui doivent consacrer un temps important au nettoyage de tous les chevauchements intempestifs. La tâche devient même impossible dans le cas de données élaborées à des échelles très différentes : il est vain par exemple de vouloir croiser les cartes numériques de l'IFN avec un cadastre numérisé ;
- **Le volume considérable** des données géographiques dépasse rapidement les capacités des outils informatiques usuels : exemple les limites du traitement des données de l'IFN sur

micro-ordinateur. Il va de soi que ces limites sont encore plus étroites lorsqu'on incorpore d'autres données (ce qui est le cas général). Une application en vraie grandeur exige souvent un équipement de type station de travail, qui représente un investissement matériel, logiciel et humain inaccessible à beaucoup d'utilisateurs. Même basé sur un micro-ordinateur, un poste de travail complètement équipé (avec le logiciel et les périphériques, mais sans les données) peut coûter plusieurs milliers en termes monétaires et le temps d'apprentissage serait de plusieurs semaines pour un utilisateur de niveau ingénieur.

Comme annoncé auparavant plus haut, les données dendrométriques de l'IFN permettent d'évaluer l'importance de formations forestières caractérisées par une grande biodiversité, mais l'indicateur correspondant est cependant limité aux peuplements réguliers et ne permet pas de prendre en compte les arbres individuels parfois maintenus dans ce but par les sylviculteurs.

1.2 : Synthèse climatique et bioclimatique

1.2.1 Relation entre les périodes de végétation des espèces et paramètres climatiques

Les relations entre les périodes de végétation des espèces forestières et les paramètres climatiques sont fréquemment utilisées afin de déterminer les essences les mieux adaptées à un contexte climatique donné pour le reboisement, ou pour la connaissance de leur autoécologie. Ce type d'étude connaît depuis quelques années un regain d'intérêt, en particulier dans le cadre de l'étude de la réponse de la végétation à un changement climatique. Les modifications du climat, et plus particulièrement le réchauffement, peuvent se répercuter sur le cycle phénologique des essences, et modifier la durée de la saison de végétation **Differt (2001)**.

Le climat Méditerranéen est caractérisé par une sécheresse estivale pouvant durer plusieurs mois, tandis que la période humide de l'année se concentre autour d'un maximum en décembre-janvier et qui coïncide avec des températures basses **Daget (1977)**. Afin de s'adapter à l'alternance des saisons, et notamment aux variations du régime thermique et du bilan hydrique, les plantes ont développé des systèmes de régulation. L'hiver est la période de repos : elles sont alors résistantes aux basses températures grâce à une faible activité biologique. En début et en cours de la saison de croissance, les plantes sont sensibles aux gelées. Durant l'été, la fermeture des stomates intervient pour éviter le dessèchement de la plante par suite de la grande demande climatique (fortes températures). Les arbres dénotent ainsi une étroite adaptation des populations naturelles à leur situation climatologique locale.

Pour la région Méditerranée, les spécialistes du climat anticipent au cours du 21^{ème} siècle : une augmentation de la température de l'air de 2,2°C à 5,1°C ; une baisse sensible de la pluviométrie, comprise entre -4 et -27% (**GIEC 2007**, scénario A1B) et une augmentation des périodes de sécheresse se traduisant par une fréquence élevée des jours au cours desquels la température dépasserait 30°C (**Giannakopoulos et al. 2009**). Ces perturbations climatiques pourraient ainsi se superposer et amplifier les pressions liées aux activités humaines déjà existantes sur l'environnement naturel et tout spécialement en zones méditerranéennes les plus vulnérables qui sont celles de l'Afrique du Nord voisines des zones désertiques **Plan Bleu (2009)**.

La végétation actuelle est le résultat d'interactions complexes entre la flore, le climat, les conditions édaphiques et la nature et la fréquence des perturbations d'origine anthropiques. Face aux changements climatiques dus à l'élévation de CO₂, **Wullschleger et al. (2002)** identifie quatre types de réponse de la végétation : une augmentation de la production de fines racines, une diminution de la conductance stomatique, une augmentation de l'efficacité d'utilisation de l'eau et un ajustement osmotique permettant une meilleure résistance à la déshydratation. Ces réponses peuvent être bénéfiques en période de sécheresse. Des études réalisées sur les espèces forestières de la méditerranée du Nord (dont le chêne vert) ont relevé que face au stress hydrique, il y a un changement de la quantité de feuilles produites, de celles qui meurent, de la durée de vie des feuilles, de l'épaisseur de la feuille et de sa densité (augmentation de la capacité photosynthétique par unité de surface et meilleure résistance mécanique à la déshydratation) **Niinemets (2001)** ; **Paula et Pausas (2006)** et **Sperry et al. (2002)**. Il semblerait que, sur le long terme, ce soit la capacité des arbres à résister aux conditions défavorables qui contrôle leur fonctionnement en conditions favorables, plutôt que l'inverse **Limousin (2009)**.

La végétation joue aussi un rôle climatique du fait des échanges de chaleur, eau et gaz avec l'atmosphère et des conditions microclimatiques qu'elle crée.

Dans le Moyen Atlas tabulaire, la cédraie garantie par son couvert, l'existence d'une réserve d'eau estivale accessible aux semis même sur des sols à faible capacité hydrique et Lecompte & Lepoutre (1975) concluent que la forêt doit son existence à son ombre.

1.2.2 Saison de croissance des végétaux

La période de végétation peut être considérée comme l'expression d'une valeur climatique. Dans les régions où le facteur hydrique n'est pas limitant, la période de végétation est considérée égale au nombre de jours de l'année dont la température moyenne de l'air ou la température minimale est égale ou supérieure à un certain seuil de végétation.

Dans le Moyen Atlas, le seuil thermique retenu varie selon les auteurs, les espèces étudiées et les régions d'études. Il est généralement compris entre 2°C et 10°C pour la température moyenne dans le Moyen Atlas. **Primault (1990)** fait coïncider le début théorique de la période de végétation à la suite de 7 jours consécutifs où la température de l'air est supérieure ou égale à 5°C. Les arbres présentent des signes cachés de « réveil » avant que des phénomènes visibles (le débourrement) n'apparaissent **Primault (2000)**.

En région méditerranéenne, la limite inférieure de la saison de croissance coïnciderait avec une température moyenne de l'air $\geq 10^\circ\text{C}$ tout en défalquant les mois pour lesquels la pluviosité (P) est inférieure à deux fois la température moyenne mensuelle (2t) en degré centigrade **Pardé (1959)**. **Donadieu (1977)** propose d'utiliser la moyenne de la température minimale mensuelle et fixe le seuil à $m \geq 6^\circ\text{C}$.

La grandeur thermique à tout point de la surface de la terre étant dépendante de la latitude et de l'altitude, certains auteurs ont exprimé la durée de la période de végétation, comme le nombre de jours dont la température est supérieure à $+ 6^\circ\text{C}$ par les équations (**in Differt 2001**).

- ✓ $N = 524.18 - 5.85 \cdot L - 0.000365 \cdot L \cdot H$ et
- ✓ $N = 510 - 5.75 (L + H/100)$.

Dans ces deux formules :

- **N** = longueur de la saison de végétation calculée en jours ;
- **L** = Latitude en degré et décimales ;
- **H** = altitude en mètre.

Pour définir la saison sèche, nous allons utiliser aussi bien la définition du mois sec selon Gaussen que la notion de réserve hydrique utile de survie (RUS).

1.2.3 Réserve hydrique du sol

La réserve utile en eau d'un sol (RU) est la quantité d'eau que le sol peut absorber et restituer à la plante. La RU est autrement dit la différence entre l'humidité à la capacité au champ et l'humidité au point de flétrissement permanent. La RU est composée pour 2/3 de RFU (Réserve Facilement Utilisable) et pour 1/3 de RDU (Réserve Difficilement Utilisable ou réserve de survie) (https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9serve_util%C3%A9e_en_eau_d%27un_sol).

Plusieurs auteurs l'ont calculé, mais, le modèle le plus utilisé surtout en région méditerranéenne reste celui de **Thornthwaite** pour estimer la réserve utile en eau dans le sol.

La réserve utile de tout sol est fonction de sa texture. Ainsi la RU varie entre 70 mm pour un sol sableux et 220 mm en limon argileux voir 350 mm pour une tourbe **Le Houérou (1995)** ; **Jabiol et al. (2009)** et **Gis sol (2011)**. **Thornthwaite** propose de considérer une RU Maximale = 100 mm. Les arbres forestiers peuvent se procurer de l'eau à plus d'un mètre et demi de profondeur (**Bréda N et al. 2002**). Dans l'étude du bilan hydrique des écosystèmes forestiers, il est proposé de considérer une RU = 150 à 200 mm **Delarozière-Bouillin (1971)** et **Carrega (1988)**.

1.2.4 Saison estivale sèche selon Gaussen et taux de saturation hydrique du sol

Tous les éléments du climat agissent en même temps pour former un milieu climatique.

Pour estimer rapidement l'influence des principaux éléments, divers systèmes sont proposés. Les plus utilisés en région méditerranéenne sont : Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN et le climagramme pluviométrique d'EMBERGER. Ces deux systèmes résument le bioclimat d'une station donnée par trois éléments fondamentaux du climat : précipitations (mm)-températures maximales et minimales (°C).

BAGNOULS et GAUSSEN (in STEWART, 1969) ont établi des diagrammes ombrothermiques pour évaluer la durée et l'intensité de la saison sèche pendant l'année. Ils se sont basés sur la formule $P=2T$ °C ; les mois secs sont définis, quand la courbe des précipitations est située au-dessous de celle des températures moyennes.

Ces graphiques permettent de suivre facilement la suite des saisons et l'importance de leur sécheresse. Mais, ils présentent l'inconvénient de ne pas faciliter la comparaison entre les stations.

Le diagramme ombrothermique de **GAUSSEN et BAGNOULS** est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèche et humide de l'année, où sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (**P**) et les températures (**T**), avec $P=2T$.

La période humide c'est là où la moyenne de précipitation est supérieure à la moyenne de température. La période sèche est celle qui a une moyenne de précipitation inférieure à la moyenne de température.

Plusieurs études ont été menées dans la région du Moyen Atlas et qui permettent de montrer très clairement la situation de cette région dans le diagramme ombrothermique de Gaussen dont la plus récente est celle menée par **Hamza ZINOUN et Mohamed Bachir ALAMI en juillet 2017** pour leur mémoire de fin d'études portant sur la Monographie climatologique de la région de Meknès appartenant au Moyen Atlas. Selon les conclusions issues de cette étude, la réalisation du diagramme ombrothermique a défini deux périodes : humide qui s'étend d'Octobre à Avril et période sèche qui va du mois de Mai au mois de Septembre dans la région étudiée. Même si on ne pourra pas généraliser les conclusions de ladite étude à tout le Moyen Atlas, mais ça reste quand même une référence en la matière.

1.3 : Bilan hydrique, hydrologique et caractérisation climatique du Moyen Atlas

Les ressources en eau sont un bien précieux pour le développement économique des sociétés et pour satisfaire les besoins vitaux des populations en termes d'eau potable et en termes de production alimentaire. La répartition géographique des ressources et des demandes en eau est inégale au Maroc. Le territoire marocain relevant du climat méditerranéen est constitué de régions hyper arides, arides et semi-arides à hauteur de 90% (**Le Houérou, 1996 ; Mokhtari et al. 2014**). Les zones per humides, humides et subhumides se cantonnent essentiellement dans les chaînes de montagnes Atlasiques et Rifaine.

Le Moyen Atlas qui s'étend entre le nord de la ville de Béni Mellal et le sud de Taza, sur une longueur de 350 km avec une superficie de 23000 km², a de tout temps été considéré comme le château d'eau du Maroc.

L'importance des apports en eau et la relative régularité des débits des cours d'eau, qui prennent naissance dans le **Moyen Atlas** (Sebou, Oum Er-Rbia et Bouregreg) et l'Oued Moulouya, a conduit les pouvoirs publics à réaliser des ouvrages hydrauliques pour l'alimentation hydrique domestique et pour le développement agricole.

Au Maroc, la production d'eau potable pour les populations a été multipliée par 4 entre 1970 et 2005. Le développement des activités touristiques est pour beaucoup dans cette augmentation (**WTO, 2002 ; Milano 2012**). Depuis 1950, le secteur agricole est en croissance linéaire. Les surfaces irriguées ont augmenté, entre 1993 et 2003, d'environ 4,5% par an Maroc (**Oubalkace, 2007**), tandis qu'elles ont diminué d'environ 25% dans les pays méditerranéens européens, en particulier en Italie (**Garrido & Iglesias, 2006**).

Le Moyen Atlas compte dans l'aire géographique de Béni Mellal – Khénifra – Ifrane plusieurs lacs naturels (Aguelmame Aziza, Ouiouane, Aguelmame Sidi Ali, Dayet Hachlaf, Dayet Aoua...) dont les niveaux et les étendus ne cessent de se réduire au fil des années (**Mokrim 2008 ; Sayad et al. 2001**) avec toutes les conséquences biotiques et abiotiques tant sur les plans écologiques (biodiversité, niches écologiques, climat local et stationnel) qu'économiques (tourisme, alimentation en eau des populations et du bétail...).

Sur les cent dernières années, une hausse significative des températures d'environ $0,74^{\circ}\text{C} \pm 0,18^{\circ}\text{C}$ a été observée sur la surface du globe (**Smith & Reynolds, 2005 ; Lugina et al. 2005 ; Brohan et al. 2006**). Cette hausse est liée à la variabilité climatique terrestre mais est amplifiée par l'activité anthropique.

L'Afrique de l'Ouest, avec une hausse des températures de $0,3$ à $0,7^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$ sur la période 1970–2004 et la plus forte diminution de précipitation enregistrée de l'ordre de $7,5\%$ par décennie sur la période 1900–2005, par rapport à la normale 1961–1990 (**IPCC 2007**). Une expansion des surfaces arides de plus de moitié y a également été estimée (**Dai et al. 2004**).

L'ensemble de ces perturbations a modifié les écoulements de surface. Sur la période 1971–1998, en comparaison avec la période 1900–1970, les écoulements ont diminué en région méditerranéenne (**Buffoni et al. 2000 ; Xoplaki et al. 2004 ; Giorgi et Lionello 2008**) en association avec une diminution des précipitations et au développement des barrages dans certains bassins versants méditerranéens (**Margat & Treyer 2004 ; Margat 2008 ; Milly et al. 2005**). **Oki et al. (2003) et Shen et al. (2008)** mettent, au contraire, en évidence l'impact de la forte croissance démographique sur la dégradation du stress hydrique, en particulier dans les pays du Maghreb et du Proche Orient. Selon les estimations de **Droogers et al. 2012**), à l'horizon 2050 les ressources en eau disponibles dans ces régions, devraient diminuer d'environ $0,6\text{km}^3$ chaque année tandis que les demandes totales en eau pourraient atteindre $393\text{ km}^3/\text{an}$ (contre $260\text{ km}^3/\text{an}$ aujourd'hui).

Tous les auteurs s'accordent que le **Maroc** sera soumis à des changements climatiques tant au niveau des températures que des précipitations. Avec des augmentations prévues de la température de 2 à 4°C et une réduction des précipitations en hivers et au début du printemps (**M'hirit et Et-tobi 2009**), (**Anonyme 2001**), quel impact y aurait-il sur les apports en eau au niveau de ces cours d'eau et quelle sera la réponse des écosystèmes forestiers, [notamment au niveau du Moyen Atlas ?](#)

Avant de chercher les réponses à ces questions, il nous semble judicieux de commencer par faire un état des lieux du bilan hydrologique et hydrique établis à partir des données climatiques.

L'activité physiologique des écosystèmes forestiers au Maroc se déroule entre un stress thermique en hivers où la chute des températures impose une dormance ou un arrêt de l'activité des tissus méristématiques. En été, le bilan hydrique déficitaire impose un ralentissement voire un arrêt de l'activité de croissance au niveau de ces écosystèmes.

Pour appréhender le bilan hydrologique et hydrique, nous avons considéré les données mensuelles des précipitations et de la température de 28 sites météorologiques relevant du domaine moyen Atlasique. Nous avons quantifié la demande climatique en eau (ETP), l'évapotranspiration réelle, le déficit, l'excédent hydrique mensuels et annuels et le rapport ruissellement infiltration pour chacune des stations considérées. La variabilité de ces paramètres en fonction des données topographiques (altitude, exposition) et de position géographique (latitude, longitude) est également abordée.

1.4 : Changement climatique : synthèse et impact potentiel sur les arbres forestiers

Nous rappelons ici que ce volet de la présente étude est traité exclusivement en se basant sur la ou les bibliographie(s) existante(s) sur le Maroc de façon générale et sur le Moyen Atlas en particulier. Tous les volets qui découlent ici sont issus soit des études Doctorales menées par plusieurs auteurs ou autres travaux de recherches utiles sur la zone d'étude par des imminents chercheurs en la matière.

Le but principal de ce volet de notre étude est de mettre en relief un lien direct entre le climat, le changement climatique et l'évolution des écosystèmes forestiers de la région du Moyen Atlas, en particulier le Cèdre de l'Atlas.

1.4.1 Introduction

Dans la zone Méditerranéenne, la plupart des scénarios sur les projections climatiques, durant le XXI siècle, concourent vers une augmentation de la température de 1,8 à 4°C et vers l'augmentation du stress hydrique estival pour les arbres forestiers. **Les espèces forestières au Maroc** sont adaptées au stress hydrique en été et au stress thermique en hivers par des modifications phénologiques et par une latitude génétique. La forte anthropisation des espaces forestiers Marocain soumet déjà ces peuplements dans la situation du futur changement climatique (tassement et compactage des sols et influence sur la réserve en eau de ces sols). Mais, si cet impact humain ne baisse pas d'intensité, les peuplements forestiers seront contraints de migrer spatialement ou vont dépérir le cas échéant.

Le changement climatique va également amplifier la contrainte de disponibilité hydrique pour l'homme et ses activités économiques, d'où l'urgence de désigner les peuplements forestiers, dans les zones montagneuses et tout spécialement **au niveau du Moyen Atlas**, pour la production et l'amélioration de la qualité d'eau. En parallèle à cette désignation, il s'impose d'adopter une gestion forestière adaptée aux risques que constituent les futurs changements climatiques.

Les perspectives du changement du climat prévoient une réduction des précipitations, une augmentation de la température et de la fréquence des événements extrêmes combinés avec le changement des rythmes saisonniers (DAVI, 2015). Les **prévisions pour le Maghreb** indiquent que les diminutions des précipitations peuvent atteindre jusqu'à 50% alors que l'augmentation des températures peut dépasser 5°C en 2100 (ROUSET et ARRUS, 2006). **Les analyses des tendances actuelles du climat, pour le Maroc**, montrent un réchauffement global moyen de 1°C et une baisse significative des précipitations variant entre 3 à 30% selon les régions. A la fin de ce siècle, on prévoit une augmentation de la température moyenne estivale de 2 à 6°C et une régression moyenne des précipitations de 20% (ANONYME, 2014). Les disponibilités hydriques des sols peuvent en outre diminuer sous l'effet de l'augmentation des phénomènes d'évapotranspiration. Ces nouveaux aléas auront des impacts négatifs sur les écosystèmes forestiers marocains (BENZIANE et al., 2010), l'évolution du comportement et des interactions entre espèces et la multiplication des facteurs de risque tels que les incendies et les stress biotiques (DEMARTEAU et al., 2007 ; ALLEN et al., 2010). Les impacts vont toucher plus fortement les espèces forestières maritimes de montagne qui sont plus exigeantes sur le plan hydrique (ZINE EL ABIDINE, 2003 ; RHANEM, 2011 ; ZINE EL ABIDINE et al., 2013).

Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica M.*), essence noble de l'Afrique du Nord, est, en raison de son tempérament écophysique (AUSSENAC et GRANIER, 1978 ; FINKELSTEIN, 1981 ; AUSSENAC et VALETTE, 1982 ; AUSSENAC et FINKELSTEIN, 1983 ; AUSSENAC, 1984 ; DUCREY, 1994 ; ZINE EL ABIDINE et al., 2013) vulnérable aux perspectives du changement du climat (DEMARTEAU et al., 2007), notamment chez les populations marginales qui montrent déjà un dépérissement avancé (ZINE EL ABIDINE et al., 2013).

Parmi les espèces forestières résineuses qui pourraient être utilisées dans les sites défavorables au cèdre dans son aire de distribution naturelle d'origine figurent, en raison de leur écologie, le pin maritime de montagne (*Pinus pinaster var. maghrebiana*) et le cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica*) (BENABID, 2000).

Le pin maritime de montagne qui se développe à la limite inférieure des cédraies paraît plus résistant à la sécheresse (NGUYEN et LAMANT, 1989 ; GUEHL et al., 1995 ; LOUSTAU et al., 1995). De même, le cyprès de l'Atlas, endémique du Haut-Atlas, est reconnu aussi comme une espèce xérophile à large amplitude écologique (DESTREMEAU, 1974 ; BELLEFONTAINE, 1979 ; BENABID, 2000).

1.4.2 Changement climatique global et méditerranéen

La réalité d'un réchauffement climatique inéluctable lié principalement aux émissions de gaz à effet de serre par les activités humaines ne fait presque plus débat aujourd'hui. Les différents modèles climatiques prévoient une augmentation de la température moyenne annuelle de 1,8 à 4°C d'ici 2100 en tenant compte des incertitudes et de différents scénarii de politique internationale de lutte contre ce réchauffement GIEC (2007). Le quatrième Rapport d'évaluation du GIEC estime que le réchauffement prévu s'élèvera d'environ 0,2°C par décennie pendant les deux prochaines décennies, et la plupart des scénarios montrent une augmentation de la température annuelle supérieure à 2°C d'ici 2080 vis-à-vis de la moyenne des températures de 1960 à 1990 (Lindner et al. 2010).

Au niveau global, en voici quelques extraits des discours des dirigeants Africains lors de la COP 21 à PARIS en 2015 :

« À ceux qui pensent encore que les conséquences du changement climatique sont lointaines, la Guinée et ses voisins ont malheureusement apporté la preuve du contraire avec l'épidémie Ebola. Le risque pour la santé humaine s'inscrit en droite ligne des bouleversements de notre environnement. Si l'homme ne protège pas son environnement, il risque d'en être la première victime »
« **Alpha Condé** » **Président de la République de Guinée.**

« Nous n'avons nul besoin de démonstrations scientifiques sur le changement climatique, car nous le vivons déjà. » « **Macky Sall** »
Président du Sénégal.

« La solidarité avec les pays en développement (...) doit être intégrée à la COP et les financements renforcés de manière significative. » « **Jacob Zuma** » **Président de l'Afrique du Sud.**

« Le lac Tchad se meurt et le fleuve Niger s'ensable. Une augmentation de températures de 2 degrés dans le monde se traduira pour l'Afrique par une hausse de 3,5 degrés, et pour le Niger de 5 degrés. » « **Mahamadou Issoufou** » **Président du Niger.**

« Le Cameroun, faible émetteur de GES, entend poursuivre sa contribution. Nous devons sauver les forêts du bassin du Congo, nous devons sauver le 2^{ème} poumon de la planète. » « **Paul Biya** » **Président du Cameroun.**

« L'accord qui se dessine ne se fera pas sans l'Afrique, nos priorités doivent y figurer. » « **Alassane Ouattara** » **Président de la Côte d'Ivoire.**

« La faute incombe principalement aux pays développés, aux pays pollueurs, qui n'ont jamais accepté d'assumer leurs responsabilités. » « **Denis Sassou Nguesso** » **Président du Congo.**

« Notre objectif est de représenter le continent africain et de défendre ses droits légitimes au développement. Nous ne saurions accepter que l'on braque toute l'attention sur l'atténuation et non sur l'adaptation. Il est important que cet accord inclue des objectifs chiffrés sur l'adaptation et qu'il soit juridiquement contraignant. » « **Abdel Fattah al-Sissi** » **Président de l'Égypte.**

« Aujourd'hui, la responsabilité nous impose de faire preuve de suffisamment de volonté politique face au changement climatique. »
« **Habib Essid** » **Représentant du Président Tunisien.**

« **Le continent africain mérite une attention particulière. Prenons garde à ce que ces pays n'aient pas à choisir entre le progrès économique et la protection de l'environnement** », son altesse le Prince « **Moulay Rachid** » **au nom de sa Majesté le Roi du Maroc.**

Au cours du XX^{ème} siècle, les températures ont déjà augmenté en moyenne de plus de 1°C dans le Sud-Ouest de l'Europe sous l'effet du changement climatique (1°C à Chypre (**Price & al. 1999**) et en Espagne orientale (**Pinol & al. 1998**) et la moyenne des températures minimales du mois le plus froid de l'année a augmenté de 2°C à Marseille (**Rathgeber & al. (1999)**). Dans certaines régions du Sud et de l'Est du bassin méditerranéen, on a aussi observé un recul des précipitations qui peut aller jusqu'à 20%. Les changements climatiques en cours devraient se poursuivre et s'intensifier durant les prochaines décennies dans toute la région, à l'horizon 2100, des températures qui devraient augmenter et des précipitations qui pourraient diminuer de 4% à 30% **FAO (2013).**

Le bassin méditerranéen présente à ce niveau l'intérêt d'une assez grande convergence des prévisions et donc de pouvoir avancer des hypothèses qualifiées de très probables. Ce sont ainsi une forte augmentation de la température moyenne annuelle, surtout des températures maximales estivales, et une diminution des précipitations, surtout en été, en quantité et en nombre de jours de pluie qui sont attendues (**Jacq, 2008**). Il en résultera nécessairement un risque accru de sécheresse estivale et une diminution du débit des fleuves méditerranéens, c'est-à-dire une accentuation importante des contraintes climatiques spécifiques au climat méditerranéen (**Hulme et al. 2002 ; Ragab and Prudhomme 2002 ; Agoumi 2003**).

Un pays est considéré comme en état de stress hydrique lorsque des retraits représentent plus de 20% des ressources en eau renouvelables **Falkenmark et Lindh (1976)**. **Giannakopoulos et al. (2005)** résument les projections pour l'Afrique du Nord et le Proche-Orient de la région méditerranéenne sur la base de scénarios des changements climatiques comme suit :

- Les températures moyennes et maximales enregistreront une augmentation nettement plus importante en été (jusqu'à 4°C) et une hausse légèrement supérieure à l'automne (2-3°C), avec une augmentation de moins de 2°C en hiver et au printemps.
- Le nombre de journées chaudes ($T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$) et de jours d'été ($T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$) augmentera de manière différente selon les sous-régions. La hausse la plus forte sera observée dans les zones intérieures, avec un mois supplémentaire de journées chaudes et un mois supplémentaire de journées d'été.
- Le nombre de nuits de gel ($T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$) diminuera de 1 à 2 semaines le long de la côte et d'un mois à l'intérieur, alors que le nombre de nuits très froides ($T_{min} < -5^{\circ}\text{C}$) passera par une légère tendance à la baisse. Il semble qu'il y aura une diminution de 50% du nombre des journées les plus froides, principalement dans la partie sud-est de la méditerranée.
- Une augmentation du nombre de journées sèches ($PP < 0,5 \text{ mm}$) est prévue et sera de deux ou trois semaines dans le **Maghreb (Maroc, Algérie et Tunisie)**. **Au Maroc**, les épisodes de sécheresse prolongée en été seront courants, avec une augmentation de 2 à 4 semaines, tandis que des modèles incongrus sont apparus dans les scénarios concernant la prolongation de la saison sèche vers le printemps.

Les conséquences exactes des changements climatiques sur les milieux naturels, et plus particulièrement sur les espaces boisés, sont encore incertaines et objets de nombreux travaux. Les prévisions concernant les changements des régimes et hauteur de précipitations restent beaucoup plus délicates à interpréter, et varient assez nettement d'un modèle à l'autre (**Déqué & al. 1998**). Malgré ces incertitudes considérables, une augmentation notable des déficits hydriques est prévue, motivée davantage par la hausse des températures que par la réduction des précipitations (**Ohlemüller et al. 2006**). La contrainte hydrique joue à la fois sur la croissance en hauteur et en diamètre des arbres. Mais, Il existe encore peu de données chiffrées qui quantifient l'impact de modifications du bilan hydrique sur la production ligneuse **Breda et al. (2000)**.

A l'échelle de la planète, les forêts couvrent actuellement 30% des terres émergées (**FAO, 2006**). Dans de nombreuses régions, celles-ci subissent des transformations rapides sous l'effet des impacts de la pression démographique et de l'essor économique. Le changement climatique au cours des cinquantes dernières années a touché plusieurs aspects de ces écosystèmes y compris la croissance des arbres et leur dépérissement, les distributions d'espèces indigènes, la prolifération d'espèces envahissantes, les modèles saisonniers dans les processus d'écosystèmes et les dynamiques de population d'espèces forestières, les insectes et pathogènes, mais aussi les relations plantes – parasites (**GIEC, 2007**).

1.4.3 Changements climatiques au Maroc

Le Maroc a connu dans le passé des périodes récurrentes d'intense sécheresse (sécheresse de 6 années telle que celle de 1979-84 a eu lieu tous les 455 ans). Les sécheresses de courtes durées (moins de 2 ans) s'observent tous les onze ans **Stochton et al (1986)** ou tous les 5 à 6 ans **Mokrim (1990)**.

L'examen des années de sécheresse vécues par le pays durant le 20^{ème} siècle fait ressortir une fréquence et une durée plus élevées et une extension spatiale plus importante des sécheresses entre 1982 et 1996 : cinq épisodes de sécheresse au Maroc sur les douze du siècle ont eu lieu en effet durant cette période. Les trois années agricoles 1944-45 ; 1982-83 et 1994-95 comptent parmi les années les plus sèches des séries climatologiques disponibles. L'année 1982-83, reste la plus sèche à la vue de son bilan global fortement négatif de -43,7% contre -39,7% pour 1992-93 et -36,5% pour 1994-95.

L'étude du comportement thermique et pluviométrique enregistrés à la station de Casablanca pour la période 1911-1989 **Agoumi et al (1991)** montre que pour les températures moyennes mensuelles 5 intervalles se distinguent :

- La période des années 1911-31 est caractérisée par de faibles fluctuations thermiques ;
- La période des années 1932-50 présente un réchauffement considérable ;
- La période des années 1951-66 se caractérise par un léger refroidissement ;
- La période des années 1967-73 présente un refroidissement remarquable ;
- Depuis 1974, la période est caractérisée par un réchauffement très net.

L'évolution thermique relevée pour la période 1911-1989, montre une augmentation de la température moyenne mensuelle de 0,5°C. Le rapport de **l'IPCC 1995** : sur la période 1920-1993 relève une tendance au réchauffement dans le Nord (de 0,1°C par décennie). Dans le sud, on note un léger refroidissement de 0,05°C par décennie.

L'analyse des précipitations permet de distinguer globalement cinq périodes :

- La période 1911-30 se caractérise par une diminution des précipitations ;
- La période 1931-41 se distingue par une augmentation progressive des précipitations ;
- De 1942-62, on assiste d'abord à une chute considérable des précipitations entre 1942-51, puis une augmentation des précipitations de 1951 à 1962 ;
- De 1964 à 1978, la tendance globale est à la baisse ;
- Depuis 1979 la pluviométrie reste à un niveau assez bas.

Cette analyse confirme le caractère aléatoire et extrêmement discontinu dans le temps des précipitations au Maroc et ne relève aucune évolution significative des précipitations à Casablanca entre 1911 et 1989. Mais le rapport de **l'IPCC 1995** estime qu'il y a un déficit en précipitations dans tout le pays entre les années 50 et 90 avec des pourcentages de l'ordre de 10% au Nord et davantage dans le sud et sud-ouest. Le cumul des précipitations a connu une baisse d'environ 30% durant 1978-94 par rapport à la période 1961-77.

L'analyse de l'évolution des températures moyennes mensuelles des minima de la station d'Ifrane entre 1981 et **2006 Mokrim (2008)** montre :

- Une tendance à l'augmentation des températures pour l'ensemble des mois de l'année, exception faite du mois de février qui affiche une faible tendance à la baisse statistiquement non significative ;
- Le mois de juin affiche le gradient, d'élévation de la température, le plus élevé suivi par les mois de mars, de mai et de novembre ;
- Les mois d'octobre, de décembre, de janvier, d'avril et d'août présentent la même grandeur du coefficient de régression simple de + 0,07 ;

- Les mois de septembre et juillet affichent les plus faibles tendances à l'augmentation des températures minimale.

La moyenne des précipitations annuelles au niveau de la station d'Ifrane figure ci-dessous est de 1100 mm/an pour la période 1930-1980. Sur la période 1970-2006, cette moyenne est de 927 mm/an contre 886 mm/an pour la période 1981-2006 **Mokrim (2008)**. Entre la moyenne de 1930-80 et celle de 1981-06, on relève une baisse de 214 mm/an ce qui représente une baisse de 24,2% de la moyenne de la pluviométrie annuelle durant les trois dernières décennies. Le nombre de jours de pluie au niveau de la station d'Ifrane est de 91 jours par année. Ce nombre est de 17 ; 28 ; 28 et 18 jours respectivement pour la saison d'automne, d'hiver, de printemps et d'été. L'analyse de la tendance du nombre de jours pluvieux durant les derniers 26 ans, montre une légère tendance à la baisse pour la saison de printemps. Au niveau des autres saisons, aucune tendance n'est décelable.

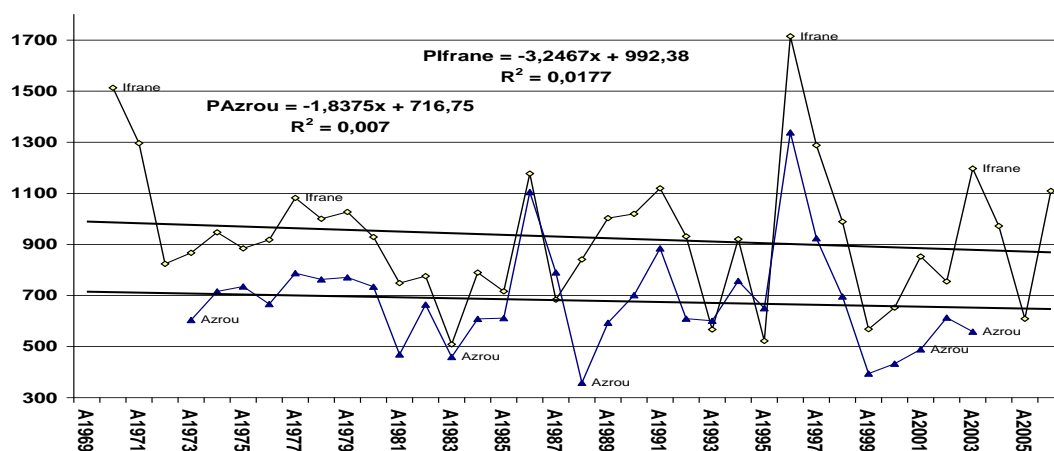


Figure 1: Evolution des précipitations annuelles dans les stations d'Ifrane (altitude 1600 m ; période 1970-2006) et d'Azrou (altitude 1200 m ; période 1973-2003) (Mokrim, 2008)

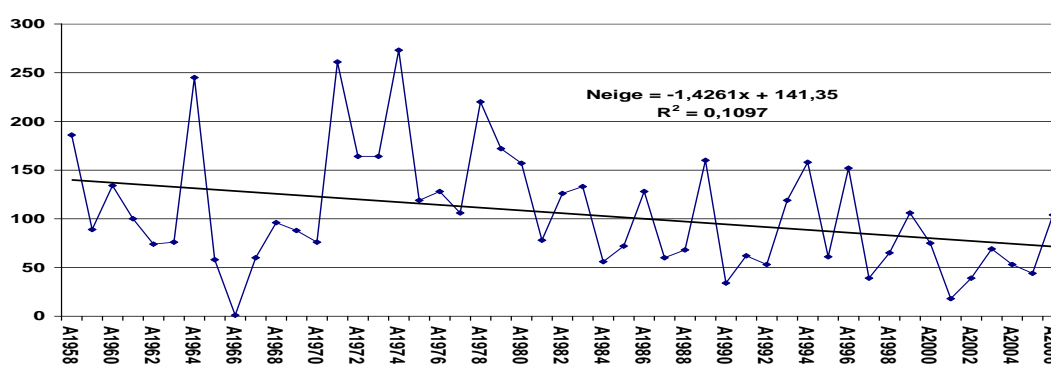


Figure 2: Evolution de la hauteur des précipitations neigeuses (en cm) au niveau de la station d'Ifrane (période 1958-2006)

La baisse des précipitations neigeuses (figure ci-dessus) et pluvieuses semble se concrétiser par une concentration au cours de la saison d'hiver et vers une baisse de ces précipitations durant la saison de printemps (importante saison dans le cycle de croissance des arbres).

Cette tendance vers la baisse des apports d'eau par les précipitations, la tendance à la hausse des températures et la réduction du taux de perméabilité et d'infiltration des sols (par suite d'un tassement du sol du au surpâturage) ne peuvent qu'avoir des conséquences négatives et directes sur le bilan hydrique au niveau du sol et sur le résultat de la croissance chez les arbres forestiers (cèdre, chêne vert ...).

Dans les montagnes de l'Atlas, la principale source d'eau pour toute la région occidentale du Maroc, certaines stations météorologiques indiqueraient une tendance vers des déficits pluviométriques croissants et la diminution des eaux de ruissellement liées aux sécheresses météorologiques prolongées et éventuellement au changement climatique, ont fortement compromis les disponibilités hydriques, notamment dans le bassin versant de l'Oum Er-Rbia **Chaponnière et Smakhtin (2006) Bannani et al. (2001)**, suggère une diminution de 10 à 15% des eaux de surface et des eaux souterraines au Maroc, en relation avec les changements climatiques.

1.4.3.1 Conséquences du changement climatique antérieur sur les écosystèmes au Maroc

Les études portant sur les impacts des périodes antérieures de changement climatique sur la diversité biologique constituent l'une des sources de données les plus sûres en termes de validation des conséquences écologiques et évolutives des modèles de prévision des changements futurs (**Petit et al., 2005**). Les plantes sont représentées en grand nombre au sein des vestiges paléolithiques et constituent donc des données de haute valeur permettant l'analyse des évolutions climatiques antérieures.

En raison du faible nombre de sites favorables (zones humides telles que des lacs ou des tourbières) permettant la préservation de la matière organique durant plusieurs millénaires, les études palynologiques au Maroc sont beaucoup moins nombreuses qu'en Europe et souvent très partielles ou fragmentaires (**Ballouche et Damblon, 1988**). Dans le contexte marocain, le cèdre de l'Atlas reste le cas le mieux documenté du pays permettant un recul suffisant dans l'histoire du temps et des écosystèmes. Les séquences sédimentaires les plus complètes et les mieux datées sont celles prélevées dans les lacs de Tiguelmamine (**Lamb et al., 1995 ; Cheddadi et al., 1998**) et de Sidi Ali (**Lamb et al., 1999**), **tous les deux situés dans le Moyen Atlas**.

Le sondage dans le lac Tiguelmamine a permis à la fois la reconstitution de l'évolution de la végétation ainsi que le changement climatique durant les 10 derniers millénaires. Les données palynologiques issues de cette étude ont indiqué que durant l'Holocène, les cédraies étaient plus étendues dans le moyen Atlas qu'actuellement. Le cèdre est réapparu dans ces régions autour de 7.000 ans BP et son aire géographique s'est progressivement étendue jusqu'à il y a 2.000 ans.

Toujours selon la même étude, les reconstitutions climatiques dans la région de Tiguelmamine dans le Moyen Atlas ont montré que la température du mois le plus froid (janvier) a oscillé avec une amplitude de 3 à 5°C, et que les précipitations annuelles en ont fluctué de 200 à 400 mm/an durant cette période. Cette étude suggère que l'expansion du cèdre de l'Atlas après 7.000 ans BP a été possible grâce à la baisse des températures hivernales en dessous d'un seuil d'environ 5°C ainsi qu'à une augmentation des précipitations. Le début de l'Holocène (entre 10.000 et 7.000 ans BP) a enregistré des températures d'environ 2°C au-dessus de ce seuil ; ce qui semble avoir empêché l'expansion du cèdre. Ces fluctuations climatiques sont comparables à celles projetées pour le siècle à venir avec la différence principale que le changement prévu se produira dans une

période approximativement 10 fois plus courte. Une augmentation de 3 à 5°C des températures hivernales, pourrait remettre en cause le maintien du cèdre dans cette région du Maroc.

Afin de mieux cerner les changements des aires de distribution du cèdre ainsi que la présence d'éventuels refuges glaciaires et mieux évaluer sa réaction au changement climatique, deux nouveaux sites situés à une centaine de kilomètres du lac de Tiguelmamine ont été étudiés par **Cheddadi et al., 2001** ; il s'agit des lacs (ou dayets) d'Iffrah et d'Iffir. Ces nouvelles données soutiennent fortement la présence de refuges glaciaires dans le **Moyen Atlas**. La localisation d'une ou plusieurs aires refuges dépendra du nombre de sites qui seront étudiés et datés par la méthode carbone quatorze (¹⁴C). L'identification de refuges glaciaires pour le cèdre de l'Atlas constitue un résultat important vis-à-vis de l'impact du changement climatique prévu. Une reconstitution climatique a été également effectuée à partir des données palynologiques issues de la carotte prélevée dans le lac Iffrah. Ces données suggèrent que la cédraie a réagi de façon extrêmement rapide à un refroidissement abrupt d'environ 15°C, mais plutôt de façon tardive à un réchauffement de la même amplitude.

Selon certains auteurs, comme **Omar Mhirit et Mohamed Et-tobi** qui ont mené une étude en **2010**, intitulée « Les écosystèmes forestiers face au changement climatique : situation et perspectives d'adaptation au Maroc » ; ont montré que *l'identification de la réaction des forêts de cèdre à des événements climatiques abrupts et de grande amplitude dans les enregistrements palynologiques est un autre résultat important. Ces nouvelles données paléo-environnementales obtenues montrent que le cèdre de l'Atlas a des capacités de réponse à des bouleversements climatiques de grandes amplitudes. Cependant, ces données montrent qu'une augmentation de température de 2 à 3°C, probablement hivernale, aurait un impact fort sur la distribution actuelle du cèdre de l'Atlas.*

1.4.3.2 Tendances du changement climatique récent au Maroc

Les éléments du climat au Maroc présentent une grande variation géographique ; les moyennes annuelles des précipitations varient de moins de 25 mm dans le Sahara jusqu'à près de 2.000 mm dans le Rif et le Moyen Atlas. La distribution des zones climatiques à l'échelle territoriale (**MATEUH, 2000**) couvre 560.000 km² en zone aride et saharienne (78%), 100.000 km² en zone semi-aride (14%), et 50.000 km² en zone subhumide et humide (7%). L'essentiel du pays est ainsi situé dans le domaine aride caractérisé par un ensoleillement prolongé et de sévères sécheresses. Les températures enregistrent des tendances excessives avec des vagues de gel de courte durée, ainsi que des vagues de chaleur d'origine saharienne (jusqu'à 45°C). Le climat est ainsi caractérisé par une forte irrégularité qui concerne aussi le problème de début de la saison humide et celui de la précocité de la saison sèche ; ce qui détermine l'occurrence ou non de pluies de printemps (**Omar Mhirit et Mohamed Et-tobi, 2010**).

Selon l'indice bioclimatique **De Martonne**, la répartition climatique se traduit, à l'échelle nationale, par un climat semi-humide à semi-aride dans le Nord du pays, tandis que le Sud est plutôt aride à désertique. Les traits généraux du climat marocain s'expriment par une variabilité temporelle et spatiale des précipitations avec des cumuls moyens à faibles, des hivers relativement humides et des étés chauds et secs (**Driouech, 2009**).

L'une des premières observations du changement climatique au Maroc se traduit par une nouvelle configuration de la répartition des bioclimats au niveau du territoire national entre les périodes 1961-1970 et 1991-2000 (**Driouech, 2009**) qui a fait une étude comparative entre ces deux

périodes susmentionnées à travers la cartographie. La comparaison entre ces deux dates a révélé une nette extension de l'aire aride et semi-aride vers le nord et nord-ouest du pays.

Cette progression de l'aridité est accompagnée d'une contraction de l'aire semi-humide et humide déterminée selon l'indice d'aridité de De Martonne [$I = P/(T+10)$], (P: précipitation moyenne annuelle et T°C: température moyenne annuelle). Si la répartition bioclimatique du Maroc a changé durant les trois dernières décennies, cela sous-entend que les paramètres climatiques (températures et précipitations) à l'origine de l'indice de De Martonne ont subi des changements de valeur.

1.4.3.3 Projections futures du climat au Maroc

a) Projections des températures et des précipitations à court terme

L'étude des projections climatiques pour le Maroc corrobore les tendances au réchauffement et à l'aridité du climat marocain. Entre 2000 et 2020, la première communication nationale évalue le réchauffement de 0,6°C à 1,1°C, et prévoit une réduction des précipitations d'environ 4%. L'étude (Alibou, 2002) a été faite à partir de l'état de référence climatique et en utilisant le modèle MAGICC/SCENGEN fourni par le GIEC. La figure ci-dessous offre un résumé schématique des scénarios et projections climatiques appliqués au Maroc par Alibou (2002).

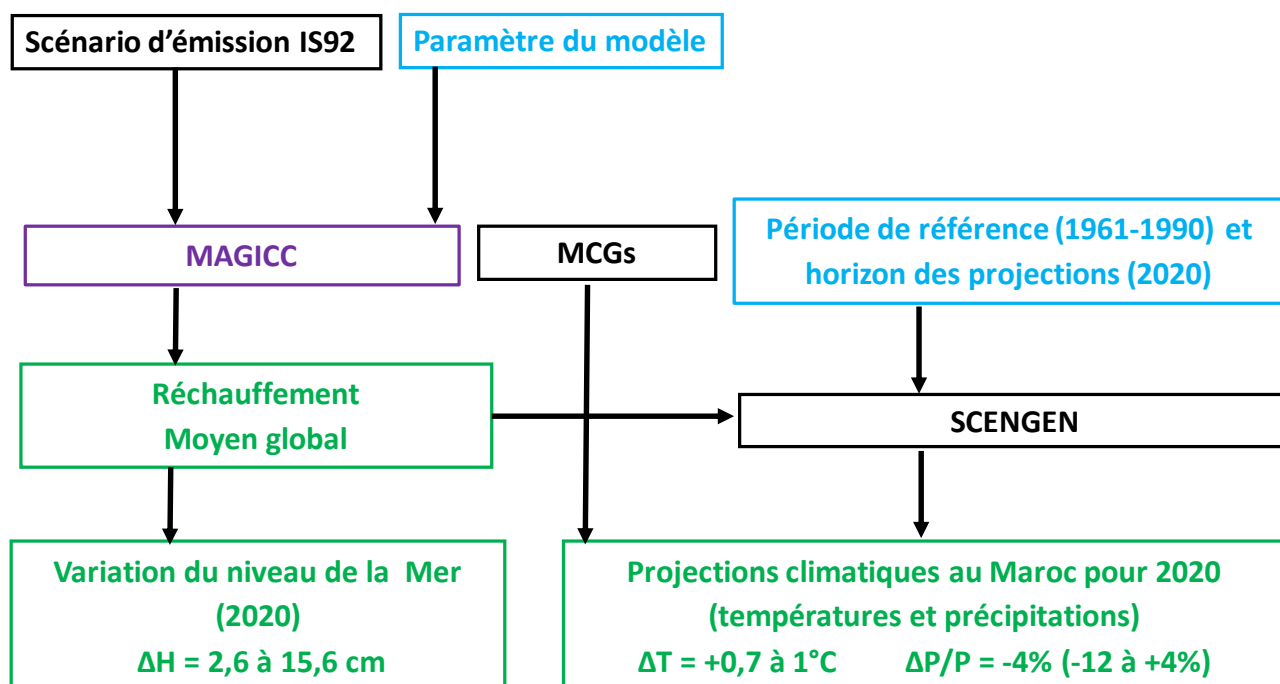


Figure 3: Représentation schématique de la méthodologie du GIEC pour le développement de scénarios climatiques (Alibou, 2002)¹

¹SCENGEN : Scénario Generator ou Générateur de Scénario. MAGIEC : Model for the Assessment of Greenhouse Gas Induced Climate Change ou Modèle d'évaluation des gaz à effet de serre inducteurs de changement climatique.

Les changements des précipitations par contre, présentent de grandes disparités, tant qualitatives (sécheresse ou humidité) que quantitatives (amplitude du changement). On rencontre ainsi des simulations donnant une tendance à l'humidité et d'autres à la sécheresse.

Cependant la plupart des modèles élaborés par **Alibou en 2002**, ont privilégié des tendances à la sécheresse avec des plages de taux de réduction allant de -7% à 0% dans la partie Nord du pays et de -7,5% à +2,8% dans la partie Sud du Maroc.

Les résultats de ces projections à l'horizon 2020 pour le Maroc, se présentent comme suit :

- Une tendance nette au réchauffement de l'ordre de 0,7°C et 1°C,
- Une tendance à la réduction moyenne du volume annuel des précipitations de l'ordre de 4%,

Ces changements auraient un impact sur la fréquence et la distribution des phénomènes climatiques extrêmes, notamment ceux liés au cycle hydrologique, à savoir :

- Une fréquence accrue de l'intensité des orages dans le nord ;
- Une augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses dans le sud et à l'est du pays ;
- Un dérèglement du signal saisonnier des précipitations (moins de jours de pluies et une pluie moins persistante l'hiver), accompagné d'une diminution de l'enneigement.

Cette évolution probable du climat entre 2000 et 2020 aurait également un impact significatif sur le cycle de l'eau et sur la demande et la consommation en eau, notamment pour l'agriculture et les forêts. **Agoumi (2005)** estimait que le débit moyen des eaux superficielles et souterraines baissera de 10 à 15% entre 2000 et 2020.

b) Projections des températures et des précipitations à moyen et long termes

Les prévisions climatiques (**Moksit, 2009**) concordent globalement avec celles du GIEC pour la fin du siècle.

Selon le quatrième rapport du GIEC, les principaux changements projetés pour la fin du siècle au Maroc sont les suivants :

- L'augmentation de la température moyenne au Maroc variera entre +2,5°C et +5,5°C. Elle sera plus marquée durant l'été ;
- L'augmentation des températures maximales et de la fréquence des vagues chaudes ;
- La diminution de nombres de jours frais et de jours de gel ;
- Selon le modèle utilisé, le changement dans les précipitations d'hiver au Maroc variera entre -0,1 mm/jour et +0,25 mm/jour ; celui de l'été entre -0,1 mm/jour et +0,75 mm/jour, induisant en moyenne une diminution de 20% ;
- La tendance vers la diminution de l'humidité du sol ;
- Certains modèles projettent l'augmentation de la probabilité des jours secs et des jours successifs sans pluie. Là où la moyenne des précipitations décroît, la probabilité de sécheresse croit de façon marquée ;
- Les sécheresses deviendront plus longues et plus sévères.

Selon les **tendances du changement projeté pour les températures à l'horizon 2050** au moyen du modèle ARPEGE-Climat (Mokssit, 2009), les augmentations seront plus faibles sur le nord du pays (+0 à 3°C), et s'accroîtront de (+4 à +5°C) vers l'intérieur et le nord sur le Rif, et vers l'est sur la région orientale en passant par les reliefs des Atlas.

Comme pour les projections à court terme, **les précipitations à moyen et long terme**, tendraient vers une diminution des volumes annuels tout en marquant une concentration dans le temps. Cette situation expliquerait la fréquence de plus en plus élevée des inondations et des sécheresses qui affectent le pays ces deux dernières décennies.

C'est dans le nord du pays que les changements seront les plus conséquents. En effet, des taux de réduction entre -12 et -15% des pluies sont prévus pour les précipitations d'hiver, alors que les réductions les plus fortes (entre -12% à -75% sont attendues durant le printemps (Mokssit, 2009).

D'une façon générale, compte tenu des diverses projections, le climat du Maroc apparaît plus aride et chaud avec plus de contrastes régionaux : climat aride et diversifié, précipitations erratiques, et des anomalies thermiques en constante évolution (Mokssit, 2009).

En résumé, la tendance du climat du Maroc à l'assèchement en dépit de ce réchauffement est certainement accompagnée d'une réduction du contenu du sol en eau et donc d'un déficit dans les ressources hydriques (Mokssit, 2009). Cette situation expliquerait les conditions de plus en plus sèches pour les écosystèmes forestiers au Maroc.

1.4.3.4 Conséquences du changement climatique récent au Maroc : cas du cèdre de l'Atlas

1.4.3.4.1 Le dépérissement du cèdre de l'Atlas : phénomène révélateur

L'apparition massive des dépérissements des forêts de cèdre date de l'été 2001 pour les forêts du Moyen Atlas (voir Photo 1). Les premiers travaux sur le dépérissement du cèdre au Moyen Atlas (Et-tobi, 2006a, 2007a, 2007b, 2007c, 2008 ; Derrak et al., 2008 ; Omar Mhirit et al., 2009) ont permis d'évaluer l'importance du phénomène (tableau n°2, figure n°4).

L'importance du phénomène apparaît nettement à travers de près de 40% de surface atteinte de dépérissement et de mortalité. L'intensité est néanmoins différenciée d'un massif forestier à l'autre. Cette intensité est très importante pour la cédraie de Senoual avec près de 49% et Aghbalou Laarbi (62%), entre 31 et 33% pour les cédraies d'Azrou et Bekrit, et relativement faible pour la cédraie de Jbel Aoua Sud (17,47%). L'importance et la répartition aléatoire du dépérissement laissent penser à des causes plutôt physiques liées à des modifications climatiques.

Tableau n° 2 - Importance des dépérissements du cèdre dans le Moyen Atlas

Forêt	Surface totale (ha)	Surface prospectée (ha)	Surface de cèdre (ha)	% de Cédraie	Surface atteinte de mortalité et/ou de dépérissement	% de cédraie affectée
Aghbalou Laarbi	30275	15201	5338	35,12	3322	62,23
Senoual	5923	4874	3891	79,83	1892	48,63
Bekrit	10346	10346	6767	65,41	2272	33,57
Azrou	17806	13763	8679	63,06	2700	31,11
Jbel Oua Sud	7865	7865	1740	22,12	304	17,47
Total	72215	52049	26415	50,75	10490	39,71

Source : Omar MHIRIT, 2009

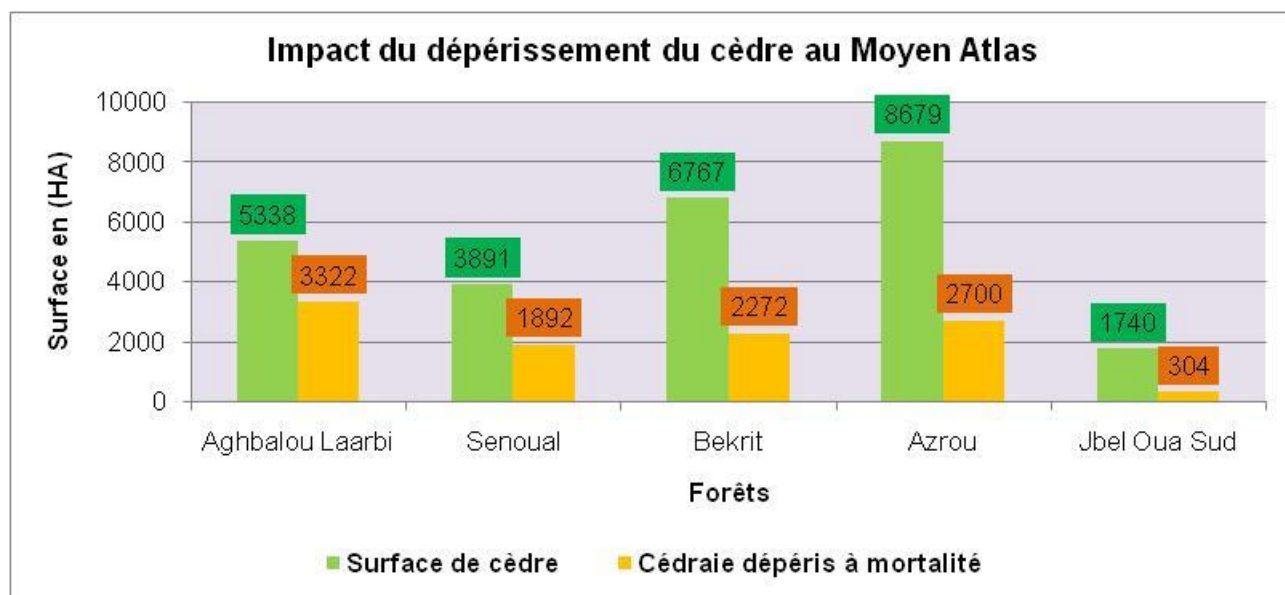


Figure 4: Importance de l'étendue du dépérissement observé pour les principales cédraies du Moyen Atlas (Omar MHIRIT, 2009)



Photo 1 : Jeune cédraie en situation de dépérissement, Forêt d'Ait Youssi Lamekla



Photo 2 : Peuplement de cèdre de l'Atlas en cours de mortalité généralisée dans la forêt d'Azrou au Moyen Atlas

1.4.3.4.2 Observations récentes du changement climatique dans le Moyen Atlas marocain

Dans le cadre de la Convention **FAO/UTF/MOR/028/MOR** « Appui à la mise en œuvre du Programme forestier national - Etude des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas », des analyses bioclimatiques et dendrochronologiques (**Mokrim, 2008**) ont été réalisées en vue d'appréhender la problématique du dépérissement du cèdre. L'accent a été mis sur les évolutions et les tendances des paramètres climatiques, du bilan hydrique et du bilan de la croissance chez le cèdre.

L'analyse des températures, effectuée dans le cadre de cette étude a montré, de manière générale, une tendance légère à l'augmentation des températures moyennes, minimales et maximales de l'ordre de 0,5°C pour la période 1981-2006.

Quant à la pluviométrie annuelle, à Ifrane (**Fig n°1**) plus haut, a enregistré une baisse de 24,2% entre les périodes (1930-1980) et (1981-2006). La fréquence des années déficitaires en pluie est passée de 59 à 77% entre ces deux périodes. La tendance à la baisse des précipitations neigeuses (**Fig n°2**) plus haut est relativement plus marquée que celle de la pluviométrie. Les précipitations comme la neige, semblent tendre vers une concentration au cours de la saison d'hiver et vers une baisse durant le printemps (**Mokrim, 2008**).

Alors que l'évolution inter-annuelle du bilan hydrique, pour la période considérée (1981 et 2006), a montré que ce bilan est largement déficitaire pour la période estivale. La dynamique de l'eau dans le sol, appréciée à travers les prélèvements au niveau de la réserve hydrique des sols ou des dayas, durant les 26 dernières années, est de l'ordre de **6344 mm** pour **Azrou** et de **5486 mm** pour **Hachlaf**. En d'autres termes, le niveau des dayas dans la zone des deux stations (Dayet Hachlaf, Dayet Ifrah...) aurait baissé d'au moins **5,5 m à 6,3 m**.

Les résultats et enseignements de l'analyse bioclimatique et dendrochronologique de cette étude sont résumés comme suit :

- Cinq épisodes de sécheresse sur les douze, qu'a connu le siècle dernier au Maroc, ont eu lieu durant la période 1982 et 1996 ;
- Tendance à l'augmentation des températures moyennes de 0.5°C, durant la période 1981-2006 ;
- Baisse de précipitations de 24% entre les périodes (1930 - 1980) et (1981- 2006) ;
- Fréquence des années sèches de 59 à 77% entre (1930 - 1980) et (1981- 2006) ;
- Tendance à la baisse de la neige plus marquée depuis les années 80 ;
- Concentration des précipitations en hiver et baisse au printemps.

1.4.3.4.3 Conséquences observées sur la croissance du cèdre au Moyen Atlas

Les résultats de l'analyse bioclimatique et dendrochronologique effectuée par Mokrim en 2008 ont permis de retracer l'évolution de la croissance du cèdre depuis 1940 en parallèle à l'évolution des paramètres bioclimatiques dans les cédraies dépérissantes du Moyen Atlas. Cette évolution conjointe se traduit par une concordance des chronologies d'épaisseurs de cernes et des variations dans les paramètres climatiques (bilan hydrique), mais aussi avec les classes de dépérissement ou le degré de stress des arbres.

L'impact de ces changements dans les paramètres du climat s'est traduit par une perte de la vigueur de croissance du cèdre de l'ordre de 30%. Cette perte de vigueur mesurée sur le cerne moyen est passée de 2,01 mm pour la période 1940-2006, à 1,40 mm pour la période 1976-2006.

Les conclusions principales à retenir pour cette étude menée par Mokrim en 2008 sont : la tendance des précipitations pluvieuses et surtout neigeuses tend vers la baisse en valeur absolue et vers une concentration dans le temps, alors que l'augmentation de la température et son impact sur le bilan hydrique et la réduction de la durée de la saison de croissance contribueront à limiter l'activité de croissance chez le cèdre. La persistance et l'amplification de cette limitation constituent des facteurs d'autant plus prédisposant au phénomène du dépérissement que les conditions de station sont moins favorables.

De plus amples détails sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas sont fournis par l'ensemble des rapports de l'étude des causes du dépérissement du cèdre de l'Atlas (Projet FAO/MOR/028/HCEFLCD- Maroc), et les travaux de Et-tobi, 2006, 2007 et 2008 ; Derrak et al., 2008, Mhirit et al., 2008.

1.4.4 Changements climatiques et forêts

De façon générale, la mortalité des arbres dépend de multiples facteurs interactifs, allant de la sécheresse aux attaques d'insectes nuisibles et aux pathogènes, rendant souvent irréaliste la recherche d'une cause unique. Cependant, ce sont les facteurs abiotiques qui sont la base des problèmes de santé de forêt ; le stress climatique demeure considéré en tant que facteur déclenchant pour de nombreuses attaques d'insectes et de maladies (**Desprez-Loustau et al., 2006; Raffa et al., 2008**).

Les conditions climatiques influencent aussi directement la dynamique des populations d'insectes et d'agents pathogènes mycosiques (**Hicke et al., 2006**). En effet, certaines infestations massives d'insectes forestiers ravageurs pourraient être attribuées à des facteurs climatiques (**Raffa et al., 2008**). Indépendamment du mécanisme précis, le dépérissement est souvent un processus non linéaire ; il peut se manifester de manière brusque à l'échelle régionale lorsque les conditions climatiques dépassent les seuils physiologiques de tolérance de l'espèce, ou déclencher des infestations d'insectes nuisibles (**Allen, 2007**).

De nombreux rapports relient la mortalité accrue des forêts à diverses combinaisons climatiques comprenant la chaleur et/ou la sécheresse, comme à titre d'exemple, la sécheresse ayant sévi dans les zones tropicales à la suite d'évènements liés au : phénomène El Niño en 1988 et 1997-1998, le réchauffement persistant et diffus d'une grande partie de l'Amérique du Nord depuis les années 1990, et la sécheresse et vague de chaleur de l'été 2003 en Europe occidentale (**Allen, 2009**).

Des exemples récents de stress et de dépérissement des forêts liés à la sécheresse et à de fortes températures font l'objet de documentation récente dans tous les continents boisés à l'occasion de nombreuses publications. Les travaux d'**Allen (2007)**, et **Allen et al. (2009)** fournissent des détails plus exhaustifs à ce sujet.

L'avenir du changement climatique et son impact sur les forêts ainsi que sur les services et sur les produits ne peuvent pas être prévus de façon certaine, mais, ils peuvent être approchés en utilisant des scénarios basés sur des affirmations possibles à propos de l'évolution démographique, socioéconomique, technique et environnementale.

A cet effet, le **GIEC** a développé des scénarios globaux d'émissions pour les gaz à effet de serre et les aérosols qui correspondent aux scénarios de changement climatique (RSSE). Ils peuvent être rassemblés en quatre groupes basés sur leur modèles d'émission pendant le 21^{ème} siècle : **inévitables, stable, croissance, et croissance rapide**.

Groupes de scénarios utilisés pour prévoir l'impact sur les écosystèmes forestiers :

Groupe I : « Inévitables »

Les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère sont gelées au niveau actuel. Ce scénario ne peut pas être atteint de façon certaine, bien que les émissions progressent à un rythme croissant depuis l'année 2000. Ces scénarios, toutefois, permettent l'évaluation des besoins d'adaptation minimum parce qu'ils révèlent un réchauffement qui ne peut être empêché et qui, à cause de l'inertie du système climatique, prendra place suite aux émissions passées.

Groupe II : « Stable »

Dans les scénarios de ce groupe, les émissions de gaz à effet de serre diminuent au cours du siècle actuel en tant que résultats des changements d'importance socioéconomique qui permettent aux concentrations de CO₂ d'approcher un nouvel équilibre en 2100.

Groupe III : « Croissance »

Dans ces scénarios, les émissions continuent de croître au cours de ce siècle à des taux similaires de ceux de la 2^{ème} moitié du siècle dernier (« pas de changement »). Les concentrations de CO₂ de l'atmosphère continuent d'augmenter pendant des décennies jusqu'à 2100 ; le système climatique atteindra son point d'équilibre dans les siècles suivants.

Groupe IV : « Croissance rapide »

Les scénarios dans ce groupe sont similaires à ceux du groupe de croissance mais ils ont atteint des niveaux sans précédent et dépassent les scénarios du rapport spécial du GIEC.

Selon tous les scénarios et dans les quatre grandes régions biogéographiques, telles qu'elles sont définies par la **FAO**, à savoir les forêts : **boréales, tempérées, subtropicales et tropicales**, le changement climatique devrait affecter la distribution des types de forêts et des espèces d'arbres. De façon globale, l'écosystème des forêts devrait **s'adapter de façon efficace** à l'impact du changement climatique associé aux scénarios des groupes inévitables et stables, mais aura des **difficultés d'adaptation** au changement associé aux scénarios de croissance et de croissance rapide (**Seppälä et al., 2009**).

La biomasse et les sols des forêts contiennent à peu près la moitié de la totalité de carbone des écosystèmes terrestres. Les forêts séquestrent actuellement un peu plus du quart des émissions anthropogéniques totales, ce qui constitue un important **service écosystème** dans le contexte du changement climatique.

Toutefois, selon plusieurs projets de modèles, les services de régulation de gaz carbonique des **forêts actuels pourraient disparaître complètement** avec un **réchauffement global de 2,5°C** ou, de façon plus relative, lorsque tous les écosystèmes terrestres commencent à devenir des sources nettes de gaz carbonique. Ces émissions de gaz carbonique s'additionneraient aux combustibles fossiles entraînant ainsi la déforestation et la dégradation des forêts et exacerbant le changement climatique.

Ainsi, **l'adaptation à elle seule** ne serait pas suffisante pour préserver les services d'écosystèmes fournis actuellement par les forêts et pour diminuer les risques de perte significative de biodiversité. En plus de l'adaptation, l'atténuation qui ralentit le changement climatique reste nécessaire notamment grâce à une large réduction des émissions des combustibles fossiles et à l'arrêt de la déforestation.

Bien que **plusieurs travaux dans les différentes régions du globe** convergent quant à l'augmentation de la température et modification du régime des précipitations (**Bradley et al., 1987 ; Diaz et al., 1989 ; Wang et al., 1992 ; Beniston et al., 1994 ; Brazdil et al., 1995 ; Kukla et al., 1995 ; Brazdil et al., 1996 ; Karl et al., 1996 ; Dessens et Barès, 1996 ; Easterling et al. 1997 ; Balling et al., 1998 ; Klink, 1999 ; Hasenauer et al., 1999**) ; il n'en reste pas moins vrai que de grosses lacunes, non élucidées subsistent (**Lebourgeois et al., 2001**), en particulier : les variations de paramètres telles que la durée d'ensoleillement, le nombre de jours sans pluie, la fréquence des gelées hivernales et printanières, la longueur de la saison de végétation.

Ces paramètres sont discriminants pour la végétation forestière notamment, en ce qui concerne les conséquences sur les évolutions possibles des contraintes hydriques (**Aussenac et Guehl, 1994 ; Aussenac, 2000**), et du rôle majeur du climat pour expliquer les changements récents de croissance et les vagues de dépérissement (variation de l'état des cimes, mortalité...) observés dans différents écosystèmes forestiers à l'échelle du globe (**Becker et al., 1995 ; Badeau et al., 1996 ; Allen et al., 2007 ; Et-tobi, 2006a, 2006b, 2007a, 2007b, 2007c, Et-tobi et al., 2008 ; Et-tobi et al., 2009 ; Allen, 2009**).

Dans la zone méditerranéenne, l'occupation humaine forte et ancienne, a profondément modifié le milieu à travers les activités divers (surtouts agricoles et d'élevage). C'est ainsi une végétation spécifique et adaptée, c'est-à-dire xérophile (adaptée à la sécheresse), thermophile (adaptée à la chaleur) et frugale (adaptée aux sols pauvres) qui s'est installée. Les espèces arborées rencontrées en région méditerranéenne différent de celles présentes ailleurs en Europe sous des conditions de précipitations et de températures moyennes annuelles similaires.

Le changement climatique a un effet bénéfique et néfaste à la fois : la hausse du CO₂ atmosphérique favorise la croissance des arbres en facilitant la photosynthèse mais contribue au réchauffement climatique. Une température plus chaude allonge la saison de croissance mais peut accroître aussi la durée et l'intensité de la sécheresse, avec des effets défavorables. Les changements attendus amplifieraient l'influence de l'eau sur la végétation (composition et répartition). La flore sera inévitablement confrontée à des périodes plus longues de stress hydrique.

Les habitats forestiers et les espèces végétales présentes aux hautes altitudes (espèces de conifères de montagne) ont besoin de disperser leurs graines sur de longues distances, ce qui pourrait être impossible sans un apport humain.

On prévoit la perte locale ou régionale d'un grand nombre d'espèces et de types d'habitats, en raison du changement du climat, notamment dans les zones montagneuses isolées où les espèces n'ont guère de possibilités de trouver des conditions favorables.

Par ailleurs, la dissémination vers le haut des essences de montagne pourrait être favorisée par le fait que la limite des arbres, en Méditerranée du Nord, apparaît à altitude plus basse (jusqu'à 300m) que sa limite potentielle due à des pratiques historiques de pâturage en montagne (**Barbero & Quézel 1995**), mais cette remontée ne saurait être interprétée comme une résultante climatique seule mais plutôt comme la conséquence de la diminution des pressions pastorale et humaine en Europe **Talon & al. (1998)**.

Dans les pays du sud, dont les forêts resteront encore longtemps surexploitées par l'homme, la transformation drastique des habitats forestiers et de leurs cortèges floristiques associés deviendra un phénomène d'une acuité encore plus évidente. Dans un premier stade, les ensembles forestiers ou pré-forestiers, riches en espèces végétales généralement fort exigeantes du point de vue écologique et très appréciées par les troupeaux, continueront à se raréfier puis disparaîtront.

Leur remplacement par des matorrals ou des formations de type herbacé, beaucoup plus tolérantes au stress climatique estival, constituées essentiellement par des espèces nitrophiles à large distribution, le plus souvent annuelles, s'accélèrera, pour céder peu à peu la place à leur tour en raison du surpâturage, à des paysages dominés par les végétaux toxiques ou épineux refusés par le bétail **Barbero & al. (1990)**. Les formations thermo- et méso-méditerranéennes encore en place connaîtront, comme précédemment, une remontée en altitude.

Aux étages supra et montagnard-méditerranéens, il est à craindre une nette régression, et même des disparitions locales, des rares structures caducifoliées ainsi que des cédraies ; par contre, pourrait se manifester une extension éventuelle - si l'homme leur en laisse la possibilité - des formations à *chêne vert*. Le phénomène le plus dramatique devrait être associé à une chute appréciable des précipitations conduisant inéluctablement à la destruction progressive et rapide des structures pré-forestières et pré-steppiques, surtout à conifères (*Pinus halepensis*, *Juniperus thurifera*, *Tetraclinis articulata*) **Quézel (2000)**. Ces modifications drastiques épargneront probablement la **portion la plus occidentale du Maghreb** et les sites où la persistance des influences océaniques devrait limiter ces changements.

La sensibilité des communautés végétales variera en fonction des situations géographiques et topographiques, des compositions floristiques et de la magnitude des nouvelles interactions trophiques. Les changements seront donc vraisemblablement complexes et subtils, car les diverses variables climatiques n'auront pas les mêmes effets d'un site à l'autre, puisqu'il existe généralement un facteur climatique limitant principal pour un type de communauté végétale donné.

De nombreux paysages forestiers en Afrique du Nord se caractérisent par des reliefs hétérogènes complexes dotés de conditions microclimatiques qui pourraient fournir un abri à de nombreuses espèces reliques, comme dans le passé. En tout état de cause, les changements dans les interactions entre espèces et les mécanismes de succession agiront parallèlement à la dynamique des populations de pathogènes, cette dernière étant difficile à prévoir.

Les espèces d'arbres de la région méditerranéenne sont adaptées à plusieurs types de conditions climatiques, comme la sécheresse estivale, les gelées à la fin du printemps et des gelées hivernales plus sévères, selon les endroits.

Même le scénario le plus optimiste pour le changement climatique prédit une aggravation de ces conditions avec des tendances à l'augmentation de la température moyenne et de la durée de la sécheresse estivale **Mátyás et al. (2009)** ainsi que l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes **GIEC (2007)**. Une modification de la variabilité des paramètres climatiques engendrera des conséquences écologiques plus fortes qu'un changement de la valeur moyenne de ces paramètres **Hoff & Rambal (2000)**.

Les ressources génétiques forestières peuvent réagir de diverses façons aux changements environnementaux avec : la migration pour suivre le déplacement géographique des zones qui fournissent des conditions environnementales adéquates **Parmesan et Yohe (2003)** ; **FAO (2013)**.

Rien n'est moins mobile qu'un arbre. La colonisation d'une zone géographique par une espèce est influencée par de nombreux facteurs historiques, physiologiques et biologiques (compétition avec d'autres espèces ou/et parasites). Pour faire face à la rapidité des changements globaux, les arbres ont trois options : migrer vers des conditions environnementales plus clémentes, s'adapter à ce nouvel environnement ou mourir.

Migrer : ou déplacement de biomes à plus ou moins grande échelle. La population de l'espèce en question modifie sa répartition spatiale en disséminant ses graines au-delà des bornes de son territoire habituel. L'espèce suit la zone climatique la plus favorable à sa croissance **Parmesan et Yohe (2003)**, Il est souvent considéré que la migration a été le facteur dominant dans l'élaboration de la diversité génétique au cours du Pléistocène **Petit et al. (2003)**.

Cependant, en dépit des dernières migrations glaciaires et postglaciaires observées pour de nombreux taxons (déduites de données polliniques fossiles et de données génétiques), qui suggèrent une solide capacité de changement d'aire de répartition, le potentiel migratoire de plusieurs espèces est aujourd'hui considéré comme insuffisant pour suivre le rythme rapide des changements climatiques projetés dans les prochaines années **Loarie et al. (2009)**.

Une augmentation de la température moyenne annuelle d'environ 3°C entraînera un déplacement des zones altitudinales de vie d'environ 545 m **Médail et Quézel (2003)**. Dans ces circonstances, les forêts des zones les plus hautes seront fortement touchées (réduction sensible de leurs aires de répartition et perte locale/régionale de l'ensemble des populations), car les possibilités de migration vers le haut seront très limitées pour les espèces arborescentes. C'est le cas de tous les types de forêts de cèdres, sapins, genévriers et pins de montagne **d'Afrique du Nord (Rif, Moyen et Haut Atlas au Maroc)**.

Dans le Haut et **Moyen Atlas du Maroc**, on a observé la migration vers le nord et en altitude des espèces sahariennes telles que *Fredolia aretioides* et *Zilla macroptera* **Medail et Quezel (2003)**. Ces mêmes auteurs estiment que l'intensification de la période de sécheresse estivale est la cause de la forte réduction des populations d'un certain nombre d'espèces reliques au Maroc (*Laurus azorica*, *Betula fontqueri* et *Dracaena draco subsp. aigal*).

S'adapter : réponse physiologique fortement dépendante des possibilités intrinsèques à l'espèce. Certains arbres peuvent s'adapter à la sécheresse en retardant ou en avançant leur floraison, leur fructification, ou en réduisant la taille de leurs feuilles. L'acclimatation à travers la plasticité phénotypique (c'est à dire le changement dans les caractéristiques fonctionnelles exprimées par un individu en réponse à des modifications de l'environnement au cours de son cycle de vie)

Chevin et al. (2010), l'adaptation évolutive (c'est à dire un changement dans la fréquence des gènes d'une génération à l'autre conduisant à un changement d'aptitude) **Kawecki et Eber (2004)** et des changements dans le peuplement forestier **Van der Putten et al. (2010)**. L'adaptation évolutive peut aussi être très rapide : des changements majeurs ont été mis en évidence en seulement quelques générations comme l'augmentation de la résistance à des sécheresses et de la croissance pour *Cedrus atlantica* **Lefèvre et al. (2004)**. Il a été démontré que la plasticité phénotypique peut être un mécanisme de réponse efficace au changement pour *Cedrus atlantica* **Fallour-Rubio et al. (2009)**.

Les écosystèmes forestiers de l'Afrique du nord s'adapteront de manière autonome au changement climatique, comme ils l'ont fait pendant des millénaires. Les espèces et les habitats forestiers consistent en taxons âgés très résistants qui ont déjà expérimenté des changements climatiques brusques et intenses dans le passé, et ont été capables de tolérer ou de s'adapter in situ aux nouvelles conditions **Petit et al. (2005)**. L'adaptation peut se faire également par un taux réduit de la croissance.

Mourir : lorsque les conditions climatiques empêchent toutes formes d'adaptation d'une espèce, c'est l'extinction partielle ou totale. Les données paléobotaniques démontrent aussi comment les effets conjugués du changement climatique et des perturbations d'origine humaine ont abouti à la disparition locale et régionale d'espèces et de types d'habitats forestiers dans le pourtour méditerranéen **Carrion (2003)** ; **Tinner et al. (2005)**. Dans les montagnes de ce bassin, **Thuiller et al. (2005)** prédisent la disparition d'environ 60% de la flore totale d'ici 2080. La mortalité chez les arbres est un processus difficile à comprendre dans le fonctionnement des forêts car plusieurs causes peuvent se conjuguer :

- **La chaleur** : provoque la mort des espèces les moins adaptées aux fortes chaleurs. Les premiers symptômes sont les brûlures : les feuilles ou les aiguilles roussissent au soleil.
- **Le froid** : entraîne des dégâts considérables au printemps. En effet, les arbres ne subissent pas suffisamment de froid en hiver : ils n'entrent donc pas en état de dormance (mise en veille du système physiologique). Leurs vaisseaux conducteurs de sève en pleine activité sont alors endommagés lors de gels se produisant entre février et avril. Ils peuvent perdre de nombreuses branches et même en mourir.
- **La soif** : Canicule et sécheresse augmentent le stress lié à l'eau. Les arbres augmentent leur consommation en eau, mais la ressource est limitée par les précipitations souvent imprévisibles.
- **La faim** : Pour survivre à un stress associé à la température et au manque d'eau, les arbres puisent dans leurs réserves. Or celles-ci ne sont pas illimitées. Si les arbres ne les régénèrent moins vite qu'ils ne les utilisent, ils finissent par se retrouver à court de ressources pour subsister. La mort peut survenir ainsi jusqu'à 10 ans après un accident climatique.
- **L'agression** : Affaiblis par le climat, les arbres sont moins résistants aux agresseurs (insectes, champignons, maladies). Le climat peut aussi favoriser la prolifération des parasites endémiques de la région et par l'arrivée de nouvelles espèces exotiques.

La mort des arbres est un phénomène progressif qui est souvent associé à des seuils établis pour chaque espèce. Il ne touche pas uniquement les arbres mais aussi le sous-bois et favorise une accumulation de biomasse morte et sèche (risque accru d'incendies).

Que faire face aux changements climatiques ?

La plupart de nos forêts ont une fonction primaire de protection directe ou indirecte (grâce aux usages multiples). La protection des forêts dans les bassins versants devrait être renforcée pour tenir compte des changements futurs des conditions climatiques, et viser à réduire les impacts. Il est généralement estimé que les forêts non perturbées constituent le type de couverture des sols le plus efficace dans les bassins versants de montagne, car elles garantissent une meilleure régularisation des débits d'eau et une qualité plus élevée de l'eau, et elles minimisent la survenance et les dommages des inondations éclairs.

Cela s'applique en particulier aux régions arides caractérisées par des bassins versants torrentiels et un risque élevé d'érosion et d'inondations **Vallejo (2008)**. Bien que les bassins versants déboisés puissent augmenter les débits et la recharge des aquifères **Calder (2000)**, l'élimination temporaire ou permanente du couvert forestier détermine souvent une réduction importante de la qualité de l'eau et une augmentation des polluants comme les nitrates, des crues, des inondations éclairs et de l'érosion. La couverture forestière favorise l'infiltration des eaux pluvieuses au détriment de leur écoulement superficiel (ruissellement).

Dans un pays chaud, tel le Maroc, où l'évapotranspiration potentielle est largement supérieure aux précipitations, la réserve en eau stratégique est davantage constituée par les eaux au niveau des aquifères en profondeur qu'au niveau de ceux de surface.

Dans le Moyen Atlas, l'ETP est égale 1 à 2.5 fois la pluviométrie annuelle. Dans le rapport sur l'état des forêts méditerranéennes **FAO (2013)**, on relève que le pourcentage des forêts marocaines désignées pour la protection des eaux et des sols est de 0% contre 41% au Liban, 25% en Tunisie, 20% en Espagne et en Italie et 17% en Turquie.

On peut arguer raisonnablement que la première étape urgente en matière d'adaptation sera d'arrêter ou d'inverser la tendance actuelle aux « pratiques et processus inadaptés » qui contribuent à la dégradation et à la perte des forêts (**Regato 2008**). Cela comportera la nécessité de renforcer et de restaurer la résilience – et les liens qui les unissent – entre les sous-systèmes écologiques et socioculturels des paysages forestiers du Maroc, par le biais d'options viables d'arrangements institutionnels adaptatifs et de systèmes de cogestion, ainsi que de meilleures conditions de santé de la forêt.

Une stratégie d'adaptation clé, dans un contexte d'incertitude, consiste à maintenir la diversité, la structure et les processus écologiques et de réduire les pressions existantes sur les écosystèmes naturels **Markham et Malcolm (1996)**, en incorporant des mesures d'adaptation compatibles dans tous les secteurs d'utilisation des terres et des compensations pour équilibrer toutes les demandes. De fait, les impacts principaux sur les forêts proviennent souvent d'autres affectations des terres comme l'agriculture (conversion des terres, concurrence pour les ressources en eau) et le parcours (surpâturage des sous-bois, collecte excessive de fourrage, compactage et érosion des sols)

La régénération naturelle et la propagation des espèces forestières dans les forêts secondaires est souvent facilitée par les plantes « compagnes » qui créent des conditions favorables du sol et améliorent le microclimat. Tel est le cas de nombreux arbustes (*Lavandula spp.* et *Thymus satureioides*) qui facilitent la croissance précoce du cyprès de l'Atlas au Maroc **Ouahmane et al. (2006)**, des herbes (l'alfa facilite la régénération des arbustes et du pin d'Alep dans l'écotone

steppe-forêt) et des arbres (le chêne vert facilite la régénération du sapin et du cèdre dans les régions montagneuses). L'utilisation d'arbustes comme plantes compagnes pour le reboisement s'est avérée une technique viable et apte à accroître le succès du reboisement, en raison principalement de la réduction du rayonnement solaire, de l'amélioration de la rétention d'eau du sol et de la protection contre les dégâts des herbivores **Castro et al. (2004)**. De plus, cette technique offre l'avantage de suivre la succession naturelle, et de minimiser ainsi l'impact du boisement sur la végétation naturelle. Des études expérimentales menées dans la Sierra Nevada (sud de l'Espagne) démontrent que les arbustes ont amélioré nettement l'établissement des semis d'arbres forestiers.

En dépit de la faible diversité génétique, l'absence d'érosion génétique des populations de cèdres de l'Atlas (**Lefèvre et al. 2004 ; Fady et al. 2008**) indique que ce taxon ne paraît pas être soumis à un risque génétique dans son ensemble. Néanmoins, il est certainement urgent d'appliquer des mesures de gestion adaptative pour arrêter et inverser la tendance accélérée aux phénomènes de dépérissement parmi les populations de cèdres de l'Atlas, comme le rétablissement des conditions de santé de la forêt avec une composition des espèces et une structure de la forêt plus diversifiées; des espèces compagnes (plusieurs espèces d'arbustes et *de chêne vert*) dans les zones dégradées afin de faciliter la régénération des cèdres; la prévention des activités de destruction des sols organiques comme l'agriculture de subsistance, le surpâturage et le prélèvement de terre pour les pépinières forestières dans les peuplements forestiers de cèdres; l'interdiction de la collecte anarchique de bois et la surveillance des ravageurs pour mieux comprendre les effets interactifs des pratiques de gestion inadaptées et du changement climatique dans les phénomènes de dépérissement.

Il ne fait maintenant guère de doute que les changements climatiques globaux ont commencé à affecter les écosystèmes méditerranéens depuis quelques décennies. Cependant, en raison des caractères même de la flore et de la végétation méditerranéenne dont les capacités de résilience ont souvent été soulignées, les modifications relatives aux bilans floristiques et aux paysages végétaux ne devraient pas être, dans l'ensemble, dramatiques. Elles seront a priori inférieures à l'impact des processus climatiques que cette région a connus lors des glaciations de l'Holocène **Quézel (1989)**.

1.4.5 Conclusion relative au changement climatique au Maroc

Au Maroc, toutes les études et modèles de projection des futurs changements climatiques au cours du XXI^e siècle concourent vers une augmentation des températures et tout spécialement les températures moyennes maximales en été, du nombre de journées sèches et des journées d'été de 2 à 4 semaines avec accentuation du stress hydrique estival. Ces mêmes scénarios prévoient une augmentation plus atténuée de la température au cours des autres saisons avec une réduction des risques de gelées tardives au printemps.

Les peuplements forestiers marocains, vivants en permanence sous un stress hydrique estival et ayant développé une grande aptitude d'adaptation phénologique, seraient en mesure de compenser la perte dans la saison de croissance du début d'été par une précocité de la reprise de végétation au cours du printemps, pourvu que leur besoin en froid hivernal soit satisfait et que le risque de gelées tardives au printemps soit limité.

Le Maroc étant un pays chaud (demande climatique en eau largement supérieure aux apports pluviométriques) est soumis au risque de stress en matière de disponibilité hydrique et sachant que le [Moyen Atlas](#) a de tout temps été considéré comme son château d'eau, il est fort urgent de désigner les peuplements forestiers de cette chaîne pour la genèse et la régénération des ressources en eau stratégique (nappes souterraines) et l'amélioration de la qualité des eaux produites.

Ce changement dans la priorité d'affectation des peuplements devra s'accompagner avec des changements dans la manière de gestion et de culture de ces peuplements. Aussi, des peuplements mélangés avec développement des espèces compagnes et une sélection basée sur la capacité d'adaptation au changement climatique devront avoir la priorité sur l'aspect de production primaire (bois).

Le parcours permanent dans les forêts Marocaines entraîne un tassement des sols (amplifié en période pluvieuse) ce qui se solde par une réduction de la quantité d'eau infiltrée et par conséquent réduit la réserve en eau du sol. Aussi, nos peuplements vivent déjà en situation de réduction simulée des précipitations. L'anthropisation qui se solde par des changements floristiques, des changements de la composition et de la structure des peuplements et par une modification du rapport ruissellement/infiltration devra baisser d'ampleur, d'intensité et d'étendue spatiale faute de quoi l'avenir de nos peuplements sera certainement moins heureux qu'on l'aurait espéré ou que la capacité d'adaptation phénologique et évolutive de nos espèces ne l'aurait permis (comme c'était le cas durant les dernières épisodes de glaciations).

PARTIE II : MATERIELS ET METHODES

2.1 : Présentation de la zone d'étude

2.1.1 Aperçu historique du Moyen Atlas

Le Moyen Atlas est un massif montagneux qui intéresse principalement les provinces de Khénifra, Ifrane, Boulemane, Sefrou, El Hajeb, ainsi qu'une partie des provinces de Taza et de Beni Mellal que l'on désigne sous le nom de « porte du Moyen Atlas ».

A l'inverse du Rif, le Moyen Atlas apparaît comme une chaîne montagneuse non peuplée par l'homme. En effet, à l'exception de Taza au Nord et Khénifra au Sud, seuls de petits centres urbains se sont installés à la périphérie du massif.

Cette chaîne appartient au massif de l'Atlas, et plus précisément, à l'un des trois éléments de l'Atlas marocain, les deux autres étant le Haut Atlas et l'Anti-Atlas.

Le Moyen Atlas a été occupé tardivement (XVI^e-XVIII^e siècle) par des tribus berbères d'origine saharienne parlant le dialecte tamazight². Il est composé essentiellement de grandes tribus originaires de la confédération des Sanhaja.

C'est une terre Amazigh, avec ces admirables tribus irréductibles : Aït Youssi, Aït Sgougou, Aït M'Guild Beni M'tir, Aït Seghrouchen, les tribus d'Immouzer Marmoucha et Zayane... façonnées par la topographie et vivant essentiellement de l'élevage par le jeu d'une transhumance de moyenne amplitude entre le jbel (pâturages d'été) et l'Azghar (pâturages d'hiver).

La région a été au début peuplée par les Aït- M'guild et Bni-Mtir dont les flux vers le nord avaient été arrêtés au XVII^{ème} siècle par la ceinture des kasbahs fondés par Moulay Ismaïl (*source : Le Guide touristique du Moyen Atlas publié par le Conseil Régional du Tourisme Meknès - Tafilalet, en partenariat avec L'Office National Marocain du Tourisme*).

Ceci a eu pour effet de favoriser la création des noyaux de sédentarisation humaine, telles que la kasbah d'Azrou, la kasbah de Aïn Leuh...etc.

A ces tribus est venue s'ajouter celle des Aït Seghrouchen, originaire de l'Oriental et qui s'est installée à l'issue de la pacification coloniale dans la partie sud des Bni-Mtir (*source : Le Guide touristique du Moyen Atlas publié par le Conseil Régional du Tourisme Meknès - Tafilalet, en partenariat avec L'Office National Marocain du Tourisme*).

Vers la fin du XIX^{ème} siècle, Moha ou Hammou Zayani, nommé caïd par Moulay Hassan, se rend maître de la région au nom du pouvoir central (*source : Le guide touristique du Moyen Atlas publié par le Conseil Régional du Tourisme Meknès - Tafilalet, en partenariat avec L'Office National Marocain du Tourisme*).

Après y avoir établi un marché très fréquenté, des bains, une mosquée, des fondouks, etc...., il s'affranchit de la tutelle impériale.

Entrés dans la ville de Khénifra en novembre 1914, les Français subissent de lourdes pertes (563 morts).

² <http://www.moyenatlas.net/moyen-atlas>

Ce n'est qu'en 1921 qu'ils établissent réellement leur autorité, lorsque Moha ou Hammou est tué dans un combat contre leurs troupes.

Depuis, Khénifra est resté un modeste enclos au bord de l'Oum Er-Rbia, où s'abritait l'hiver une fraction de la tribu des Zaïane.

Le site actuel d'Ifrane qui a été découvert par le Secrétaire Général du Protectorat au Maroc, Éric Labonne, en 1928 a été érigé par les autorités coloniales par arrêté viziriel du 16 septembre 1929 en « excellent centre d'estivage » (*source : Le Guide touristique du Moyen Atlas publié par le Conseil Régional du Tourisme Meknès - Tafilalet, en partenariat avec L'Office National Marocain du Tourisme*).

Bordés par la riche plaine du Saïs et les villes de Fès, Meknès et Beni Mellal, les massifs montagneux du Moyen Atlas sont le fief de tribus berbères à la population très clairsemée, parlant le tamazight (langue berbère).

C'est un ensemble de hautes terres, d'altitudes supérieures à 1000 m, en position centrale entre le Rif, le haut Atlas, la Moulouya, la plaine du Tadla et les bas plateaux du saïss. Il offre des paysages particuliers. Sa position présente des couleurs extraordinaires avec des modes de vie adaptés à l'environnement régional, un couvert végétal diversifié, des traditions culturelles berbères, qui empruntent à la fois au nomadisme des traits d'hospitalité et à la sédentarité un accueil chaleureux.

Avec sa **cédraie de 74 872 hectares actuellement sur le terrain**, le Moyen Atlas constitue un patrimoine de l'humanité, ses lacs et ses nombreux sites et patrimoines locaux peuvent normalement attirer plusieurs profils de touristes en quête de randonnée, de chasse, de pêche, tourisme scientifique et archéologique, tourisme de découvertes de la nature et des cultures locales.

Le touriste peut suivre les traces du berger en traversant plusieurs étages climatiques depuis les forêts de cèdres et de chêne verts jusqu'aux paysages steppiques pour apprécier les traces des dinosaures. Il découvrira un mode de vie berbère, des arts et traditions authentiques, des souks et des casbahs. L'utilisation des outils traditionnels dans l'agriculture, l'araire, l'énergie animale et la faucille.

Le Moyen Atlas comprend deux parties bien distinctes : une zone tabulaire, et une zone plissée, séparées l'une de l'autre par la coupure de l'Oum Er-Rbia et de l'oued Guigou, avec par endroits des cassures ayant entraîné des épanchements volcaniques.

La zone tabulaire d'allure jurassique est formée de trois paliers successifs : cause d'El Hajeb (1000 à 1500 m) cause d'Azrou (1500 à 1700 m) et cause de Timahdite (1700 à 1900 m).

Quant à la chaîne du Moyen Atlas proprement dite, elle est formée de chaînons séparés tels que le Tichoukt (2700 m), le Jbel Fazaz et surtout les puissants et majestueux Bouiblanc et Bou Naceur (plus de 3000 m) qui surplombent la plaine de la Moulouya au sud.

Pour les amateurs du repos et des activités écotouristiques, le Moyen Atlas offre un cadre apaisant et propice à un tourisme de qualité, conforme au standard "GPS"

Aujourd'hui encore, l'économie repose essentiellement sur l'élevage extensif des ovins, bien que les déplacements des troupeaux soient rendus de plus en plus difficiles par le développement de l'agriculture.

L'artisanat du tapis, l'exploitation forestière et le tourisme (limité par le faible réseau routier) constituent des ressources complémentaires. Les villes (Beni Mellal, Khénifra, Azrou, Taza) se rencontrent surtout en bordure de montagne.

Il va sans dire que cette grande richesse du milieu naturel et humain s'accompagne d'une diversité similaire des atouts pour le développement du tourisme en général et du tourisme écologique en particulier.

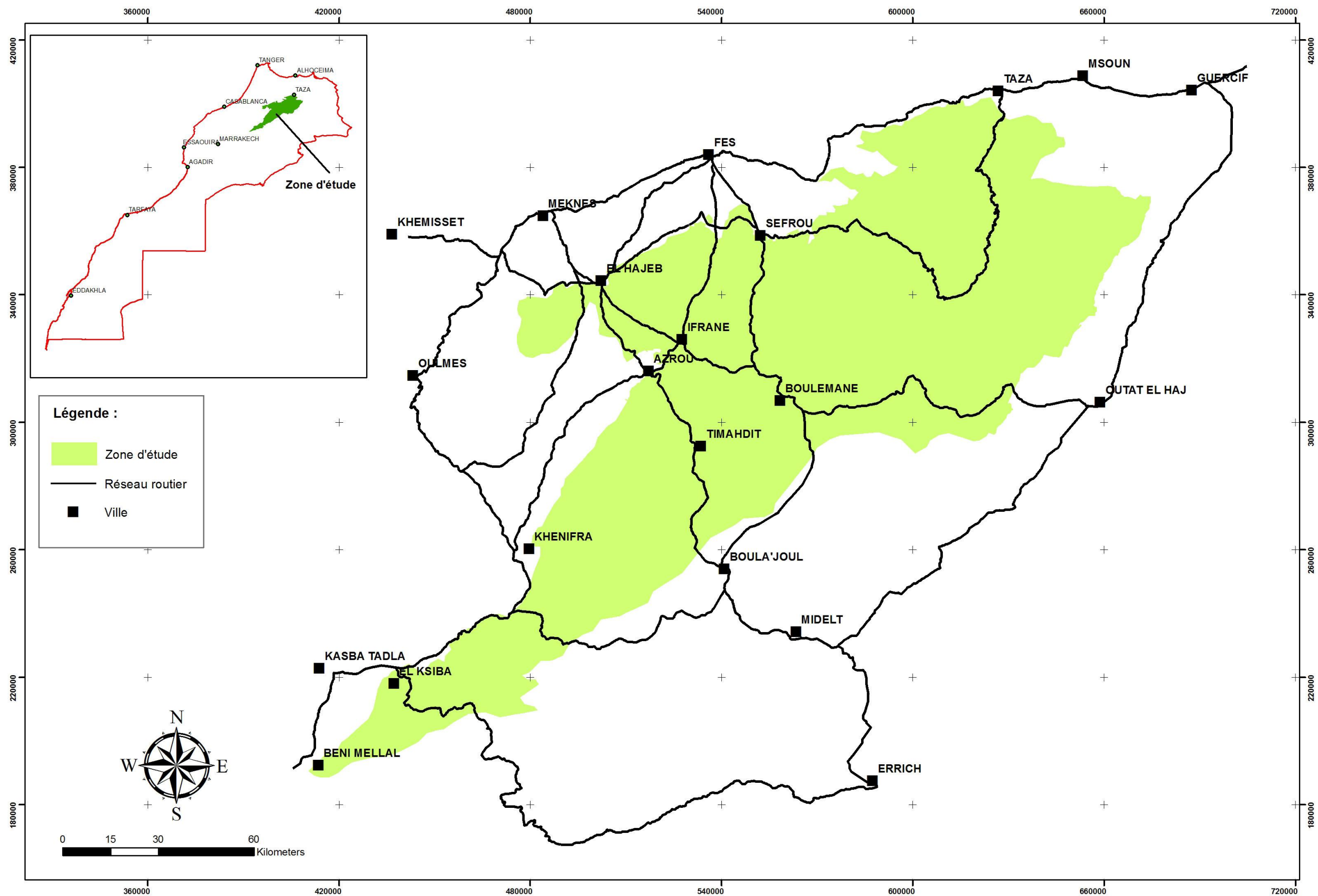
En plus de son couvert végétal très riche (cédraie, chênaie...) et sa faune diversifiée (sanglier lièvre, perdrix et poissons d'eau douce...), le climat montagnard du Moyen Atlas permet d'attirer les amateurs de la neige en hiver et les estivants en été (une soixantaine de volcans éteints, aux formes reconnaissables rompent la monotonie des plateaux situés aux alentours d'Ifrane, Azrou et Timahdite). La relative densité du réseau routier, sa facilité d'accès, les multiples attraits de l'altitude et d'une nature aux aspects pittoresques font que le Moyen Atlas est de loin la montagne la plus visitée du Maroc.

Outre les atouts physiques précités, le Moyen Atlas dispose d'une grande richesse culturelle et artistique : sites archéologiques, Kasbahs, villages pittoresques, zaouïas et mausolées. La diversité humaine de ses habitants sédentaires ou semi-nomades a engendré un patrimoine culturel riche et varié : tentes berbères, folklore, rites, habits traditionnelles, cuisine spécialisée et artisanat réputé pour ses tapis colorés et ses hanbels. Avec sa position de château d'eau du royaume, ses lacs, ses sources, sa cédraie et sa richesse faunistique, le Moyen Atlas représente une destination touristique de premier choix. Votre voyage dans le Pays de Moha Ou Hammou Zayani, vous introduit dans le cœur des contrastes entre nature/culture, tradition/modernité, métissage berbère/arabe.

2.1.2 Cadre géographique

La zone d'étude (Moyen Atlas) est un massif montagneux allongé sur quelque 350 km de long et 120 km de large, du sud-ouest au nord-est du Maroc, situé entre le Rif et le Haut Atlas, et couvrant une superficie totale de **2,3 millions d'hectares**, soit près de 18% du domaine altimontain du pays (https://fr.wikipedia.org/wiki/Moyen_Atlas). Elle est localisée au centre du Maroc avec une orientation inclinée par rapport au nord géographique de la terre, du Sud-ouest vers le Nord-est. Le Moyen Atlas se place entre le Rif au Nord, les plateaux de l'oriental à l'Est, le Haut Atlas au Sud, et le plateau central et la plaine de Saïss à l'Ouest et Nord-ouest.

Etant le plus septentrional des massifs atlasiques du Maroc, le Moyen Atlas est limité également au nord par le fleuve Sebou, qui le sépare du Rif, et au sud par la Moulouya et l'Oum Er-Rbia. Le massif du Moyen Atlas est traversé par une des principales routes d'accès au sud Marocain, de Meknès au Tafilalet. Le Moyen Atlas est fermé à l'est par le Parc national de Tazekka, aux paysages creusés de gorges et de grottes. Au sud de Sefrou, les forêts de cèdres, de chênes verts et de chênes lièges alternent avec des plateaux volcaniques dénudés et de petits lacs poissonneux aux eaux turquoise.



Carte 2 : Situation géographique du Moyen Atlas

2.1.3 Cadre administratif et forestier

✚ Sur le plan administratif :

La zone d'étude relève principalement du territoire de deux régions administratives du Maroc selon le dernier découpage administratif de 2015 : il s'agit en premier lieu de la région de Fès-Meknès couvrant près de 80% du total du Moyen Atlas ; celle-ci est suivie directement par la région administrative de Béni Mellal-Khénifra occupant le sud du Moyen Atlas.

A l'instar de ces deux régions principales, la zone d'étude est également touchée en partie par la région de l'Oriental dans sa partie extrême nord-est et celle de Draa-Tafilalet située à l'extrême centre sud-est du Moyen Atlas.

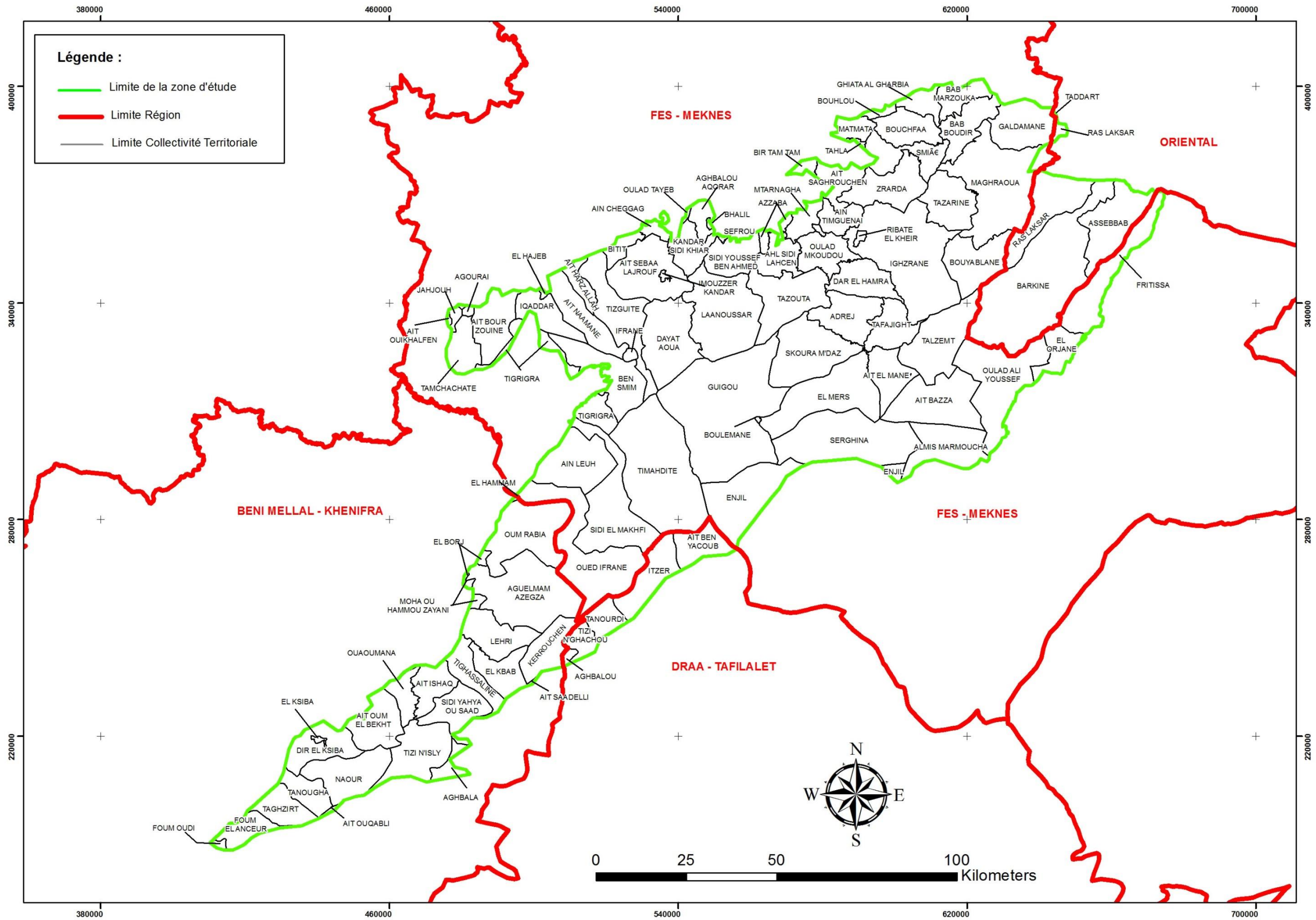
Comme nous l'avons annoncé auparavant, cette partie du Maroc intéresse principalement les provinces de Khénifra, Ifrane, Boulemane, Sefrou, El Hajeb et Midelt, ainsi qu'une partie des provinces de Taza et de Beni Mellal que l'on désigne sous le nom de « porte du Moyen Atlas ». Elle concerne principalement **106 communes rurales** nouvellement appelées « collectivités territoriales » y compris celles urbaines.

✚ Sur le plan forestier :

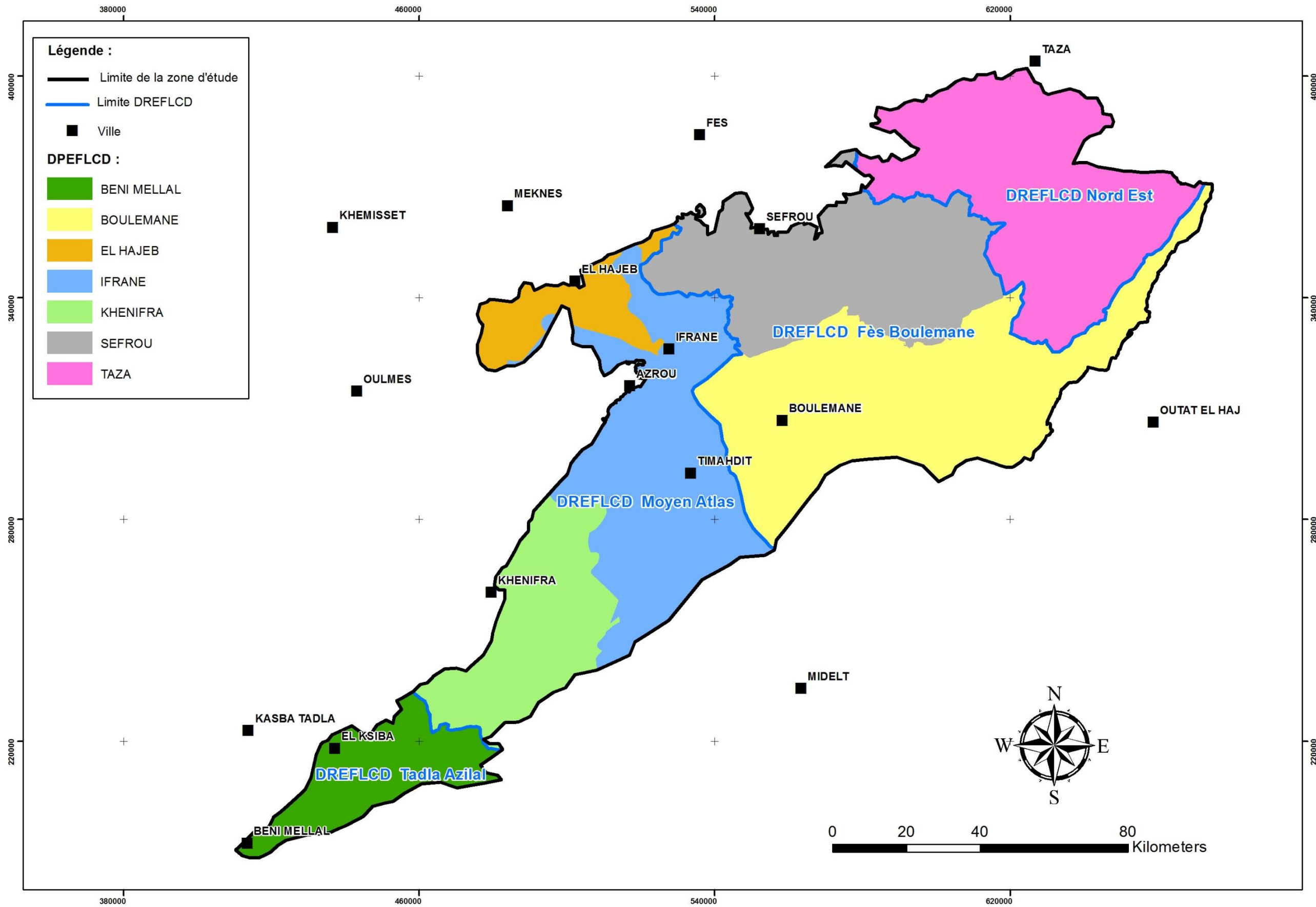
La zone d'étude relève de la compétence de quatre (04) DREFLCDs suivantes :

- **DREFLCD du Moyen Atlas qui coiffe à son tour 03 DPEFLCD à savoir :**
 - **DPEFLCD de Khénifra,**
 - **DPEFLCD d'El Hajeb,**
 - **DPEFLCD d'Ifrane.**
- **DREFLCD de Fès-Boulemane. Celle-ci coiffe 02 DPEFLCD qui sont :**
 - **DPEFLCD de Sefrou,**
 - **DPEFLCD de Boulemane.**
- **DREFLCD de Tadla Azilal. Elle touche seulement 01 DPEFLCD qui est : Beni Mellal.**
- **DREFLCD du Nord-Est. Seulement la DPEFLCD de Taza est concerné par la Région du Moyen Atlas.**

NB : Ces **DREFLCDs** et **DPEFLCDs** couvrent, soit en totalité et/ou en partie notre zone d'étude qui le Moyen Atlas au sens large du terme.



Carte 3 : Situation administrative du Moyen Atlas (Région et Communes)



Carte 4 : Situation forestière du Moyen Atlas (DREFLCD et DPEFLCD)

2.1.4 Milieu physique

2.1.4.1 Caractéristiques climatiques et forestières du Moyen Atlas³

Le climat, relativement humide, est froid en hiver. De belles forêts de cèdres et de chênes verts couvrent le versant occidental, plus arrosé que le versant oriental. La façade ouest, de Taza à Azrou, en situation de première ascendance pour les perturbations venant de l'océan, est bien arrosée (de 1 000 à 1 500 mm annuels), favorisant pâturages relativement verdoyants et forêts luxuriantes. Les vallées orientales sont beaucoup plus sèches et voient progresser le désert (forêt morte du djebel Bou Naceur). Plus continental que le Rif, et globalement plus humide que le Haut Atlas, le Moyen Atlas connaît des hivers rigoureux, avec un enneigement tenace au-dessus de 2 000 à 2 500 mètres (novembre/avril) (https://fr.wikipedia.org/wiki/Moyen_Atlas).

La combinaison de la température et de la pluviométrie est de nature à créer des conditions favorables à des ceintures de végétation : ainsi, on verra se succéder en fonction de l'altitude et des expositions, des forêts de caroubier ou kharroubier, chênes verts, et cèdres (*cedrus atlantica*), genévriers, *tetraclinis articulata* ou Thuya (Elaaraar), des conifères et des arbres endémiques. La composition spécifique et l'état de développement végétatif (dominance, densité, recouvrement, régénération...) à tout point de l'espace reflètent une synthèse des conditions écologiques et de l'impact anthropique au niveau d'une station donnée.

Dans le présent volet de cette étude, on va se limiter qu'à l'analyse générale des espèces forestières présentes sous forme de peuplements au niveau de chacune des stations étudiées tout en expliquant le lien étroit entre la végétation forestière et le climagramme d'Emberger. La projection des stations étudiées dans le climagramme d'Emberger (**Fig. ci-dessous**) et le report, dans ce même graphique, des aires de répartition des principales espèces forestières dans le Moyen Atlas d'après **Emberger et Maire 1934 ; Sauvage 1963 ; Lecompte 1969 ; White 1986 ; M'hirit 1993 ; Blérot et M'hirit 1999**, corrigées en fonction des cartes de types de peuplements réalisées dans le cadre des études d'aménagement des forêts du Moyen Atlas se présente comme suit :

Le *Cedrus atlantica* est caractéristique des étages froids humide et subhumide. Les cédraies se rencontrent entre 1350 m et 2800 à 2900 m d'altitude (des pieds isolés peuvent descendre localement jusqu'à 900 m). En limite altitudinale inférieure de son aire, *C. atlantica* est remplacé par *Juniperus phoenicea*, *Pinus halepensis*, *P. pinaster* ou *Quercus rotundifolia*. Il n'entre jamais en contact avec *Tetraclinis articulata*.

Dans le Moyen Atlas, le chêne vert couvre une étendue considérable entre 600 et 2900 m sur le versant atlantique, mais il est beaucoup moins abondant sur le versant méditerranéen à relief accentué. L'écologie de *Quercus rotundifolia* est diversifiée. On le rencontre principalement sous climat tempéré et froid dans les étages semi-aride, subhumide et humide. Vers sa limite altitudinale inférieure, dans l'étage semi-aride chaud, il est en contact avec *Tetraclinis articulata*, *Juniperus phoenicea* et *Pinus halepensis*. Vers la limite supérieure de sa répartition, dans l'étage semi-aride froid, *Quercus rotundifolia* est en contact avec *Juniperus phoenicea*, *J. thurifera*. Dans les étages subhumide et humide, où il atteint son développement maximal, il se trouve en mosaïque, et parfois en mélange, avec *Q. faginea*, *Q. pyrenaica* et *Cedrus atlantica*.

³ Pour plus de détail concernant le climat dans le Moyen Atlas, cf. 2.2.4 « **Caractérisation climatique et bioclimatique du Moyen Atlas** » et au niveau de la **Partie III** « **Résultats et discussions** »

Toutes les stations de forêt subhumide à *Q. rotundifolia* dans le Moyen Atlas se trouvent sur sol calcaire. Le genévrier de Phénicie se rencontre souvent dans une zone se situant entre la tetraclinaie et rotundifoliaie, mais dans les parties les plus froides de l'étage semi-aride, il prend la place du thuya. Le thuya est généralement localisé dans les étages semi-arides océanique et maritime, entre le niveau de la mer et 1500 m. Le froid, surtout le froid humide, l'empêche de s'élever plus haut. On ne le retrouve pas sur le versant sud du Moyen Atlas si ce n'est à l'extrémité nord.

P. halepensis croît du niveau de la mer à 2 000 m mais il est confiné à l'étage semi-aride et à la zone plus sèche de l'étage subhumide. Au centre de son aire de répartition, *P. halepensis* s'installe sur une grande variété de sols mais en limite de son aire, là où le froid ou la forte humidité sont des facteurs limitant, il se cantonne sur les sols calcaires. Il est souvent en association avec *Tetraclinis articulata*, *Juniperus phoenicea* ou *Quercus rotundifolia*. Il est moins xérophile que *Tetraclinis* et ne s'élève pas aussi haut que *J. phoenicea*. Dans la limite la plus humide de son aire, il prend de l'expansion lorsque les forêts voisines à *Q. rotundifolia* ou à *Cedrus atlantica* sont endommagées par le feu ou dégradées par l'homme.

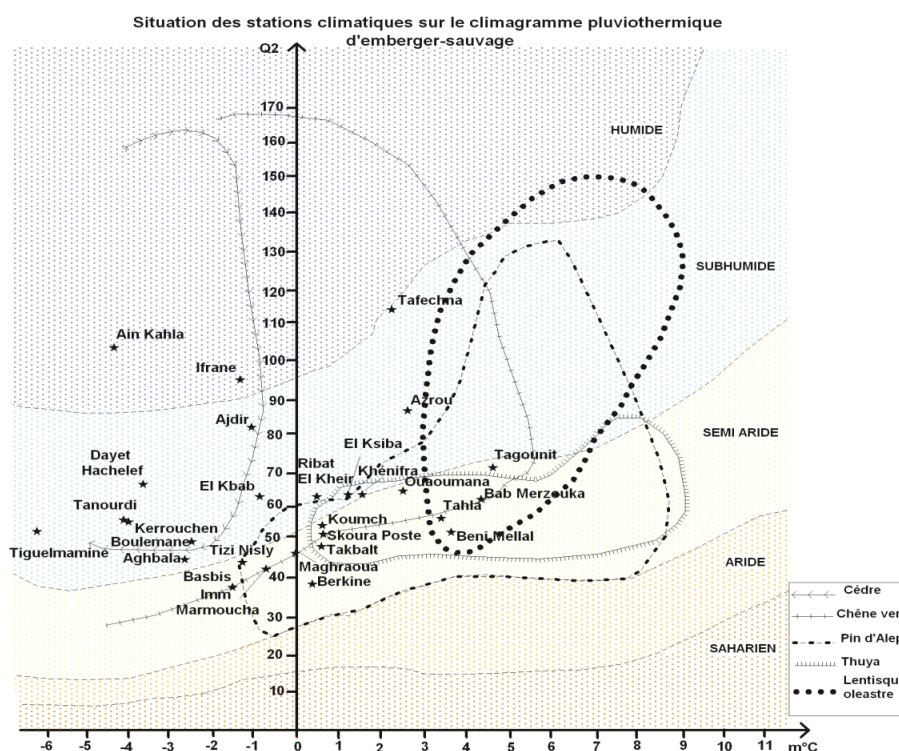


Figure 5: Situation des stations climatiques sur le climagramme d'Emberger-Sauvage

2.1.4.2 Topographie

Du point de vue topographique, le Moyen Atlas, apparaît comme vigoureusement binaire :

- Sa partie occidentale, autour d'Ifrane, est tabulaire, très légèrement ondulée, liasique et lourdement dolomitique, et constitue le premier et le principal obstacle orogénique atlasique, face aux influences météorologiques atlantiques,

- A l'Est et au Sud, entre Khénifra et Taza, le Moyen Atlas est une grande écharpe plissée jurassico-crétacée, qui va buter, par sa terminaison sud-occidentale, dite Atlas de Béni Mellal, sur le Haut Atlas Central.

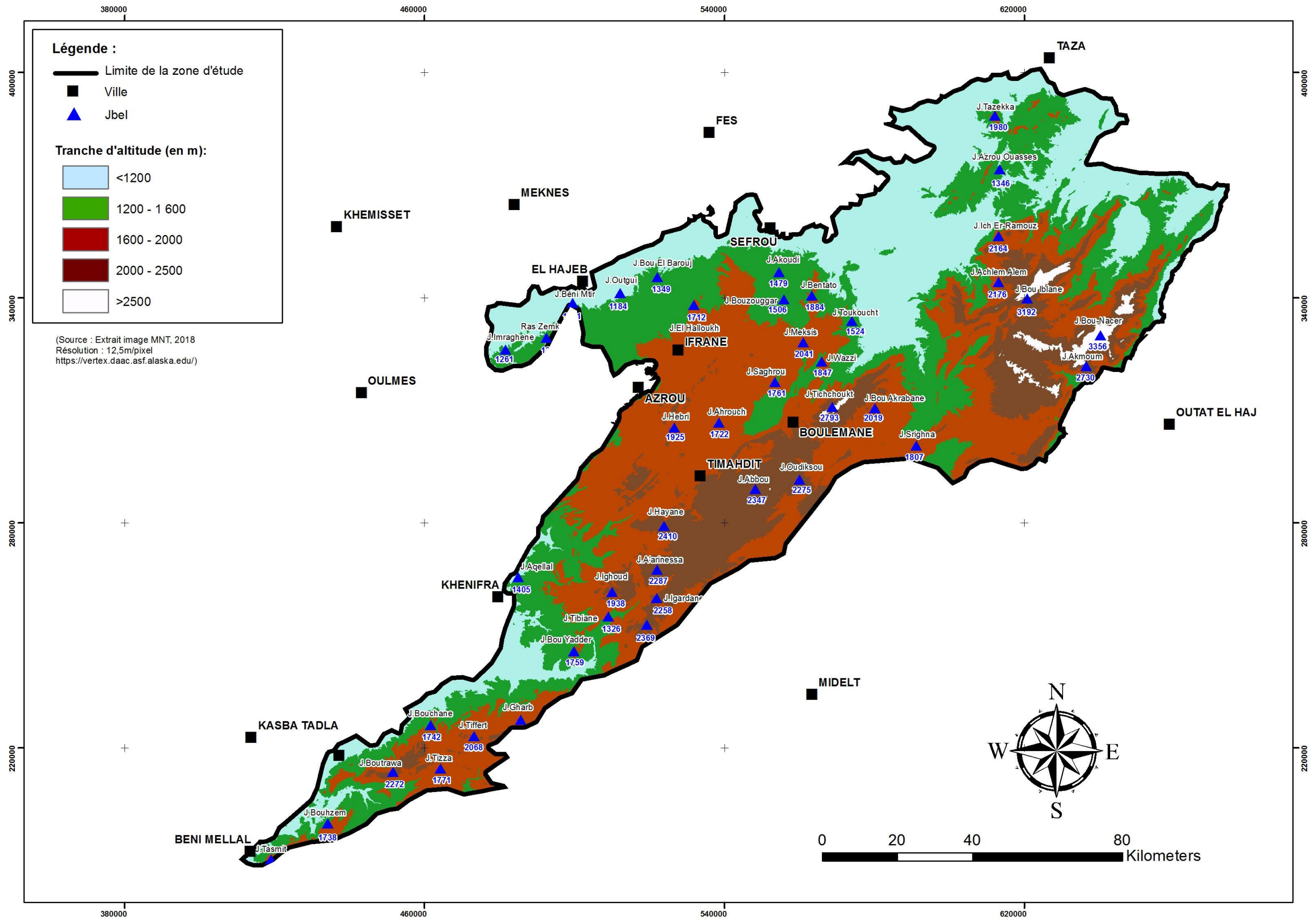
C'est est une barrière montagneuse de matériaux mésozoïques, orientée NE-SW. Il divise le Maroc septentrional en Meseta Occidentale et Meseta Orientale, de charpente, affleurant ou proche, paléozoïque. Il est bordé au SE par la dépression cénozoïque de la Haute Moulouya. Son relief est caractérisé par la présence de versants plus abrupts par endroits surplombés parfois de plateaux perchés. Les sommets sont relativement nombreux. En fait, il s'agit d'une zone de moyenne à haute montagne où les majeurs sommets ont des altitudes moyennes supérieures à 1800 m. Son point culminant est le jbel Bou Naceur (3 356 m), puis le jbel Bouiblanc (3 192 m) près d'Imouzzer Marmoucha et à 100 kilomètres environ de la ville de Taza (voir carte ci-contre). Les autres principales montagnes du Moyen Atlas sont : Jbel Tanourdi (2 250 m), jbel Tichchoukt (2800 m) et jbel Tazekka (1980m).

Pour la détermination des différentes classes d'altitude couvrant la zone d'étude, nous avons exploré le Modèle Numérique du Terrain (MNT) à très haute résolution spatiale (12 et 30 m). Il a servi à l'établissement de toutes les cartes relatives à l'altitude, aux pentes et aux différentes expositions dominantes couvrant la zone d'étude. Les résultats de cette exploration sont représentés au niveau des cartes ci-dessous.

Du point de vue altitudinal, il est à noter que l'altitude joue un rôle très important en milieu forestier car elle agit sur les facteurs tels que la pression atmosphérique, la température, la durée d'enneigement, le type de végétation ainsi que leur répartition, etc.

La carte représentée ci-dessous nous donne une idée sur les différentes classes d'altitude du Moyen Atlas ainsi que leur répartition spatiale sur le terrain. Il ressort l'analyse de ladite carte que cette zone est répartie inégalement entre les différentes tranches altitudinales qui oscillent entre des altitudes inférieures à 1200 m à 3356 m. A cet effet, cinq classes d'altitudes ont été distinguées (**voir carte ci-contre**).

- La classe d'altitude inférieure à 500 m. C'est la zone de plaine où zone d'agriculture par excellence ;
- La classe d'altitude allant de 500 à 1000 m. C'est la zone de hauts plateaux, généralement dominée par les essences tels que le genévrier oxycèdre, ainsi que des espèces secondaires à caractère arboricole (lentisque, olivier...) ;
- La classe d'altitude allant de 1000 à 1400 m. C'est la zone de bases montagnes, piémonts et causses. Cette zone couvre généralement des essences de bases altitudes (Thuya, genévrier oxycèdre, ainsi que des essences secondaires (lentisque, olivier, doum...)
- La classe d'altitude allant de 1400 à 2500 m. Il s'agit de zone de moyennes montagnes où se développent bien les essences héliophiles et y compris le chêne vert (thuya, genévrier rouge, pin d'Alep, pin maritime, chêne vert...). Au-delà de 2000 m d'altitudes, le cèdre commence son apparition formant ainsi des sites relativement bien conservés, et à ce niveau correspond le début du montagnard méditerranéen ;
- Et les altitudes les plus élevées dans la zone d'étude (2500 à 3356 m). Il s'agit là des zones couvertes par la Thuriferaie et des xérophytes épineuses. Au niveau des endroits ayant des altitudes inférieures à 3000 m on note la présence du cèdre et de chêne vert à densité variable, mais généralement claire à éparse. C'est une zone de hautes montagnes.



Du point de vue pente : la carte des pentes a été établie à partir du Modèle Numérique du Terrain (MNT). Telle que reportée ci-contre à ladite carte, nous donne une idée sur l'apport de chaque classe de pentes à l'échelle du territoire de la zone d'étude.

Le moyen Atlas comme c'est de lui qu'il s'agit, sur ses pentes, s'étalent à perte de vue d'immenses forêts de cèdres, entrecoupées de vallées profondes. Bordées par la riche plaine du Saïs et les cités de Fès, Meknès et Beni Mellal, les massifs montagneux du Moyen Atlas sont le fief de tribus berbères à la population très clairsemée, parlant le tamazight.

Il est constitué de reliefs généralement arrondis séparés par des plateaux fertiles.

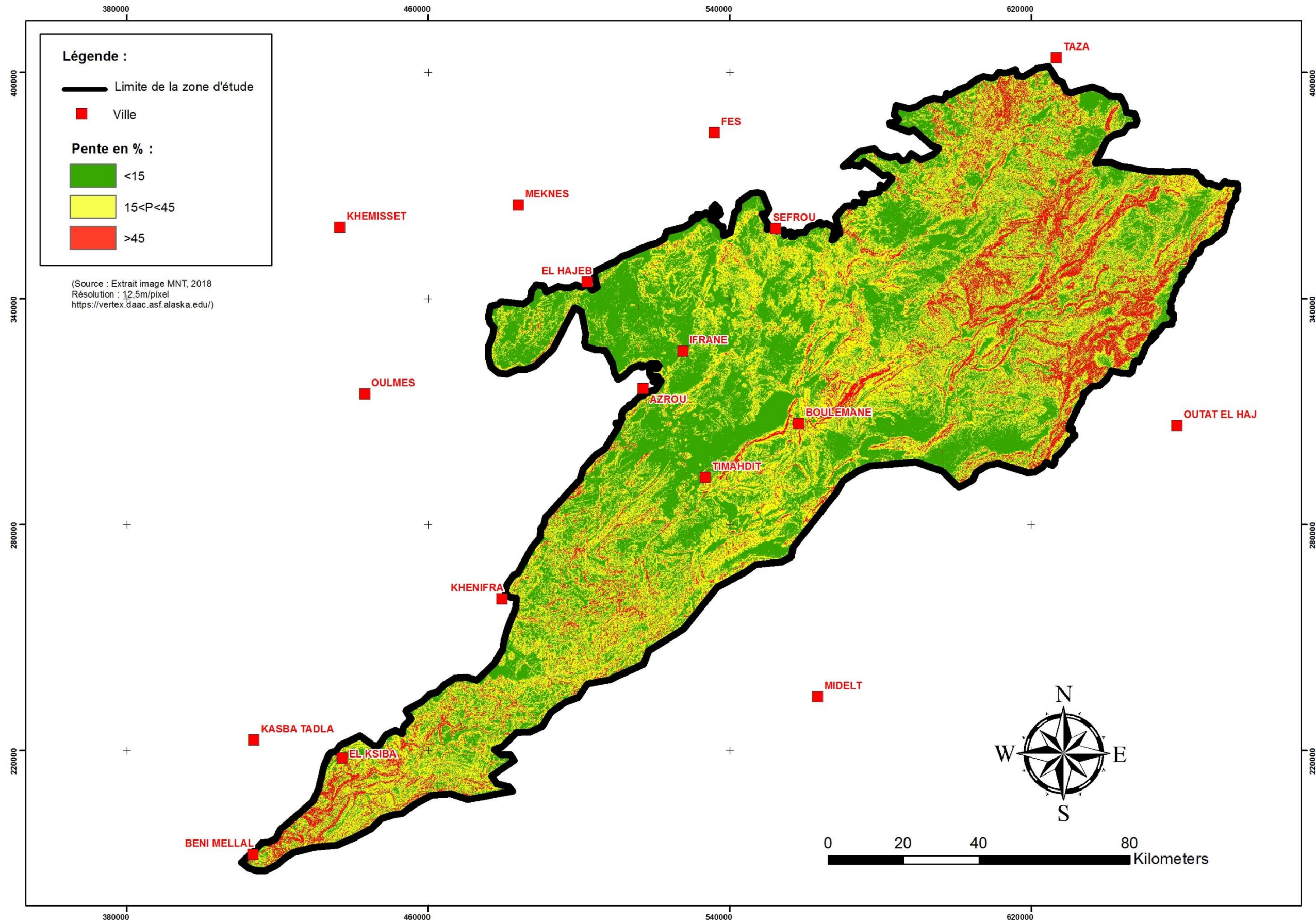
La carte ci-dessous montre le caractère montagneux de la zone d'étude. La moyenne des pentes est de 30%, alors que le maximum dépassant les 45% couvrant une bonne partie du Moyen Atlas. Ces dernières se localisent généralement dans la partie Nord, Nord-est, ainsi que dans la partie sud dans la région de Béni Mellal caractérisée par un relief de moyenne montagne avec des pentes fortes par endroits.

Quatre grandes catégories de pentes se distinguent à savoir :

- La classe de pentes allant de 0 à 15%, y est concentrée surtout dans le Moyen Atlas tabulaire (région d'El Hajeb, d'Ifrane, Azrou et en partie Boulemane). Ce sont des zones à vocations agricole ;
- La classe de pentes allant de 15 à 30%, y est concentrée surtout dans le moyen atlas plissé et la partie orientale du moyen central et du moyen atlas oriental. Ce sont des zones de bases à moyennes montagnes où l'agriculture devient de plus en plus rare ;
- La classe de pentes se situant entre 30 à 45%. Cette catégorie est éparpillée un peu partout sur le territoire du Moyen Atlas. Cependant, elle est plus concentrée au niveau du Moyen Atlas Oriental et Moyen Atlas de Béni Mellal et dans la région de Guigou. Elle couvre près de 40% environ de l'espace total du Moyen Atlas ;
- Vient en dernière position la catégorie des pentes dites fortes avec une moyenne supérieure à 45%.

Ces situations nous permettent d'en déduire que, la zone d'étude est caractérisée par un relief accidenté avec des sommets plus abrupts pouvant atteindre 3356 m (jbel Bou naceur). Il s'agit des terrains contrastés et ondulés.

En confrontant les deux paramètres (altitude et pente) décrits ci-dessus, ainsi que les cartes des altitudes et pentes, nous pouvons en déduire que les pentes les plus élevées correspondent aux hautes altitudes. Seul le chêne vert d'altitude, le cèdre et le genévrier thurifère ainsi que des xérophytes épineuses se cantonnent en ces endroits précis.



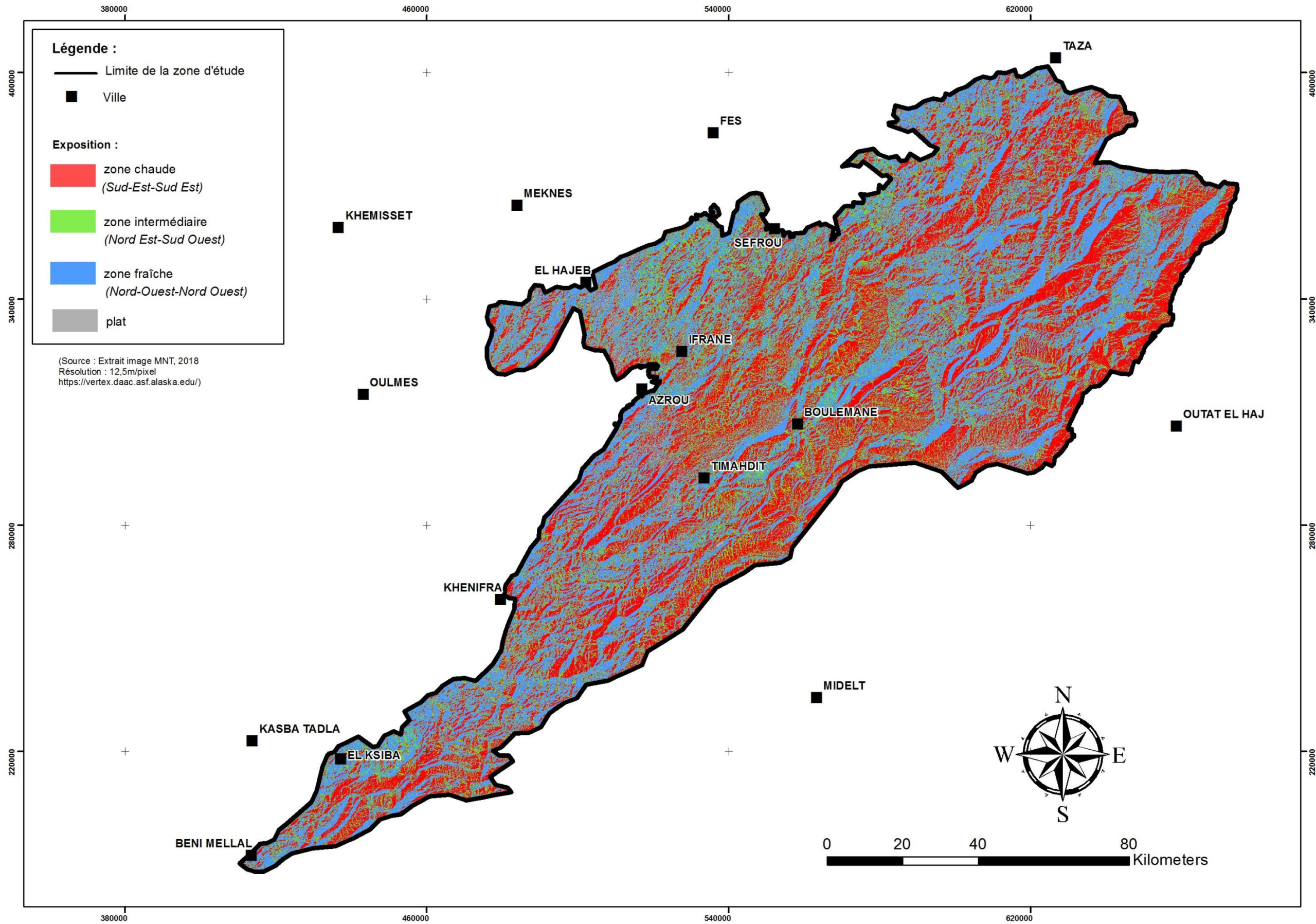
En ce qui concerne [les expositions](#), elles donnent une idée sur les formes de manifestation du relief, ainsi que la végétation qui peut s'y développer, sachant que les versants Nord et Ouest au niveau de la zone d'étude sont plus humides.

Dans le cas précis de la présente étude, la carte des expositions établies à partir également du Modèle Numérique de Terrain (MNT) a permis d'identifier quatre (04) types d'expositions qui sont représentées comme le montre la carte ci-dessus.

- Expositions fraîches (Nord, Ouest, Nord-Ouest), elles couvrent une bonne partie de la zone d'étude. Ce sont des zones favorables à la reconstitution des écosystèmes dégradés ;
- Expositions chaudes et ensoleillées (Sud, Est, Sud-Est). Elles se rencontrent partout sur le territoire de la zone d'étude, couvrant également des espaces plus étendus dans le Moyen Atlas. Ces endroits sont souvent défavorables à toute action de reconstitution des écosystèmes par voie naturelle ou artificielle, mais conjugués à d'autres facteurs du milieu ainsi que qu'à des bonnes actions de l'homme, leurs effets négatifs sur le couvert forestier peuvent être limités ou contrés ;
- L'exposition intermédiaire (Nord-est, Sud-ouest), ce sont des zones intermédiaires entre les zones chaudes et fraîches ;
- Quant à l'exposition dite plate où le terrain tend vers une zone plate, ne n'occupe qu'un faible pourcentage dans la zone d'étude. Cette situation confirme d'ailleurs bien le caractère accidenté du moyen atlas dans son ensemble.

La position sur le terrain de chacune de ces expositions est renseignée sur la carte ci-contre.

En guise de conclusion, tout en se référant à ladite carte, nous pouvons en déduire que la zone d'étude est caractérisée principalement par trois (03) expositions dominantes (fraîches, chaudes et intermédiaires) qui l'emportent très nettement sur le terrain plat.



Carte 7 : Expositions dominantes du Moyen Atlas

2.1.4.3 Hydrologie

Sa situation au cœur du Maroc, dans une zone de pluviométrie très élevée, confère au Moyen Atlas le caractère de « château d'eau », tant du point de vue hydrogéologique qu'au point de vue hydrographique.

Très bien arrosé (600 à 800 mm/an) pouvant même dépasser cette fourche dans certaines zones, ayant des sources vaclusiennes puissantes (Ain Asserdoun, Arougou, Tit Hssen, Ain Khadem...), bien boisé (la plus grande surface forestière du Maroc) ; le Moyen Atlas est le château d'eau du Maroc d'où sortent tous les cours d'eau importants : Oum Er-Rbia, Sebou, Beht et Moulouya.

Le bioclimat de Moyen Atlas (**Fig. ci-dessous**) à l'exception de quelques stations près (Azrou, Ifrane, ...) caractérisées par un bioclimat humide, est de type subhumide très froid, froid, frais et tempéré selon les positions altitudinale et géographique ainsi que l'exposition. Cependant, dans la partie Oriental, le climat devient de plus en plus semi-aride avec des variantes allant de froide jusqu'à tempérée, voire chaude par endroits.

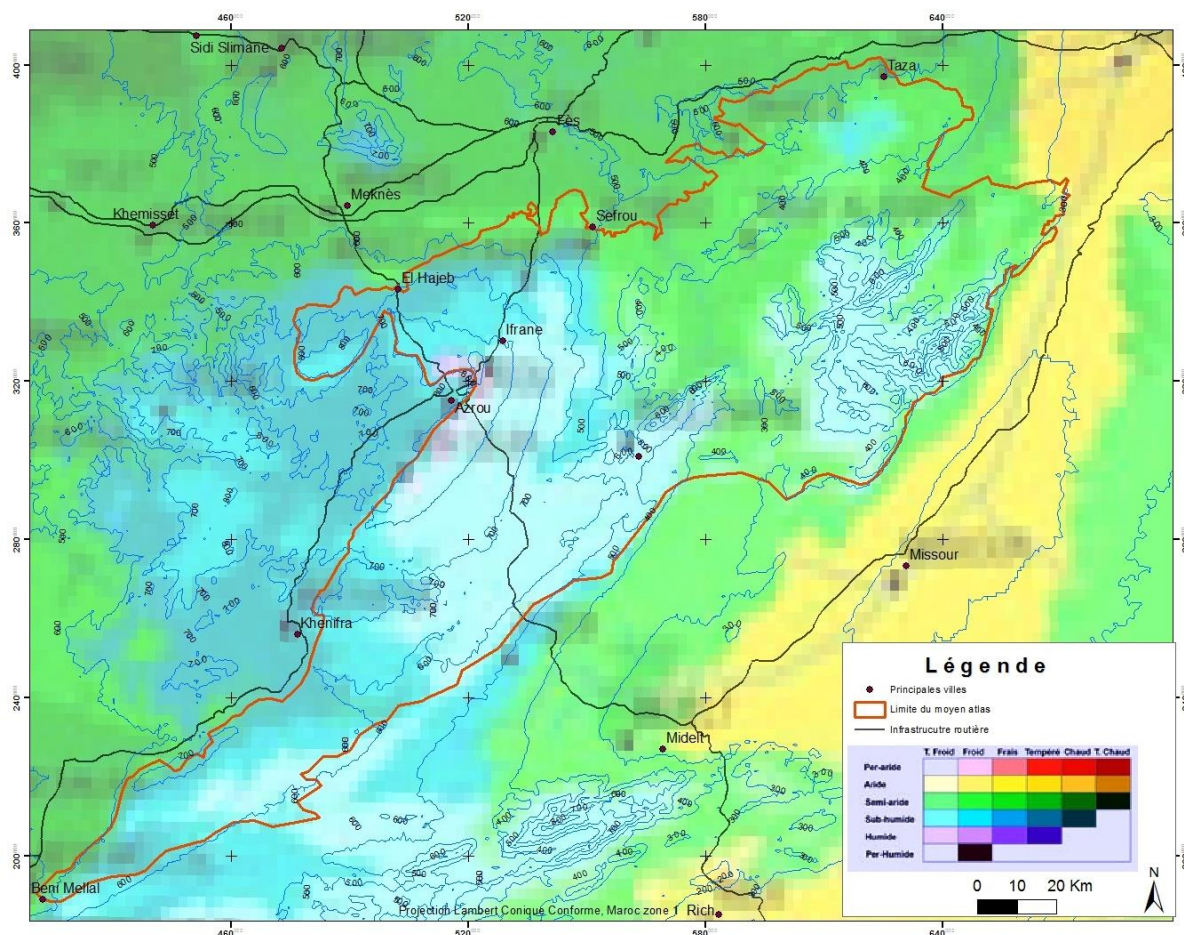


Figure 6: Bioclimat du Moyen Atlas
(Source : Moukhtari et al, 2013)

2.1.4.3.1 Bassins hydrauliques

Le Moyen Atlas appartient à quatre grands bassins hydrographiques à des proportions différentes :

- le bassin de Sebou : d'une superficie d'environ 908.000 ha ;
- le bassin de l'Oum Er-Rbia : s'étend sur une superficie de 352.300 ;
- le bassin de Bouregreg : couvre une superficie de l'ordre de 700 ha ;

Ces trois rivières prennent naissance dans le Moyen Atlas et se jettent dans l'océan l'Atlantique.

- Le bassin de la Moulouya : prend ses sources à Almssid à la jonction du Moyen et le Haut Atlas s'étend sur 406.000 ha et se jette dans la Méditerranée.

Les apports sont donc assez abondants et les débits relativement réguliers. L'équipement en barrages collinaires en cascade de cette région a pour but de protéger l'aval, d'améliorer les attraits touristiques de la région et de créer des réserves d'eau favorisant le développement de l'arboriculture qui ne cesse de se développer grâce à divers programmes internationaux comme celui de l'Oued Serou (https://fr.wikipedia.org/wiki/Moyen_Atlas).

2.1.4.3.2 Lacs du Moyen Atlas

Cette zone du Maroc est le territoire du Royaume le plus riche en zones humides, notamment en lacs naturels, en barrages hydrauliques et en rivières et sources fraîches. La grande partie des lacs du Moyen Atlas est concentrée dans l'aire géographique de Beni Mellal-Khénifra-Ifrane correspondant au causse moyen atlasique (**voir carte ci-contre**).

- Lac Aguelmame Aziza ;
- Lac Ouiouane ;
- Lac Aguelmame Sidi Ali ;
- Lac Dayet Iffer ;
- Lac Dayet Aoua ;
- Lac Dayet Hachlaf et Lac Bin El Ouidanne Ouaouizerth⁴.

2.1.4.3.3 Cascades du Moyen Atlas

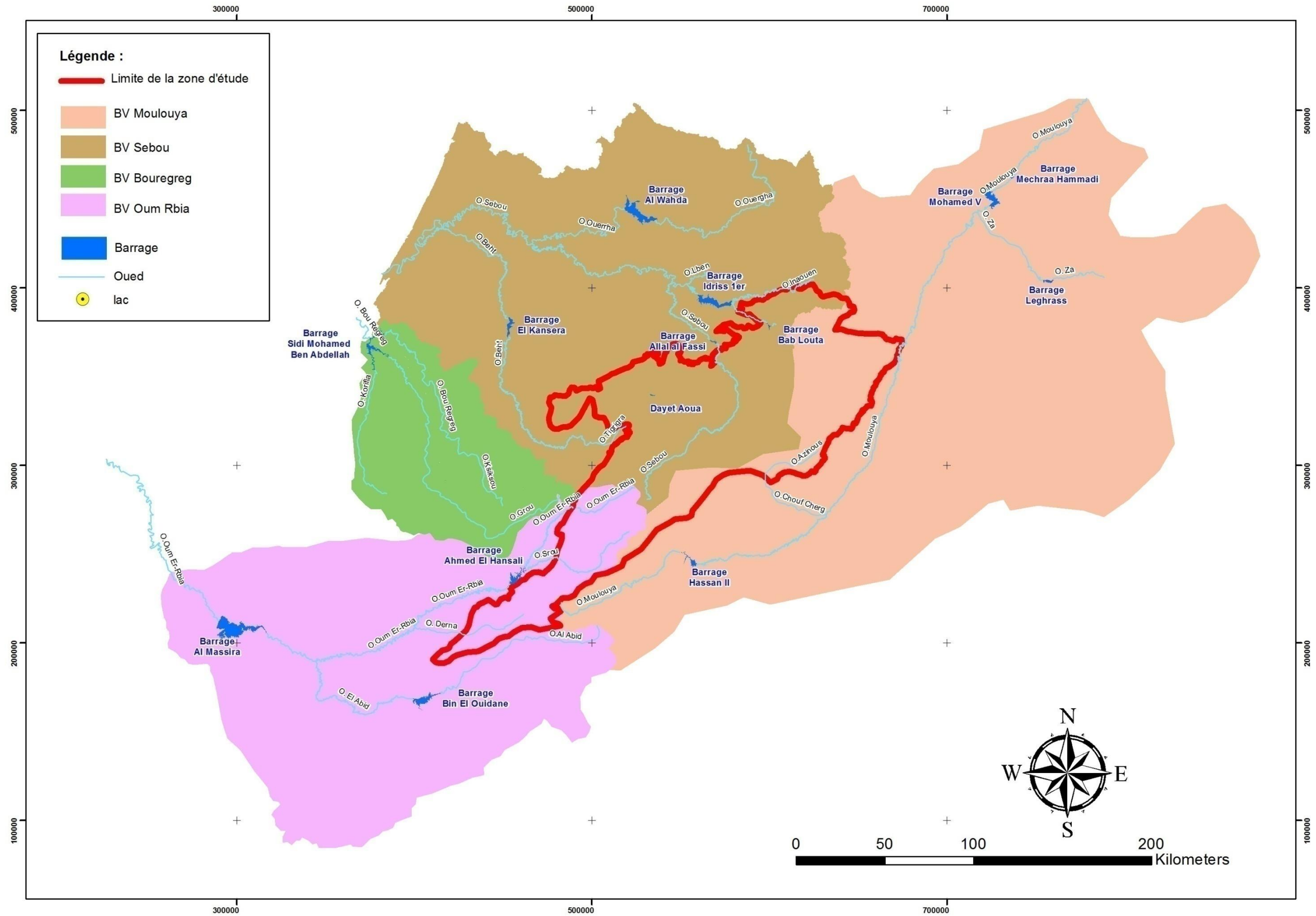
La Cascade d'Ouzoud offre un spectacle grandiose qui attire de nombreux visiteurs. Situées à 22 km de Tanaant et environ 150 km de Marrakech, dans une région où les cascades sont nombreuses, celle-ci correspond à une chute de 110 m de hauteur pour les eaux de la rivière Ouzoud qui rejoignent ensuite l'Oued El Abid. La cuvette de roches calcaires est entourée d'une flore luxuriante.

2.1.4.3.4 Barrages

Comme annoncé ci-dessus, la région du Moyen Atlas est riche barrages hydrauliques se situant au niveau des grands cours d'eau des BV de ladite région :

- Barrages du bassin de l'Oum Er-Rbia ;
- Barrages du bassin de Sebou ;
- Barrages du bassin de Bouregreg ;
- Barrages du bassin de Moulouya : haute et basse Moulouya.

⁴Bin El Ouidane [[archive](#)], Wihalane.



Carte 8 : Réseau hydrographique du Moyen Atlas

2.1.4.4 Géologie, géomorphologie et unités structurales

Sur le plan géologique le Moyen Atlas est constitué par des formations tertiaires et une couverture mésozoïque reposant sur un socle paléozoïque (**Fig. ci-dessous**). L'ensemble est parsemé des épanchements volcaniques épars d'âge quaternaire.

Au Sud-Est, au niveau du Couloir de Taza, le Rif entre en contact avec le Moyen Atlas qui prend une forme allongée du Nord-Est vers le Sud-Ouest. Les structures géologiques et géomorphologiques de ce dernier sont relativement assez homogènes et sans complexité : la partie occidentale étant tabulaire et moins élevée, l'orientale assez plissée et à relief plus accidenté et très élevé dans sa portion Nord-Orientale ; excepté le massif primaire du Tazekka et quelques faciès de basaltes et de schistes, la chaîne est essentiellement calcaire ou calcaro-dolomitique.

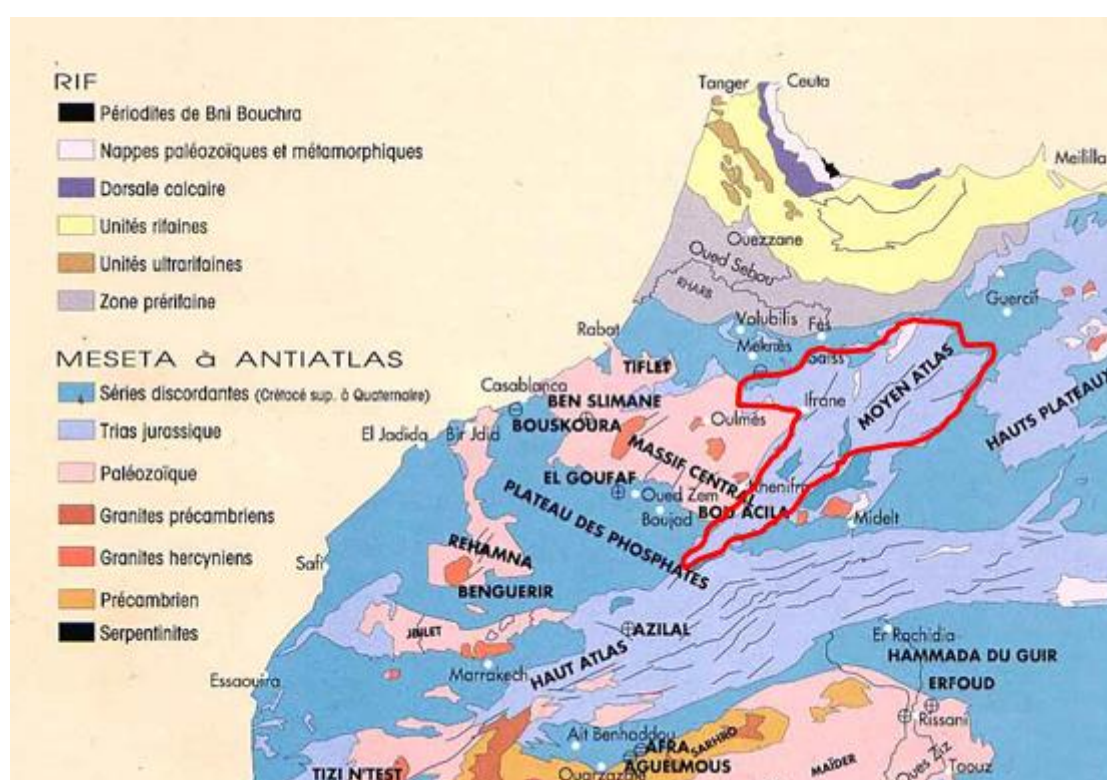


Figure 7: Schéma structural du nord du Maroc et la place de la zone d'étude
(Source : Perrier R., 1995)

La structure géomorphologique du Moyen Atlas est composée essentiellement :

- De roches calcaires ;
- Roches tabulaires à l'ouest, d'une altitude de 1 000 à 1 500 mètres ;
- Roches plissées au nord-est, d'une altitude plus élevée dépassant souvent 3 000 mètres (point culminant : Jbel Bou Naceur, 3 356 m) ;
- De plateaux volcaniques.

Le Moyen Atlas regroupe deux entités structurales différentes (ci-dessous) : le Moyen Atlas plissé au Sud-Est et le Causse Moyen Atlasique ou zone tabulaire au Nord-Ouest. Ces deux structures sont séparées par un accident majeur de Timahdite nommé « accident nord moyen atlasique ».

Le causse moyen atlasique est formé de grands ensembles de plateaux calcaires étagés en 1000 et 2000 (Lepoutre et Al., 1967). Il s'agit particulièrement des plateaux d'El Hajeb, d'Ifrane et de Guigou. La roche mère est de type carbonatée à calcaire ou dolomie.

Le Moyen Atlas plissé, est constitué par des massifs montagneux du SW vers NE formés des rides anticlinales fracturées, encadrant des dépressions synclinales marneux et marno-calcaires assez épais. Les rides sont constituées de calcaires liasiques et, en position axiale, d'argiles triasiques et des formations magmatiques (Fedan, 1989).

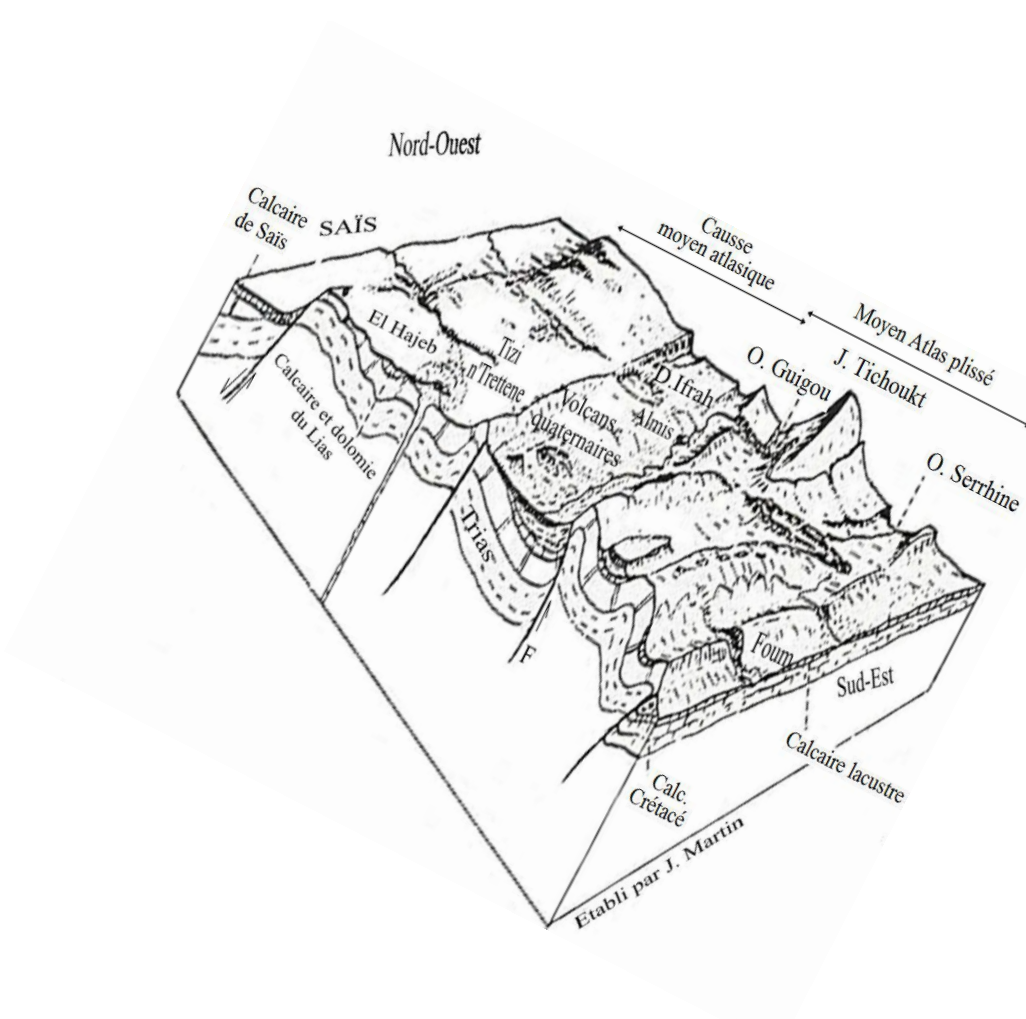
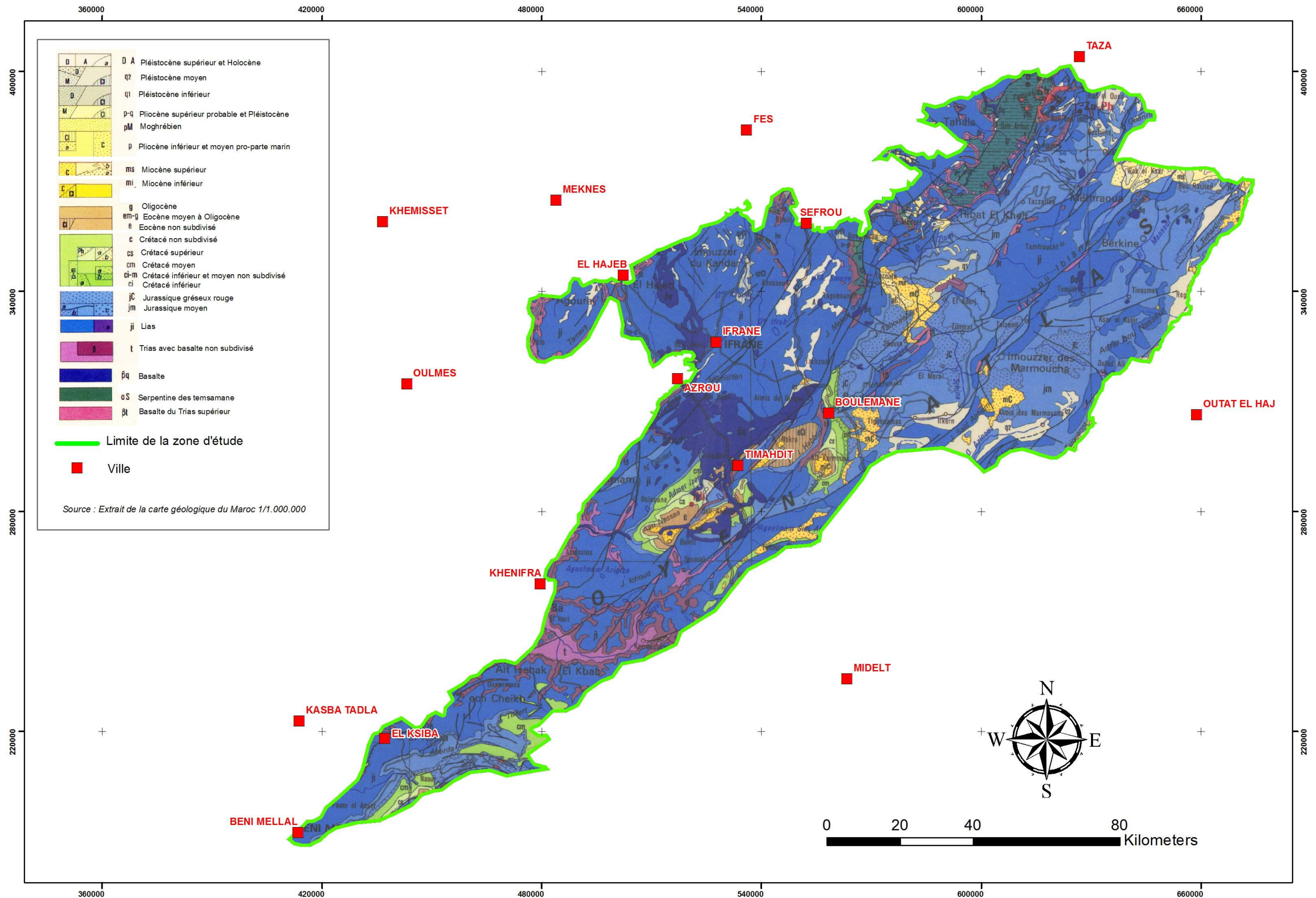


Figure 8: Structure géologique du Moyen Atlas
(Sources : J. Martin et al., 1964 in Adallal 2013)



Carte 9 : Situation géologique du Moyen Atlas

2.1.4.5 Pédologie

Selon **Lepoutre et J. Martin 1967**, on rencontre dans le Moyen Atlas :

- **Rendzine dolomitique :**

Est situé le long de la route n°3387 qui va du Djebel Hebri à Ifrane, par le Tizi N'Test, à une centaine de mètres au-delà du chalet du Club Alpin. Ce type de sol se situe dans une petite clairière de la cédraie du Michlifene sur un versant nord. L'altitude de 1950 m permet de rattacher le climat et la végétation à la partie supérieure de la zone altitudinale intermédiaire, c'est-à-dire que nous nous trouvons assez près de la limite inférieure de la cédraie d'altitude. Le cèdre domine, le chêne vert est rare et la strate herbacée claire est constituée par des espèces assez caractéristiques des sables dolomitiques, en particulier, *Scorzonera Pigmaea* et *Adenocarpus Boudyi*.

- **Sol rouge méditerranéen, à encroûtement calcaire, à caractères de sol châtain isohumique :**

Climatiquement, au niveau de ces endroits, leur position sur le sommet du Causse moyen atlasique et en bordure du front atlantique de celui-ci, les confère les caractéristiques du type climatique de cédraie basse, plus tempéré et humide. La végétation est une steppe d'altitude, composée surtout par des espèces botaniques adaptées aux sols argileux et au froid. On peut citer essentiellement : *Buplorum spinosum*, *Thymus cf. Alpriansis*, *Artemisia Ifranensis*

- **Sol rouge méditerranéen modal sur calcaire du Lias :**

Se situe à 12 km 500 d'Ifrane sur la route n° P24 qui conduit Fès par Immouzer Kandjar. Taillis de Chêne vert qui semble avoir fortement contribué, de longue date, à brunifier le profil. Climatiquement, on est toujours sur le front atlantique du Causse, mais on a quitté l'étage bioclimatique du Cèdre pour descendre vers celui du Chêne vert ; c'est-à-dire, que le climat est moins humide et plus chaud qu'à Ifrane. Les précipitations neigeuses sont rares et la pluviosité est de l'ordre de 900 mm par an. Ce profil pose peu de problèmes à priori, et il est présenté surtout comme exemple typique de sol rouge.

- **En allant vers le Moyen Atlas de Beni Mellal, on trouve :**

- Sols rouges fersialitiques : issus de l'évolution des substrats calcaires durs et de calcaires dolomitiques ;
- Sols bruns forestiers : suivant les expositions, ces types de sols peuvent être peu profonds à profonds. Ils sont issus de l'altération des roches carbonatées (calcaire dolomitique et marno-calcaire). La structure est grumeleuse, avec une texture argileuse. Dans les zones d'accumulation, ces sols bruns forestiers deviennent des sols bruns colluvionnaires. Les sols forestiers sont colonisés par le chêne vert ;
- Sols bruns calcaires : ce sont des sols profonds, se développant sur des roches calcaires et marno-calcaires. La structure est grumeleuse. La profondeur y est fonction des expositions.

En basse altitude, ces sols sont colonisés par le thuya, le caroubier et le doum. En moyenne altitude, le thuya est remplacé par le chêne vert du côté du moyen atlas de Béni Mellal.

2.1.5 Végétation, biodiversité et caractéristique écologique

La situation géographique du Maroc, entre la Méditerranée au Nord, l'océan atlantique à l'Ouest, le Sahara au Sud et au Sud-est et sa nature orographique particulière lui confère une diversité climatique et écologique remarquable.

Le domaine forestier marocain, s'étend sur une superficie de 9 millions d'hectares y compris les nappes alfatières. Les formations forestières arborées couvrent 5.800.000 ha, avec 78% de feuillues (chêne vert, arganier, chêne liège et acacia saharien...) et 22% de résineux (cèdre, thuya, pins, genévriers, cyprès et sapin...). Le taux moyen de couverture forestière du pays est de l'ordre de 8%, variant selon les régions forestières de 4% dans les provinces du Sud à **plus 40%** dans les régions du Rif et **du Moyen Atlas dont ce dernier fait l'objet de notre zone d'étude** (Source : forêts, parcours et changement climatique dans la région du proche orient le Caire, 20-22 Septembre 2011 : rapport national du Maroc).

Les aires de répartition des principales espèces forestières dans le Moyen Atlas d'après **Emberger et Maire 1934 ; Sauvage 1963 ; Lecompte 1969 ; White 1986 ; M'hirit 1993 ; Blérot et M'hirit 1999**, corrigées en fonction des cartes de types de peuplements réalisées dans le cadre des études d'aménagement des forêts du Moyen Atlas montrent que cette zone du Maroc est caractérisée par une diversité floristique et faunistique variée avec une richesse inestimable⁵.

Dans le Moyen Atlas, et pour rappel du point **2.1.4.1**, on trouve principalement :

Cedrus atlantica, caractéristique des étages froids humide et subhumide. Il se rencontre entre 1350 m et 2800 à 2900 m d'altitude (des pieds isolés peuvent descendre localement jusqu'à 900 m). En limite altitudinale inférieure de son aire, *C. atlantica* est remplacé par *Juniperus phoenicea*, *Pinus halepensis*, *P. pinaster* ou *Quercus ilex*. Il n'entre jamais en contact avec *Tetraclinis articulata*.

Quercus ilex : dans le Moyen Atlas, le chêne vert couvre une étendue considérable entre 600 et 2900 m sur le versant atlantique, mais il est beaucoup moins abondant sur le versant méditerranéen à relief accentué. On le rencontre principalement sous climat tempéré et froid dans les étages semi-aride, subhumide et humide. Vers sa limite altitudinale inférieure, dans l'étage semi-aride chaud, il est en contact avec *Tetraclinis articulata*, *Juniperus phoenicea* et *Pinus halepensis*. Vers la limite supérieure de sa répartition, dans l'étage semi-aride froid, *Quercus ilex* est en contact avec *Juniperus phoenicea*, *J. thurifera*. Dans les étages subhumide et humide, où il atteint son développement maximal, il se trouve en mosaïque, et parfois en mélange, avec *Q. faginea*, *Q. pyrenaica* et *Cedrus atlantica*. Toutes les stations de forêt subhumide à *Quercus ilex* dans le Moyen Atlas se trouvent sur sol calcaire.

Juniperus phoenicea : le genévrier de phénicie se rencontre souvent dans une zone se situant entre la tetraclinaie et l'illiciaie, mais dans les parties les plus froides de l'étage semi-aride, il prend la place du thuya.

Tetraclinis articulata : le thuya est généralement localisé dans les étages semi-arides océanique et maritime, entre le niveau de la mer et 1500 m. Le froid, surtout le froid humide, l'empêche de s'élever plus haut. On ne le retrouve pas sur le versant sud du Moyen Atlas si ce n'est à l'extrémité nord.

⁵ Ce paragraphe est un rappel du point **2.1.4.1** traité plus haut.

Pinus halepensis : le pin d'Alep quant à lui, croît du niveau de la mer à 2 000 m mais il est confiné à l'étage semi-aride et à la zone plus sèche de l'étage subhumide. Au centre de son aire de répartition, *P. halepensis* s'installe sur une grande variété de sols mais en limite de son aire, là où le froid ou la forte humidité sont des facteurs limitant, il se cantonne sur les sols calcaires. Il est souvent en association avec *Tetraclinis articulata*, *Juniperus phoenicea* ou *Quercus ilex*. Il est moins xérophile que *Tetraclinis* et ne s'élève pas aussi haut que *J. phoenicea*. Dans la limite la plus humide de son aire, il prend de l'expansion lorsque les forêts voisines à *Quercus ilex* ou à *Cedrus atlantica* sont endommagées par le feu ou dégradées par l'homme.

En résumé, la biodiversité écosystémique et paysagère du Moyen Atlas est traduite par l'existence d'un très grand nombre de types d'écosystèmes naturels et d'éco-complexes. Les premiers, de très loin les plus diversifiés, sont de types forestiers ou exceptionnellement préforestiers dans les bioclimats perhumides, humides et subhumides ; et de types préforestiers, présteppiques ou steppiques dans les bioclimats semi-arides et arides.

Les grands types d'écosystèmes naturels dans le Moyen Atlas sont représentés par les phytocénoses qui sont organisées par les essences arborescentes suivantes : *Cedrus atlantica* (cèdre de l'Atlas), *Quercus faginea* s.l. (chêne zeen), *Quercus suber* (chêne liège), *Quercus rotundifolia* (chêne vert), *Tetraclinis articulata* (thuya de Berbérie), *Juniperus phoenicea* ssp *turbinata* (genévrier rouge), *Juniperus thurifera* (genévrier thurifère), *Pinus halepensis* (pin d'Alep), *Pinus pinaster* var. *maghrebiana* (pin maritime du Maghreb),...

D'autres espèces arborescentes ou arbustives organisent des écosystèmes qui sont résiduels pour la majorité d'entre eux. Il s'agit de ceux à *Ceratonia siliqua* (caroubier), *Pistacia atlantica* (pistachier de l'Atlas), *Olea oleaster* (oléastre),... Ces formations végétales se caractérisent par un cortège floristique très riche et très varié à base de *Arbutus unedo*, *Cistus albidus*, *Cistus crispus*, *Cistus ladaniferus*, *Cistus laurifolius*, *Cistus monspeliensis*, *Cistus salvifolius*, *Clinopodium vulgare*, *Crataegus laciniata*, *Erica arborea*, *Erica australis*, *Genista quadriflora*, *Genista tridentata*, *Halimium atlanticum*, *Halimium lasiocalycinum*, *lavandula stoechas*, *Myrtus communis*, *Origanum elongatum*, *Pistacia lentiscus*, *Teucrium afrum*, *Thymus afer*, *Thymus riatarum*, *Ulex boivini*,...

Plusieurs études phytosociologiques ont été réalisées dans le Moyen Atlas et qui ont touchées certaines plusieurs forêts de ladite région. Parmi ces études, on cite par exemple celles menées par Maroc Développement dans les années 1990 (marché n°21/88) pour les forêts de Berkine, de Tamjilt, et de Maghraoua. Celles-ci furent actualisées par la **Société TTOBA S.A.R.L.** dans le cadre des études d'aménagements desdites forêts sous le **marché n°8 /2011/DREFLCD-NE**.

Les peuplements forestiers du Moyen Atlas se caractérisent par une grande richesse et diversité en espèces végétales, et ceci est en rapport avec les facteurs climatiques, géologiques, topographiques et pédologiques au niveau des forêts qui la compose.

L'ensemble de ces études, y compris celles réalisées par d'autres entités ou structures dans le Moyen Atlas ont permis de décrire plusieurs groupements végétaux de type forêt et matorral pour cette région. **Ces groupements végétaux** se présentent comme suit et variables selon les zones géographiques du Moyen Atlas :

Tableau n° 3 - Synthèse des groupements végétaux existants dans le Moyen Atlas

Etages de végétation	Séries et étagement de Végétation	Groupement climacique
Oroméditerranéen 2500 – 3356m	Série oroméditerranéenne à xérophytes épineux	<i>Thymo atlantici-Erinaceetum anthyllidis</i> (MA oriental)
Oroméditerranéen 2200 – 2700 m		<i>Juniperetum himisphaericae</i> <i>Avenastro jahandiezii-Marrubietum ayadi</i> (HA et MA oriental)
Montagnard méditerranéen 2000 – 2500 m	Série montagnarde méditerranéenne à xérophytes épineux	<i>Bupleuro- Erinaceetum anthyllidis</i> <i>Veronic roseae-Buplearetum spinosi</i> (MA centrale sur calcaire, au niveau du Jbel Hayane, Sidi M'Guild ainsi que sur clairière)
		<i>Carduncello mestlantici-Erinaceetum</i> (MA centrale sur calcaire, SH, au niveau du Jbel Hayane)
		<i>Arenario armeriae-Adenocarpetum boudyi</i> (MA tabulaire sur domolie sableux)
	Série montagnarde méditerranéenne à cèdre	<i>Agropyro marginati – Cedretum atlanticae</i> (MA orientale sur calcaire marneux)
		<i>Luzulo forsteri-Cedretum atlanticae</i> (Bab Azhar, Rif sur silicieux)
	Série montagnarde méditerranéenne mésophile de cèdre	<i>Argyrocytiso battandieri – Cedretum atlanticae</i> (MA centrale sur calcaire et basalte)
	Série montagnarde méditerranéenne de cèdre et chêne vert	<i>Agropyro marginati – Cedretum atlanticae</i>
	Série montagnarde méditerranéenne de cèdre et chêne vert :	
	Série montagnarde méditerranéenne préforestière de cèdre et chêne vert	<i>Lonicero arboreae – Cedretum atlanticae</i> (MA oriental sur calcaire)
	Série montagnarde méditerranéenne présteppique de genévrier thurifère et chêne vert	<i>Junipero thuriferae – Quercetum rotundifoliae</i>
Série montagnarde méditerranéenne présteppique de chêne vert	<i>Ormenido scariosae – Quercetum rotundifoliae</i> sur calcaire compacte	
Série montagnarde méditerranéenne présteppique de et chêne vert	<i>Argyrocytiso battandieri – Quercetum rotundifoliae</i> (MA centrale, sur basalte, et au niveau du jbel Habri)	
Supraméditerranéen 1600 – 2000 m	Série supraméditerranéenne de cèdre et chêne vert	<i>Balansaeo glaberrimae-Cedretum atlanticae</i> (MA centrale)
	Série supraméditerranéenne de genévrier rouge et chêne vert	<i>Junipero phoeniceae – Quercetum rotundifoliae</i> <i>Genisto jahandiezii – Quercetum rotundifoliae</i> (MA oriental sur calcaire)
	Série supraméditerranéenne chêne vert	<i>Busco balearicae-Quercetum rotundifoliae</i> (dans la région de Boulemane)
		<i>Argyrocytiso battandieri – Quercetum rotundifoliae</i> (MA centrale sur basalte, et au niveau du Jbel Habri)
	Série supraméditerranéenne mixte de chêne vert et chêne zeen	<i>Balansaeo glaberrimae-Quercetum rotundifoliae</i> (MA oriental)
	Série supraméditerranéenne de chêne zeen	<i>Balansaeo glaberrimae-Quercetum canariensis</i> (MA oriental sursols silicieux) <i>Paeonio maroccanae-Quercetum canariensis</i> (MA centrale, El hajeb, Azrou et Ifrane)
Mésoméditerranéen 1200 – 1600 m	Série mésoméditerranéenne de genévrier rouge et chêne vert	<i>Junipero phoeniceae – Quercetum rotundifoliae</i> <i>Genisto jahandiezii – Quercetum rotundifoliae</i>
	Série mésoméditerranéenne de chêne vert	<i>Balansaeo glaberrimae-Quercetum rotundifoliae</i> <i>Ampelodesmo mauritanicae-Chamoeroptum humilis</i> (MA orientale, sur calcaire, marno-calcaire, formation dégradée de chêne vert)
		<i>Balansaeo glaberrimae-Quercetum canariensis</i>
	Série mésoméditerranéenne de chêne zeen	<i>Arbutu unedonis – Quercetum suberis</i>
	Série mésoméditerranéenne de chêne zeen et chêne-liège	
	Série mésoméditerranéenne de chêne liège	
Série mésoméditerranéenne mixte de chêne liège et chêne zeen		
Thermoméditerranéen en 750 – 1200 m	Série thermoméditerranéenne de genévrier rouge et chêne vert	<i>Junipero phoeniceae – Quercetum rotundifoliae</i>
	Série thermoméditerranéenne mixte de chêne zeen et chêne-liège	<i>Arbutu unedonis -Quercetum canariensis</i>
	Série thermoméditerranéenne de chêne vert	<i>Smilaci mauritanicae-Quercetum rotundifoliae</i> <i>Ampelodesmo mauritanicae-Chamoeroptum humilis</i> (MA orientale, sur calcaire, marno-calcaire, formation dégradée de chêne vert)
		<i>Ampelodismo mauritanicae-Quercetum suberis</i>
	Série thermoméditerranéenne de chêne-liège	<i>Tetraclino – Jasminetum fruticansis</i>
	Série thermoméditerranéenne de thuya	<i>Rosmarino officinalis-tetraclinetum articulatae</i> (MA et Maroc oriental)
		<i>Tetraclino articulatae-Juniperetum turbinatae</i> (MA orientale)
	Série thermoméditerranéenne de chêne vert et thuya	<i>Quercu rotundifoliae-Tetraclinetum articulatae</i>
	Série thermoméditerranéenne de thuya et genévrier oxycèdre	<i>Junipero oxyceri-Tetraclinetum articulatae</i> (MA orientale)
	Série thermoméditerranéenne de caroubier	<i>Clematido cirrhorae-Ceratonietum siliquae</i>
Série thermoméditerranéenne de thuya et caroubier	<i>Ceratonio siliquae-Tetraclinetum articulatae</i> (MA)	
Série thermoméditerranéenne de pistacia atlantica	<i>Rhoopentaphyllae-Pistacietum atlanticae</i> (Piemont nord de MA centrale et de Beni Mellal)	

Dans la plupart des formations qui ont été définies, les peuplements forestiers sont infiltrés par les éléments floristiques hélioxérophiles qui prospèrent dans les vides créés par la dégradation de la forêt (matorralisation des ensembles forestiers).

Les moyennes et les basses altitudes sont le domaine des éléments floristiques hélioxérothermophiles. Les xérophytes épineuses dominent les faciès de haute montagne. Dans cette région en générale, les groupements végétaux du Moyen Atlas connaissent une matorralisation qui correspond à un envahissement global des structures forestières par des sclérophylles généralement liées aux ourlets et manteaux préforestiers.

Les essences de chêne vert, de thuya, de genévrier rouge et de pin d'Alep, jouent le rôle déterminant dans la constitution de ces forêts. Les peuplements de pin maritime apparaissent localement à certains niveaux altitudinaux, sans constituer des formations étendues proprement dits.

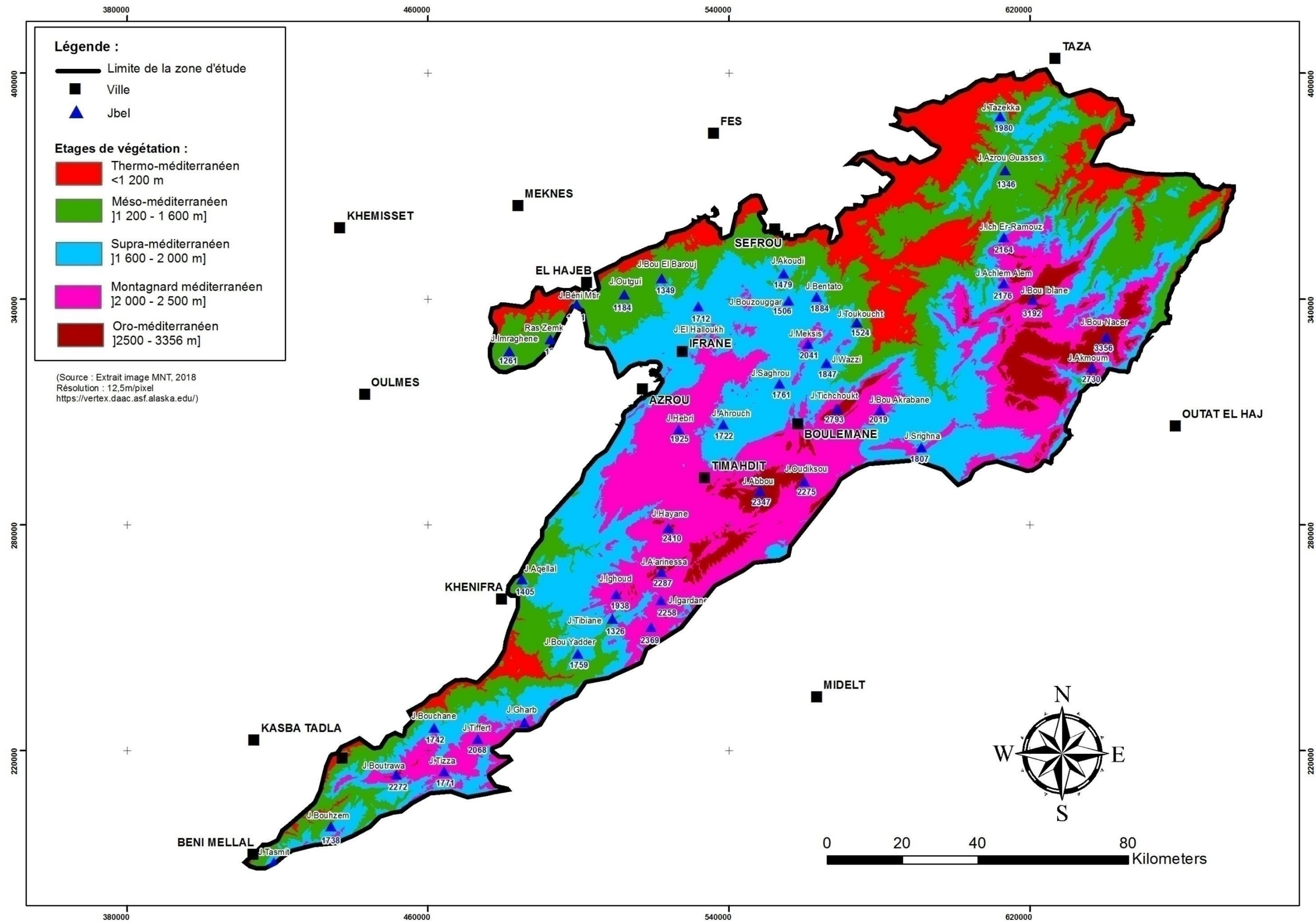
Quant au cèdre, il s'individualise des peuplements qu'au niveau du montagnard méditerranéen. Les conditions climatiques ne sont pas favorables à ces deux dernières essences au niveau de certaines forêts du Moyen Atlas.

La dégradation des forêts s'observe à tous les niveaux altitudinaux : les chênes verts mutilés, les individus morts sur pieds de cèdre et de chêne vert et l'absence fréquente de la strate herbacée en témoignent. Cette dégradation est d'origine anthropozoogène. Cependant, l'impact des facteurs de perturbation est accentué par les conditions climatiques. Certaines de la région du Moyen Atlas se développent dans des ambiances bioclimatiques semi-aride et subhumide continentales sur les revers Est en direction du Moyen Atlas Oriental et du Moyen Atlas de Béni Mellal. Zone Moyen Atlas central reste la zone la plus arrosée.

Tableau n° 4 - Etat de conservation des écosystèmes forestiers, préforestiers, présteppiques et steppiques dans le moyen atlas

ECOSYSTEMES	ETAT DE CONSERVATION
<i>Cedrus atlantica</i>	Très bien conservés sur la façade atlantique, assez dégradés, en dépérissement ou éteints dans certaines portions du Moyen Atlas oriental.
<i>Pinus halepensis</i>	Assez bien conservés localement, dégradés ailleurs.
<i>Pinus pinaster var. maghrebiana</i>	Assez bien conservés sur la façade atlantique.
<i>Quercus rotundifolia</i>	Les plus beaux du Maroc, très bien conservés sur une bonne portion de la zone, assez dégradés à très dégradés localement dans le Moyen Atlas Oriental.
<i>Quercus suber</i>	Localement bien conservés.
<i>Quercus faginea</i>	Très beaux et bien conservés sur la façade atlantique.
<i>Quercus coccifera</i>	Très rare au Moyen Atlas
<i>Olea oleaster</i>	assez bien conservés par endroits, très dégradés ailleurs.
<i>Tetraclinis articulata</i>	Assez bien conservés, moyennement à assez dégradés ailleurs
<i>Juniperus phoenicea</i>	Moyennement à très dégradés.
<i>Juniperus thurifera</i>	Dégradés, à très dégradés ou éteints.
<i>Ceratonia siliqua</i>	Dégradés, à très dégradés ou éteints.
Xérophytes épineux	Localement assez bien conservés

Source : BENABID, A., 2002



2.1.6 Atouts touristiques du Moyen Atlas

2.1.6.1 Introduction

La position géographique du Maroc entre l'Europe et l'Afrique lui confère une situation privilégiée au cours de son histoire naturelle en matière des échanges de matériels génétiques et de subir différentes influences climatiques ce qui procure au Maroc de remarquables bioclimats de l'humide, subhumide, semi-aride au sec saharien. Le Maroc dispose d'une grande variété bioclimatique et d'une importante gamme de milieux naturels : 30 zones bio-géographiques et 39 écosystèmes terrestres dont 30 écosystèmes forestiers et représente une diversité biologique potentielle et une richesse biologique exceptionnelles : 4 700 espèces végétales dont plus de 70 arbres forestiers, 101 espèces de mammifères, 236 espèces d'oiseaux et 114 espèces de reptiles et amphibiens. Cependant il y a de sérieuses menaces, dues essentiellement aux multiples activités de l'homme, dont le retentissement peut être catastrophique sur la biodiversité et l'écosystème en général au Maroc (https://fr.wikipedia.org/wiki/Moyen_Atlas).

Ce patrimoine est confronté à une problématique liée au dynamisme humain qui tend au regain des parcelles cultivables au détriment de la forêt (homo-destructus) et à la sécheresse due aux changements climatiques de la biosphère que l'on attribue à la pollution qui affecte la couche d'ozone.

[Le Moyen Atlas](#) constitue un territoire au charme insolite, sa richesse en biodiversité faunique et floristique en faisant une zone à vocation touristique. Le pastoralisme reste cependant la première ressource économique.

Au cœur des montagnes du Moyen Atlas, en pays amazigh, le Pays d'Accueil Touristique d'Ifrane (P.A.T) est, par ailleurs, une destination de charme exceptionnelle avec ses paysages verdoyants et sa nature fascinante. A travers une longue ceinture de végétation, vous pouvez découvrir, et voir se succéder en fonction de l'altitude et des expositions, des forêts de caroubier, de chêne vert, de thuya, des conifères et des cèdres, arbres légendaires et espèce emblématique de la région.

Vous pouvez aussi découvrir lacs et rivières et le plus long fleuve du Maroc, l'Oum Er-Rbia qui prend sa source à 40 km de Khénifra, pour se jeter 600 km plus loin dans l'Atlantique à Azemmour (Doukkala) (*source : Le Guide touristique du Moyen atlas publié par le Conseil Régional du Tourisme Meknès - Tafilalet, en partenariat avec L'Office National Marocain du Tourisme*).

À l'ouest, le Moyen Atlas rejoint les premiers contreforts du Haut Atlas. Le Moyen Atlas abrite aussi quelques petites villes de moyenne altitude, au cachet typiquement berbère et leurs traditions ancestrales. Ainsi Ifrane, surnommé la « Suisse du Maroc » pour son style urbanistique à l'européenne (chalets en pierre et toits de tuiles rouges) et son parc national d'Ifrane (riche par ses Zygènes uniques), Azrou, ancienne station de repos bâtie sur les pentes d'une cédraie, et Immouzzer Kandar, Zaouia d'Ifrane : (village à 15 km d'Azrou), El Hajeb, Elksiba, Beni Mellal avec son célèbre lac de Bin El Ouidane formé par Oued Ahansal et son affluent Oued El Abid.

A ne pas manquer aussi, Khénifra la ville rouge, qui dispose d'une grande biodiversité et d'un paysage naturel très diversifié. Midelt aussi, est fascinante avec le Haut Atlas à l'horizon et les fonds d'oueds verdoyants tranchants sur les espaces désertiques et vallonnés.

Ces villes et leurs régions offrent de magnifiques paysages fort appréciés par les randonneurs amoureux de la montagne et de magnifiques lacs, répartis entre la province d'Ifrane et de Khénifra, logés dans la cause de formation karstiques : tels Aguelmame Aziza, Aguelmame Sidi Ali, Tiguelmamine, Dayet Aoua, Afennourir, Dayet Afourgah, Dayet Iffer, Aguelmame Ouiouane à proximité des sources d'Oum Er-Rbia, Aguelmame Tifounassine situé à 40 km d'Azrou sur la route de Midelt, Aguelmame Abakhane situé sur la route n°33 entre Khénifra et Midelt par le village Tighassaline. **La plupart de ces sites sont classés SIBE (Sites d'Intérêt Biologique et Écologique) de priorité 1, 2 et 3.**

Les randonneurs et amoureux de la montagne n'ont que l'embaras du choix entre les parties de pêche à la truite dans les rivières et les différents lacs, les observations ornithologiques au lac d'Affenourir, les randonnées et balades autour du cause d'Ifrane, les activités sportives notamment le ski sur les pentes du Mont Michliffen et du Jbel Hebri, VTT, spéléologie et équitation.

Pour profiter au mieux d'un séjour dans cette contrée, le visiteur peut aussi découvrir l'artisanat local (poterie, tissage, travail sur bois de cèdre...) dans les ateliers artisanaux et les coopératives d'Azrou et d'Aïn Leuh (*source : Le Guide touristique du Moyen Atlas publié par le Conseil Régional du Tourisme Meknès - Tafilalet, en partenariat avec L'Office National Marocain du Tourisme*).

Jadis l'arganier peuplait la région de Khénifra dans la vallée de l'oued Grou, au Moyen Atlas ; sa disparition est due à la désertification et aux activités de l'homme.

Le Moyen Atlas, Château d'eau du Maroc, Pays des douces montagnes et des peuplades berbères, il fascine par sa cédraie, ses paysages riches et suaves, ses lacs aux eaux tranquilles et ses nombreux sites. Les cédraies, tels d'Ajdir Izayane, d'Ain Leuh, d'Azrou et d'Ifrane, d'Immouzer Marmoucha jusqu'aux confins du massif rifain dont le célèbre Parc National de Tazekka impressionnent les randonneurs par le contraste du paysage moyen atlasique sans dévoiler les secrets de la vie qu'elle cache entre ses arbres majestueux. La beauté de cette contrée réside dans ses diversités de paysages contrastées dans une ambiance calme où la pureté de l'air aux odeurs parfumées d'essence du cèdre et du Thuya embaume les âmes des visiteurs.

Ce patrimoine est protégé et valorisé au sein du Parc National d'Ifrane, qui renferme les plus beaux massifs forestiers du Royaume notamment de cèdres, de chênes verts, de chênes zeen, de chênes liège et de pins d'Alep.

Le circuit des lacs traverse des paysages sauvages de montagnes assez élevées, de hauts plateaux verdoyants et d'immenses forêts parcourues par les singes appelés magots. La région du Moyen Atlas recèle des atouts favorables à l'éco-tourisme, mais il reste beaucoup à faire pour la mise en valeur de ce patrimoine encore vierge une infrastructure adéquate aux besoins des populations locales vivant sous le joug de la pauvreté.

Malgré toutes ses potentialités, l'écosystème du Moyen Atlas est soumis à plusieurs facteurs de pression écologiques dont l'impact est irréversible :

- La dynamique des populations ;
- La sécheresse qui gagne du terrain par manque de précipitations ;
- L'exploitation abusive de la forêt ;
- L'habitat menacé par le surpâturage.

Le Moyen Atlas offre des paysages variés. La partie orientale est peu arrosée et pauvre en végétation, mais les vallées profondes sont dominées par les plus hauts sommets du Moyen Atlas, le jbel Bou Naceur (3 356 mètres) et le jbel Bouiblane (3 192 mètres) près d'Immouzer Marmoucha. Au centre, les hauts plateaux entre Azrou et Timahdite sont peu peuplés. Le versant occidental est plus humide et les surfaces cultivables ont attiré davantage de populations. Plateaux et vallons sont couverts de forêts de cèdres, de chênes lièges et de pins maritimes. À partir de décembre, les sommets au-dessus de 800 mètres sont enneigés.

Le Moyen Atlas est encore un des derniers espaces de transhumance au Maroc, les Beni M'guilds et les Zayanes berbères de Khénifra. Ces populations se déplacent au printemps, avec leurs troupeaux, vers les pâturages verdoyants et fuient les rigueurs du climat hivernal en descendant vers les plaines tempérées (<http://www.moyenatlas.net/atouts-touristiques>).

La région de Khénifra constitue un véritable château d'eau par son réseau fluvial en fourchette formé par l'Oum Er-Rbia et les affluents de Bouregreg, donnant naissance à deux grands bassins hydrauliques.

Selon l'étude menée par le Conseil Régional du Tourisme Meknès - Tafilalet, en partenariat avec L'Office National Marocain du Tourisme intitulée « Le Guide touristique du Moyen Atlas », il est dit, nous citons : « Le Moyen Atlas est une destination touristique de premier choix pour tous ceux qui rêvent de se ressourcer au contact de la nature. Bon séjour dans la destination de tous les extrêmes ».

2.1.6.2 Loisirs de la pêche continentale

La richesse des lacs en poissons permet la création d'amodiations de droit de pêche régies par des arrêtés ministériels où les pêcheurs peuvent pratiquer différentes pêches surtout à caractère touristique à savoir :

- Pêche à truite en rivières.
- Pêche à truite dans les plans d'eaux.
- Pêche dans les eaux à poissons blancs.

Les principales espèces de poissons sont : truite fario, truite arc-en-ciel, gardon, brochet, black bass, sandre, perche. Les poissons les plus appréciés par les pêcheurs sont le brochet et la truite. Les rivières présentent d'autres variétés selon les lieux.

2.1.6.3 Parcs nationaux du Moyen Atlas

Il faut noter que les parcs nationaux en général et ceux du Moyen Atlas en particulier constituent l'un des pôles touristiques du royaume du Maroc. Parmi lesquels, on cite :

❖ Parc National d'Ifrane :

Le Parc National d'Ifrane fait partie de la série des parcs nationaux du Maroc et est le plus représentatif par la richesse de son écosystème et de ses paysages. Montagne, forêts, lacs, rivières et faune... au Parc national d'Ifrane, la nature apparaît sous toutes ses formes, au rythme des saisons.

Étendu sur **125.000 ha** et occupant la quasi-totalité de la portion occidentale du Moyen Atlas Central, le parc est un milieu à relief aéré, de moyennes montagnes constituées essentiellement de calcaires ou de dolomies avec, localement, des schistes ou des couvertures volcaniques comme le plateau d'Ito.

Il constitue un pôle touristique de prédilection pour les randonneurs et les pêcheurs qui pratiquent ce sport dans une ambiance sereine.

Se distinguant par ses valeurs écologiques et biologiques, il recèle une flore et une faune aussi bien diversifiée qu'originale avec plus de 1015 espèces, de plantes vasculaires (plus de 22% de l'ensemble de la flore vasculaire marocaine), 209 espèces d'oiseaux (soit à peu près 50% de l'avifaune signalée au Maroc.) dont 103 nicheuses (5 espèces d'importance mondiale comme le milan royal, la sarcelle marbrée, l'ibis chauve ainsi qu'une abondante avifaune tels : tadorne, casarca, foulque) et 31 espèces de mammifères parmi lesquelles le singe magot, l'écureuil de berbérie et le macroscélide de rozet (*source : Le Guide touristique du Moyen Atlas publié par le Conseil Régional du Tourisme Meknès - Tafilalet, en partenariat avec L'Office National Marocain du Tourisme*).

Situé au cœur du Moyen Atlas en plein causse karstique, représentatif de la beauté paradisiaque du Moyen Atlas, le Parc National d'Ifrane s'étend sur plus de 500 km². Il abrite notamment la plus grande forêt de cèdres du Maroc. Il englobe un ensemble de gîtes à caractère biodiversitaire d'une rareté remarquable (Parc de Tizguite, Val d'Ifrane : les sources Vittel, Lac Dayet Aoua, Dayet Hachlaf, Dayet Ibrah, Dayet Iffer, Aguelmam Afenourir et Aguelmam Tifounassine, ...), outre la station ski à Michlifen.

Espace de liberté et de découverte, le parc constitue un pôle touristique de prédilection pour les randonneurs, les pêcheurs, les amateurs d'activités de pleine nature et les sportifs à la recherche d'émotions fortes et d'ambiance sereine. Les massifs forestiers et les reliefs volcaniques boisés surplombant de vastes espaces dénudés (causses et plateaux karstiques), s'offrent aux activités de randonnées pédestres, équestres et VTT.

Les sources, les rivières et les lacs de montagne (aguelmane, dayet) attirent les adeptes de l'observation des oiseaux et ceux de la pêche. Les massifs, enneigés l'hiver, font la joie des amateurs de ski et glisse.

Ce patrimoine est malheureusement soumis à diverses pressions relatives à certains facteurs connus chez les rares spécialistes en la matière à savoir :

- le surpâturage ;
- la dynamique de la population locale et citadine ;
- la surexploitation de la forêt.

❖ **Parc National de Tazekka :**

Le Parc National de Tazekka est situé dans la partie la plus septentrionale du Moyen Atlas, à proximité de la ville de Taza (21 km), il a été créé par Arrêté Visiriel du 11 juillet 1950 et s'étend sur une superficie de 680 hectares. L'objectif de sa création s'inscrit dans le cadre forestier et environnemental afin d'assurer la protection de toutes les ressources naturelles du sommet du jbel Tazekka ce massif constitue un château alimentant le système hydrologique de la région de Taza. Il constitue un pôle d'attraction touristique incontestable dans le Moyen Atlas.

❖ **Parc National de Khénifra :**

Le Parc National de Khénifra, se situe au Maroc dans les régions Fès-Meknès et Béni Mellal-Khénifra, entre les provinces de Khénifra et d'Ifrane. La ville de Khénifra, avoisinante du parc, a une position stratégique entre Fès et Marrakech, au cœur du Moyen Atlas, elle est à 82 km au sud-ouest d'Azrou et à 130 km au nord de Béni-Mellal par la route nationale N81. Le Parc National de Khénifra, est l'un des plus récents au Maroc, en effet sa création, effectuée en 2008, est venue répondre à l'importance économique et environnementale de la région du Moyen Atlas, ainsi qu'à l'urgence des menaces pesant sur ses ressources naturelles.

Cette réserve naturelle, d'une superficie de 202 700 hectares, abrite aussi bien les mammifères, comme le singe, que des oiseaux, comme l'aigle royal, des reptiles et des amphibiens. Son statut actuel : est du ressort du système foncier : de domaine forestier, et de domaine collectif. **Ses usages sont de trois types** : l'agriculture, la foresterie, et le **tourisme**.

Ces trois parcs font les joyaux du Moyen Atlas : le Parc National d'Ifrane, situé dans le causse atlasique⁶ entre Khénifra et Ifrane, le Parc National de Khénifra et le Parc National de Tazekka, classés Ramsar⁷ selon la convention avec le Maroc⁸.

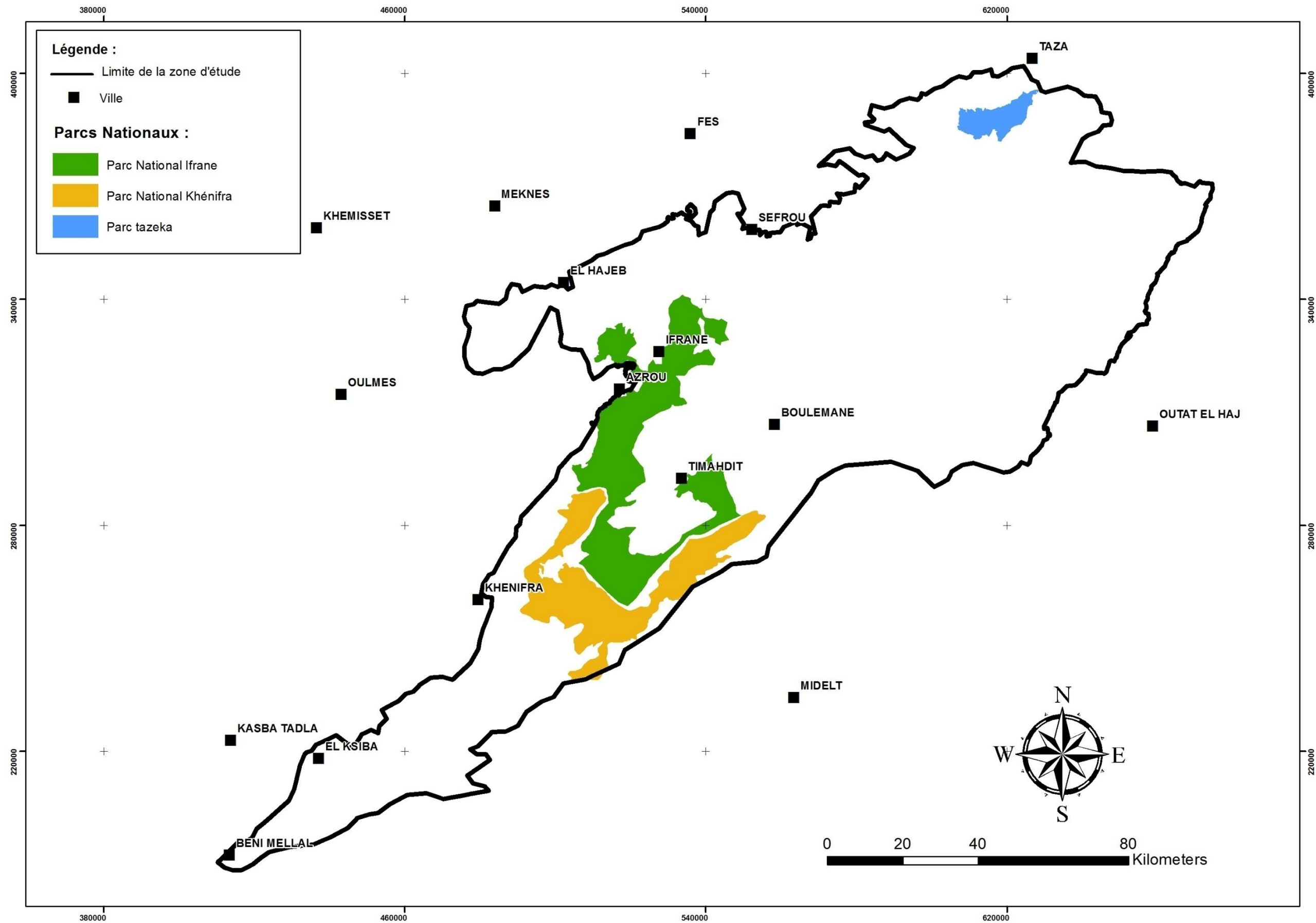
En plus de ces caractéristiques éco-touristiques précitées, le Moyen Atlas offre un cadre propice à la pratique de différentes activités sportives :

- Découverte de l'artisanat et des traditions culturelles aux alentours de la ville d'Azrou avec hébergement dans les gîtes du lac de Dayet Aoua et de Charme ;
- Randonnée pédestre, à dos de mulets avec bivouacs et logement chez l'habitant ;
- Observation des oiseaux migrateurs dans la zone humide d'Afenourir ;
- Découverte de la splendide cascade de Zaouia Had Oued Ifren et de son village pittoresque ;
- Visite des lacs et villages berbères et découverte du nomadisme et des traditions populaires ;
- La pratique du ski d'hiver est possible dans les stations de Michlifen, Jbel Hebri et Jbel Habri. Ces petites stations sont implantées au cœur de la cédraie, à 2000 m d'altitude et offrent des pistes de 100 à 200 m de dénivellation, équipées de téléskis et praticables de Décembre - fin Février.

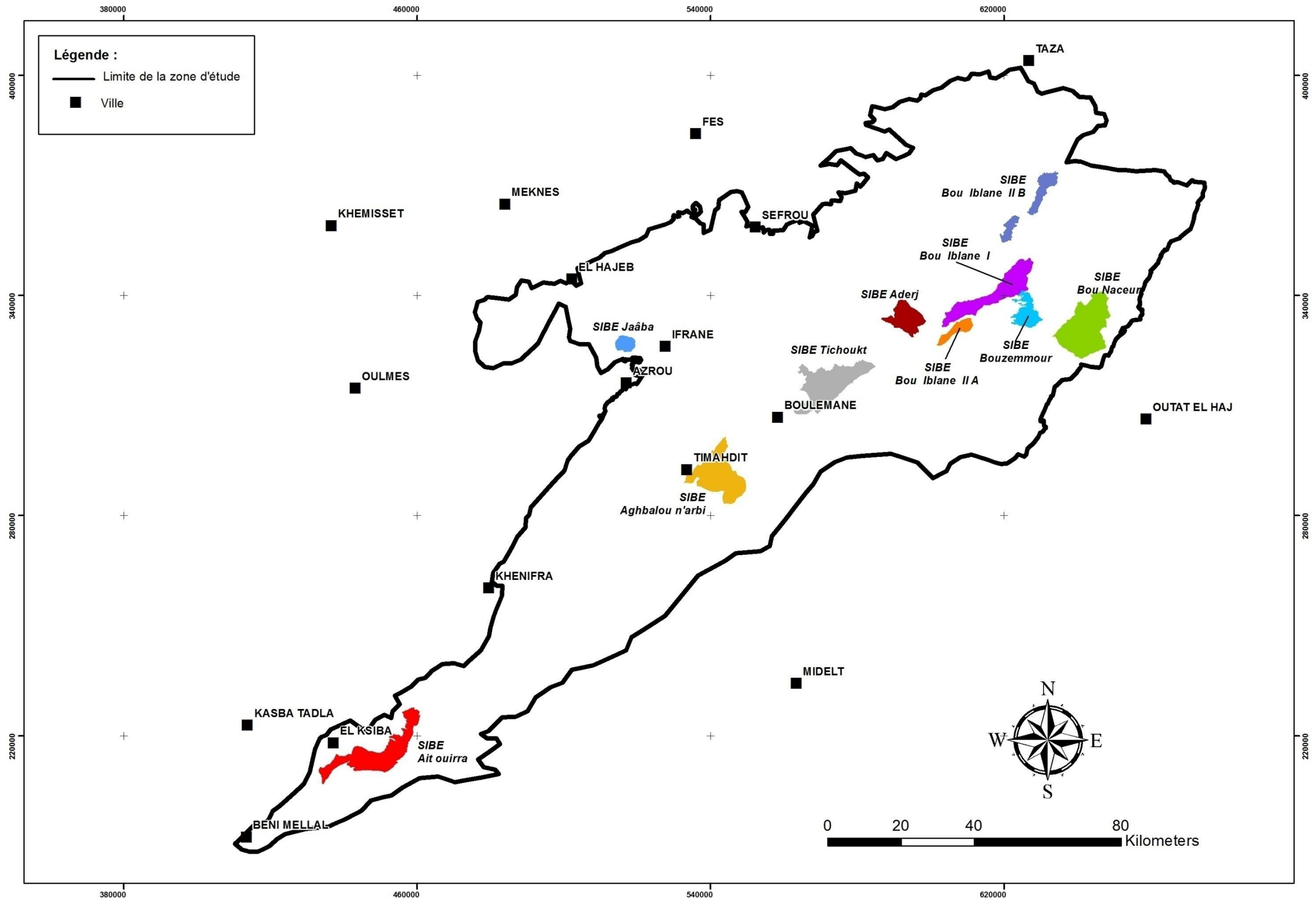
⁶« [Le causse Moyen atlasique](#) » [\[archive\]](#) par B.Lepoutre et J. Martin, *Cahier de la recherche agronomique*, n°24, 1967.

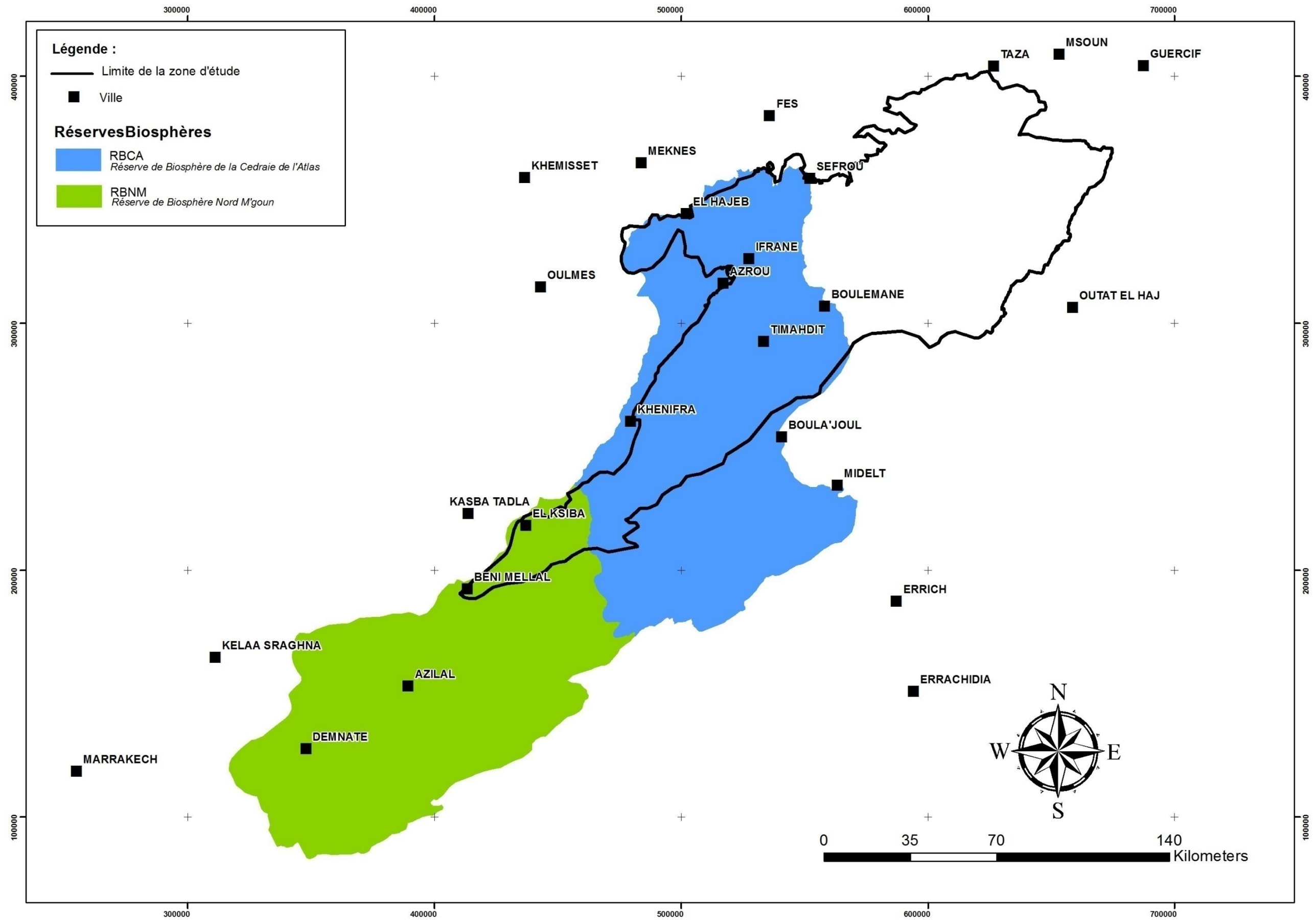
⁷ [La Convention sur les zones humides](#) [\[archive\]](#), Le Royaume du Maroc a désigné 20 nouveaux sites Ramsar, 2005.

⁸[La Convention RAMSAR](#) [\[archive\]](#), site de la Mission permanente du Royaume du Maroc au Nations Unies.

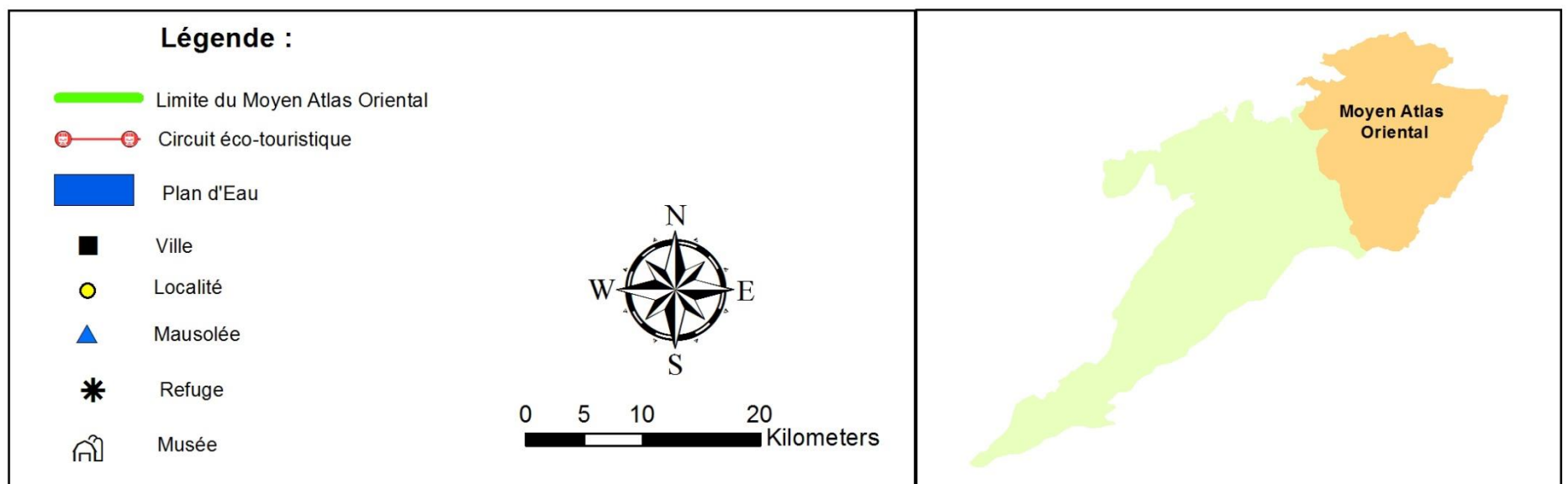
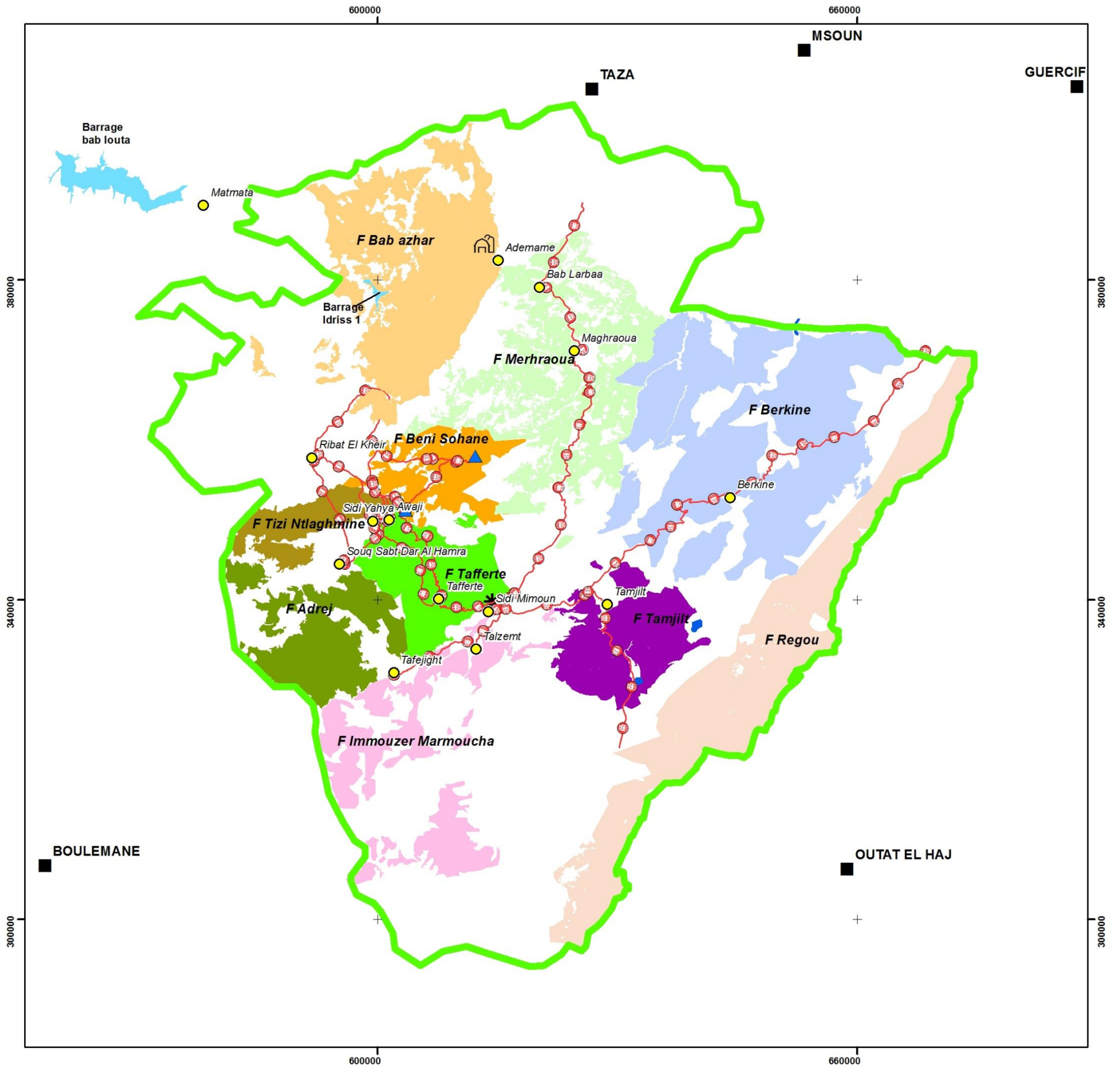


Carte 12 : Parcs nationaux du Moyen Atlas

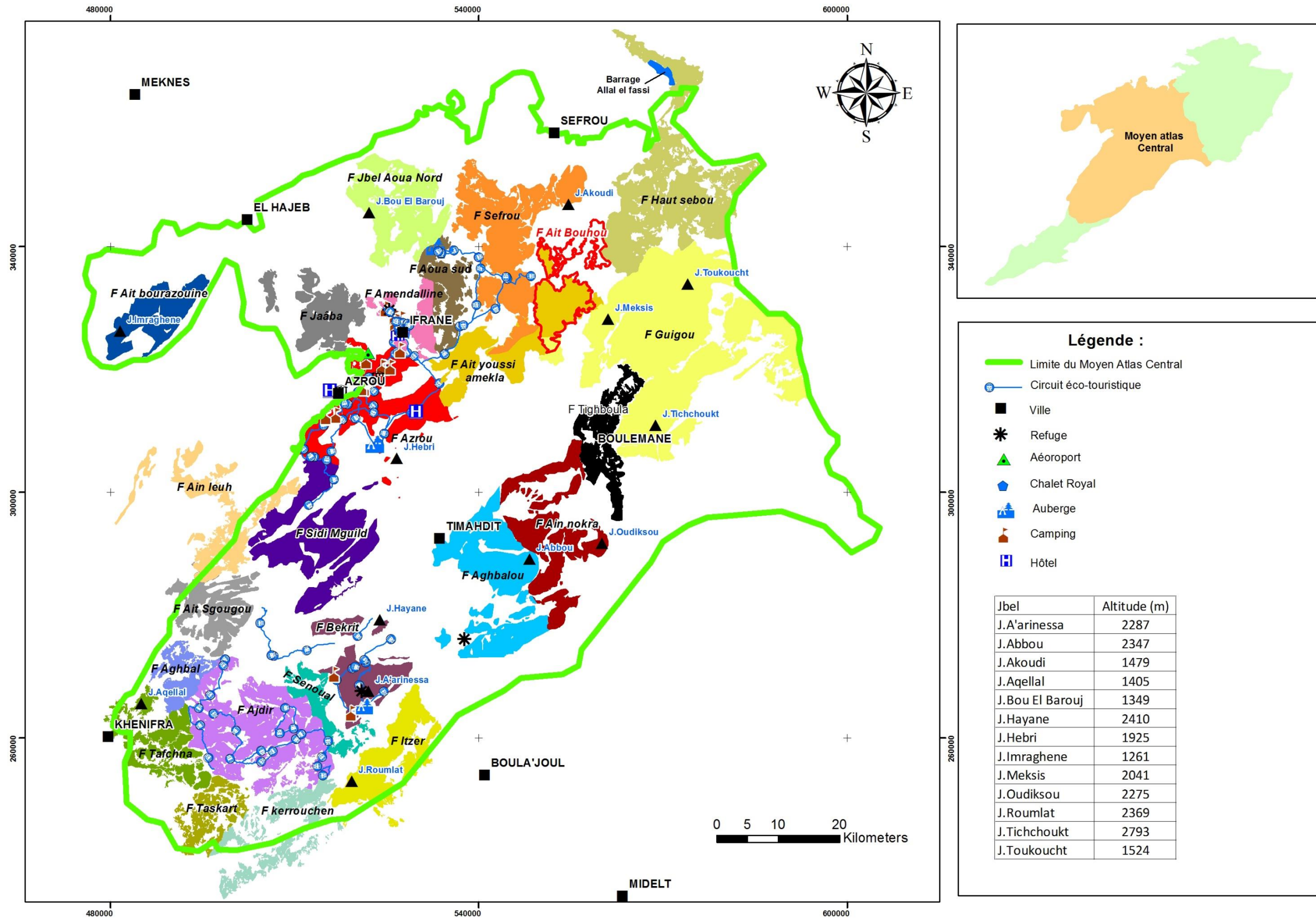




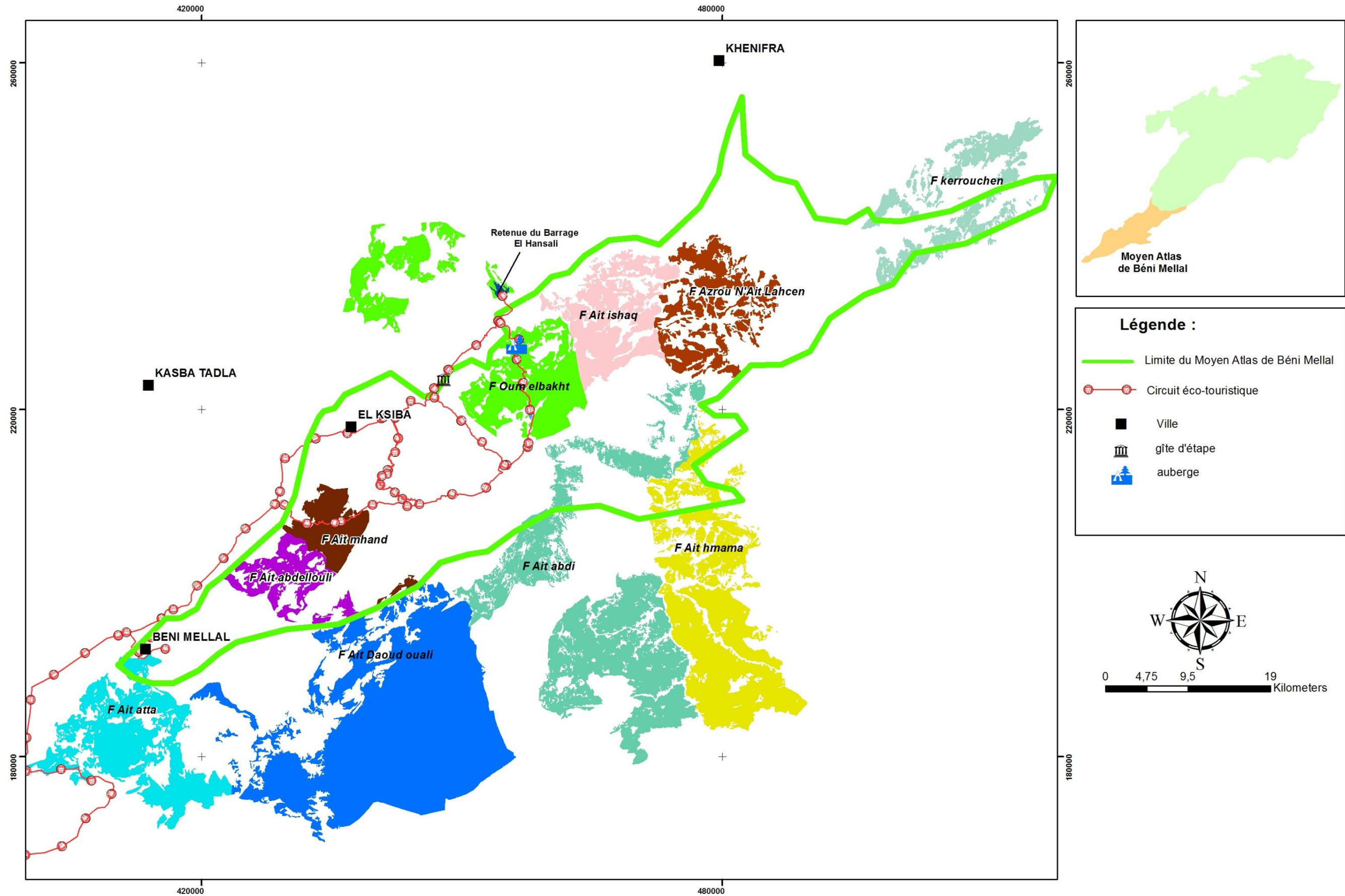
Carte 14 : Réserves naturelles du Moyen Atlas



Carte 15 : Circuits écotouristiques du Moyen Atlas (Moyen Atlas Oriental)



Carte 16 : Circuits écotouristiques du Moyen Atlas (Moyen Atlas Central)



Carte 17 : Circuits écotouristiques du Moyen Atlas (Moyen Atlas de Béni Mellal)

2.2 : Approche méthodologique adoptée

Dans la perspective de répondre à une préoccupation majeure de la compréhension et l'analyse de l'évolution du couvert forestier, la présente étude se propose d'exploiter les données forestières élaborées dans le cadre de la cartographie forestière de l'IFN pour évaluer le procédé d'analyse de l'évolution forestière et de proposer une démarche adéquate pour appréhender le suivi du couvert forestier de la **région du Moyen Atlas**.

En plus, nous avons exploré également dans le cadre de la présente étude, les données de 28 stations climatiques afin de caractériser le climat de la région du Moyen Atlas tout en faisant un parallélisme entre le changement climatique et l'évolution des écosystèmes forestiers de ladite région.

En ce qui concerne l'évolution forestière, la démarche est décomposée en deux approches : la première épouse l'analyse utilisée par le Département des Eaux et Forêts basée sur la comparaison des superficies obtenues en deux dates d'élaboration des cartes et la seconde démarche prévoit une analyse par ajustement spatial des changements du couvert forestier avant de procéder à la génération des superficies d'occupation du sol.

2.2.1 Outils et données utilisées

Dans le souci d'en faire un lien étroit avec le changement climatique (phénomène planétaire) et l'évolution des écosystèmes forestiers, nous avons utilisés deux types de données à savoir :

- Les données relatives au couvert forestier, et
- Celles relatives au climat et bilan hydrique et hydrologique du Moyen Atlas.

2.2.1.1 Données relatives au couvert forestier

La démarche utilisée pour la collecte des données relatives au couvert forestier, est de type passif. Elle est basée principalement sur l'exploitation de données de cartographie forestière élaborées dans le cadre de l'inventaire forestier national durant le 1^{er} ou le 2nd cycle.

Cette cartographie a été préparée au nom du Département des Eaux et Forêts par sous-traitance aux entreprises nationales et internationales. Les caractéristiques techniques des cartes se résument à :

- i)** La clé de stratification utilisée est homogène à l'échelle du Royaume,
- ii)** L'interprétation stéréoscopique des photographies aériennes ou interprétation visuelle à l'écran des images satellite à très haute résolution,
- iii)** L'unité de cartographie correspond à la carte topographique au 1/100.000 adoptée par l'ANCFCC et
- iv)** Les cartes sont en format numériques à une échelle de référence au 1/50.000.

Parmi les supports utilisés dans la présente étude, on cite :

↪ **Photographies aériennes et cartes utilisées :**

- Photographies aériennes à un fond topographique 1/50.000 agrandi à l'échelle nominale de la photo aérienne (1/20.000) ;
- Carte topographique 1/100.000 selon le découpage de l'ANCFCC ;
- 19 feuillets de cartes au 1/100.000 couvrant le Moyen Atlas ;
- Assemblage des cartes au 1/100.000 couvrant la zone d'étude et élaboration des cartes forestières du Moyen Atlas pour les deux périodes 1982-1987 et 2008-2011 ;
- Cartes des types de peuplements forestiers du Moyen Atlas ;
- Fond topographique couvrant le Moyen Atlas ;
- Carte du découpage forestier récent ;
- Carte du découpage administratif récent ;
- Carte du réseau routier, ...

Les supports de télédétection ayant servis dans le 1^{er} et 2nd cycle de la cartographie forestière du Moyen Atlas combinent entre les photographies aériennes et les images satellite sont représentés par la figure suivante. Elle résume la répartition spatiale desdits supports utilisés dans le cadre de la présente étude.

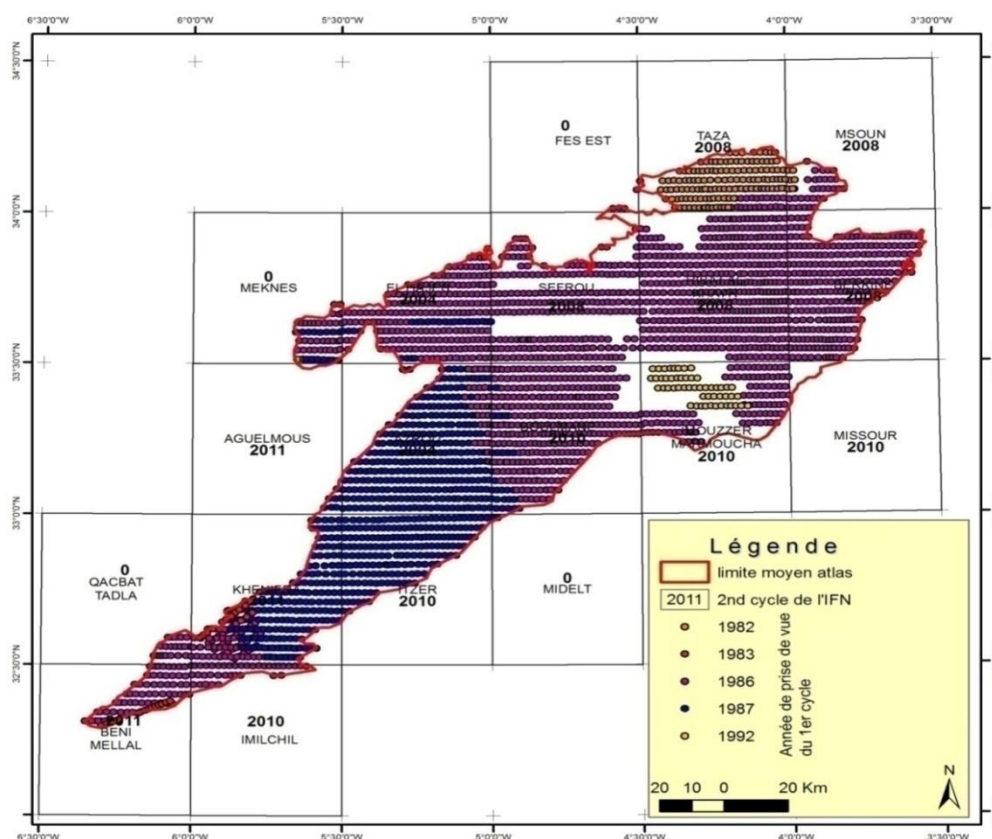


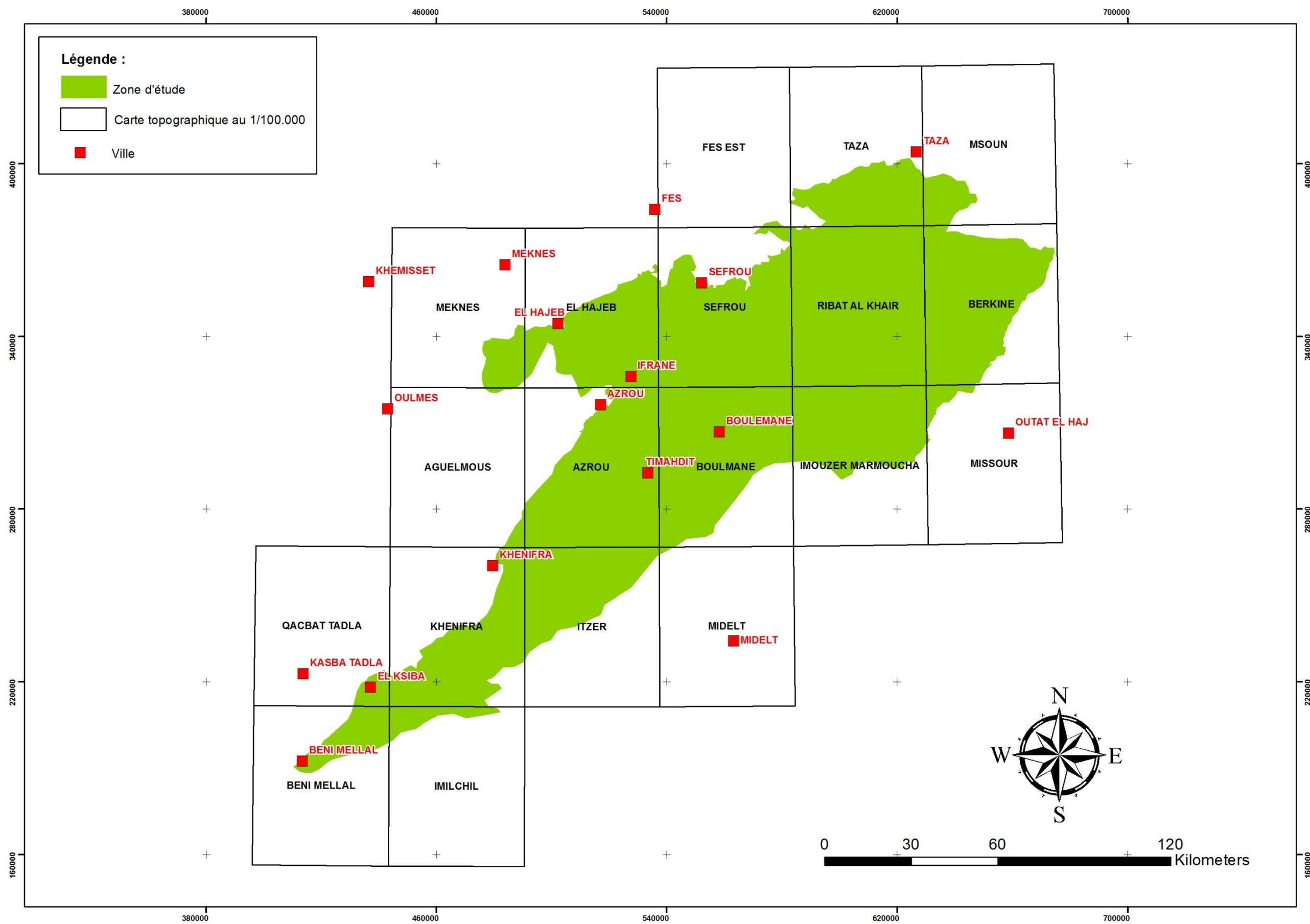
Figure 9: Images satellite, photo-aériennes et plans de vol multi-dates couvrant le Moyen Atlas

Ainsi, plus de 2900 photographies aériennes ont été interprétées entre 1992 et 1994 pour élaborer des cartes forestières. Les missions des prises de vue concernées datent de 1982, 1983, 1986, 1987 et 1992.

De même, environ 2000 photographies aériennes ont servi à l'élaboration des cartes forestières du second cycle. Les dates des prises de vues s'étalaient sur la période 2008 à 2011, à l'exception des parties couvertes respectivement par les cartes au 1/100.000 de Meknès et Elhajeb où la prise de vue a été réalisée en 2004. En outre, les parties couvertes par les feuillets de carte au 1/100.000 d'Itzer et d'Imilchil ont été explorées à partir des images satellite multi-spectrales Word View de l'année 2010 et de résolution spatiale de 60 cm au sol en format Bundle.

Tableau n° 5 - Liste et superficies des cartes topographiques au 1/100.000 couvrant la zone d'étude

Carte au 1/100.000	Superficie (ha)
Aguelmous	6 100
Azrou	191 800
Beni Mellal	35 400
Berkine	142 100
Boulemane	193 800
ElHajeb	125 000
Fès Est	1 200
Imilchil	18 500
Immouzer Marmoucha	125 700
Itzer	105 000
Khénifra	123 500
Méknes	25 600
Midelt	700
Missour	8 500
Msoun	24 000
Qasbat Tadla	12 000
Ribat Alkhayr	257 100
Sefrou	191 700
Taza	78 700
Total	1 666 400



Carte 18 : Liste des cartes topographiques au 1/100.000 couvrant le Moyen Atlas

↪ **Images satellite à très haute résolution utilisées :**

- Image Landsat de 1990 pour l'analyse de la situation du lieu durant les années 1980.
- Image Google Earth pour la vérification d'une progression ou régression forestière entre 2008 et 2011 ;

↪ **Logiciels et outils utilisés :**

a) Microsoft Office 2016

Il a été utilisé dans cette étude pour le traitement des données brutes en utilisant les modules suivants : Microsoft Office Excel 2016, Microsoft Office Word 2016 et Microsoft Office PowerPoint (2016).

b) Quantum Gis (Qgis v2.6.1)

Le QGIS est un logiciel SIG (Système d'Information Géographique) libre multiplate-forme publié sous licence GPL. Le développement a débuté en mai 2002 et est sorti en tant que projet sur Source Forge en juin 2002. Il est également appelé **Quantum GIS**.

Via la bibliothèque GDAL, nous l'avons utilisé pour gérer les formats d'image matricielles (raster) et vectorielles, ainsi que les bases de données. QGIS fait partie des projets de la Fondation Open Source Geospatial.

- Gère l'extension spatiale de PostgreSQL, PostGIS ;
- Prend en charge un grand nombre de formats de données vectorielles (Shapefile, les couvertures ArcInfo, Mapinfo, GRASS GIS, etc.) ;
- Prend également en charge un nombre important de formats de couches matricielles (GRASS GIS, GeoTIFF, TIFF, JPG, etc.).

L'une des caractéristiques de **QGIS** est de l'utiliser comme interface graphique du SIG GRASS. Il est ainsi possible d'utiliser toute la puissance d'analyse de ce logiciel dans un environnement de travail plus convivial. Les fonctionnalités GRASS sont optionnelles, et passent par un module d'extension (plugin).

Par ailleurs, QGIS dispose - par défaut - de nombreux modules, dont :

- Un module de lecture/écriture de données GPS, basé sur le programme GPSTabel ;
- Un module de géoréférencement, qui permet de « caler » une image (vue aérienne, typiquement) dans un référentiel terrestre.

c) ArcGis (v10.6) :

Au cours de l'étude, ce logiciel nous a servi à l'élaboration de toutes les cartes thématiques (carte géologique, hydrologique, géographique, administrative, forestière,...).

ArcGIS est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, ArcGIS est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias. ArcGIS permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque. Le système est disponible partout au moyen de navigateurs Web, d'appareils mobiles tels que des smartphones et d'ordinateurs de bureau.



Figure 10: Importance et la portée d'ArcGIS

(source :<http://resources.arcgis.com/fr/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>)

Si vous êtes un utilisateur de longue date d'ArcGIS, vous pouvez le considérer comme une série de programmes et d'outils logiciels que vous utilisez pour réaliser un travail SIG professionnel.

Le système ArcGIS permet aux informations géographiques officielles créées par la communauté SIG d'être facilement et librement exploitées par tous ceux qui veulent les utiliser (et avec lesquels ils choisissent de les partager).

Ce système comprend un logiciel, une infrastructure en ligne basée sur le cloud, des outils professionnels, des ressources configurables telles que des modèles d'application, des fonds de cartes prêts à l'emploi et du contenu officiel partagé par la communauté des utilisateurs. Le prise en charge des serveurs et des plates-formes cloud permet la collaboration et le partage, ce qui garantit que les informations essentielles à la planification et la prise de décision sont immédiatement accessibles à tous.

Vous pouvez considérer le système ArcGIS comme une infrastructure rendant les cartes et les informations géographiques disponibles dans une division, dans toute l'entreprise, entre les plusieurs organisations et communautés d'utilisateurs et sur le web pour que tout le monde y accède.

Les professionnels dans de nombreux secteurs utilisent ArcGIS dans un large éventail d'applications, incluant la planification et l'analyse, la gestion d'actifs, la sensibilisation opérationnelle, les opérations sur le terrain telles que l'inspection mobile et le déploiement d'urgence, les études de marché, la gestion des ressources, la logistique, l'éducation et la sensibilisation. En général, ces professionnels utilisent ArcGIS, car il les aide à :

- Résoudre des problèmes ;
- Prendre de meilleures décisions ;
- Planifier avec succès ;
- Faire un meilleur usage des ressources ;
- Anticiper et gérer le changement ;
- Gérer et exécuter des opérations plus efficacement ;
- Promouvoir la collaboration entre les équipes, les disciplines et les institutions ;
- Accroître la compréhension et la connaissance ;
- Communiquer plus efficacement ;
- Éduquer et motiver les autres,...

d) MNT (Modèle Numérique du Terrain) :

Nous avons utilisé ce module pour l'élaboration de toutes les cartes relatives à l'altitude, pentes et expositions dominantes de la zone d'étude.

Pour la présente étude, nous avons utilisé deux résolutions différentes de l'MTN à savoir le 12m et le 30m. Ce choix se justifie par le fait que l'MNT de 12m ne couvrait pas toute la zone du Moyen Atlas et par conséquent nous étions dans l'obligation de compléter les zones d'ombres ou zones non couvertes par l'MNT de 30m (voir Fig n°11 et 12 en image).

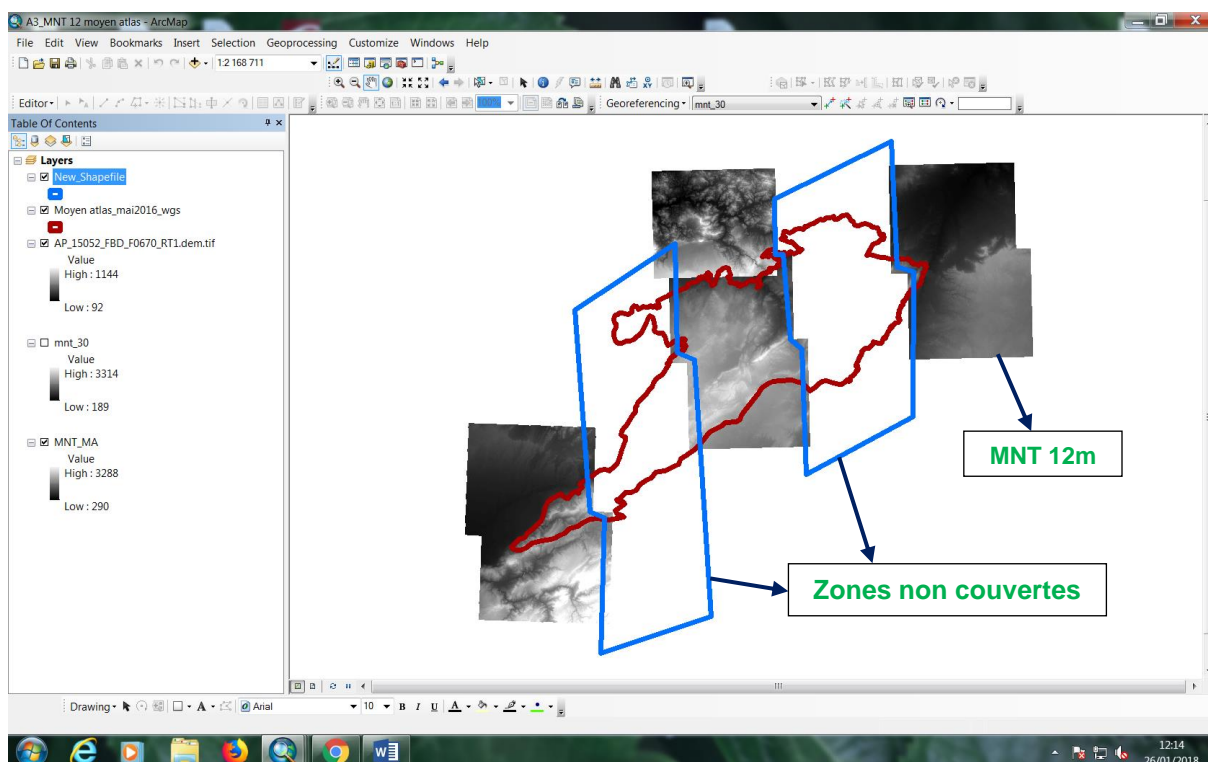


Figure 11: Image d'illustration de l'MNT 12m et la place des zones non couvertes

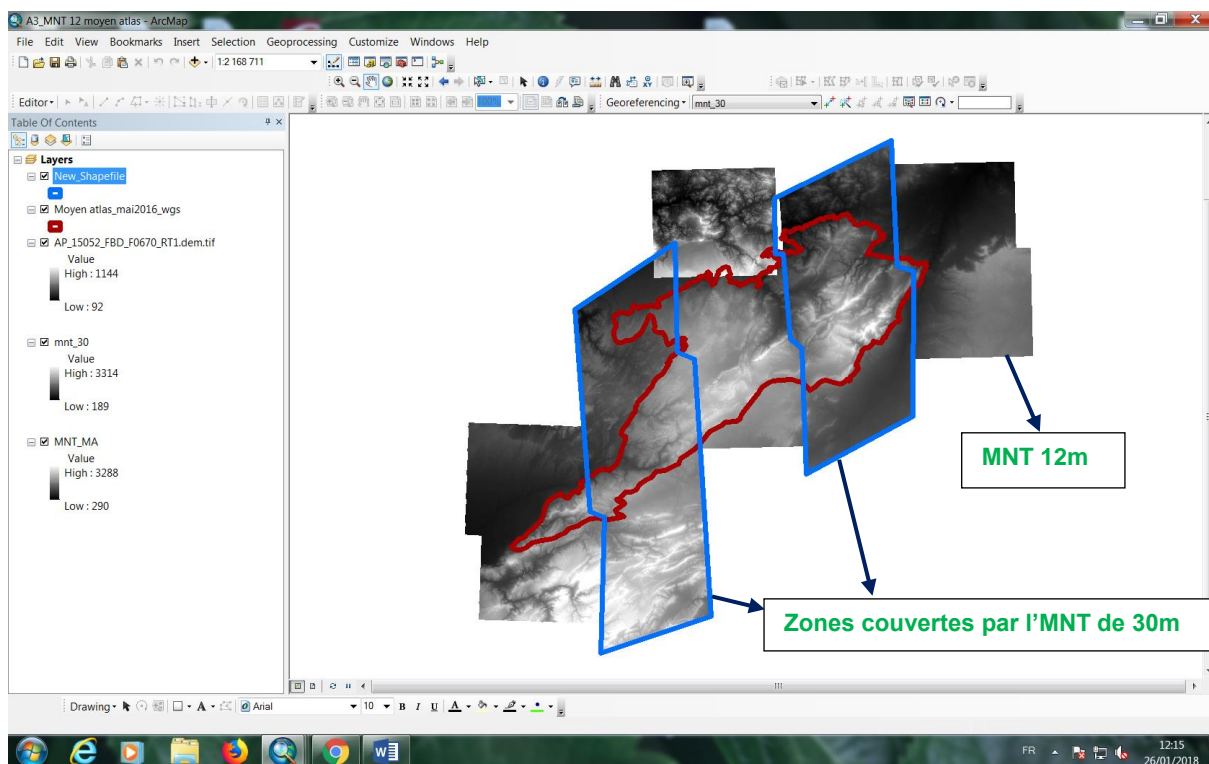


Figure 12: Image d'illustration de l'MNT 12m et les zones couvertes par l'MNT de 30m

2.2.1.2 Données relatives au climat, bilan hydrique et hydrologique

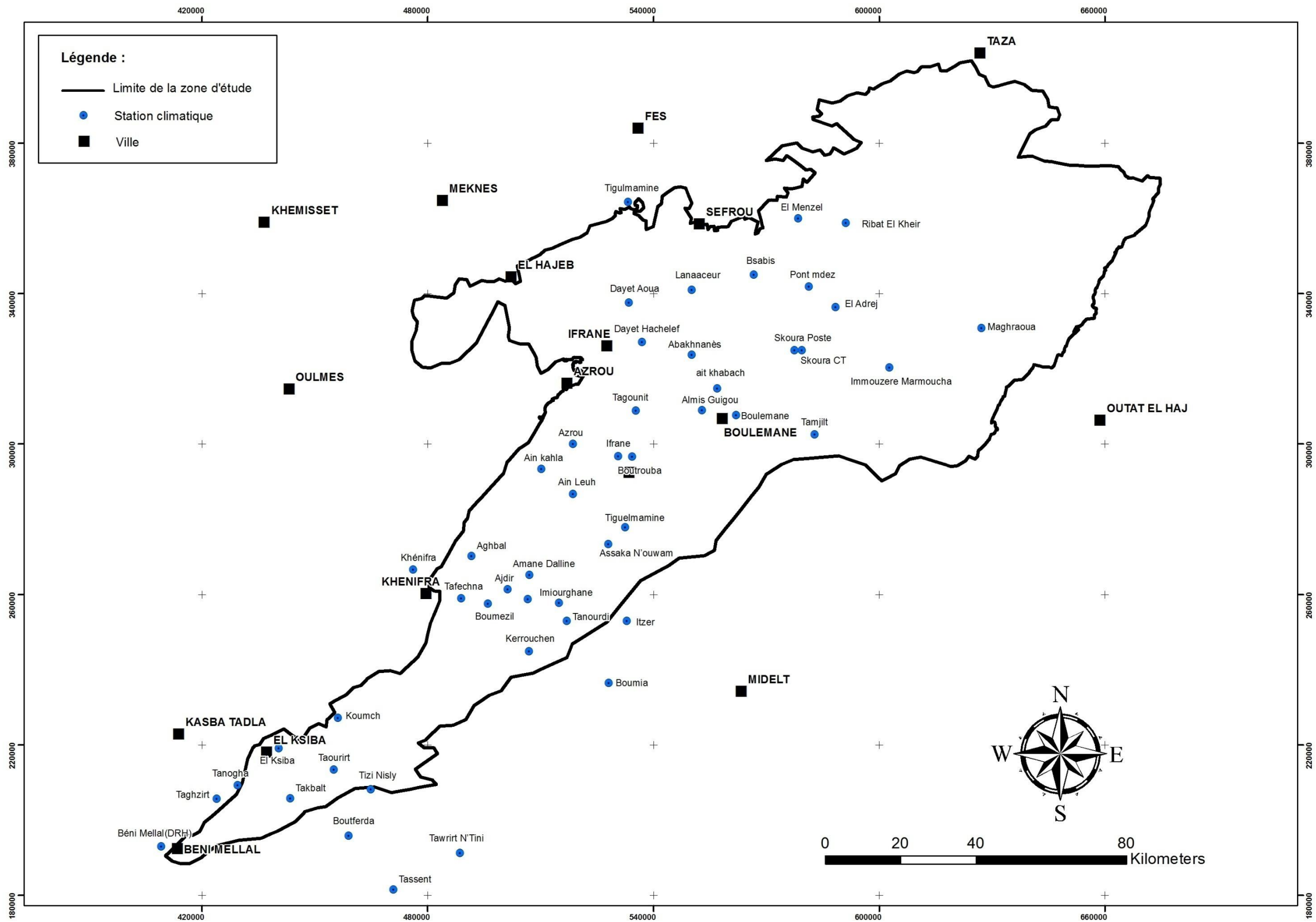
La zone d'étude porte sur le Moyen Atlas qui abrite des écosystèmes forestiers dont les principales espèces sont le cèdre de l'Atlas (*Cedrus Atlantica Endel. Carriere*), le chêne vert (*Quercus ilex L.*) et le pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill.*), qui relève de quatre grands bassins hydrographiques : le bassin de Sebou, le bassin d'Oum Er-Rbia et celui de Bouregreg couvrant une superficie approximative de 85 000 km². Ces trois rivières prennent naissance dans le Moyen Atlas et se jettent dans l'océan Atlantique. Le bassin de Moulouya prend ses sources à la jonction du Moyen et du Haut Atlas, s'étend sur près de 74 000 km² et se jette dans la mer méditerranéenne. La zone d'étude s'étend entre les latitudes 32°33' N au Sud et 34°23' N au Nord. Les longitudes limites de la zone d'étude sont 6°36' W à l'Ouest et 3°03' W à l'Est. La structure géomorphologique du Moyen Atlas est constituée de roches calcaires, de roches tabulaires à l'Ouest (altitude 1000 à 1500m), de roches plissées au nord-est avec des altitudes plus élevées (plus de 3000 m) et des plateaux volcaniques.

La présente étude a porté sur les données de 28 stations météorologiques relevant du Moyen Atlas. Les données relatives à l'altitude, latitude, longitude et exposition sont consignées dans le tableau ci-dessous.

Tableau n° 6 - Coordonnées des stations étudiées par région

Région	Station	Altitude	latitude	longitude	Exposition
Moyen Atlas de Béni Mellal	Béni Mellal	537	32,331	6,365	I SW
	Takbalt	700	32,449	6,000	I SW
	Tizi n Isly	1370	32,471	5,773	I SW
	Aghbala	1800	32,480	6,645	I SW
	El Ksiba	1050	32,569	6,034	F NW
	Koumch	1200	32,643	5,867	I SW
	El Kbab	1300	32,742	5,523	F NW
Moyen Atlas central	Ouaoumana	727	32,764	5,726	P
	Kerrouchen	1350	32,803	5,325	F NW
	Tanourdi	2020	32,876	5,218	F NW
	Tafechna	1490	32,930	5,518	F NW
	Ajdir	1600	32,952	5,386	F NW
	Khenifra	870	32,998	5,655	P
	Tiguelmami	2100	33,100	5,051	C SE
	Ain Kahla	2000	33,240	5,289	F NW
	Azrou	1303	33,300	5,200	I SW
	Ifrane	1635	33,310	5,070	C NE
	Tagounit	1390	33,38	5,02	C SE
	Dayet hachlaf	1760	33,545	5,001	F NW
	Boulemane	1860	33,368	4,734	F NW
Moyen Atlas oriental	Imouzer Marmoucha	1630	33,479	4,294	F NW
	Skoura poste	1150	33,523	4,565	F NW
	Maghraoua	1172	33,571	4,029	F NW
	Bsabis	1385	33,705	4,680	C SE
	Ribat el Kheir	1145	33,826	4,144	C SE
	Tahla	582	34,05	4,417	F NW
	Berkine	1100	34,400	3,070	C SE
	Bab Marzouka	442	34,8	5,32	P

Les données utilisées sont les moyennes mensuelles des températures (minimales, moyennes et maximales) et les hauteurs pluviométriques mensuelles couvrant la période 1982-2012. Ces données ont été recueillies auprès du centre de recherche forestière, des services forestiers et des directions de ressources d'hydrauliques et ce dans le cadre des études d'aménagement des forêts du Moyen Atlas. Après vérification de l'homogénéité des données, nous avons complété les stations manquantes en puisant dans les données publiées par la Banque mondiale (Climate Change Knowledge Portal 2.0) et le site (fr.climate-data.org).



Carte 19 : Localisation des stations climatiques du Moyen Atlas

2.2.2 Elaboration de la carte forestière et la carte d'évolution du Moyen Atlas

2.2.2.1 Stratification forestière

La cartographie forestière concerne tout peuplement d'un seul tenant ayant cumulé une superficie de 4 ha avec une largeur minimale de 50 (HCEFLCD, 2014).

Les unités cartographiques (strates) ont été identifiées et codifiées selon une clé de stratification définie à l'échelle nationale. Les critères de classification établis par le **Département des Eaux et Forêts en 2010**, qui différencient entre les terrains forestiers boisés, les terrains arbustifs et buissonnants et steppiques, les terrains dits non boisés et les eaux continentales ont été adoptés dans cette étude. Les terrains non boisés qui englobent les terrains sans végétations naturelles permanentes quel que soit l'utilisation des sols, notamment les terrains de cultures, l'urbanisation et terrains incultes sans usages particuliers ont été tous tenus en compte dans cette stratification.

a) **Les terrains forestiers boisés** décrits deux classes de formations végétales ligneuses.

A- Terrains forestiers boisés naturels : cette sous classe regroupe les essences forestières principales telles que : le chêne vert, le chêne liège, le chêne zeen, le chêne kermès, les pins, le thuya, les genévriers et éventuellement d'autres essences forestières existantes dans la zone d'étude tels que : l'oléastre, l'arbousier, le pistachier, la filaire, le caroubier, l'érable, le houx, ...

B- Terrains forestiers boisés artificiels : cette sous classe regroupe les plantations résineuses et plantations feuillues. Ces formations boisées font l'objet d'une cartographie détaillée selon des critères de la composition, la hauteur moyenne du peuplement, la densité apparente du couvert et l'origine futaie ou taillis.

La composition : ce critère décrit la composition de la classe cartographique en essence pure (lorsque l'essence principale représente plus de 75% du couvert) ou en mélange (M) lorsque aucune essence composant la strate n'atteint 75% du couvert. Dans le cas du mélange, l'essence principale est celle qui a le couvert relatif le plus élevé.

La densité : Quatre classes sont à identifier

- Classe 1 lorsque la densité du couvert (d) est $\geq 66\%$,
- Classe 2 lorsque $(33\% \leq d < 66\%)$,
- Classe 3 lorsque $(10\% \leq d < 33\%)$ et
- Classe 4 lorsque $d < 10\%$.

La hauteur : elle représente la hauteur moyenne du peuplement toute essence confondue.

- **Pour les résineux** : Haut (H) lorsque la hauteur $> 7m$, Moyen (M) lorsque $2 m < \text{Hauteur} < 7m$ et B (bas) lorsque la Hauteur $< 2m$;
- **Pour les feuillus** : Haut (H) lorsque la hauteur $> 2m$ et B (bas) lorsque Hauteur $< 2m$;

Le régime : F (futaie) ou T (taillis).

La codification de ces critères ont permis d'identifier chaque strate d'occupation de sol par un code spécifique à l'échelle de la zone d'étude en considérant les cycles de la cartographie de l'IFN. Cependant, lors du démarrage de la cartographie forestière du 2nd cycle de l'inventaire forestier national en 2003-2004, le Département des Eaux et Forêts a apporté quelques modifications aux critères de stratification en entretenant la possibilité de comparaison des cartes multi-dates. Il s'agit en l'occurrence de **i)** détailler davantage la composition forestière pour différencier les espèces des genres des pins, des genévriers, des chênes et du cyprès de l'atlas **ii)** décomposer la strate matorral en deux strates (fruticées et landes) et **iii)** de mettre en évidence les peuplements à densité du couvert inférieure à 10%.

b) Les terrains à formations arbustives, buissonnantes ou steppiques décrits les formations suivantes :

A- Landes : Ils désignent tout terrain boisé à végétation arborescente ou arbustive qui résulte d'une dégradation de l'écosystème forestier suite aux actions de pâturage, écimage et coupes délictueuses. La strate « Landes » est composée essentiellement des Ericas, du lentisque et du buis. Cette catégorie de végétation a été regroupée sous le nom « matorral » dans la stratification du premier IFN.

B- Fruticées : Elles désignent tout terrain boisé à végétation arbustive ou buissonnante qui résulte d'une dégradation de l'écosystème forestier suite aux actions de pâturage, écimage et coupes délictueuses. Cette strate est composée essentiellement du palmier nain, des genêts, des aubépines, des euphorbes, des cactacées et des cistes.

C- Steppe à alfa (ou armoise) : Elle désigne tout terrain à formation pérenne basse plus ou moins ouverte et suffisamment continue pour dominer le paysage. Cette formation est généralement composée de l'alfa ou de l'armoise comme essences principales.

2.2.2.2 Interprétation, restitution et base de données cartographiques

Le procédé d'élaboration des cartes forestières se fait à la sous-traitance, par des bureaux d'étude. Le premier cycle de cette cartographie a été exécuté par **Lavalin international**, une société canadienne et le second cycle a été effectué, sur la zone d'étude, en totalité par **TTOBA**, un bureau d'étude national. Les prestations sont opérées dans le cadre de contrats à titre onéreux (marché) entre l'Administration en charge des Eaux et Forêts et le ou les prestataires de service.

L'interprétation a été faite par utilisation des paires des stéréoscopiques des photographies aériennes panchromatique à axes vertical ayant une échelle nominale au 1/20.000. La surface minimale cartographiable est décidée à 4 ha, avec une largeur minimale de 50 mètres.

La vérification des résultats sur le terrain, néanmoins du second cycle, est effectuée à deux niveaux. D'abord par l'entreprise chargée de l'étude, selon un échantillonnage de taille minimale contractuelle équivalent à 10% des photographies aériennes interprétées. Ensuite le contrôle par l'administration et ce, par un second échantillon de parcelle cartographique. La parcelle cartographique a une dimension de 1kmx1km, dans laquelle la vérification inspecte la composition forestière et le degré de précision de la restitution. L'erreur tolérée, selon les dires des responsables de la prestation, est fixée à 10% de la surface contrôlée.

La restitution est opérée par un transfert manuel des strates identifiées sur photographies aériennes à un fond topographique 1/50.000 agrandi à l'échelle nominale de la photo aérienne (1/20.000). Dans la plus part des cas, la restitution est effectuée d'une manière semi-automatique sur ledit fond scanné et géo-référencé à l'aide d'un logiciel de cartographie approprié. Dans des cas exceptionnels, la restitution est exécutée sur le fond papier. L'erreur maximale tolérée est de 50 mètre.

Une opération cartographique est enchainée à la suite de la restitution pour **i)** intégrer la cartographie forestier dans une moteur de système d'information géographique, **ii)** apurer la base de données en conformité avec les critères de stratification et de cartographie, **iii)** assurer la topologie des polygones de la base de données numériques, et **iv)** adopter la projection géographique appropriée.

La totalité de la zone d'étude est projetée en Lambert conique conforme nord Maroc (zone 1) à deux parallèle dont les caractéristiques sont les suivantes :

Projection	: Lambert conique conforme
Datum	: Merchich
Longitude d'origine	: 5°24'.000
Latitude d'origine	: 33°18'.000
1^{er} Parallèle standard	: 31°43'.30".00
2^{ème} parallèle standard	: 34°43'.57".60
Facteur d'échelle	: 0.999 625 8
Est par défaut	: 500.000
Nord par défaut	: 300.000

Les données cartographiques sont organisées en fichiers numériques en format standard « shapefile » et autres format facilement convertible par les logiciels de cartographie.

L'unité cartographique de gestion de ces données est l'équivalent de la carte topographique 1/100.000 selon le découpage de l'ANCFCC. L'échelle de référence des cartes numériques est décidée 1/50.000.

Dans la pratique, des cartes au 1/100.000 juxtaposées peuvent être élaborées dans le cadre de deux contrats différents et par des prestataires différents. Cependant, il est exigé que la continuité entre les strates doit être assurée entre l'ensemble des cartes qui entourent celle objet du contrat. Cette affinité, assure la concaténation entre les unités cartographiques (cartes),et ce jusqu'aux limites de l'erreur cartographique tolérée (50 mètres).

Grossomodo, la démarche adoptée dans le cadre de la présente étude se résume comme suit:

- Assemblage des cartes au 1/100.000 couvrant la zone d'étude et élaboration des cartes forestières du Moyen Atlas pour les deux périodes 1982-1987 et 2008-2011 ;
- Elaboration d'une carte d'évolution du Moyen Atlas ;
- Analyse des superficies forestières ;
- Analyse spatiale des changements du couvert forestier.

2.2.2.3 Assemblage des cartes au 1/100.000 du 1er et 2nd cycle de l'IFN

Le Moyen Atlas s'étale sur des parties des 19 feuillets de cartes (cf. 2.2.1 « Outils et données utilisées ») au 1/100.000 de 30 secondes sexagésimales de côté, conformément au découpage cartographique de l'ANCFCC.

Un géo-traitement à l'aide du logiciel Quantum Gis (Qgis v2.6.1), est appliquée aux cartes forestières du 1^{er} cycle et celles du 2nd cycle de l'IFN, et ce pour assurer l'extraction des données de la zone d'étude, standardiser la structure des données, concaténer les cartes et apurer la base de données :

- L'extraction des données du Moyen Atlas a été effectuée par superposition de la limite de la zone à chacune des cartes forestières au 1/100.00. Le **tableau n°5** précité plus haut représente la liste des cartes au 1/100.000 concernées et la surface approximative majorée, couverte par la montagne de la chaîne du Moyen Atlas.
- La standardisation de la structure des données a été opérée à des tables attributaires des cartes forestières. Ainsi des index ont été décidés afin de permettre un retour éventuel à l'état d'origine, le cas échéant. Ces index se rapportent notamment au nom de la carte et l'identifiant des polygones (strates) forestiers. La structuration de l'ensemble des tables a concerné essentiellement l'adoption des noms identiques pour les colonnes contenant la même information. L'ajout des colonnes pour agréger certaine information (essence, code des communes, code du découpage forestier etc..).

La figure suivante montre la structure adoptée pour les tables d'attributs.

OBJECTID	Shape	Carte	TAGID	CODE_ANC	Essence_An	CODE_A	NOM_COMMUN	CodeSF	SECTEUR
40	lannée binaire Azrou	I300720590	GMH2	GM	13.301.05.17	OUM RABIA	06.301.20.40	AGHBAL	
41	lannée binaire Azrou	I300720570	TNB	TNB	13.301.05.17	OUM RABIA	06.301.20.40	AGHBAL	
42	lannée binaire Azrou	I300720589	TNB	TNB	13.301.05.17	OUM RABIA	06.301.20.40	AGHBAL	
43	lannée binaire Azrou	I300720547	CVH2F	Qr	13.301.05.17	OUM RABIA	06.301.20.40	AGHBAL	
44	lannée binaire Azrou	I300720564	CVH3T	Qr	13.301.05.17	OUM RABIA	06.301.20.40	AGHBAL	
45	lannée binaire Azrou	I300720516	TNB	TNB	13.301.05.17	OUM RABIA	06.301.20.40	AGHBAL	
46	lannée binaire Azrou	I300720403	CVH1F	Qr	13.301.05.17	OUM RABIA	06.301.20.40	AGHBAL	
47	lannée binaire Azrou	I300720546	CVH3T	Qr	13.301.05.17	OUM RABIA	06.301.20.40	AGHBAL	
48	lannée binaire Azrou	I300720532	CVH2T	Qr	13.301.05.17	OUM RABIA	06.301.20.40	AGHBAL	
49	lannée binaire Azrou	I300720515	CVH2T	Qr	13.301.05.17	OUM RABIA	06.301.20.40	AGHBAL	
50	lannée binaire Azrou	I300720503	CVH2T	Qr	13.301.05.17	OUM RABIA	06.301.20.40	AGHBAL	
51	lannée binaire Azrou	I300720466	CVH2T	Qr	13.301.05.17	OUM RABIA	06.301.20.40	AGHBAL	
52	lannée binaire Azrou	I300720474	TNB	TNB	13.301.05.17	OUM RABIA	06.301.20.40	AGHBAL	
53	lannée binaire Azrou	I300720456	CVH2T	Qr	13.301.05.17	OUM RABIA	06.301.20.40	AGHBAL	
54	lannée binaire Azrou	I300720465	CVH2T	Qr	13.301.05.17	OUM RABIA	06.301.20.40	AGHBAL	

Figure 13: Extrait de la structure des tables attributaires des cartes forestières

- c) La fusion des toutes les parties de cartes couvrant le Moyen Atlas, par le procédé de concaténation afin élaborer une carte forestière générale du Moyen Atlas.
- d) L'apurement de la base de données afin de s'assurer que la totalité de la zone d'étude est couverte et que la continuité spatiale entre les cartes est établie. Les données spatiales ont été intégrées dans une géo-database afin d'assurer une adéquation entre la représentation spatiale et le traitement des superficies.

2.2.2.4 Elaboration des cartes forestières du Moyen Atlas

La carte forestière de la zone d'étude a été préparée en deux étapes :

- La première étape a consisté à présenter les deux cartes forestières du 1^{er} et du 2nd cycle de l'IFN tel qu'elles émanent de l'assemblage des cartes au 1/100.000 ;
- Dans la seconde étape, des améliorations ont été apportées à la cartographie forestière. Il s'agit notamment des rectifications thématiques en matière d'occupation de sol. En fait, il n'est pas prévu, dans le cadre de cette étude de procéder à la correction de la cartographie forestière plutôt que d'assurer un ajustement mutuel des cartes élaborées dans les années 1980 et celle de période de 2008-2011.

Afin d'éviter notre implication dans la photo-interprétation, nous avons effectué une comparaison des deux cartes forestières du 1^{er} et du 2nd cycle afin d'identifier les zones présentant des incohérences d'interprétation particulièrement des zones forestières ayant affiché des gains ou des pertes du couvert forestier. La figure suivante montre deux cas de figures observées.

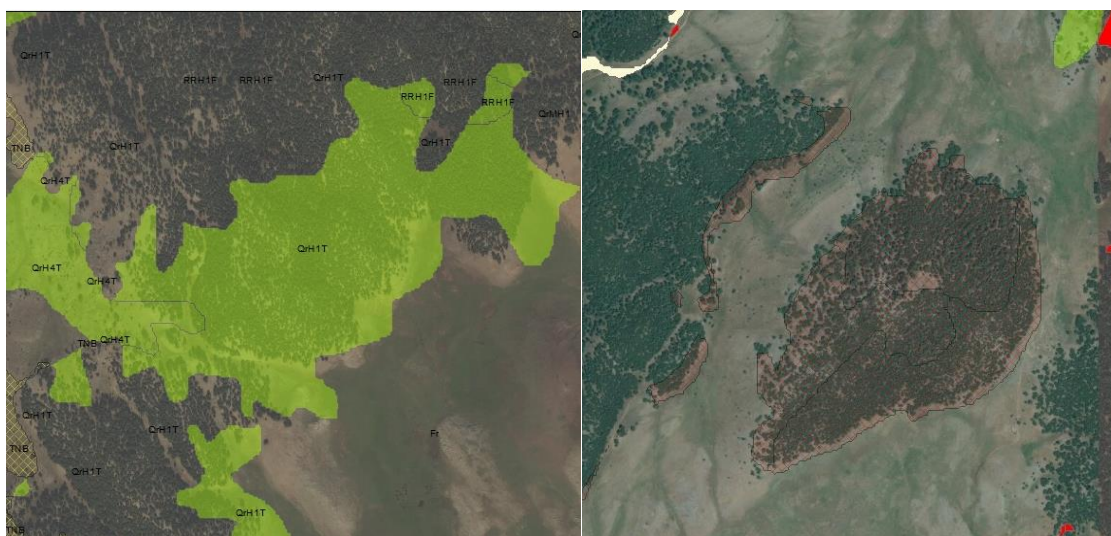


Figure 14: Cas d'incohérence cartographique du 1^{er} et 2nd cycle de la cartographie forestière

L'image à gauche présente une zone mentionnant une progression forestière selon la cartographie de 2008-2011. L'analyse de la situation du lieu durant les années 1980 par recours aux images Landsat de 1990 montre que la tache signalée dans la figure contenait une végétation ligneuse et permanente.

Par contre, l'image indiquée à la droite de la figure expose une partie de territoire qui été mentionnée selon la cartographie de 2008-2011 comme une régression forestière. La vérification

de cet endroit par l'utilisation des images satellites accessibles à partir du site Google Earth, et Bing montre que cette portion est boisée.

Ainsi ce genre de vérification a été mené sur l'ensemble de la zone d'étude en se focalisant sur les zones ayant été cartographiées comme progression ou régression forestière.

La nature de correction apportée consiste à reprendre l'interprétation la plus adéquate de l'une des deux cartographies élaborées.

2.2.2.5 Elaboration de la carte d'évolution forestière

Des superpositions des cartes forestières du 1^{er} cycle et celle de 2nd cycle ont été effectuées pour élaborer un produit cartographie de l'IFN renseignant sur les situations forestières de deux périodes à savoir :

- i) la période de 1982-1987 qui sera considérée par la suite comme une situation de l'année 1986 et,
- ii) la seconde période de 2008-2011 qui sera assimilée à l'année 2010.

A cet effet, nous avons prévu d'utiliser une matrice où sont portées en colonnes les classes d'occupation de sol de l'année 1986 et en lignes celles de l'année de référence de 2010. Cette matrice permet de suivre pour les dates de référence, les superficies en unité de surface (ha) :

- i) des variations de chaque type de classe,
- ii) de la part de chaque classe qui reste stable et,
- iii) des échanges entre classes en termes d'occupation de sol.

Houet, 2006 a résumé l'utilité de cette matrice par la possible de connaître le devenir et la provenance de chaque classe d'occupation ou d'utilisation du sol, ainsi que le bilan d'évolution d'une classe en indiquant les gains/pertes au dépens/profit des autres classes.

Afin de mieux apprécier l'évolution de l'occupation du sol, nous avons adopté des matrices représentant les cas de figures possibles du changement en accordant de l'importance aux principales formations végétales notamment la forêt, le matorral ou landes, l'alfa, les fruticées, l'eau et les terrains non boisés. Ces derniers font référence aux terrains sans végétation permanente hormis les terrains arboricoles.

Afin de faciliter les traitements informatiques des données, nous avons procédé à une codification desdits cas. Les critères et les codes retenus pour le suivi spatial du changement du couvert sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau n° 7 - Critères de suivi de l'évolution du couvert forestier

		Année de référence 1986 pour la période (1982-1987)			
		Forêt et matorral	Fruticées	Alfa	Eau et TNB
Année de référence 2010 pour la période 2008-2011	Forêt et matorral	40	-	60	60
	Fruticées	3	-	16	16
	Alfa	3	-	10	50
	Eau et TNB	3	-	4	6
				4	0

Les classes convenues pour caractériser l'évolution du couvert sont :

- **Régression** correspond à tout changement d'occupation de sol d'une situation à couvert boisé (forêt et matorral) vers les autres classes forestières ;
- **Stable** (ou sans changement de classe de couvert) les formations boisées qui restent boisées par analogies à la classe du GIEC (classe de forêt reste forêt) ;
- **Progression forestière** correspond à un gain de stock forestier par mutation du terrain d'un couvert non boisés (TNB, eau, alfa, fruticées) vers un terrain de boisement (forêt ou matorral).

Par ailleurs, l'alfa fait partie du domaine forestier au Maroc, selon la réglementation en vigueur. À cet effet, une attention particulière a été accordée à cette essence lors de l'analyse d'évolution en lui attribuant des indices de stabilité (10), de progression (50) et de régression (4).

La synthèse des indices prévus pour l'analyse de l'évolution du couvert du Moyen Atlas est résumée dans le tableau suivant :

Tableau n° 8 - Indices de suivi de l'occupation du sol

Indice d'évolution	Indication
0	TNB restant TNB
3	Régression du boisement
4	Régression d'alfa
6	Eau continentale
10	Stabilité d'alfa
16	Fruticées identifiées en 2 nd cycle sur terrain d'alfa, d'eau ou de TNB
30	Peuplement épars issue du boisement
40	Stabilité de boisement (boisement ,reste boisement)
50	Progression d'alfa à partir des TNB ou d'assèchement des lacs
60	Progression du boisement
65	Boisement à densité épars nouvellement identifié

Ainsi, deux critères ont été ajoutés pour élaborer une base de données complète et compatible avec les analyses possibles de l'évolution du couvert forestier. Il s'agit notamment des critères indexés par les indices 30 et 65.

Une analyse plus poussée est, aussi, envisagée en prenant en considération les améliorations apportées à la clé de stratification. De ce fait, l'appréciation de l'évolution de l'occupation du sol obéit aux indications présentées dans le tableau suivant, afin d'assurer une comparaison sur la base des critères identiques entre les deux cartographies forestières.

Tableau n° 9 - Concordance entre les critères de stratification des cartes forestières

		Carte forestière (1986) – 1 ^{er} cycle de l'IFN				
		Forêt naturelle	Matorral	Alfa	Eau	TNB
Carte forestière (2010)- 2 nd cycle de l'IFN	Forêt naturelle	Stable	Stable	Progression	Progression	Progression
	Peuplement épars	Stable	Stable	Stable ⁽¹⁾	Progression	Stable ⁽¹⁾
	Landes	Stable	Stable	Progression	Progression	Progression
	Fruticées	Régression	Régression	Stable ⁽²⁾	Stable ⁽²⁾	Stable ⁽²⁾
	Alfa	Régression	Régression	Stable	Stable ⁽²⁾	Stable ⁽²⁾
	Reboisement	Progression	Progression	Progression	Progression	Progression
	Reboisement épars	Progression	Progression	Progression	Progression	Progression
	Eau	Régression	Régression	Stable ⁽³⁾	Stable	Stable ⁽³⁾
TNB	Régression	Régression	Stable ⁽¹⁾	Stable ⁽⁴⁾	Stable ⁽⁴⁾	

(1) Cette classe est considérée n'ayant subi aucune évolution à cause du changement de la stratification ou de la difficulté à s'en assurer à partir d'images satellite utilisées ;

(2) Cette catégorie est appréciée indépendamment de l'analyse de l'évolution du fait qu'il n'est pas facile de différencier entre la quote part de la clé de la stratification et/ou de l'omission lors du 1^{er} cycle de l'IFN ;

(3) L'eau est considérée telle qu'elle, envers l'alfa et le TNB sans qu'elle soit rapportée dans la notion d'évolution ;

(4) Le TNB n'est pas formulé en termes d'évolution.

2.2.2.6 Comparaison des superficies et analyse de l'évolution forestière

L'analyse de l'évolution du couvert forestier est de facto la comparaison diachronique des cartes et des superficies forestières de la zone d'étude. De par l'élaboration de cartes à des dates distinctes et par des photo-interprètes différents, l'appréciation des changements effectifs de l'occupation du sol est assujettie à des hypothèses d'exploration, d'interprétation et d'analyse des données.

- a) En matière d'exploration, il y a lieu de s'assurer que les critères de classification de l'occupation de sol sont tenus les mêmes entre les deux dates d'analyses. Dans le présent cas, certains changements desdits critères ont été constatés et notés. Il s'agit notamment de l'introduction des nouvelles strates à savoir **i)** les peuplements épars ayant une densité du couvert inférieure à 10%, **ii)** les fruticées qui font référence à une strate de dégradation sans végétations boisées. Cette strate englobe (**HCEFLCD 2008**) les cistes, le palmier nain, l'aubépine, le cactus acclimaté, l'euphorbe etc.. et **iii)** la décomposition de certaines des strates pour identifier les différentes essences des pins, genévriers, etc....
- b) La photo-interprétation est l'acte d'examen des images photographiques dans le but d'identifier des objets et de juger leur signification (**Colwell 1997**). Elle est sujette à la subjectivité du photo-interprète, de son expérience et de sa familiarisation avec la zone d'étude. Ces jugements et classifications influencent fortement les résultats cartographiques élaborés et qu'il fallait en tenir compte lors de l'analyse des résultats.
- c) L'analyse des données, les types d'agrégation à faire et les conclusions à tirer sont des éléments déterminant des résultats escomptés.

En conséquence, la méthodologie adoptée pour approcher l'évolution du couvert dans le Moyen Atlas, est orientée d'une manière hiérarchique. D'abord par une comparaison synthétique dans le cas de « forêt restant forêt », puis une comparaison détaillée pour déterminer les changements ayant affectés la composition forestière.

Toutefois, les incohérences constatées, tenant en compte les hypothèses indiquées, ont été considérées selon deux démarches :

- 1) La première démarche épouse l'analyse convenue par l'IFN qui suppose (**HCEFLCD, IFN 2014**) que l'évolution progressive (TNB vers Forêt), concernant les formations forestières principales, pourrait dériver uniquement des opérations de reconstitutions, notamment les reboisements et la régénération assistée. Toute autre progression constatée est considérée une omission cartographique lors du premier IFN.
- 2) La seconde démarche repose sur des faits constatés sur le terrain. Tous les changements (progressif ou régressif) sont vérifiés par utilisation des images satellites récentes et anciennes pour s'assurer que l'évolution est effectivement observée sur le terrain. A cet effet, des images satellites Landsat ont été téléchargées pour prospecter l'état du couvert sur le terrain aux deux périodes de la cartographie forestière. Les images disponibles sur le site Google Earth ont aussi été exploitées.

2.2.3 Cartographie rétrospective du Moyen Atlas

2.2.3.1 Démarche d'analyse spatiale et révision cartographique

Dans le cadre de cette étude nous proposons une nouvelle démarche d'analyse de l'évolution forestière en exploitant les données cartographiques disponibles au niveau du Département des Eaux et Forêts. Cette démarche que nous testons présentement au Moyen Atlas pourra être généralisée, ultérieurement, à l'échelle nationale.

La naissance de cette démarche est issue à la suite d'une analyse critique de l'approche utilisée dans le cadre de l'Inventaire forestier national. L'approche du Département des Eaux et Forêts a inévitablement un caractère pragmatique étant donné que la réalisation des prestations s'exécute par la sous-traitance à des bureaux d'étude, et le but de la prestation est déterminé par son objet ayant pour finalité la révision des cartes forestières.

L'exploration des inadéquations entre les cartes forestières multi-dates et leurs causes est une étude à part entière et dont les termes de référence, du contrat, ne la prévoient pas (**HCEFLCD, IFN 2014**).

Concrètement, l'approche exposée au paragraphe précédent présente deux inconvénients majeurs à savoir i) des ajustements de superficie arbitraire et discriminatoire et ii) la dimension spatiale des modifications n'est pas assurée.

a) La contrainte de l'ajustement des superficies agrégées se manifeste en deux points :

- Les ajustements des superficies se font d'une manière arbitraire et discrétionnaire et ne touchent que la partie de la progression du couvert forestier,
- L'analyse spatiale n'est pas possible a priori, du fait que les modifications touchent les données agrégées.

b) Inclusion de la dimension spatiale

Il y a une problématique pour spatialiser les données élaborées à partir d'une analyse agrégée. En effet, la comparaison des cartes diachroniques peut mettre en évidence des différences de catégories d'affectations des terres sans que le phénomène soit constaté effectivement sur le terrain. Ainsi, nous proposons quelques exemples, à titre indicatif, qui ont été constatés lors de traitements des cartes :

- Le décalage de restitution peut engendrer l'augmentation de la superficie d'un côté du polygone (progression) et sa diminution de l'autre côté (régression) ;
- L'exploration des détails diffère selon les photo-interprètes. Des polygones de catégories différentes d'affectation des terres peuvent être identifiés ou négligés lors de la photo-interprétation selon leurs dimensions et l'intérêt que leurs accorde le photo-interprète. Ces polygones forment une source importante d'erreur thématique du changement d'occupation du sol ;
- Des erreurs de cartographie peuvent surgir, lors de la prise en charge de la base de données par le cartographe. Le traitement de masse de données importante, en négligeant des phases de vérification et synchronisation des données, est une source d'erreur non négligeable ;
- L'erreur thématique de la cartographie est implicitement convenue à 10%. Cela, se traduit par la tolérance d'erreur de millier d'hectares (1000 ha) tous les 100 000 ha.

On en déduit, le suivi du couvert forestier est une analyse spatiale du 1er ordre. Le GIEC, 2006 recommande de recourir à l'approche spatialement explicite (wall-to-wall ou par échantillonnage) pour mieux apprécier le suivi des affectations des terres.

Ainsi, la démarche choisie repose sur une exploration comparative deux cartes diachroniques pour

- i)** synchroniser leurs contenus,
- ii)** adapter les modifications intervenues dans les critères de stratifications et **iii)** analyser l'évolution forestière.

La comparaison a été effectuée d'une manière orientée vers les différences notables des catégories d'affectations de sol particulièrement les classes suscitant une interprétation de progression ou de régression du couvert forestier. Toutefois, les corrections appliquées n'avaient pas pour but de mettre à jour les cartes forestières. Elles visent une analyse adéquate de l'évolution de l'occupation du sol.

Par ailleurs, une première concordance a été opérée à la jonction des cartes au 1/100.000.

2.2.3.2 Jonction des cartes et topologie des données

Lors de la concaténation des cartes au 1/100.000 couvrant la zone d'étude nous avons procédé à une exploration rapprochée de la jonction entre deux cartes adjacentes. Ainsi, certaines irrégularités topologiques ont été constatées (**figure ci-dessous**).

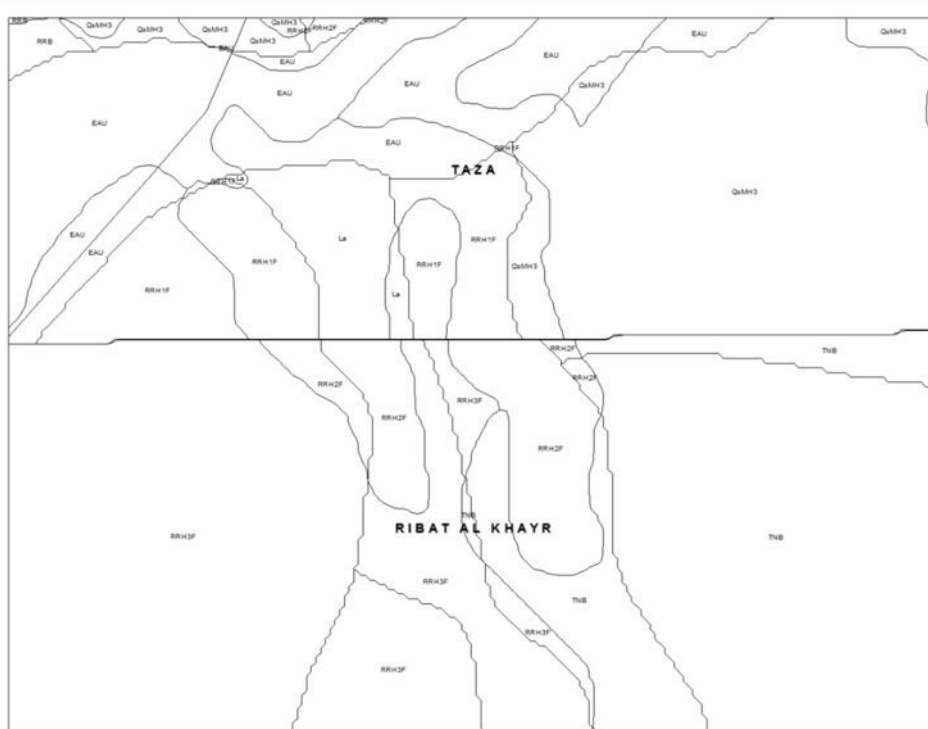


Figure 15: Irrégularités topologiques aux jonctions des cartes forestières au 1/100.00

Il s'agit d'une variété topologique habituelle lorsque la cartographie du territoire est réalisée séquentiellement dans le temps à l'aide des outils (logiciels) différents et selon des erreurs cartographiques spatiales tolérées. Cette erreur est définie à 50 m à l'échelle de référence au 1/50.000. En conséquence on peut assister à une discontinuité topologique entre les classes d'occupation du sol.

De même, la discontinuité topologique entre deux cartes adjacentes peut provenir

- i) soit du référentiel du découpage cartographique au 1/100.00 utilisé, et qui ne respecte pas la topologie de la cartographie numérique, soit ,
- ii) des photographies aériennes, images satellites et préparations des cartes à des dates différentes. Cette discontinuité se traduit par un gap ou par un chevauchement entre les limites desdites cartes adjacentes.

Ainsi, parmi les activités de cette étude nous avons tenu à assurer la continuité topologique sur l'ensemble du territoire de la zone d'étude en ayant conscience de générer des superficies différentes de celles élaborées à partir des unités de cartes au 1/100.000 individualisées.

En effet, la correction topologique des cartes forestières a engendré une réduction de superficie d'environ **340 ha** par rapport à la superficie générée des cartes de l'IFN.

2.2.4 Caractérisation climatique et bioclimatique du Moyen Atlas

Avant d'aborder l'impact des changements climatiques sur la répartition spécifique de la végétation forestière, sur sa productivité et la réponse des espèces arborées à ces changements, il nous semble plus urgent de commencer par caractériser l'espace étudié sur le plan climatique et l'interaction climat-période de végétation au niveau de chaque site.

La caractérisation du climat a été basé sur l'utilisation des indices climatiques développés, utilisés et adaptés au contexte du climat méditerranéen de montagne. Dans une étude (sous presse), nous avons analysé les bilans hydriques et hydrologiques au niveau du Moyen Atlas au Maroc et caractérisé le climat de la zone en utilisant les paramètres du bilan hydrique (évapotranspiration potentielle et l'évapotranspiration réelle).

Pour caractériser le climat au niveau du Moyen Atlas au Maroc, nous avons utilisé l'**indice de Gams** qui concerne essentiellement les contextes de montagne. Cet indice permet de s'affranchir des effets de l'altitude pour manifester la continentalité **Michalet (1991)**. Pour une même altitude, les zones les plus externes d'un massif reçoivent davantage de pluie que les zones plus internes. L'**indice d'Angot** permet de caractériser la continentalité hydrique alors que la continentalité thermique est appréciée par l'**indice K'** de **Gorcziński (1920)**.

En se basant sur des considérations essentiellement géographiques, **De Martonne (1926)** a défini l'aridité du climat à l'échelle annuelle par le quotient qui porte son nom. L'aridité augmente quand la valeur de l'indice diminue. **De Martonne** a proposé six grands types de macroclimats allant des zones désertiques arides aux zones humides à forêt prépondérante. Le **quotient pluviothermique Q2 d'Emberger** est particulièrement adapté aux régions méditerranéennes dans lesquelles il permet de distinguer différents étages bioclimatiques et variantes au sein de chaque bioclimat.

La **définition de la durée et de la période d'occurrence de la saison de végétation** est fondée sur les paramètres climatiques. Nous avons utilisé et comparé l'apport de la définition de la **saison sèche selon Gaussen et Bagnouls** et l'impact du bilan hydrique dans le sol sur la disponibilité d'eau durant la saison d'été. En effet, l'eau dans le sol est reconnue comme étant un des plus importants facteurs écologiques pour la croissance des espèces, influençant de nombreux paramètres dont la photosynthèse.

La **revue bibliographique succincte sur la phénologie et l'écophysiologie des principales espèces** qui constituent l'armature du couvert forestier dans le Moyen Atlas en l'occurrence le chêne vert, le cèdre, le pin d'Alep, le thuya et les essences secondaires (oléastre-lentisque) permet de mieux comprendre et expliquer la période de végétation déterminée au niveau des 28 stations étudiées (*cf. 2.2.1 « Outils et données utilisées »*)

2.2.4.1 Calcul de la saison de croissance des végétaux

La période de végétation peut être considérée comme l'expression d'une valeur climatique.

Dans les régions où le facteur hydrique n'est pas limitant, la période de végétation est considérée égale au nombre de jours de l'année dont la température moyenne de l'air ou la température minimale est égale ou supérieure à un certain seuil de végétation. Le seuil thermique retenu varie selon les auteurs, les espèces étudiées et les régions d'études, et est généralement compris entre 2°C et 10°C pour la température moyenne.

Primault (1990) fait coïncider le début théorique de la période de végétation à la suite de 7 jours consécutifs où la température de l'air est supérieure ou égale à 5°C. Les arbres présentent des signes cachés de « réveil » avant que des phénomènes visibles (le débourrement) n'apparaissent **Primault (2000)**.

En région méditerranéenne, la limite inférieure de la saison de croissance coïnciderait avec une température moyenne de l'air \geq à 10°C tout en défalquant les mois pour lesquels la pluviosité (P) est inférieure à deux fois la température moyenne mensuelle (2t) en degré centigrade **Pardé (1959)**. **Donadieu (1977)** propose d'utiliser la moyenne de la température minimale mensuelle et fixe le seuil à $m \geq 6^\circ\text{C}$.

La grandeur thermique à tout point de la surface de la terre étant dépendante de la latitude et de l'altitude, certains auteurs ont exprimé la durée de la période de végétation, comme le nombre de jours dont la température est supérieure à + 6°C par les équations (**in Differt 2001**).

- ✓ $N = 524.18 - 5.85 \cdot L - 0.000365 \cdot L \cdot H$ et
- ✓ $N = 510 - 5.75 (L + H/100)$.

Dans ces deux formules :

- N = longueur de la saison de végétation calculée en jours ;
- L = Latitude en degré et décimales ;
- H = altitude en mètre.

Pour définir la saison sèche, nous avons utilisé aussi bien la définition du mois sec selon Gausson que la notion de réserve hydrique utile de survie (RUS).

2.2.4.2 Calcul de la Réserve hydrique du sol

Nous avons considéré une Réserve Utile (RU) = 75 mm pour les stations dont la pluviométrie est inférieure à 400 mm, une RU=100 mm pour les stations à pluviométrie annuelle de 400 à 500 mm, 150 mm pour les stations dont la pluviométrie oscille entre 500 et 700 mm et 200 mm pour les pluviométries annuelles supérieures à 700 mm.

Ce choix se justifie par l'impact de la pluviométrie sur la pédogénèse et par, la non intégration dans notre étude des précipitations neigeuses et des remontées capillaires, par manque de données. La mesure de la réserve utile des sols dans le Moyen Atlas tabulaire a donné des valeurs de 200 à 300 mm pour la RUM **Lecompte et Lepoutre (1975)**.

Pour un mois donné (n), la réserve au niveau du sol R_n est la somme de la hauteur pluviométrique de ce mois $P(n)$ et le reliquat de la réserve du mois précédent avec comme valeur maximale égale à la RUM.

$$R_n = P(n) + \text{reliquat } R(n-1) \geq P_n \text{ et } \leq \text{RUM.}$$

Le reliquat de la réserve du mois précédent $R_{n-1} = R(n-1) - \text{ETR}(n-1)$

La Réserve Utile Maximale (**RUM**) est constituée de la Réserve Facilement Utilisable (RFU) à hauteur de 60% et de la Réserve Utile de Survie (**RUS = 40%*RUM**) **Piedallu et al. (2007)**.

Au niveau de la RUS, l'eau sera plus difficilement mobilisable pour la végétation. A priori, il faut considérer qu'à partir du seuil de la RUS, il y a début d'installation du stress hydrique pour la végétation.

Les réserves en eau du sol se reconstituent en général au cours de l'hiver. Les sols sont à la capacité au champ en début de printemps. Jusqu'à la fin du mois d'avril, toutes les stations présentent des sols encore saturés. A partir du mois de mai commence une phase de dessèchement progressif.

2.2.4.3 Saison estivale sèche selon BAGNOULS et GAUSSEN (P-2T)

Pour déterminer la saison sèche dans le Moyen Atlas, nous nous sommes basés sur la méthode climatique établie par **BAGNOULS et GAUSSEN**. Ces auteurs ont établi des diagrammes ombrothermiques pour évaluer la durée et l'intensité de la saison sèche pendant l'année. Ils se sont basés sur la formule $P = 2T \text{ } ^\circ\text{C}$; les mois secs sont définis, quand la courbe des précipitations est située au-dessous de celle des températures moyennes.

Ces graphiques permettent de suivre facilement la suite des saisons et l'importance de leur sécheresse. Mais, ils présentent l'inconvénient de ne pas faciliter la comparaison entre les stations.

Comme nous l'avons signalé auparavant (*cf. Partie I. « Revue Bibliographique »*), le diagramme ombrothermique de **GAUSSEN et BAGNOULS** est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèche et humide de l'année, où sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (**P**) et les températures (**T**), avec $P=2T$. La période humide c'est là où la moyenne de précipitation est supérieure à la moyenne de température. La période sèche est celle qui a une moyenne de précipitation inférieure à la moyenne de température.

2.2.4.4 Indice d'aridité de De Martone

L'indice d'aridité annuelle (**I**) de **De Martone** est défini comme $I = P/(T+10)$ où P = précipitation moyenne annuelle en mm ; T = température moyenne annuelle en $^\circ\text{C}$. Selon la grandeur de cet indice, De Martone distingue six classes d'aridité dont entre autre :

- $10 < I \leq 20$ correspond aux régions semi-arides ;
- $20 < I \leq 30$ correspond aux régions subhumides ;
- $30 < I \leq 55$ correspond aux régions humides.

2.2.4.5 Indices de continentalité

La continentalité d'un climat résulte de la combinaison de facteurs hydriques et thermiques interactifs (**Pagney, 1976**). **Daget (1968)** distinguent :

- La continentalité pluviale caractérisée par la concentration saisonnière des précipitations et mesurée par l'indice **d'Angot (1906)**. Cet indice **C** est le rapport entre les précipitations des six mois les plus chauds à celles des six mois les plus froids :

$$C = \frac{P6 \text{ mois chauds}}{P6 \text{ mois froids}}$$

Avec **P**= pluviométrie mensuelle en mm

- La continentalité thermique définie par la concentration estivale des températures évaluée à l'aide du coefficient de **Gorcziński (1920)** modifié par **Daget (1968)**

2.2.4.6 Indice de Gorcziński (K')

$$K' = \frac{1.7 * (M - m)}{\sin(L + 10 + 9A)}$$

- M-m** = Amplitude thermique annuelle en °C,
- L** = Latitude en degré arc,
- A** = Latitude en Kilomètre.

2.2.4.7 Indice de Gams

En climat méditerranéen, **Michalet (1991)** estime qu'il paraît illusoire de vouloir évoquer une continentalité pluviale, étant donné le déficit estival caractérisant ce climat. Au niveau thermique, le climat méditerranéen étant par nature fortement contrasté, les amplitudes annuelles sont importantes, sauf le long des côtes. Ces fortes amplitudes thermiques étant avant tout dépendantes de l'importance des températures estivales, elles sont peu déterminantes pour la végétation en tant que facteur thermique, mais elles jouent un rôle important dans l'accentuation de l'aridité.

L'indice de Gams modifié par **Michalet (1991)** est considéré comme un indice (α) d'aridité altitudinale.

$$\cotg\alpha = \frac{P - \frac{900-A}{100} \times \frac{P}{10}}{A} - 14$$

- P** = Pluviométrie annuelle en mm,
- A** = Altitude en mètre.

Aux angles élevés (**rappports P/A faibles**) correspondent les domaines dits internes et, inversement, les domaines externes (océaniques) sont définis par des angles faibles. Entre les deux domaines (externe et interne) se situe le domaine intermédiaire dont la grandeur de l'angle de Gams oscille entre 40° et 50°.

2.2.4.8 Indice bioclimatique d'Emberger

Après plusieurs formulations, **Emberger (1955)** a défini le quotient pluvio thermique Q_2 comme :

$$Q_2 = \frac{2000 * P}{(M - m) * (M + m)}$$

- **P** = pluviométrie annuelle en mm,
- **M** = moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en °Kelvin,
- **m** = moyenne des températures minimales du mois le plus froid en °Kelvin.

Pour pouvoir travailler en Celsius, il faut remplacer le dénominateur par **(M-m) *(M+m+546,4)**.

Sachant que la répartition et la productivité des espèces dépendent de la disponibilité d'eau dans le sol, du stress thermique en hiver (froid) et du stress thermique et hydrique en été, Emberger a intégré dans son indice la pluviométrie annuelle (composante principale du bilan hydrique), la grandeur m (stress thermique en hiver), M (stress thermique estival), l'amplitude thermique (M-m) et le cumul (M+m) reflèteraient les influences de la continentalité et de l'altitude.

Ce quotient pluviothermique qui paraît être adapté au climat méditerranéen est largement utilisé pour caractériser les étages bioclimatiques (saharien, aride, semi-aride, subhumide, humide et perhumide définis selon la grandeur du Q_2) au sein de ce climat et la répartition spécifique à l'échelle des bioclimats. Des variantes (du très froid au chaud) au sein de chaque étage bioclimatique sont identifiées en utilisant la grandeur de m.

2.2.4.9 Saison de végétation et phénologie des espèces observées

Pour la présente étude, nous avons identifié les essences présentes au niveau de la région de chaque station étudiée et rapporté la durée et la période d'occurrence de la saison de végétation. Pour comprendre et expliquer la durée de la saison de croissance et sa période d'occurrence, nous avons fait une succincte revue bibliographique sur la phénologie des principales espèces forestières observées au niveau des 28 stations étudiées (*cf. Partie III. « Résultats et Discussions »*).

2.2.5 Bilan hydrique et hydrologique du Moyen Atlas

2.2.5.1 Calcul de l'Evapotranspiration Potentielle (ETP)

Nous avons dressé le bilan hydrique mensuel au niveau de chaque station étudiée en utilisant le **model de Thornthwaite (1948)**. La demande climatique en eau d'ETP a été corrigée en fonction de la latitude des stations climatiques.

En région méditerranéenne, la méthode de Thornthwaite est reconnue sous estimant l'ETP et L'ETR de 10 à 30% (**Lebourgeois et Piedallu 2005 ; Lebourgeois al. 2006 ; Calvet, 1982 ; Le Houérou, 1995...**) et tout spécialement en zones arides et semi arides (**Lambert, 1996 ; Oudin,**

2004). Néanmoins, cette méthode a le mérite d'être robuste, simple, utilisant la température. Néanmoins, elle mérite d'être corrigée en fonction de la latitude pour tenir compte de la durée d'insolation et permet de suivre mensuellement le bilan hydrique dans le sol.

En hydrologie, l'ETP de Penman est censée donner l'estimation la plus proche de la mesure lysimétrique de l'ETP (**Oudin 2004 ; Oudin et al. 2005 ; Piedallu et al. 2007 ; Piedallu et al. 2013**).

Par manque de données pour calculer l'ETP selon la méthode de Penman, nous avons opté pour son évaluation annuelle en utilisant l'approximation de **Le Houérou (1995)** où $ETP = 68.64T$ avec T la température moyenne annuelle en °C. Pour 196 stations du Nord de l'Afrique, les chiffres obtenus à l'aide du paramètre 68.64T sont inférieurs à ceux de l'équation de Penman de 6,2% en moyenne et de 2% inférieurs à ceux obtenus par l'équation de Turc (**Le Houérou, 1989**). Pour les zones semi-arides et subhumides du continent Africain, la relation entre l'ETP annuelle en mm selon la méthode de Penman-Monteith et la température moyenne annuelle T en °C en utilisant les données de 500 stations météorologiques est $ETP = 77.5 * T$ (**Le Houérou 1996**).

2.2.5.2 Détermination de la Réserve Utile en eau du sol (RU)

La Réserve Utile de tout sol est fonction de sa texture. Ainsi la RU varie entre 70 mm pour un sol sableux et 220 mm en limon argileux voir 350 mm pour une tourbe (**Le Houérou 1995 ; Jabiol et al. 2009 ; Gis sol 2011**). **Thorntwaite** propose de considérer une RU Maximale = 100 mm. Les arbres forestiers peuvent se procurer de l'eau à une profondeur de plus d'un mètre et demi de profondeur (**Bréda N et al. 2002**).

Dans l'étude du bilan hydrique des écosystèmes forestiers, il est proposé de considérer une RU=150 à 200 mm (**Delarozière-Bouillin 1971 ; Carrega 1988**).

Dans la présente étude, nous avons considéré une RU de 75 mm pour les stations dont la pluviométrie est inférieure à 400 mm, 100 mm pour les stations à pluviométrie annuelle de 400 à 500 mm, 150 mm pour les stations dont la pluviométrie oscille entre 500 et 700 mm et 200 mm pour les pluviométries annuelles supérieures à 700 mm.

En effet, la pluviométrie est un facteur déterminant au niveau de la pédogénèse. Ce choix se justifie également par, la non-intégration dans notre étude des précipitations neigeuses, par manque de données.

La Réserve Utile Maximale (RUM) est constituée à hauteur de 60% de la Réserve Facilement Utilisable (RFU) et de la Réserve Utile de Survie ($RUS = 40 \% * RUM$) **Piedallu et al. 2007**. Ces mêmes auteurs utilisent la notion de Pluie Utile qui est fonction du coefficient d'interception I ($PU = P * I$) et de l'évaporation du sous étage et du sol (estimée à 2.5 % de l'ETP).

Ne disposant pas de données relatives aux coefficients d'interceptions propres aux écosystèmes forestiers du Maroc et sachant que le recouvrement au sol des houppiers des arbres est généralement faible à moyen (<50 %), nous avons considéré la hauteur des Pluies (P) enregistrées au niveau des stations.

Pour un mois donné (n), la réserve au niveau du sol R_n est la somme de la hauteur pluviométrique de ce mois $P(n)$ et le reliquat de la réserve du mois précédent avec comme valeur maximale égale à la RUM. $R_n = P(n) + \text{reliquat } R(n-1) = \geq P_n \text{ et } \leq RUM$.

Le reliquat de la réserve du mois précédent $R_{n-1} = R(n-1) - ETR(n-1)$ et les valeurs négatives du reliquat seront ramenées à zéro.

2.2.5.3 Calcul de l'Evapotranspiration Réelle (ETR)

Le bilan hydrique au niveau du sol est la résultante entre les flux entrants et les flux sortants. Les flux entrants sont constitués pour toutes les formes de précipitations (pluvieuses, neigeuses, occultes), par les remontées capillaires qui peuvent apporter une quantité d'eau non négligeable au profit des peuplements forestiers et par les flux latéraux (ruissellement, drainage latéraux). Les flux sortants sont constitués par la transpiration des arbres, l'interception des pluies (eau et neige qui s'évaporent à la surface des feuilles) et par l'évaporation du sol et la transpiration du sous étage (herbacé ou ligneux). **L'évapotranspiration réelle ETR est la somme des trois flux sortants.**

Le calcul de l'ETR commence au mois de janvier en considérant la réserve en eau du sol maximale. L'ETR est estimée par rapport à l'ETP et la quantité d'eau disponible dans le sol.

Si l'eau évaporable (ETP) est inférieure à l'eau disponible $ETR = ETP$. Si l'ETP est supérieure à l'eau disponible on aura $ETR = \text{Réserve d'eau disponible}$.

Lorsque les précipitations mensuelles sont inférieures à l'ETP, l'ETR est égale à $ETP \cdot R/RU$ où R est la somme la réserve en eau du sol du mois correspondant ($P - ETR$) et du reliquat du mois précédent avec une réserve maximale $R_{max} = RUM$ (la réserve utile).

L'ETR annuelle selon la méthode de Turc est établie par $ETR = P/[0.9+(p/L)^2]^{1/2}$ où P est la pluviométrie annuelle en mm et $L = 300+25T+0.05T^3$, T est la température moyenne annuelle en °C.

2.2.5.4 Ecoulement de l'eau dans le sol

L'écoulement latérale (ruissellement) et en profondeur (infiltration) ne pourra se produire qu'une fois que le sol est saturé en eau ($R = RUM$) et qu'il y a un apport supplémentaire en eau par les précipitations.

Pour estimer la lame d'eau écoulee (ruissellement), nous avons utilisé la formule de Tixeront Berkalof (Goudaidia L. 2008 ; Abdennasser 2013) où $R_s = P^3/3 \cdot (ETP)^2$ avec R=ruissellement en mm, P = précipitations annuelle en mm et ETP = évapotranspiration annuelle en mm. La lame d'eau infiltrée I sera égale au surplus hydrologique [$P - ETR + (R - RUM)$] diminué de la grandeur du Ruissellement R_s .

PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Introduction

Dans ce travail, nous étudions l'évolution des écosystèmes de la cédraie du Moyen Atlas caractérisée par la présence des actions humaines et des phénomènes naturels qui aident à comprendre les mécanismes écologiques associés à des pratiques sylvicoles.

L'étude faite ici montre que l'abondance des données spatiales des différents types d'écosystèmes dans la région du Moyen Atlas sont un bon outil pour comprendre la dynamique évolutive et les processus du changement climatique des espèces de conifères de montagne en particulier le cèdre de l'atlas, ainsi que l'ensemble des écosystèmes présents dans cette région du Maroc.

Les résultats obtenus dans cette étude dans sa globalité se décomposent en deux grandes parties à savoir ceux ayant traités à l'évolution du couvert forestier du Moyen Atlas et ceux relatifs à la caractérisation climatique, Bilan hydrique et hydrologique de la région d'étude.

En ce qui concerne le 1^{er} cas, à l'issue de cette étude, les résultats obtenus se décomposent en cartes forestières de deux situations notamment 1982-1987 et 2008-2011, carte d'évolution forestière et une analyse approfondie en termes de superficie, des changements constatés.

La cartographie forestière a été préparée et présentée, à une échelle de référence au 1/50.000, en deux versions chacune à savoir :

- i) les cartes d'origine après agrégation des différentes cartes au 1/100.000 qui couvrent le Moyen Atlas et ;
- ii) les cartes vérifiées et révisées dans le cadre de cette étude.

La carte d'évolution est aussi élaborée en deux versions dont :

- i) **la première** se limite à l'agrégation des cartes d'évolution forestière au 1/100.000 élaborées dans le cadre de la révision cartographie de l'inventaire forestier national.
- ii) **la seconde** version est issue des efforts que nous avons entrepris pour assurer une synchronisation entre les contenus des cartes forestières des deux cycles cartographiques en procédant aux vérifications nécessaires sur des images satellite.

En conséquence les résultats se décomposeront en deux volets à savoir :

1. Cartographie et analyse des résultats natifs des cartes forestières au 1/100.000 de l'IFN :
 - Préparation de la carte forestière du Moyen Atlas issue de l'agrégation des cartes au 1/100.000 en se référant à la situation de l'occupation du sol durant les années 1982-1987 ;
 - Préparation de la carte forestière du Moyen Atlas issue de l'agrégation des cartes au 1/100.000 en se référant à la situation de l'occupation du sol durant les années 2008-2011;
 - Présentation de la carte de la comparaison diachronique de l'occupation du sol telle qu'elle est issue de la cartographie forestière de l'inventaire forestier national ;
 - Analyse des diachronique des superficies forestières, selon la démarche adoptée dans le cadre de l'IFN ;
 - Appréciation de la démarche de comparaison diachronique des superficies forestière.

2. Consolidation des cartes forestières diachroniques de l'IFN, cartographie et commentaire de l'évolution forestière du Moyen atlas :
 - Elaboration des cartes rétrospectives du couvert forestier du Moyen Atlas aux années de référence de 1982-1987 et 2008-2011 et ce, après correction des incohérences et anomalies cartographiques identifiées sur les cartes forestières de l'IFN ;
 - Finalisation de la carte d'évolution forestière du Moyen Atlas entre les deux années de référence approximatives de 1986 et 2010 ;
 - Analyse de l'évolution forestière.

3.1 : Cartographie et analyse des résultats natifs des cartes de l'IFN

3.1.1 Cartographie forestière de la période 1982-1987

Une carte de répartition spatiale du couvert forestier durant la période 1982-1987, a été préparée dans le cadre de la présente étude, par concaténation de l'ensemble des cartes forestières couvrant le Moyen Atlas. La carte ci-contre montre ladite carte forestière avec une échelle de présentation très réduite.

Les données statistiques en termes de superficie des essences forestières du Moyen Atlas en référence à la cartographie forestière de l'IFN et aux années de base de 1982-1987, sont mentionnées dans la figure suivante. Il ressort de l'analyse de ladite figure les commentaires ci-après :

- La superficie des essences forestières totalisent 714.704 ha, soit 43% du territoire du Moyen Atlas ;
- Le chêne vert, est l'essence la plus représentée à l'échelle de la zone d'étude. Il occupe plus de la moitié de la surface forestière (près de 55%) et 24% de de la zone d'étude ;
- Les autres essences se classent par ordre d'importance en termes de pourcentage de superficie par rapport au couvert forestier, comme suit : le cèdre (près de 13%), le matorral ou landes (près de 11%), le thuya et l'alfa (près de 6% chacun), les genévriers (près de 5%), les pins (3%), le chêne liège (près de 2%), les reboisements résineux (1%) et le reste des essences cumulemoins (moins de 1%) de la surface forestière.

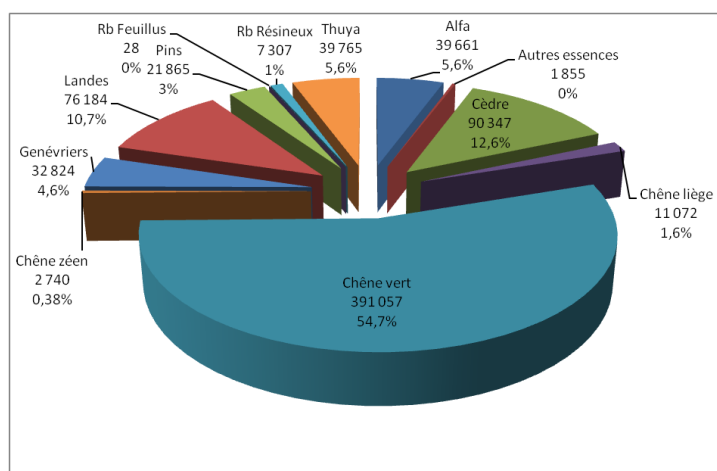
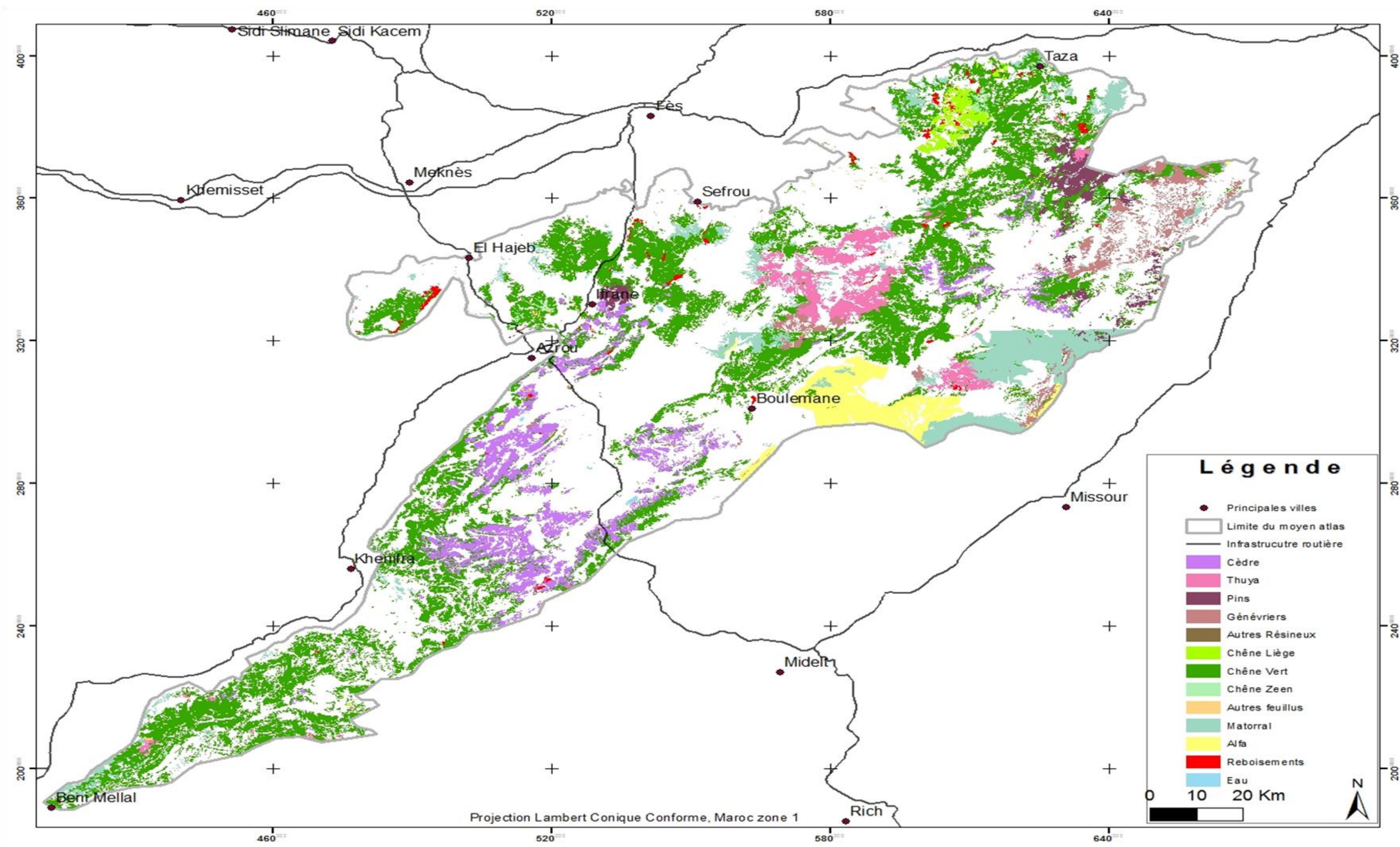


Figure 16: Situation du couvert forestier des années 1980 (en ha)⁹

⁹ Cette figure n'inclue pas les TNB, fruiticées et Eau qui couvrent respectivement 37% ; 13% et 0,06% du total de la zone d'étude.



Carte 20 : Couvert forestier du Moyen Atlas de la période 1982-1986

3.1.2 Cartographie forestière de la période 2008-2011

Par analogie à la préparation de la carte forestière du Moyen Atlas de la période 2008-2011, une nouvelle carte du Moyen Atlas a été préparée (carte ci-contre) en regroupant les cartes forestières au 1/100.000 élaborées, récemment, dans le cadre de la révision de la cartographie forestière de l'IFN entre 2008 et 2011.

Les superficies générées à partir des cartes forestières de l'IFN, élaborées en 2008-2011, sont consignés dans le tableau suivant :

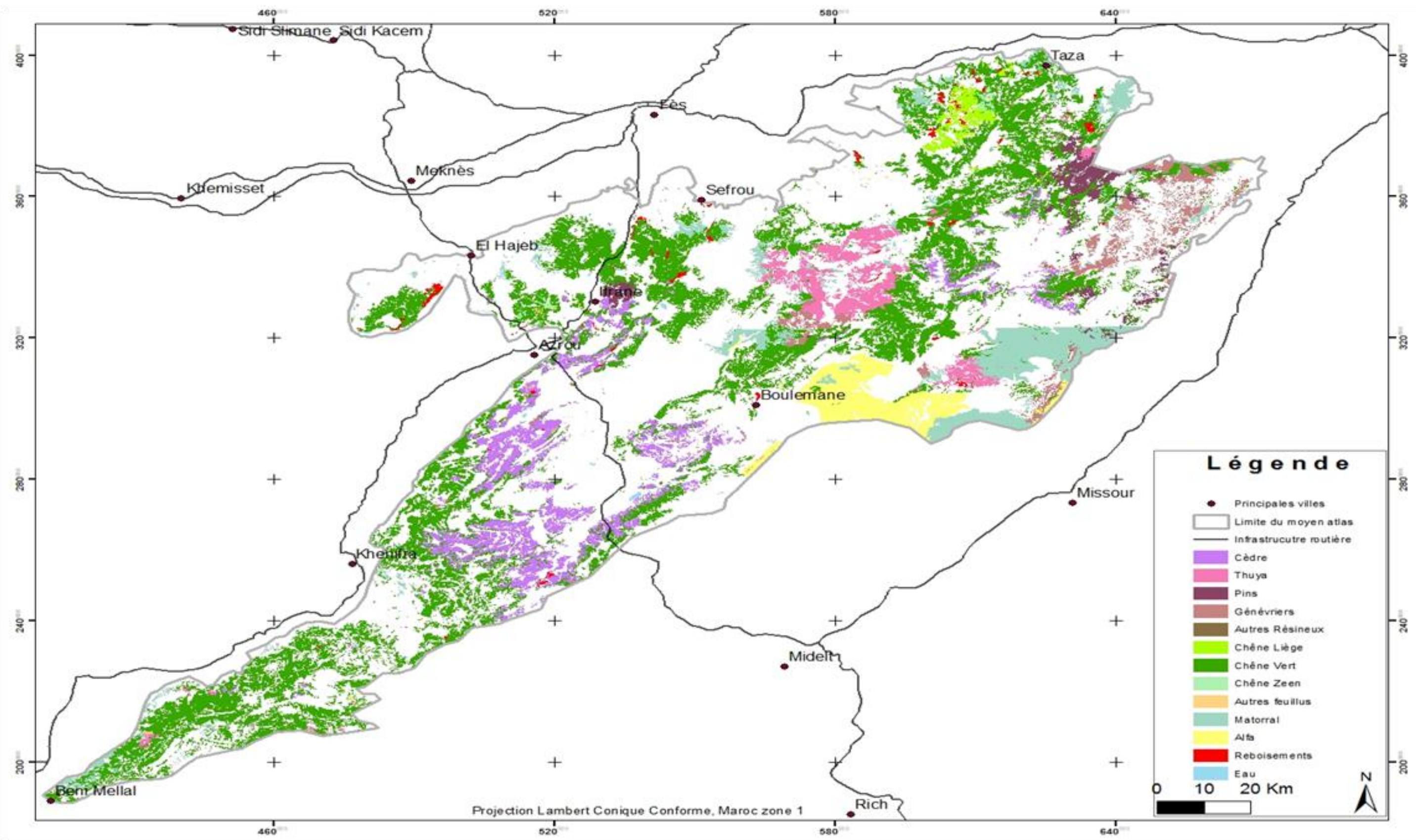
Tableau n° 10 - Superficie du couvert forestier du Moyen Atlas en 2010 (ha)

Formation	Essence	Superficie 2010 (ha)	% à l'occupation de sol	% au couvert forestier
Couvert forestier	Alfa	71 336	4,28	8,6
	Autres essences	5 408	0,32	0,65
	Cèdre	74 872	4,49	9,03
	Chêne liège	8 769	0,53	1,06
	Chêne vert	417 691	25,07	50,36
	Chêne zeen	4 208	0,25	0,51
	Genévriers	123 417	7,41	14,88
	Landes	32 143	1,93	3,88
	Pins	37 205	2,23	4,49
	Reboisements feuillus	1 013	0,06	0,12
	Reboisements résineux	18 372	1,1	2,21
	Thuya	35 032	2,1	4,22
Sous/total		829 466	50%	100%
TNB	Fruticées	218 947	13,14	
	Eau	919	0,06	
	TNB	617 062	37,03	
Sous/total		836 928	50%	
	Total	1 666 392	100%	

La situation cartographique du Moyen Atlas en 2010, estime l'occupation du sol en couvert forestier à 50%, et ce en considérant que les fruticées ne font pas partie du couvert forestier.

En répercussion de ce constant, le chêne vert contribue à l'occupation du sol à hauteur de 50% du couvert forestier. Il est suivi par ordre d'importance de superficies des principales formations à genévriers (14.9%), à cèdre (9%) et à alfa (8,6%).

La strate à fruticées est une nouvelle strate, récemment, introduite. Elle occupe 13% du terrain sans végétation forestière.



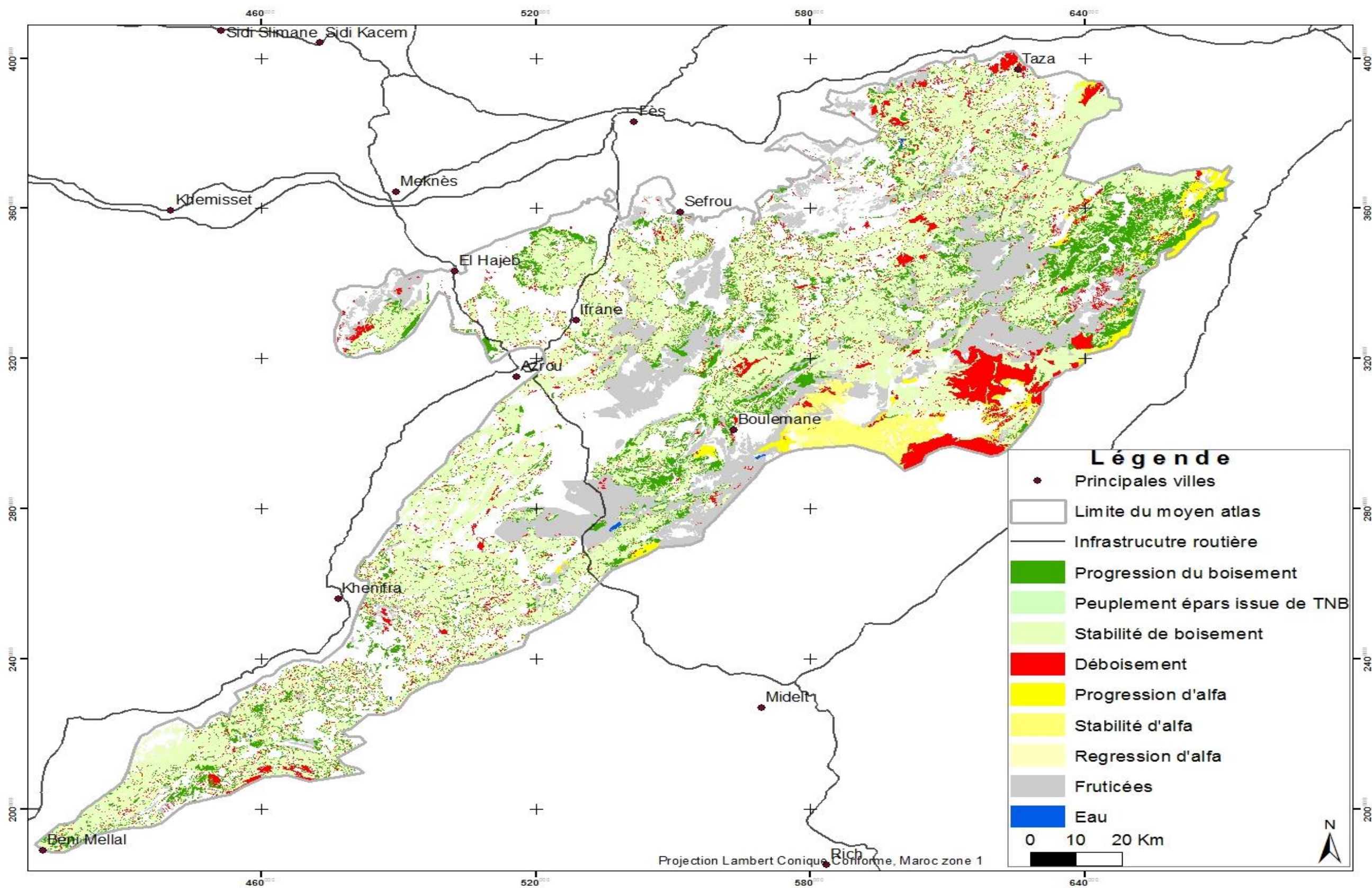
Carte 21 : Couvert forestier du Moyen Atlas de la période 2008-2011

3.1.3 Analyse diachronique des changements des superficies du couvert forestier

Une carte de comparaison des couverts forestiers a été élaborée par superposition des deux cartes forestières du Moyen Atlas issue de l'IFN. Sept classes de variations d'occupation de sol ont été identifiées et qualifiées. Il est prématuré de parler de cartes et d'analyse d'évolution forestière à ce niveau. Toutefois, les qualificatifs du changement d'occupation de sol sont les mêmes utilisées pour le suivi du couvert forestier. Il s'agit notamment de progression du boisement, peuplements épars issue du TNB, stabilité du boisement, déboisement, progression d'alfa, stabilité d'alfa et régression d'alfa.

La carte ci-contre représente la carte de comparaison des cartes forestières diachroniques.

A première vue, la carte de comparaison diachronique du couvert forestier du Moyen Atlas restitue des grandes étendues en progression et régression forestières spécialement dans les zones à thuya, à genévriers, à landes et à alfa. Le diagnostic approfondi de ces différences du couvert est entamé plus loin en bas.



Carte 22 : Comparaison diachronique des cartes forestières des années 1986 et 2010

3.1.3.1 Analyse des superficies

Une analyse comparative des superficies forestières générées d'une manière indépendante des deux cartes forestières diachroniques a été effectuée sans tenir compte des restrictions préalablement formulées dans les hypothèses de l'amélioration de la clé de stratification. Nous exposons cette comparaison du fait que certains utilisateurs, non avertis de l'origine de ces données, peuvent procéder de cette manière pour approcher l'évolution du couvert forestier à l'échelle d'un territoire. Une analyse synthétique des superficies forestières est conduite à partir de la matrice de confusion globale telle qu'elle est indiquée au tableau suivant.

Tableau n° 11 - Matrice de confusion globale brute (superficie en ha)

		Occupation de sol 1986			
		Forêt et matorral	Alfa	TNB et Eau	Total
Occupation de sol 2010 (2008-2010)	Forêt et matorral	605 207	9 150	362 719	977 076
	Alfa	25 479	24 511	21 347	71 336
	TNB et Eau	44 357	6 000	567 623	617 980
	Total	675 043	39 661	951 688	1 666 392

Le couvert permanent à caractère forestier (forêt, matorral, fruticées et alfa) a été maintenu sur une superficie de 664.346 ha.

L'introspection de la matrice de confusion fait ressortir une différence positive des superficies boisées (forêt et matorral) entre les deux périodes de 1986 et 2010, d'environ 302 033 ha. La superficie est portée à 333 707 ha lorsqu'on se réfère au couvert végétal (y compris l'alfa) quoique cette «différence de superficie» dissimule encore d'autres formations végétales notamment les peuplements forestiers à densité éparse et la strate à fruticées. Le tableau suivant présente les superficies comparatives entre les deux cartographies à l'échelle des classes d'occupations du sol et des compositions forestières.

Tableau n° 12 - Etat comparatif des superficies générées à partir des cartes diachroniques des 1987 et 2010

Essence	Superficie du couvert forestier en 1986 (ha)	Superficie du couvert forestier en 2010 (ha)	Différence superficie
Cèdre	90 347	74 872	-15 475
Pins	21 865	37 205	15 340
Thuya	39 765	35 032	-4 733
Genévriers	32 824	123 417	90 593
Chêne liège	11 072	8 769	-2 303
Chêne vert	391 057	417 691	26 634
Chêne zeen	2 740	4 208	1 468
Autres essences	1 855	5 408	3 553
Landes	76 184	32 143	-44 041
Reboisement feuillu	28	1 013	985
Reboisement résineux	7 307	18 372	11 065
Alfa	39 661	71 336	31 675
Fruticées	0	218 947	218 947
Eau	1 142	919	-223
TNB	950 546	617 062	-333 484
Total	1 666 392	1 666 392	0

Une prospection sommaire du constat porté au tableau ci-dessus montre une perte du terrain non boisé et d'eau d'une superficie de 333 707 ha. Ce chiffre est a priori interprété par une progression du couvert végétal y compris l'alfa et les fruticées et ce, étant donné que la perte du TNB signifie une conversion d'occupation de sol vers un terrain à végétation permanente (non compris l'arboriculture). Il peut être révisé en diminution à 302 032 ha en déduisant les superficies d'alfa. **Ainsi en regagne les chiffres avancés à partir de la matrice de confusion.**

En matière de changement de composition, les principales observations se rapportent à la cédraie et les landes ayant perdu respectivement 15 475 ha et 44 041 ha. Les principaux gains en superficie ont été enregistrés aux profits de genévriers (90 593 ha), du chêne vert (26 634 ha et de l'alfa (31 675 ha).

Il serait hasardeux d'exprimer des appréciations relatives aux changements d'occupation de sol à partir de ces données, sans encourir un risque démesuré quant à l'analyse de l'évolution forestière.

3.1.3.2 Analyse approfondie des changements des superficies

Le maintien stricto-facto des critères de classification entre les deux dates de cartographie forestière, est une condition sinequanon pour une exploration sans biais des changements du couvert forestier à partir d'une cartographie diachronique.

Les services des Département des Eaux et Forêts en charge des études d'évolution forestière sont conscients de cette affirmation. Ils contrebalancent les paramètres de manière à rendre les résultats des constats cartographiques, comparables.

Ils mentionnent par ailleurs, que les situations équivoques d'analyse de l'évolution forestière suscitent des interprétations et engendrent des conclusions trompeuses (**HCEFCLD, IFN 2014**).

Ainsi, nous adoptons dans cette partie d'analyse, la même démarche exécutée par le Département des Eaux et Forêts pour approche l'évolution du couvert forestier et ce, selon une analyse sommaire et une analyse détaillée. Toutefois, ces analyses renferment les deux hypothèses principales i) l'adéquation des critères de stratification et ii) le fait que la progression ne peut se faire que par les opérations de reconstitution.

Le tableau suivant expose une matrice semi-détaillée pour mettre en relief la concordance des stratifications adoptées lors de l'élaboration des deux cartes diachroniques.

Tableau n° 13 - Matrice de confusion semi-détaillée, brute¹⁰

		Occupation de sol 1986 (ha)			
		Forêt et matorral	Alfa	TNB	Total
Occupation de sol 2010 (ha)	Forêt et matorral	564 455	679	138 093	703 227
	Forêt à densité éparse	19 403	674	34 824	54 901
	Fruticées	21 349	7 797	189 802	218 948
	Alfa	25 479	24 511	21 347	71 337
	TNB	44 357	6 000	567 623	617 980
	Total	675 043	39 661	951 689	1 666 392

¹⁰ Données issues de regroupements des cartes forestières au 1/100.000 sans traitements préalables.

Il découle de la matrice ci-dessus que la catégorie «forêt et matorral» a été maintenue durant la période d'analyse sur une superficie de 583 858 ha soit 87% de la superficie de la même catégorie, constatée durant la période des années 1980 (35% de la surface générale de la zone d'étude). La même catégorie a cumulé une perte en superficie de 91 185 ha et un gain 138 722 soit respectivement 14% et 20% par rapport à la superficie forestière de 1986.

En revanche le TNB est soutenu sur une superficie de 567 623 ha correspondant à 60% de sa superficie en 1986 et 34% de la superficie de la zone d'étude.

Cette première analyse tient compte de 35 498 ha des peuplements à densité éparse qui proviennent de l'alfa et du TNB. Cette superficie n'est pas comptabilisée comme progression du fait qu'elle est générée à la suite du changement des critères de stratification.

*Apriori, le bilan provisoire de l'évolution du couvert forestier est en faveur d'une augmentation de la superficie forestière de **47 587 ha** émanant de la différence entre le gain de la classe « forêt et matorral » d'une superficie de 138 772 ha à partir des classes « alfa » et « TNB », et la perte de la même classe « forêt et matorral » d'une superficie de 91 185 ha en faveur du territoire non boisé.*

Une décomposition plus fine de la matrice est développée au niveau des essences, afin de satisfaire la deuxième hypothèse sus-indiquée considérant que l'augmentation de la surface du couvert forestier n'est admise que dans les cas de reconstitution des peuplements ou à la limite par la réapparition de la végétation « pionnière ». Cette dernière catégorie, inclues les classes du matorral, des autres feuillus et d'alfa dans les zones humides, tel que le Moyen Atlas. « Certaines strates notamment les formations basses peuvent se développer en hauteur pour intégrer les catégories d'autres feuillus, du matorral et d'alfa (HCEFLCD, IFN 2014).

Pour approcher l'évolution du couvert, on suit deux étapes :

- Analyse de variations des superficies au niveau de chaque essence forestière;
- Application de l'hypothèse que l'évolution progressive est réservée aux reboisements, matorral et autres feuillus.

a) Analyse de variation des superficies par essence

Le tableau suivant, présente les changements constatés dans la zone d'étude à la suite de la comparaison des cartes forestières.

Tableau n° 14 - Etat de situation des changements d'occupations constatés entre 1986 et 2010

Essence	Formation forestière n'ayant pas subi d'évolution			Progression (1) (TNB ou eau évolué en forêt)	Régression (2) (Forêt a cédé la place aux TNB ou à l'eau)	variation (3)=(1)-(2)	Strates nouvellement introduites provenant de TNB ou eau (4) ¹¹	variation constatée (3) -(4)
	l'espèce inchangée au niveau de la strate	l'espèce a cédé la place à une autre espèce	l'espèce a récupéré la place d'une autre espèce					
Cèdre	56 079	30 654	8 807	9 986	3 614	6 372	5390	982
Pins	12 796	8 430	12 743	11 666	639	11 026	4665	6 361
Thuya	4 515	32 804	23 816	6 701	2 445	4 256	565	3 691
Genévriers	15 621	15 729	67 510	40 286	1 474	38 813	8 595	30 218
Chêne Vert	272 401	91 713	63 861	81 429	26 943	54 486	15 182	39 304
Chêne Liège	6 036	3 958	1 941	792	1 078	-286	54	-340
Chêne Zeen	1 373	1 335	2 611	224	32	192		192
Autres Feuillus	57	974	2 992	2 359	824	1 535	326	1 209
Reboisement feuillu	0	21	276	737	6	731		731
Reboisement résineux	4 233	2 189	9 054	5 085	886	4 200	48	4 152
Matorral	9 679	60 088	8 811	13 653	6 417	7 235		7 235
Sous-total	382 790	247 895	202 421	172 917	44 357	128 559	34 825	93 734
Fruticées			29 145	189 802		189 802	189 802	0
Alfa	24 511	9 150	25 479	21 347	6 000	15 347		15 347
Sous-total	24 511	9 150	54 624	211 149	6 000	205 149	189 802	15 347
Total	407 301	257 045	257 045	384 066	50 358	333 708	224 627	109 081

Le tableau ci-dessus exprime une information complémentaire au tableau relatif à la Matrice de confusion globale brute décrite plus haut. Cependant, la lecture nécessite d'être très attentive avant de tirer des conclusions qui s'avèrent a priori, contradictoires que ce soit aux résultats obtenus au préalable (Matrice de confusion globale brute) ou à une interprétation objective de l'évolution du couvert forestier.

*Le premier sous-total du tableau dégage une augmentation de la superficie du boisement de **93734 ha**. Ceci néglige les autres classes du couvert végétal à savoir les fruticées et l'alfa. Une lecture plus optimiste permet de retenir le bilan général, exprimé par ce tableau, mentionnant une augmentation de la superficie forestière de 109 081 ha.*

Cette lecture considère que l'alfa et les fruticées font partie du couvert forestier sans faire la distinction entre le boisement (végétation ligneuse) et couvert végétal incluant toutes les formations à végétation permanente¹².

¹¹ Ces données ne prennent pas en considération la superficie des peuplements épars provenant de la classe alfa dont la superficie est estimée à 674 ha.

¹² La végétation permanente exclue le couvert arboricole.

b) Approximation de l'évolution forestière

L'approche considère que les analyses précédentes se rapportent à la comparaison des superficies plutôt qu'à l'évolution forestière. Ainsi, elle propose une révision des superficies des classes d'occupation du sol pour mieux apprécier le suivi du couvert forestier.

Les ajustements considèrent qu'à l'exception des formations d'alfa, du matorral et des essences secondaires feuillus, l'évolution progressive du boisement est imposée par le biais des opérations de reboisement. Ainsi, les augmentations des superficies des autres classes par rapport au TNB ou Eau sont simplement qualifiées d'erreur thématique du 1er cycle de la cartographie forestière et leurs valeurs sont ramenées à zéro. Cependant, les réductions des superficies boisées au profit des classes non boisées, sont validées comme déboisement.

En outre, les fruticées sont traités d'ores et déjà des formations non boisées ; de la même manière que la classe d'alfa. A cet effet, les changements d'affectation des terres des formations boisées vers ces deux classes, sont qualifiés de déboisement. Dans cette perspective, le tableau suivant, résume l'état de situation du changement de l'occupation du sol au Moyen Atlas.

Tableau n° 15 - Evolution approchée dans la zone d'étude

Essence	Progression (1) (TNB ou eau évolués en forêt)	Régression (2) (Forêt a cédé la place au TNB ou à l'eau)	Evolution (3)=(1)-(2)	Strates nouvellement introduites provenant de TNB ou eau (4)	Changement Approché (5)= (3) -(4)	Boisement ayant évolué en Fruticées (6)	Boisement ayant évolué en alfa (7)	Changement Approché (8)= (5)-(6) -(7)
Cèdre	0	3 614	-3 614	5 390	-9 004	623	8	-9 635
Pins	0	639	-639	4 665	-5 304	498	84	-5 886
Thuya	0	2 445	-2 445	565	-3 010	316	7	-3 333
Genévriers	0	1 474	-1 474	8 595	-10 069	453	1012	-11 534
Chêne Vert	0	26 943	-26 943	15 182	-42 125	8 334	2 708	-53 167
Chêne Liège	0	1 078	-1 078	54	-1 132	53	6	-1 191
Chêne Zeen	0	32	-32	0	-32	2	0	-34
Autres Feuillus	2 359	824	1 535	326	1 209	43	9	1 157
Reboisement feuillu	737	6	731	0	731	32	0	699
Reboisement résineux	5 085	886	4 200	48	4 152	230	0	3 922
Matorral	6 417	7 235	-818		-818	10797	24511	-36 126
Alfa	6 000	15 347	-9 347		-9 347			
Total	20 599	60 523	-39 924	34 825	-74 749			-115 128

*En conséquence, le bilan de l'évolution du couvert forestier du Moyen Atlas, selon cette démarche, est soldé par **une régression** importante touchant **115 128 ha** du couvert boisé et **74 749ha** du couvert végétal d'une manière général. Le couvert végétal inclus en plus du couvert boisé, les formations à alfa.*

3.2 : Cartographie rétrospective du Moyen Atlas

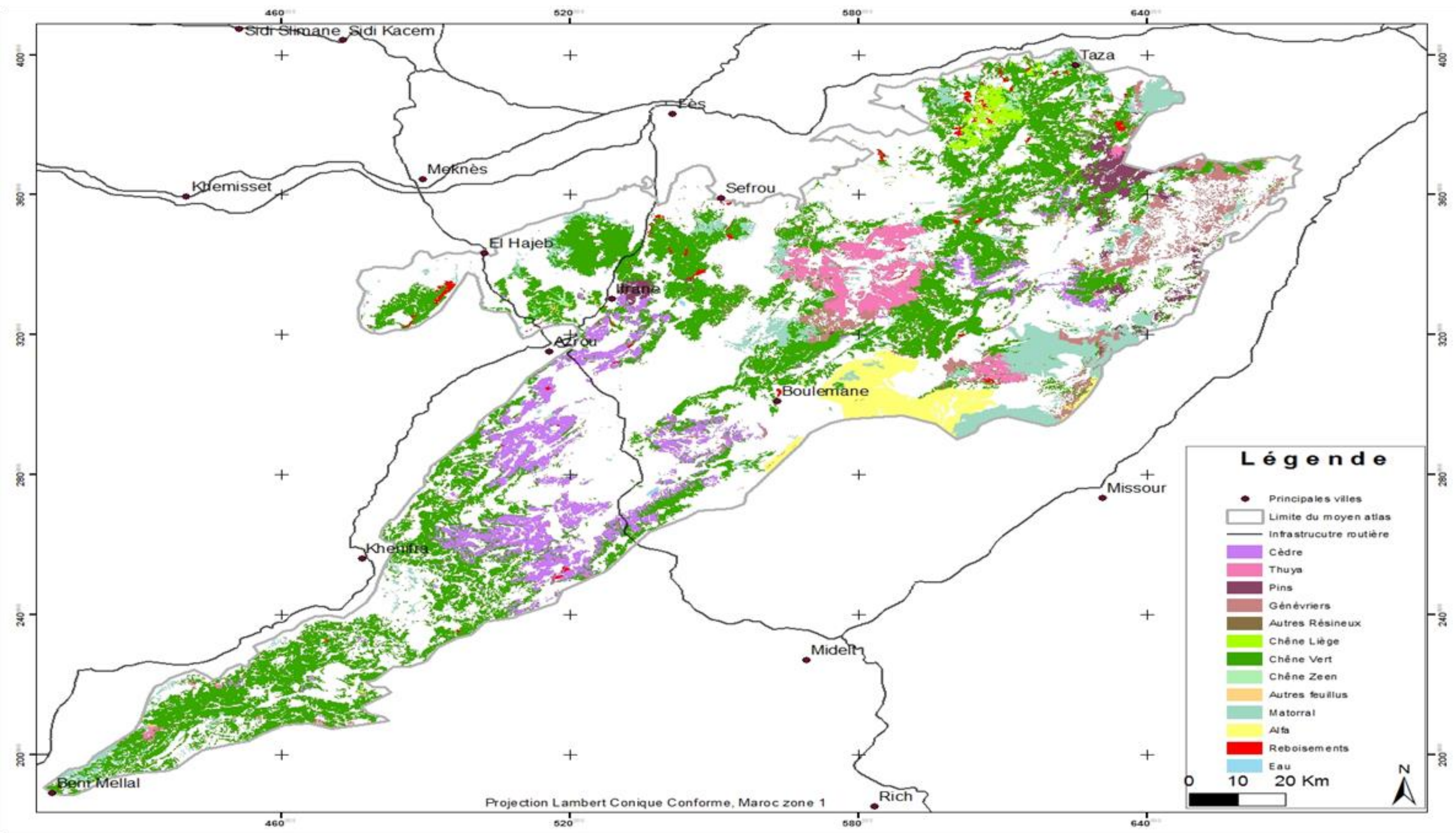
3.2.1 Carte rétrospective du couvert forestier en 1986

La révision de l'ancienne cartographie forestière du Moyen Atlas a permis d'effectuer un redressement de la situation du boisement à l'année de référence 1986, et ce par une utilisation des images satellite des années 1980 et en adoptant l'hypothèse que lors le boisement a été constaté durant cette période, il est considéré identique à celui identifié lors du second passage cartographique. A l'issue de cette opération un constat remarquable est déterminé, mettant en relief une sous-estimation des taux du boisement et du couvert forestier du Moyen Atlas. Le tableau suivant récapitule les superficies des occupations du sol des situations des cartographies forestières, de la zone d'étude, réalisée (1986, 2010) ou révisée (rétrospection).

Tableau n° 16 - Etat comparatif globale des données des cartes brutes et révisées

Essence	Situation native des cartes forestières (ha)		Situation issue des cartes révisées (ha)	
	1987	2010	1986	2010
Cèdre	90 347	74 872	100 688	78 623
Pins	21 865	37 205	35 114	37 791
Thuya	39 765	35 032	44 677	35 431
Genévriers	32 824	123 417	78 379	125 208
Chêne liège	11 072	8 769	11 801	9 673
Chêne vert	391 057	417 691	470 690	444 670
Chêne zeen	2 740	4 208	2 950	4 181
Autres essences	1 855	5 408	2 664	5 683
Landes	76 184	32 143	81 001	62 243
Reboisement Feuillus	28	1 013	28	1 019
Reboisement Résineux	7 307	18 372	7 265	18 836
Alfa	39 661	71 336	38 308	48 404
Fruticées, TNB & eaux	951 688	836 927	792 491	794 291
<i>Total</i>	<i>1 666 392</i>	<i>1 666 392</i>	<i>1 666 054</i>	<i>1 666 054</i>
Taux de boisement	41	45	50	49
Taux du couvert	43	50	52	52

La révision des cartes forestières a mis en évidence des oublis des classes d'occupations de sol à végétation forestière. En conséquence, le résultat cartographique rétrospectif de l'année 1986 est porté dans la carte suivante.



Carte 23 : Carte révisée, du couvert forestier du Moyen Atlas de la période 1982-1987

Les superficies générées à partir de la carte rétrospective pour l'année 1986, sont consignées dans le tableau ci-après.

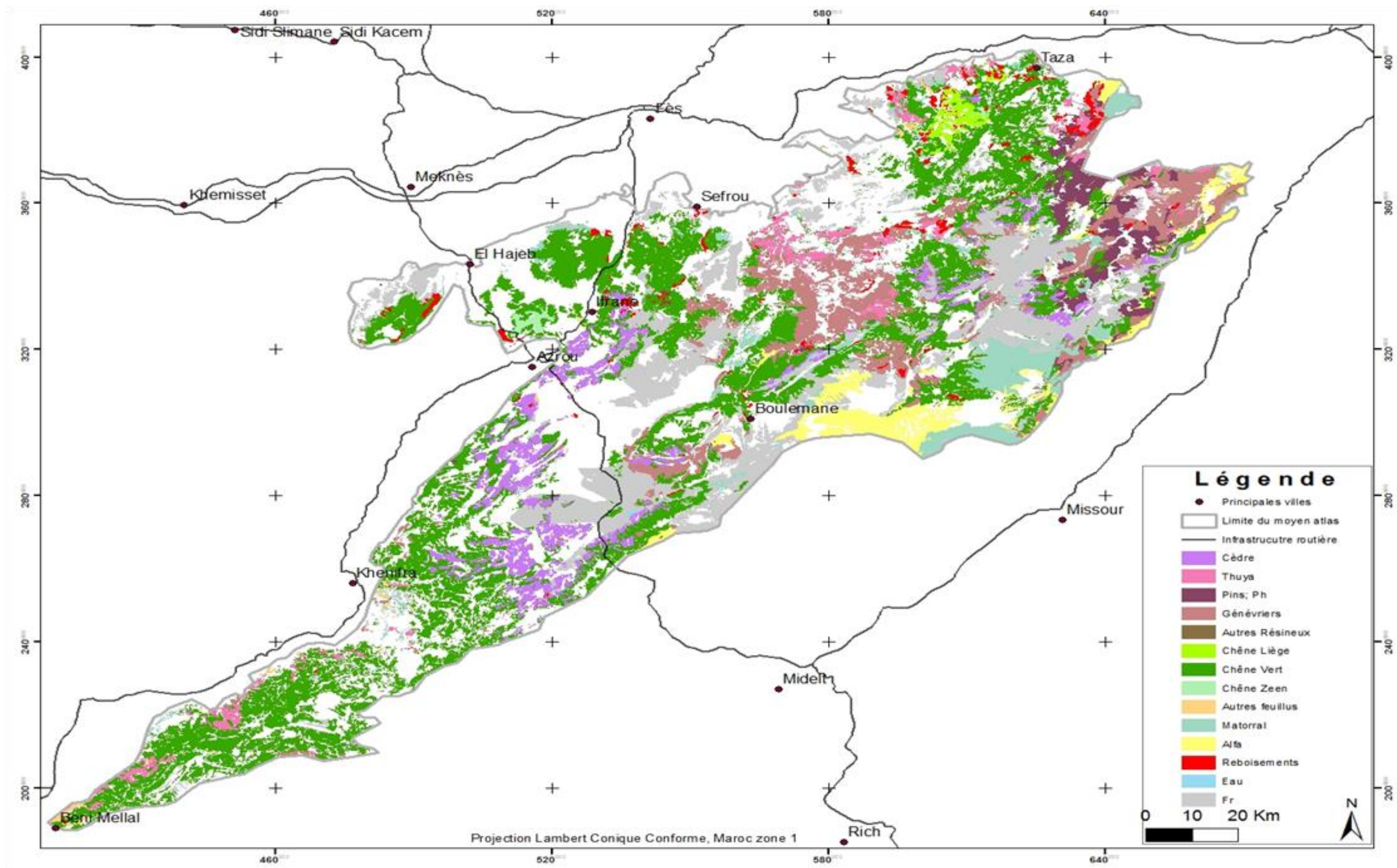
Tableau n° 17 - Occupations du sol du Moyen atlas en 1986

Classe	Superficie (ha)
Alfa	38 308
Autres essences	2 664
Cèdre	100 688
Chêne liège	11 801
Chêne vert	470 690
Chêne zeen	2 950
Genévriers	78 379
Landes	81 001
Pins	35 114
Reboisement feuillu	28
Reboisement résineux	7 265
Thuya	44 677
Eau	1 088
TNB	791 403
Total	1 666 054

La superficie boisée a été estimée à 835 250 ha soit un peu plus de 50% du territoire du Moyen Atlas. Les essences forestières les plus répandues sont le chêne vert (470 690 ha), le cèdre (100688 ha).

3.2.2 Carte rétrospective du couvert forestier en 2010

Une cartographie rétrospective à l'année de référence 2010 a été élaboré par ajustements mutuels entre les cartes produites en 1^{er} et 2nd cycle de l'IFN. La répartition spatiale de l'occupation du sol est présentée dans la carte ci-contre.



Carte 24 : Carte révisée du couvert forestier du Moyen Atlas, de la période 2008-2011

Les superficies des classes d'occupation du sol du Moyen Atlas en 2010 sont portées au tableau suivant :

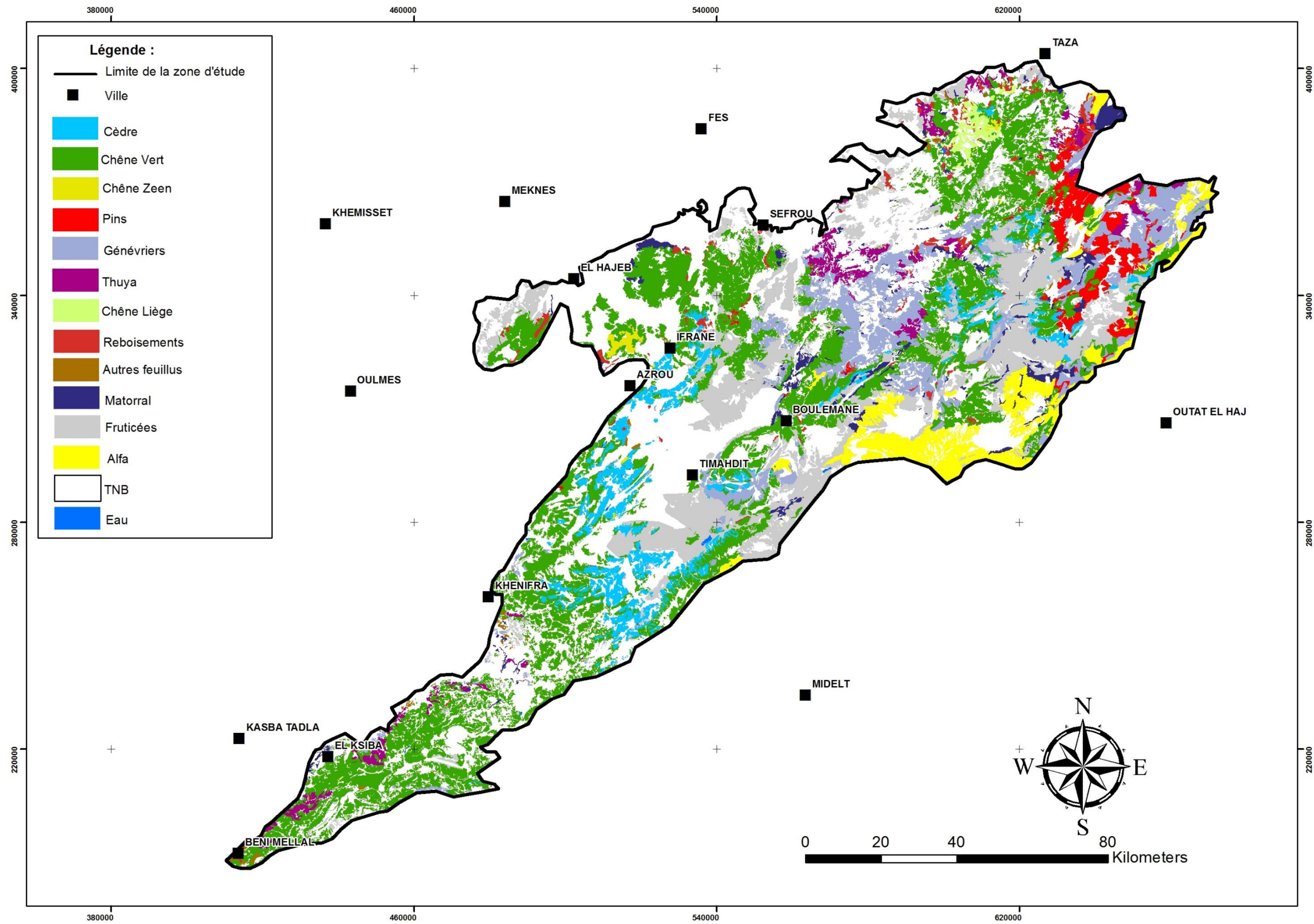
Tableau n° 18 - Occupation du sol du Moyen Atlas en 2010

Classe	Superficie (ha)
Alfa	48 404
Autres essences	5 683
Cèdre de l'Atlas	78 623
Chêne liège	9 673
Chêne vert	444 670
Chêne zeen	4 181
Genévriers	125 208
Landes	62 243
Pins	37 791
Reboisement feuillu	1 019
Reboisement résineux	18 836
Thuya	35 431
Eau	930
TNB	793 361
Total	1 666 054

Le couvert boisé est estimé au Moyen Atlas à 823 360 ha, soit un taux de boisement de 49%. Les principales essences identifiées sont :

- a) Le cèdre de l'atlas est une essence montagnarde par excellence, emblématique au Maroc. Des études antérieures (**Benzyane et al. 2006**) présentent la répartition du cèdre de l'Atlas à trois tranches altitudinales en fonction des critères édapho-géologique et climatique. Il s'agit en l'occurrence de la cédraie basse (1600-1900m) sur calcaire, la cédraie moyenne (1900-2100m) sur dolomie et la cédraie haute (2100-2500m) sur basalte. Au moyen Atlas, cette essence est identifiée sur une surface de 78 600 ha, à une tranche d'altitude variant **i**) de 1500 m notamment au-dessus de la route reliant Azrou à Ain Leuh, proche d'Ain Tioumliline **ii**) à 2600 m dans le versant nord-ouest de jbel Bou naceur. Le cèdre est cantonné dans le Moyen en deux grands blocs :
- Moyen Atlas oriental : le cèdre de l'atlas se localise à Jbel Tazeka ; Meghraoua, Jbel Bou Iblane, jbel Bou naceur, à l'extrême nord du Moyen Atlas ;
 - Le Moyen Atlas central où le cèdre de l'atlas se concentre le plus au Maroc. Il se localise dans les hauts du bassin versants d'oued Srou (du côté des massifs forestiers de Kerrouchen, Senoual, Itzer..), d'oued Oum Er-Rbia (massifs de Tafachna, Ajdir, Sidi Mguild etc..), d'oued Beht (massifs d'Ifrane et d'Azrou, Ain Leuh etc..) d'oued Guigou (massifs d'Ain Noukra, Aghbalou Larbi, Jbel Tichchoukt, etc.).
- b) Les formations à pins, particulièrement le pin d'Alep et le pin maritime, cumulent une superficie de 37 800 ha. Elles sont généralement concentrées dans la partie nord-est du Moyen Atlas oriental notamment dans les vallées entre Jbel Bouiblanc et Jbel Bou naceur où elles peuvent franchir l'altitude de 2000 m. Elles s'étendent dans la zone de Berkine, vers Ich Ouaziz, Meghraoua et Jbel Ouarirt. Toutefois, ces formations se présentent en îlot dans la province d'Ifrane et dans le massif de Guigou.

- c) Les genévriers s'étendent au Moyen Atlas sur des surfaces de 125 200 ha. Les trois essences principales des genévriers (rouge, oxycèdre et thurifère) prises ensemble, se répartissent le long de la zone d'étude. Le genévrier rouge se cantonne essentiellement dans la zone des hautes vallées des affluents d'oued Sebou à savoir Guigou et Zleul, les revers sud de Jbel Bouiblanc et Tafgourt, les zones de Berkine, Ich Ouaziz et Jbel Ouarit. Le genévrier oxycèdre, une essence qui ne constitue pas de peuplement prépondérant. Il est peut correspondre à un stade de dégradation de chêne vert. Cette essence est identifiée comme essence prépondérante sur des étendues très diffuses au Moyen Atlas. Le genévrier thurifère, une essence de haute altitude. Il est identifié dans le Moyen Atlas central au niveau des montagnes qui entourent jbel Habbou et Moyen Atlas oriental notamment jbel Gra, Ich Aghlouel, Erramouz, Oumsfhar, N'tchoumt.
- d) Le chêne vert est l'essence la plus répandue au Moyen Atlas. Elle s'étend quasiment sur l'ensemble du territoire de la zone en cumulant une superficie de 444 700 ha.
- e) Chêne liège est constaté sur une surface de 9700 ha, principalement dans les zones de Taza, Bab Bou Idir et Tahla.
- f) Le chêne zeen est cartographié sur 4 200 ha. Il est présent au Moyen Atlas en deux sites bien individualisés notamment la forêt de Jaaba (El Hajeb) et Bab Bou Idir (Taza). Par ailleurs, il se trouve en forme des taches en mélanges avec le chêne vert dans la zone d'Ifrane, Afennourir (jbel Bou Ikhitene) etc..
- g) Les autres formations boisées se répartissent sur 67 900 ha, formées essentiellement de matorral et d'autres essences feuillues (le caroubier, l'oléastre, la filaire, l'arbousier).
- h) L'alfa s'étale au Moyen Atlas sur 48 400 ha et se localise particulièrement dans les revers Est et sud-est du Jbel Bou naceur, la zone de Berkine, et entre Missouri et Boulemane (Jbel Tafgourt, jbel Habbou), au sud.



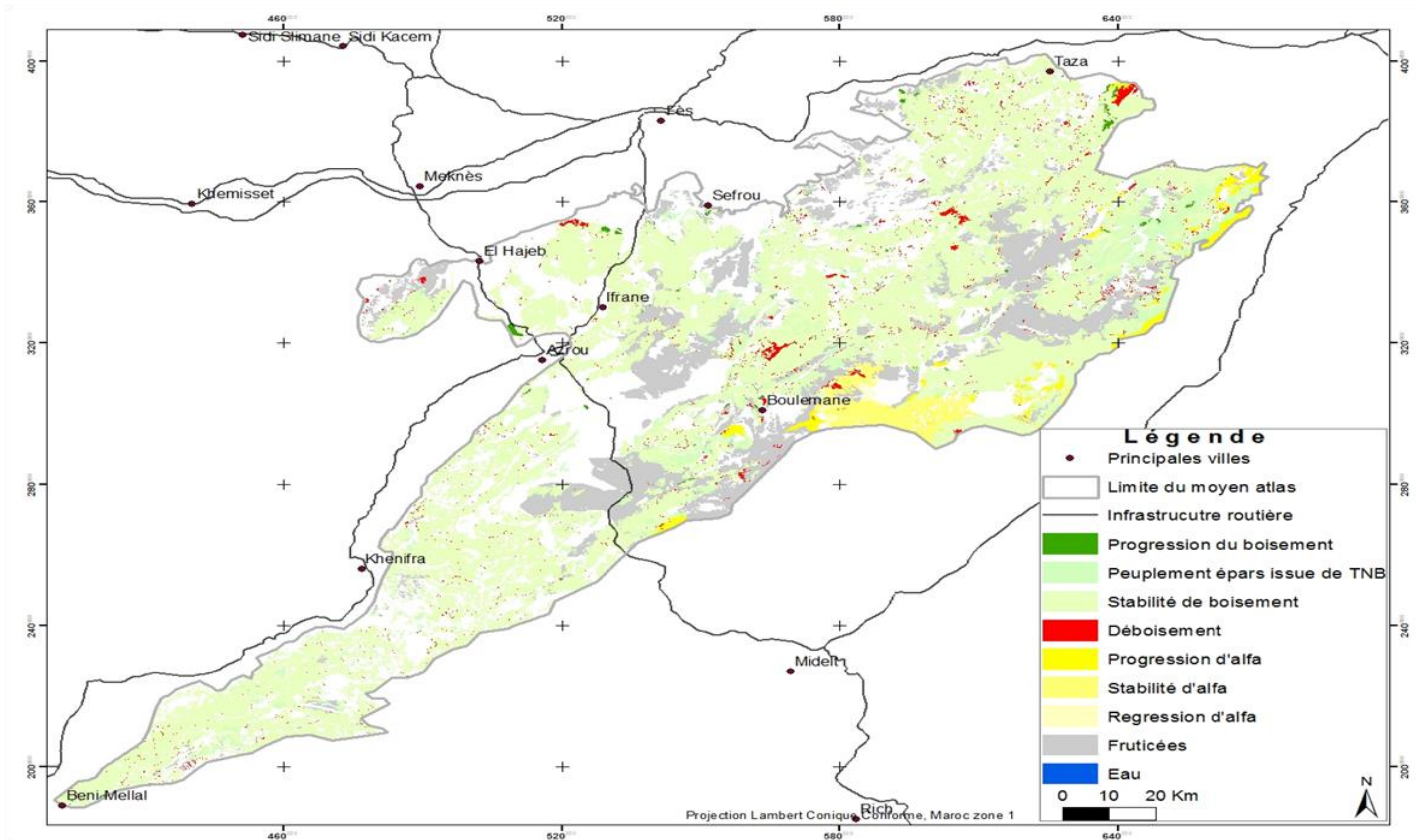
Carte 25 : Carte forestière globale actuelle du Moyen Atlas

3.2.3 Carte d'évolution forestière entre 1986-2010

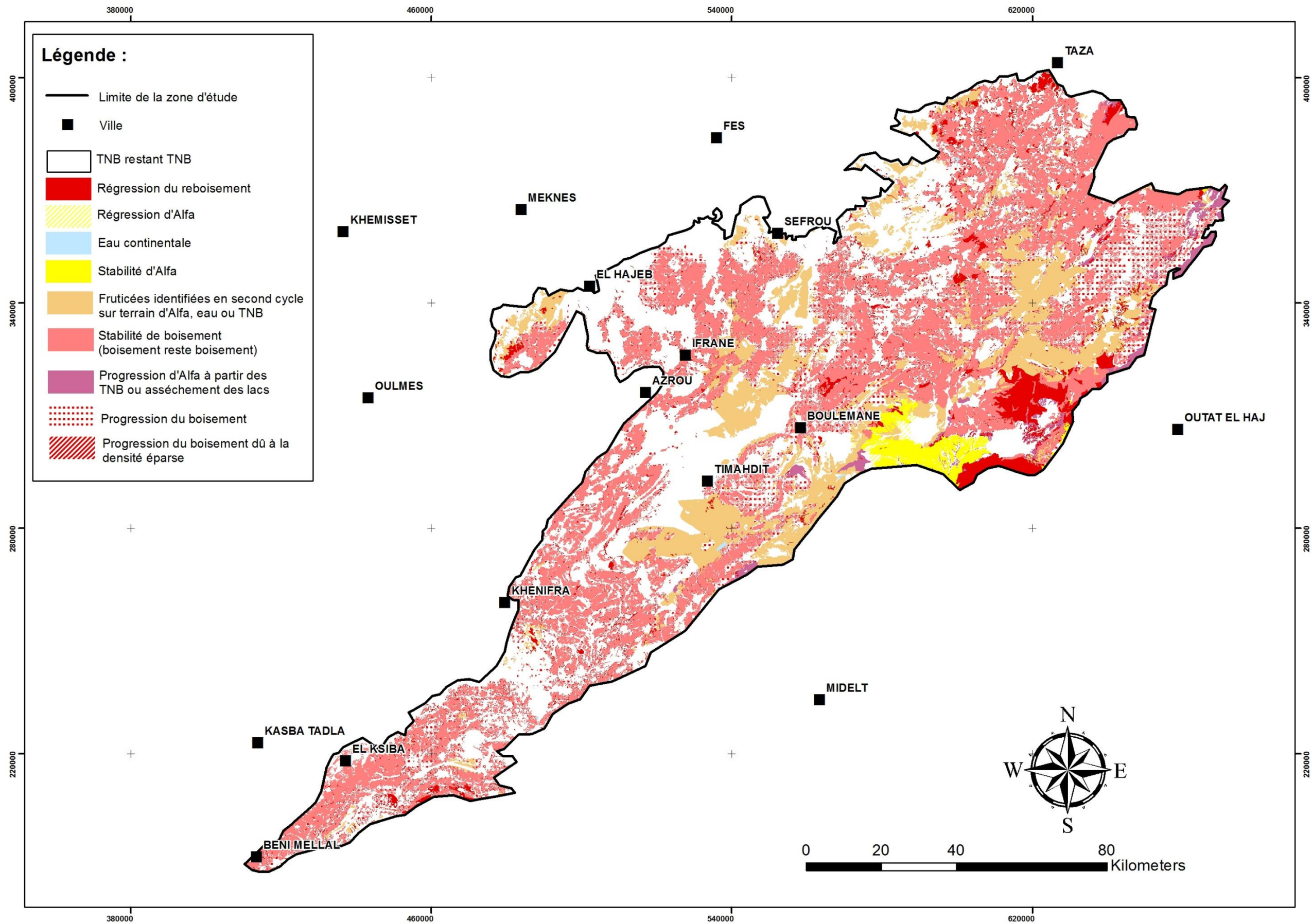
La carte d'évolution forestière est le résultat de la superposition des deux cartes forestières révisées de 1986 et 2010.

La carte ci-contre reporte la répartition spatiale des changements d'occupations.

Il est observé que la déforestation (régression du boisement) est diffuse sur l'ensemble du territoire. Elle se manifeste généralement en bordure des peuplements forestiers et particulièrement dans les zones à grande concentration des habitants.



Carte 26 : Carte d'évolution forestière du Moyen Atlas (1986-2010)



3.2.4 Analyse de l'évolution forestière

3.2.4.1 Synthèse de la matrice de confusion globale d'évolution forestière

Les résultats de synchronisation des cartes forestières diachroniques du Moyen Atlas sont portés sommairement dans la matrice de confusion globale ci-après.

Tableau n° 19 - Synthèse de la matrice de confusion globale du couvert forestier 1986-2010

		Occupation de sol 1986				Pourcentage
		Forêt	Alfa	TNB	Total	
Occupation de sol 2010	Forêt	816 356	0	7 003	823 359	49,42%
	Alfa	2 819	24 512	21 073	48 404	2,91%
	TNB	16 080	13 796	764 414	570 837	47,67%
	Total	835 255	38 308	792 490	1 666 053	100%
	Pourcentage	50.13%	2.30%	47.57%	100%	

Vraisemblablement, la superficie du couvert boisé (forêt) a été réduite sur 11896 ha, soit 0,71% du territoire du Moyen Atlas en passant d'un taux de couvert de 50,13% à 49,42%. Cette classe forestière est restée stable sur 816356 ha correspondant à 98% de la surface boisée durant les années 1980. *En conséquence, la surface déboisée entre 1986 et 2010 est estimée à 2% de la surface boisée de référence (1986).*

En opposition, la classe à terrain non boisé (y compris les fruticées) a gagné une superficie de 1000 ha en passant de 791 490 ha à 792 490 ha. Il s'agit de la superficie résultante de la perte du couvert forestier durant les deux périodes de la cartographie.

En outre, la classe des formations à alfa a été maintenue sur une surface de 24 512 ha, soit 64% de sa superficie en 1986. Le bilan de la superficie d'alfa durant la période considérée est arrêté à un gain avoisinant 10 100 ha dont environ 2800 ha proviennent de la dégradation forestière. Puisque l'alfa ne fait pas l'objet d'inventions de reconstitution dans la zone d'étude. Cette progression peut être rétribuée à des oublis lors du 1er cycle de la cartographie ou à un regain d'alfa dans des espaces délaissés les éleveurs nomades.

3.2.4.2 Détail de la matrice de confusion globale d'évolution forestière par essence

L'analyse avancée de l'évolution du couvert peut être rapprochée à l'échelle de la matrice de confusion détaillée, portée au tableau suivant.

Tableau n° 20 - Matrice de confusion détaillée d'évolution de l'occupation du sol

		Occupation du sol en 1986 (ha)														Total
		Alfa	Autres essences	Cèdre	Chêne liège	Chêne vert	Chêne zeen	Genévriers	Landes	Pins	Rb. Feuillus	Rb. Résineux	Thuya	Eau	TNB	
Occupation du sol en 2010 (ha)	Alfa	24 512	9	8	0	558	0	195	1 989	61	0	0	0	0	21 073	48 404
	Autres essences	0	1 510	26	1	1 730	0	0	976	0	0	9	56	0	1 376	5 683
	Cèdre	0	6	70 700	61	5 506	350	170	3	1 381	3	371	71	0	0	78 623
	Chêne liège	0	0	0	7 678	1 462	263	0	0	0	0	269	0	0	0	9 673
	Chêne vert	0	401	25 263	3 051	385 190	716	4 776	12 831	4 452	0	976	7 015	0	0	444 670
	Chêne zeen	0	280	0	92	2 193	1 617	0	0	0	0	0	0	0	0	4 181
	Genévriers	0	30	3 071	0	28 079	0	63 385	6 700	638	0	35	23 270	0	0	125 208
	Landes	0	24	194	92	7 060	0	2 583	51 863	35	3	31	357	0	0	62 243
	Pins	0	10	102	0	4 755	0	4 342	874	27 381	0	67	259	0	0	37 791
	Reboisement Feuillus	0	0	0	4	184	0	2	84	0	6	2	0	0	737	1 019
	Reboisement Résineux	0	40	88	527	6 413	4	245	877	540	15	4 978	219	0	4 890	18 836
	Thuya	0	88	240	62	18 974	0	1 735	1 591	54	0	142	12 545	0	0	35 431
	Fruticées	7 797	8	265	5	1 574	0	92	1 556	174	0	73	124	4	211 782	223 453
	Eau	0	0	7	9	39	0	0	0	0	0	8	0	430	436	930
	TNB	5 999	258	725	219	6 972	0	855	1 656	398	0	302	760	654	551 109	569 908
Total	38 308	2 664	100 688	11 801	470 690	2 950	78 379	81 001	35 114	28	7 265	44 677	1 088	791 403	1 666 053	

a) Test de concordance des photo-interprétations

Avant de se lancer dans les analyses des changements des affectations des classes de stratification, nous avons procédé à un test de Kappa de Cohen (**Cohen 1960 in Kliem 2008**) pour mesurer le degré des accords des photo-interprétations de la composition forestière du 1^{er} et 2nd cycle de l'IFN.

Le coefficient Kappa s'exprime ainsi :

$$\kappa = \frac{\bar{P} - \bar{P}_e}{1 - \bar{P}_e}$$

\bar{P} : Accord relatif entre photo-interprètes

\bar{P}_e : Probabilité d'un accord aléatoire

$1 - \bar{P}_e$: Degré de concordance qui est réalisable au-delà du hasard

$\bar{P} - \bar{P}_e$: Degré de concordance réellement atteint au-dessus du hasard

Les caractéristiques du test sont portées au tableau suivant :

Tableau n° 21 - Caractéristique du test de Kappa

Paramètre	Désignation	Evaluation
\bar{P}	L'accord relatifs entres les photo-interprètes	0.8491
\bar{P}_e	Facteur de correction ou probabilité d'accord	0.3116
κ	Kappa	0.7808
ET	Erreur type de Kappa	0.0004
IC	Intervalle de confiance	0.7800-0.7817

Nous concluons que les accords entre les deux photo-interprètes sont qualifiés **d'accord fort** voire même **accord presque parfait** selon **Landis et Al. 1977**.

b) Analyse d'évolution

A l'échelle du Moyen Atlas, la perte d'environ 11 900 ha déclarés auparavant est la résultante :

- d'un déboisement sur des surfaces cumulant 18 900 ha (régression) ;
- d'une progression du boisement sur une superficie cumulée de 7000 ha.

Les principales essences concernées par la régression se récapitulent comme décrit ci-après. Toutefois, nous avons écarté l'alfa de cette analyse du fait qu'il s'agit d'une graminée et dont la régression et/ou la progression de cette essence n'est facilement perceptible par télédétection, avec une interprétation de grande surface.

Le chêne vert est l'essence forestière la plus touchée par la régression avec un déboisement de plus de 9.000 ha dont 560 ha sont transformés en alfa, et le reste en TNB ou fruticées.

La classe à cèdre a perdu 1000 en faveur du TNB et fruticées. Il en est de même pour les genévriers. La classe matorral/landes a perdu une surface de 3200 ha. Le thuya et les pins se sont dégradés sur des étendues qui cumulent respectivement 900 ha et 600 ha.

En matière de progression forestière, l'effort de l'administration chargée des forêts s'est manifesté par une extension du boisement suite aux opérations de plantation artificielle, et ce sur une superficie de plus 5600 ha dont les reboisements feuillus ne représentent que 700 ha. Le reste d'avancement des formations boisées est rétribué au matorral et à la classe d'autres essences à base de feuillus dont la reprise par rejet de souche, si elle existe, s'observe dans des zones délaissées par la population avoisinante.

En outre, l'analyse des variations des superficies des classes de formations forestières est indiquée par la figure suivante.

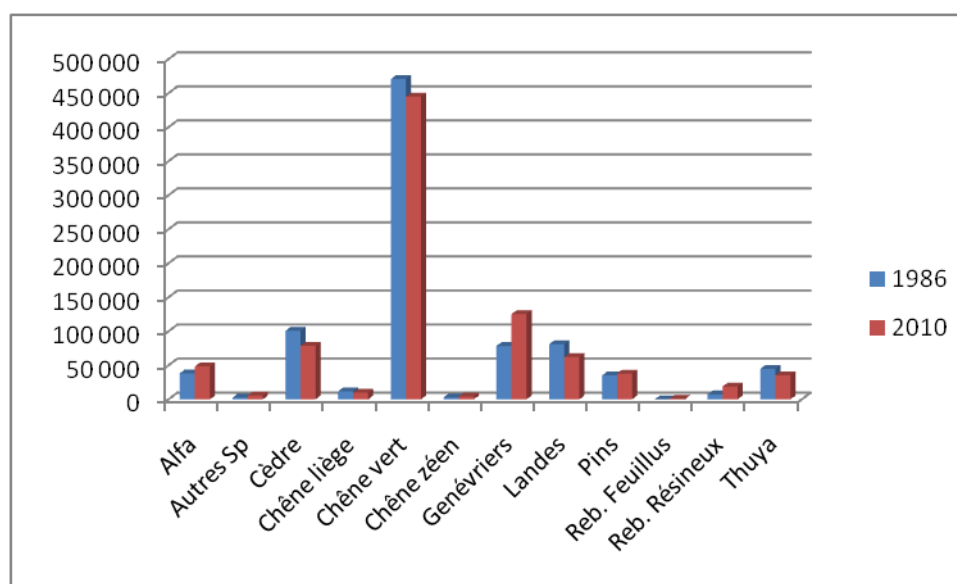


Figure 17: Flux entre formations forestières (ha)

Il découle du graphe ci-dessus que les formations forestières principales ont subi une réduction de surface à des degrés variables selon les essences, notamment le cèdre, le chêne liège, le chêne vert, les landes, et le thuya. En revanche, l'alfa, les pins, les genévriers et les reboisements ont enregistré un bilan positif quant à leurs superficies entre les deux dates de référence. Cette variation de superficie est enregistrée par un gain/perte envers les formations non forestières ou par un flux de changement de composition. Quoique, il n'est pas évident de se prononcer à propos des flux des changements des compositions forestières sans risque d'erreur considérable.

Toutefois, certains passages peuvent être expliqués par la logique de la dynamique de la végétation et dont l'erreur de photo-interprétation nous semble, très réduite. Il s'agit particulièrement de i) la transformation du cèdre en chêne vert sur des surfaces cumulant plus de 25 600 ha, ii) la transformation du chêne vert en genévriers (plus de 28 000 ha) et en thuya (19000 ha) et iii) les reboisements opérés durant la période d'analyse sont réalisés sur des terrains déjà boisés avec une proportion de 65% (9000 ha) contre 35% sur des terrain sans végétation (5000 ha).

3.3 : Climat et bioclimat dans le Moyen Atlas

3.3.1 Saison estivale sèche selon Gausсен (P-2T) et taux de saturation hydrique du sol

La figure ci-dessous montre que le paramètre $P \leq 2T$ semble surestimer la période sèche en été. En effet, durant le mois de mai P-2T est négative au niveau des stations de Béni Mellal, Takbalt, Tizi N Isly, Immouzer Marmoucha, Skoura poste et la station de Marghraoua alors que le taux de saturation des sols au niveau de ces stations varie entre 72% et 78%. Le mois de juin serait sec selon Gausсен dans toutes les stations (à l'exception de Dayet Hachlaf et Skoura poste) alors que le taux de saturation hydrique dans le Moyen Atlas central oscille entre 45% à Ouaoumana et 86% à Ifrane.

Dans le Moyen Atlas de Béni Mellal, les stations d'El Ksiba, Koumch et El Kbab présentent un taux de saturation de 47% à 52% (Aghbala 35%).

Dans le Moyen Atlas oriental, les stations de Berkine, Skoura poste, Bab Marzouka, Tahla, Boulemane et Ribat El Kheir affichent une saturation du sol de 41% à 64%. Durant le mois de juillet, les stations d'Ain Kahla et Ifrane ont une saturation de 42 et 45% contre 35% à Tafecna alors que le paramètre de Gausсен caractérise le mois de juillet comme sec dans toutes les stations. En Aout, les grandeurs P-2T sont fortement négatives dans toutes les régions ce qui correspond à des taux de saturation du sol inférieurs ou égaux à 10% sauf au niveau des stations de Skoura poste (22%), Ain Kahla (19%) et Tiguelmamine (15%).

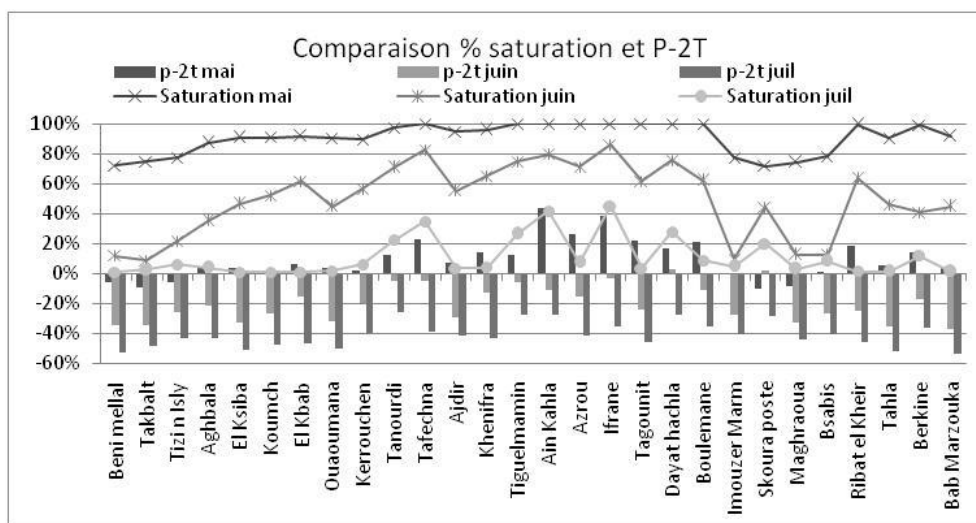


Figure 18: Réserve hydrique (% saturation sol) et grandeur (P-2T) pour Mai, juin et Juillet

Durant le mois de septembre, le paramètre de Gausсен (P-2t) est négatif dans toutes les stations sauf à Tiguelmamine et Dayet Hachlaf dont le taux de saturation est respectivement de 30% et 24%. On constate que des stations qui présentent une saturation supérieure à celle de dayet Hachlaf (24%) se retrouvent avec des valeurs négatives de P-2T.

Il s'agit des stations de Berkine, Bsabis et Boulemane, Meghraoua du Moyen Atlas oriental dont les taux de saturations sont de 36%, 30% et 29%.

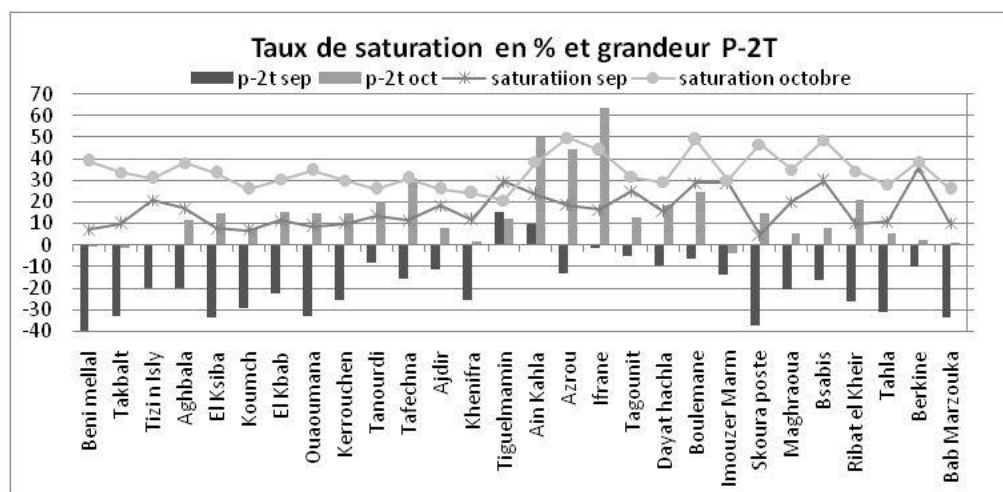


Figure 19: Réserve hydrique (% saturation sol) et grandeur (P-2T) pour Septembre et Octobre

Pour le mois d'octobre, toutes les stations affichent une grandeur positive de P-2T sauf au niveau de Takbalt et Immouzer Marmoucha dont les saturations sont respectivement de 34% et 30%.

De nombreuses stations qui présentent des taux de saturation inférieurs à 30% ont une pluviométrie mensuelle supérieure à deux fois la température moyenne mensuelle. Il s'agit de Tiguelmamine (21%), Khénifra (24%), Koumch, Tanourdi, Ajdir et Bab Marzouka (26%), Tahla (28%) et Dayet Hachlaf (29%).

Compte tenu de la grande adaptabilité des espèces forestières dans la rive sud de la Méditerranée, la comparaison entre la saison sèche selon le critère de Gaussen ($P \leq 2T$) et le bilan hydrique, il nous semble que le seuil critique d'installation du stress hydrique (réserve hydrique de survie) doit être ramené à une valeur inférieure à 40%.

3.3.2 Durée et période d'occurrence de la saison de végétation dans le Moyen Atlas

Les durées de la saison de croissance calculées à partir des données d'altitude et de latitude au niveau des stations étudiées varient entre 191 jours à Tiguelmamine et 292 jours à Béni Mellal avec une moyenne de 240 jours toutes stations confondues. Cette durée devra être diminuée de la durée de la saison sèche estivale.

La durée de la saison sèche, selon le critère de Gaussen, varie entre 92 jours à Tiguelmamine, Ain Kahla et Dayet Hachlaf et 184 jours au niveau de Takbalt et Immouzer Marmoucha. Cette saison est de 153 jours au niveau de Tizi n Isly et Maghraoua. Pour le reste des stations la durée calculée est de 122 à 123 jours.

En fixant le seuil d'installation du stress hydrique chez les arbres à la hauteur de 40% comme réserve utile de survie, la durée de la saison avec limitation hydrique varie entre 61 jours à Ain Kahla et Ifrane, 92 jours à Azrou, Boulemane et Skoura poste.

La durée maximale calculée est de 153 jours pour les stations de Béni Mellal, Takbalt, Tizi n Isly et Aghbala dans le Moyen Atlas de Béni Mellal et Immouzer Marmoucha et Maghraoua dans le Moyen Atlas oriental. Pour les autres stations, la durée de la saison sèche estivale varie entre 122 et 123 jours.

Si on fixe le seuil d'installation du stress hydrique au seuil de 20% de la Réserve Utile Maximale, la durée de la saison sèche estivale est inférieure ou égale à un mois au niveau d'Ain Kahla. Elle est d'un mois à Tiguelmamine et Skoura poste, de deux mois à Tizi n Isly, Tanourdi, Tafechna, Ifrane, Tagounit, Dayet Hachlaf, Boulemane et Berkine. Dans les autres stations la saison sèche s'étale sur trois mois sauf à Béni Mellal et Takbalt où elle est de 4 mois.

La figure ci-dessous donne la durée de la saison de croissance obtenue en fonction de l'altitude et de la latitude après défalcation de la durée de la saison sèche selon Gaussen et la durée de la saison avec stress hydrique en fonction de la réserve hydrique de sol en considérant deux seuils pour la réserve utile de survie 40% et 20% de la Réserve Utile Maximale. On constate que :

18 stations sur les 28 étudiées présentent les mêmes durées de la période de végétation selon Gaussen et le seuil critique de la RUS à 40% de la RUM. Au niveau du Moyen Atlas central, les stations d'Ain Kahla, Azrou et Ifrane présentent une saison de croissance plus longue d'environ un mois en considérant le bilan hydrique. Il en est de même au niveau des stations de Boulemane, Immouzer Marmoucha et Skoura poste du Moyen Atlas oriental et la station de Takbalt du Moyen Atlas de Béni Mellal. Au niveau d'Aghbala et Tiguelmamine, située respectivement à 1800 et 2100m d'altitude et avec des expositions intermédiaires (sud-ouest) à chaude (sud-est), le paramètre $P \leq 2T$ allonge la saison de croissance d'un mois par rapport au seuil de la RUS à 40%.

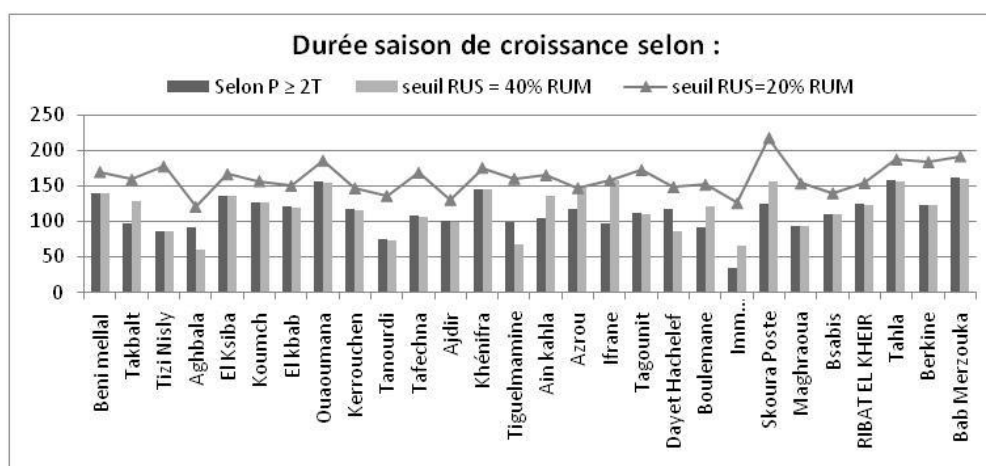


Figure 20: Durée de la saison de croissance selon Gaussen et le bilan hydrique

Avec : **P** = précipitation mensuelle
T = température moyenne mensuelle
RUS = réserve utile de survie

En combinant, les données de la température moyenne mensuelle ($T \geq 10^\circ\text{C}$), la pluviométrie mensuelle, nous avons calculé la durée de la période de végétation au niveau de chaque station selon le déficit hydrique estival et le paramètre de Gaussen ($P \leq 2T$) Tableau ci-après. On note deux sous saisons de croissance, une principale en printemps et une secondaire en automne.

La principale différence entre la méthode ($P \leq 2T$) et celle basée sur la réserve utile de survie est que cette dernière étale la saison printanière au mois de mai voire juin ou juillet et réduit la saison automnale du mois d'octobre pour nombreuses stations et même de septembre ou de novembre pour quelques stations.

Tableau n° 22 - Durée de la saison de croissance et sa période d'occurrence

Station	Selon période sèche = $P \geq 2T$			Période sèche = $RUS \leq 0.4 RUM$		
	Durée jours	Période d'occurrence		Durée jours	Période d'occurrence	
		Printemps	Automne		Printemps	Automne
Beni Mellal	139	Fv + Ms + Av	Nov + Dec	139	Fv+Ms+Av + Mai	Nov+ Dec
Takbalt	97	Fv + Ms + Av	Novembre	128	Fv+Ms+Av + Mai	Novembre
Tizi Nisly	87	Ms + Av	Nov + Dec	87	Ms+Av + Mai	Nov+Dec
Aghbala	91	Av + Mai	Octobre	60	Avril+Mai	
El Ksiba	137	Ms + Av + Mai	Oct+Nov	136	Ms+Av+Mai + Juin	Novembre
Koumch	127	Ms + Av + Mai	Oct+Nov	126	Ms+Av+Mai + Juin	Novembre
El kbab	120	Av + Mai	Oct+Nov	119	Av+Mai + Juin	Novembre
Ouaoumana	156	Fv + Ms + Avril	Oct+Nov+Dec	155	Fv+Ms+Av+ Mai+Juin	Nov+ Déc
Kerrouchen	117	Ms + Av + Mai	Oct+Nov	116	Ms+Av+Mai + Juin	Novembre
Tanourdi	75	Mai	Oct+Nov	74	Mai + Juin	Novembre
Tafechna	108	Ms + Av + Mai	Oct+Nov	107	Ms+Av+Mai + Juin	Novembre
Ajdir	101	Ms + Av + Mai	Oct+ Nov	100	Ms+Av+Mai + Juin	Novembre
Khénifra	146	Ms + Av + Mai	Nov + Dec	145	Ms+Av+Mai + Juin	Décembre
Tiguemamine	99	Mai + juin	Sep-octobre	68	Mai + juin	
Ain kahla	104	Mai + juin	Sep-octobre	135	Mai+juin + Juillet	Oct+ Nov
Azrou	117	Av + Mai	Oct + Nov	147	Av+Mai + Juin	Oct+ Nov
Ifrane	97	Av + Mai	Sep-octobre	128	Av+mai+ Juin+Juil	Octobre
Tagounit	112	Ms + Av + Mai	Oct + Nov	111	Ms+Av+Mai + Juin	Novembre
Dayet Hachelef	118	Av + Mai	Sep + Oct	87	Av+Mai + Juin	
Boulemane	92	Av + Mai	Octobre	122	Av+Mai + Juin	Octobre
Im. Marmoucha	34	Avril	Octobre	65	Avril + Mai	
Skoura Poste	125	Mars + Avril	Nov + Dec	156	Mars + Avril + Mai	Nov + Dec
Maghraoua	93	Mars + Avril	Oct + Nov	93	Mars + Avril + Mai	Novembre
Bsabis	110	Mars + Avril	Oct + Nov	110	Mars + Avril + Mai	Oct + Nov
Ribat el Khéir	124	Ms + Av + Mai	Oct + Nov	123	Ms+Av+Mai + Juin	Novembre
Tahla	157	Fv + Ms + Av	Nov + Dec	156	Fv+Ms+Av+ Mai+Juin	Nov + Dec
Berkine	124	Avril + Mai	Nov + Dec	123	Avril+mai + Juin	Nov + Dec
Bab Merzouka	162	Fv+Ms+Av+Ma	Nov + Dec	161	Fv+Ms+Av+Mai+ Juin	Décembre

Avec : Fv=Février, Ms=Mars, Av=Avril, Juil=Juillet, Sep=Septembre, Oct=Octobre, Nov=Novembre, Dec=Décembre

3.3.3 Caractérisation climatique et indices climatiques

3.3.3.1 Indice d'aridité de De Martone

La détermination de cet indice au niveau des stations étudiées montre que Béni Mellal, Takbalt et Tizi n Isly dans le Moyen Atlas de Béni Mellal sont dans une région semi-aride tout comme la majorité des stations du Moyen Atlas oriental à l'exception de Boulemane ($I = 21$). Dans le Moyen Atlas central, les stations de Ain Kahla ($I=42$), Ifrane (40), Tafechna (38), Azrou (32), Dayet Hachlaf (31) et à la limite Ajdir ($I=30$) sont dans une région humide. Le reste des stations du Moyen Atlas central relèvent d'une région subhumide tout comme El Kbab (26), El Ksiba (25), Aghbala et Koumch avec un indice d'une valeur de 21.

3.3.3.2 Indices de continentalité

3.3.3.2.1 Indice d'Angot

La continentalité pluviale estimée par l'**indice C d'Angot** (rapport entre précipitations des 6 mois les plus chauds et les 6 mois les plus froids) est accentuée au niveau des stations d'Ajdir, El Ksiba, Koumch, Takbalt et Bab Marzouka. La pluviométrie en hiver dans ces stations représente entre 42% (Koumch) et 51% à Ajdir de la pluviométrie annuelle et le coefficient d'Angot hivernal oscille entre 2,07 et 1,70. Les stations où la continentalité hydrique est atténuée sont celles dont le régime pluviométrique est (Printemps-hiver-Automne-Eté). Il s'agit des stations de Berkine, Boulemane, Skoura poste et Bsabis qui relèvent du Moyen Atlas oriental. Les stations de Tiguelmamine, Ain Kahla, Tagounit, Ifrane, Azrou et Dayet Hachlaf se positionnent juste avant les stations du Moyen Atlas oriental avec un **indice C** qui oscillent entre 0,47 à Tiguelmamine et 0,33 à Dayet Hachlaf. La continentalité atténuée à modérée au niveau de ces stations s'expliquerait par une plus grande homogénéité dans la répartition de la pluviométrie saisonnière (l'hiver ne représente que 35 à 37% de la pluviométrie annuelle).

L'étude de la corrélation entre l'indice d'Angot et les paramètres de position géographique donne des valeurs relativement faibles (-0.55 pour la longitude et 0.4 pour la latitude et l'altitude). Cette corrélation est quasi nulle entre l'indice de continentalité hydrique et le quotient pluviothermique d'Emberger tout comme avec l'indice de sécheresse de De Martone. Cette corrélation est de 0.31 et -0.32 respectivement avec l'angle de Gams et la continentalité thermique de Gorczinski.

3.3.3.2.2 Indice de Gorczinski (K')

Un climat est continental (ou semi-continental) lorsque **K'** supérieur à 25. La grandeur de **K'** oscille au niveau des stations étudiées entre les valeurs de 43 à Tafelna et 65 à Kerrouchen.

La continentalité thermique est plus atténuée au niveau des stations de Tafelna, Ain Kahla, Ifrane, Tagounit, Azrou et Ajdir. Ces stations sont les plus arrosées. Immouzer Marmoucha située à 1600 m d'altitude tout comme Ajdir, présente le même degré de continentalité que cette dernière soit (49).

Boulemane située à 1860 m d'altitude et relevant du Moyen Atlas oriental, affiche la même valeur de l'indice de Gorczinski soit 51 que la station de Tiguelmamine située à 2100 m d'altitude dans le Moyen Atlas central. La station de Kerrouchen affiche la plus grande continentalité thermique (65), bien qu'elle ait une exposition fraîche, elle se situe sur le flanc Est du Moyen Atlas ce qui la met sous l'influence du domaine aride oriental. Les stations du Moyen Atlas de Béni Mellal, se situent juste avant Kerrouchen en termes de continentalité, ont des valeurs de l'indice de continentalité qui oscillent entre 58 à Aghbala et 63 à Béni Mellal.

La continentalité thermique à Khénifra est de 54 tout comme Tahla 54, alors que Tanourdi, Dayet Hachlaf, Ribat el Khéir et Maghraoua présentent la même valeur de 54 et se positionnent avant Bsabis et Skoura poste (56) et Bab Marzouka (57). La station de Berkine se positionne juste après Tiguelmamine avec une valeur de 52.

La continentalité modérée des stations du Moyen Atlas oriental par rapport à celles du Moyen Atlas de Béni Mellal s'expliquerait par leur relative proximité de la mer méditerranéenne et par leur ouverture sur la vallée de la Moulouya.

Cette situation leur confère le statut de stations à climat proprement méditerranéen ce qui s'exprime par la présence de certaines espèces exclusivement méditerranéennes tel le pin d'Alep.

Des altitudes élevées et des expositions fraîches (Nord-Ouest) ou intermédiaires (Sud-Ouest et Nord-Est) soumettent nombreuses stations du Moyen Atlas central aux influences océaniques et leur permet de bénéficier des perturbations associées au front polaire qui arrivent par l'Ouest et le Nord-ouest ce qui explique l'abondance des précipitations et le relatif faible contraste thermique au niveau de ces stations.

3.3.3.2.3 Indice de Gams

Les stations étudiées au niveau du Moyen Atlas représentées dans la figure ci-dessous se répartissent entre le domaine intermédiaire (Tafechna, Ain Kahla, Ifrane et Azrou) et le domaine interne atténué ($50^\circ < \alpha < 60^\circ$) et interne moyen ($60^\circ < \alpha < 70^\circ$).

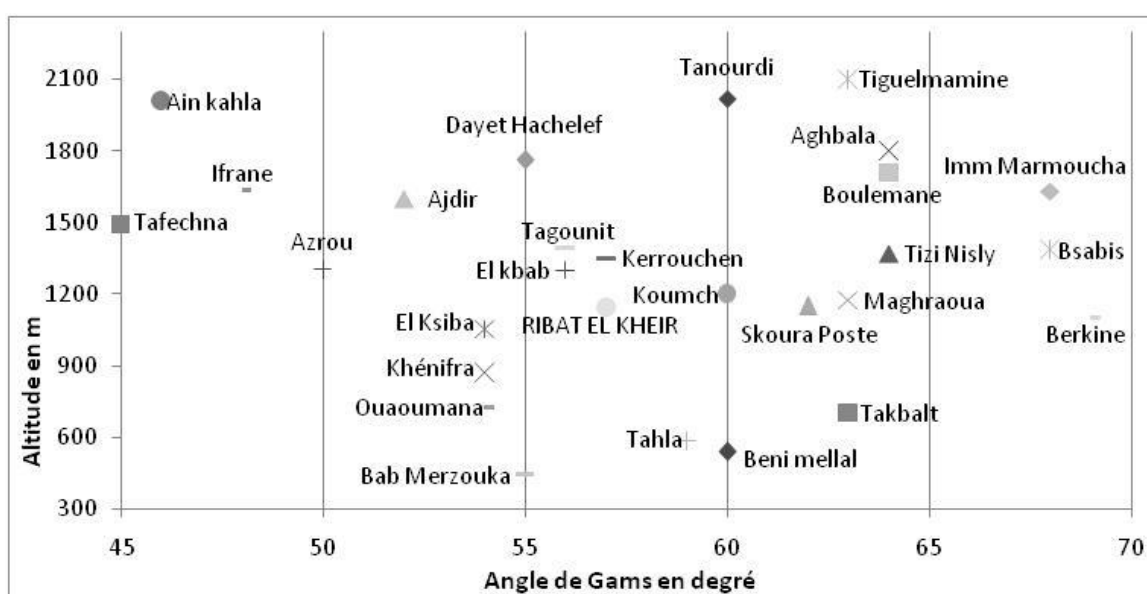


Figure 21: Aridité altitudinale selon l'angle de Gams.

Avec : 40 à 50 = domaine intermédiaire ; 50 à 60 = domaine interne atténué et 60 à 70 = domaine interne moyen.

Les stations du Moyen Atlas oriental situées sur le flanc du Moyen Atlas relèvent du domaine interne moyen, alors que celles situées sur le flanc occidental de la chaîne se positionnent dans le domaine interne atténué (Bab Merzouka, Ribat el Khéir et Tahla). La même observation est valable au niveau du **Moyen Atlas de Béni Mellal**. Au niveau du **Moyen Atlas central**, toutes les stations se répartissent entre le domaine intermédiaire et le domaine interne atténué sauf la station de Tiguelmamine qui relève du domaine interne moyen. Cette station est sise sur la rive orientale de la chaîne tout comme les stations de Tanourdi ($\alpha=60^\circ$) et Kerrouchen (57). Le passage de la zone intermédiaire à la zone interne moyen s'effectue dans le Moyen Atlas au niveau de l'axe de la chaîne. L'examen des répartitions mensuelles de pluies permet de constater un net affaiblissement des précipitations hivernales depuis le domaine intermédiaire jusqu'aux domaines internes.

La répartition des principales espèces forestières et ligneuses, selon leur degré de continentalité, dans les domaines intermédiaires et internes du Moyen Atlas adaptée d'après **Michalet (1991)** est donnée dans le tableau ci-après.

Tableau n° 23 - Répartition d'espèces forestières et ligneuses dans les domaines intermédiaires et internes adaptée au Moyen Atlas d'après Michalet (1991)

Espèces	Domaine intermédiaire	Domaine interne atténué	Domaine interne moyen
Océaniques des bioclimats humides	<i>Cedrus atlantica</i> <i>Ceratonia siliqua</i> <i>Quercus pyrenaica</i> * <i>Quercus canariensis</i> * <i>Quercus coccifera</i> *		
Semi-océaniques et semi-continentales	<i>Tetraclinis articulata</i> <i>Juniperus oxycedrus</i> <i>Pinus halepensis</i> <i>Pinus pinaster</i>	<i>Juniperus oxycedrus</i> <i>Pinus halepensis</i>	
Continental	<i>Juniperus thurifera</i> <i>Juniperus phoenicea</i> <i>Fraxinus dimorpha</i> <i>Buxus balearica</i>	<i>Juniperus thurifera</i> <i>Juniperus phoenicea</i> <i>Fraxinus dimorpha</i> <i>Buxus balearica</i>	<i>Juniperus thurifera</i> <i>Juniperus phoenicea</i> <i>Fraxinus dimorpha</i> <i>Buxus balearica</i>
Ubiquistes	<i>Quercus rotunfidolia</i> <i>Olea europaea</i> <i>Chamaerops humilis</i>	<i>Quercus rotunfidolia</i> <i>Olea europaea</i> <i>Chamaerops humilis</i>	<i>Quercus rotunfidolia</i> * <i>Olea europaea</i> *

*La présence est liée aux conditions locales de la station

3.3.3.3 Indice bioclimatique d'Emberger

Le calcul du quotient pluvio-thermique **Q2** et la projection des stations dans le climagramme d'Emberger figure ci-contre montre que : les stations du **Moyen Atlas oriental** se localisent sans l'étage bioclimatique semi-aride à l'exception de Boulemane et Ribat el Khéir qui se situent dans la partie inférieure du subhumide. Il en est de même pour les stations de Takbalt, Béni Mellal, Koumch et Tizi n Isly. Les stations d'Aghbala et El Ksiba se localisent dans la frange inférieure du subhumide. La station d'El Kbab qui se situe à la limite du **Moyen Atlas de Béni Mellal** et le **Moyen Atlas central** relève du subhumide. Le bioclimat subhumide est dominant dans le **Moyen Atlas central** à l'exception d'Ain Kahla, Ifrane et à la limite Tafechna qui relèvent de l'humide alors que Khénifra et Ouaoumana se situent entre le subhumide et le semi-aride.

Les stations de faibles altitudes Bab Marzouka (442m), Béni Mellal (537m), Tahla (582m) relèvent de la variante à hiver tempéré alors que Takbalt (700m) relève la variante à hiver frais. La station de Tagounit située à 1390 m d'altitude se positionne dans la limite inférieure du subhumide et sur la limite entre les variantes à hiver tempéré et doux. Cette situation s'expliquerait par son exposition chaude (sud-est) et donc son ouverture sur les vents chauds de l'est et du sud qui soufflent en été et par l'effet foehn dû à la présence de reliefs élevés au nord et à l'ouest de cette station ce qui augmenterait sa température moyenne du mois le plus froid.

Les stations du **Moyen Atlas central** dont l'altitude dépasse les 1760 m se caractérisent par un hiver très froid. Il s'agit de Tiguelmamine (2100m), Ain kahla (2000m), Tanourdi (2020m) et Dayet Hachlaf (1760m). La présence de Kerrouchen (1350m d'altitude) dans cette même variante s'expliquerait par sa continentalité thermique très accentuée (affiche la plus grande valeur de l'indice de Gorczinski K'=65) en relation avec sa position sur la limite externe du flanc Est du Moyen Atlas central. Aghbala du **Moyen Atlas de Béni Mellal** tout comme Boulemane du **Moyen**

Atlas oriental et dont leur altitude est de 1800 m se situent sur la limite entre la variante à hiver froid à très froid.

Dans la variante à hiver froid, on retrouve les stations du **Moyen Atlas** de Béni Mellal dont les altitudes oscillent entre 1300 et 1400 m (Tizi n Isly à 1370 m et El Kbab à 1300 m), les stations du **Moyen Atlas** central dont l'altitude varie entre 1600 et 1700 m (Ajdir 1600 m et Ifrane 1635) ainsi que les stations du **Moyen Atlas** oriental dont l'altitude est entre 1350 et 1650 m (Immouzza Marmoucha 1630 m et Bsabis 1385 m).

Les stations du **Moyen Atlas oriental** dont l'altitude oscille entre 1100 m et 1200 m relèvent de la variante à hiver frais tout comme les stations du **Moyen Atlas de Béni Mellal** dont l'altitude varie entre 1000 et 1200 m. Dans le **Moyen Atlas central**, toutes les stations dont l'altitude est entre 700 m (Ouaoumana 727 m) et 1500 m (Tafechna 1490 m) se retrouvent dans la variante à hiver frais. Les deux exceptions sont Kerrouchen (susmentionnée) et Tagounit dont l'exposition chaude et l'effet foehn pourraient justifier sa répartition dans la variante tempérée à douce.

Il est à retenir l'influence discriminante du paramètre altitude dans la répartition des stations au sein des variantes des bioclimats dans le climagramme d'Emberger. L'impact de l'exposition du site sur cette répartition semble être quasi absent.

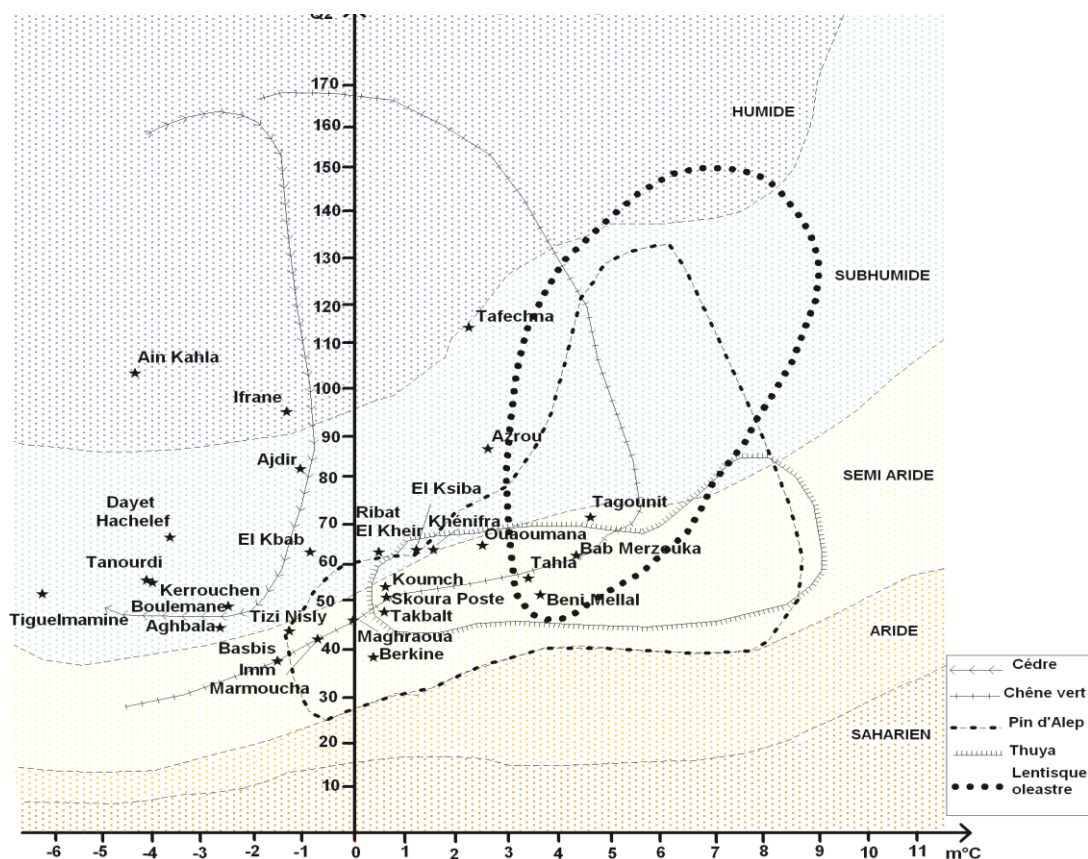


Figure 22: Situation des stations climatiques sur le climagramme d'Emberger-Sauvage¹³

¹³ Il s'agit là d'une répétition de la même figure présentée au point 2.1.4.1 relatif à la caractéristique climatique et forestière du Moyen Atlas. Elle a été représentée ici afin d'en faire un lien étroit entre le contenu de ce paragraphe et la répartition de chacune des stations étudiées sur le climagramme d'Emberger.

3.3.3.4 Saison de végétation et phénologie des espèces observées

Dans le tableau ci-dessous, nous avons identifié les essences principales présentes au niveau de la région de Moyen Atlas de chaque station et rapporté la durée et la période d'occurrence de la saison de végétation. Pour comprendre et expliquer la durée de la saison de croissance et sa période d'occurrence, nous avons fait une succincte revue bibliographique sur la phénologie des principales espèces forestières observées au niveau des stations étudiées.

Tableau n° 24 - Saison de croissance et végétation forestière

Station	Végétation forestière par station	Période de végétation		
		Durée jours	Période d'occurrence	
			Printemps	Automne
Beni Mellal	Ph Ta Jp OL MC	139	Février à mai	Nov + Dec
Takbalt	Ph QR Ta	97 - 128	Février à mai	Novembre
Tizi Nisly	QR Ph Ta Jp	87	Mars à mai	Nov + Dec
Aghbala	QR	91 - 60	Avril et Mai	Novembre
El Ksiba	QR Ta Ph Jp	136	Mars à juin	Novembre
Koumch	QR Ta Ph	126	Mars à juin	Novembre
El kbab	QR Ta Jp	119	Avril à Juin	Novembre
Ouaoumana	Ta Ph QR Jp	155	Février à juin	Nov + Déc
Kerrouchen	QR Ca	116	Mars à Juin	Novembre
Tanourdi	Ca QR	74	Mai et Juin	Novembre
Tafechna	QR	107	Mars à juin	Novembre
Ajdir	Ca QR	100	Mars à juin	Novembre
Khénifra	QR Ta Ph Jp	145	Mars à juin	Décembre
Tiguelmamine	QR Ca	99 - 68	Mai et Juin	Novembre
Ain kahla	Ca QR	104 - 135	Mai à Juillet	Oct + Nov
Azrou	QR	117- 147	Avril à Juin	Oct + Nov
Ifrane	Ca QR	97 - 128	Avril à Juillet	Octobre
Tagounit	QR Ph Oe LM Cs	111	Mars à Juin	Novembre
Dayet Hachelef	Ca QR	118 - 87	Avril à Juin	Novembre
Boulemane	Ca QR TaJp	92 - 122	Avril à Juin	Octobre
Im Marmoucha	Ph QR	34 - 65	Avril et Mai	Novembre
Skoura Poste	Ta Ph Jp	125 - 156	Mars à Mai	Nov + Dec
Maghraoua	QR Ph Jp	93	Mars à Mai	Novembre
Bsabis	QR Ph	110	Mars à Mai	Oct + Nov
RIBAT EL KHEIR	QR Ph	123	Mars à Juin	Novembre
Tahla	Ph Ta Jp Oe LM Cs	156	Février à Juin	Nov + Dec
Berkine	Ph Jp	123	Avril à Juin	Nov + Dec
Bab Merzouka	Ph Ta Jp Oe LM Cs	161	Février à Juin	Décembre

Avec : QR : *Quercus ilex* ; Ca : *Cedrus atlantica* ; Pa : *Pinus halepensis* ; Ta : *Tetraclinis articulata* ;
Oe LM Cs : Oléastre-Lentisque-Myrthe-Caroubier Jp : *Juniperus phoenicea*

Le chêne vert se présente dans toutes les stations étudiées à l'exception de celles sises en **bordure externe du Moyen Atlas** (Béni Mellal, Tahla et Bab Marzouka) et celle de Berkine située dans le nord-est du **Moyen Atlas oriental**. Cette **espèce considérée comme ubiquiste** a une grande plasticité et une grande capacité d'adaptation à différents milieux. Les recherches de **Canadell et al. (1999)** ont permis d'établir que la profondeur du système racinaire des arbres est fonction inverse de l'humidité du climat. Ainsi, en milieu humide, les racines vont rarement au-delà de 5m de profondeur, tandis qu'elles peuvent atteindre 20m en milieu sclérophylle. En été, les chênes verts maintiennent des taux de transpiration élevés et un potentiel hydrique foliaire moins négatif (que le chêne liège) **White 1986**.

Le chêne vert présente un certain nombre de traits biologiques lui permettant de survivre et de continuer à fonctionner pendant les périodes de sécheresse.

Ainsi, en plus d'un enracinement profond qui lui permet de valoriser les remontées d'eau par capillarité, le chêne vert peut répondre à une forte sécheresse par le développement d'une surface évapotranspirante limitée qui est en relation avec la faible réserve hydrique des sols sur lequel il pousse **Barbero et al. (1992)**.

Une autre réponse est le maintien de l'ouverture des stomates à des potentiels hydriques très négatifs qui permet le maintien de flux de transpiration et par conséquent une activité photosynthétique importante. Ce mécanisme autorise le chêne vert à conserver un bilan carboné positif au cours d'événements climatiques fortement défavorables **Acherar et al. (1991)**. L'ensemble de ces réponses à la sécheresse permet au chêne vert de maintenir une certaine croissance, malgré le ralentissement important de l'activité physiologique **De Lillis et Fontanella (1992)**.

Les stations qui présentent de longues saisons de croissance sont celles dominées par des espèces thermophiles (pin d'Alep, thuya, genévrier rouge et oléastre-lentisque-myrtle). Au niveau de ces stations, la saison de croissance est précoce (à partir de février-mars). Le froid est un facteur limitant principal de la croissance du pin d'Alep **Devaux et al. (1978)** ; **Ripert et al. (2001)**.

Les études dendroécologiques sur le pin d'Alep **Rathgeber (2002)** ; **Rathgeber et al. (2005)** et **Vila et al. (2003)** montrent que des températures élevées en février sont corrélées à des cernes de croissance larges, témoins du démarrage précoce de l'activité cambiale allongeant la saison de végétation printanière. **Pardos et al. (2003)** ont observé une croissance débutant en janvier sur 15% de branches de pin d'Alep greffés en verger à graines irrigués toute l'année dans le sud de l'Espagne. En effet, le pin d'Alep est une espèce davantage tropicale qui n'affiche pas une dormance hivernale à déterminisme hormonal **Liphschitz et al. 1984**.

L'étude dendroécologique des pinèdes naturelles de Maghraoua et Ras el Ksar dans le Moyen Atlas oriental a montré que le bilan hydrique a un déterminisme plus fort sur la croissance radiale que le bilan thermique **Mokrim (1990)**. En effet, l'avènement de précipitations au début de l'été (mai) lèverait le ralentissement de la croissance radiale imposait par la hausse des températures. Par ailleurs, les sécheresses d'été longues et dures retardent le développement des cycles d'automne.

Le cycle phénologique de *J. phoenicea* montre deux stades végétatifs : la floraison est initiée au cours de l'automne et la période de fructification intervient à partir du mi-février de l'année suivante **Seigue (1985)**. Il en est de même pour le thuya qui fleurit en automne et fructifie au début de l'été suivant **Boudy (1952)**.

Les résultats obtenus par **Lavagne (1983)**, montrent que la croissance chez le lentisque démarre début février avec une accélération à partir de mars alors que la croissance de l'oléastre en stations rupestres démarre au mi-février et celle du myrte en début de mars. La croissance de l'oléastre et du lentisque peut se poursuivre jusqu'au début juin. Des poussées végétatives automnales peuvent être observées, mais ne sont pas systématiques et leurs durées varient selon les années en relation avec le bilan hydrique dans le sol. Le lentisque et l'oléastre sont des espèces qui n'affichent pas de vraies dormances en hiver **Liphschitz et al. (1985)**.

Le chêne vert peut présenter deux périodes de croissances végétatives, l'une se déroule au printemps, elle a lieu systématiquement et est la plus importante en termes de biomasse produite. La seconde a lieu à l'automne, mais elle n'est pas systématique **Limousin (2009)**. Elle dépend fortement de l'abondance des précipitations qui doivent être suffisamment importantes pour reconstituer la réserve hydrique après la sécheresse estivale **Vivat (1995)**. Les premiers signes d'activité des bourgeons chez le chêne vert sont observés mi-mars et les premiers individus à avoir fini leur cycle végétatif sont observés la première moitié de juin. Suivant les années, la différence de date de débourrement peut être supérieure à une vingtaine de jours. Les valeurs extrêmes des dates de débourrement moyennes se situent entre le 21 mars et le 2 mai avec la première décade d'avril comme date de débourrement moyenne. La cinétique pour l'ensemble des populations du chêne vert est la même quelle que soit l'année avec des situations particulières, où des individus débourrent, alors que le reste de la population les suit avec trente à quarante de jours de retard **Salmon (2004)** et **Du Merle (1983)**.

Dans les stations de hautes altitudes, ouvertes sur les influences océaniques avec une végétation forestière dominée par le cèdre avec présence du chêne vert, affichent des saisons de végétations qui débutent tardivement (avril-mai) en relation avec le grand froid hivernal. **Aussenac et Pardé (1985)** indiquent que la foliation des arbres ne peut se réaliser tant que la température n'atteint pas le seuil limite de 6,6°C chez le cèdre de l'Atlas.

L'étude dendroécologique sur le cèdre Till 1985 a montré que les températures de janvier ont un effet positif en relation avec la levée précoce de la dormance des organes aériens et du cambium.

Des expériences visant à étudier l'effet de l'alimentation hydrique sur de jeunes plants de cèdres ont montré que le débourrement au printemps suivant les traitements était d'autant plus précoce que les plants avaient subi un stress hydrique en été et automne précédents plus important **Finkelstein (1981)**. **Zine El Abidine (2008)** a relevé que le débourrement des bourgeons du cèdre dans le Moyen Atlas commence au début de mai et paraît être plus précoce au niveau des arbres sur substrat basaltique qu'au niveau des autres substrats (calcaires, dolomitiques et marneux). La croissance se poursuivrait en juin, avec un ralentissement net en juillet.

La croissance active du cèdre au printemps dans le Moyen Atlas durerait environ 2,5 mois. Même en mi-juillet, les sols ne présentent pas encore des teneurs en eau très faibles. A partir de fin juillet, la teneur en eau des sols devrait tendre vers des niveaux plus proches du point de flétrissement temporaire, ce qui créerait des conditions difficiles pour le développement de cèdre et son comportement écophysologique. Le cèdre est capable de maintenir une activité photosynthétique et transpiratoire jusqu'à un niveau important de dessèchement estival du sol. Cette activité chute dès l'apparition de la sécheresse à -10 bars, mais peut se poursuivre faiblement au-delà de -50 bars. La photosynthèse se poursuit à des niveaux de sécheresse plus importants que la croissance en hauteur. *Cedrus atlantica* maintient une activité photosynthétique (et transpiratoire) jusqu'à des niveaux de grandes sécheresses (-30 et -35 bars) **Aussenac G. & Finkelstein D. (1983)** et **Ducrey (1981)**. En considérant les valeurs du potentiel de base enregistrées en mars et en juillet, il était remarqué que les arbres de cèdre de l'Atlas étaient plus stressés en mars qu'en juillet.

En générale, les racines superficielles peuvent vaincre des tensions de succion élevées et se procurer de l'eau même dans un sol apparemment sec **Zine el Abidine (2008)**.

Le comportement du cèdre est identique à celui du chêne vert contrairement aux Pins qui bloquent leurs stomates vers -15 et -17 bars **Aussenac G. & Valette J.C. (1982)**.

La date de reprise de l'activité de croissance chez le cèdre et le chêne vert serait, fort probablement, conditionnée pour éviter les gelées printanières tardives. En effet, le cambium du cèdre devient très sensible à la gelée après la levée de la dormance.

Les travaux de **Till (1985)** et **Mokrim (2008)** montrent que l'avènement d'un gel au cours de la croissance radiale chez le cèdre entraîne l'éclatement des membranes des cellules cambiales ainsi que celles des trachéides non encore différenciées et en résulte un ou plusieurs cernes absents au cours des saisons suivantes, tant que le manteau cambial n'est pas totalement reconstitué.

3.4 : Bilan hydrique et hydrologique du Moyen Atlas

3.4.1 Bilan hydrique mensuel dans le sol

3.4.1.1 Indice d'aridité de De Martone

Pendant les mois de février, mars et avril, le taux de saturation du sol est de 100% (réserve=RUM) et ce pour toutes les stations. Il en est de même pour le mois de janvier sauf pour les stations de Khénifra (80%) et Berkine (87%). Ces mois sont relativement les plus pluvieux et présentent des températures relativement basses d'où une évapotranspiration potentielle (ETP) faible.

A la fin du mois de décembre, le rapport réserve/RUM est en moyenne de 82% et oscille entre 38% au niveau de la station de Khénifra et 100% au niveau des stations de Béni Mellal, Kerrouchen, Ouaoumana, Ajdir et les stations du Moyen Atlas d'Ifrane (sauf pour Tiguelmamine 75% et Tagounit (91%).

Le mois de mai présente un taux de saturation moyen de 91% (toutes stations confondues). Il est de 84 ; 87 ; 97 et 100% respectivement pour les régions de : Béni Mellal, le Moyen Atlas oriental, la région de Khénifra et celle d'Ifrane (Moyen Atlas Tabulaire). En mai, le sol est également saturé en eau au niveau des stations de Tafachna, Boulemane et Ribat El Kheir.

Pour le Moyen Atlas d'Ifrane et la station de Tafachna, l'abondance des précipitations durant l'hiver et le printemps explique cet état alors qu'au niveau des deux stations du Moyen Atlas oriental, nous avons un régime pluviométrique saisonnier PHAE (printemps- hivers-automne- été).

Au terme du mois de juin, le taux de saturation est en moyenne de 52% et fluctue entre 9% à Takbalt et 86% à Ifrane.

Pour toutes les stations étudiées, les mois d'Aout, juillet et septembre présentent les taux de saturation les plus faibles et sont de 7 ; 11 et 17% respectivement pour les trois mois. Dans le Moyen Atlas d'Ifrane, le taux de saturation durant le mois de juillet est de 31% contre 14 ; 7 et 5% respectivement pour les régions de l'Oriental, Khénifra et Béni Mellal.

A la fin du mois d'octobre, toutes les régions présentent un taux de saturation moyen de l'ordre de 29 à 37%. Le plus élevé (50%) est observé au niveau des stations d'Azrou et celle de Bsabis. Les plus faibles taux sont de 21% (station de Tiguelmamine) et 24% à Khénifra.

A la fin du mois de novembre, le taux de saturation est en moyenne de 49% au niveau des régions de Béni Mellal et celle de Khénifra contre 51 et 62% respectivement pour la région de l'Oriental et celle d'Ifrane. Les plus faibles valeurs sont observées au niveau de la station d'Aghbala (2%), celle de Khénifra (24%), Tiguelmamine (36%) et Bab Marzouka (39%).

3.4.2 Evapotranspiration potentielle (ETP) et Evapotranspiration réelle (ETR)

3.4.2.1 ETP et ETR mensuelles selon Thornthwaite

L'ETP est un paramètre climatique qui exprime la demande climatique en eau. Il est fonction de la quantité d'énergie latente de vaporisation qui dépend de la durée astronomique du jour et de la durée d'insolation (nébulosité). Les facteurs topo climatiques (altitude, exposition et pente) tout comme les facteurs de position en influençant la température, ils influencent la grandeur de l'ETP.

L'ETP calculée pour les stations étudiées présente des valeurs faibles durant la saison froide. Toutes stations confondues, nous avons une ETP de 14 mm pour le mois de janvier, 17 mm pour les mois de décembre et de février et 29 et 32 mm respectivement pour novembre et mars. En pourcent, l'ETP de décembre, janvier et février représente 2% du total annuel contre 4% pour les mois de novembre et mars et 6 ; 8 et 9% respectivement pour les mois d'avril ; octobre et mai. Les 4 mois de juin à septembre s'accaparent 63% de l'ETP annuelle. L'ETP annuelle est en moyenne de 802 ; 776 ; 770 et 681 mm respectivement pour les régions de Béni Mellal ; Khénifra ; le Moyen Atlas oriental et pour le Moyen Atlas d'Ifrane. Les valeurs maximales par région s'observent au niveau des stations de Béni Mellal (933 mm), de Bab Marzouka (946 mm), Ouaoumana (893 mm) et Tafachna (756 mm). La station de Tiguelmamine située à 2100 m d'altitude présente l'ETP la plus faible (562 mm). Tanourdi située à 2020 m d'altitude dans la région de Khénifra affiche une valeur de 590 mm, celle de Boulemane située dans le Moyen Atlas oriental (1860 m d'altitude) a une ETP de 673 mm et dans la région de Béni Mellal, c'est la station d'Aghbala sise à 1800 m d'altitude qui donne la valeur minimale de l'ETP soit 709 mm par an. Le coefficient de corrélation entre l'ETP annuelle et l'altitude présente une valeur négative de -0.84 qui est hautement significatif (0.01). Par contre avec la latitude et la longitude, les coefficients de corrélation sont respectivement de -0.04 et -0.19 et sont statistiquement non significatifs.

L'évapotranspiration réelle (ETR) ou quantité d'eau évapotranspirée par le sol et le couvert végétal est un paramètre écophysique qui est conditionné par la température et l'activité de la végétation. Ainsi durant la saison froide, la baisse de la température réduit voir arrête l'activité de croissance (dormance), alors qu'en été, l'indisponibilité de l'eau dans le sol entraîne la fermeture des stomates d'où les faibles grandeurs de l'ETR obtenues. L'ETR serait donc un indicateur de la saison de croissance des peuplements forestiers. Toutes stations confondues, les plus faibles valeurs de l'ETR sont observées en aout qui représente 2% de la grandeur annuelle contre 4% pour les mois de décembre, janvier et février et 5 ; 6 ; 7 et 8% respectivement pour les mois de juillet ; septembre ; novembre et mars. Les mois d'Avril, mai, juin et octobre cumulent 58% de l'ETR annuelle. Par région, l'ETR du mois de juillet représente 13% (56 mm) de l'ETR annuelle au niveau du moyen Atlas d'Ifrane contre 1 à 2% au niveau des trois autres régions (3 à 10 mm). L'ETR du mois de mars représente 10% au niveau de la région de Béni Mellal et celle du Moyen Atlas oriental contre 8 et 6% respectivement pour les régions de Khénifra et Ifrane. Le mois de juin contribue à hauteur de 13% au niveau de l'ETR annuelle dans les régions de Béni Mellal et MA oriental contre 20 et 21% respectivement pour celles de Khénifra et Ifrane.

Selon la grandeur de l'ETR mensuelle, la saison de croissance des peuplements forestiers du Moyen Atlas se déroulerait entre la période mars-juin avec une deuxième période en octobre-novembre pour les régions de Béni Mellal, Khénifra et Moyen Atlas oriental. Ces deux périodes cumulent 75 à 79% de l'ETR annuelle contre 75% au niveau de la région d'Ifrane pour les périodes avril-juillet et septembre-octobre. Cette différence s'expliquerait par le froid tardif et la disponibilité de l'eau au niveau de la région d'Ifrane. Dans les autres régions, l'augmentation précoce de la température à partir du mois de mars et l'indisponibilité de l'eau dans le sol à partir du mois de juin (relativement moins intense dans la région de Khénifra) seraient à l'origine de la différence avec le Moyen Atlas tabulaire.

L'ETR annuelle est en moyenne de 337 ; 344 ; 418 et 447 mm respectivement pour les régions du Moyen Atlas oriental, Béni Mellal, Khénifra et celle d'Ifrane. La valeur minimale est observée au niveau de la station d'Immouzer Marmoucha (256 mm) contre 517 mm comme valeur maximale obtenue pour la station d'Ain Kahla. Les corrélations simples entre l'ETR et l'altitude, latitude et longitude sont très faibles et non significative (0.09 ; 0.02 et -0.10).

3.4.2.2 ETP et ETR selon Turc et Penman

L'ETR annuelle calculée selon la méthode de Turc donne des valeurs supérieures à celle de Thornthwaite de 125% toutes stations confondues. Selon les régions, nous avons 117% ; 124% et 134% respectivement pour Ifrane, Khénifra et Moyen Atlas oriental et pour la région de Béni Mellal (voir figure ci-dessous). On constate qu'au niveau d'Ain Kahla et Ifrane, la pluviométrie annuelle est égale à l'ETP de Penman 77t. Les stations de Tiguelmamine et Tanourdi dont l'altitude dépasse les 2000 m présentent les grandeurs d'ETP les plus faibles (voir figure ci-dessous).

L'ETP de Penman donne des valeurs supérieures à celles de Thornthwaite de 126 et 142% en moyenne pour toutes les régions respectivement pour les approximations $ETP=68,64*T$ et $77,5*T$. Au niveau de la région d'Ifrane, on obtient les plus faibles valeurs (119 et 134%) contre des maximums au niveau de la région de Béni Mellal (130 et 147%. La région de Khénifra et le Moyen Atlas oriental ont sensiblement les mêmes valeurs (127 et 144%).

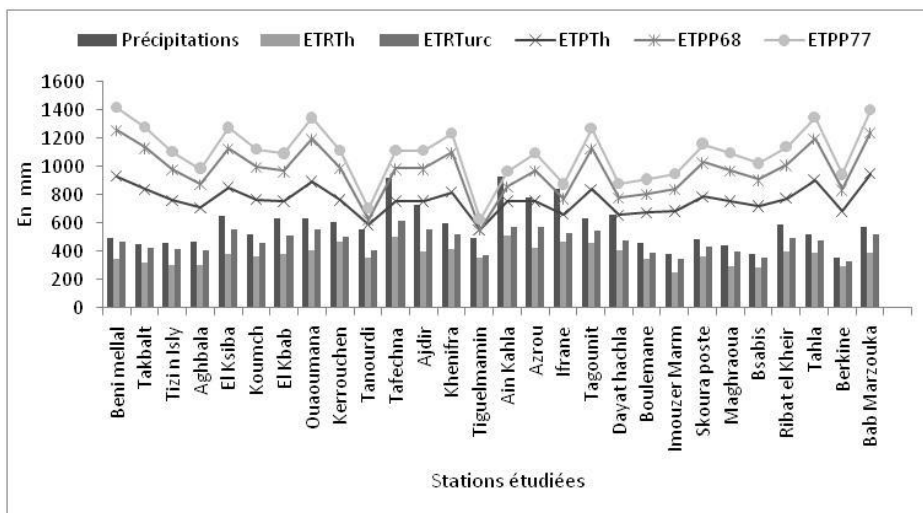


Figure 23: Grandeurs des Précipitations selon ETRTh Thornthwaite, ETR Turc, ETPTH Thornthwaite, ETPP Penman=68,64T et ETP Penman=77.5T

3.4.2.3 Déficit hydrique mensuel selon la méthode Thornthwaite

Le stress hydrique, qui s'impose à la croissance des arbres, est le résultat d'un déséquilibre entre les besoins des arbres qui augmentent avec la température, l'ensoleillement et la vitesse du vent en été et l'eau disponible qui dépend des précipitations durant la saison de végétation et du stock d'eau accumulé dans le sol durant la ou les saison pluvieuses (hiver, printemps).

Pour satisfaire ses besoins en eau, la plante utilise tout d'abord les précipitations du mois. Si les précipitations du mois suffisent, il n'y a pas de déficit hydrique et l'ETR est égale à l'ETP. Si les précipitations du mois ne sont pas suffisantes, la plante prélève une certaine quantité d'eau dans le sol qui constitue un réservoir dont la contenance est initialisée à la RU. Dans ce cas, il y a déficit hydrique et la transpiration d'eau (ETR) est égale à la somme des précipitations du mois étudié et de ce qui est prélevé durant le mois dans le réservoir sol (**Baudran et al. 2008**).

Le Déficit Hydrique (DH) mensuel est la différence ETP – ETR du mois correspondant.

La période de janvier à avril et les mois de novembre-décembre ne présentent aucun déficit hydrique. Durant ces mois l'état de saturation du sol et/ou la faiblesse des températures font qu'ETP et ETR présentent les mêmes valeurs. Il est en de même pour le mois de mai sauf dans les stations de Béni Mellal, Bsabis, Immouzzar Marmoucha et Takbalt avec des déficits respectifs de 15 ; 5 ; 4 et 3 mm. Les stations du Moyen Atlas d'Ifrane ne présentent pas de déficit hydrique durant le mois de juin.

Les mois de juillet-août présentent les plus grands déficits hydriques avec une grandeur moyenne de 126 à 127 mm. L'augmentation des températures impulse la grandeur de l'ETP. Le manque d'eau dans le sol en relation avec les faibles précipitations estivales entraîne la fermeture des stomates d'où la faiblesse des ETR. Les valeurs maximales pour les deux mois s'observent au niveau de la station de Bab Marzouka (180 et 171 mm) suivie par Tahla (170 et 161 mm) et Béni Mellal (167 et 152 mm).

Les plus faibles valeurs du déficit hydrique en juillet et août s'observent dans les stations du Moyen Atlas tabulaire (sauf pour Azrou) et au niveau de Tanourdi dont l'altitude dépasse 2000 m.

Le déficit hydrique annuel oscille entre 458 mm au niveau de la région de Béni Mellal et 233 mm au niveau de celle d'Ifrane. Ce déficit est de 433 mm dans le MA oriental et 370 mm au niveau de la région de Khénifra. Le déficit hydrique enregistré durant la période juillet-septembre représente près de 81% du déficit annuel au niveau des régions de Béni Mellal et celle du Moyen Atlas oriental contre 89% au niveau de la région de Khénifra et 98% au niveau de celle d'Ifrane.

Le déficit hydrique annuel diminue avec l'augmentation en altitude et le coefficient de corrélation obtenu est de -0.79. Avec la latitude et la longitude, les corrélations sont statistiquement non significatives.

3.4.2.4 Surplus hydrique et hydrologique

Le surplus hydrologique est apprécié par la différence entre les précipitations P et l'ETP en tenant compte de l'état de saturation du sol. Quand les précipitations se produisent, elles vont tout d'abord satisfaire la demande climatique en eau avant de combler la réserve utile.

Le surplus hydrique ($P > ETP$) ne générera des écoulements (ruissellements-infiltrations) qui sont le vrai surplus hydrologique, qu'une fois le sol saturé ($R = RUM$).

3.4.2.4.1 Surplus hydrique P – ETP

Durant la période juin-septembre, la différence $P - ETP$ est négative pour toutes les stations et donc, il n'y a pas de surplus hydrique ou hydrologique durant cette saison. Il en est de même pour le mois de mai sauf au niveau des stations d'Ain Kahla et Ifrane avec un faible surplus de 6 et 4mm. Durant le mois d'octobre, il y a absence de surplus en eau dans les stations de la région de Béni Mellal, Moyen Atlas oriental et celle de Khénifra à l'exception de la station de Tafechna (3 mm). Les stations d'Azrou, Ain Kahla et Ifrane présentent un surplus hydrique en octobre respectivement de 17 ; 23 et 43 mm. La période de novembre à mars représente l'essentiel du surplus hydrique. Le surplus hydrique annuel est en moyenne de 305 mm et il est de 190 ; 255 ; 372 et 403 mm respectivement pour les régions du Moyen Atlas oriental, région de Béni Mellal, celles de Khénifra et Ifrane.

L'occurrence d'un surplus hydrique de février à avril et en novembre-décembre indique qu'il y a possibilité d'améliorer la production de phytomasse par l'introduction d'espèces adaptées au froid et tout spécialement des herbacées et des ligneux bas appétibles qui vont soulager la pression du parcours et tout spécialement pendant cette période dite période de soudure.

En terme de synthèse, la représentation graphique du bilan hydrique au niveau des 4 régions (Figures ci-dessous) montre que :

- La période du surplus hydrique s'étend de la fin octobre jusqu'en avril pour les trois régions (Moyen Atlas Béni Mellal, Moyen Atlas Khénifra et Moyen Atlas oriental) et mai pour le Moyen Atlas d'Ifrane ;
- La grandeur mensuelle du surplus hydrique est inférieure à 60 mm au niveau du Moyen Atlas Oriental, inférieure à 80 mm par mois dans le Moyen Atlas de Béni Mellal. Le surplus hydrique mensuel est supérieur à 70 mm au niveau du Moyen Atlas de Khénifra et à 80mm au niveau du Moyen Atlas d'Ifrane. Ce surplus peut dépasser les 100 mm pour certains mois.
- La réserve en eau du sol permet une activité végétale durant les mois de mai - juin pour le Moyen Atlas de Béni Mellal et Moyen Atlas Oriental et jusqu'en juillet pour les deux autres régions. Cette réserve est maximale au niveau du Moyen Atlas d'Ifrane et minimale au niveau du Moyen Atlas oriental.
- Le déficit hydrique s'installe à la fin du mois juin pour le Moyen Atlas de Béni Mellal et oriental et fin juillet pour les autres régions. Ce déficit est moins prononcé au niveau du Moyen Atlas d'Ifrane relativement aux autres régions.

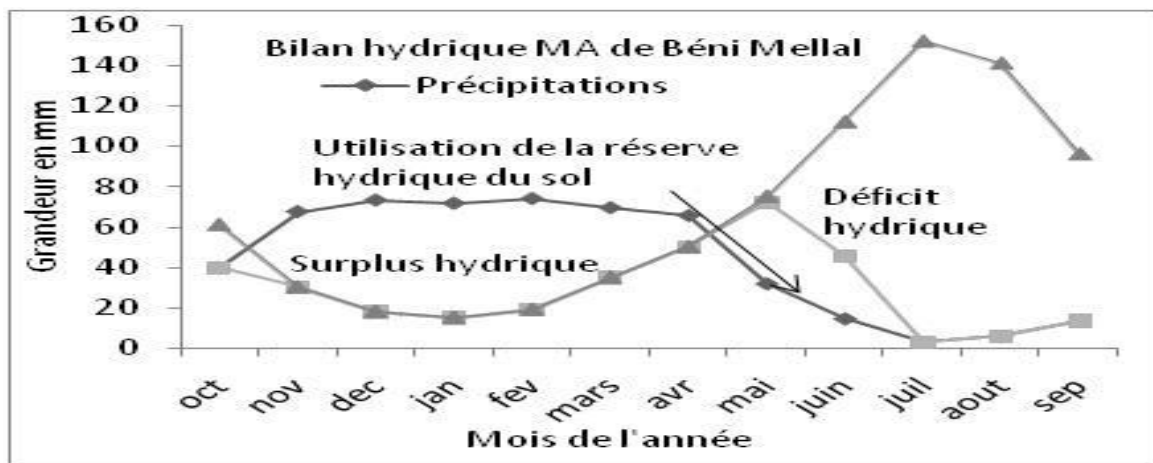


Figure 24: Bilan hydrique Moyen Atlas de Béni Mellal

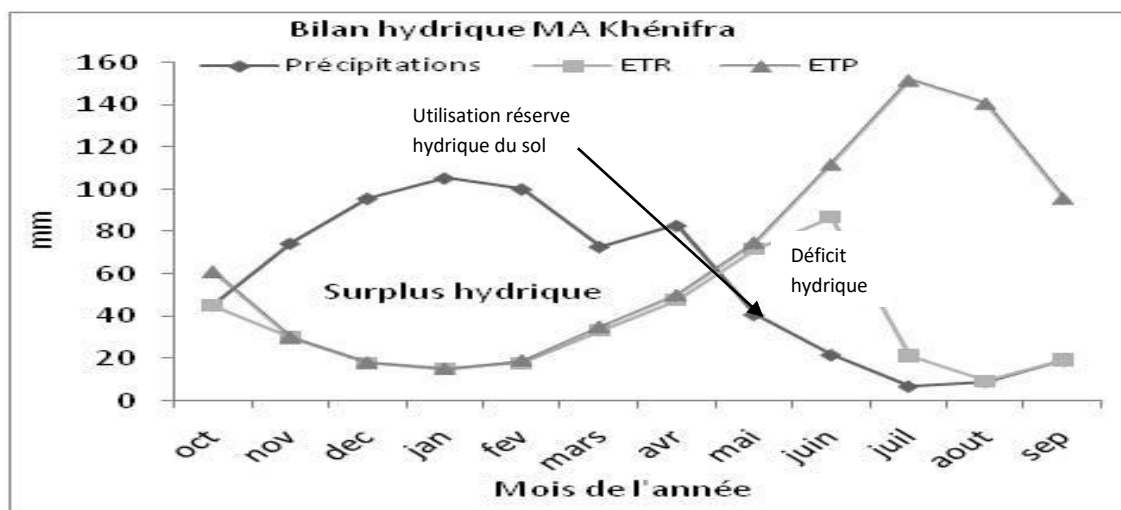


Figure 25: Bilan hydrique du Moyen Atlas de Khénifra

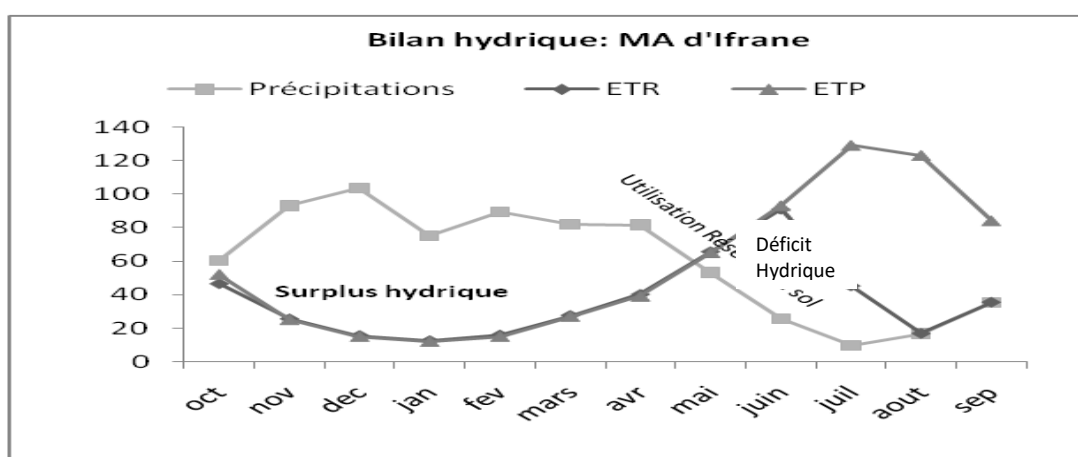


Figure 26: Bilan hydrique Moyen Atlas d'Ifrane

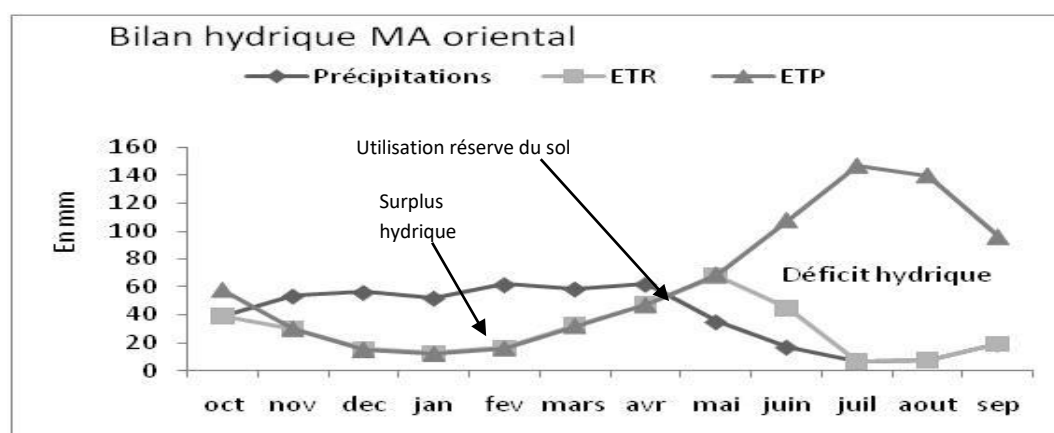


Figure 27: Bilan hydrique Moyen Atlas Oriental

3.4.2.4.2 Surplus hydrologique [$P - ETP + (R - RUM)$]

Le surplus hydrologique annuel est en moyenne de 231 mm avec un maximum de 453 mm au niveau de la station d'Ain Kahla et un minimum de 55 mm dans la station de Berkine.

Par région le surplus hydrique est en moyenne de 130 ; 181 ; 259 et 294 mm respectivement pour les régions du Moyen Atlas oriental, la région de Béni Mellal, Khénifra et celle d'Ifrane. Le surplus hydrique représente en moyenne 27 ; 34 ; 37 et 39% de la pluviométrie annuelle respectivement dans le Moyen Atlas oriental, la région de Béni Mellal, Khénifra et celle d'Ifrane. Le plus faible rapport est relevé au niveau de la station de Berkine (15%) et la valeur maximale est calculée au niveau de la station d'Ajdir (52%).

Le surplus hydrologique représente près de 70% du surplus hydrique indépendamment de la région. Au niveau des stations, le plus grand pourcentage (87%) est observé dans la station d'Ajdir contre un minimum de 44% au niveau de Kerrouchen.

Selon le **modèle de Turc-Penman**, le surplus hydrologique annuel obtenu est en moyenne de 109 mm et oscille entre 26 mm dans les stations de Berkine et Béni Mellal et 359 mm au niveau de la station d'Ain Kahla. Le surplus hydrologique calculé est de 214 ; 149 ; 64 et 47 respectivement pour les régions d'Ifrane, de Khénifra, Béni Mellal et le Moyen Atlas oriental. Il représente 36% des surplus obtenus par la **méthode Thornthwaite** pour les régions de Béni Mellal et du Moyen Atlas oriental contre 58 et 73% respectivement pour les régions de Khénifra et d'Ifrane.

3.4.2.4.3 Ruissellement et infiltration

Les lames d'eau ruisselées et infiltrées sont respectivement de 161 mm et 53 mm au niveau de la région d'Ifrane contre 98 mm et 51 mm pour la région de Khénifra, 38 et 26 mm au niveau de la région de Béni Mellal et 29 ; 19 mm pour le Moyen Atlas oriental. Ces résultats sont à nuancer en fonction des précipitations (pluies efficaces, leurs répartitions, leurs intensités et leurs natures (pluvieuses ou neigeuses)).

En effet, les stations d'altitudes avec des expositions fraîches reçoivent des quantités non négligeables de précipitations neigeuses qui vont améliorer leur bilan hydrique. Les paramètres

structurels que commandent les caractéristiques géologiques et tectoniques (lithologie, karstification, fracturation) et édaphiques (type de sol, profondeur et tassement des sols) influencent considérablement les rapports écoulement-infiltration (**Bakalowicz M., 2010 ; Vincent 2012**).

Le taux d'infiltration, rapport entre la lame d'eau infiltrée et la hauteur pluviométrique, est de 6% toutes stations confondues. Les taux d'infiltrations sont de 4% dans le Moyen Atlas oriental, 5% dans la région de Béni Mellal et 7% au niveau des régions de Khénifra et celle d'Ifrane.

La figure ci-après donne par station, les grandeurs des lames d'eau infiltrées **I**, ruisselées **Rs**, du surplus hydrologique (=I+Rs) et hydrique.

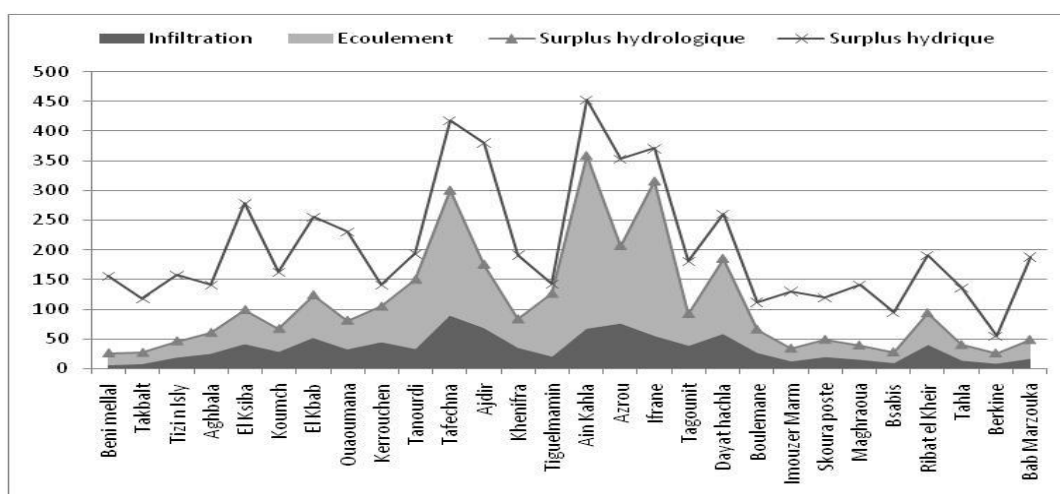


Figure 28: Grandeurs de la lame d'eau infiltrée, ruisselée, du surplus hydrologique et hydrique

3.4.3 Zonage bioclimatique

L'indice pluviothermique de Thornthwaite distingue deux zones bioclimatiques dans le Moyen Atlas à savoir :

- Le bioclimat subhumide sec qui regroupe les stations de Béni Mellal, Takbalt et Tizi n Isly et celles du Moyen Atlas oriental à l'exception des stations de Boulemane et Ribat Al Kheir, et
- Le reste des stations relèveraient des bioclimats humides à perhumides.

Le calcul du rapport P/ETP en utilisant le modèle Turc-Penman a permis de classer les stations étudiées dans quatre bioclimats :

- Les stations de Béni Mellal, Takbalt, Tizi n Isly et celles du Moyen Atlas oriental (à l'exception de Boulemane et Ribat Al Kheir) relèveraient du bioclimat semi-aride ;
- Dans le bioclimat subhumide sec, se retrouvent les stations de Boulemane et Ribat Al Kheir, les quatre stations de la région de Béni Mellal (Aghbala, Koumch, El Ksiba et El Khab), trois stations de la région de Khénifra (Ouaoumana, Khénifra et Kerrouchen) et la station de Tagounit de la région d'Ifrane ;
- Les deux stations : Ain Kahla et Ifrane présentent un faciès bioclimatique hyper humide ;

- Dans l'humide à hyper humide se retrouvent les stations de Ajdir, Tanourdi et Tafechna de la région de Khénifra et les trois stations de la région d'Ifrane à savoir : Azrou, Dayet Hachlaf et Tiguelmamine.

Les quotients évapotranspiratoires calculés avec les paramètres de Thornthwaite et ceux de Turc-Penman donnent les mêmes résultats pour 20 stations sur les 28 étudiées. Ainsi :

- Les stations de la région de Béni Mellal (à l'exception d'El Kbab et Koumch) intègrent la zone bioclimatique subhumide sèche tout comme les stations du Moyen Atlas oriental (sauf Boulemane et Ribat Al Khéir) ;
- Les stations de la région d'Ifrane (à l'exception de Tagounit et Azrou) relèvent de l'hyper humide et de la limite supérieure de l'humide tout comme les stations de Tafechna et Tanourdi ;
- Les stations d'El Kbab, Ajdir, Azrou et Kerrouchen et à la limite Ribat Al khéir se situent dans le subhumide à humide ;
- Pour le reste des stations, la grandeur du quotient évapotranspiratoire selon Thornthwaite les placent dans le subhumide sec alors que le model Turc-Penman les place dans le subhumide humide.

Selon l'Indice de potentialités bioclimatiques on distingue quatre classes :

- Les stations de : Ifrane, Ain Kahla et Tafechna présentent des potentialités très fortes ;
- Ajdir et Azou relèvent des potentialités fortes ;
- Dans les potentialités moyennes nous avons : Kerrouchen, Ououmana, Tagounit, El Kbab, El ksiba et Dayet Hachlaf et ;
- Contre des potentialités faibles pour : Tahla, Aghbala, Boulemane, Koumch, Bab marzouka, Tiguelmamine, Ribat Al Khéir, Khénifra et Tanourdi. Le reste des stations présenteraient des potentialités bioclimatiques très faibles.

CONCLUSION GENERALE & RECOMMANDATIONS

Notre étude, consistait à étudier l'évolution des écosystèmes de la cédraie du Moyen Atlas tout en appliquant une approche de l'Inventaire Forestier National (IFN) et calcul des indices climatiques, le bilan hydrique et hydrologique pour étudier l'évolution du couvert forestier d'une part et d'autre les caractéristiques climatiques en lien avec le phénomène du changement climatique de l'ensemble des écosystèmes du Moyen Atlas en général et de la Cédraie de la région en particulier en relation avec les facteurs du milieu.

A travers la présente étude dans sa première partie, nous pouvons en déduire que, la cartographie forestière du Moyen Atlas peut être analysée différemment en fonction de l'accès aux données, à la perception de l'analyse et du savoir et savoir-faire de l'auteur de l'analyse.

La perception superficielle de l'information cartographique disponible à propos du Moyen Atlas conduit, sans doute, à une analyse et interprétation erronées des données d'évolution du couvert, sans se soucier de la qualité ni des incidences des résultats à obtenir. Une évaluation succincte est testée dans le cadre de la présente étude.

Soucieux d'approcher d'une manière fiable le suivi du couvert forestier, nous avons testé deux démarches communément utilisées au Maroc, pour évaluer l'évolution du couvert forestier à partir d'analyse de la cartographie diachronique. Ensuite, nous avons proposé une nouvelle démarche de dimension spatiale.

Le Moyen Atlas est le territoire choisi comme de site d'entraînement, sur surface de **1 667 000 ha** couvrant les limites naturelles de la chaîne montagneuse du Moyen Atlas.

La méthodologie du travail a reposé sur l'exploitation de la carte forestière élaborée dans le cadre de l'inventaire forestier national par usage de données de télédétection (image satellites et photo-aériennes) pris respectivement durant les deux périodes de 1982-1987 et 2008-2011. Le produit brut correspond à la carte forestière fractionnée en carte de 30 secondes sexagésimales de côté, conformément au découpage cartographique de l'ANCFCC. En total, la zone d'étude s'étend sur des parties de 19 cartes au 1/100.000 dont les supports de télédétection et les dates d'élaboration des cartes différents au sein même du même cycle de cartographie.

La démarche d'analyse est opérée en **trois étapes**, en notant une modification de la clé de stratification entre les deux cycles cartographiques qui touche entre autre, des nouvelles étendues non explorées lors du 1^{er} cycle de l'IFN. Il s'agit des peuplements boisés à densité éparse et une classe d'occupation de sol exprimée en fruticées.

La première étape a concerné la manipulation des données spatiales natives des cartes d'origine notamment les cartes forestières de l'IFN. Les produits obtenus abordent l'élaboration de cartes forestières du Moyen Atlas des deux cycles cartographiques (1986 et 2010), l'élaboration de la carte d'évolution forestière concernant la période 1986 à 2010, et appréciation de l'évolution de l'occupation du sol selon deux approches à savoir **i)** l'analyse des données en omettant délibérément les modifications ayant touché les critères de stratification et **ii)** l'adoption de l'approche procédé par les services du Département des Eaux et Forêts.

La seconde étape consistait **i)** à concaténer toutes les parties de cartes au 1/100.000 couvrant la zone d'étude, à créer une base de données spatiales du Moyen Atlas et à apurer cette base des points de vue structurale et topologique et **ii)** à explorer mutuellement et d'une manière spatiale l'ensemble des éléments (parcelles de terrains) exprimant, à priori, une évolution progressive ou régressive du couvert forestier, de vérifier l'hypothèse d'évolution et/ou de redresser la situation cartographique, le cas échéant.

En troisième étape, nous avons élaboré des nouvelles cartes forestières rétrospectives aux dates de référence de 1986 et 2010, une carte d'évolution d'occupation et enfin, l'estimation des superficies des changements des affectations des terres.

Les résultats cartographiques mis en évidence une sous-estimation des taux du couvert forestier et de boisement par les deux cartographies forestières (1986 et 2010). Les révisions de ladite cartographie a permis de réévaluer ces taux pour les années 1986 et 2010 respectivement de 41% à 50% et de 45 à 49% du couvert boisé, et de 43% à 52% et de 50% à 52% du couvert forestier (boisement + alfa).

La carte d'évolution forestière native des données de l'IFN présente des grandes étendues déclarées soit en régression ou en progression. Après ajustement mutuels des changements d'occupations du sol, la nouvelle carte d'évolution forestière présente des taches, de progression et de régression, diffuses à l'échelle de la zone.

En matière de quantification de l'évolution forestière, le **choix de la première approche** d'analyse ressort un bilan positif de l'évolution forestière avec des progressions nettes du boisement (302033 ha) et du couvert (333 707 ha). La pondération de ces chiffres à l'échelle de la période d'analyse de 24 ans indique des progressions annuelles du boisement ou gain annuel du boisement de 12600 ha/an et du couvert de 13 800 ha/an.

La seconde approche permet d'estimer l'évolution avec un bilan négatif exprimant la diminution du boisement de 115 130 et du couvert 74 750 ha correspondent respectivement à des pertes de 4 800 ha/an du couvert boisé et de 3 100 ha/an du couvert végétal.

Enfin, la 3^{ème} approche, proposée dans le cadre de cette étude, évalue le suivi de l'occupation du sol avec un bilan légèrement négatif indiquant la régression du boisement de 11900 ha et du couvert végétal de 1000 ha soit des taux de réduction respectifs de 500 ha/an et de 83 ha/an.

Sur le plan climatique, le Moyen Atlas central s'individualise par rapport au Moyen Atlas de Béni Mellal et le Moyen Atlas oriental. Ces deux dernières régions montrent beaucoup de similitudes tant sur le plan climatique que végétation et saison de végétation avec une nette opposition entre les deux flancs (occidental et oriental) de la chaîne.

Le paramètre hydrique et tout spécialement la Réserve Utile au niveau du sol paraît plus efficace que le paramètre de Gaussen ($P \leq 2T$) pour déterminer la durée et la période d'occurrence de la saison sèche et par conséquent, la détermination de la saison de végétation au niveau de chaque station.

Il y a une parfaite concordance entre la durée et la période d'occurrence de la saison de croissance avec les espèces forestières observées. En effet, les stations relativement chaudes et peu humides présentent une végétation thermophile composée d'espèces davantage tropicale qui

se caractérisent par une longue saison de croissance avec absence de dormance hivernale à déterminisme hormonal.

Il y a une prééminence du facteur altitude dans la répartition des stations dans le diagramme de Gams et celui d'Emberger.

Les stations sises en altitude dans le flanc occidental du Moyen Atlas sont celles soumises aux influences océaniques ce qui va de pair avec la grandeur pluviométrique et les espèces forestières observées (**cèdre-chêne vert**).

L'ouverture des peuplements suite aux actions anthropiques et éventuellement des changements climatiques réels ou dus à la dégradation humaine (tassement des sols et donc réduction de l'infiltration et par conséquent de la disponibilité hydrique dans le sol) expliquent l'observation d'une pénétration d'espèces thermophiles thuya, genévrier rouge, pin d'Alep, oléastre, lentisque) au niveau des stations humides.

La **revue bibliographique** sur la phénologie des espèces a montré leurs grandes capacités d'adaptation à une aridification du milieu par suite d'une **augmentation de la température estivale** et une **raisonnable réduction des précipitations hivernales**. Toutefois, les cycles de vie longs chez les essences forestières et l'intense impact des perturbations anthropiques sur les peuplements forestiers risquent de mettre à mal ces capacités d'adaptations.

Le model de Thornthwaite pour établir le bilan hydrique mensuel a le grand mérite d'être simple, robuste et ne nécessitant que les données thermiques qui sont à la limite disponible au niveau de la région d'étude. Cette méthode tout en sous estimant les grandeurs de l'évapotranspiration réelle et potentielle, elle permet d'appréhender le bilan hydrique. Cependant, ce model montrent ses limitent quant à l'étude du bilan hydrologique et ses composantes (ruissellement-infiltration). La méthode de Turc pour le calcul de l'ETR annuelle qui donne des résultats nettement supérieurs à ceux obtenus par la méthode Thornthwaite tout comme l'estimation de celle de Penman pour le calcul de l'ETP. L'utilisation des paramètres hydriques calculés par les méthodes Turc et Penman s'apprêtent mieux pour l'étude du bilan hydrologique.

L'analyse du bilan hydrique au niveau des 4 régions du Moyen Atlas (MA) a montré que :

La période du surplus hydrique s'étend de la fin octobre jusqu'en avril pour les trois régions (MA Béni Mellal, Ma Khénifra et MA oriental) et mai pour le MA d'Ifrane.

La grandeur mensuelle du surplus hydrique est inférieure à 60 mm au niveau du MA Oriental, inférieure à 80 mm par mois dans le MA de Béni Mellal. Le surplus hydrique mensuel est supérieur à 70 mm au niveau du MA de Khénifra et à 80 mm au niveau du MA d'Ifrane. Ce surplus peut dépasser les 100 mm pour certains mois. L'occurrence d'un surplus hydrique de novembre à avril indique qu'il y a possibilité d'améliorer la production de phytomasse par l'introduction d'espèces adaptées au froid et tout spécialement des herbacées et des ligneux bas appétibles qui vont soulager la pression du parcours et tout spécialement pendant la période de soudure qui se situe entre la fin du parcours au niveau des champs moissonnés et l'apparition du tapis herbacé à partir de la saison de printemps.

La réserve en eau du sol permet une activité végétale durant les mois de mai - juin pour le MA de Béni Mellal et Ma Oriental et jusqu'en juillet pour les deux autres régions. Cette réserve est

maximale au niveau du MA d'Ifrane et minimale au niveau du MA Oriental. Le surplus hydrologique annuel est en moyenne de 47 à 214 mm pour les quatre régions. Le taux d'infiltration, rapport entre la lame d'eau infiltrée et la hauteur pluviométrique, est de 4 à 7% au niveau des régions de Khénifra et celle d'Ifrane.

Les lames d'eau ruisselées au niveau des quatre régions oscillent entre 29 et 161 mm ce qui représente 6 à 21% de la pluviométrie annuelle. Ces résultats auraient pu être plus précis si on pouvait disposer de la grandeur des précipitations neigeuses et tout spécialement au niveau des stations de hautes altitudes et d'expositions fraîches. Les caractéristiques géologiques, tectoniques et édaphiques influencent considérablement les rapports écoulement-infiltration.

Le déficit hydrique s'installe à la fin du mois juin pour le MA de Béni Mellal et oriental et fin juillet pour les autres régions. Ce déficit est moins prononcé au niveau du MA d'Ifrane relativement aux autres régions. L'étude de la période d'occurrence et de l'intensité du déficit hydrique permet de préciser la durée et la ou les périodes d'occurrence de la saison de croissance des peuplements forestiers par région. L'altitude, paramètre topo climatique et intégrateur des conditions pluvio-thermiques, influence significativement les paramètres du bilan hydrique.

L'utilisation d'indices bioclimatiques, à partir des paramètres du bilan hydrique, permet de faire une caractérisation climatique et des potentialités bioclimatiques de chaque station étudiée. Ces résultats sont à confronter avec les approches de caractérisation classiques.

La revue bibliographique sur le changement climatique a montré qu'au Maroc, toutes les études et modèles de projection des futurs changements climatiques au cours du XXI siècle concourent vers une augmentation des températures et tout spécialement les températures moyennes maximales en été, du nombre de journées sèches et des journées d'été de 2 à 4 semaines avec accentuation du stress hydrique estival. Ces mêmes scénarios prévoient une augmentation plus atténuée de la température au cours des autres saisons avec une réduction des risques de gelées tardives au printemps.

Les peuplements forestiers marocains, vivants en permanence sous un stress hydrique estival et ayant développé une grande aptitude d'adaptation phénologique, seraient en mesure de compenser la perte dans la saison de croissance du début d'été par une précocité de la reprise de végétation au cours du printemps, pourvu que leur besoin en froid hivernal soit satisfait et que le risque de gelées tardives au printemps soit limité.

Le Maroc étant un pays chaud (demande climatique en eau largement supérieure aux apports pluviométriques) est soumis au risque de stress en matière de disponibilité hydrique et sachant que le Moyen Atlas a de tout temps été considéré comme son château d'eau, il est fort urgent de désigner les peuplements forestiers de cette chaîne pour la genèse et la régénération des ressources en eau stratégique (nappes souterraines) et l'amélioration de la qualité des eaux produites. Ce changement dans la priorité d'affectation des peuplements devra s'accompagner avec des changements dans la manière de gestion et de culture de ces peuplements. Aussi, des peuplements mélangés avec développement des espèces compagnes et une sélection basée sur la capacité d'adaptation au changement climatique devront avoir la priorité sur l'aspect de production primaire (bois).

Le parcours permanent dans les forêts Marocaines, [notamment dans le Moyen Atlas](#) entraîne un tassement des sols (amplifié en période pluvieuse) ce qui se solde par une réduction de la quantité d'eau infiltrée et par conséquent réduit la réserve en eau du sol. Aussi, nos peuplements vivent déjà en situation de réduction simulée des précipitations. L'anthropisation qui se solde par des changements floristiques, des changements de la composition et de la structure des peuplements et par une modification du rapport ruissellement/infiltration devra baisser d'ampleur, d'intensité et d'étendue spatiale faute de quoi l'avenir de nos peuplements sera certainement moins heureux qu'on l'aurait espéré ou que la capacité d'adaptation phénologique et évolutive de nos espèces ne l'aurait permis (comme c'était le cas durant les dernières épisodes de glaciations).

A la lumière de tout ce qui précède et des connaissances acquises sur le phénomène du changement de l'évolution du couvert forestier des écosystèmes de la Cédraie du Moyen Atlas, en liaison avec un ensemble de facteurs du milieu dont le climat, nous recommandons les points suivants :

LES RECOMMANDATIONS D'ORDRE D'AMENAGEMENT FORESTIER :

- 1) **Le suivi du couvert forestier** est une analyse spatiale du 1^{er} ordre. Nous recommandons donc au Département des Eaux et Forêts en charge d'étude pareil au Maroc de recourir à l'approche spatialement explicite (wall-to-wall ou par échantillonnage) pour mieux apprécier le suivi des affectations des terres ;
- 2) Nous recommandons à ce que toute la **Cédraie du Moyen Atlas Central y compris de celle du Moyen Atlas de Béni Mellal couvrant la Réserve de Biosphère de la Cédraie d'Atlas (RBCA) soit considérée et classée dans une zone à part entière, dite « zone à protection intégrale »** où toute activité humaine à caractère de déséquilibre écologique et socio-économique serait interdite.

Au niveau de cette zone à protection intégrale : (i) instaurer un protocole d'accord de protection avec la population (système de compensation des droits d'usage, système de rachat de ces droits, système d'échange foncier...), (ii) élaborer l'état des lieux et le programme d'intervention, (iii) mettre en place un observatoire et (iv) approfondir la recherche scientifique.

Alors qu'au niveau de la Cédraie du Moyen Atlas oriental, nous proposons à ce que ces écosystèmes soient traités en futaie régulière avec seulement trois groupes d'aménagement à savoir : Groupe de régénération naturelle avec installation de la clôture, Groupe de régénération assistée et Groupe de régénération artificielle par plantation.

Dans les zones couvertes par les feuillus naturels (Chêne vert, chêne liège, Eucalyptus,...), nous proposons la création seulement de trois groupes d'Aménagement à savoir : Groupe d'amélioration afin de répondre en partie la demande croissante en bois de feu de la population par des actions de dépressage, Groupe de régénération par plantation des plants élevés en pépinière de préférence localement et Groupe de Protection dans les zones accidentées avec combinaison du traitement mécanique et biologique).

Au niveau des résineux naturels (Pin d'Alep, pin maritime, genévriers...), nous recommandons un traitement en futaie régulière avec un seul Groupe dit « Groupe de protection et conservation de la biodiversité ».

Dans les peuplements artificiels (résineux), une périodicité de 40 ans est nécessaire pour le renouvellement des écosystèmes.

Autour des Douars où on a une forte demande en unité fourragère (UF), on propose des actions d'Amélioration Sylvo-Pastorale (**ASP**) dans le but de pallier le déficit fourrager entraînant le déséquilibre écologique par le surpâturage.

LES RECOMMANDATIONS LIEES AUX MESURES D'ACCOMPAGNEMENT :

Mustapha NAGGAR disait dans son ouvrage « La question forestière au Maroc et enjeux de gouvernance territoriale » **publié en 2017**, nous citons « *La gouvernance constitue un thème d'actualité qui englobe des questions de pouvoir, de relations entre les acteurs et de reddition de comptes. Une bonne gouvernance suppose donc l'existence d'une représentation locale et territoriale légitimement responsable, ainsi que des domaines de prise de décision spécifiques. Les processus démocratiques et politiques de décentralisation engagés, constituent une plate-forme favorable à la bonne gouvernance des territoires forestiers* »

En allant dans ce sens, et pour pallier les menaces pesant sur les ressources forestières en rapport avec l'exercice des droits d'usage, il est à noter, que faute de mieux, la plupart des populations se rabattent sur la forêt pour tirer un minimum de subsistance en bois de feu pour cuisson et le chauffage et la pratique pour un élevage extensif basé sur la gratuité d'accès aux ressources pastorales des forêts. Par contre, le détournement de ces droits d'usage à des fins commerciales et spéculatives reste de mise dans un système d'économie de rente qui ne peut que nuire à la durabilité des ressources forestières. A ce titre l'exigence de faire **évoluer les textes législatifs** régissant les droits d'usage dans le sens d'un transfert progressif aux populations locales organisées reste une nécessité.

C'est dans ce cadre d'ailleurs que l'initiative entreprise au Maroc pour le rachat temporaire des droits d'usage par l'adoption du mécanisme réglementaire de gestion et de compensation des mises en défens forestières par l'octroi d'une subvention financière de 250 dh/ha/an de mise en défens dans le cadre d'aménagement concerté des espaces forestiers, s'est montré concluante. Cependant, nous proposons à ce qu'il ait une **revalorisation des dites compensations** de mises à défens actuellement fixées à 250 Dh/ha/an. Egalement, développer le **système de partenariat** engagé avec les coopératives forestières selon un processus de contractualisation qui prend son chemin dans la perspective de faire bénéficier les usagers des ressources ligneuses et non ligneuses offertes par la forêt.

Ces mesures passent tout d'abord comme l'indique ci-haut par l'organisation des dites populations en association par parc pastoral, et coopérative forestière, ...

Pour garantir la réussite de ces actions sur le terrain, tous les départements qu'ils soient liés directement ou indirectement doivent être impliqués dans ce processus dès la conception des projets d'aménagement ou projets de développement local jusqu'à leur finalisation, et qui doit s'étendre jusqu'au niveau suivi et évaluation.

L'avis des bénéficiaires (les populations locales) doit être pris en compte afin de garantir une meilleure utilisation des espaces ainsi que leur sauvegarde dans le temps et dans l'espace.

Proposer des actions d'auto-développement dans les péri-forestiers tout en mettant l'accent sur la nécessité de renforcement des capacités des populations locales et des partenaires concernés de manière à concilier l'objectif de la conservation des ressources forestières et le développement socio-économique local.

En résumé, les principales options de gestion concertée des ressources forestières doivent se reposer sur les orientations ci-après :

- a) **Promotion de la filière de bois d'œuvre et petits bois** : La cédraie marocaine représente la principale source de production du bois d'œuvre. Le cèdre participe à hauteur de 80% dans la production marocaine du bois d'œuvre. L'étude de la filière du bois d'œuvre du cèdre souvent réalisée dans les études d'aménagement forestiers « volet socio-économie » met en évidence la place qu'occupe cette production dans l'économie forestière nationale. Elle permet de valoriser un produit de diamètre assez important mais laisse échapper la valeur ajoutée des petits bois qui peuvent être transformés par l'Artisanat en articles de décoration ou d'utilisation domestique, permettant de générer des ressources alternatives et de jouer, de surcroît, un rôle socio-économique fort appréciable en milieu rural. La marqueterie dans la ville d'Azrou (Moyen Atlas central) est un exemple qui témoigne fort bien du rôle important joué par la valorisation des petits bois et la conservation de la valeur ajoutée au profit de la population locale. Elle permet d'assurer, non seulement, l'amélioration du revenu de l'artisan mais aussi d'encourager à plus d'investissements et de créativité artistique.
- b) **Economie de bois de feu** : Globalement, les prélèvements en bois de feu au niveau de la cédraie dépassent de trois fois la possibilité productive de ces forêts. Ce phénomène étant particulièrement sensible en zones montagneuses où les populations plus enclavées et où le froid et la neige sévissent sur une période de 4 mois en moyenne par an. Le chauffage à lui seul, consomme plus de 60% des besoins des ménages en bois de feu. Dans ces zones de montagne soumises à la rigueur du froid, les prélèvements par ménage, s'élèvent à près de 12 tonnes de bois de feu par an. Alors que la forte consommation actuelle en bois de feu observée qui est de **5,6 T/ménage**, ne peut être soutenue durablement, puisque les prévisions d'augmentation de la population laissent supposer une augmentation de près de 43% de la consommation à l'horizon 2030 pour le cas de la région du Moyen Atlas (**Naggar M., 2017**).

Dans cette configuration, et pour remédier la problématique du bois-énergie, nous proposons l'adoption d'une approche stratégique qui s'articule autour de trois axes principaux suivants :

- **Une parfaite coordination entre les différents Départements, concernés**, notamment le Département des Eaux et Forêts, le Département de l'Energie et le des Mines et le Département de l'Intérieur. Cette coordination implique également les associations des professions consommatrices de bois-énergie ;
- **L'intensification de l'offre de bois énergie**, à travers les opérations de gestion, de production, d'aménagement et d'exploitation des ressources forestières, afin de

mieux répondre à la demande des consommateurs, notamment dans le monde rural ;

- **La recherche et la diffusion de technologies d'économie de bois-énergie** aussi bien en milieu rural qu'en milieu urbain, tout en encourageant les énergies de substitution comme le gaz butane, le bio-gaz, l'électricité et l'énergie solaire.

c) Organisation des pratiques pastorales : Comme nous l'avons signalé plus haut, la forêt représente un espace pastoral typique des zones montagneuses du Moyen Atlas. Cet espace pastoral est utilisé à longueur de l'année par des petits ruminants (ovins et caprins) qui s'élève à près de 2,6 millions de têtes (**Nagggar M., 2017**). Les principaux indicateurs du dysfonctionnement sylvo-pastoral de la cédraie du Moyen Atlas, se manifestent à travers : le surpâturage, la généralisation des pratiques d'écimage des peuplements forestiers, la désorganisation du système traditionnel d'exploitation de l'espace pastoral qui reposait dans le passé sur la transhumance, la faiblesse de la productivité du système d'élevage et l'association des troupeaux avec des non usagers.

Dans une perspective de réhabilitation de l'espace pastoral associé à la cédraie, nous recommandons à ce que les mesures à entreprendre portent sur :

- **L'implication à la base des éleveurs usagers organisés** en groupement pastoral ;
- **L'encouragement rapide au déstockage des parcours forestiers** en conditions normales et de sécheresse ;
- **L'amélioration de l'infrastructure des circuits de commercialisation** pour permettre un écoulement à des prix équitables en année de sécheresse. Pour ce faire, l'idée de création des abattoirs communaux dans les zones forestières et péri-forestières est à promouvoir.

d) Filière émergentes des produits forestiers non ligneux : Les forêts du Moyen Atlas, recèlent une richesse floristique de plus de 1500 espèces (**Nagggar M., 2017**), les principaux produits non ligneux sont : le lichen, les fleurs, les champignons, les plantes aromatiques et médicinales, le miel, le fourrage et les produits de chasse et de pêche. Ces filières n'ont pas toujours retenu l'attention qu'elle mérite malgré leur apport qui, parfois dépasse celui des produits ligneux. Les différents produits suscités, constituent en effet des filières émergentes susceptibles de procurer des revenus substantiels à même d'atténuer la pression humaine et pastorale sur les formations forestières de base.

Pour la mise en valeur de ces filières, les efforts doivent consister principalement en :

- **L'information et la formation des populations** sur l'intérêt économique et social de ces filières ;
- **L'organisation des populations en association professionnelles** pour tenir une meilleure valeur ajoutée ;
- **La création d'un système d'incitation** pour la promotion de ces filières ;
- **La labellisation des différentes productions non ligneuses** en vue d'encourager leur commercialisation locale voire même, leur exportation pour des débouchés potentiels.

- e) **Biodiversité et Ecotourisme au service du développement humain des communautés rurales du Moyen Atlas** : L'écotourisme est généralement associé au tourisme de montagne, là où il puise ses premières expériences. Il se base essentiellement sur la découverte de la nature, l'échange, le partage de cultures et de traditions comme c'est le cas des autres formes de tourisme : Ecotourisme, tourisme vert, tourisme durable, ...

Dans ce sens, le **Département du Tourisme a élaboré une stratégie de développement d'écotourisme** qui sert aujourd'hui comme référence conceptuelle et plan stratégique d'action à moyen terme et se focalise sur le concept du « **Pays d'Accueil Touristique (PAT)** ». Le concept PAT est fondé sur un ensemble de projets portant sur la mise en valeur des richesses naturelles et l'aménagement d'infrastructure d'accueil et d'animation touristique en partenariat avec les différents acteurs concernés.

La région du Moyen Atlas a bénéficié d'un intérêt particulier du fait de ses nombreuses potentialités touristiques, sa position géographique centrale et son éloignement des espaces de tourisme de masse. Elle fait actuellement l'objet de concrétisation d'un PAT dans le cadre du programme de tourisme rural. Ainsi, **des circuits thématiques avec des spécificités écologiques et des sites touristiques de qualité ont été identifiés** dans le cadre de la promotion du PAT Moyen Atlas. **Ces circuits sont** (source : Département du Tourisme) :

- **De Volubilis à la vallée des Roches** : En plus de la découverte du site archéologique de Volubilis et des médinas de Meknès et Fès, anciennes capitales des Dynasties Idrisside et Alaouite, qui ont marqué l'histoire du Maroc, ce circuit programme des activités culturelles et d'écotourisme permettant aux visiteurs d'explorer les magnifiques cédraies d'Azrou-Ifrane à la marche et au VTT qu'il va falloir améliorer davantage ;
- **Découverte du Moyen Atlas Oriental** : Le circuit « Découverte du Moyen Atlas Oriental », est particulièrement orienté vers un territoire qui est loin de toute forme de tourisme national ou international. Les paysages montagneux, les forêts et surtout les nombreux villages offrent des attractions touristiques qui vont enrichir considérablement les randonnées pédestres et à dos de mulets. Les visiteurs sont amenés à entrer en contact avec les populations berbères et connaître leur mode de vie, leurs arts et traditions populaires, le patrimoine architectural local et découvrir le site paléontologique des traces de dinosaures à Immouzzar Marmoucha, (Boulemane). Le circuit se termine dans la ville de Fès, classée patrimoine de l'humanité.
- **Gran Trek dans la Cédraie du Moyen Atlas central** : Ce circuit, commence à Azrou pour se terminer dans le pays de Moha Ou Hammou Zayani, personnage légendaire dans la zone de Khénifra. En randonnée pédestre et à dos de mules, les visiteurs découvriront les vastes forêts de cèdre et de chênes verts, les plateaux de pâturage et d'autres traditions culturelles et monuments historiques. Ils apprécieront également la gastronomie berbère avec alternance entre logement chez l'habitant et bivouacs, une manière de découvrir le mode de vie des populations rurales berbères.
- **Exploration en VTT de la tribu berbère Ait Mguild** : Ce circuit offre l'occasion de vivre une expérience riche en activité physique et sportive mais surtout en découverte d'un territoire montagnard avec ses reliefs, son patrimoine forestier et

culturel ainsi que la rencontre avec des hommes et des femmes profondément ancrés localement. C'est aussi un espace d'échange interculturel et d'apprentissage partagé entre les voyageurs et leurs hôtes.

L'écotourisme se dégage comme une activité économique apte à fournir des emplois en zones de montagne. La mise en place de tout un arsenal d'initiatives en matière d'aménagement de gîtes, de balisage et d'aménagement de sentiers, de formation d'accompagnateurs et de promotion des activités écotouristiques en n'ont un parfait exemple. L'écotourisme peut contribuer également à la préservation des ressources naturelles, c'est dans ce cadre d'ailleurs que le Département du Tourisme en partenariat avec le Département des Eaux et Forêts sont en cours d'élaborer un plan d'action conjoint pour la promotion du tourisme durable au niveau des aires protégées et les PAT concernés. La démarche préconisée favorise l'implication de tous les acteurs concernés en donnant la priorité aux populations locales dans le développement des produits répondant aux principes du tourisme durable énoncés par l'Organisation Mondiale du Tourisme (2004).

Nous recommandons à ce que les principaux axes d'intervention de ce plan soient respectés et mises en œuvre et qui s'articulent autour :

- **Des actions écotouristiques de nature à favoriser** la conservation des ressources naturelles,
- **Le renforcement des capacités des acteurs** concernés par ces activités,
- **La mise en place d'une stratégie** de promotion des aires protégées,
- **L'adoption d'une charte du tourisme durable** aux niveaux national et local et,
- **L'instauration d'un système de certification** (norme et charte de qualité).

Ce plan s'insère parfaitement dans le cadre de la mise en œuvre de la Stratégie Nationale du Tourisme Rural visant à asseoir un tourisme durable comme activité économique de pointe dans les régions rurales, afin de générer de nouveaux emplois et revenus, de contribuer à la création de nouvelles entreprises et d'encourager l'investissement dans l'infrastructure touristique.

- f) **Gestion intégrée de l'eau et conservation des sols dans le Moyen Atlas qualifié de « Château du Maroc »** : Le Maroc est en situation de « stress hydrique ». Les prévisions dont pressentir une véritable pénurie d'eau vers 2025 (**Naggar M., 2017**). Il est donc essentiel aujourd'hui de ménager au maximum cette ressource rare, au niveau national. **Les trois premières propositions du Schéma National d'aménagement du Territoire traitent de ce sujet et nous nous inscrivons dans le même sens d'idée dans le cadre de cette étude.** Elles proposent :

- o « De responsabiliser les acteurs » de la gestion de l'eau,
- o La « prise en charge financière des coûts par les usagers », et
- o La « gestion des châteaux d'eau » une véritable des caractéristiques majeures de la géographie du pays consiste en l'existence d'un véritable « pays des sources » en l'occurrence le Moyen Atlas.

Pour bien gérer ce château d'eau d'importance nationale, la stratégie doit combiner deux aspects et allant dans le même sens que ceux dictés par le Schéma National d'aménagement du Territoire :

- **Maximiser les réserves** en réduisant au minimum le ruissellement et la déperdition d'eau : la position du massif et sa nature calcaire sont des avantages naturels durables, et ne peuvent pas être altérés par l'action de l'homme. Le maintien d'un couvert végétal dense est une autre donnée importante, car cette couverture végétale ralentit évidemment le ruissellement et favorise l'infiltration. En allant dans ce sens, il faut noter que la restauration des pâturages et la régénération de la forêt dépendent de l'action de l'homme. Il est donc temps d'introduire des stratégies et des pratiques moins dévastatrices que celles qui se sont établies, sous l'empire des besoins, au cours des dernières décennies, par conséquent la reforestation ou tout au moins la conservation du couvert végétal est devenu un objectif prioritaire et dans toutes les parties des massifs du Moyen Atlas.
- **Réduire l'érosion au minimum afin de préserver les investissements fait en aval (Barrage)** et de maintenir sur place une ressource rare dans la montagne, la terre végétale.

RECOMMANDATIONS D'ORDRE SCIENTIFIQUE :

1. **L'exploration des inadéquations entre les cartes forestières multi-dates** et leurs causes est une étude à part entière et dont les termes de référence, du contrat, ne la prévoient pas dans les études d'inventaire forestier national. Nous recommandons au Département des Eaux et Forêts en charge de ces études d'en tenir compte cet aspect tout en faisant des marchés séparés à part entière ;
2. **Une étude d'impact approfondie du changement climatique sur la Cédraie du Moyen Atlas (MA)** tout en priorisant l'étude dendroclimatologique, étant donné que cette dernière étudie en profondeur la croissance des végétaux en étudiant la relation cerne-climat. Cela va permettre de retracer l'histoire de la Cédraie dans tout le MA en ce qui concerne les événements caractéristiques (les années caractéristiques) qu'elle a pu subir au cours de son évolution et de fournir des informations nécessaires à la compréhension sur les changements climatiques actuels et Futurs ;
3. **Une étude de localisation des aires refuges de la période glaciale du cèdre de l'atlas dans le Moyen Atlas** peut être préconisée en utilisant la méthode du carbone quatorze (¹⁴C) : L'identification de ces refuges glaciaires pour le cèdre de l'Atlas constituerait un résultat important vis-à-vis de l'impact du changement climatique prévu ;
4. **L'étude bibliographique sur les études d'aménagement** dans la région du Moyen Atlas a montré que la nappe à romarin est assez spécifique ; consacrée à la valorisation des nappes de romarin n'ont été entamées que récemment par le Département des Eaux et Forêts au Maroc. De ce fait, lors des prochaines révisions d'aménagement dans le Moyen Atlas, une évaluation des techniques adoptées s'avère nécessaire pour ajuster, vérifier et adapter la terminologie et les hypothèses retenues ;

5. **Dans le Moyen Atlas actuel**, en matière de production en bois-énergie, il importe de suivre l'évolution de la superficie de chaque type de bois-énergie, le volume de bois par essence ou groupe d'essences, ainsi que la distribution géographique de ces volumes et les prélèvements qui y sont faits. Par **conséquent, l'actualisation de l'ensemble de ces données**, conjuguées aux besoins de consommation (structure et composition), permettra d'élaborer un bilan offre/demande et les perspectives du potentiel de l'utilisation des ressources devant la pression croissante de la population sur ces dernières ;
6. **Une étude pédologique couplée à une étude dendrochronologique** serait utile avec un nombre conséquent des placettes d'inventaire par site des Cédraies du Moyen Atlas tout en laissant une marge de distance entre ces placettes, puis identifier pour chaque placette le gradient sol ;
7. **La connaissance des mécanismes écologiques, socio-économiques**, et les relations entre eux est fondamentale pour l'exploitation rationnelle, la conservation des ressources et la biodiversité du Moyen Atlas. En allant dans ce sens, nous proposons qu'une étude doit être faite en mettant un accent particulier sur l'aspect socio-économique, et de ce fait, une enquête statistique détaillée doit être menée dans tout le Moyen Atlas en termes de démographie et du profil de la population riveraine.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Angot A. (1906).** Etude sur le régime pluviométrique de la méditerranée. *C.R. Congr. Soc. Sav.*: 120-134.
- Gorcinski W. 1920.** Sur le calcul du degré du continentalisme et son application dans la climatologie. *Geogr. Ann.*, 2 : 324-331.
- De Martone E. 1926.** Aréismes et indice d'aridité. *Compt. Rend. Séances Acad. Sci.* 181 : 1395-1398.
- Emberger L. et Maire R. 1934.** Tableau phytogéographique du Maroc, 1ère partie, *Mém. Sc. Nat. Maroc*, 38, 187 p.
- Thorntwaite, C.W., 1948.** An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38: 55-94.
- Boudy 1952.** Guide du forestier en Afrique du Nord. La Maison rustique, 505 pages.
- Emberger L. (1955).** Une classification biogéographique des climats. *Rec. Trav. Lab. Bot. Zool. Fac. Sc de Montpellier* 7: 3-43.
- Pardé J. 1959.** Retour sur l'indice C.V.P. de Paterson. *Revue Forestière Française*, 1, 50-53.
- Sauvage Ch . 1963.** Etages bioclimatiques. Atlas du Maroc, *sect. II, pl. 6 b. not. expl.* 44 p.
- LEPOUTRE B. et MARTIN J., (1967).** Le causse moyen atlasique. Les cahiers de la recherche agronomique, N°24 : Congrès de pédologie méditerranéenne 1966-Madrid. *Excursion au Maroc. Tl, 2ème partie : description des régions traversées, chap. IV, pp. 207-226.*
- Daget P. 1968.** Quelques remarques sur le degré de continentalité des climats de la région holarctique. *C.E.P.E. - C.N.R.S., Montpellier*, 12 p.
- Lecompte M.E. 1969.** La végétation du Moyen Atlas central, esquisse phytoécologique et carte des séries, la végétation au 1 : 200 000. *Trav. Inst. Sc. Chérif. Série bot. et bio. vég.* 31. 34 p., 1 carte h.t.
- Delarozière-Bouillin O., 1971.** Evaluation des ressources hydrauliques : Utilisation comparée des formules de Thorntwaite, Turc mensuelle, Turc annuelle et Penman, pour le calcul de l'évapotranspiration réelle moyenne. Service géologique national France 71 SGN 173 HYD.
- Lecompte M. et Lepoutre B. 1975.** Bilan de l'eau et conditions d'existence de la cédraie dans le Moyen Atlas basaltique (Maroc). *Annales de la Recherche forestière au Maroc. Tome 15 pp : 145-283.*
- Falkenmark M. and Lindh G. 1976.** How can we cope with the water resources situation by the year 2015? *Ambio* 3. 114–22
- Pagney P. 1976.** Les climats de la terre. Editions Masson, Paris, 150 p.
- Daget P. 1977.** Le bioclimat méditerranéen : Caractères généraux et modes de caractérisation. *Vegetation*, 34, 1-20.
- Donadieu P. 1977.** Contribution à une synthèse bioclimatique et phytogéographique au Maroc. *Inst. agr. vétér. Hassan II*, 155 p. Rabat, Maroc.
- Landis, R. J.,& Koch, G. G. 1977 :** An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. *Biometrics*, 33, 363–374.
- Devaux J.P., Le Bourhis M. 1978.** La limite septentrionale du pin d'Alep en France. Etude dendroclimatique de l'impact des froids exceptionnels. *Biologie Ecologie méditerranéenne*, vol. V, n° 4 p. 133-158.
- FAO., 1981.** « Manuel d'inventaire forestier, Rome 1981 »
- Ducrey M. 1981.** Action des basses températures hivernales sur la photosynthèse du Cèdre et du Douglas. *Ann. Sci. Forest.*, 317-329.
- Finkelstein, D. 1981.** Influence des conditions d'alimentation hydrique sur le débourrement et la croissance de jeunes plants de cèdres (*Cedrus atlantica Manetti*). *Annales des Sciences Forestières*, 38, 513-530.

- Aussenac G. & Valette J.C. 1982.** Comportement hydrique estival de *Cedrus atlantica* Manetti, *Quercus ilex* L. et *Quercus pubescens* Wild et de divers pins dans le Mont Ventoux. *Ann. Sci. Forest.*, 39, 41-62.
- Calvet C., 1982.** Une diagnose de la végétation méditerranéenne basée sur le critère d'évapotranspiration. *Ecologia Mediterranea T. VIII Fasc. 1/2 pp 49-58*
- Aussenac G. & Finkelstein D. 1983.** Influence de la sécheresse sur la croissance et la photosynthèse du cèdre. *Ann. Sci. Forest.*, 40, 67-77.
- Du Merle P. 1983.** Phénologies comparées du chêne pubescent, du chêne vert et de *Tortrix viridina* L. (Lep., Tortricidae). Mise en évidence chez l'insecte de deux populations sympatriques adaptées chacune à l'un des chênes. *Acta Oecologica. Oecologia Applicata*, 4(1), 55-74.
- Lavagne A. 1983.** Premières résultats de l'étude phénologique entreprise sur la croissance, la vie végétative et la floraison de trois espèces remarquables de l'*Olea-Lentiscetum* de Port-Cros : *Olea europea* L., *Pistacia lentiscus* L. *Myrtus communis* L. *Trav. Sci. Parc nation. Port-Cros, Fr.*, 9 : 53-74.
- Aussenac G. Pardé J. 1985.** Forêts, climat et météores. *Revue Forestière Française*, XXXVII (n° sp.), 83-104.
- Seigue A., 1985.** La forêt circum-méditerranéenne et ses problèmes, éditions maison neuve et la rose, deuxième version, Paris, 215-221.
- Till C. 1985.** Recherches dendrochronologiques sur le Cèdre de l'Atlas au Maroc. Thèse Doctorat. *Univer. Cathol. Louvain, Belgique.*
- Carrega P., 1988.** L'évapotranspiration potentielle et réelle dans le Midi méditerranéen. Son originalité par rapport au reste de la France. *Méditerranée N° 4 pp 3-8.*
- Le Houérou H.N., 1989.** Classification éco-climatique des zones arides de l'Afrique du Nord. *Ecologia Mediterranea. XV (3/4) : 94-144.*
- Quézel P. 1989.** Mise en place des structures de végétation circum-méditerranéennes actuelles. - Pp. 16-32 in: W. I. Clawson (ed.). *Man and Biosphere Symposium, XVI International Grasslands Congress, Landscape ecology.* - Nice.
- Barbero M., Bonin G., Loisel R. et Quézel P. 1990.** Changes and disturbances of forest ecosystems caused by human activities in the western part of the Mediterranean basin. *Vegetation*, 87, 151-173.
- DEHEEGER J.C., GUERO M.C., HOULLIER F., PIGNARD G. 1990.** An integrated information system about french forest resources. *In: XIX IUFRO World Congress, Montreal, 5-11 Aug 1990.*
- Mokrim A. 1990.** Contribution à l'étude dendrochronologique du pin d'Alep naturel et de la variabilité pluviométrique au Maroc. Thèse Doctorat. *Univer. Cathol. Louvain, Belgique.*
- Primault B. 1990.** Détermination du début de la période de végétation par l'évolution de la température comparée à deux phases phénologiques. *Publications de l'Institut Suisse de Météorologie*, 48, 381-384.
- Acherar M. Rambal S. et Lepart J. 1991.** Evolution du potentiel hydrique foliaire et de la conductance stomatique de quatre chênes méditerranéens lors d'une période de dessèchement. *Annales des Sciences forestières*, 48, 561-573
- Agoumi. A, Naji. A et Rahib. H, 1991.** Changements climatiques : évolution régionale (Maroc). *Revue Marocaine de Génie Civil, numéro d'Avril 1995.*
- Michalet R. 1991.** Nouvelle synthèse bioclimatique des milieux méditerranéens. Application au Maroc septentrional. *Rev. Ecol. Alp., Grenoble, tome I, p. 60-80.*
- Barbero M., Loisel R. et Quézel P. 1992.** Biogeography, ecology and history of Mediterranean *Quercus ilex* ecosystems. *Vegetation* 99-100, 19-34.
- De Lillis M. et Fontanella A. 1992.** Comparative phenology and growth in different species of the Mediterranean maquis of central Italy. *Vegetation*, 99-100, 83-96.
- M'hirit O. 1993.** Biodiversité et conservation in situ au Maroc. Réunion du groupe "conservation in situ" de l'Asie, de l'Ouest et l'Afrique du Nord.

Barbero M. & Quézel P. 1995. Desertification, desertisation, aridification in the Mediterranean region and "global change". Pp. 549-569 in: D. Bellan, G. Bonin & C. Emig (eds.), *Functioning and dynamics of natural and perturbed ecosystems*.

IPCC 1995. Rapport d'évaluation sur les changements climatiques, *Vol I Août 1995*.

Le Houérou H.N., 1995. Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique : diversité biologiques, développement durable et désertification. In : Le Houérou H.N. (ed). Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique : diversité biologiques, développement durable et désertification. Montpellier : *CIHEAM, 1995. P. 1-396 (options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches ; n.10)*

Vivat A. 1995. Persistance des feuilles et bilan carboné d'un chêne méditerranéen (*Quercus ilex L.*) : Evolution le long d'un gradient climatique. Rapport de DEA Biologie de l'Evolution et Ecologie, Montpellier II, 24p.

Lambert R., 1996. Géographie du cycle de l'eau. Presses universitaires du Mirail 441p.

Le Houérou H.N., 1996. Climate change, drought and desertification. *J. of Arid Environments* n°34 pp 133-185.

Markham A. and Malcolm J. 1996. Biodiversity and wildlife: adaptation to climate change. Pages 384-401. In Smith, J., N. Bhatti, G. Menzhulin, R. Benioff, M. Campos, B. Jallow, and F. Rijsberman Eds. *Adaptation to climate change: assessment and issues*. Springer-Verlag, New York.

Colwell, R.N. 1997: *Manual of Photographic Interpretation*, American Society for Photogrammetry & Remote Sensing, 1997

Déqué M., Marquet P. & Iones R. G. 1998. Simulation of climate change over Europe using a global variable resolution general circulation model. *Clim. Dyn.* 14: 173-189.

Talon B., Carcaillet C. & Thinon M. 1998. Etudes pédoanthracologiques des variations de la limite supérieure des arbres au cours de l'Holocène dans les Alpes françaises. - *Géogr. Phys. Quatem.* 52: 195-208.

Canadell, J., Djema, A., López, B. et al. 1999. Structure and dynamics of the root system. *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests* (eds F.Rodá, J.Retana, C.A.Gracia and J.Bellot), pp. 47-59. *Springer-Verlag, Berlin*.

Price C., Michaelides S., Pashiardis S. & Alpert P. 1999. Long term changes in diurnal temperature range in Cyprus. *Atmos. Res.* 51: 85-98.

Rathgeber C., Guiot J., Roche P. & Tessier L. 1999 . Augmentation de productivité du chêne pubescent en région méditerranéenne française. *Ann. For. Sci.* 56: 211-219.

Bréda N., Granier A. et Aussenac G. 2000. Evolutions possibles des contraintes climatiques et conséquences pour la croissance des arbres. *Rev. For. Fr. LII - numéro spécial 2000*

Calder I.R. 2000. Forests and hydrological services: reconciling public and science perceptions. *Land Use and Water Resources Research* 2(2): 1-12.

FRA, 2000 : Evaluation des ressources forestières mondiales 2000 Rapport Principal Etude FAO forêts 140.

Hoff C. & Rambal S. 2000. Les écosystèmes forestiers méditerranéens face aux changements climatiques. Pp. 88-98 in : Mission Interministérielle de l'Effet de Serre & Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Impacts potentiels du changement climatique en France au XXIe siècle. - Paris.

Primault B. 2000. Essai d'application de modèles météorologiques au calcul du moment d'apparition de deux phases phénologiques. *Schweiz- Z. Forstwes.*, 151 (10), 385-397.

Quézel, P. 2000. Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. Paris.

Anonyme 2001. Programme d'Action National de Lutte Contre la Désertification. Ministère de l'Agriculture, du Développement rural et des Eaux et Forêts. Rabat (Maroc).136p.

- Bennani A., Buret J. et Senhaji F. 2001.** Communication Nationale Initiale à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatique. Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisation de l'Habitat et de l'Environnement. Maroc. Pp. 101.
- Differt J. 2001.** Phénologie des espèces arborées. Synthèse bibliographique. Analyse des données du Réseau National de Suivi à long terme des Ecosystèmes Forestiers (*RENECOFOR*). *ENGREF - INRA, Nancy*.
- Niinemets U. 2001.** Global-scale climatic controls of leaf dry mass per area, density, and thickness in trees and shrubs. *Ecology*, 82, 453-469.
- Ripert C., Vennetier M., Blanc L., Brochiéro F., Chandiox O., Chapelle B., Estève R., Gadiri N., Hervé J.C., Manlay R., Nassif Y., Rathgeber C. 2001.** Ecologie et croissance du pin d'Alep en France. Cemagref, Aix en Provence, 38 p.
- Sayad A., Chakiri S., Martin C., Bejjaji Z., Echarfaoui H., 2001.** Effet des conditions climatiques sur le niveau du lac Sidi Ali (Moyen Atlas maroc) *Physio-Géo* V. 5 pp 1-16.
- WWF, 2001.** Nouvelle stratégie de conservation. Italie, 15 p.
- Hulme M., New M., Lister D., Makin I. 2002.** A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Clim. Res.* Vol. 21: 1–25.
- Bréda N., Lefèvre Y., Badeau V., 2002.** Réservoir en eau des sols forestiers : spécificité et difficultés d'évaluation. *La Houille Blanche* n° 3 pp 24-32
- Ragab R., Prudhomme C. 2002.** Climate Change and Water Resources Management in Arid and Semi-arid Regions: Prospective and Challenges for the 21st Century. *Biosystems Engineering* 81 (1), 3-34.
- Rathgeber C. 2002.** Impact des changements climatiques et de l'augmentation du taux de CO₂ atmosphérique sur la productivité des écosystèmes forestiers : exemple du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Provence calcaire (France). *PHD, Université d'Aix - Marseille III, FRANCE, Marseille, 312 p.*
- Sperry J.S., Hacke U.G., Oren R., Comstock J.P. 2002.** Water deficits and hydraulic limits to leaf water supply. *Plant, Cell and Environment*, 25, 251-263.
- WTO – World Tourism Organization 2002.** Tourism 2020 Vision, Vol. 7, Global Forecast and profiles of market segments. Madrid, Spain. 139 pp.
- Wullschleger S.D., Tschaplinski T.J., Norby R.J. 2002.** Plant water relations at elevated CO₂ - implications for water-limited environments. *Plant Cell and Environment*, 25, 319-331.
- Aafi A., 2003c.** Ecosystèmes naturels des zones semi-arides, arides et hyper-arides du Maroc. *Enda Maghreb*, 78 p.
- Agoumi A. 2003.** Vulnerability of North African Countries to Climatic Changes : Adaptation and Implementation Strategies for Climatic Change. *Climate Change Knowledge Network*. [http : //www.cckn.net/compedium/north-africa.asp](http://www.cckn.net/compedium/north-africa.asp).
- Quézel P. & Médail F. 2003.** Conséquences écologiques possibles des changements climatiques sur la flore et la végétation du bassin méditerranéen. *Bocconeia* 16 (1) – 2003.
- Oki, T., Agata, Y., Kanae, S., Saruhashi, T. & Musiake, K., 2003.** Global water resources assessment under climatic change in 2050 using TRIP. *IAHS Publ.* 280, 124–133.
- Pardos M., Climent J., G.L. & Pardos J.A. 2003.** Shoot growth components and flowering phenology in grafted *Pinus halepensis* Mill. *Trees-Structure and Function*, vol. 17, n° 5, p. 442-450.
- Parmesan C. & Yohe G. 2003.** A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421(6918): 37–42.
- Vila B. et Vennetier M. 2003.** Impact du changement climatique sur le déplacement d'une limite bioclimatique en région méditerranéenne. *Cemagref, IMEP, ECOFOR, Aix en Provence, 141 p.*

Castro J., R. Zamora J.A. Hódar J.M. Gómez L., Aparicio G. 2004. Benefits of Using Shrubs as Nurse Plants for Reforestation in Mediterranean Mountains: A 4-Year Study. *Restoration Ecology*, Vol. 12 No. 3.

Margat, J. & Treyer, S., 2004. L'eau des méditerranéens : situations et perspectives. *MAP Technical Report Series 158*, 366 pp.

Oudin L., 2004. Recherche d'un model d'évapotranspiration potentielle pertinent comme entrée d'un model Plui-Débit global. Thèse doctorat ENGREF.

Salmon Y. 2004. Déphasages phénologiques chez le chêne vert (*Quercus ilex* L.) et conséquences fonctionnelles. DEA. Ecole Nationale Sup. Agronomique – Montpellier II, France

Xoplaki, E., González-Rouco, J.F., Luterbacher, J. & Wanner, H., 2004. Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics and trends. *Clim. Dyn.* 23, 63–78.

Giannakopoulos C., Bindi M., Moriondo M., Le Sager P., Tin T., 2005. Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global temperature rise. Rapport préparé pour le WWF. Observatoire national d'Athènes, Grèce.

Lebourgeois, F. and Piedallu, C., 2005. Appréhender le niveau de sécheresse dans le cadre des études stationnelles et de la gestion forestière. Notions d'indices bioclimatiques. *Revue Forestière Française*, 57(3): 331-356.

Lugina, K.M., Groisman, P.Y., Vinnikov, K.Y., Koknaeva, V.V. & Speranskaya, N.A., 2005. Monthly surface air temperature time series area-averaged over the 30-degree latitudinal belts of the globe, 1881-2004. In: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information. Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, Oak Ridge, TN. doi: 10.3334/CDIAC/cli.003.

Milly, P.C.D., Dunne, K.A. & Vecchia, A.V., 2005. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature* 438, 347–350.

Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., Anctil, F. & Loumagne, C., 2005. Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall–runoff model? Part 2 – towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall–runoff modelling. *J. Hydrol.* 303, 290–306.

Rathgeber C.B.K. ; Misson L. ; Nicault A. ; Guiot J. 2005. Bioclimatic model of tree radial growth: application to the French Mediterranean Aleppo pine forests. *Trees-Structure and Function*, vol. 19, n° 2, p. 162-176.

RONDEUX J., LECOMTE H. 2005. L'inventaire permanent des ressources forestières : observatoire et base d'un tableau de bord de la Forêt wallonne. Wallonie. 83, pp. 61 – 67.

Smith, T.M. & Reynolds, R.W., 2005. A global merged land and sea surface temperature reconstruction based on historical observations (1880–1997). *J. Clim.* 18, 2021–2036.

Thuiller W., Lavorel S., Araujo M.B., Sykes M.T., and Prentice I.C. 2005. Climate change threats to plant diversity in Europe. *PNAS*, 102, 23: 8245-8250.

Tinner W., Conedera M., Ammann B. et Lotter A.F., 2005. Fire ecology north and south of the Alps since the last ice age. *The Holocene*, 15, 1214-1226.

Benzyane Mohamed et Mhirit Omar, 2006 : Le cèdre de l'atlas mémoire du temps. Editions Mardaga pour l'Europe et le Canada, 74 p

Brohan, P., Kennedy J.J., Harris, I., Tett, S.F.B. & Jones, P.D., 2006. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new data set from 1850. *J. Geophys. Res.* 111, D12106. 35 pp.

Desclée et al, 2006: Forest change detection by statistical object-based method, *Remote Sensing of Environment* 102 (2006) 1–11 (accessible sur la page www.sciencedirect.com)

Garrido, A. & Iglesias, A., 2006. Groundwater's role in managing water scarcity in the Mediterranean Region. In: *International Symposium on Groundwater Sustainability (ISGWAS)*. 113–138

GIEC 2006 : Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre (*volume 3 et volume 4*)

HOUET T 2006 : "Occupation des sols et gestion de l'eau : Modélisation prospective en paysage agricole fragmenté (Application au SAGE du Blavet)", Thèse de doctorat d'université, Université de Rennes 2, 2006, 370p.

Lebougeois et al. 2006. « Typologie des stations ». Colloque ECOFOR 21-22 novembre 2006.

Ohlemüller R., Gritti E.S, Sykes M.T, Thomas CD., 2006. Towards European climate risk surfaces: the extent and distribution of analogous and non-analogous climates 1931-2100. *Global Ecology and Biogeography*, 15.

Ouahmane L., R. Duponnois Hafidi M. Kisa M. Boumezouch A. Thioulouse J. and Planchette C. 2006. Some Mediterranean plant species (*Lavandula* spp. and *Thymus saturoioides*) act as potential 'plant nurses' for the early growth of *Cupressus atlantica*. *Plant Ecology* (2006). Springer

Paula S, Pausas J.G. 2006. Leaf traits and resprouting ability in the Mediterranean basin. *Functional Ecology*, 20, 941-947.

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

Oubalkace, M., 2007. Stratégie Méditerranéenne pour le Développement Durable. Suivi des progrès dans le domaine de l'eau et promotion de politiques de gestion de la demande. Rapport National du Maroc pour la Commission Méditerranéenne du Développement Durable. 121 pp.

Piedallu, C., Lebourgeois F., Gégout JC., Seynave I. & Vepierre R. 2007. Développement, spatialisation et validation d'indices bioclimatiques. <hal-00835912>

Baudran C., Blanchard P., Loyer S., 2008. Caractérisation et évolution du climat : Quelles conséquences pour la végétation forestière ? ONF – CRPF Pays de la Loire juin 2008

Fady B., Lefèvre F., Vendramin G.G., Ambert A., Régnier C., Bariteau M., 2008. Genetic consequences of past climate and human impact on eastern Mediterranean *Cedrus libani* forests. Implications for their conservation. *Conservation Genetics*, 9(1), 85-95.

Giorgi, F. & Lionello, P., 2008. Climate change projections for the Mediterranean region. *Global Planet. Change* 63, 90–104. Current state of Mediterranean water resources and future trends under climatic and anthropogenic changes

Jacq V. 2008. Les modèles de prévision climatique en région méditerranéenne, Forêt méditerranéenne, tome XXIX, n°2, pp. 107-112

Margat, J., 2008. Exploitations et utilisations des eaux souterraines dans le monde. Ed. UNESCO and BRGM, Paris. 52 pp.

Mokrim A., 2008. Etude bioclimatologique et dendrochronologique. Etude des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas (SPEF, Ifrane). Convention FAO/UTF/MOR/028/MOR. Appui à la mise en œuvre du programme forestier national ». FAO, Rome.

Regato P. 2008. Adapting to Global Change: Mediterranean Forests. Malaga, Spain: IUCN Centre for Mediterranean cooperation.

Shen, Y., Oki, T., Utsumi, N., Kanae, S. & Hanasaki, N., 2008. Projection of future world water resources under SRES scenarios: water withdrawal. *Hydrol. Sc. J.* 53(1), 11–33.

Vallejo V.R. 2008. Rural landscape and water: the role of forests. Fundación CEAM, Expo Zaragoza

Zine Elabidine A., 2008. Etude écophysiological du dépérissement du cèdre de l'Atlas. Etude des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas (SPEF, Ifrane). Convention FAO/UTF/MOR/028/MOR. Appui à la mise en œuvre du programme forestier national ». FAO, Rome.

Fallour-Rubio D., Guibal F., Klein E.K., Bariteau M. & Lefevre F. 2009. Rapid changes in plasticity across generations within an expanding cedar forest. *Journal of Evolutionary Biology*, 22(3): 553–563.

Giannakopoulos C., Le Sager P., Bindi M., Moriondo M., Kostopoulou E. & Goodess C. M. 2009. Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global warming.

Jabiol B., Levy G., Bonneau M., Brethes A., 2009. Comprendre les sols pour mieux gérer les forêts. Agro Paris Tech ENGREF – Centre de Nancy

Limousin J.M. 2009. Vulnérabilité du chêne vert (*Quercus ilex* L.) à une augmentation de la sécheresse : Quels ajustements fonctionnels ? Thèse de Doctorat. Centre International d'Etudes Supérieures en Sciences Agronomiques. Montpellier SupAgro.

Loarie, S.R. Duffy P.B., Hamilton H., Asner G.P., Field C.B. & Ackerly D.D. 2009. The velocity of climate change. *Nature*, 462: 1052–1055.

Mátyás C., Vendramin G.G. & Fady B. 2009. Forests at the limit : evolutionary genetic consequences of environmental changes at the receding (xeric) edge of distribution. Report from a research workshop. *Annals of Forest Science*, 66(8), article no. 800.

M'hirit O., Et-Tobi M., 2009. Les écosystèmes forestiers face au changement climatique : situation et perspectives d'adaptation au Maroc. GIRES Maroc

Plan Bleu 2009. Etat de l'environnement et du développement en Méditerranée PNUE/PAM – 2009

Bakalowicz M., 2010. Karst et ressources en eau souterraines : un atout pour le développement des pays méditerranéens. *Sécheresse*, 21 (1^e) pp 1-6.

Fiston, 2010 : Evaluation par télédétection des effets de la déforestation et de la dégradation des forêts à Kisangani (cas de la région forestière de Masako)

Chevin L.M., Lande R., & Mace G.M. 2010. Adaptation, plasticity, and extinction in a changing environment: towards a predictive theory. *PloS Biol.* 8(4).

HCEFLCD, IFN 2010 : Révision des cartes forestières d'Inventaire Forestier National des cartes au 1/100.000 de Taza, Msoun, Sefrou, Ribat Al Khayr et Berkine), rapport final 76 pages.

Lindner M., Maroschek M., Netherer S., Kremer A., Barbati A., Garcia-Gonzalo J., Seidl R., Delzon S., Corona P., Kolstrom M., Lexer M.J. & Marchetti M. 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259: 698–709.

Van der Putten W.H., Macel M. & Visser M.E. 2010. Predicting species distribution and abundance responses to climate change: why it is essential to include biotic interactions across trophic levels. *Phil. Trans. R. Soc., B* 365: 2025–2034.

Gis Sol., 2011. L'état des sols de France. Groupement d'intérêt scientifique sur les sols, 188 p
Global Planet. Change 68, 209–224.

Droogers, P., Immerzeel, W.W., Terink, W., Hoogeveen, J., Bierkens M.F.P., van Beek, L.P.H & Milano M., 2012. Changements globaux en Méditerranée : Impact sur le stress hydrique et la capacité à satisfaire les demandes en eau. Thèse doctorat. Univ. Montpellier2.

Abdennasser B., 2013. Etude hydrogéologique du bassin de Droh (Bassin versant Oued Labiod) Fac. des Sc. Univ. Badji Mokhtar- Annaba Algérie.

Adalla R. 2013 : Etude hydrochimique des systèmes lacustres et sédimentation actuelle dans les lacs Azigza et Tiguelmamine (Moyen Atlas, Maroc) mémoire de fin d'étude du Master en sciences et techniques de l'Eau et l'environnement, 131p

FAO. 2013. Etat des forêts méditerranéennes 2013. FAO (www.fao.org/publications)

Piedallu, C., Gégout JC., Perez V., Lebourgeois F., 2013. Soil water balance performs better than climatic water variables in tree species distribution modelling. *Global Ecol. Biogeogr.* 22, 470-482.

Anonyme, 2014. Politique du changement climatique au Maroc. Ministère délégué auprès du Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Environnement 35p.

HCEFLCD, IFN, 2014. Mise à jour des cartes forestières à l'échelle au 1/100.000 d'Aguelmous, Beni Mellal, Khénifra et Midelt, élaborées dans le cadre du premier Inventaire Forestier National. Rapport final 84 pages.

Mokhtari N., Mrabet R., Lebailly P., Bock L., 2014. Spatialisation des bioclimats, de l'aridité et des étages de végétation du Maroc. Rev. Mar. Sci. Agron. Vét. 2 (1) : 50-56.

Davi H., 2015. Impact des changements climatiques sur les écosystèmes forestiers de la région méditerranéenne. Innovations Agronomiques 47 (2015), 1-16.

IFN 2015. Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la lutte contre la Désertification (Marché n°32/HCEFLCD/2015). Réalisation de la mise à jour des cartes forestières à l'échelle au 1/100.000 d'Aïn Chouater, Bounib, Erfoud, Er-rachidia, Goulmima, Gourrama, Hassi Braber, Ksabi, Ksar Magrane, Rich, Tinj dad (**lot5**) ; d'Alnif, El Gloa, Fezzou, Hassi Bou Hayara, Masmouda, Msissi, Tagounit, Tanout N'Ghioul, Taouz Est, Taouz Ouest, Tarhbalt, Tazzarine, Zagora, Zawyat Sidi Abdenbi (**lot6**).

Naggar M 2017: La Question forestière au Maroc et enjeux de gouvernance territoriale.

AUTRES: WEBOGRAPHIE:

www. Climate change Knowledge Portal 2.0 (World Banque Group).

[//www.cckn.net/compedium/north-africa.asp](http://www.cckn.net/compedium/north-africa.asp)

www.fao.org/publications)

[www. Fr.climate-data.org.](http://www.fr.climate-data.org)

[\(\[http://www.huffpostmaghreb.com/2016/01/20/fours-modernes-distribution_n_9029752.html\]\(http://www.huffpostmaghreb.com/2016/01/20/fours-modernes-distribution_n_9029752.html\)](http://www.huffpostmaghreb.com/2016/01/20/fours-modernes-distribution_n_9029752.html)

[\(<http://www.mediterraneanraftsarchive.it/it/node/1650>\).](http://www.mediterraneanraftsarchive.it/it/node/1650)

[\(<http://www.moyenatlas.net/atouts-touristiques>\).](http://www.moyenatlas.net/atouts-touristiques)

[www.sciencedirect.com\)](http://www.sciencedirect.com)

[\(\[www.siteresources.worldbank.org\]\(http://www.siteresources.worldbank.org\)\).](http://www.siteresources.worldbank.org)

Résumé

La présente étude s'est proposée d'exploiter les données forestières élaborées dans le cadre de la cartographie forestière de l'IFN, pour évaluer le procédé d'analyse de l'évolution forestière et de proposer une démarche adéquate pour appréhender le suivi du couvert forestier du Moyen Atlas. Ceci en adoptant l'analyse utilisée par le département des Eaux et Forêts, basée sur la comparaison des superficies obtenues en deux dates d'élaboration (1986 et 2010) des 19 feuillets de cartes couvrant le Moyen Atlas. Ensuite, l'analyse par ajustement spatial des changements du couvert forestier avant de procéder à la génération des superficies d'occupation du sol. Cette étude a porté également sur la caractérisation climatique dans le Moyen Atlas en utilisant les données mensuelles de la température et des précipitations (période 1982-2012) des 28 stations dans le Moyen Atlas. Elle a été réalisée en utilisant les indices climatiques (Angot, De Martone, Groczinski, Gams et le quotient pluviométrique d'Emberger). Le modèle de Thornthwaite a permis de caractériser le bilan hydrique mensuel, alors que la détermination du bilan hydrologique et ses composantes ont été faites selon Turc pour l'ETR et l'ETP selon Perman. Les résultats cartographiques ont mis en évidence une sous-estimation des taux du couvert forestier et de boisement par les deux cartographies forestières (1986 et 2010). Alors que les révisions de ladite cartographie ont permis de réévaluer ces taux pour les années 1986 et 2010 à respectivement de 41% à 50% et de 45 à 49% du couvert boisé, et de 43% à 52% et de 50% à 52% du couvert forestier (boisement + alfa). L'étude a montré que la nouvelle carte d'évolution forestière présente des taches, de progression et de régression, diffusées à l'échelle de la zone, contrairement aux grandes plages observées dans l'approche antérieure.

Mots clés : Moyen Atlas, écosystèmes, Cèdre, évolution, IFN, caractérisation climatique et bioclimatique, bilan hydrique, bilan hydrologique, saison sèche, saison de végétation, indices climatiques, changement climatique, gestion adaptée, adaptation.

Abstract

The present study proposed to exploit the forest data developed as part of the forest mapping of the "IFN" for evaluate the forest evolution analysis process and propose an adequate approach to apprehend monitoring of the Middle Atlas forest cover by adopting the analysis used by the Department of Water and Forests based on the comparison of the areas obtained in two dates of development (1986 and 2010) of 19 map sheets covering the Middle Atlas and spatial adjustment analysis of forest cover changes before proceeding to the generation of land use areas. This study also focused on climate characterization in the Middle Atlas using monthly temperature and precipitation data (1982-2012 period) for the 28 stations in the Middle Atlas. It was carried out using climatic indices (Angot, De Martone, Groczinski, Gams and the Emberger rainwater quotient). The Thornthwaite model was used to characterize the monthly water balance, while the water balance and its components were determined according to Turk for ETR and Perman FTE. Map results showed an underestimation of forest cover and afforestation rates by the two forest maps (1986 and 2010). While the revisions of this mapping allowed to re-evaluate these rates for the years 1986 and 2010 respectively from 41% to 50% and from 45 to 49% of the wooded cover, and from 43% to 52% and from 50% to 52% forest cover (afforestation + alfa). The study showed that the new forest evolution map shows patches, progression and regression, scattered across the area. unlike the large ranges observed in the previous approach.

Keywords: Middle Atlas, ecosystems, cedar, evolution, IFN, climatic and bioclimatic characterization, water balance, hydrological balance, dry season, growing season, climate indices, climate change, adapted management, adaptation.