

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة باتنة 1

UNIVERSITE DE BATNA 1

معهد العلوم البيطرية و العلوم الزراعية

INSTITUT DES SCIENCES VETERINAIRES ET  
DES SCIENCES AGRONOMIQUES



## Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Sciences Agronomiques

Option : Sciences forestières

### THEME

**Contribution à l'étude de la dynamique spatiale et de la  
biomasse du frêne dimorphe dans la cédraie de Ouled  
Yagoub W. de Khenchela**

Présenté par : M. CHAFAI Chaouki

Soutenu le :14/03/2016

Jury :

Président :	M. OUDJEHIH B.	Prof.	Université de Batna
Rapporteur :	M. BENTOUATI A.	Prof.	Université de Batna
Examineurs :	M. DERRIDJ A.	Prof.	Université de Tizi Ouzou
	M. MALKI H.	M.C. (A)	Université de Batna
	M. BEGHAMI Y.	M.C. (A)	Université de Batna

Année universitaire : 2015-2016

# Dedicaces

*Au nom de Dieu le tout puissant et le très miséricordieux par la grâce duquel j'ai pu réaliser ce travail que je dédie à :*

*\* Mes chers parents, ma mère et mon père, c'est grâce à eux que je suis arrivé à ce stade. Ils n'ont jamais cessé de m'encourager et de me motiver. Si je dois consacrer toute ma vie pour eux je ne peux rendre ce qu'ils m'ont fait.*

*A tous mes frères et sœurs :*

*\* Mes frères : Chamseddine et Ali*

*\* Mes sœurs : Zineb, Sabah et Meriem ;*

*A tous mes amis et collègues à l'école nationale des forêts et à l'université de Batna*

*A tous les forestiers Algériens*

*A tous ceux et toutes celles qui me connaissent et qui m'aiment*

*Chaouki CHAFAI*



# Remerciements



plus sincères et ma profonde gratitude à :

Monsieur **M. BENTOUATI A.** *Professeur* à l'institut des sciences vétérinaires et sciences agronomiques, Université de Batna 1, pour avoir proposé ce thème, et m'avoir guidé tout le long de ce travail, pour sa disponibilité, sa compréhension, sa gentillesse ses conseils et encouragements que je ne vais jamais oublier.

Monsieur **OUJJEH B.** *Professeur* au même Institut, à l'Université de Batna 1, qui me fait l'honneur de présider le jury.

Monsieur **DERRIDJ A.** *Professeur* à l'université de Tizi Ouzou, qui a accepté d'examiner mon travail, malgré ses nombreuses obligations.

Monsieur **MALKI H.**, *maitre de conférence* à l'institut des sciences vétérinaires et sciences agronomiques, Université de Batna 1, qui me fait l'honneur d'examiner ce travail, et d'avoir accepté de faire partie de ce jury.

Monsieur **BEGHAMI Y.** *maitre de conférence* au même Institut, à l'Université de Batna 1, pour avoir accepté d'examiner mon travail, ses conseils, orientations et encouragements m'étaient très utiles.

J'exprime ma reconnaissance à M. **RABHI K.**, M. **CHAFAA S.** et M. **SI BACHIR A.** pour m'avoir aidé en matière de consultations, d'orientations, de moyens et d'encouragements.

J'adresse mes respectueux remerciements à M. **AZOUI H.** Directeur de l'Ecole Nationale des Forêts, pour ses encouragements et son aide précieux pour achever mon travail, ainsi qu'à M. **HABBOUDJI A.**, **BOUNOUARA A.**, **RAHMANI N.** et l'ensemble de mes collègues à l'école pour leur aide et encouragements sur terrain et aux cours de rédaction de ce mémoire.

Toute ma reconnaissance et mes remerciements à tous les forestiers de la conservation de Khenchela, surtout : M. **BAHRI B.**, **HAZIL A.**, **KHELLOUT Y.**, **BOUZEKRI B.**, **NOUREDDINE**, **MEHBOUBI**, et toute l'équipe de la circonscription des forêts d'El-Hamma, Pour leur aide précieux durant mon travail de terrain.

En guise de reconnaissance, je tiens également à remercier toutes les personnes qui, par leurs conseils, leur soutien moral et leur amitié, ont contribué à la réalisation de ce travail.



# Table des matières

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : LE FRENE DIMORPHE .....	3
1.1. Le genre <i>Fraxinus</i> .....	3
1.2. Les frênes dans la région méditerranéenne.....	3
1.3. Le frêne dimorphe .....	4
1.3.1. Classification.....	4
1.3.2. Caractéristiques botaniques .....	5
1.3.3. Répartition géographique .....	7
1.3.4. Ecologie du frêne dimorphe .....	10
1.3.5. Le frêne dimorphe en phytosociologie .....	10
1.3.6. Frêne dimorphe et dynamique de la végétation .....	11
1.3.7. Intérêts et utilisations .....	12
1.3.7.1. Utilisation alimentaire et médicinale .....	13
1.3.7.2. Utilisation fourragère .....	14
1.3.7.3. Utilisation du bois de frêne .....	14
1.3.7.4. Intérêt écologique et état de la conservation de l'espèce .....	15
CHAPITRE II : LE CEDRE DE L'ATLAS.....	17
2.1. Présentation .....	17
2.2. Aire de répartition naturelle.....	17
2.3. Ecologie du cèdre de l'Atlas .....	20
2.3.1. Exigences climatiques.....	20
2.3.2. Exigences édaphiques .....	21
2.3.3. Altitude .....	21
2.3.4. Exposition .....	22
2.4. Rôle et importance des cédraies .....	22
2.5. Facteurs de dégradation du cèdre de l'Atlas.....	23
2.5.1. Les facteurs naturels .....	23
2.5.1.1. Le stress hydrique.....	23
2.5.1.1. Les insectes .....	23
2.5.2. Les facteurs anthropiques .....	24
2.5.2.1. Les Incendies.....	24
2.5.2.2. Le surpâturage .....	25

2.5.2.3. Coupes illicites .....	25
<b>CHAPITRE III : CARTOGRAPHIE DE LA DYNAMIQUE SPATIALE ET BIOMASSE FORESTIERE .....</b>	<b>26</b>
3.1. Cartographie de la dynamique spatiale de végétation .....	26
3.1.1. Diversité des conceptions cartographiques .....	26
3.1.2. Principaux apports de la télédétection spatiale à la cartographie végétale .....	27
3.1.2.1. Comportement spectral des végétaux.....	27
3.1.2.2. Exploitation de l'imagerie satellitaire à la cartographie de la végétation .....	28
3.1.2.3. Quelques avantages de l'utilisation de la télédétection satellitaire.....	28
3.1.3. Grands types de cartographies végétales et outils satellitaires associés .....	29
3.1.3.1. Cartographie à petite échelle .....	29
3.1.3.2. Cartographie à moyenne échelle .....	30
3.1.3.3. Cartographie locale .....	30
3.1.4. Intérêt de la télédétection pour l'étude des paysages forestiers.....	32
3.2. Estimation de la biomasse forestière .....	33
3.2.1. Méthodes d'étude de la biomasse .....	33
3.2.1.1. Méthode destructive .....	34
3.2.1.2. Méthode semi destructive.....	34
3.2.1.3. Méthode non destructive .....	34
3.2.2. Tarif de biomasse .....	35
3.2.3. Estimation de la biomasse par unité de surface .....	35
<b>CHAPITRE IV : MILIEU D'ETUDE.....</b>	<b>36</b>
4.1. Localisation géographique.....	36
4.2. Caractéristiques physiques .....	36
4.2.1. Relief.....	36
4.2.2. Géologie et pédologie .....	38
4.2.3. Réseau hydrographique.....	39
4.3. Caractéristiques climatiques .....	39
4.3.1. Précipitation .....	39
4.3.2- Température.....	40
4.3.3. Synthèse climatique .....	41
4.3.3.1. Diagramme Ombrothermique de Gaussen .....	41
4.3.3.2. Climagramme d'Emberger .....	41
4.3.4. Les autres facteurs climatiques .....	43

4.4. Formations forestières .....	44
<b>CHAPITRE V : MATERIELS, DONNEES ET APPROCHES METHODOLOGIQUES .....</b>	<b>45</b>
5.1. Etude de la dynamique spatiale du frêne dimorphe.....	45
5.1.1. Données et logiciels .....	45
5.1.2. Approche méthodologique.....	45
5.2. Etude de la biomasse .....	49
5.2.1. Matériel utilisé .....	49
5.2.2. Approche méthodologique.....	49
5.2.2.1. Choix des placettes d'échantillonnage .....	50
5.2.2.2. Collecte des données du terrain.....	50
5.2.2.3. Mesures effectuées au laboratoire .....	51
5.2.2.4. Les paramètres calculés.....	51
5.2.2.5. Elaboration des tarifs en biomasse et en volume du brin.....	51
<b>CHAPITRE VI : RESULTATS ET DISCUSSIONS.....</b>	<b>53</b>
6.1. Etude de la dynamique spatiale du frêne dimorphe.....	53
6.1.1. Prétraitements des images satellitaires.....	53
6.1.1.1. Création d'un masque ' <i>Mask</i> '.....	53
6.1.1.2. Création de compositions colorées.....	53
6.1.2. Classification supervisée des images satellitaires.....	55
6.1.2.1. Classification de l'image Landsat 5 (1987).....	56
6.1.2.2. Cartographie des formations de frêne dimorphe en 1987 .....	58
6.1.2.3. Classification de l'image Landsat 8 (2015).....	59
6.1.2.4. Cartographie des formations du frêne dimorphe en 2015 .....	62
6.1.3. Dynamique et changement de la végétation .....	63
6.1.3.1. Comparaison des superficies entre 1987 et 2015 .....	64
6.1.3.2. Cartographie des changements de la végétation entre 1987 et 2015.....	67
6.2. Etude de la biomasse du frêne dimorphe.....	75
6.2.1. Caractéristiques des brins échantillonnés .....	75
6.2.2. Détermination du volume des brins .....	76
6.2.3. Estimation de la biomasse.....	77
6.2.3.1. Tarif biomasse du brin.....	77
6.2.3.2. Tarif biomasse des feuilles .....	78
6.2.3.2. Tarif de biomasse totale .....	79

6.2.3.3. Relation entre le volume du brin et son poids.....	80
6.2.4. La biomasse aérienne du peuplement échantillonné.....	81
RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES.....	85
CONCLUSION GENERALE.....	87

## Liste des tableaux :

Tableau 1 : Concentration des éléments chimiques dans les feuilles et la tige du frêne dimorphe.....	12
Tableau 2 : Estimation de la superficie des cédraies Aurassiennes .....	20
Tableau 3: Profil topographique de la zone d'étude. ....	38
Tableau 4 : Evaluation du Quotient pluviothermique et des étages bioclimatiques de la zone d'étude. ....	42
Tableau 5 : Répartition des Changements par classe entre 1987 et 2015 .....	64
Tableau 6 : Paramètres statistiques des variables mesurées des brins .....	76
Tableau 7 : Description statistique des paramètres mesurés de la zone d'étude.....	82
Tableau 8: Comparaison bibliographique de données de biomasse.....	83

## Liste des figures :

Figure 1 : Feuilles et samares du frêne dimorphe .....	6
Figure 2 : Fruit du frêne dimorphe .....	7
Figure 3 : Feuilles du frêne dimorphe .....	7
Figure 4 : Carte de répartition du frêne dimorphe en Afrique du Nord .....	9
Figure 5 : Air de répartition naturelle du cèdre de l'Atlas .....	19
Figure 6 : Carte de la végétation de la Réserve Torricchio Nature, en Italie centrale, obtenu à partir d'images Landsat satellite .....	32
Figure 7 : Carte de situation de la zone d'étude .....	37
Figure 8: Variations mensuelles des précipitations (Station Ain Mimoun -1180sm). .....	40
Figure 9 : Variations mensuelles des minima et des maxima (Station El Hamma -988m). .....	40
Figure 10 : Le diagramme Ombrothermique de la station d'Ain Mimoun (1180 m). .....	41
Figure 11 : Aire de projection de la zone d'étude dans le Climagramme d'Emberger. ....	43
Figure 12 : Les principales classes d'occupation du sol .....	48
Figure 13 : Masque de l'image de la zone d'étude. ....	53
Figure 14 : Composition colorée (TM4-TM3-TM2) de l'image de l'année 1987. ....	54
Figure 15 : Composition colorée (OLI5-OLI4-OLI3) de l'image de l'année 2015. ....	55
Figure 16 : Carte de la végétation de la zone d'étude en 1987. ....	56
Figure 17 : Répartition des superficies de la végétation de la zone d'étude en 1987. ....	57
Figure 18 : Carte de répartition des formations du frêne dimorphe en 1987 .....	59
Figure 19 : Carte de la végétation de la zone d'étude en 2015. ....	60
Figure 20 : Répartition des superficies de végétation de la zone d'étude en 2015. ....	61
Figure 21 : Carte de répartition des formations du frêne dimorphe en 2015. ....	63
Figure 22 : Superficies des classes d'occupation du sol en 1987 et 2015. ....	65
Figure 23 : Changement des superficies des classes entre 1987 et 2015 .....	66
Figure 24: Occupation du sol entre 1987 et 2015 .....	68
Figure 25 : Dynamique de la végétation de la zone d'étude entre 1987 et 2015 .....	70
Figure 26 : Echelle de la dynamique végétale des formations de la zone d'étude. ....	71
Figure 27 : Structure de l'échantillon brins. ....	75
Figure 28 : Volume des brins en fonction du diamètre à 1,30m .....	77
Figure 29 : Poids sec des brins en fonction du diamètre à 1,30m .....	78
Figure 30 : Poids sec des feuilles en fonction du diamètre à 1,30m .....	79
Figure 31 : Poids sec total en fonction du diamètre à 1,30m. ....	80
Figure 32 : Relation poids sec du brin et volume. ....	81
Figure 33 : Structure des placettes échantillonnées .....	82

## Liste des abréviations :

**%**: pourcent

**°C** : degré Celsius

**cl** : centilitre

**cm** : Centimètre

**CV** : coefficient de variation

**Dj** : Djebel

**dm<sup>3</sup>** : décimètre cube

**ETM** : Enhanced thematic mapper

**F.** : Fraxinus

**FAO** : Food an Agricultural Organization

**g** : Gramme

**GPS** : global positioning system

**H.** : Humide

**ha** : hectare

**HRV** : haute résolution visible

**IPCC** : Intergovernmental Panel on Climate Change

**kg** : kilogramme

**M** : Maxima

**m** : Mètre

**m** : minima

**mg** : Milligramme

**mm** : Millimètre

**MNT** : Modèle numérique de terrain

**MS** : matière sèche

**MSS** : Multi Spectral Scanner

**NDVI** : Normalized Difference Vegetation Index

**O.** : Oued

**OLI** : Operational Land Imager

**P°** : Précipitation

**PHAE** : printemps hiver automne été

**PIR** : proche infrarouge

**PNUE** : Programme des Nations Unies pour l'environnement

**RN** : route nationale

**S.H.** : Sub-Humide

**SPOT** : Système probatoire d'observation de la Terre / Satellite pour l'observation de la Terre

**T°** : Température

**TM** : Thematic Mapper

**UFL** : unité fourragère litière

**UTM** : Universal Transvers Mercator

**µm**: micromètre

## INTRODUCTION GENERALE

La forêt algérienne subit à une dégradation importante. Les travaux de Bensaid et *al.* (1998), Quezel et Barbero (1990) et Boudy (1950) montrent que les surfaces forestières de l'Algérie sont en constante régression. L'exploitation abusive et anarchique de l'époque récente conduisit à la disparition de 30% du patrimoine forestier (Marc *in* Bensaid et *al.*, 1998). A l'arrivée des Français en 1830, le patrimoine boisé était de 5 millions d'hectares (Boudy, 1950). L'exploitation des forêts durant la conquête coloniale (construction de bases, de forteresses et approvisionnement des militaires) et la surexploitation du matériel ligneux, notamment durant la période 1939-1945, ont provoqué la disparition de plus d'un million d'hectares de forêts (Boudy, 1950). En effet, et d'après les statistiques de 1950, il ne subsistait en Algérie que de 3,2 millions hectares de forêts (Sari *in* Bensaid et *al.*, 1998).

La réduction des surfaces boisées a continué jusqu'à ce jour, sous l'effet notamment du surpâturage, des incendies et de l'instabilité politique, dont les conséquences sont une surveillance relâchée, des coupes délictueuses et une gestion insuffisante (Bensaid et *al.*, 1998).

La forêt des Aurès et comme toutes les forêts algériennes subit à une dégradation très remarquable, notamment à cause de plusieurs facteurs : historiques et naturels comme les incendies, les coupes régulières, les délits ... etc (Abdessemed, 1984). Le cèdre de l'Atlas dans son aire naturelle de répartition dans les Aurès a connaît une régression importante, du côté de superficie et de l'état sanitaire. Ces dernières années, les cédraies des Aurès ont subit à un dépérissement massif (Bentouati, 2008). Les causes de ce dépérissement sont multiples et plusieurs auteurs ont contribué à analyser les causes possibles de ce dépérissement (Bentouati et Bariteau, 2006 ; Bentouati, 2008 ; Sarmoum, 2008 ; Demarteau, 2006 ; Alileche, 2011 ; Zine El Abidine, 2003 ; Talbi, 2010).

D'autres facteurs ont participé à la dégradation de cédraies tels que les défrichements et les incendies. Ces facteurs déséquilibrent l'écosystème déjà fragile mais stable et climacique des cédraies (Abdessemed, 1984).

La perturbation de l'équilibre écologique se traduit par des changements dans la composition floristique et la structure de la végétation à travers une dynamique dépendante de plusieurs facteurs complexes du milieu. Sur le plan phytosociologique, l'évolution se fait parallèlement à la dégradation des sols. Dans une première étape les espèces caractéristiques disparaissent et sont remplacées au fur et à mesure par des espèces qui n'ont plus aucun rapport avec le peuplement forestier (Abdessemed, 1984). Comme résultats de perturbation du milieu et du couvert végétal certaines modifications sont constatées tel que : le développement du chêne vert et du frêne dimorphe dans l'aire de la cédraie après dépérissement, ainsi que le faible taux de régénération du cèdre de l'Atlas dans la majorité de son milieu naturel (Bentouati, 2008).

Le frêne dimorphe est une essence très intéressante et beaucoup utilisé et exploité par les populations riveraines, à savoir l'usage alimentaire de ses samares comme condiment, l'usage médicinale et fourragère surtout de ses feuilles, et l'usage de son bois comme bois d'œuvre, bois de feu, pour la fabrication des outils agricoles et la protection des champs cultivés par des haies vertes et sèches.

Ce frêne colonise aussi bien les sols profonds que les sols les plus squelettiques et sur les substrats très variés (grès, calcaires, grès calcaires etc ...). La majorité des peuplements sont très dégradés et se présente presque toujours sous forme de taillis du fait que le frêne constitue un excellent fourrage. Cette situation écologique du frêne dimorphe mérite une attention particulière du fait de frugalité et de sa grande résistance à la dégradation (Abdessemed, 1984).

A l'Est des Aurès, et plus précisément la forêt domaniale des Ouled Yagoub, qui renferme une cédraie de 3227 ha (Bentouati, 2008), a connu une certaine dynamique de végétation après le dépérissement du cèdre. Le frêne dimorphe qui existait déjà en sous étage avec le cèdre essentiellement le long des cours d'eau avant le dépérissement, fait aujourd'hui un rebondissement spectaculaire en remontant en altitude pour coloniser des surfaces importantes au dépend du cèdre de l'Atlas.

Pour évaluer l'importance de cette dynamique spatiale entre les deux essences, nous avons mené une étude de la répartition spatiale du cèdre de l'Atlas et du frêne dimorphe dans la cédraie de Ouled Yagoub à travers la télédétection basée sur l'utilisation des images satellites Landsat, qui va nous permettre de cartographier l'état récente des formations végétales ainsi que l'état à une date antérieure, année quatre vingt sept (1987).

Cette dynamique spatiale entre deux dates des deux essences de cèdre de l'atlas et du frêne dimorphe par la télédétection est complétée par une contribution de l'estimation de la biomasse aérienne du frêne dimorphe par rapport au chêne vert dont l'importance écologique n'est plus à démontrer. La méthodologie d'approche est classique est utilisée par plusieurs auteurs pour estimer la biomasse des taillis de différentes espèces (Auclair et *al.*, 1980 ; Bedeneau, 1988 ; Benziane, 1991 ; Belghazi, 2001; Zitouni 2010 ; Khater 2010).

Dans cette optique ; le travail que nous proposons est basé essentiellement sur 3 aspects complémentaires :

1. Etude cartographique de la dynamique spatiale des formations forestières de la zone y compris les formations de frêne dimorphe.
2. Évaluation de la biomasse aérienne des différents compartiments de l'espèce étudiée.
3. Estimation de la production ligneuse du peuplement à partir des tarifs de cubage et de biomasse.

## CHAPITRE I : LE FRENE DIMORPHE

### 1.1. Le genre *Fraxinus*

Le frêne, arbre du genre *Fraxinus*, appartient à la famille des Oléacées et comprend environ 45 espèces d'arbres et d'arbustes de zones tempérées, colonisant des habitats variés de l'hémisphère Nord (Hinsinger, 2010).

Le genre *Fraxinus* est surtout de souche sino-nord-américaine et méditerranéenne. Son origine est très ancienne, il remonte jusqu'au Crétacé supérieur. Il existe des fossiles se rapprochant de l'espèce oxyphylle depuis l'Eocène jusqu'au Pliocène: *F. gracilis* Sap. Et Mar. (Pliocène); *F. grossedentata* Laurent (Eocène-Oligocène); *F. palaeo-excelsior* Ettingh. (Miocène) (Emberger, 1938).

Le nom « *Fraxinus* » a une étymologie variant selon les sources. Il viendrait du latin « lance », car les lances des soldats étaient faites en bois de frêne (Baudrillart, 1825). D'autres sources indiquent qu'il viendrait du grec *phraxis* « haie » (car on utilise souvent l'arbre pour faire des haies) (Herincq, 1872 ; Farrar, 1996).

### 1.2. Les frênes dans la région méditerranéenne

Dans la région méditerranéenne, trois espèces du genre *Fraxinus* sont les plus connues et les plus abondantes. *Fraxinus excelsior* est une espèce d'Europe, d'Arménie et du Caucase; *F. angustifolia* est particulière à l'Afrique du Nord et *F. dimorpha* qui se rencontre en Algérie, au Maroc et en Asie du Sud (Bellakhdar, 1997 in M'sou, 2013).

- Le frêne excelsior ou frêne élevé n'est pas bien répandu dans le pourtour méditerranéen car le stress hydrique estival empêche son développement; il y est remplacé par le frêne oxyphylle (M'sou, 2013). Cependant Il est souvent cultivé comme plante ornementale (Fennane et al., 2007) et parfois cultivé autour des postes forestiers et dans quelques localités de montagne, comme arbre d'alignement (Bellakhdar, 1997 in M'sou, 2013).

- Le frêne oxyphylle (*F. angustifolia* Vahl) habite les berges des cours d'eau des plaines, des basses et moyennes montagnes de tout le Maroc, sauf l'Anti Atlas. Son aire embrasse toute la région méditerranéenne, de l'Asie occidentale au Maroc (Emberger, 1938). Cette espèce existe au Maroc sous plusieurs variétés: var. *australis* Lingelsh., à folioles au sommet souvent arrondis et c'est la forme la plus fréquente; var. *cuspidata* Maire et Trabut à folioles étroites, longuement atténués au sommet; var. *numidica* (Dippel) Maire à rachis foliaire muni de pointes molles (Grand Atlas) (Emberger, 1938).

- Le frêne dimorphe (*F. dimorpha*) est une essence des montagnes, son aire est très étendue, mais fort disjointe et comprend deux taches, l'une en Afrique du Nord, l'autre en Asie centrale, en Afghanistan et dans l'Himalaya occidentale (Emberger, 1938). En Algérie et d'après Boudy (1950), on trouve ce frêne dans l'Aurès (notamment dans les

forêts des Oued Ensigna, Oued Boulgem et Oued Tamza) et dans l'Atlas saharien. Au Maroc, il existe à l'état disséminé dans de nombreux massifs du Grand Atlas oriental. On le rencontre aussi dans le Moyen Atlas, dans l'Atlas saharien et dans le massif de Saghro.

### **1.3. Le frêne dimorphe**

Le nom communs: "Frêne dimorphe", en Arabe est "Derdar"; ce vernaculaire s'applique, au Moyen-Orient, à l'orme, au Maghreb, au Frêne. En Tamazight "Touzzalt" dans la région du Souss et le Haut-Atlas au Maroc ; et "Imts ou imtse" dans le Moyen et le Haut Atlas (Bellakhdar, 1997 *in* M'sou, 2013).

#### **1.3.1. Classification**

Le frêne dimorphe (*Fraxinus dimorpha* Coss. & Durieu) est une espèce du genre *Fraxinus* qui contient plus de cent (100) espèces et fait partie de la famille des Oléacées (Wesmael, 1892), dont la classification est la suivante :

Règne : Plantae  
Sous-règne : Tracheobionta  
Division : Magnoliophyta  
Classe : Magnoliopsida  
Sous-classe : Asteridae  
Ordre : Scrophulariales  
Famille : Oleaceae  
Genre : Fraxinus

Le nom de l'espèce a connue plusieurs modifications selon les auteurs qui ont fait la description et la classification de l'espèce, les différentes classifications sont :

*Fraxinus dimorpha* Coss. & Durieu, 1855

*Fraxinus dimorpha* var. *dumosa* Carrière, 1865

*Fraxinus xanthoxyloides* var. *dimorpha* (Coss. & Durieu) Wenz., 1883

*Fraxinus xanthoxyloides* var. *dumosa* (Carrière) Lingelsh., 1920

*Fraxinus xanthoxyloides* fo. *dumosa* (Carrière) Rehder, 1949

Wallander (2008) dans son étude sur la systématique du genre *fraxinus*, a considéré que cette espèce appartient à la section *Sciadhanthus*, et il l'a donnée le nom de *Fraxinus xanthoxyloides* (G. Don) DC qui a comme synonyme le plus commun : *Fraxinus dimorpha* Coss. & Dur. et dont la distribution est en Afrique du Nord (Algérie et Maroc) et à l'Asie (de l'Afghanistan à la Chine).

Certains autres auteurs considèrent toujours que le frêne dimorphe est une espèce endémique de l'Afrique du Nord, tel que Fennane & al. ; Dobignard & Chatelain *in* Nassif & Tanji (2013). Ces différences d'idées sur la présente espèce nécessite une étude approfondie sur les deux provenances (africaine et asiatique) pour confirmer s'il s'agit vraiment de la même espèce.

### 1.3.2. Caractéristiques botaniques

Cosson et Durieu (1855) ont donné la première description du frêne dimorphe en précisant ses caractéristiques botaniques avec des fleurs apétales, hermaphrodites mais pourvues d'un calice, brièvement pédicellées, groupées en ombelles simples. Arbres touffues, ou parfois simple a tige droite de 8-12 mètres de long ; les branches inférieures stérile, ou parfois tous l'arbre, épineux, petit, 2-3-paires de folioles sub-orbiculaires ou obovales-oblongues, a dents obtus et écartées; les feuilles des branches supérieures ont une taille plus grande, de 3 à 5 paires de folioles oblongues-lancéolées, aiguës, dentées;; fleurs brièvement pédicellées, groupées en ombelles simples; Samares oblongues, obtuses à la base le calice est persistant. Floraison les mois d'Avril et Mai. Fructification les mois de Juin à Août.

Une première variété du frêne dimorphe a été déclarée par Carrière (1865), qui a fait sa description et lui a donnée le nom de la variété *dumosa*, avec le commentaire suivant :

« Rien de plus remarquable dans ce genre que cette variété qui forme un buisson tellement compact que c'est à peine, même lorsqu'elle est dépourvue de feuilles, si l'on voit le jour à travers. Ses ramifications, extrêmement nombreuses et rapprochées, sont dues en grande partie à la nature spiniforme des rameaux, qui sont à peu près toujours dépourvus d'œil terminal, de manière qu'il y a constamment des bifurcations, une sorte de dichotomie continue, d'où résulte un lacis inextricable. Et comme il en est de même du bourgeon terminal, chaque plante forme un buisson, une sorte de fourré qui s'élargit en tout sens ».

Le type *Fraxinus dimorpha*, Cosson, pousse droit et vite, sa flèche s'élève verticalement, ses branches, au contraire, s'étalent presque horizontalement. La variété que nous décrivons a été obtenue au Muséum ; elle est tellement singulière par son port et son facies, qui, en la voyant, ne la prit pour une espèce particulière. Néanmoins elle a tous les caractères généraux du type ; son écorce est également blanche, et ses feuilles imparipennées portent de 5 à 9 folioles obovales dentées (Carrière, 1865).

Carrière (1865) a confirmé aussi que « la qualification de *dimorpha* a été donnée à l'espèce dont nous venons de décrire comme une variété, parce qu'à un certain âge les feuilles changent de forme et qu'alors les plantes ont, assure-t-on, un tout autre aspect. En sera-t-il de même de la variété dont nous nous venons de parler ? Toutefois, nous devons faire observer que ce changement ne s'opère (dans notre pays du moins) que sur des plantes assez âgées, car celles que nous possédons, qui ont environ 10 ans, ont toujours les mêmes caractères ».

Mathieu (1860) a souligné que le frêne dimorphe possède des feuilles variables; celles des rameaux mal venants, petites, composées de 2-3 paires de folioles sub-orbiculaires ou obovales-oblongues, à dents obtuses, écartées; celles des rameaux supérieurs florifères plus grandes, de 3-5 paires de folioles oblongues-lancéolées, aiguës, dentées en scie. Fleurs hermaphrodites, apétales, mais pourvues d'un calice, brièvement

pédicellées, groupées en ombelles simples. Samares oblongues, un peu aiguës, entières et obtuses ou légèrement échancrées au sommet, accompagnées du calice persistant et 4 fois aussi longues que leur pédicelle. Arbre à tige tantôt buissonnante, tantôt simple et droite, s'élevant à 8-12m.

La période de floraison est les mois d'Avril et Mai. La fructification soit du mois de Juin au mois d'Aout.

Wenzig (1883) a montré des différences entre le frêne dimorphe (*Fraxinus dimorpha* Coss. et Dur.) trouvé dans l'Afrique du nord et celui trouvé à l'Asie, et sur cette base il a donné le nom scientifique de l'espèce comme *Fraxinus xanthoxyloides*, alors qu'il a classé la variété nord africaine comme variété *dimorpha* de la même espèce.

Selon Battandier et Trabut (1895), le frêne dimorphe est un arbre ou arbuste caractérisé par leurs premiers rameaux des jeunes pieds à folioles minuscules, souvent suborbiculaires, crénelées-dentées ; feuilles des rameaux supérieurs à 3-5 paires de folioles bien plus grandes (2-3 cm) oblongues-lancéolées, aiguës, dentées ; fleurs brièvement pédicellées ; calice persistant, très petit ; samares assez variables, généralement atténuées à la base.

Selon Lapie et Maige (1914), le frêne dimorphe est un arbre à fleur sans corolle, à calice petit, persistant avec le fruit; les feuilles des premiers rameaux sont réduites à 2-3 paires de folioles arrondies ; celles de la partie supérieure, beaucoup plus grandes, comprennent 3-5 paires de folioles aiguës.

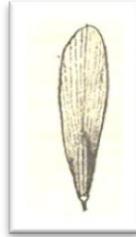


**Figure 1 :** Feuilles et samares du frêne dimorphe (Lapie et Maige, 1914)

En 1920, Lingelsheim a gardé la nomination de l'espèce comme *Fraxinus xanthoxyloides*, mais il a différencié entre deux variétés de cette espèce qui sont :

- La variété « dimorpha » ( Coss. et Dur.) Lingelsh. : Caractérisée par des feuilles ovales ou oblongues assez grandes.

- La variété « dumosa » (Carrière, 1865) : Caractérisée par des feuilles arrondis, petites.



**Figure 2 :** Fruit du frêne dimorphe (Lingelsheim, 1920)

Rehder (1949) a modifié la classification de Carrière (1865) de la variété dumosa, qui était *Fraxinus dimorpha* var. dumosa, avec le changement de la variété en une forme dumosa, ce qui devient : *Fraxinus xanthoxyloides* f. dumosa (Carrière) Rehder, 1949.

Selon Quezel et Santa (1963), le frêne dimorphe est sous forme d'arbres ou d'arbustes. Inflorescences en panicule ample, ramifiée. Fleurs hermaphrodites dioïques ou polygames. Calice très petit. Corolle nulle ou à 4 lobes linéaires. Ovaire à 2 loges biovulées. Graines ailées latéralement (fausse samarre). Feuilles adultes plus petites 8-10 cm ± pubescentes sur leur face inférieure, dimorphes, celles des jeunes rameaux à 3-9 folioles longues de 0,5-1,5 cm, toutes bordées de dents obtuses peu profondes (figure 3). Bourgeons noirs. Inflorescences en petites ombelles sessiles, longues de 1-2 cm. Samarres émarginées au sommet.



**Figure 3 :** Feuilles du frêne dimorphe (Quezel et Santa, 1963)

Navarro et *al.* (2009) en étudiant la dissémination de quelques espèces végétales souligne que le frêne dimorphe était parmi les espèces qui poussent sous forme d'arbres, dont le type de diaspore est les Samares, le mode de dispersion des diaspores se fait grâce au vent (Anémochorie), le mois de dispersion des graines est le mois de Septembre.

### 1.3.3. Répartition géographique

L'aire de répartition du frêne dimorphe est très étendue, mais fort disjointe et comprend deux taches, l'une en Afrique du Nord, l'autre en Asie centrale, en Afghanistan et dans l'Himalaya occidentale (Emberger, 1938). En Algérie, d'après Boudy (1950) on trouve ce frêne dans les Aurès (notamment dans les forêts des Oued Ensigha, Oued

Boulgem et Oued Tamza) et dans l'Atlas saharien. Au Maroc, il existe à l'état disséminé dans de nombreux massifs du Grand Atlas oriental. On le rencontre aussi dans le Moyen Atlas, dans l'Atlas saharien et dans le massif de Saghro (M'sou, 2013).

Cosson et Durieu (1855) ont constaté que le frêne dimorphe se présente dans les montagnes et les vallées de la Numidie de 1200 à 1800 mètres d'altitude, surtout à Batna : Mont EL Madher, Djebel-Tougourt, ... etc ; et il est très fréquent dans les montagnes des Aurès.

Selon Mathieu (1860), le frêne dimorphe est présent dans les vallons des régions montagneuses de l'Algérie (Bathna, Djebel- Tougour, Monts-Aurès), à une altitude de 1200 à 1800m. Carrière (1865) a déclaré que le frêne dimorphe est originaire de Lambessa (Algérie).

Wenzig (1883) a dit que : « *le frêne dimorphe est reparti en Afrique septentrionale : Mauritanie et Maroc, province Demnate. En Algérie à la province de Constantine, Batna dans les montagnes et les vallées de la Numidie de 1200 à 1800 m. surtout à Batna : Mont Madhere, Djebel-Tougourt, ... etc ; et il est très fréquent dans les montagnes des Aurès. (Cosson) ».*

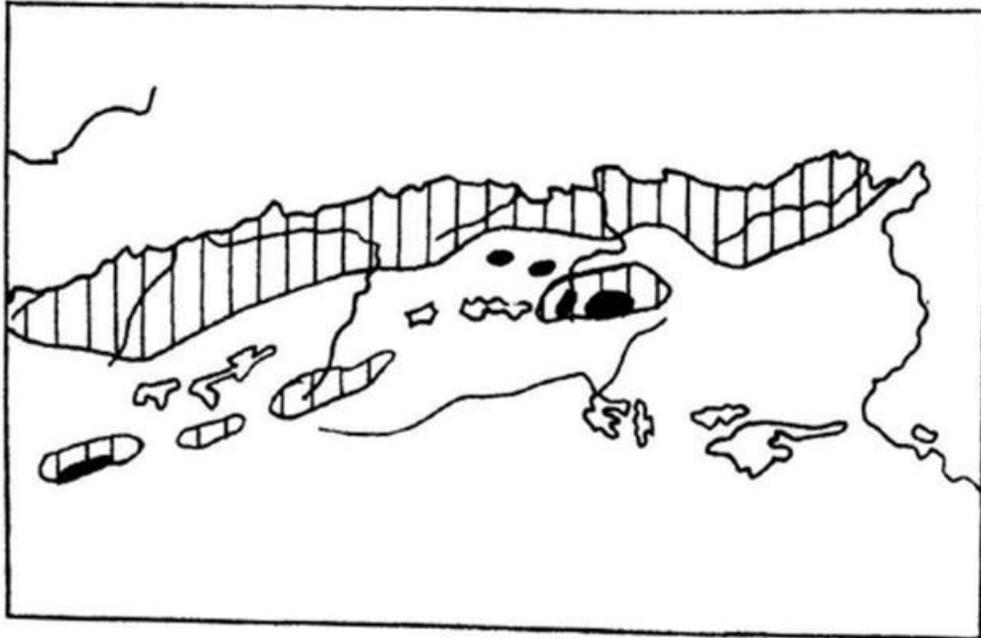
Selon Battandier et Trabut (1895), le frêne dimorphe est présent aux Aurès, Djebel-M'zi, Toudja (Djurdjura) et au Maroc.

D'après Lapie et Maige (1914), le frêne dimorphe est un arbre de montagne à croissance lente ; dans les sols secs, il reste à l'état buissonnant; sa ramification devient très serrée ; les feuilles se développent peu. Ses rameaux durs l'ont fait appeler Frêne épineux. Répandu dans l'Aurès, cet arbre a été aussi signalé au Djebel Mzi (région d'Aïn-Sefra). Un pied unique, qui avait été découvert autrefois près de Toudja (à l'Ouest de Bougie), n'a pu être retrouvé.

Selon Lingelsheim (1920), le frêne dimorphe habite deux zones spatialement largement séparées en Afrique du Nord et en Afghanistan, en plus de l'Himalaya occidentaux. A l'ouest dans les zones montagneuses du Maroc et d'Algérie, la répartition géographique est très similaire du genre *Cedrus*. La variété *dimorpha* est présente en Algérie, Maroc, Inde, Afghanistan, Tibet, Ouest de l'Himalaya au Cachemire et à Rampur. La variété *dumosa* est présente seulement en Algérie et au Maroc.

Le frêne dimorphe croît sur les montagnes dans le Djurdjura, l'Aurès, au Maroc, etc., le plus souvent au-dessus de 1 000 mètres d'altitude. Nous en avons vu quelques exemplaires plantés aux environs de Batna. Le *F. dimorpha* Cosson et Dur. a été identifié au *F. xanthoxyloides* Wallich (= *F. Moorcroftiana* Brandis) le Sanjâl du Punjab qui croît dans les vallées sèches de l'Inde sur les contreforts de l'Himalaya de 1000 à 3000m d'altitude, mais tout en ayant des analogies, les *F. dimorpha* et *F. xanthoxyloides* nous semblent distincts. Même dans la zone des steppes, le Frêne peut vivre le long de certains oueds, à condition que ses racines puissent trouver de l'eau douce dans le sol. Nous en avons même vu certains pieds qui vivent près de Biskra dans les endroits irrigués (Chevalier, 1927).

D'après Quezel et Santa (1963), le frêne dimorphe est une espèce montagnard, Sud Méditerranéen Asiatique, qui occupe les rochers et les pâturages des hautes montagnes, il est rare aux Aurès, Belezma et les Monts de Hodhna, et très rare ailleurs : Grande Kabylie et le Sous secteur de l'Atlas Saharien algérois.



**Figure 4 :** Carte de répartition du frêne dimorphe (couleur noire) en Afrique du Nord (Quezel et Santa, 1963)

Abdessemed (1984) a noté que le frêne dimorphe se trouve dans le Belezma et surtout dans l'Aurès. Le frêne est aussi présent en peuplements purs à Tihhirine sur le versant ouest du Dj Ichmoul entre 1340 et 1550 m d'altitude et une pluviométrie estimée à 400 - 450 mm. Au Dj Feraoun en exposition Nord, il se mélange avec le chêne vert et parfois avec le cèdre pour former des peuplements très denses entre 1200 et 1500 m d'altitude et une tranche pluviométrique de l'ordre de 500 à 650 mm. A Bouarif, il est en mélange avec pistachier térébinthe et le genévrier rouge entre 1100 et 1200 m avec une pluviométrie de 450 mm. A Teniet - Bali, il s'associe au thurifère et au chêne vert entre 1500 et 1600 m avec une pluviométrie de 450 à 500 mm.

A l'Himalaya (Kachmir), Khuroo et *al.* (2011) ont déclaré que le frêne dimorphe existe entre 1600 et 2800 mètres d'altitudes, et sa floraison est entre les mois d'Avril et de Juin.

Selon Verma et Kapoor (2011), le frêne dimorphe existe à Himachal Pradesh de 3000 à 3500 m d'altitude.

**1.3.4. Ecologie du frêne dimorphe**

Abdessemed (1984) a signalé la situation écologique du frêne dimorphe qui mérite une attention particulière du fait de frugalité et de sa grande résistance à la dégradation.

Cette espèce colonise aussi bien les sols profonds que les sols les plus squelettiques et sur les substrats très variés (grès, calcaires, grès calcaires etc ... ). La majorité des peuplements sont très dégradés et se présente presque toujours sous forme de taillis du fait que le frêne constitue un excellent fourrage. On retrouve le frêne en peuplements purs, ou il se mélange au chêne vert, au thurifère, au pistachier térébinthe, au genévrier rouge etc (Abdessemed, 1984).

L'altitude où se trouve le frêne dimorphe dans les Aurès varie entre 1100 et 1600 m avec une pluviométrie entre 400 et 600 mm, sur les différentes expositions et pentes. Pour les températures les valeurs remarquables entre lesquelles croît le frêne seraient comprise entre 0°C- 2°C (Abdessemed, 1984).

Du point de vue bioclimatique, le frêne s'étale du semi-aride froid au subhumide inférieur froid. Les formations de Tibhirine et celle de Djebel Feraoun pourraient individualiser un étage supra-méditerranéen alors que le reste des formations peut s'intégrer dans le méso-méditerranéen pré-steppique ou le montagnard méditerranéen pré-steppique (Abdessemed, 1984).

Beghami (2013) a noté que le frêne dimorphe aux Aurès, se trouvent généralement sur les roches, pâturage des hautes montagnes, et souvent associée aux formations de l'illiciaie dégradée et au genévrier thurifère.

Il est déclaré par Emberger (1938), comme étant «l'arbre à feuilles franchement caduques, le plus xérophile de notre flore et le feuillu qui monte le plus haut dans nos montagnes sèches. Il supporte le climat très chaud et très sec des montagnes en bordure du Sahara».

Le frêne habite généralement les bas de pentes rocailleuses, fonds de vallées, ravins, clairières forestières et les roches des basses et moyennes montagnes calcaires ou siliceuses, de tout le Maroc, sauf le Rif, jusqu'à 2500 m. Il existe même dans l'Atlas saharien et dans le Massif du Saghro (M'sou, 2013).

**1.3.5. Le frêne dimorphe en phytosociologie**

L'étude phytosociologique des groupements à frêne dimorphe, peut montrer l'intérêt écologique de ce frêne ainsi que les formations qui le contient.

En Algérie et précisément aux Aurès, l'étude phytosociologique faite par Abdessemed (1981) a déterminé quelques caractéristiques de stations à frêne dimorphe dans les Aurès. Globalement, la majorité des formations à frêne dimorphe s'encarte dans les *Pistacio-Rhamnetalia* Rivas Martinez 1957 (Abdessemed, 1984).

Une étude récente de la végétation des Aurès paraît nécessaire pour savoir l'état actuel de la végétation des Aurès. En 2013, Beghami a levé ce problème par une étude sur l'écologie et la dynamique de la végétation de l'Aurès et une étude de la flore

forestière et montagnarde. Cette étude précieuse a décrit clairement les formations et les groupements végétaux des Aurès y compris les groupements à frêne dimorphe.

Après la détermination de la typologie de la flore du massif de Chélia, Beghami (2013) a signalé que :

Le groupement résultant de la dégradation du groupement à *Cedrus atlantica* se distingue surtout sur le versant nord. Il s'agit du groupement à *Quercus ilex* et *Fraxinus dimorpha*. Ce groupement repose sur un faciès calcaire et marno - calcaire du cénoomanien. Il se situe au niveau des basses et moyennes altitudes et caractérisé par un paysage dominé par une strate arbustive importante, jouant ainsi un rôle primordiale dans leur façonnement.

Quand la dégradation est plus poussée et les conditions notamment bioclimatiques deviennent défavorables, le groupement à *Quercus ilex* et *Fraxinus dimorpha* cède sa place au groupement à *Juniperus oxycedrus*. Ici le genévrier oxycèdre, se trouvant en mélange avec le chêne vert et le frêne dimorphe joue un rôle déterminant. Il est localisé surtout en basses et moyennes altitude sur versant sud ; là ou les conditions bioclimatiques de semi aride et la pression humaine en lui faisant en état précaire.

Au Maroc, le frêne se rencontre souvent en association avec le chêne-vert, où il contribue à la formation de formations végétales pré-steppiques, intégrés dans l'ordre des *Querco-Juniperetalia* (Quézel et Barbéro, 1981). Les associations *Fraxino-Quercetum* sont très représentés dans le Haut Atlas central et oriental (Rhanem, 2008, 2013 ; Taleb et Fennane, 2008).

Ouhammou (1986) in M'sou (2013) a reporté que dans la face nord de Jbel Firgoumiten (bassin versant de l'Ourika), entre 1400 et 2100 m, le chêne vert est associé à *Juniperus phoenicea* et *Fraxinus dimorpha*. Dans la face nord de la zone axiale, en face de la trouée de l'Ourika, le chêne vert est plutôt associé à *Fraxinus dimorpha* et *Cytisus balansae*; cette association constitue la limite forestière supérieure dans ce massif (2400m) et dans la face nord de Rjout, au dessus de Setti-Fadma, le chêne vert est associé à *Fraxinus dimorpha* et *Ephedra major*. Dans la région d'Ait M'hamed, l'association Chêne vert- Frêne dimorphe à été observé dans différents endroits, notamment au bord de la route menant à la vallée des Aït Bouguemmez vers Abbada et dans le plateau de Lahbab et Ait Zyad.

### **1.3.6. Frêne dimorphe et dynamique de la végétation**

Selon Barbero et al. (1990), la matorralisation des ensembles forestiers est générale dans le sud de l'Espagne et en Afrique du Nord en bioclimat subhumide et humide, et correspond à un envahissement généralisé des structures forestières par des sclérophylles des ourlets et manteaux préforestiers.

Beghami (2013) a annoncé que dans la cédraie de l'Aurès c'est surtout le chêne vert et le frêne qui récupèrent le terrain, surtout suite au dépérissement du cèdre de l'atlas constaté ces dernières années (Bentouati et Bariteau, 2006 ; Bentouati, 2008).

Beghami (2013) a déclaré après avoir utilisé une approche géomatique qu'il ressort une extension des garrigues de chêne vert mêlée, soit avec le genévrier oxycèdre, soit avec le frêne dimorphe : +10,51 % et +0,84 respectivement. Celles-ci forment une auréole autour des bas versants des massifs surtout les versants sud. Cette extension n'est, en réalité, que l'expression de la transformation des formations forestières (cédraies, cédraies à chêne vert et forêts de pin d'Alep) après dégradation par des coupes illicites, par des incendies, par le parcours ou par le phénomène de dépérissement de cèdre signalé ces derniers temps dans les Aurès (depuis l'an 2000) (Kherchouche et al. 2013 ; Bentouati et Bariteau, 2006 ; Bentouati, 2008 ; Benhouhou et al. 2010).

### 1.3.7. Intérêts et utilisations

Le frêne est un arbre multi-usage, il fournit plusieurs produits comme le bois de chauffe, d'œuvre et de la construction (perches et poutres), des produits alimentaires et médicinaux (graines), des substances tinctoriales et du fourrage (feuilles). De plus les arbres forment des microclimats, ce qui va favoriser le développement d'un cortège floristique très important qui constituera une source non seulement de fourrage mais aussi de plantes aromatiques et médicinales ainsi de plantes mellifères, ce qui aura des retombées économiques importantes sur la population locale (M'sou, 2013).

Islam et Adams (2000) ont montré la composition des feuilles et de la tige du frêne dimorphe en éléments chimiques tel que : N, P, K, Mg et Ca. Cette composition montre que les feuilles et la tige sont très riches en matière azoté, et que les feuilles sont plus riches que la tige en Azote (N), Phosphore (P) Potassium (K) et Magnésium (Mg), par contre la tige est plus riche en Calcium (Ca).

Le tableau n° 1 montre la concentration d'azote, azote non protéinique, phosphore (mg / g de poids sec) et le potassium, le magnésium et le calcium (% de poids sec) dans le feuillage et la tige de *Fraxinus xanthoxyloides* trouvé au long d'un gradient d'altitude dans le parc national Hazarganji Chiltan, Quetta, Pakistan.

**Tableau 1 :** Concentration des éléments chimiques dans les feuilles et la tige du frêne dimorphe

Partie	N	NPN	P	K	Mg	Ca
Feuilles	23.62	8.85	2.00	0.46	0.35	0.50
Stem	16.81	-	1.39	0.24	0.12	1.29

(Source : Islam et Adams, 2000)

M'sou (2013) a montré la présence des tannins, coumarines et des terpènes. Les tannins se trouvent en quantité plus importante dans les feuilles que dans les graines. Les coumarines sont plus abondantes dans les feuilles, avec un rendement de 0,42 mg par 1g de feuilles pulvérisées, que dans les graines, avec seulement un rendement de 0,09 mg par 1g de graines pulvérisés. Ce résultat est en accord avec ceux de Kostova et Iossifova

(2007) qui ont montré la présence des Coumarins : Cichoriin et Fraxin dans le frêne dimorphe.

### **1.3.7.1. Utilisation alimentaire et médicinale**

Le frêne possède des effets thérapeutiques très importants. La décoction de l'écorce du frêne dimorphe est utilisée pour traiter les plaies et les blessures internes (Singh, 2008).

M'sou (2013) a cité quelques utilisations alimentaires et médicinales des différents organes du frêne dimorphe au Maroc, à savoir :

#### ***a. Usages alimentaires***

D'après les herboristes et les gens enquêtés, les graines du frêne ont une valeur alimentaire intéressante pour la consommation humaine.

Au Maroc, les samares rentrent dans la composition de diverses préparations et mélanges. Ras El Hanout est un composant utilisé comme épices ou condiment dans la cuisine marocaine (Tagines, Couscous, Rfissa...). Ras El Hanout est constitué de vingt à trente plantes dont le frêne est un constituant principal ; ainsi dans un kg de Ras El Hanout on trouve 200 g de graines de frêne. Cette épice est réchauffante, tonique, aphrodisiaque, et épurative en utilisant une petite cuillère dans un verre du lait chaud.

Le frêne rentre aussi dans la composition de lemrozia; c'est une composition très utilisée en cuisine, généralement pour la préparation des plats.

Dans certaines régions, comme Fès, les graines en poudre sont mélangées avec le café et ce pour leur propriété aphrodisiaque.

Il est aussi indiqué que la poudre des graines du frêne et cardamome (qaaqulla) sont mélangées avec du miel pour confectionner une pate utilisée comme aditif alimentaire.

#### ***b. Usages médicinales traditionnels***

La drogue est constituée généralement de la poudre des samares de frêne. Chez tous les herboristes; on leur prête des vertus réchauffantes, toniques, aphrodisiaques et antidiabétique. On le prend à raison d'une cuillère à café de poudre mélangée à du miel à raison de 5 g de poudre dans 250 cl du miel.

Un mélange de graine du frêne avec tarra (Cyperus) et dbagh (écorce du chêne) est utilisé en infusion une fois par jour et à partir du 3ème jour avant les règles; il sert à stabiliser les règles mensuelles chez la femme. Ainsi, le frêne est utilisé avec Karweya (Carvi) pour les règles douloureuses et pour la ménopause.

En infusion avec le myrte (Myrtus communis L), lhelba (Fenugrec = Trigonella foenum graecum) et les graines de courgette rouge; cette tisane est utilisé contre les problèmes de la prostate.

Enfin, les graines de frêne rentrent également dans la composition des Msakhen. Cette mixture est constituée d'une panoplie de plantes pouvant en rassembler près de 50. Chaque herboriste prescrit sa propre composition. Néanmoins, il existe des espèces communes citées par les herboristes qui peuvent être considérées comme le noyau du Msakhen. Les autres espèces paraissent cependant facultatives et restent spécifiques à chaque herboriste.

Msakhen est la composition la plus connue au Maroc par son pouvoir de réchauffer c'est-à-dire qui lutte contre toute sorte de refroidissement. Elle est utilisée également en usage culinaire comme un important ingrédient de nombreuses préparations (harira, rfissa, tagine, couscous...). Elle est également utilisée pour soigner certains types de stérilités chez les femmes. Elle est recommandée aussi pour prendre du poids et comme fortifiant pour les femmes en période de convalescence après l'accouchement.

#### **1.3.7.2. Utilisation fourragère**

Selon Chevalier (1927), les Frênes constituent une des principales plantes fourragères de l'Afrique du Nord, spécialement en Algérie et leur culture pratiquée par les Berbères est sans doute très ancienne. On rencontre une espèce de Frêne en Algérie qui est le *Fraxinus dimorpha* Cosson et Durieu, même dans la zone des steppes elle peut vivre le long de certains oueds, à condition que ses racines puissent trouver de l'eau douce dans le sol.

Chevalier (1927) a dit : « *Nous en avons même vu certains pieds qui vivent près de Biskra dans les endroits irrigués. Toutefois dans les territoires subsahariens, il est probable qu'il faudrait donner la préférence au F. dimorpha de l'Aurès, plus xérophylle. Néanmoins l'utilisation des branches comme matière fourragère est générale. Dans toutes les contrées semi-arides où beaucoup d'eau est gaspillée, il y aura toujours intérêt à multiplier des arbres résistant à la sécheresse de l'air et les Frênes dont nous venons de parler, sont au nombre des arbres les plus utiles pour l'Afrique du Nord et des plus intéressants à propager dans ces contrées* ».

Bourbouze (1980), dans son étude sur l'utilisation d'un parcours forestier pâturé par des caprins a montré que la valeur nutritive du frêne dimorphe est la meilleure (de 0.75 à 0.86 UFL/kg MS) par rapport à l'ensemble des espèces végétales de la strate arboré composant la ration des caprins (qui ont tous une valeur inférieure à 0.63 UFL/kg MS).

#### **1.3.7.3. Utilisation du bois de frêne**

Ajoutons que lorsque les arbres de frêne dimorphe seront épuisés, on pourra les abattre et ils fourniront un bon bois pour le matériel agricole, pour la menuiserie et pour le chauffage. Dans l'intérêt de la population riveraine, on doit donc multiplier les plantations de Frênes dans l'Afrique du Nord (Chevalier, 1927).

M'sou (2013) a fait une enquête au Maroc sur les Aspects fourragers et usages traditionnels du frêne dimorphe dans des terroirs agro-forestiers du Haut Atlas marocain, dont l'utilisation du bois comme :

***Bois de feu***

Le bois du frêne est facilement inflammable, présente un pouvoir calorifique élevé et donne une chaleur importante, de même, il ne nécessite pas une longue période de séchage avant l'utilisation contrairement au chêne vert.

***Bois d'oeuvre***

Le bois du frêne est un bois très dur qui résiste aux aléas, aux ravageurs et insectes, de plus, il supporte l'humidité ce qui lui assure une résistance qui dure plus longtemps que le chêne vert. Les villageois préfèrent le bois de frêne en 2<sup>ème</sup> lieu après le bois de Genévrier oxycèdre et le bois de chêne vert en 3<sup>ème</sup> lieu. Le façonnage du bois d'oeuvre s'effectue bien avant son extraction. Au moment de l'ébranchage, les branches destinées à être utilisées comme poutres ou perches dans la construction sont maintenues sur l'arbre pour atteindre une taille et une longueur appropriées

***Fabrication des outils agricoles***

Le frêne dimorphe a également un bois facile à travailler, ce qui explique son utilisation ancestrale pour la fabrication artisanale de nombreux objets. De nombreux outils agricoles: la charrue traditionnelles, échelles, râteaux, marteaux, masses, pelles,...

***Protection des champs cultivés par des haies vertes et sèches***

Les branches de frêne sont très utilisées dans la limitation et la protection des champs cultivés, contre le cheptel, par des haies. En plus de son aspect épineux, le frêne est préféré par les agriculteurs grâce à sa persistance qui peut durer jusqu'à deux ans.

**1.3.7.4. Intérêt écologique et état de la conservation de l'espèce**

En plus de l'intérêt du frêne dimorphe à l'homme, que ce soit des intérêts thérapeutiques, fourragères, ou bien le bois pour le chauffage ou l'utilisation comme outillages pour l'agriculture, cette essence a un rôle écologique important, du fait qu'elle joue un rôle de bio protecteur des berges des Oueds contre l'érosion hydrique, généralement elle entre dans la composition floristique des cédraies de l'Afrique du Nord ce qui représentent des écosystèmes très riches en biodiversité.

Beghami (2013) a constaté que les stades de dégradation de type maquis et garrigues qui succèdent aux forêts de cèdre en basse altitude -dominés par le genévrier oxycèdre, le chêne vert, le frêne parfois substitué à l'érable de Montpellier- sont connues par une richesse considérable en espèces héliophiles et une diversité floristique notable.

Du point de vue floristique, les associations à frêne dimorphe ont un intérêt très important; car elles se caractérisent par un cortège floristique important et diversifié; ce qui constitue une source non négligeable de fourrage en plus d'un réservoir important de plantes médicinales et de plantes mellifères tel que les thym et quelques rares stations d'euphorbes. En plus de la production de biens, les frênes rendent de nombreux services grâce à leur influence positive sur les propriétés de l'écosystème : lutte contre l'érosion et la fixation du sol, ombrage notamment pour les troupeaux durant l'été, maintien de la biodiversité en fournissant des conditions et des microclimats favorisant le développement d'une flore et d'une faune importante (M'sou, 2013).

Selon Yahy et al (2008), Le frêne dimorphe est présent à l'Aurès et à Belezma, et son gradient de rareté est extrêmement rare (RRR). Rhanem (2008) a déclaré que le frêne dimorphe est une espèce indicatrice de milieux froids.

Le frêne dimorphe en Algérie est classé dans la liste des espèces végétales non cultivées protégées par le Décret exécutif n° 12-03 du 10 Safar 1433 correspondant au 4 janvier 2012.

## CHAPITRE II : LE CEDRE DE L'ATLAS

### 2.1. Présentation

Arbre endémique de l'Afrique du Nord, le cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica*, est l'une des espèces qui possèdent une grande valeur écologique-floristique, socio-économique et patrimoniale. Longtemps, cette précieuse essence a très bien été adaptée à son environnement méditerranéo-montagnard.

Le genre *Cedrus* appartient à la famille des Pinacées et à la sous famille des Abiétées, est un genre ancien connu depuis le tertiaire avec une large répartition (Siziani, 2005). En se basant sur des critères biogéographiques, Boudy (1950) ; M'hirit (1994) ; De Vilmorin (2003) et M'hirit (2006) s'accordent que ce genre comprend quatre espèces présentes sur le pourtour méditerranéen et dans l'Himalaya. Il s'agit du:

- *Cedrus deodara* London (Cèdre de l'Himalaya): En Asie;
- *Cedrus libani* Barrel (Cèdre du Liban): Au Liban, Turquie et Syrie;
- *Cedrus brevifolia* Henry (Cèdre de Chypre): à Chypre;
- *Cedrus atlantica* Manetti (Cèdre de l'Atlas): au Maroc et en Algérie.

Les aires naturelles de ces quatre espèces sont bien différenciées, tandis que leurs exigences sont parfois très voisines (Ducrey, 1994).

Le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) est, en Algérie, un arbre de première grandeur des forêts de montagne (Harfouche & Nadjahi, 2003). Selon (Hainry & Colombet, 2009) pouvant dépasser 35 m de hauteur à l'âge adulte, et capable de vivre plusieurs siècles. Le port de l'arbre est pyramidal avec un fût droit, cime régulière et pointue à flèche courbée quand il est jeune ou d'âge moyen, il prend une forme tabulaire en vieillissant (Boudy, 1952). Ces nombreuses qualités en font de lui une essence forestière d'avenir, surtout pour les pays méditerranéens, où il est largement introduit depuis le siècle dernier.

### 2.2. Aire de répartition naturelle

L'aire de répartition naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M) est limitée aux massifs montagneux de l'Algérie et du Maroc, il s'organise en quatre principaux blocs, dont deux au niveau des montagnes marocaines et deux en Algérie (Bentouati, 2008).

Selon Beghami (2013) deux groupements de cédraies ayant un caractère écologique différent :

- Les cédraies septentrionales adaptées à l'humidité.
- Les cédraies méridionales adaptées à une forte sécheresse.

**▪ Au Maroc**

Le cèdre de l'Atlas est localisé sur les montagnes du Maghreb ; le Maroc détient à lui seul la plus grande surface, répartie sur deux blocs d'inégale importance,

- Le premier dans le moyen Atlas et le grand Atlas oriental (116 000 ha),
- Le second dans le Rif occidental et central avec une superficie d'environ 16 000 ha (M'hirit, 1982).

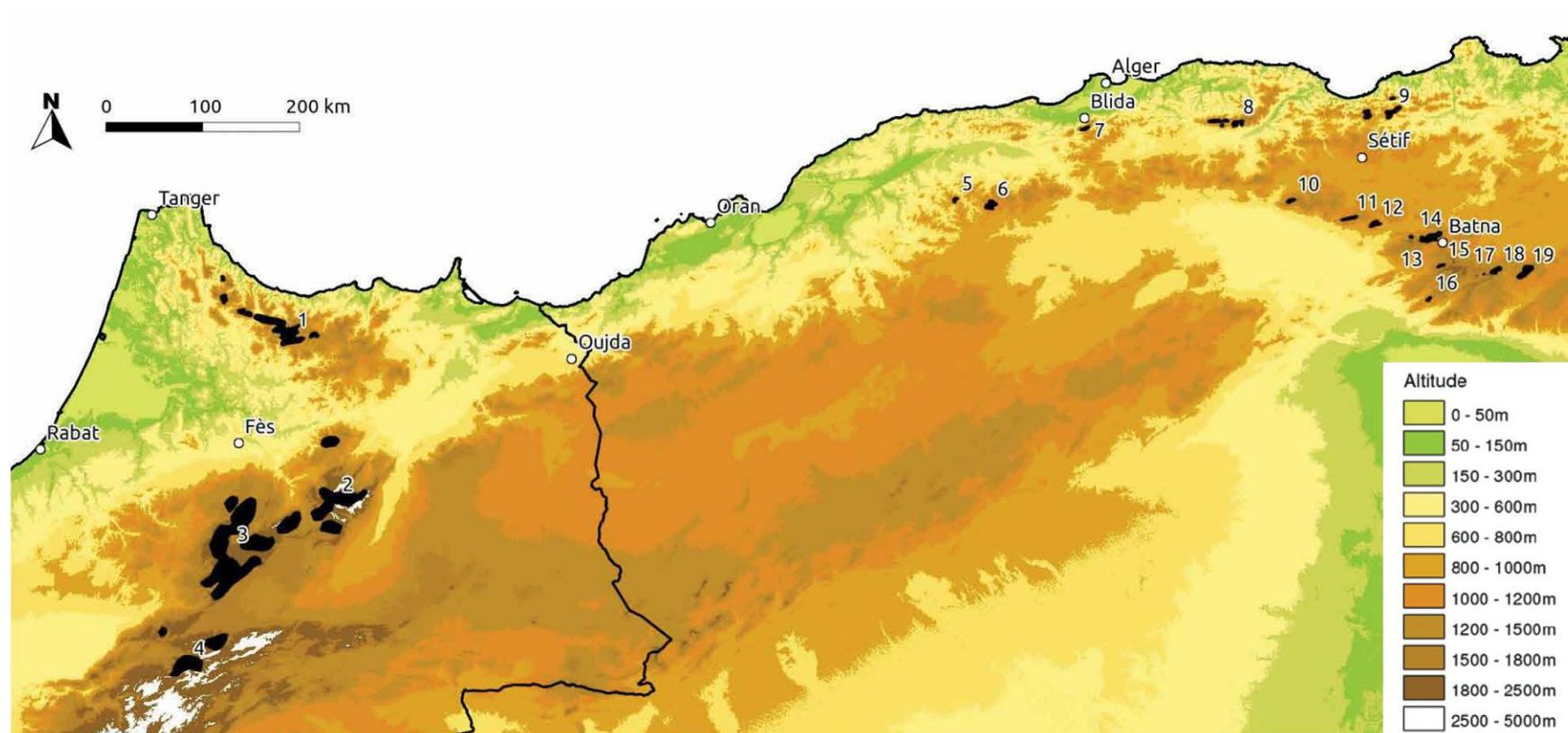
**▪ En Algérie**

En Algérie, la surface couverte par le cèdre est très restreinte et son aire est disjointe. Les massifs de cédraies sont très dispersés en cantons isolés et couvrent une superficie plus réduite qu'au Maroc. D'après Quezel (1998), la surface du cèdre ne dépasse guère les 30 000 hectares. Nous pouvons les classer d'après en deux grands blocs sensiblement différents:

- Le premier est localisé sur les montagnes littorales bien arrosées de l'Atlas tellien se rencontrent dans le massif de l'Ouarsenis (2 000 ha à Théniet El Had, Boucaïd, etc.), l'Atlas Blidéen (1 000 ha à Chréa), le Djurdjura (2 000 ha à Tala Guilef et Tikjda principalement) ainsi que dans les Babors et Tababors (1 300 ha), ce sont les cédraies humides (Abdessemed, 1981).

- Le second occupe les montagnes méridionales continentales de l'Atlas saharien, ce sont les cédraies sèches. Il est représenté à l'Est par les cédraies des Aurès et de Belezma, qui couvrent 17 000 ha environ, à l'Ouest les massifs de Maadid, Boutaleb et Guethiane (Hodna). Ces dernières sont réparties en cantons isolés couvrant environ 8000 ha (Nedjahi. 1988).

La figure 5 représente la répartition du cèdre de l'atlas dans son aire naturelle en Algérie et au Maroc, selon Courbet et *al.* (2012).



**MAROC**

- 1: Rif
- 2: Moyen Atlas Oriental
- 3: Moyen Atlas Central
- 4: Haut Atlas Oriental

**ALGÉRIE**

- |                   |                   |                   |                  |
|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| 5: Ouarsenis      | 9: Babors         | 13: Refaa         | 17: Ichemoul     |
| 6: Theniet-el-Had | 10: Djebel Maadid | 14: Belezma       | 18: Chelia       |
| 7: Chrea          | 11: Boutaleb      | 15: Sgag          | 19: Ouled Yacoub |
| 8: Djurdjura      | 12: Guethian      | 16: Djebel Lazreg |                  |

**Figure 5 :** Air de répartition naturelle du cèdre de l'Atlas (Courbet et al., 2012)

Le tableau 2 présente les superficies des cédraies algériennes selon plusieurs références bibliographiques.

**Tableau 2 :** Estimation de la superficie des cédraies aurassiennes (Bentouati, 2008)

	LEVEL et LEFEBRE cité par FAUREL et LAFITTE (1949)	BOUDY (1952)	Projet Algérie 15 (1970)	BENTOUATI (2008)
<b>OULED YAGOUB</b>	4.000	3.000	3.300	3.227
<b>CHELIA</b>	7.000	3.000	2.475	8.000
<b>ICHMOUL</b>	---	150	---	150
<b>S'GAG</b>	500	600	2.093	500
<b>BELEZMA</b>	8.000	8.100	4.254	5000
<b>TOTAL</b>	20.050	17.450	12.022	17.477

Le tableau 2 montre que les superficies des cédraies méridionales ont fortement diminué au cours du temps. Ceci est dû à l'appréciation des superficies selon les auteurs (dégradées, mélangées). Ainsi que ces chiffres ne reflètent pas la réalité, car plusieurs cédraies telles que celles d'Ichemoul sont pratiquement disparues ou se trouvent dans un état avancé de dégradation comme le cas de la cédraie de Hodna (Abdessemed, 1981), néanmoins, la cédraie des Aurès et celle de Belezma ont énormément régressé (coupes, pâturage, incendies, sécheresse...) passant respectivement de 20.000 à 12.000 ha et, de 8.000 à 4.250 ha (Khanfouci, 2005).

### 2.3. Ecologie du cèdre de l'atlas

C'est un arbre essentiellement montagnard, bien adapté au climat froid. Les conditions écologiques du cèdre sont très variables et varient selon plusieurs facteurs dont les plus importants sont l'altitude, le climat et le sol (Boudy, 1950).

#### 2.3.1. Exigences climatiques

Les exigences climatiques font du cèdre une essence caractéristique de l'étage montagnard (Quézel, 1998). Il est généralement bien venant sous climat méditerranéen humide et froid à continentalité un peu accentuée (Boudy, 1950). Il s'accommode à des climats très différents.

- Très humide (Rif Maroc) et l'Atlas Mitidjien
- Humide (Moyens Atlas).
- Relativement xérophile (Aurès).

Le cèdre de l'atlas capable de supporter des variations climatiques importantes et peut donc se développer dans des conditions écologiques très différentes de son aire d'origine.

#### ➤ Les températures:

La température constitue un facteur écologique limitant et important. Elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition des végétaux. Le cèdre de l'atlas supporte des températures très basses en hiver (-7°C à -20°C) et des

températures hautes allant de 20 à 39°C. Cependant, il est moins résistant en période juvénile (Boudy, 1950; M'hirit, 1982; M'hirit & Blerot, 1999). Il tolère les hivers froids et neigeux, mais reste sensible aux fortes gelées et dépérit lorsque les températures sont inférieures à -25°C (Hainry & Colombet, 2009).

D'une manière générale, le cèdre de l'Atlas est une espèce pouvant se développer dans des conditions climatiques variées.

➤ **Les précipitations**

Le cèdre de l'Atlas a besoin d'une pluviométrie annuelle comprise entre 500 et 1500mm (Ducrey, 1994). En Algérie, les populations de Cèdre colonisent des milieux allant du semi-aride supérieur froid dans certaines stations de l'Aurès et des monts du Hodna (450 à 500 mm de pluie/an) au subhumide frais à froid dans l'Aurès, le Hodna, l'Ouarsenis et le versant sud du Djurdjura (600-800 mm/an) et à l'humide froid dans les Babors (plus de 2 000 mm/an), le versant nord du Djurdjura et l'Atlas Blidéen (1200 - 2000 mm/an) (Abdessemed, 1981).

### **2.3.2. Exigences édaphiques**

D'après Khanfouci (2005) le cèdre de l'Atlas est indifférent à la composition chimique du sol. C'est la composition physique qui joue le rôle prépondérant (Boudy 1952). Le cèdre préfère les sols profonds, meubles et caillouteux, Toth (1981) et Boudy (1950) notent que sur le plan physique, le cèdre se développe mieux sur des sols profonds, meubles, caillouteux et roches fissurées où la jeune plantule peut se développer rapidement. Il redoute les sols mal drainés, asphyxiants et hydromorphes. La structure argileuse est lui défavorable également. Le Cèdre colonise des substrats très variés, schistes néocomiens, grès blancs, grès et quartzites, calcaires massifs, calcaires dolomitiques et dolomie, marno-calcaires et marnes ; sa croissance reste, toutefois, moindre sur les terrains calcaires que sur les roches mères siliceuses, d'autant plus que les sols y sont souvent plus superficiels (Harfouche & Nedjahi, 2003).

Le Cèdre de l'Atlas est indifférent à l'acidité du sol, et supporte une gamme de PH comprise entre 4 et 8. Il s'accommode de conditions édaphiques variées, (Hainry & Colombet, 2009).

Au Maroc ; le cèdre de l'atlas se développe sur des grès blancs, des dolomies, des calcaires francs, des calcaires dolomitiques et des marnes (M'hirit, 1999)

En Algérie, Abdessemed (1981) souligne que les 9/10 des cédraies algériennes se trouvent sur des formations siliceuses et en bien moindre proportion sur des calcaires du Crétacé. Cela n'exclut pas son développement sur des basaltes, marnes, dolomies, calcaires, schistes ou encore des grès (Boudy, 1950).

### **2.3.3. L'altitude**

Dans l'ensemble de son aire naturelle, les cédraies s'observent entre 1 400 et 2 600m d'altitude. Cette tranche altitudinale correspond aux étages de végétation suivants :

- supra méditerranéen qui s'insère entre 1400 et 1800m dans le Rif et les massifs telliens d'Algérie; entre 1600 et 2000m dans le Moyen Atlas et les Aurès et entre 1700 et 2100m dans le Haut Atlas oriental.

- Montagnard méditerranéen qui succède au premier et qui occupe les niveaux altitudinaux compris entre 1800 et 2300m dans le Rif et les massifs telliens d'Algérie; entre 2000 et 2500m

dans le moyen Atlas et les Aurès et entre 2100 et 2600m dans le haut Atlas oriental (Benabid, 1994).

Quezel (1976) a signalé que la cédraie peut descendre jusqu'à 900 m en Algérie et elle peut aller jusqu'à 2500 m sur le haut de l'Atlas Oriental, alors qu'ailleurs elle s'arrête à 2000 et 2300m.

En dehors de leur aire naturelle, des cédraies artificielles, comme le cas de la France installées a basse altitude entre 250 m et 900 m et peut même aller jusqu'à 1200 m (Guibal, 1984). On cite la cédraie artificielle du Mont Venteux, qui descend jusqu'à 680m (Toth, 1980).

#### **2.3.4. Exposition**

L'exposition joue un rôle très important dans la répartition des précipitations et la variation des températures et par conséquent sur la répartition du cèdre de l'Atlas.

En Algérie, les vents dominants sont de direction nord ouest, ce qui fait que ces deux versants sont exposés à une pluviométrie plus importante que les versants sud qui sont exposés aux vents chauds et secs (Sirocco) et à un ensoleillement quasi permanent (Emberger, 1938).

Au Maroc, les études effectuées sur les cédraies du Moyen Atlas font ressortir que celle qui sont les mieux développées et où la régénération est mieux réussie sont celles exposés à l'ouest et au nord-ouest, alors que celles exposées à l'est et au sud-ouest ont une faible fructification et faible régénération (Ezzahiri et Belghazi, 2001).

En effet, les plus belles cédraies en Algérie et au Maroc se rencontrent sur les expositions Nord, Nord-Ouest. Celles-ci bénéficient des vents chargés de pluies et sont épargnées des vents secs (sirocco) (Abdessamed, 1981).

#### **2.4. Rôle et importance des cédraies**

En raison de sa grande taille, de son port majestueux, de sa grande longévité (arbre centenaire) et de ses origines; le cèdre possède une grande réputation nationale et une renommée internationale (Pradal, 1979 *in* Houamel, 2012). Le cèdre est une essence capable de remplir plusieurs rôles à la fois, et ceci malgré les conditions écologiques souvent difficiles et la surface restreinte qu'il occupe (Toth, 1980).

✓ Il est considéré par les forestiers comme la plus précieuse des essences forestières d'Afrique du Nord pour la production de bois d'œuvre (Sahli, 2004), elle lui assure toutes sortes d'utilisation, fabrication de chalets de Montagne, menuiserie, charpente poteaux, placage intérieur, meubles rustiques les produits d'éclaircie peuvent être utilisés également en papeterie, mélanges en faible quantité avec pins (M'hirit, 2006).

✓ Le Cèdre de l'Atlas donne des peuplements résistants bien aux incendies grâce à son couvert sombre qui limite l'installation d'un sous-bois combustible. Sa litière est par ailleurs peu inflammable. C'est une essence qui peut également coloniser les zones incendiées (Hainry & Colombet, 2009).

✓ A l'état adulte, par leurs systèmes racinaires étendues et ramifiés ainsi que par leurs larges houppiers. Il assurent une protection efficace contre l'érosion de plus, en réduisant l'impact des précipitations violentes. La litière du cèdre enrichit les sols sans les acidifier (Bouras, 1990).

✓ Le cèdre supporte bien la sécheresse, les sols sur roches mères calcaires et froid

hivernaux relativement rigoureux qui constituent autant de facteurs limitants pour la forêt méditerranéenne (Hadji, 1991).

✓ Signalons enfin que les riverains distillent le bois pour en faire un goudron employé, comme celui du genévrier, à soigner des affections cutanées du bétail, Là où coexistent cèdres et genévriers, c'est le goudron de cèdre qui est préféré (Seigue, 1985).

✓ Le cèdre de l'Atlas bénéficie d'une grande facilité de régénération naturelle dans les étages de chêne vert en Afrique du Nord et chêne pubescent en France, assurant ainsi la pérennité des peuplements et permettant des reboisements économiques (M'hirit, 2006).

✓ La cédraie abrite une flore et une faune fort remarquables, parfois peu connues et dont la disparition serait une grande perte pour le pays et pour la science.

✓ Enfin, la beauté des cédraies permet d'attribuer à ses peuplements un rôle esthétique certain, au niveau des régions où la pression touristique est particulièrement importante.

## **2.5. Facteurs de dégradation du cèdre de l'Atlas**

Le cèdre possède une valeur écologique irremplaçable ; toutefois, il est sujet à une dégradation continue. Cette dégradation plus ou moins accélérée des peuplements et l'éclaircissement progressif des strates arborescentes font évoluer la cédraie vers une structure de végétation de type préforestier et matorralisation (Quézel, 1998). Les causes de cette dégradation et les contraintes subies par la cédraie sont multiples. Elles sont liées à la fois aux facteurs naturels et à l'action humaine. Ces contraintes affectent très fortement l'équilibre déjà fragile de ces forêts et conditionnent de ce fait leur pérennité (Bentouati, 2008).

### **2.5.1. Les facteurs naturels**

#### **2.5.1.1. Le stress hydrique**

Il est clair que les périodes de sécheresse accusées ces deux dernières décennies ont joué un rôle dans le rétablissement d'une feuillaison chez la plus part des vieux sujets de cèdre (Briki, 2004). C'est depuis le début des années 1980, que la cédraie algérienne et plus particulièrement la cédraie Aurassienne la plus méridionale du pays réputée par sa résistance à la sécheresse, connaisse un grave dépérissement qui atteint dans certains endroits des taux très importants. Il est évalué à plus de 80% à Dj Tougourt voire 90% à Boumerzoug (Bentouati & Bariteau, 2006).

Les effets du stress hydrique sur les plantes sont nombreux, ils varient selon la sévérité et la durée du stress, le stade de développement de la plante et selon le génotype (Beghami, 2013). Les premiers effets de cette situation climatique difficile est le dépérissement de la cime. L'arbre se trouve alors en situation de déséquilibre entre la partie aérienne et la partie racinaire (Briki, 2004).

Boudy (1950) indiquent que des sécheresses exceptionnelles de 1875 à 1888 auraient, déjà, occasionné d'importants dégâts sur les peuplements de Cèdres.

#### **2.5.1.1. Les insectes**

Les attaques des insectes ravageurs sont des agents pathogènes responsables de la dégradation du cèdre et sont dépérissement. Plusieurs espèces d'insectes existent dans les cédraies du bassin méditerranéen et commettent des dégâts (Fabre, 1976 *in* Beloula, 2010). Parmi ces insectes :

- ***Thaumetopoea bonjeani* Powel** ; (processionnaire du cèdre) Insecte ravageur des aiguilles, l'arbre apparaît totalement défeuillé et donne l'aspect d'un arbre incendié (Roques, 1983 *in* Houamel, 2012). Signalées pour la première fois dans les cédraies de haute altitude à Azrou (moyen Atlas) au Maroc en 1921. En Algérie l'insecte a été découvert en 1982 dans la cédraie du Bélezma. Sa présence a été confirmée à la suite d'investigations dans les cédraies (Gachi et al., 1986).

- ***Thaumetopoea pityocampa*** ; (Processionnaire du pin) Qui attaque les aiguilles des jeunes pousses (Boudy, 1950). S'attaque au stade larvaire essentiellement aux résineux, cette processionnaire dite d'hiver (développement larvaire hivernale) ravage de grandes étendues de forêts en Algérie dont les cédraies induisant une grande perte de croissance aux sujets attaqués (Beghami, 2010).

- ***Megastigmus pinsapinis*** ; (Le chalcidien seminivore) Attaque les graines, il est le responsable de la perte d'au moins 13% des graines (Bariteau & al., 1994).

- ***Cedrobium loportei*** ; (Le puceron du cèdre) est un insecte piqueur suceur : Les sucres de sève atteignent les cellules vivantes et les vaisseaux conducteurs, les toxines qu'injectent ces insectes peuvent entraîner des perturbations physiologiques graves aboutissant au dépérissement des arbres (Briki, 2004).

- ***Acleris undulana*** ; peut se développer sur les trois espèces de cèdre du pourtour méditerranéen : *C. atlantica*, *C. libani* et *C. brevifolia*. Les dégâts s'observent au printemps (Mouna, 1982 *in* Fabre & al., 1999). L'ensemble du houppier des arbres est attaqué, indépendamment de leur âge et de leur emplacement. De loin, les arbres attaqués sont facilement repérables à leur aspect jaune-brun dû principalement au feuillage desséché (Fabre & al., 1999).

- ***Phaenops marmottani* Fairmaire** ; Ce coléoptère Buprestidae a été trouvé et obtenu sur des arbres de cèdre en cours de dépérissement. Rappelons que les adultes et les symptômes du xylophage sont présents sur les trois classes de dépérissement 1, 2 et 3, dont les arbres étaient encore vivants sur le terrain et n'attiraient aucun soupçon sur leur état de santé et sur des arbres morts. Il est donc certain que cet insecte intervient dans le dépérissement des cèdres dans le Moyen Atlas au Maroc (Mouna, 2009).

### V.1.3- Les Maladies Cryptogamique (champignons)

Les champignons sont les principaux agents de maladies chez les arbres forestiers; ils agissent en général, comme parasites actifs, qui font ainsi partie de la flore d'équilibre et occasionnent souvent des dégâts importants (Jaoudat ; 1981 *in* Briki, 2004).

Parmi les champignons qui causent des dégâts redoutables au cèdre on cite :

- ***Polyporus officinalis***: cause des altérations plus au moins graves au cèdre (Boudy, 1952).
- ***Armillaria milla*** : ce champignon attaque surtout les racines et le tronc, ce champignon se développe surtout sur les arbres affaiblis par une cause quelconque (Malki, 1992 *in* Beloula, 2010).

## 2.5.2. Les facteurs anthropiques

### 2.5.2.1. Les Incendies

L'homme est directement ou indirectement à l'origine de plus de 90 % des incendies et des surfaces brûlées (Tillier, 2011). Après 132 ans de colonisation, les deux tiers de nos

plus belles forêts furent détruites soit par les innombrables incendies (Briki, 2004). De toutes les espèces qui composent la forêt méditerranéenne, le cèdre est le moins inflammable et le moins combustible. En peuplement dense, le cèdre élimine toute végétation herbacée, de ce fait il est peu propice au feu (Boudy, 1950).

#### **2.5.2.2. Le surpâturage**

La cédraie est depuis longtemps victime des ravages d'un pastoralisme intempestif. Ce surpâturage engendre un écocide lent, une extinction massive des plantes. Selon Benmessaoud (2008) le pâturage intensif peut empêcher la production des espèces intéressantes du fait que le bétail broute les jeunes semis de ces espèces et laisse les espèces peineuses, les grands arbres sont eux-mêmes touchés, leur croissance est ralentie, et ils deviennent plus sensibles à la sécheresse et aux attaques d'insectes. D'après Briki (2004) le surpâturage constitue une menace redoutable pour la régénération naturelle du cèdre. Actuellement, le parcours est continu pendant toute l'année aux basses altitudes (certains bovins passent toute l'année en forêt). Le piétinement trop important est également un facteur défavorable.

#### **2.5.2.3. Coupes illicites**

D'après Briki (2004) Le phénomène de l'abattage clandestin de cèdre à des fins commerciales a pris ces derniers temps une tournure dangereuse et risque à moyen terme de provoquer un désastre écologique. Du point de vue écologique, les effets secondaires de la destruction des cédraies sont au moins aussi négatifs que les maladies.

Aujourd'hui, les coupes illicites de cèdres sont fréquentes. Toutefois, l'utilisation de cette essence remonte l'antiquité. Mais c'est la colonisation française qui a eu les conséquences les plus néfastes sur ces forêts. Ceci a entraîné des défrichements, des incendies et surtout le pacage en forêt. Par ailleurs, d'énormes quantités de bois ont été prélevées par des compagnies de bucherons militaires pour la construction de leur casernement (Sahli, 2004).

## CHAPITRE III : DYNAMIQUE SPATIALE ET BIOMASSE FORESTIERE

### 3.1. Cartographie de la dynamique spatiale de végétation

La cartographie de la végétation a connu un essor remarquable depuis les années 60 (Küchler, 1967). Avec l'apparition de l'imagerie numérique et le grand nombre de données satellitaires mises à notre disposition depuis les années 70, il est évident que les méthodes et les moyens mis au service de la cartographie ont considérablement évolué.

La comparaison des cartographies traditionnelles, établies à partir de photographies aériennes, et des cartographies issues de l'interprétation et des traitements des données satellitaires permet de mettre en évidence les problèmes rencontrés et les progrès réalisés dans l'utilisation des capteurs à haute et basse résolutions géométriques.

#### 3.1.1. Diversité des conceptions cartographiques

Il est extrêmement difficile, encore aujourd'hui, de donner une définition unique de ce qu'est une carte de la végétation. Chaque pays, chaque organisation internationale ont leurs propres méthodes et systèmes de classification, en fonction de leurs objectifs, de la taille de la région cartographiée ou des moyens mis en œuvre. (Janodet et Blasco 1993 ; Pedrotti 2013 ; Nelson et *al.*, 2015 ; Bencherif et Latreuch Belarouci 2006 ; Tchibozo et Domingo 2014 et Konan 2012)

En simplifiant, on peut subdiviser les cartes de la végétation en deux grandes classes : celles qui tiennent compte des paramètres du milieu et du dynamisme des peuplements et celles dans lesquelles la physionomie et la flore de ces mêmes peuplements sont presque exclusivement prises en compte. On conçoit ainsi des cartes floristiques et des cartes essentiellement dynamiques et écologiques. Il est clair que les données sur la flore, sur la physionomie de la végétation et sur l'utilisation de ces ressources par l'homme conduisent à la production de cartes relativement statiques, dites «cartes d'utilisation du sol». De telles cartes ne sont en fait qu'une représentation spatiale d'inventaires (Janodet et Blasco, 1993).

L'emploi de telles cartes est limité, car elles n'informent que sur l'état de la végétation selon un petit nombre de critères (floristiques, physionomiques) et à une date donnée (Gausson, 1957). Il paraît plus intéressant de se demander ce qui conditionne cet état et comment il pourrait évoluer. Il s'agit donc d'analyser la végétation en termes dynamiques. On doit alors prendre en compte les paramètres physiques et biotiques du milieu et les types de végétation correspondants, plus ou moins perturbés et donc à différents stades de leur évolution, progressive ou régressive. On établit ainsi des cartes écologiques de la végétation, auxquelles Gausson associe la notion de «séries de végétation». (Janodet et Blasco, 1993). On trouvera plus de détails sur la réalisation des cartes de la végétation dans Pedrotti (2013).

De manière classique les cartes de la végétation étaient réalisées à l'aide de la couverture aérienne de la région étudiée, qui permettait d'extrapoler des connaissances et des relevés de terrain sur des surfaces limitées. La télédétection spatiale a fourni un nouveau moyen d'observer la surface terrestre et des méthodes de cartographie de la végétation ont été développées autour de cet outil. Elles sont très similaires dans leur démarche aux méthodes classiques, mais l'imagerie satellitaire a introduit des procédures nouvelles liées notamment à la taille du champ de vision et à la nature numérique des données (Janodet et Blasco, 1993).

**3.1.2. Principaux apports de la télédétection spatiale à la cartographie végétale****3.1.2.1. Comportement spectral des végétaux**

La réalisation de cartes de la végétation à l'aide de données de télédétection spatiale repose sur la possibilité de reconnaître, à partir de leurs caractéristiques radiométriques, des types de végétation selon des critères de classification «traditionnels» (Pedrotti, 2013).

Les principes de l'utilisation de la télédétection spatiale pour l'observation et la cartographie de la végétation peuvent être résumés de façon relativement simple. Les spécialistes de la végétation s'intéressent essentiellement à deux ou trois bandes spectrales dont sont équipés les principaux capteurs satellitaires. La bande visible rouge, dans les longueurs d'onde de 0,6 à 0,7  $\mu\text{m}$  environ, est intéressante car elle inclut les longueurs d'onde du rayonnement photosynthétiquement actif : elle correspond à la zone de forte absorption par les pigments photosynthétiques des plantes. Dans la bande proche infrarouge (PIR), de 0,7 à 1  $\mu\text{m}$  environ, on observe un minimum d'absorption des radiations par les végétaux, mais un maximum de réflexion due aux propriétés anatomiques des feuilles, notamment aux cuticules et aux discontinuités des mésophylles. De plus, au delà de 1,4  $\mu\text{m}$ , le comportement spectral des végétaux est fonction de leur teneur en eau. Un végétal en bon état sanitaire présente de fortes diminutions de sa réflectance autour de 1,45  $\mu\text{m}$  et de 1,9  $\mu\text{m}$ . Au contraire, un stress hydrique provoque une atténuation de ces bandes d'absorption.

L'allure des courbes de réflexion et d'absorption du spectre lumineux par les végétaux est toujours la même. On observe cependant des variations en fonction des paramètres suivants : Des individus d'espèces différentes présentent des réponses spectrales différentes. Il faut aussi distinguer les comportements spectraux de peuplements monospécifiques et plurispécifiques (Janodet et Blasco, 1993).

En combinant les bandes visible et proche infrarouge dans un rapport appelé l'indice de végétation normalisé (NDVI), il était possible d'améliorer la capture de longueurs d'onde vertes réfléchies et contrôler la végétation sur de grandes surfaces (Tucker 1978, 1979; Tucker et al., 1985). Il fut bientôt reconnu que les valeurs de NDVI chaque année intégrés bien corrélées avec la productivité primaire nette annuelle, mais pas avec des mesures instantanées telles que la biomasse debout (sauf à de faibles niveaux de densité de la végétation, essentiellement sans arbres). Ces relations ont été validées à l'échelle mondiale par Box et al. (1989), et les critères de «validation géographique» des modèles géographiques ont été suggérées par Box et Meentemeyer (1991).

La disponibilité croissante de données satellitaires, cependant, signifiait qu'il était et est toujours très facile de produire des "jolies images", et de nombreuses applications de données satellitaires pour la surveillance et la cartographie. En outre, les données satellitaires encore souvent ne peuvent pas fournir le détail souhaité sur la carte de la végétation, même à l'échelle locale. Des techniques plus sophistiquées pour faire des cartes de végétation à partir de l'imagerie par satellite sont résumées par divers auteurs, dont Lillesand et al. (1999), McCoy (2005), Kamagata et al. (2006), et Xie et al. (2008).

La cartographie de la végétation repose donc sur l'étude des variations spatiales et temporelles des réponses radiométriques des végétaux.

**3.1.2.2. Exploitation de l'imagerie satellitaire à la cartographie de la végétation**

La cartographie avec l'imagerie satellite a vraiment commencé avec le premier satellite Landsat en 1972, la première des images en temps réel à partir de 1977, et le capteur « Thematic Mapper » largement utilisé, avec sept bandes spectrales, sur le satellite Landsat 4 lancé en 1982. La première couverture mondiale par des capteurs satellitaires est venue avec les premiers satellites au début des années 1980, en particulier Advanced Very High-Resolution Radiometer (AVHRR) sur les satellites de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).

L'observation de la terre avec la technologie par satellite offre la possibilité d'élargir le spectre étudié et d'obtenir des données à partir de la même zone à des moments différents, parce que le satellite survole la même zone périodiquement, par exemple survolant un paysage sur le même chemin tous les 16 jours à la même heure de la journée.

Pedrotti (2013) a résumé les différentes phases d'exploitation des images brutes qui doivent être d'abord géo-référencé et ortho-rectifiée, puis elles sont transmises à l'interprétation par diverses techniques qui permettent de distinguer les particularités des couvertures observées. La transformation est possible à l'aide de deux composants matériels et logiciels.

L'amélioration spectrale représente une amélioration d'images numériques pour comprendre les informations provenant d'un peu de bandes corrélées et d'obtenir un plus petit nombre de nouvelles bandes qui peuvent être interprétés plus facilement.

- **Classification non supervisée** : groupe les pixels en classes selon des techniques d'agrégation statistique; afin qu'un cluster représente une seule classe, la distribution des pixels doit être unique pour chaque classe.
- **Classification Supervisée : Celle-ci** est basé sur les choix faits par connaissance directe ("données d'entraînement") des caractéristiques à étudier dans des surfaces d'échantillonnage.

Les zones homogènes de classes présélectionnées (caractéristiques thématiques) sont identifiées, et chaque pixel sur l'ensemble de l'image est affecté à la classe à laquelle sa signature spectrale est le plus semblable, sur la base d'un algorithme de classification automatique. L'image générée représente une carte thématique des classes sélectionnées, à laquelle il est alors possible d'associer des couleurs ou des symboles pour une meilleure représentation cartographique.

Une estimation de la précision de la «classification» (affectation des pixels aux classes) est faite à la fin du processus, en comparant dans une matrice les données d'entraînement avec la carte "classé" produite et l'obtention d'une matrice d'erreur. Les données d'entraînement pour chaque classe doit être relativement homogène, à savoir tous les pixels doivent représenter cette classe, et ils doivent être assez nombreux pour représenter et permettre la compréhension de toute la variabilité dans la classe.

**3.1.2.3. Quelques avantages de l'utilisation de la télédétection satellitaire**

Les avantages de l'utilisation de la télédétection satellitaire sont en fait communs à tous ses usages dans les domaines de la cartographie. Janodet et Blasco (1993) ont cité quelques avantages de la télédétection, tel que :

- La possibilité de visualiser et de traiter des surfaces importantes est très intéressante. Cette vue synoptique est notamment un avantage pour établir des cartographies nationales, régionales ou même globales, c'est-à-dire à l'échelle de la planète.

- De plus, la rapidité d'acquisition et de traitement des données d'origine satellitaire diminue les délais de réalisation des cartes et augmente donc leur validité temporelle.
- L'acquisition régulière de données radiométriques permet de répéter les procédures de traitements et de cartographie avec des fréquences assez élevées. Ceci s'avère indispensable pour le suivi de l'évolution des surfaces, par exemple lors d'une évaluation de la déforestation.
- Cette cartographie périodique et comparative est d'autant plus performante que les données sont sous forme numérique et intégrables dans une base de données de type système d'information géographique (S.I.G).
- En ce qui concerne des cartographies à petite échelle, les problèmes se posent différemment en raison de la nécessité de disposer de méthodes et d'instrument autorisant une perception globale. Leur fiabilité fait actuellement l'objet d'études approfondies.

### **3.1.3. Grands types de cartographies végétales et outils satellitaires associés**

#### **3.1. 3.1. Cartographie à petite échelle**

La cartographie à petite échelle, c'est-à-dire inférieure au 1:5 000.000 ou au 1:1 000.000, vise à étudier des zones biogéographiques ou des grands biomes. Il s'agit de cartes établies à des échelles régionales, continentales, voire globales. Du fait de ces dimensions, les capteurs les plus adaptés à ces cartographies sont les capteurs à grand champ, qui permettent de couvrir la surface étudiée avec un nombre limité de scènes.

Le radiomètre AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) fournit ainsi des données journalières sur tout le globe, avec une résolution de 1,1 km (données HRPT - High Resolution Picture Transmission - et LAC - Local Area Coverage -) ou 4 km (données GAC - Global Area Coverage) au nadir.

À une telle échelle de mesure, on ne peut évidemment détecter que des phénomènes concernant un ensemble important de végétaux : un pixel de 1,1 km de côté représente au sol une surface de 121 hectares! Un pixel AVHRR est donc la résultante d'une intégration complexe de données élémentaires sur le terrain.

L'interprétation et le traitement des données AVHRR à une seule date montrent des résultats assez limités. Les discriminations entre classes de végétation peuvent être améliorées avec un suivi temporel des réponses radiométriques ou d'indices calculés tels que le NDVI (Normalised Difference Vegetation Index, ou indice de végétation différentiel normalisé).

Ainsi, on peut citer les travaux de Tucker *et al.* (1985a) et de Towshend et Justice (1986) sur l'Afrique et les travaux de Towshend *et al.* (1987) sur l'Amérique du Sud, qui permettent de distinguer une dizaine de classes de végétation sur chaque continent. Goward *et al.* (1987) ont aussi utilisé ces données pour comparer les végétations d'Amérique du Nord et d'Amérique du Sud.

La description des profils temporels d'indices de végétation a été reprise récemment par Viovy (1990) sur des données GVI (Global Vegetation Index, à 15 km de résolution au sol) de 1983 à 1988, sur l'Afrique de l'Ouest. L'utilisation de l'intelligence artificielle et de la modélisation de l'évolution *a priori* des couverts végétaux (modèles de Markov décrivant trois états - repos, croissance et sénescence - et les transitions possibles) a permis à l'auteur de distinguer sept classes de savanes.

L'instrument AVHRR de NOAA, bien qu'initialement destiné à la météorologie, a donc trouvé des applications en cartographie végétale, à des échelles petites, dans lesquelles les classifications se limitent le plus souvent à la discrimination de grands biomes. Il est possible, grâce à la répétitivité de l'observation, d'acquérir des informations phénologiques sur ces biomes relativement précises.

### **3.1.3.2. Cartographie à moyenne échelle**

Elle concerne surtout l'étude des formations végétales, à une échelle nationale, soit du 1:250 000 au 1:1 000 000 environ.

C'est typiquement le cas de la série des cartes internationales du tapis végétal et des cartes écologiques du couvert végétal, au 1:1 000 000, établies par l'Institut de la carte internationale de la végétation (I.C.I.V.) pour l'Organisation des nations unies pour l'agriculture et contre la faim dans le monde (F. A.O., 1989). On peut aussi citer différentes cartes réalisées par SCETInternational ou le CIRAD, dans le cadre d'études de potentialités forestières ou de pâturages - Guinée Bissau (SCET-International, 1978), Sénégal (SCET-International *et al*, 1979), Djibouti (CIRAD-IEMVT, 1987), Mali (SCET-International *étal*, 1988), Guinée (SCET-AGRI *et al*, 1989), etc. Ces cartes ont été établies à partir de données satellitaires du capteur MSS (Multispectral Scanning System).

L'exemple de la cartographie de la F.A.O. (1980) sur le Bénin, le Togo et le Cameroun est intéressant par la démarche employée. Cette méthode a aussi été décrite sur des travaux de cartographie en Asie (F.A.O., 1989). L'interprétation visuelle d'images Landsat a permis d'identifier moins de dix classes de végétation sur les critères physiologiques précédemment cités. Les cartes finales présentent cependant une trentaine de classes de végétation. Elles ont été conçues à l'aide d'une stratification écologique de la zone d'étude (Baltaxe, 1980) : en considérant de manière interactive la distribution de ces classes identifiables à partir des images satellitaires et celle des principaux facteurs du milieu (topographie, climat, sol). Ces cartes sont donc des cartes écologiques de la végétation, au sens où l'entendait Gaussen (Janodet, 1990).

Avec l'étude de l'évolution temporelle de ces données radiométriques MSS, on peut aussi caractériser des composantes d'un couvert (strates herbacées, arbustives et arborées) si leur phénologie est contrastée (Girard et Girard, 1989). On allie donc dans ce type de cartographie des critères de discrimination phénologiques et physiologiques.

### **3.1.3.3. Cartographie locale**

À une échelle de cartographie plus grande, par exemple entre 1:50 000 et 1:100 000, on peut s'intéresser à l'étude des étages et séries de végétation, qui fait appel à des notions de floristique. L'étage de végétation correspond à une unité de végétation caractérisée par des espèces dominantes, installées sur une certaine amplitude altitudinale. La série de végétation représente la succession de groupements végétaux, en lieu donné, depuis le sol nu jusqu'à la végétation dite climacique.

Les étages et séries de végétation pourront être distingués à partir d'évolutions phénologiques différentes, en réponses à des conditions climatiques différentes ou des compositions floristiques et des physiologies différentes.

Les études locales encore utilisent souvent des images de la famille des satellites Landsat, qui ont maintenant 11 bandes du spectre électromagnétique, avec une représentation

radiométrique à 16 bits (cas du satellite Landsat 8 OLI). Beaucoup d'autres satellites envoient aussi des images de la terre en permanence, parmi eux SPOT (4 canaux) avec une résolution comprise entre 10 m et 1 m en panchromatique et Ikonos (5 canaux, 11 bits) avec une résolution comprise entre 20 et 4 m en multispectral (Pedrotti, 2013). Mais les observations satellitaires ne peuvent pas remplacer les données de terrain, notamment les connaissances botaniques.

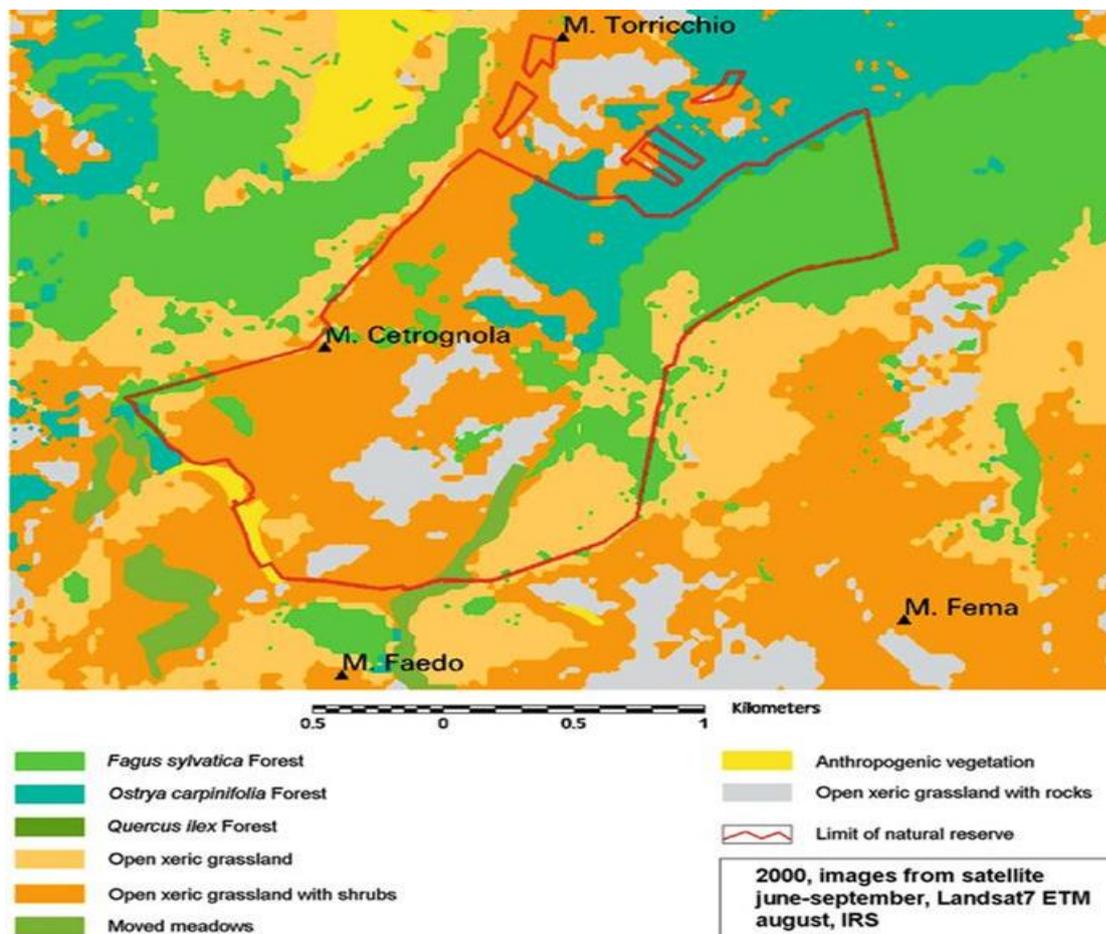
À des échelles encore plus grandes, supérieures au 1:50 000, on étudie les communautés végétales. Il s'agit d'un ensemble de végétaux supérieurs structuré et généralement homogène occupant une superficie de terrain homogène dans ses conditions physiques et biologiques (Delpech dans Girard et Girard, 1989). Du fait de la taille des objets étudiés, l'utilisation de la télédétection n'est possible qu'avec une résolution élevée et des bandes spectrales assez étroites pour permettre une distinction la plus fine possible des réponses radiométriques. On utilise pour ce type de cartographie de la végétation les capteurs dits de «nouvelle génération», type TM et HRV. Leur résolution géométrique est de 30 à 10 m au sol.

On conçoit donc tout d'abord qu'il devient possible, avec de telles données, de distinguer des formations végétales de structures particulières. Par exemple, on peut différencier des plantations, en ligne, des surfaces de forêt secondaire (Janodet, 1989), ou bien encore des figures «étroites» telles que des formations ripicoles ou des zones forestières morcelées. En milieu soudanien, le décalage phénologique entre ligneux et herbacés conduit à cartographier différentes classes de savanes (Lavenu *et al.*, 1988).

De plus, le suivi du comportement spectral au cours du temps permet de caractériser des unités de végétation dominées par une ou plusieurs espèces (Girard et Girard, 1989). Mais la reconnaissance des espèces ne peut se faire que par la connaissance du terrain.

Pedrotti (2013) a cité un exemple de la cartographie locale de la végétation, qui est la carte de la végétation de la réserve naturelle "Montagna di Torricchio" (Italie) à échelle 1: 25.000, avec 8 unités (représentant chacun une seule association ou groupe d'associations connexes) établi par Borfecchia *et al.* (2003) (Figure 6).

Ceci est une carte de la végétation actuelle obtenu à partir de l'imagerie satellitaire (Landsat 7 ETM). La carte obtenue par cette méthode correspond à celle faite par les méthodes traditionnelles (Venanzoni *et al.*, 1999) pour les grandes unités comme les forêts de hêtre, forêt Fraxinus-Ostrya, prairies sèches et steppe.



**Figure 6 :** Carte de la végétation de la Réserve Torricchio Nature, en Italie centrale, obtenu à partir d'images Landsat satellite (Borfecchia et al., 2003)

### 3.1.4. Intérêt de la télédétection pour l'étude des paysages forestiers

Amat et Hotyat (1985) ont mentionné les apports et les possibilités d'utilisation de la télédétection pour l'étude des paysages forestiers, comme :

- **Etude globale**

Les différentes utilisations montrent que l'information apportée par la télédétection est de nature globale et permet d'appréhender d'emblée des unités structurales de paysage forestier. Elles traduisent les formes de l'enveloppe du biovolume qui résulte de la gestion de la ressource forestière par l'homme. Il est envisageable, dans un proche avenir, de pouvoir évaluer quantitativement l'importance de ces biovolumes et, par là, d'approcher leur productivité.

- **Etude analytique**

Ce caractère globalisant de l'information n'exclut pas la possibilité de recherches plus spécifiques, comme par exemple :

- Etat des coupes à blanc et de régénération à une date donnée.
- Détermination des classes d'âges dans des peuplements monospécifiques de résineux.
- Appréhension des problèmes de morbidité et phytosanitaires.

L'affection se marque, en général, au niveau des feuilles par une diminution de l'activité chlorophyllienne et un abaissement de la teneur en eau des cellules. Ces

perturbations se traduisent dans le domaine spectral par des effondrements plus ou moins forts de réflectance dans le proche infra-rouge qui transforment la signature spectrale modale du végétal sain.

— Recensement des impacts de phénomènes brutaux voire catastrophiques, comme les surfaces incendiées ou les zones de chablis provoqués par des accidents météoriques.

L'intérêt des capteurs récents comme Thematic Mapper ou Spot est de saisir ces variations de paysage ou ces anomalies à l'échelle du bouquet d'arbres, ce qui permet de cerner les zones touchées, d'évaluer leur surface et de quantifier l'importance des phénomènes étudiés. Ainsi l'analyse qualitative et structurale du paysage forestier aboutit-elle à une appréciation quantitative.

- **Etude de dynamiques**

Le passage répété du capteur assure le suivi des thèmes de recherche dans l'intra- et l'inter-annuel. Cela autorise l'étude de types de dynamiques, comme :

- la cinématique des limites et des espaces forestiers ;
- les variations de surface entre peuplement différents ;
- les suivis de plantations, de coupes, d'incendies... ;
- les progressions d'une parasitose, d'un mitage en forêt périurbaine...

Quel que soit le type d'étude envisagé, les caractères d'exhaustivité spatiale et de répétitivité des documents télédétektés facilitent l'élaboration des cartes mono- ou pluri-thématiques, des cartes d'inventaires, d'évolution paysagère... qui peuvent être exécutées en cartographie automatique.

### **3.2. Estimation de la biomasse forestière**

La biomasse est la masse de la matière vivante. Cette masse peut être convertie en masse de carbone pur. Il est généralement acquis, d'après la composition chimique du bois, que la masse d'atomes de carbone est la moitié de la biomasse. Cette relation varie légèrement selon les essences de bois ou selon l'environnement (Molto, 2012).

Cette relation est basée sur des données très limitées et devrait être plus étudiée de manière à améliorer la qualité des conversions de biomasses en masses de carbone (Lamlom & Savidge, 2003; Martin & Thomas, 2011). La biomasse souterraine et la biomasse morte peuvent être estimées à partir de la biomasse aérienne.

De la même façon, la biomasse contenue dans les plus petits arbres et dans les autres plantes (lianes, palmiers) ne devrait pas être négligée. Ces plantes sont souvent absentes des inventaires et leurs biomasses ont été étudiées localement (Brown et al., 1989). Des modèles existent pour calculer spécifiquement la biomasse des lianes (Gehring et al., 2004) et des petits arbres (Hughes et al., 1999).

Malgré les limitations que cela semble impliquer, travailler sur la biomasse des plantes ligneuses au-delà d'une certaine taille respecte les bonnes pratiques définies par la FAO et le PNUE dans le cadre de l'IPCC (Eggleston, 2006).

#### **3.2.1. Méthodes d'étude de la biomasse**

L'estimation de la biomasse au-dessus du sol est un aspect essentiel pour les études des stocks de carbone. Lors de cette estimation, le calcul pour chaque espèce semblerait préférable parce que les arbres de différentes espèces sont différents en terme d'architecture et la densité du bois (Ketterings et al., 2001).

La mesure directe de la biomasse résulte de la récolte et de la pesée. Dans les peuplements forestiers, cette opération est ardue et souvent confrontée à deux difficultés : L'une strictement matérielle relative à la masse de travail requise pour établir les biomasses individuelles ; l'autre concerne l'extrapolation des résultats individuels au peuplement entier, ce qui nécessite l'abattage d'un nombre important d'arbres. Pour surmonter ces difficultés, différentes méthodes ont été utilisées (Ezzahiri et Belghazi, 2002).

De nombreux auteurs (Auclair et Bige, 1984 ; Auclair et Maerten, 1986 ; Miglioretti, 1987 ; Romane *et al.*, 1988 et Montès, 1999) ont comparé les méthodes suivantes : la méthode par coupe rase, la méthode de l'arbre moyen et la méthode d'analyse dimensionnelle. Cette dernière méthode comporte deux phases :

- la phase destructive qui consiste en une mesure directe, sur un lot de tiges abattues, des biomasses et des paramètres morphométriques facilement mesurables ;
- la phase non destructive qui consiste à estimer indirectement les biomasses des arbres sur pieds à l'intérieur de placettes échantillons, auxquelles on applique ensuite les méthodes de prédiction établies sur les échantillons d'arbres abattus (Ezzahiri et Belghazi, 2002). Selon Barbero (1981), les méthodes d'estimation de la biomasse peuvent être destructives, semi-destructives ou non destructives.

#### **3.2.1.1. Méthode destructive**

L'approche la plus directe pour estimer la biomasse aérienne d'un arbre implique un certain nombre d'étapes, notamment (1) la récolte de l'arbre, (2) la coupe de l'arbre, dont les feuilles, les branches et les souches, en petits morceaux plus maniables, (3) le four de séchage des morceaux, et (4) la pesée soigneuse des morceaux une fois qu'ils sont complètement secs et que toute l'eau ait été extraite. Bien que très appropriée, cette méthode est aussi très longue, coûteuse, et destructrice. Par conséquent, elle n'est pas une approche pratique pour l'obtention d'estimations de la biomasse pour beaucoup d'arbres ou de terrains forestiers entiers. (Walker *et al.*, 2011)

#### **3.2.1.2. Méthode semi destructive**

Il s'agit alors du prélèvement de quelques individus représentatifs au niveau desquels seront réalisées toutes les mesures et cotations en vue d'établir des tarifs et équations de régression pour déterminer la biomasse. Certains auteurs ont même considéré que l'on pouvait appliquer la notion d'individu moyen par espèce, dans chaque classe (Grillas, 1980 in Barbero, 1981) ; les éléments de référence étant la hauteur ou le diamètre corrélé avec la hauteur. Il est simple ensuite d'extrapoler la mesure de l'arbre moyen au peuplement.

#### **3.2.1.3. Méthode non destructive**

Les limites associées à des méthodes directes ont conduit de nombreux chercheurs à développer des rapports mathématiques, communément appelées « équations allométriques », qui concernent la biomasse aérienne des arbres individuels aux caractéristiques d'autres arbres qui sont plus faciles à mesurer sur le terrain. Ces caractéristiques comprennent le diamètre à hauteur de poitrine, la hauteur totale, et la densité du bois. Des centaines d'équations allométriques ont été développées pour des espèces d'arbres individuels et des espèces de groupes d'arbres par des chercheurs à travers le monde (Walker, 2011).

L'évaluation de la biomasse forestière sur la base de l'utilisation des relations allométriques comportera quatre étapes: (1) sur le terrain les mesures des variables d'entrée

telles que le diamètre et la hauteur totale des arbres, (2) le choix d'une forme fonctionnelle appropriée au modèle, (3) le choix des valeurs appropriées pour tous les paramètres réglables dans l'équation, et (4) le calcul de la biomasse aérienne de chaque arbre puis la sommation pour obtenir l'estimation globale de la biomasse aérienne des peuplements (Dorvil, 2010).

Les résultats obtenus par l'application de différentes méthodes, ont montré que cette méthode dite aussi méthode mixte donne de bons résultats quant à l'estimation de la biomasse des peuplements (Belghazi et al, 2001).

### 3.2.2. Tarif de biomasse

A partir des mesures prises pour chaque arbre, la relation entre biomasse et circonférence est établie. Une « courbe de tendance », de la forme :  $y = c \cdot x^b$  est appliquée à chaque nuage de points construit. Elle correspond à une régression linéaire par la méthode des moindres carrés avec une équation du type :  $\ln(y) = b \cdot \ln(x) + \ln(c)$ .

Ce modèle a été préféré à d'autres car il donnait le meilleur coefficient de détermination R<sup>2</sup>. On obtient ainsi pour chaque compartiment une relation du type :

$$\text{biomasse} = a \times \text{circonférence} + b$$

où a et b sont des constantes déterminées pour chaque compartiment. L'équation ainsi obtenue permet, à partir de mesures de circonférences prises sur un arbre, de prédire la masse de bois correspondante (Smektala et al., 2003).

### 3.2.3. Estimation de la biomasse par unité de surface

Par extrapolation des valeurs de biomasse estimées par essence, on peut déterminer :

- La biomasse totale de l'essence,
- La production moyenne en tonnes de matière sèche par hectare et par an. Cette production ne tient pas compte des petits brins puisqu'ils ont un diamètre inférieur à celui fixé comme limite de mesure et souvent n'atteignent pas 1,30 m, ni des pertes par mortalité, ni du renouvellement des feuilles (Miglioretti, 1987)

La biomasse peut être exprimée en masse par unité de surface. Par conséquent, la surface d'une zone inventoriée doit être connue avec précision ainsi que l'inventaire exhaustif à l'intérieur de cette zone (Molto, 2012).

Les différentes stratégies permettant d'estimer la biomasse d'une région sont bien identifiées (Araujo et al., 1999 ; Bombelli et al., 2009). Elles peuvent être séparées en deux catégories :

- Les méthodes naïves : les parcelles inventoriées sont représentatives de leur région. La biomasse de la région est donc simplement la biomasse moyenne des inventaires qui y sont réalisés. La fiabilité de cette méthode dépend de l'homogénéité de la forêt de la région.
- Les méthodes basées sur des co-variables : les parcelles inventoriées sont décrites par des variables qui vont servir de prédicteurs en-dehors des zones inventoriées. Cette catégorie contient les méthodes de traitement du signal de mesures physiques du peuplement (images, radar, Lidar) et les méthodes basées sur des descriptions de l'environnement abiotique des parcelles (sol, pluviométrie, ...).

Dans la littérature forestière, les modèles utilisés pour l'évaluation de la biomasse des arbres et des peuplements sont en général des modèles allométriques (Miglioretti, 1987) ou logistiques (Bedeneau, 1988). Ces modèles liant la croissance en biomasse ou en hauteur à celle de l'âge sont efficaces pour décrire l'évolution des peuplements forestiers (Pages, 1986).

## CHAPITRE IV : MILIEU D'ETUDE

### 4.1. Localisation géographique

Le massif forestier des Ouled Yagoub est situé sur la partie orientale de l'Algérie du nord, exactement au Nord-Ouest de la wilaya de Khenchela. Il suit une configuration allongée d'orientation Sud / Ouest, Nord / Est (Figure 7). Il est compris entre les coordonnées UTM (Nord Sahara 1959) zone 32 kilométriques suivantes :

$$X (\text{Ouest}) = 297,246 \text{ km} \quad X (\text{Est}) = 330,259 \text{ km}$$

$$Y (\text{Sud}) = 3896,567 \text{ km} \quad Y (\text{Nord}) = 3927,932 \text{ km}$$

Ce massif est limité au nord par la plaine de Kais. La limite Sud et Est, est représentée par la dépression d'Outa El Meroudj. Dans sa partie occidentale, le massif est limité par Oued Azreg et Oued Touagat ainsi que le massif des Beni Oudjana.

Il est situé sur le territoire de la wilaya de Khenchela et dépend des communes suivantes : Tamza, El Hamma et Ensigna. Il est à proximité de cinq grandes agglomérations, celle de Batna, Oum El Bouaghi, Ain El Beidha, Kais et Khenchela.

### 4.2. Caractéristiques physiques

L'analyse du milieu physique de cet espace forestier s'articule autour des aspects du : relief et de ses composantes (pente, altimétrie), réseau hydrographique, occupation du sol, géologie et l'érosion. Ajoutons à cela, les facteurs d'exposition et bioclimat.

#### 4.2.1. Relief

La configuration spatiale de la cédraie de Ouled Yagoub présente une topographie très marquée, faisant apparaître un aspect montagneux, particularisé par une succession de crêtes étroites et discontinues. Elle s'oriente dans la même direction SO-NE et est s'inscrit dans un rectangle de 13,5 km de long et 6,5 km de large, distant 17 km de la cédraie du Chelia. Elle se prolonge au Nord au dessous de la route nationale (RN 29) reliant Khenchela-Kais-Touffena.

C'est un ensemble montagneux développé sur des substrats calcaires et marnes. Il est formé du Nord au Sud par des sommets élevés et bien différenciés, dont la tranche altitudinale est comprise entre 1200m et 2100m, débutant au Djebel Chentgouma d'un point culminant de 2113m à l'est jusqu'au Djebel Beker (2080m) au milieu s'étendent des sommets tels que du Dj Bezaz (1941m), Dj Aidel (2173m) et du Dj Feraoun (2093m).

Cette cédraie se caractérise également par des pentes très raides supérieures à 25%, et d'une chevelue hydrographique hiérarchique. Ce réseau hydrographique façonne le relief par une série de cours d'eaux qui se rejoignent à l'aval dans la dépression d'Outa El Merroudj et dans Oued Tamza.

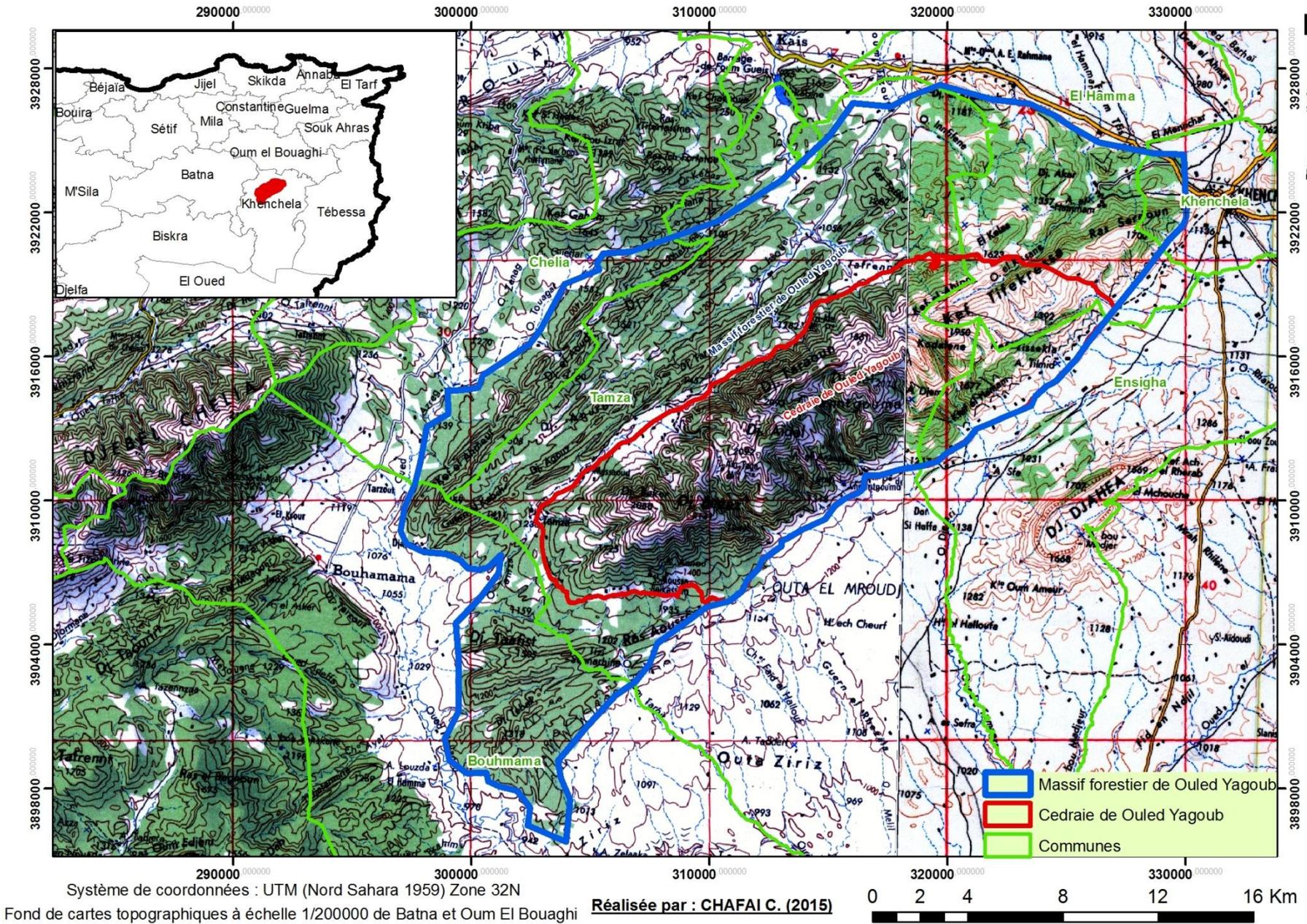


Figure 7 : Carte de situation de la zone d'étude

Les pentes sont considérées comme l'un des paramètres, qui sont en partie responsables de la dynamique du relief. De ce fait, l'importance accordée aux pentes demeure nécessaire et possède beaucoup d'influence sur la stabilité du milieu surtout que l'aire d'étude fait partie du relief le plus élevé.

Les altitudes ont également leurs répercussions sur le milieu forestier. Elles déterminent avec de nombreux facteurs tel le climat, l'étagement et le milieu d'adaptation du cèdre.

Le tableau ci-dessous représente le profil topographique établi sur la base du modèle numérique de terrain de la zone d'étude :

**Tableau 3:** Profil topographique de la zone d'étude.

Altitude (m)	%	Pente (%)	%
1000 à 1200	0.4	0 - 3 %	1.7
1200 à 1400	20.23	3 -12.5 %	13.68
1400 à 1600	31.67	12.5 – 25%	26.25
1600 à 1800	28.58	> 25 %	58.37
1800 à 2000	16.39		
> 2000	2.73		

#### 4.2.2. Géologie et pédologie

La cédraie de Ouled Yakoub repose sur le Crétacé supérieur (Laffite, 1939). Notre zone d'étude se caractérise selon l'échelle altitudinale par trois formations géologiques :

Le Barrémien prédomine les autres formations, est se localise essentiellement au centre du massif à Djebel Aidel et Ras Boudalène, avec un faciès à prédominance de grès.

L'Aptien couvre les zones à moyenne altitude, essentiellement Djbel Beker, Feraoun, Bezez et Chentgouma, avec la présence de calcaire et dolomie et la prédominance de grès et de marnes.

L'Albien forme une bande plus ou moins régulière tout autour de la zone d'étude, essentiellement sur les basses altitudes avec présence de grés et de marnes rouges associés aux marnes, calcaires et grès.

Sur le plan pédologique, en se basant sur l'étude de BNEDER (2010), les sols rencontrés au niveau de la zone d'étude se résument principalement aux :

- sols brunifiés avec profil ABC : situés aux piémonts de la zone, et développés sur un matériel parental composé essentiellement des grés et calcaire, ces sols sont caractérisés par un profil argileux à argilo limoneux moyennement profond.

- les rendzines : prennent le relais des sols brunifiés du point de vue altitudinale, ils sont des sols peu profonds (< 45 cm), à texture argileuse à argilo limoneuse, très riche en matière organique, notamment dans l'horizon supérieur.

- les lithosols : s'imposent sur les hautes altitudes, se sont des sols peu développés, ne contenant que des traces de matières organiques, caractérisés par un profil de type C ou AC.

### **4.2.3. Réseau hydrographique**

Le réseau hydrique en place sur les hauteurs du massif montagneux de Ouled Yagoub est alimenté par une multitude de Talwegs denses sur les sommets abrupts et accidentés, formant des cours d'eau encaissés façonnant des versants très pentus.

Les principaux oueds coulent Au Nord de cette zone sont : Oued Khafadja, O. Bou Barou, O. Boustane, O. Issoual, O. Ibikane, O. Tafrent, O. Tamarsit et O. Tizougas.

Au Sud de la zone, les principaux oueds sont : O. Tamza, O. El Houdh, O. Chentgouma, O. Zarif, O. Aziza, O. Maazouz, O. Taguerjoumt, O. Houira et Ighzer Iguechlane.

La nature lithologique des terrains a favorisé l'apparition de nombreuses sources qui émergent au niveau des failles alimentant le chevelu hydrique malgré, que n'ayant que peu d'importance, sans oublier les précipitations assez conséquentes que recèle la zone, à cause du facteur altitude.

Ces cours d'eau sont caractérisés par des écoulements temporaires mais très violents parfois, surtout ceux des versants Sud du massif.

### **4.3. Caractéristiques climatiques**

Le climat joue un rôle essentiel dans la morphologie du relief, sur la végétation, la genèse et le type des sols et sur les activités agro-pastorales.

Selon Simeon in Meddour (1992), les données climatiques doivent provenir d'une station météorologique soumise aux conditions climatiques représentatives de la station d'une part et d'autre part doivent être suffisamment longues, complètes et fiables.

La station pluviométrique de Ain Mimoun (1180 m d'altitude), située au centre de la forêt domaniale de Ouled Yagoub présente les données de pluviométrie les plus complètes et les plus récentes (1973-2011). La station météorologique de El Hamma (988 m d'altitude), situé au Nord de la zone d'étude représente la seule source de données météorologiques de la région avec 20 années d'observation (1995-2014).

Pour obtenir les données de la zone d'étude on procède par extrapolation, cette dernière consiste à corriger les températures. Nous avons adopté à ce niveau, le gradient thermique proposé par Seltzer (1946) diminution de 0.4°C par 100 m d'altitude pour les températures minimales et 0.7°C par 100 m pour les températures maximales.

L'extrapolation des données de températures de la station d'El Hamma pour l'altitude de la station d'Ain Mimoun nous permet de avoir une série de données la plus représentative du climat de la zone d'étude, du fait de la situation de cette dernière station au centre du massif et la distance proche de celle d'El Hamma.

#### **4.3.1. Précipitation**

Ce sont des pluies orographiques, leur chute est déterminée par l'altitude et les expositions. Le régime hydrique est de type méditerranéen, avec une pluviométrie caractérisée par une irrégularité saisonnière mais également interannuelle. La moyenne cumulée annuelle des précipitations est de l'ordre de 438 mm pour la station d'Ain Mimoun. La figure 8 représente la variation des précipitations moyennes mensuelles de la station de référence (Ain Mimoun) à une altitude de 1180 m.

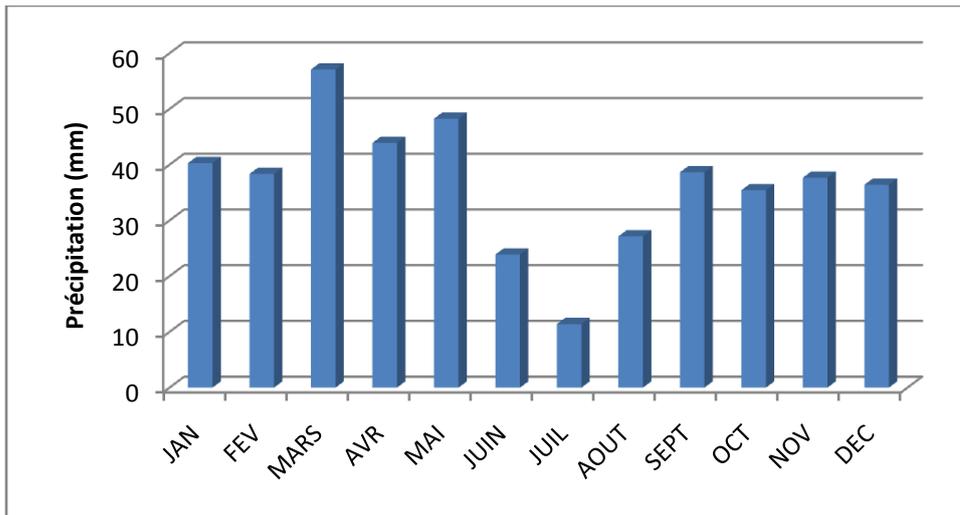


Figure 8: Variations mensuelles des précipitations (Station Ain Mimoun de 1973 à 2011).

Le régime saisonnier des pluies est de type P.H.A.E., avec une pluviométrie printanière de 34% de la pluviométrie annuelle, celle de la saison hivernale est de 26%, 25% est celle de la saison automnale, et en fin celle de la saison estivale est de 14% seulement.

#### 4.3.2- Température

Comme le facteur pluviométrique, les températures exercent une influence sur la répartition des essences forestières et leur croissance.

La forêt domaniale de Ouled Yagoub subit un régime thermique de type méditerranéen et montagnard à hiver frais avec les mois les plus froids, janvier et février (m : 1.6 °C) et des étés chauds avec le mois le plus chaud juillet (M : 33.4 °C). On relève aussi une forte amplitude thermique qui peut atteindre 15.3 °C. La figure 9 représente la variation des températures maximales et minimales mensuelles de la station El Hamma (988m).

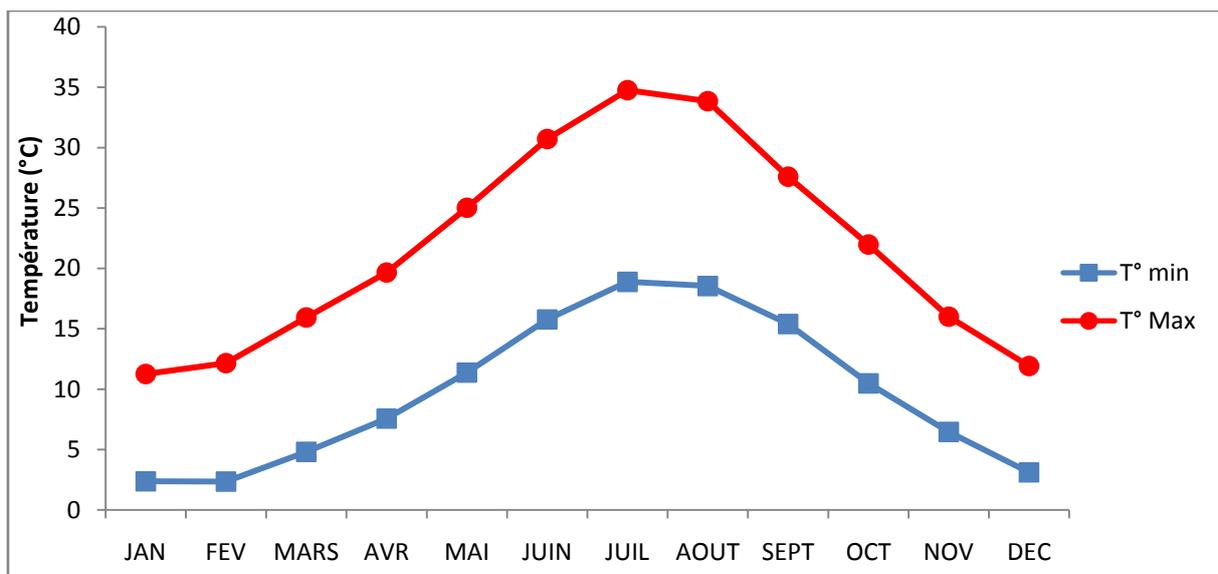


Figure 9 : Variations mensuelles des minima et des maxima (Station El Hamma de 1995-2014).

**4.3.3. Synthèse climatique**

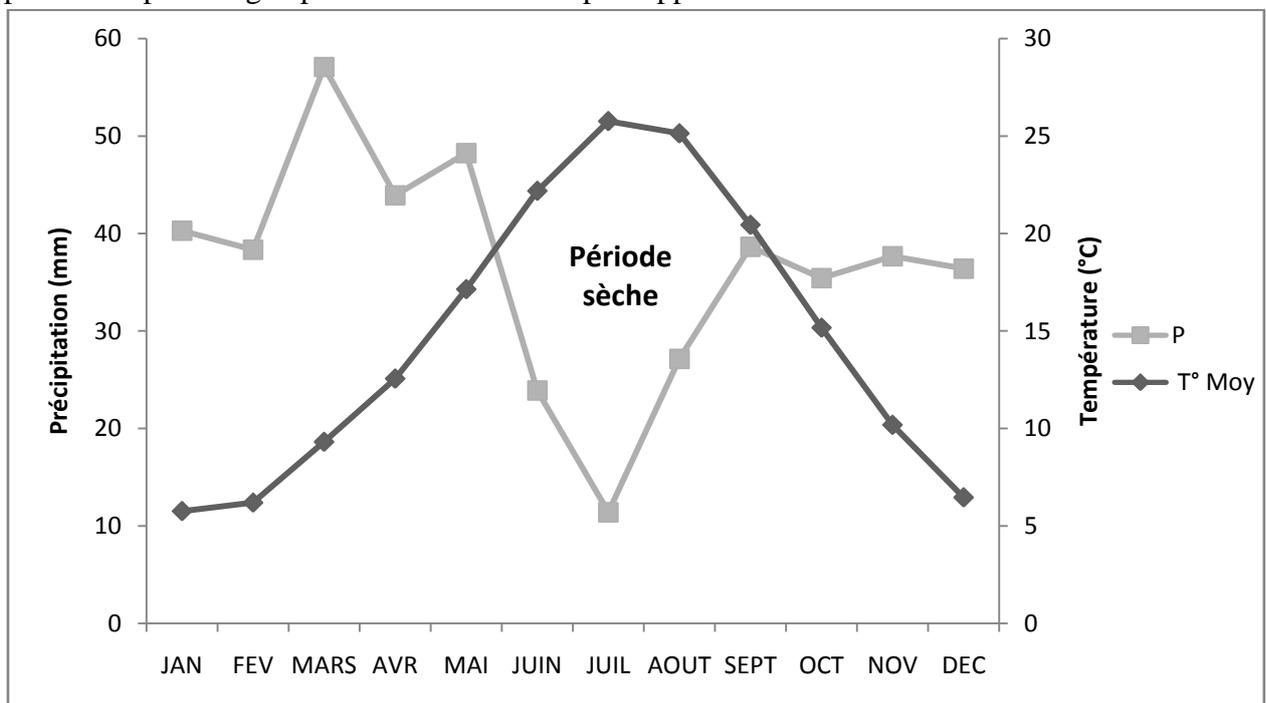
La combinaison des données des précipitations et celles des températures permet de mettre en évidence :

- Les mois secs au cours de l'année grâce au digramme Ombrothermique de Gausсен.
- Les domaines climatiques suivants la méthode d'Emberger.

**4.3.3.1. Diagramme Ombrothermique de Gausсен**

Le diagramme Ombrothermique est une représentation graphique obtenue par la superposition des deux courbes de variation annuelle des précipitations et des températures.

D'après le diagramme ci-après (Figure 10) de la zone d'étude, la saison sèche est de l'ordre de quatre (04) mois. Mais cette durée est variable en fonction de l'altitude et l'exposition, elle est plus courte et plus tardive pour les hautes altitudes, alors qu'elle est plus précoce et plus longue pour les versants Sud par rapport aux versants Nord.



**Figure 10 :** Le diagramme Ombrothermique de la station d'Ain Mimoun (1180 m).

**4.3.3.2. Climagramme d'Emberger**

Le quotient pluviothermique d'Emberger (Q<sub>2</sub>) est déterminé par la combinaison de trois paramètres climatiques. Il est donné par la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{2000 \times P}{M^2 - m^2}$$

Avec :

P = pluviométrie annuelle en mm/an.

M = Moyennes des températures maximales du mois le plus chaud en degrés Kelvin.

m = Moyennes des températures minimales du mois le plus froid en degrés Kelvin.

Le tableau suivant représente l'évaluation de  $Q_2$  de la zone d'étude à partir des stations d'Ain Mimoun et El Hamma :

**Tableau 4 :** Evaluation du Quotient pluviothermique et des étages bioclimatiques de la zone d'étude.

Altitude	Nord					Sud				
	P°	M	m	Q <sub>2</sub>	Etage bioclimatique	P°	M	m	Q <sub>2</sub>	Etage bioclimatique
1200	446	33.32	1.45	48.20	S. A. à Hiver Frais	442	33.32	1.45	47.77	S. A. à Hiver Frais
1300	486	32.62	1.05	53.12	S. H. à Hiver Frais	462	32.62	1.05	50.50	S. H. à Hiver Frais
1400	526	31.92	0.65	58.16	S. H. à Hiver Frais	482	31.92	0.65	53.29	S. H. à Hiver Frais
1500	566	31.22	0.25	63.31	S. H. à Hiver Frais	502	31.22	0.25	56.15	S. H. à Hiver Frais
1600	606	30.52	-0.15	68.58	S. H. à Hiver Frais	522	30.52	-0.15	59.07	S. H. à Hiver Frais
1700	646	29.82	-0.55	73.97	S. H. à Hiver Froid	542	29.82	-0.55	62.06	S. H. à Hiver Froid
1800	686	29.12	-0.95	79.48	S. H. à Hiver Froid	562	29.12	-0.95	65.11	S. H. à Hiver Froid
1900	726	28.42	-1.35	85.13	S. H. à Hiver Froid	582	28.42	-1.35	68.24	S. H. à Hiver Froid
2000	766	27.72	-1.75	90.91	H. à Hiver Froid	602	27.72	-1.75	71.44	S. H. à Hiver Froid
2100	806	27.02	-2.15	96.82	H. à Hiver Froid	622	27.02	-2.15	74.72	S. H. à Hiver Froid

Où : P° : Précipitation moyenne annuelle en (mm)

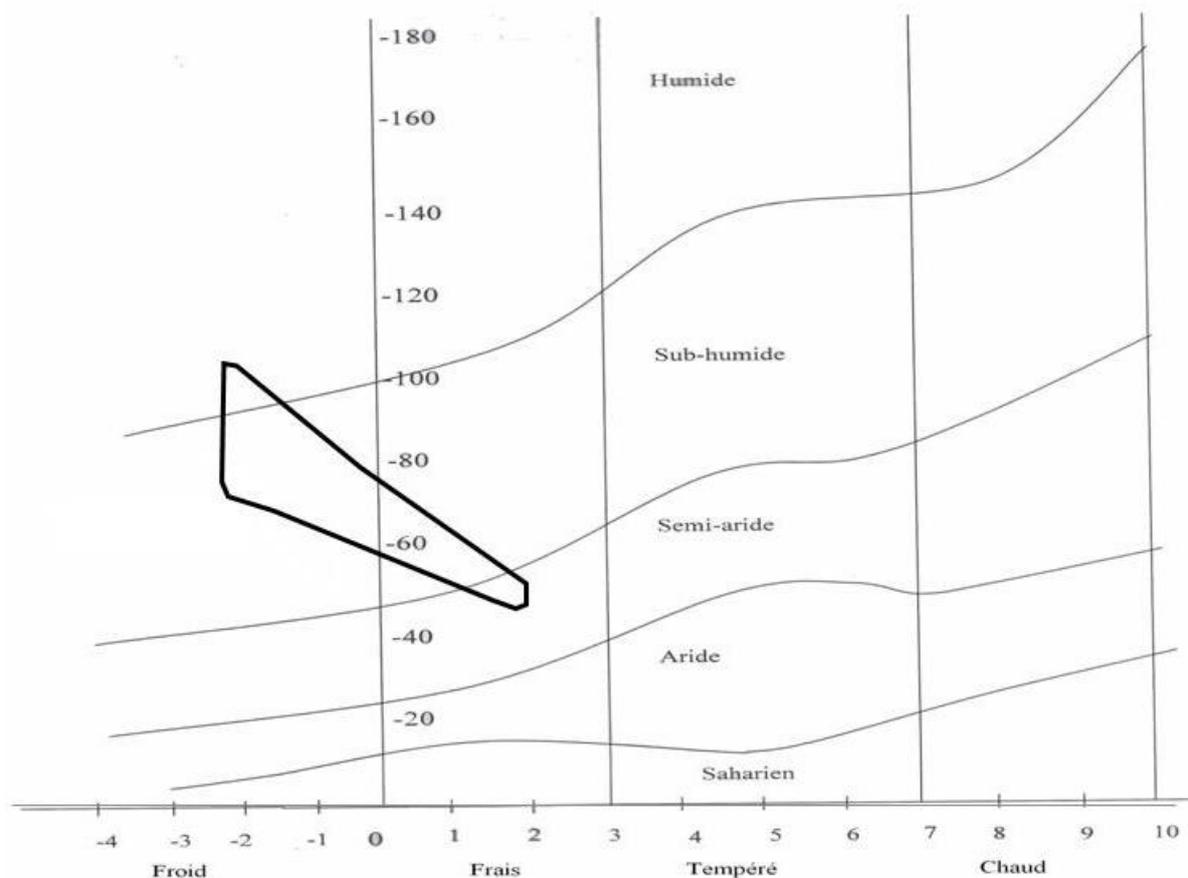
M= Températures maximales du mois le plus chaud en (°C).

m= Températures minimales du mois le plus froid en (°C).

Q<sub>2</sub> : Quotient pluviothermique d'Emberger

D'après les valeurs du quotient pluviothermique (tableau 4) reportés sur le climagramme d'Emberger (figure 11) la zone d'étude se situe dans les étages bioclimatiques : semi-aride à hiver frais à basse altitude vers (1300 m) en versant Nord et (1400 m) en versant Sud d'où il commence l'étage bioclimatique subhumide à hiver frais qui s'étale vers (1700m) d'où il commence l'étage bioclimatique subhumide à hiver froid vers les sommets en versant Sud et (2000 m) en versant Nord d'où il commence l'étage bioclimatique humide à hiver froid.

Donc on distingue quatre (04) étages bioclimatiques de végétation dans notre zone d'étude, qui sont : le semi aride à hivers frais, le subhumide à hiver frais, le subhumide à hiver froid et l'humide à hiver froid.



**Figure 11** : Aire de projection de la zone d'étude dans le Climagramme d'Emberger.

#### 4.3.4. Les autres facteurs climatiques

Selon BNEDER (2010), les données de ces facteurs climatiques sont issues de la station météorologique de l'O.N.M. de Khenchela (1990/2006) faute de données au niveau des autres stations.

La zone enregistre 4,6 jours de chute de neiges concentrées sur la période allant de Décembre à Février. Peu fréquent en basse altitude, ce phénomène est plus fréquent en haute altitude au niveau des groupements à cèdre.

En ce qui concerne la gelée, c'est un phénomène qui se manifeste avec plus d'intensité durant la saison froide, on dénombre une moyenne de 29,1 jours de gelée par an s'étalant de Novembre à Avril avec une fréquence plus marquée en hiver.

Les vents sont influencés par les conditions topographiques locales qui déterminent leur vitesse ; la plus élevée est enregistrée durant le mois de Novembre (4.6m/s soit 16.5km/h). Ces vents maximaux sont toujours accompagnés de pluies torrentielles.

La grêle est un phénomène généralement localisé, mais elle occasionne des dégâts sur les arbres au niveau des branches et l'écorce. Elle a des effets préjudiciables pendant la période de floraison et de fructification des végétaux.

Etant donné que, nous sommes en présence d'une zone forestière de haute altitude, sa fréquence est plus élevée à la mi-Avril et Août, parfois le mois de Juin et Août tel qu'il ressort des données recueillies sur le terrain.

Comme autre facteur climatique qui a une incidence négative, on relève que la zone subit des orages pendant tous les mois de l'année pendant 29,9 jours mais avec une fréquence plus élevée durant le semestre chaud (Mai à Octobre qui enregistre 85% des pluies orageuses observées).

Enfin, et comme autre phénomène néfaste principalement sur les jeunes plants et la régénération naturelle le sirocco, est d'une fréquence importante à la mi-Avril et Août, parfois en période estivale (mois de juin et Août).

De ce fait, nous pouvons dire que le climat de la forêt domaniale de Ouled Yagoub est caractérisé par trois facteurs : sécheresse estivale, froid hivernal, pluviosité assez importante surtout sur le versant Nord et amplitude thermique important. Le printemps est la saison la plus pluvieuse.

#### **4.4. Formations forestières**

Selon le BNEDER (2008), la forêt domaniale d'Ouled Yacoub (18 671 ha), est constituée à 81% de forêt proprement dite et 19% de maquis et maquis arborés.

La superficie de 15 123 hectares de forêt proprement dite se répartit en :

- 3 926 ha de vieilles futaies de Cèdre dont 3 049 ha sont denses.
- 1 181 ha de vieilles futaies de Cèdre en mélange avec le Chêne vert dont 933 ha sont clairs.
- 638 ha de vieilles futaies denses de Cèdre en mélange avec le Chêne vert et le Frêne.
- 1 179 ha de forêt de Chêne vert dont 196 ha de taillis clair, 735 ha de vieilles futaies claires et 248 ha de taillis denses.
- 993 ha de futaies jardinées claires de Pin d'Alep.
- 216 ha de jeunes futaies claires de Pin d'Alep.
- 610 ha de forêt claire de Pin d'Alep au stade de perchis.
- 1 314 ha de futaies jardinées denses de Pin d'Alep.
- 1 328 ha de jeunes futaies denses de Pin d'Alep.
- 1 849 ha de forêt dense de Pin d'Alep au stade de perchis.
- 270 ha de vieilles futaies denses de Pin d'Alep.
- 1 684 ha de jeunes futaies claires de Pin d'Alep et Chêne vert.
- 65 ha de forêt incendiée de Pin d'Alep.

Les maquis et maquis arborés couvrent 3 293ha dont :

- 1 141 Ha de maquis clairs à base de Chêne vert et Genévrier Oxycèdre.
- 1 053 Ha de maquis denses à base de Chêne vert et Genévrier Oxycèdre.
- 123 Ha de maquis denses à base de Chêne vert et Genévrier Oxycèdre et Frêne.
- 976 ha de maquis arborés en Chêne vert.

Le reboisement comptabilise 125 ha au stade de gaulis dense.

## **CHAPITRE V : MATERIELS, DONNEES ET APPROCHES METHODOLOGIQUES**

### **5.1. Etude de la dynamique spatiale du frêne dimorphe**

La méthodologie adoptée est basée sur les techniques de la télédétection, de la cartographie et de l'écologie forestière des étendues des formations végétales à frêne dimorphe pour quantifier les changements du couvert forestier par comparaison d'images satellitaires sur une période de 28 ans.

#### **5.1.1. Données et logiciels**

Pour cette étude, nous avons utilisé plusieurs types de supports :

- La scène LANDSAT du 28/07/1987
- La scène LANDSAT du 28/07/2015
- Les cartes topographiques au 1/50 000 du "KAIS" (feuille NI-32-XIX-6 EST, 2004) et "KHENCHELA" (feuille NI-32-XX-5 OUEST, 2004).
- La carte d'occupation du sol de la cédraie de Beni Oudjana et d'Ouled Yagoub (B.N.E.D.E.R., 2010a), la carte de localisation des foyers de dépérissement dans la cédraie du Mont d'Ouled Yagoub (B.N.E.D.E.R., 2010b) et la carte des formations forestières de la Wilaya de Khenchela au 1/50 000 dans le cadre de l'étude de l'inventaire forestier national (B.N.E.D.E.R., 2008).
- Un modèle numérique de terrain (MNT) de type « SRTM3 » de la zone est utilisé pour la création des cartes des altitudes, des pentes et des expositions qui nous aident à interpréter les répartitions des superficies selon ces trois paramètres physique du terrain.
- Les données de terrain.

Le logiciel de traitement d'image que nous avons utilisé est *ENVI 5.1*, pour les différents traitements des données cartographiques on a aussi utilisé les logiciels ArcGis 9.3 et Global Mapper 13 pour *Windows*.

#### **5.1.2. Approche méthodologique**

Cette étude basée sur l'analyse des données satellitaires multitudes, et multibandes; le choix des images est fondé sur quatre critères la couverture, la résolution spatiale, les années et les saisons de prise de vue. Tout d'abord, les images doivent être d'une taille suffisante pour couvrir notre zone d'étude, il est donc préférable d'utiliser des images à moyenne résolution spatiale de LANDSAT qui trouvent une place privilégiée comme outil d'observation, dont la résolution est suffisante pour l'ensemble de la zone d'étude a pu être couverte totalement.

Dans cette étude, en ce qui concerne les dates de prises de vue, deux images ont été choisies : une couverture la plus ancienne possible de Landsat 5 TM acquise en 28/07/1987 et une couverture la plus récente possible de Landsat 8 OLI acquise en 28/07/2015.

Le choix de la date optimale de l'image (mois de Juillet) est dicté par la nécessité d'obtenir une image sans nuage et de reconnaître tous les éléments du terrain en évitant au maximum les confusions, surtout entre les classes de végétation à cause des plantes herbacées annuelles qui peuvent causer des confusions avec les ligneux en période de végétation.

Dans le cadre de ce travail, les images Landsat sont acquises gratuitement à partir de l'interface Google Earth Engine (<https://earthengine.google.org>). Ces images sont subites à des corrections géométriques et atmosphériques par le fournisseur.

Avant de passer au traitement cartographique des images, nous avons procédé à la suppression de tous les pixels situés en dehors des limites strictes de la zone d'étude. Ce travail a été grandement facilité par la connaissance du terrain et par les cartes d'occupation du sol de la région. Un masque a été réalisé pour chacune des images traitées pour travailler seulement sur la zone d'étude afin de simplifier les opérations et de réduire les erreurs de classification.

Chaque bande spectrale apportant son lot d'informations radiométriques, la combinaison des données spectrales de chaque pixel permet d'établir des liens plus fiables entre l'ensemble des informations physiques et les classes d'objets prédéfinis.

La composition colorée est obtenue par synthèse chromatique de trois bandes spectrales (Proche infrarouge, rouge et verte) d'une des images précédentes en une image à trois couches (Rouge, Vert et Bleu). Sur ce type de document, la végétation apparaît en rouge, et le sol nu en vert ou bleu. Les couleurs brunes correspondent à des stades intermédiaires. En revanche, cette composition colorée nous aide à la discrimination des formations végétales qui nous intéressent.

Cinq missions sur terrain ont été réalisées, pour caractériser 36 points d'échantillonnage. A chaque fois que l'on rencontre une nouvelle situation (type de végétation, d'utilisation du sol, etc.) un relevé descriptif du milieu a été fait. De tels relevés, correctement localisés, sont réduits à une brève description de la végétation (espèces, hauteur, densité, etc.) et de l'état de la surface du sol. Les informations ainsi relevées et collectées sont synthétisées. Cette synthèse conduit à l'établissement d'une première légende de la carte.

Cette légende après vérification et confirmation sur terrain est fixé et codé -selon l'ordre des essences dominantes- comme suite :

Cédraie : - pure (CA)

- en mélange avec le chêne vert et le genévrier oxycèdre (CA-CV-GO)

- en mélange avec le genévrier oxycèdre et le frêne dimorphe (CA-GO-FD)

Chênaie : - en mélange avec le genévrier oxycèdre et le cèdre de l'Atlas (CV-GO-CA)

- en mélange avec le frêne dimorphe et le cèdre de l'Atlas (CV-FD-CA)

- en mélange avec le cèdre de l'Atlas et le frêne dimorphe (CV-CA-FD)

Frênaie : - pure (FD)

- en mélange avec le chêne vert et le cèdre de l'Atlas (FD-CV-CA)

- en mélange avec le chêne vert et le genévrier oxycèdre (FD-CV-GO)

Pelouse, Sol nu et Cultures.

La figure 12 représente l'aspect physiognomique de chaque élément choisi de la carte d'occupation du sol.

Dans notre étude, la voie qu'on a choisie est la classification supervisée basée sur une connaissance préalable de la zone d'étude. A partir des différents pourcentages de recouvrement calculés d'après les mesures de terrain et les différents relevés, nous avons pu, après repérage de ces secteurs sur l'image, attribuer aux classes de végétation précédemment définies, les classes radiométriques correspondantes. L'interprétation visuelle des données satellitaires -basée sur les informations acquises lors des missions terrain- et la reconnaissance spectrale des classes et la classification doivent se faire sur l'image satellite récente, et puis la

classification s'effectuera sur l'image ancienne après vérification si les points d'entraînement sont toujours fiables en comparant les signatures spectrales des classes sur les deux images.

En fin l'image a été convertie en une image à 12 couleurs, correspondant, dans leurs grandes lignes, aux classes de végétations repérées. L'étape finale consiste à valider cette cartographie en fonction de nos connaissances du terrain.

Les résultats de la classification sont exportés en format vectoriel pour les traitements cartographiques à l'aide du logiciel ArcGis 9.3. Au cours de cette étape, les différentes classes thématiques définitivement retenues lors de la classification constituent la légende des cartes réalisées.

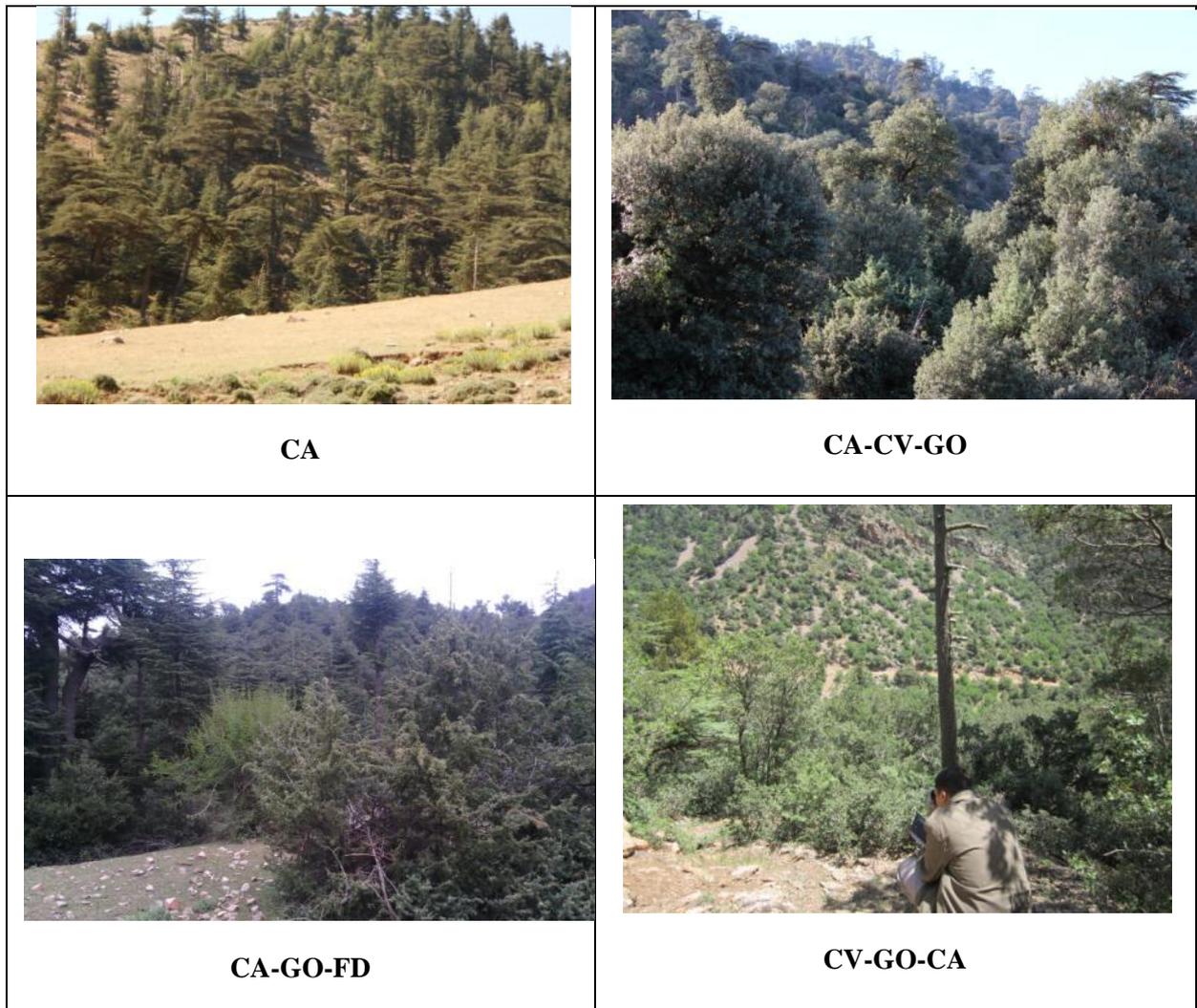




Figure 12 : Les principales classes d'occupation du sol

Pour la détection des changements entre les classifications des deux images, nous avons utilisé l'outil « Thematic Change » du logiciel *ENVI EX* pour obtenir une carte des changements et un fichier des statistiques des changements des superficies des classes durant l'intervalle de temps considéré, qui sert à l'analyse et l'interprétation de la dynamique spatiale des formations à frêne dimorphe dans cette zone.

## **5.2. Etude de la biomasse :**

Pour l'étude de la biomasse aérienne, l'approche utilisée est classique (Migliorétti, 1987 ; Belghazi *et al.*, 2001 ; Khater, 2010 ; Zitouni, 2010), elle est basée sur l'analyse des brins des cépées du frêne pour le calcul du volume et du poids.

### **5.2.1. Matériel utilisé**

Sur terrain, pour la description des placettes, l'inventaire dendrométrique et les mesures de biomasse, on a utilisé les outils suivants :

- Un véhicule tous terrains : pour se rapprocher des placettes échantillons
- Un GPS : pour la géo-localisation de la placette
- Une boussole Sunnto : pour mesurer l'orientation de la placette
- Un clisimètre Sunnto : pour mesurer la pente de la placette
- Un relascope de Bitterlich : pour la mesure des hauteurs des arbres
- Un compas forestier pour la mesure des diamètres des arbres
- Un mètre ruban et une peinture jaune pour la délimitation de la placette
- Un appareil photo numérique : pour la prise des photos de la placette
- Une tronçonneuse : pour couper les brins
- Une balance : pour peser les brins et les feuilles.
- Des sachets en plastique et des étiquettes pour marquer les échantillons prélevés du bois (rondelles) et des feuilles.

Au laboratoire, pour la mesure des taux de matière sèche des rondelles et des échantillons des feuilles, ainsi que la détermination de l'âge des brins abattus, on a utilisé :

- Une balance de précision : pour peser les échantillons du bois et des feuilles.
- Une étuve : pour le séchage des échantillons de bois et des feuilles.
- Une loupe binoculaire pour compter les cernes de bois des rondelles prélevées et déterminer l'âge des brins.

La saisie des données de terrain à partir des fiches remplis sur terrain ou au laboratoire, se fait sur le tableur Excel 2007, puis quelques données sont exportées vers le logiciel STATISTICA 10 pour l'élaboration des tarifs en biomasse et en volume des brins et les statistiques nécessaires pour l'évaluation de la précision de ces tarifs.

### **5.2.2. Approche méthodologique**

La méthode adoptée pour l'évaluation de la biomasse du taillis de frêne dimorphe s'appuie sur la méthode d'analyse dimensionnelle dite méthode non destructive. Cette méthode comporte deux phases :

- La phase destructive qui consiste en une mesure directe, sur un lot de brins abattus, des biomasses et des paramètres morphométriques facilement mesurables ont été évalués;

- La phase non destructive qui consiste à estimer indirectement les biomasses des arbres sur pieds à l'intérieur de placettes échantillon, auxquelles on applique en suite les méthodes de prédiction établies sur les échantillons de brins abattus.

### **5.2.2.1. Choix des placettes d'échantillonnage**

Après des missions de prospection sur terrain, trois stations sont choisies pour installer des placettes d'échantillonnage. Selon nos observations sur terrain, dans la plupart des cas à l'intérieur de la cédraie, la présence du frêne dimorphe est aux bords des cours d'eau. Pour chaque station, un nombre de placettes est installé selon un échantillonnage dirigé.

Dans les trois stations (Chentgouma, El Ancer et Tizi Alla) un ensemble de 21 placettes de forme carrée et d'une superficie de placette de 400 m<sup>2</sup> sont installées. Le choix de l'emplacement des placettes suit le cours d'eau principal de la station choisi. Vu que la cédraie est présente sur un terrain en pente et le frêne dimorphe est présent sur des altitudes basses et moyennes, le cours d'eau principal -dans l'aire de présence de l'espèce dans chaque station- est divisé en trois tranches altitudinales, dans chaque tranche deux ou trois placettes ont été installées à différentes distances de ce cours d'eaux principal.

Dans chaque placette, un ou deux brins les plus vigoureux et qui ne sont pas perturbés par des coupes (vu la forte pression d'exploitation des branches du frêne comme aliments de bétails dans cette région) sont mesurés pour la détermination directe des biomasses et des cubages d'un total de 30 brins sur l'ensemble des 21 placettes. La méthodologie de mesure relève de celle utilisée par Migliorétti (1987). Un inventaire dendrométrique exhaustif des arbres, des arbustes et des cépées est fait pour chaque placette.

### **5.2.2.2. Collecte des données du terrain**

Chaque placette comporte deux types de mesures :

- La première, représente les caractéristiques situationnelles (localisation, altitude, pente, exposition), description de l'état du sol, les indices de l'activité anthropique et la description de l'état de la végétation (espèces dominantes, étagement, recouvrement...).
- La seconde, propre aux mesures dendrométriques de tout le bois de la placette.

Pour le frêne dimorphe on peut le trouver sous plusieurs formes, soit des pieds isolés, des cépées, ou des buissons. Les pieds isolés font l'objet de mesure des diamètres à hauteur de poitrine et des hauteurs, les buissons sont comptés et les cépées font l'objet de mesures des variables suivantes :

- Nombre de cépées de la placette.
- Nombre de brins de chaque cépée inventoriée
- Le diamètre à 1,30m de tous les brins ayant la hauteur de 1,30 m et plus pour chaque cépée.
- La hauteur du brin dominant pour chaque cépée.

Pour le calcul de la biomasse, les 30 brins sont coupés et pesés sur place pour établir le poids total frais de chaque brin. Les brins abattus ont été coupé à 1.30 m depuis leur base et une rondelle a été prélevée à ce point de coupe et mise dans un sachet pour en déterminer le poids sec. Les feuilles de chaque brin ont été prélevées et pesées en totalité à l'état frais, un

échantillon en vert a été retenu et conservé dans des sachets pour l'étuvage afin de déterminer la biomasse totale des feuilles.

### **5.2.2.3. Mesures effectuées au laboratoire**

Les rondelles et les échantillons des feuilles prélevées et pesées à l'état frais ont été transportées au laboratoire et séchées à l'étuve pendant 24 h à 105°C jusqu'à un poids constant (Belghazi et *al.*, 2001). Après séchage les échantillons ont été pesés à l'état sec pour établir le taux de la matière sèche. Une mesure de l'âge des brins sur la base des cernes du bois des rondelles échantillons est faite sous une loupe binoculaire.

### **5.2.2.4. Les paramètres calculés**

#### **a) Le volume des brins**

Chaque brin retenu a fait l'objet de mesures de diamètres tous les 50 cm. Ces mesures vont servir au calcul du volume de chaque brin en utilisant la formule de Smalian :

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} \times L$$

$S_1$  et  $S_2$  : Etant les sections en deux extrémités.

$L$  : La longueur de billon.

#### **b) Poids sec du brin :**

$$PSB = \frac{PFB \times PSr}{PFr}$$

Où :

PSB : Le poids sec du brin.

PFB : Le poids frais du brin.

PSr : Le poids sec de la rondelle à 1,30 m.

PFr : Le poids frais de la rondelle à 1,30 m.

#### **c) Poids sec des feuilles :**

$$PSF = (PFF \times TMSF)$$

Où :

PSF : Le poids sec des feuilles.

PFF : Le poids frais total des feuilles.

TMSF : Le taux de la matière sèche des feuilles.

### **5.2.2.5. Elaboration des tarifs en biomasse et en volume du brin**

Nous avons d'abord testé différentes corrélations afin de choisir l'équation la plus adéquate. L'ajustement par régression liant le poids sec ou le volume du brin à son

diamètre à 1.30 m est celle qui a été retenue pour l'estimation de la biomasse de notre essence.

Les équations étudiées se présentent sous la forme :

Linéaire :  $y = a \times x + b$  et exponentiel  $y = a \times x^b$

Où :

**y** : Représente la variable à expliquer (Biomasse, Volume...).

**a et b** : Les coefficients de régression de l'équation.

**x** : diamètre à 1,30 m.

## CHAPITRE VI : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les résultats de cette étude porteront sur deux (02) aspects différents. Le premier, concerne l'étude de la dynamique spatiale du frêne dimorphe. Le deuxième, traite l'estimation de la biomasse individuelle des brins du frêne dimorphe (tronc et feuilles), de la biomasse totale et du volume par l'élaboration des tarifs.

### 6.1. Etude de la dynamique spatiale du frêne dimorphe

Pour l'étude de la dynamique spatiale du frêne dimorphe dans la cédraie d'Ouled Yagoub nous avons opté pour l'exploitation de deux images satellitaires Landsat. La première de Landsat 5 TM daté de 28/07/1987 et la seconde de Landsat 8 OLI daté de 28/07/2015. Chacune de ces deux cartes ont subi plusieurs traitements afin de mieux cibler et différencier les types d'occupation du sol et surtout les formations végétales à frêne dimorphe.

A l'issue de l'application des méthodes de traitement numérique d'images satellitaires et d'analyse des données de terrain, divers résultats sont obtenus et présentés dans cette partie.

#### 6.1.1. Prétraitements des images satellitaires

##### 6.1.1.1. Création d'un masque "Mask"

Dans notre cas, le masque réalisé est de type géométrique basé sur l'utilisation du vecteur de la limite de la zone d'étude. L'intérieur du polygone de la zone d'étude superposé sur l'image multispectrale sera conservé par la multiplication ( $\times 1$ ), l'extérieur de la zone d'étude sera éliminé par la multiplication du reste de l'image ( $\times 0$ ). L'application de ce Mask donnera une image multispectrale de la zone d'étude (Figure 14).

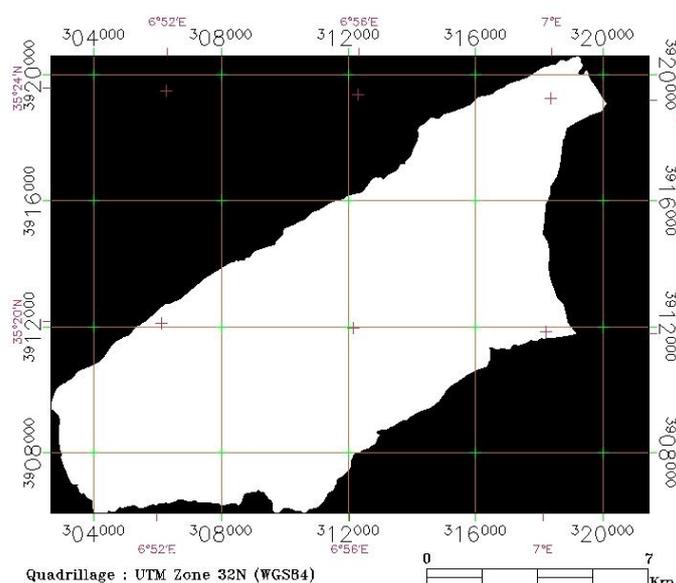


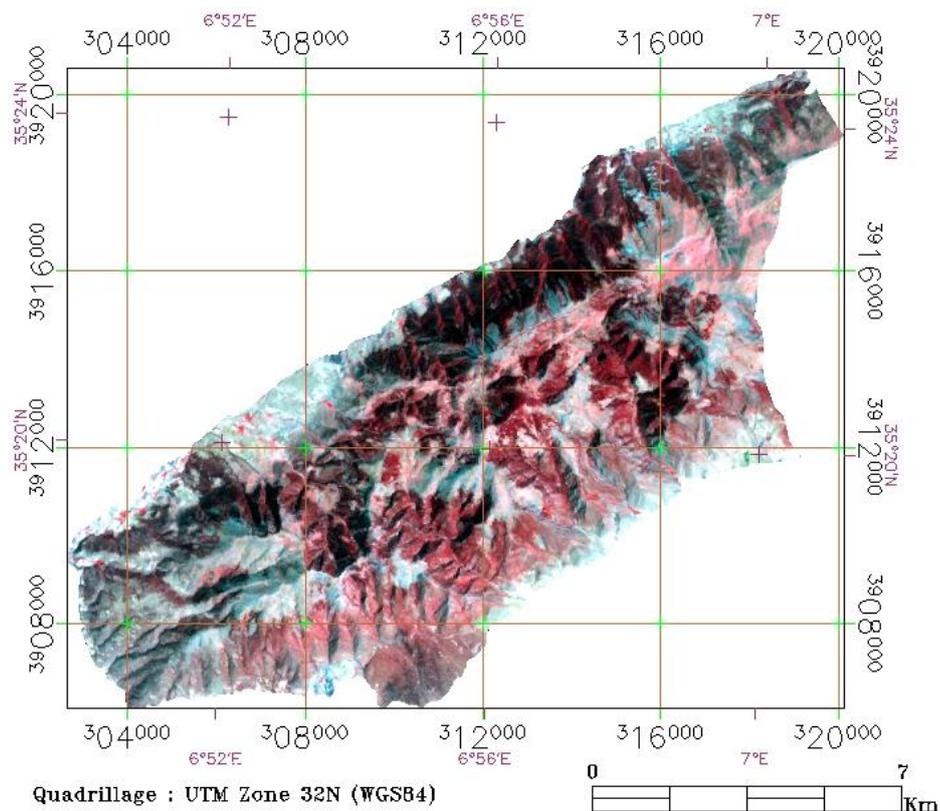
Figure 13 : Masque de l'image de la zone d'étude.

##### 6.1.1.2. Création de compositions colorées

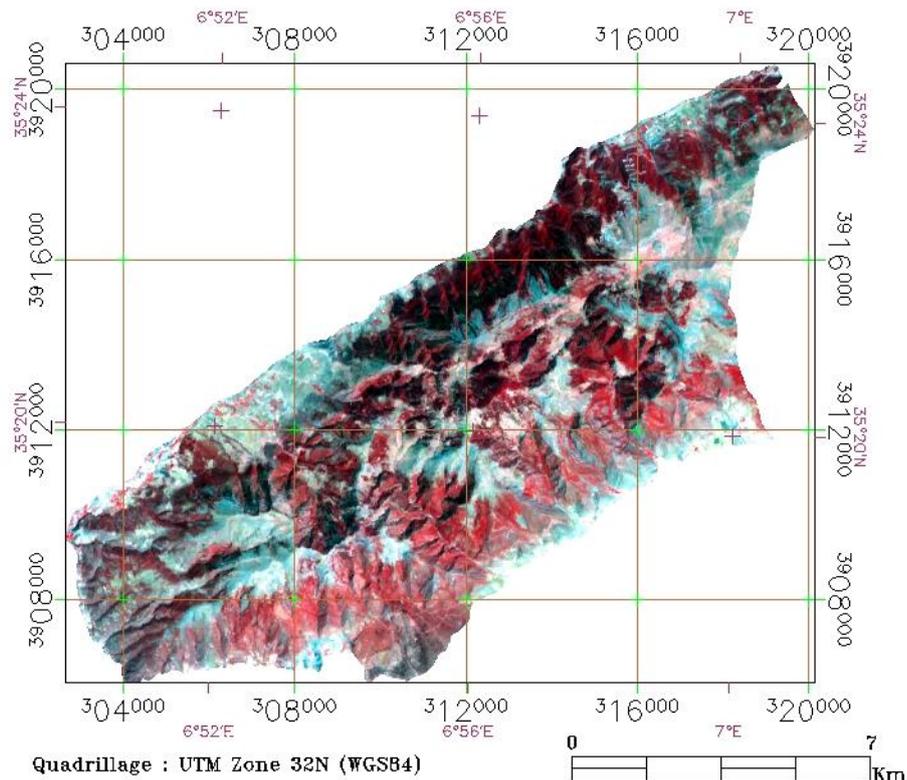
La composition colorée RGB, pour le cas de l'image Landsat 5 TM de l'année 1987, a été faite par la superposition des trois canaux TM4, TM3 et TM2. Pour l'image Landsat 8 OLI

de l'année 2015 ce sont les trois canaux OLI5, OLI4 et OLI3 qui sont superposés. L'affectation du TM4 et OLI5 pour la couleur rouge, le TM3 et OLI4 pour la couleur verte et le TM2 et OLI3 pour la couleur Bleu. Le résultat de la composition colorée est représenté dans les figures 15 et 16.

La création de composition colorée fait partie de l'interprétation visuelle des images. Sur les deux compositions colorées de la zone d'étude, les sols nus ainsi que les escarpements rocheux apparaissent dans des teintes bleu clair, vert clair à blanc, ce qui traduit la signature spectrale des minéraux. La végétation herbacée et les pelouses en rouge clair, les cultures en rouge vif, les forêts et les maquis allant du rouge foncé à rouge-noir car la végétation est généralement distinguée par sa très faible réflectance dans les longueurs d'onde correspondant au rouge (0,6 à 0,7  $\mu\text{m}$ ) et sa réflectance élevée dans le proche infrarouge (0,7 à 0,9  $\mu\text{m}$ ).



**Figure 14 :** Composition colorée (TM4-TM3-TM2) de l'image de l'année 1987.



**Figure 15 :** Composition colorée (OLI5-OLI4-OLI3) de l'image de l'année 2015.

### 6.1.2. Classification supervisée des images satellitaires

La meilleure approche pour réaliser une classification supervisée est d'avoir une bonne connaissance du terrain pour permettre une sélection d'échantillons de terrain la plus pertinente possible. Les missions de terrain nous ont permis de recenser 36 placettes d'entraînement décrites par leur situation géographique (avec des coordonnées GPS), par une/des photos, et par une description sommaire de l'utilisation du lieu, de son couvert végétale...etc. Toutes ces données sont indispensables et sont les plus objectives pour lancer une classification supervisée sur les images Landsat de la zone qu'on dispose.

Les différents traitements effectués sur les images de 1987 et 2015 ont abouti à la réalisation des cartes d'occupation de sol de la zone issue d'une classification supervisée par maximum de vraisemblance ce qui permet un suivi de la dynamique de ce milieu. Les principales contraintes relevées durant le processus de classification sont des confusions dues aux réflectances similaires des objets. Les résultats peuvent représenter une certaine marge d'erreur due au choix des zones d'entraînement qui ont été extraites à partir de la signature spectrale des objets de l'image de Landsat 8 qui n'ont pas subi de changements sur cette période.

Dans notre classification, les polygones tests utilisés sont: (CA ; CA-CV-GO ; CA-GO-FD ; CV-GO-CA ; CV-FD-CA ; CV-CA-FD ; FD ; FD-CV-CA ; FD-CV-GO ; Pelouse ; Sol nu et Agriculture).

Les cartes (Figures 16 et 19) permettent d'identifier les diverses composantes de l'espace étudié, de comparer l'état du couvert forestier entre deux dates et d'analyser la dynamique du milieu forestier.

6.1.2.1. Classification de l'image Landsat 5 (1987)

Les résultats obtenus sont représentés sous forme de support cartographique identifiant les diverses composantes de l'espace étudié en 1987 (Figure 16).

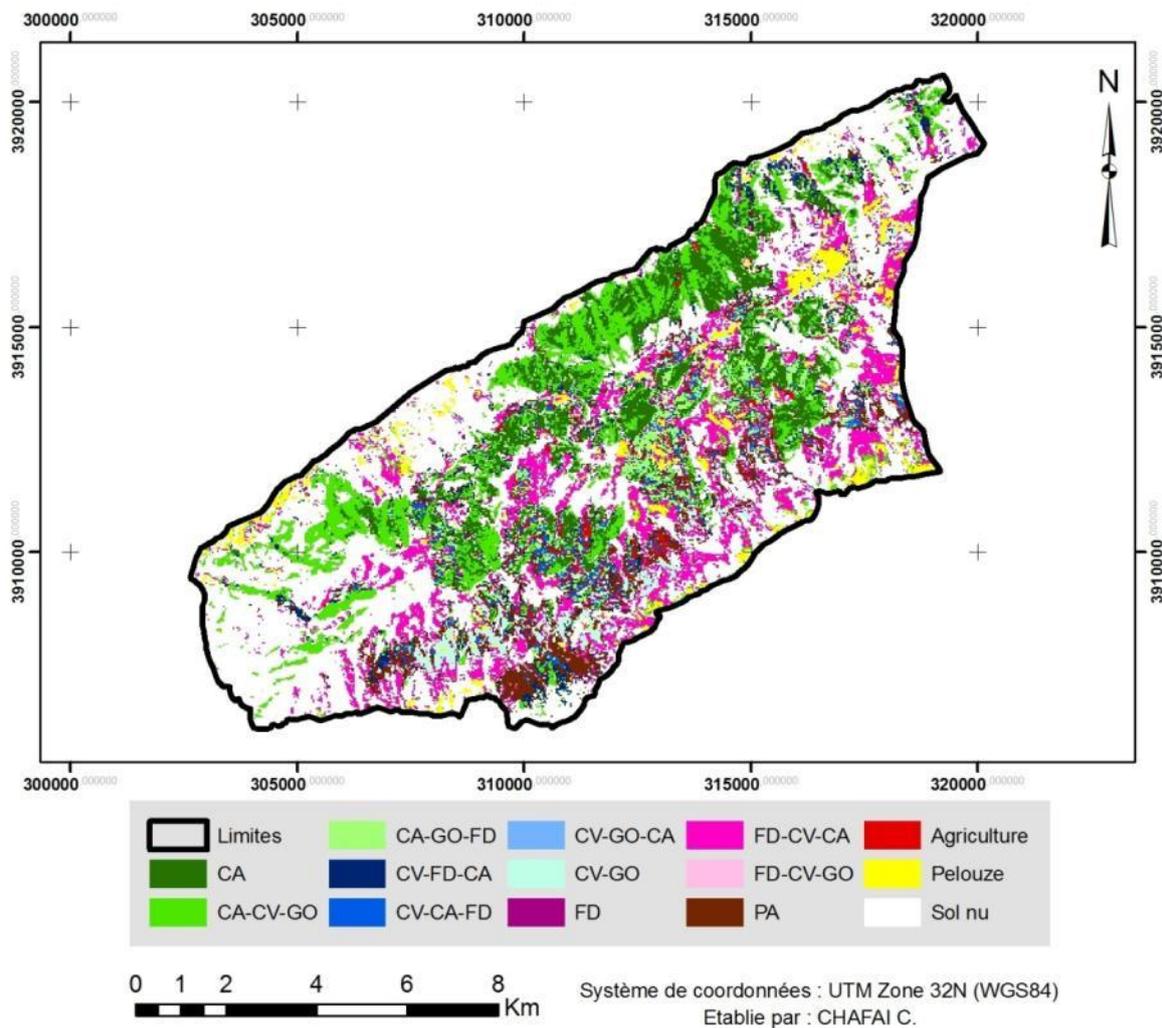


Figure 16 : Carte de la végétation de la zone d'étude en 1987.

La classification supervisée de l'image Landsat 5 (1987) découle sur une carte d'occupation du sol qui fait ressortir les principales formations végétales au sein de la cédraie d'Ouled Yagoub. L'analyse préliminaire de la carte obtenue par la méthode de maximum de vraisemblance montre la répartition des différentes formations à cèdre de l'Atlas, à chêne vert, à genévrier oxycèdre et à frêne dimorphe.

Les formations à dominance de cèdre montrent un taux de couverture élevé dans les régions Nord et très peu dans le Sud-Ouest et l'extrême Nord-Est de la zone d'étude. Cependant, on peut constater une forte prédominance de ces formations dans la zone d'étude tandis que les formations à dominance de frêne dimorphe dominent le secteur Sud. Ailleurs, les pineraies et les formations à dominance de chêne vert montrent un taux très faible dans les régions de Nord et un taux important dans le Sud-Ouest de la région. Les sols nus et les pelouses représentent ensemble un taux élevé surtout dans l'extrême Est et l'extrême Ouest de la zone. Les surfaces cultivées ne représentent qu'une partie très réduite du territoire étudié.

L'évaluation de la précision de la classification obtenue implique la comparaison de l'image classée avec des zones de vérification dont la nature est déterminée par l'observation directe sur terrain durant les sorties d'exploration et de reconnaissance de la zone. Cette comparaison est habituellement basée sur une matrice de confusion qui indique les agréments et les désagréments entre les ensembles des données. Il apparaît des confusions entre certaines classes, tandis que d'autres sont très correctement classifiées. Avec une précision globale de 90.34% et un indice de Kappa de 0.87, la classification peut être considérée comme excellente (Monserud et Leemans, 1992).

La classification de l'image Landsat 5 de l'année 1987 a abouti à une estimation des superficies des différentes classes, ces estimations sont représentées dans la figure suivante :

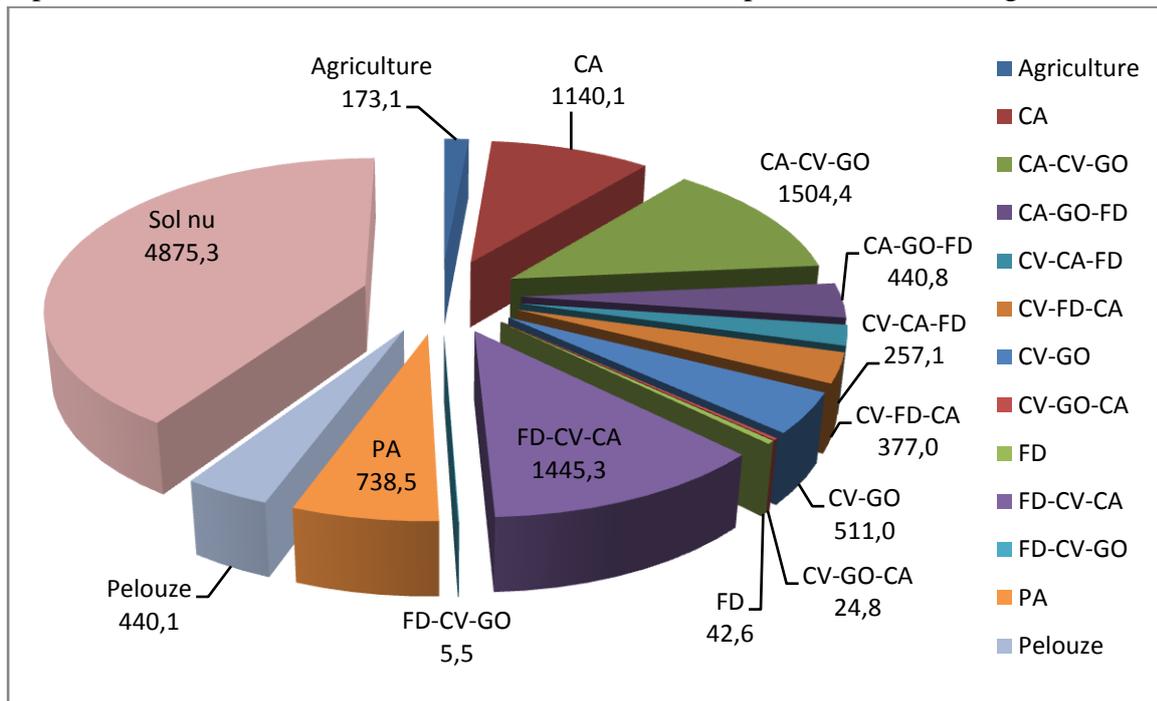


Figure 17 : Répartition des superficies de la végétation de la zone d'étude en 1987.

En 1987, la zone d'étude est dominée par les sols nus avec une superficie de 4875,3 hectares, soit 41 % de la superficie totale. Elles se répartissent presque sur tous les expositions et les tranches altitudinales et généralement sur des pentes moyennes à très fortes sur 90% de sa surface totale.

Les formations à dominance du cèdre ont un pourcentage moyen de 27% soit 3085,38 hectares. La cédraie pure est présente sur les expositions Nord et Ouest à 72% de sa surface totale, entre les altitudes 1400 m et 2000 m à 85% et sur des pentes fortes et très fortes sur 95% de la zone. Ainsi, la formation CA-CV-GO se trouve sur les expositions Nord et Ouest sur 70% de sa surface globale, entre les altitudes 1200 m et 1800 m à 77% et sur des pentes fortes et très fortes sur 89%. Alors que la formation CA-GO-FD est présente sur les expositions Nord et Sud sur 63% de sa surface, essentiellement sur la tranche altitudinale 1400-1800m dans 63% et sur des pentes fortes et très fortes à 95%.

Les formations à dominance de frêne dimorphe s'étalent sur une superficie de 1493,37 hectares, soit environ 12% de la zone d'étude, dont principalement la formation FD-CV-CA, qui est présente sur les expositions les moins arrosées (Sud et Est) dans 66% de sa surface

totale, entre les altitudes 1400 m et 1900 m à 77%, et sur des pentes fortes et très fortes sur 78% du territoire. Les deux autres formations ne représentent que de très petites surfaces ce qui ne montre pas clairement les conditions majeures de leurs répartitions spatiales.

Les formations à dominance de chêne vert occupent près de 1169,91 hectares de terrain soit environ 9 % de la superficie de la zone. La formation CV-CA-FD est présente sur les expositions les moins arrosées (Sud et Est) sur 82% de sa surface, entre les altitudes 1400 m et 2000 m à 86%, et sur des pentes fortes et très fortes à 95%. Ainsi, la répartition de la formation CV-FD-CA est indifférente aux expositions mais on constate une légère affinité avec le Nord et le Sud dans 65% de sa surface globale. Elle se présente entre les altitudes 1200 m et 1800 m à 75%, et occupe les pentes fortes et très fortes avec 90% de sa surface totale. Alors que la formation CV-GO est présente sur les expositions les moins arrosées Sud et Est dans 68% de sa surface, essentiellement sur la tranche altitudinale 1400-1900m à 89%, et sur des pentes fortes et très fortes à 87%. La formation CV-GO-CA ne représente qu'une très petite surface ce qui ne montre pas clairement les conditions de sa répartition spatiale.

Les pineraies couvrent une superficie de 738,5 hectares soit 6% de la zone. Elles se trouvent généralement sur les expositions les moins arrosées (Sud et Est) dans 70% de leur surface, entre les altitudes 1200 et 1800 m à 68% et sur des pentes fortes et très fortes à 91%.

Les pelouses avec une superficie de 440,1 hectares soit environ 4% de la surface totale, se répartissent de manière équitable sur les différentes expositions avec une légère tendance aux expositions les moins arrosées Sud et Est sur 64% de leur surface, sur toutes les tranches d'altitudes, et sur les différentes classes de pentes. Les activités agricoles s'étalent sur 173,1 hectares, soit environ 1% de la superficie totale de la zone d'étude; ces dernières sont généralement de très petites surfaces autour des habitations, essentiellement des cultures vivrières et arbres fruitiers.

#### **6.1.2.2. Cartographie des formations de frêne dimorphe en 1987**

Pour atteindre notre objectif de l'étude de la dynamique du frêne dimorphe dans la cédraie des Ouled Yagoub, seules les formations contenant le frêne dimorphe en 1987 sont visibles sur la carte, ce qui va nous permettre de bien discerner les changements probables de ces formations durant cette période.

Avec l'outil « Classification to vector » du logiciel de traitement d'images satellites ENVI 5.1, nous avons converti la classification de l'image de l'année 1987 en format « .EVF » et puis vers le format « .SHP » utilisable dans le logiciel ArcGis 9.3, afin de procéder à différentes analyses spatiales et attributaires pour mieux présenter les résultats recherchés.

En prenant en considérations que les formations végétales cibles de notre étude, sous ArcGis 9.3, nous avons obtenu la carte qui montre la répartition spatiale des formations du frêne dimorphe en 1987 (Figure 18).

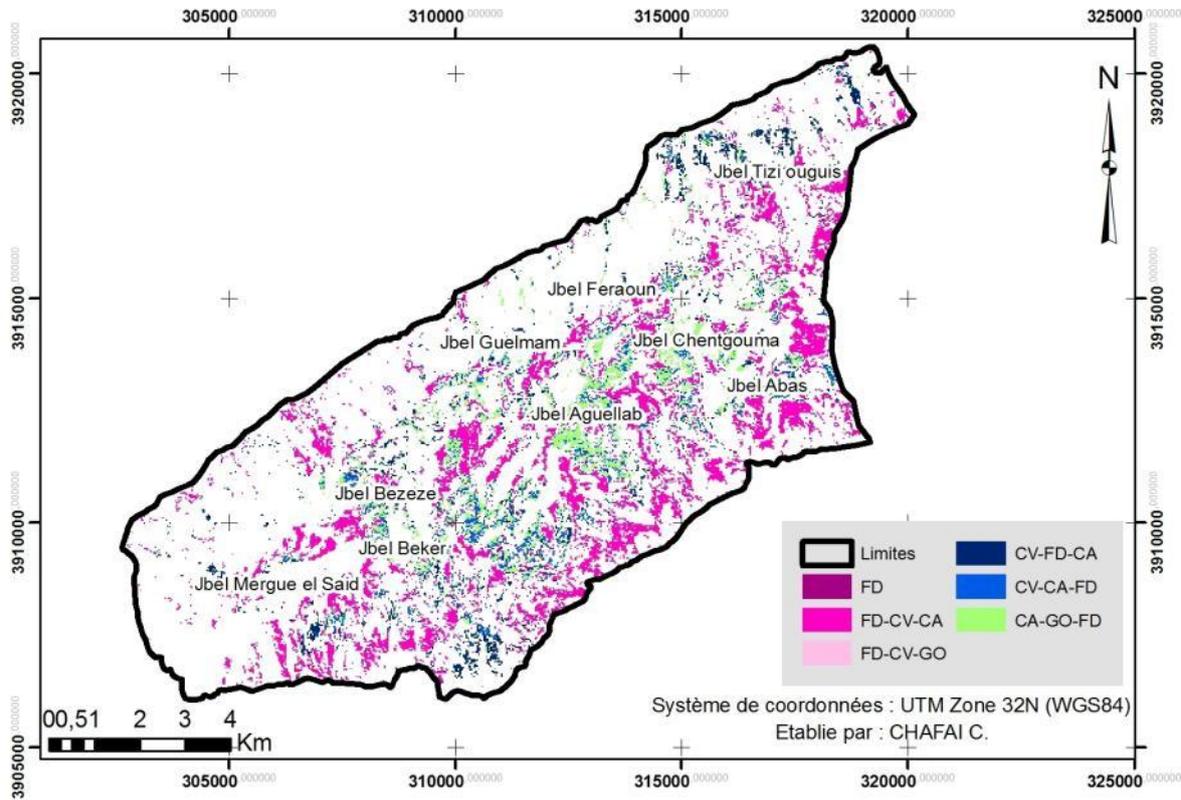
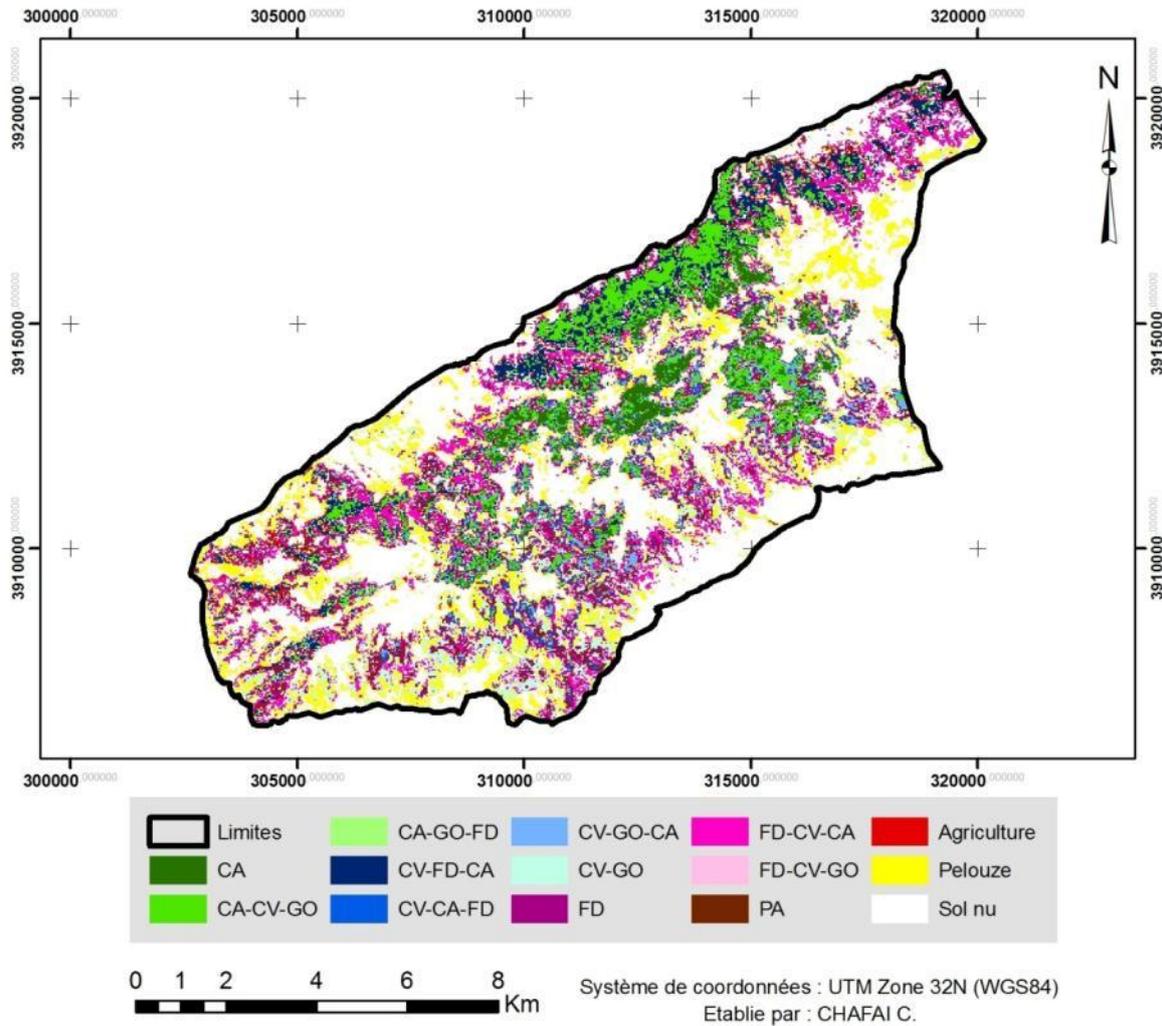


Figure 18 : Carte de répartition des formations du frêne dimorphe en 1987

A partir de la carte précédente, on peut dire qu'en 1987, les formations à dominance de frêne dimorphe occupent clairement les versants Sud beaucoup plus que les versants Nord. Les formations du frêne dimorphe dominées par le cèdre de l'Atlas occupent les versants Sud des Jbels Chentgouma, Aguellab et de moins de degré le Jbel Beker.

6.1.2.3. Classification de l'image Landsat 8 (2015)

La figure ci-dessous représente les résultats de la classification par maximum de vraisemblance de l'image Landsat 8 (2015) de la Cédraie de Ouled Yagoub. Le résultat de cette classification est très précis car les zones d'entraînement utilisées ont été extraites à partir de la signature spectrale des objets de la même image.



**Figure 19 :** Carte de la végétation de la zone d'étude en 2015.

Les résultats préliminaires obtenus à partir de la classification supervisée de l'image Landsat 8 (2015) montrent une extension des pelouses dans la région Est, ainsi que les formations à dominance de chêne vert et de frêne dimorphe au dépend de la cédraie qui connaît une régression remarquable sur l'ensemble de la zone étudiée. Corrélativement, on assiste à une régression de la pinède au Sud-Ouest de la zone.

La matrice de confusion pour la classification par la méthode du maximum de vraisemblance de l'image Landsat 8 (2015) a été calculée pour évaluer la précision des résultats obtenus. Elle fournit une précision globale de la classification de 91.66%, avec un coefficient Kappa de 0.89. Ces critères indiquent que les résultats sont excellents selon l'échelle de Monserud et Leemans (1992).

La classification de l'image Landsat 8 (2015) a abouti à une estimation des superficies des classes. Ces estimations sont récapitulées dans la figure 20.

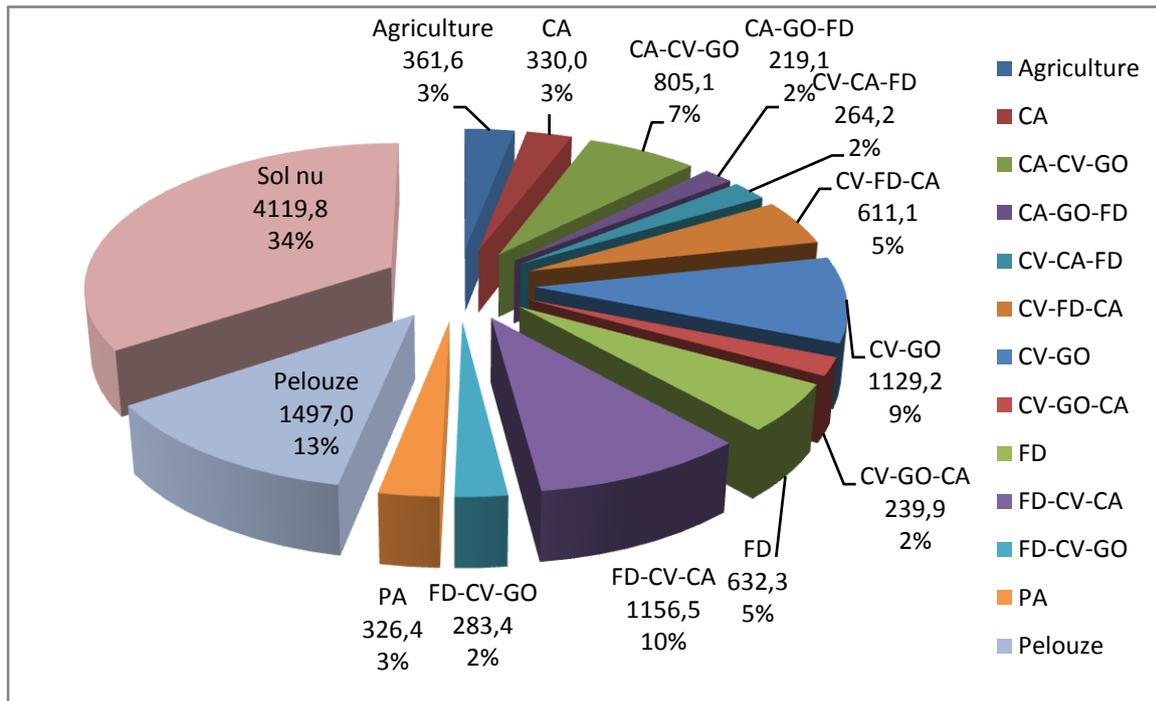


Figure 20 : Répartition des superficies de végétation de la zone d'étude en 2015.

Actuellement, la zone d'étude est dominée par les sols nus avec une superficie de 4119,8 hectares, soit 34 % de la superficie totale, et qui se répartissent sur toutes les expositions de manière presque équitable. Leur répartition est indifférente des tranches altitudinales et généralement sur des pentes fortes et très fortes sur 83% de sa surface totale.

Les formations à dominance du cèdre représentent 12% de la surface de la zone d'étude, soit 1354,14 hectares. La cédraie pure est présente sur les expositions Nord et Ouest à 87% de sa surface totale, entre les altitudes 1600 m et 2160 m sur 92% et sur des pentes fortes et très fortes presque dans sa totalité (98%). Ainsi, la formation CA-CV-GO se trouve sur les expositions Nord et Ouest dans 85% de sa surface globale, entre les altitudes 1200 m et 1800 m sur 80%, et totalement sur des pentes fortes et très fortes. Alors que la formation CA-GO-FD est présente sur les expositions Nord et Ouest à 84% de sa surface, essentiellement sur la tranche altitudinale 1200-1800m à 83%, et sur des pentes fortes et très fortes dans la quasi-totalité du territoire 97%.

Les formations à dominance de frêne dimorphe s'étalent sur une superficie de 2072,25 hectares, soit environ 17% de la zone d'étude, la formation de frêne dimorphe (FD) est présente sur toutes les expositions d'une manière presque équitable, entre les altitudes 1200 m et 1800 m à 77% de sa surface totale, et sur des pentes fortes et très fortes à 94%. Ainsi, la formation FD-CV-CA s'étalent généralement sur les versants les mieux arrosés (Nord et Ouest) dans 61 % de sa surface, entre 1200 et 1800 m d'altitude sur 84%, et sur des pentes fortes et très fortes sur 93%. Alors que la formation FD-CV-GO est présente sur les expositions les moins arrosées (Sud et Est) sur 68% de sa surface, essentiellement sur la tranche altitudinale 1200-1800m dans 84%, et sur des pentes fortes et très fortes à 92%.

Les formations à dominance de chêne vert occupent près de 2244,51 hectares de terrain soit environ 18% de la superficie de la zone. La formation CV-CA-FD est présente sur

l'ensemble des expositions, entre les altitudes 1400 m et 2000 m sur 87% de sa surface totale, et sur des pentes fortes et très fortes dans sa totalité (97%). Ainsi, la répartition de la formation CV-FD-CA est fortement liée aux expositions les plus arrosées (Nord et Ouest) sur 97% de sa surface globale. Elle se présente entre les altitudes 1200 m et 1800 m sur 93% de la zone, et se localise sur des pentes fortes et très fortes sur quasiment toute la surface (99%). Alors que la formation CV-GO est présente sur toutes les expositions, essentiellement sur la tranche altitudinale 1200-1800m sur 80% de sa surface, et sur des pentes fortes et très fortes dans 92%. Enfin, la formation CV-GO-CA se répartit sur l'ensemble des expositions, entre 1400 et 2000 m d'altitude dans 91% de sa surface et sur des pentes fortes et très fortes sur 98%.

Les pelouses avec une superficie de 1497 hectares soit environ 13% de la surface totale, se répartissent sur toutes les expositions, les tranches altitudinales et les différentes classes de pentes.

Les pineraies couvrent une superficie de 326,4 hectares soit 3% de la zone, et se trouvent généralement sur les expositions les moins arrosées (Sud et Est) sur 64% de leur surface, entre les altitudes 1200 et 1800 m dans 84%, et sur des pentes fortes et très fortes sur 93%.

Les cultures couvrent une superficie de 361,6 hectares, soit environ 3% de la superficie totale de la zone d'étude; ces dernières sont généralement des surfaces restreintes près des habitations, irriguées par les eaux des sources naturelles et des cours d'eaux alimentés par ces sources. Quelques bassins d'accumulation des eaux et de captages de sources sont réalisés ces dernières années dans le cadre de la politique nationale de renouveau agricole et rural, ainsi que la situation sécuritaire stable depuis l'an 2000 ont favorisé le développement de l'activité agricole dans cette région montagneuse, comme les cultures vivrières et l'arboriculture fruitière.

#### **6.1.2.4. Cartographie des formations du frêne dimorphe en 2015**

De même que pour l'année 1987, l'étude de la dynamique en 2015 du frêne dimorphe dans la cédraie des Ouled Yagoub, seules les formations du frêne dimorphe apparaissent sur la carte, ce qui va nous permettre de bien discerner les superficies occupées par ces formations en cette année.

La même procédure de conversion, que celle de la classification de l'image 1987, a été utilisée aussi pour la classification de l'image de l'année 2015 en format « .SHP » utilisable dans le logiciel ArcGis 9.3, afin de sélectionner les formations végétales cibles de notre étude. On obtient donc la carte qui montre la répartition spatiale actuelle des formations du frêne dimorphe (Figure 21).

A partir de la carte ci-après, on peut dire qu'en 2015, les formations à dominance de frêne dimorphe occupent clairement les versants Nord et les versants Sud d'une manière presque équitable. Il est à signaler que le Nord des Jbels Bezeze, Guelmam et Tizi ouguis est actuellement occupé par ces formations. Les formations du frêne dimorphe dominées par le Cèdre de l'Atlas occupent des taches très réduites sur les versants Sud des Jbels Chentgouma et Aguellab et le versant Est de Jbel Abas ainsi qu'au Nord de Jbel Bezeze.

Les formations du frêne dimorphe dominées par le chêne vert s'étalent sur des surfaces importantes au Versants Nord des Jbels Guelmam, Feraoun et Tizi ouguis, ainsi que

sur des surfaces remarquables au Sud de Jbel Beker et au Nord et Nord Ouest des Jbels Bezeze et Mergue el Said.

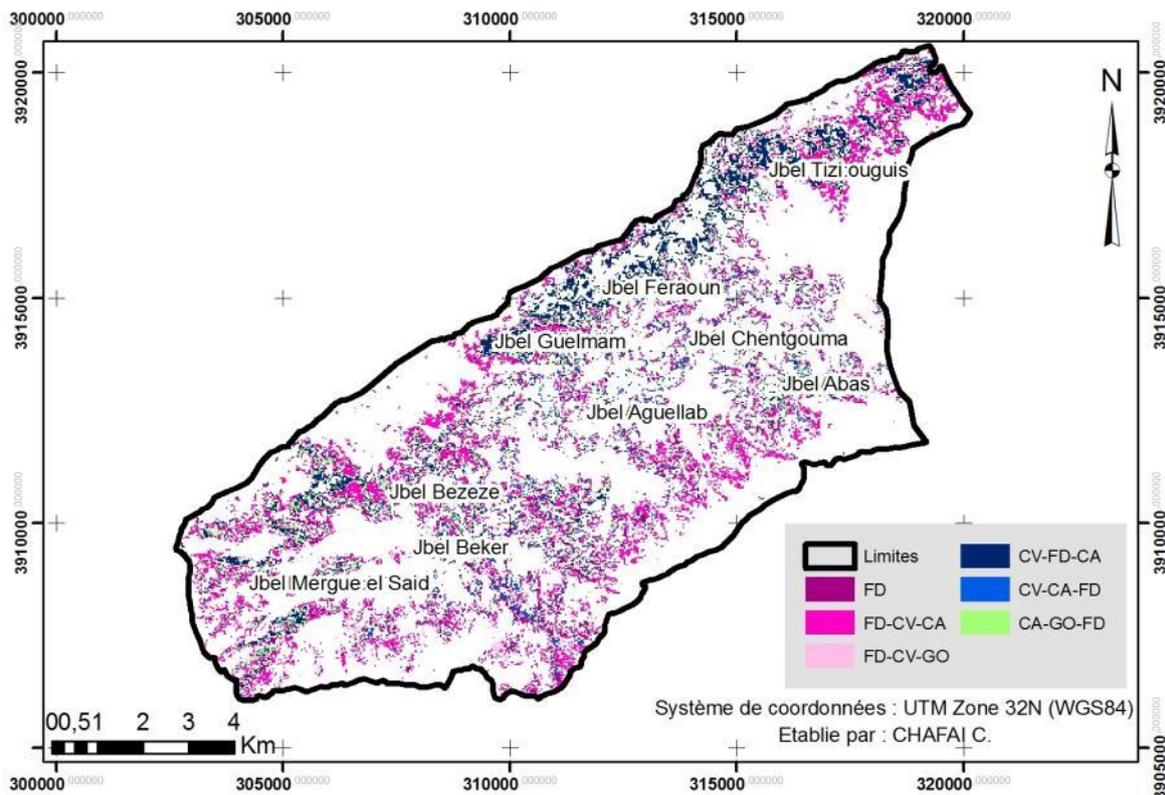


Figure 21 : Carte de répartition des formations du frêne dimorphe en 2015.

### 6.1.3. Dynamique et changement de la végétation

L’analyse de la dynamique et du changement du couvert végétal de la cédraie d’Ouled Yagoub, permet de rendre compte de l’évolution des superficies des différentes formations végétales dans le temps et dans l’espace, donc, l’état de conservation de la végétation. L’étude de cette dynamique est basée sur la classification des images satellitaires Landsat TM et OLI de la zone, obtenues respectivement en 1987 et en 2015. Grâce à des calculs de superficies réalisés à l’aide de logiciels SIG, l’estimation des superficies modifiées pour chacune des formations végétales durant la période 1987-2015 est établie.

Cette étude de la dynamique et de changement des formations forestières est faite en deux phases. La première consiste à une étude comparative des superficies des classes de végétation dans notre zone d’étude et la seconde cible la détection des changements enregistrés à l’échelle spatiale entre les classifications des images satellitaires des années d’étude.

### 6.1.3.1. Comparaison des superficies entre 1987 et 2015

Dans le cadre de l'étude comparative des superficies, en mettant en jeu les estimations des superficies des classes de végétation pour les deux cartes issues de la classification supervisée des images Landsat 1987 et 2015. Afin de mieux analyser ces superficies, nous avons présenté les tableaux des superficies des classes des deux dates qui sont générés à partir des superficies calculées dans la table attributaire des couches des deux classifications. Nous avons calculé ainsi la différence des superficies entre les deux dates (Tableau 5). Ensuite nous avons reproduit un diagramme pour mieux voir la tendance que ces unités d'occupation du sol donnent de 1987 à 2015.

**Tableau 5** : Répartition des Changements par classe entre 1987 et 2015

Classes	Superficies		Année 1987		Année 2015		Changement de superficies	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
<b>Agriculture</b>	173.1	1.4	361.6	3.0	+188.6	+1.6		
<b>CA</b>	1140.1	9.5	330.0	2.8	-810.1	-6.8		
<b>CA-CV-GO</b>	1504.4	12.6	805.1	6.7	-699.4	-5.8		
<b>CA-GO-FD</b>	440.8	3.7	219.1	1.8	-221.8	-1.9		
<b>CV-CA-FD</b>	257.1	2.1	264.2	2.2	+7.1	+0.1		
<b>CV-FD-CA</b>	377.0	3.1	611.1	5.1	+234.1	+2.0		
<b>CV-GO</b>	511.0	4.3	1129.2	9.4	+618.2	+5.2		
<b>CV-GO-CA</b>	24.8	0.2	239.9	2.0	+215.2	+1.8		
<b>FD</b>	42.6	0.4	632.3	5.3	+589.8	+4.9		
<b>FD-CV-CA</b>	1445.3	12.1	1156.5	9.7	-288.8	-2.4		
<b>FD-CV-GO</b>	5.5	0.0	283.4	2.4	+277.9	+2.3		
<b>PA</b>	738.5	6.2	326.4	2.7	-412.1	-3.4		
<b>Pelouse</b>	440.1	3.7	1497.0	12.5	+1056.9	+8.8		
<b>Sol nu</b>	4875.3	40.7	4119.8	34.4	-755.6	-6.3		

D'après le tableau 5, on constate que les changements durant cette période sont très importants. Par rapport à l'importance de chaque classe de végétation, nous pouvons noter que, dans l'ensemble, il y a eu une forte dégradation des zones forestières. Les diagrammes ci-après (figure 22) sont reproduits pour une meilleure interprétation des différences des superficies des classes de végétation de la cédraie d'Ouled Yagoub entre 1987 et 2015.

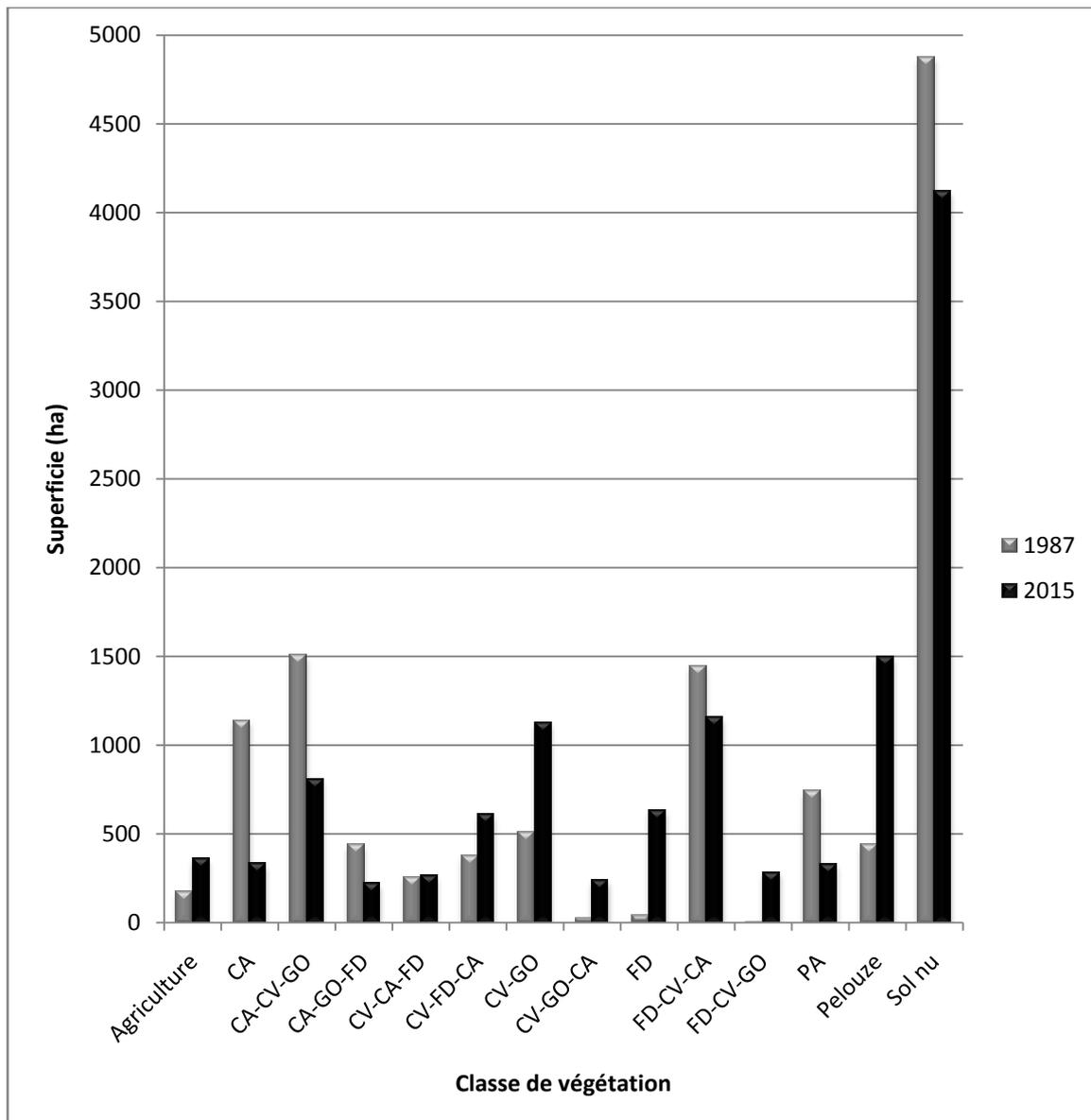
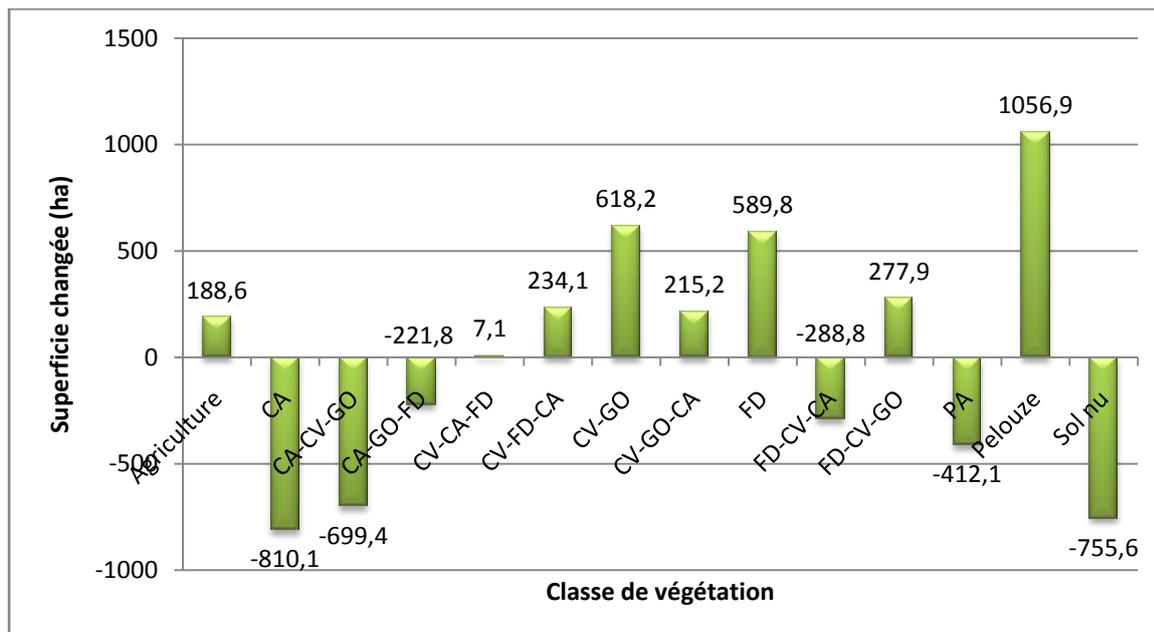


Figure 22 : Superficies des classes d’occupation du sol en 1987 et 2015

Suite à l’analyse du diagramme ci-dessus, les grandes tendances précédemment décrites sont observées :

- progression des classes de l’agriculture, CV-CA-FD, CV-FD-CA, CV-GO, CV-GO-CA, FD, FD-CV-GO et Pelouse ;
- régression des classes CA, CA-CV-GO, CA-GO-FD, FD-CV-CA, PA et sols nus.

On observe alors que les classes : Pelouse, formations à dominance du chêne vert et du frêne dimorphe en 2015 représentent une véritable progression. Ces espaces de conversion peuvent correspondre à des zones défrichées soit pour permettre la mise en culture ou bien pour l’exploitation illicite du bois de cèdre et aussi aux zones touchées par le dépérissement qu’a connu le cèdre de l’Atlas durant cette période (Bentouati et Bariteau, 2006 ; Beghami, 2013). Cette importante augmentation entraîne une pression et une diversification des exploitations du milieu forestier tel que la production illicite et non contrôlée de charbon du bois de chêne vert et les coupes des branches de frêne dimorphe pour l’utilisation comme aliment de bétails.



**Figure 23** : Changement des superficies des classes entre 1987 et 2015

D'après le diagramme, la comparaison réalisée entre les surfaces des classes de végétation de la zone d'étude entre les années 1987 et 2015 montre que :

- La surface agricole est estimée en 1987 à 173,1 ha soit 1,4 % de la zone, mais en 2015 cette surface est estimée à 361,6 ha soit 3%, ce qui montre une progression relativement importante de 188,6 ha.
- Les formations à dominance du cèdre de l'Atlas en 1987 couvrent une superficie de 3085,38 ha soit 27% de la zone, alors qu'en 2015 elles couvrent une surface de 1354,14 ha soit 12%, ce qui présente une diminution de 1731,24ha.
- Les classes à dominance de frêne dimorphe couvrent une partie de 1493,37 ha soit 12% en 1987 et 2072,25 ha soit 17% en 2015 de la superficie totale, ce qui présente une progression de 578,88 ha.
- En 1987 les formations à dominance du chêne vert s'étalent sur une superficie de 1169,91 ha soit 9%, tandis qu'en 2015, elles occupent une surface de 2244,51 ha soit 18% de la zone d'étude, ce qui présente une progression importante de 1074,6 ha.
- Les pineraies s'étalent sur une superficie de 738,5 ha soit 6% de la zone en 1987, et 326,4 ha soit 3% en 2015, ce qui présente une diminution de 412,1 ha
- La classe pelouse occupe près de 440,1 ha soit 4% de la zone d'étude et 1497 ha soit 13% pour les années 1987 et 2015 respectivement, ce qui présente une diminution de 1056,9 ha.
- Le sol nu couvre une superficie de 4875,3 hectares, soit 41% et 4119,8 ha soit 34% de la superficie totale pour les années 1987 et 2015 respectivement, ce qui présente une diminution de 755,6 ha.

En conclusion, on peut dire que ce milieu naturel connaît une dégradation importante entre 1987 et 2015 qui se traduit par une diminution des superficies des formations à dominance du cèdre de l'Atlas qui représentent l'état climacique de la végétation de la région,

ainsi que par l'augmentation des superficies des formations à dominance de chêne vert et de frêne dimorphe qui représentent un état de dégradation de la cédraie. La diminution des superficies de formation de pin d'Alep montre aussi l'état de dégradation des forêts de cette zone. En parallèle, l'augmentation des superficies agricoles, des superficies des pelouses et des terres déboisées, confirme le processus de dégradation qu'a subi la cédraie d'Ouled Yagoub.

Au cours de cette dégradation et de ces changements, les formations à frêne dimorphe ont gagnées une superficie de 598 ha durant la période 1987- 2015. Les superficies passent de 2568 ha et 3166 ha dans l'ensemble. Ce gain de superficie était au dépend des autres formations surtout les formations à dominance du cèdre de l'Atlas qui sont les plus touchés par la dégradation.

### **6.1.3.2. Cartographie des changements de la végétation entre 1987 et 2015**

La détection des changements est mise en place sur la base de la classification des images. La classification de 1987 sert d'état initial et la classification de 2015 d'état final. Les pixels sont comparés un à un pour voir s'ils ont changé de classe ou au contraire s'ils appartiennent toujours à la même classe.

Le résultat de la détection des changements au cours de la période de comparaison peut être représenté par un graphe et une carte de changement des classes de végétation de la cédraie. Ces deux méthodes de présentation montrent la répartition des superficies de ces changements constituée de classes simples représentant les zones stables comme la classe « CA-CA » n'ayant subi aucun changement ou bien des classes sur lesquelles les deux capteurs émettent le même avis et des classes composées montrant les zones de changements durant l'intervalle de temps considéré, comme la classe d'intersection « CA – CA-CV-GO» qui est une zone instable, enfin des classes sur lesquelles les deux capteurs émettent des avis contradictoires.

Pour les besoins de notre étude et dans l'objectif de voir les différentes conversions des unités de l'espace en formations de frêne dimorphe, nous n'avons présenté que les changements des surfaces des classes vers les formations de cette essence.

Les résultats de la cartographie des changements d'occupation du sol de la zone d'étude entre 1987 et 2015 sont montrés dans la figure 25. Une présentation cartographique est possible, mais à cause du nombre important des classes de changement, la carte des changements devient illisible et les couleurs de la légende sont très difficiles à différencier. Donc nous sommes contraint de présenter juste les résultats ciblés par notre étude sous forme graphique tout en montrant les superficies de chaque classe de changement.

La figure 24 ne montre que les classes de changement qui ont une superficie supérieure à 10 ha excepté celles inférieures à 10 ha qui sont jugés des surfaces très réduites à une localisation limitée. Ces superficies sont considérées non significatives par rapport à l'ensemble des classes de changement.

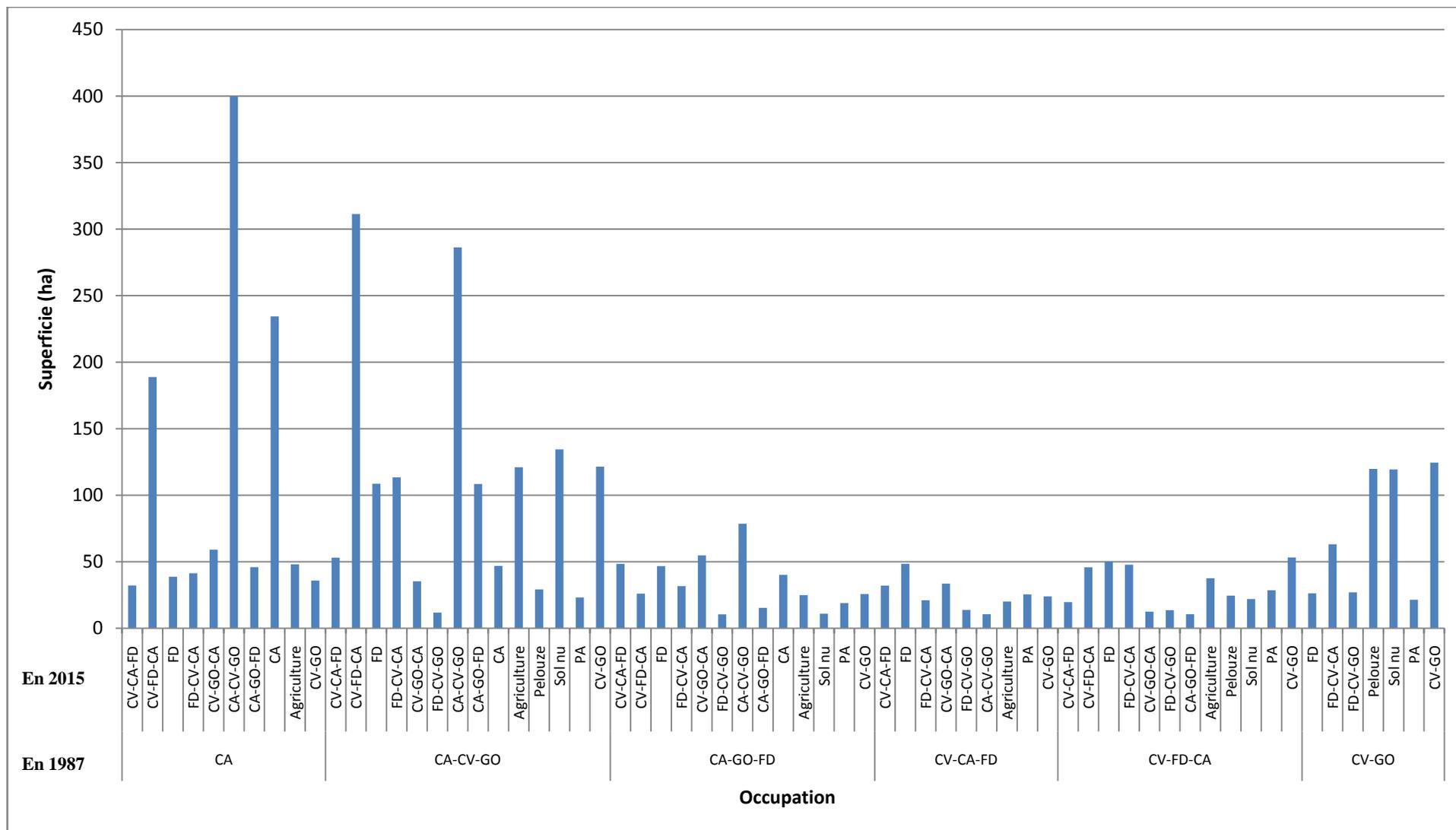


Figure 24: Occupation du sol entre 1987 et 2015

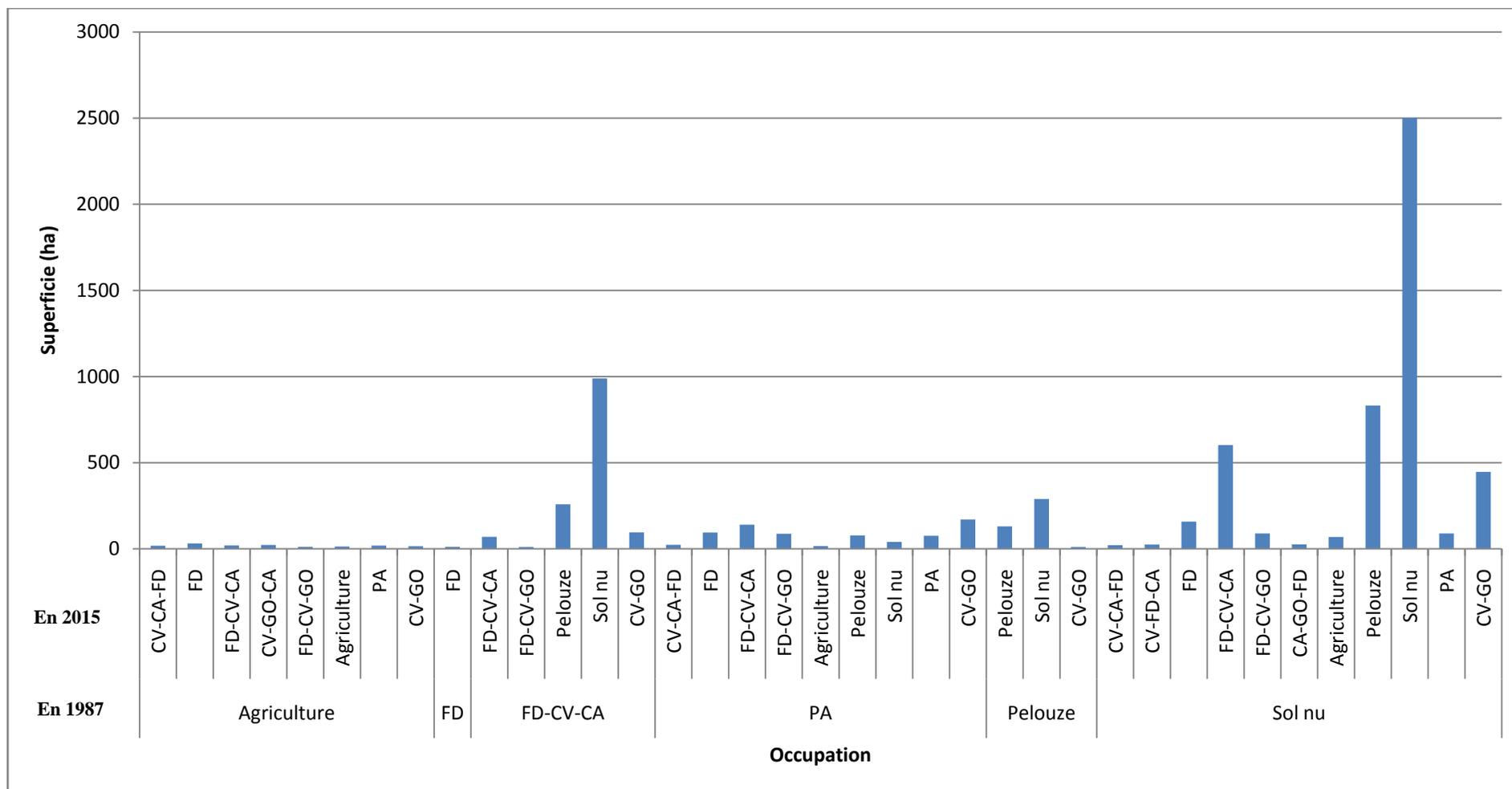


Figure 24 bis : Occupation du sol entre 1987 et 2015

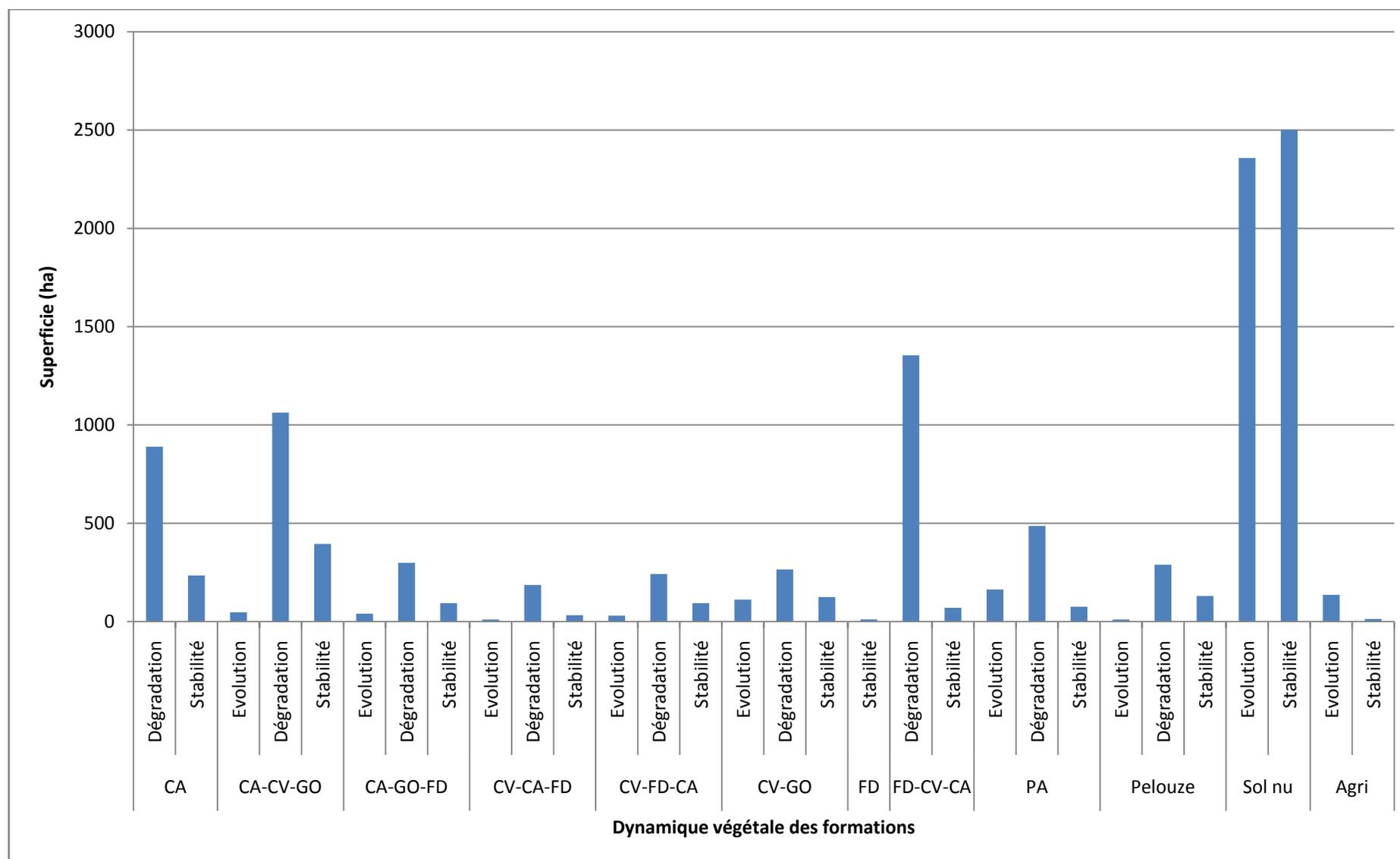
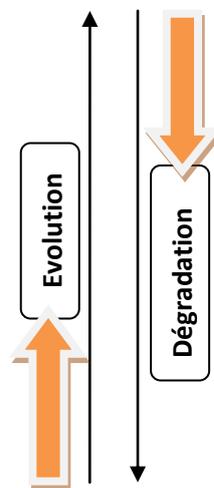


Figure 25 : Dynamique de la végétation de la zone d'étude entre 1987 et 2015

La mise en place de statistiques d'évolution confirme alors ce qui a pu être observé visuellement sur la carte ou sur le graphe des changements. A partir du graphe (Figure 25), nous constatons qu'il y a une grande dynamique dans la zone d'étude entre les deux dates considérées. Ceci a permis d'extraire un autre graphe (Figure 25) qui montre les types des changements résultant du croisement entre les deux cartes de végétation de 1987 et celle de 2015, l'analyse de ce dernier permet d'identifier 2 types de dynamiques :

➤ Conversion : changements d'une catégorie d'occupation des terres à une autre. Ce type de changement correspond à deux formes de dynamique végétale, soit une dégradation ou une évolution qui ont comme indicateurs l'importance du cèdre de l'Atlas qui représente la formation climacique de la végétation de la zone dans les formations végétales, ainsi que la densité et la richesse en essences ligneuses de la formation. La dynamique végétale des formations de notre zone d'étude est définie par l'échelle suivante :

- CA
- CA-CV-GO et CA-GO-FD
- CV-CA-FD
- CV-FD-CA, CV-GO-CA et FD-CV-CA
- FD-CV-GO
- CV-GO
- FD
- Pelouse
- Agriculture
- Sol nu



**Figure 26 :** Echelle de la dynamique végétale des formations de la zone d'étude

➤ Stabilité : classe non affectée par des modifications ou des conversions entre les dates 1987 et 2015

La figure 26 montre l'évolution, la dégradation ainsi que la stabilité des classes de végétation entre 1987 et 2015. À partir des statistiques représentées sur les figures 24, 24bis, et 25 précédentes, plusieurs constatations peuvent être faites:

Pour les formations à dominance de cèdre, qui représentent l'état climacique de la végétation naturelle de la zone, elles présentent une dégradation importante vers d'autres formations où le cèdre devient une essence dominée ou bien disparaît complètement. A titre d'exemple, les formations à dominance de chêne vert, tel que : CV-FD-CA qui remplace environ 526 ha, une surface de 150 ha de ces formations de cèdre est remplacée par la formation CV-GO-CA, 133 ha remplacés par la formation de CV-CA-FD et 183 ha remplacés par la formation de CV-GO. Ainsi que les formations à dominance de frêne dimorphe où 194 ha sont remplacés par la formation de frêne dimorphe pure et 186 ha remplacés par la formation FD-CV-CA. Cela peut correspondre à des parcelles de forêt touchées par le

dépérissement du cèdre ou bien des défrichements surtout les coupes illicites du cèdre, ce qui favorise la dégradation de ces formations et l'évolution des espèces très concurrentielles qui y pénètrent (Scheonenberger, 1970). Ces résultats sont confortés par les statistiques d'évolution faites précédemment. Par ailleurs, d'autres superficies des formations à dominance du cèdre sont remplacées par les autres classes de végétation telles que les pelouses, les zones agricoles, le pin d'Alep et les sols nus à des degrés différents. Ces données montrent une forte dégradation de la cédraie qui est souvent due aux incendies (Scheonenberger, 1970).

Pour les formations à dominance de chêne vert, on peut constater que 345 ha de la superficie initiale de ces formations restent non changés entre 1987 et 2015, alors que 751 ha ont changé de catégorie, dont 311 ha sont devenues des formations à dominance de frêne dimorphe ; 57 ha sont devenus des terres exploitées pour l'agriculture ; 75 ha sont dominés par le pin d'Alep ; 285 ha sont dégradés en pelouses et sols nus à cause de la surexploitation des chênes verts arborescents émondés au cours de l'été pour l'alimentation du bétail ; le sous bois de chêne vert est utilisé comme bois de feu et pour la production commerciale du charbon de bois de ce chêne (Scheonenberger, 1970). Seulement 21 ha de chênaies ont évolués et deviennent dominés par le cèdre. Donc on constate une forte dégradation des superficies initiales des chênaies et une faible progression de celle-ci. Par contre, on constate une extension de la superficie des chênaies en 2015 au dépend des autres formations, essentiellement les cédraies dégradées par le phénomène de dépérissement de cèdre signalé ces derniers temps dans les Aurès (Bentouati et Bariteau, 2006 ; Kherchouche et *al.*, 2007 ; Bentouati, 2008 ; Benhouhou et *al.*, 2010).

Pour les formations à dominance de frêne dimorphe : 1353 ha de la surface initiale a subit une dégradation et change de catégorie entre 1987 et 2015, essentiellement la formation FD-CV-CA qui est déjà une des formes de dégradation de la cédraie, et qui a connu une dégradation de 989 ha de sa superficie en sols nus, 258 ha en pelouses et 95 ha en formation mixte de chêne vert et de genévrier oxycèdre. Cela est issu des coupes illicites de ce qui reste du cèdre de cette formation, ainsi que la surexploitation du chêne vert et du frêne dimorphe émondés au cours de l'été pour l'alimentation du bétail (Scheonenberger, 1970), ainsi que les incendies qui peuvent faire des dégâts importants à cause du couvert inaccessible vu sa densité et le relief très accidenté et surtout durant les années 1990 où même l'insécurité empêche l'intervention pour la lutte contre les incendies.

En parallèle à cette dégradation des surfaces initiales à dominance de frêne dimorphe au cours de la période d'étude, une extension importante des superficies de ces formations au dépend d'autres formations. Citons par exemple : 402 ha au dépend des formations à dominance de cèdre, 311 ha au dépend des formations dominées par le chêne vert, 322 ha au dépend des surfaces occupées par le pin d'Alep qui subit une forte dégradation à causes des incendies. Cette situation est aggravée par sa situation en exposition Sud-Ouest de la zone et à une tranche altitudinal basse proche d'une route très fréquentée. Le frêne dimorphe a gagné 850 ha et 61 ha au dépend, respectivement, des sols nus et des surfaces agricoles, ce qui représente une évolution naturelle importante sur les terrains abandonnés (que ce soit des sols nus ou des terre agricoles) au profit des formations à dominance de frêne dimorphe.

Pour la formation de pin d'Alep : 322 ha de la surface initiale est convertis en formations à dominance de frêne dimorphe, 193 ha en formations à dominance de chêne vert, 134 ha en classes de pelouses, sols nus et zones agricoles par ordre décroissant. En parallèle

de cette dégradation des surfaces initiales de pin d'Alep, on trouve une extension limitée du pin d'Alep de l'ordre de 226 ha au dépend d'autres formations entre 1987 et 2015.

Pour les classes de pelouse et sol nu : on constate une dégradation importante de 289 ha de pelouses en sols totalement nus et une stabilité partielle de surface initiale de sol nu d'une valeur de 2501 ha. Une évolution importante aussi de la végétation naturelle (d'environ 2357 ha) dans les surfaces de sols nus abandonnées, dont 831 ha en pelouses, 492 ha en formations à dominance de chêne vert, 850 ha en formations à dominance de frêne dimorphe et 183 ha vers d'autres classes telles que le pin d'Alep et les surfaces agricoles.

Globalement, sur l'ensemble de la superficie de la zone d'étude, une part de 43% a connu une dégradation de la végétation naturelle, essentiellement les formations à cèdre de l'Atlas et à pin d'Alep. Alors que 32% des superficies des classes étaient stables, surtout les sols nus et quelques superficies à dominance de cèdre. Par contre, 24% des superficies ont connu une dynamique végétale en évolution essentiellement au profit des pelouses, des formations CV-GO et les formations à dominance de frêne dimorphe au dépend des sols nus.

Pour le frêne dimorphe, en prenant en considération son degré de dominance dans les différentes formations végétales, on peut dire que le frêne dimorphe a connu une progression de sa dominance sur une superficie de 2825 ha de la zone d'étude, une stabilité sur 233 ha et une régression sur 30 ha, entre 1987 et 2015.

### **Conclusion**

Dans cette partie, nous avons déterminé la dynamique des formations végétales et surtout les formations à frêne dimorphe dans la cédraie des Ouled Yagoub, à travers une comparaison diachronique de deux images satellitaires Landsat datant de 1987 et 2015, sur la base de la classification supervisée par maximum de vraisemblance. La vérification de la confusion des classifications de ces images a donné les valeurs de coefficient Kappa variant entre 0,87 et 0,89 pour 1987 et 2015 respectivement. Cependant, si les résultats sont acceptables, ils ne doivent pas nous faire perdre de vue les contraintes rencontrées lors de l'analyse des images utilisées. En effet, les erreurs enregistrées pendant l'analyse des images découlent de plusieurs sources dont notamment :

- La confusion dans la discrimination de certaines classes.
- La résolution spatiale des images Landsat qui n'est que de 30 m
- Les signatures spectrales des objets ont été extraites sur une seule image de l'année 2015 et utilisée sur l'image de l'autre année. Même si les images ont toutes été acquises en même mois de l'année, la réponse spectrale des différents couverts végétaux peut varier à cause des conditions climatiques différentes des deux années.

Les résultats que nous avons obtenus montrent une nette dégradation et régression des superficies forestières dans la zone d'étude. Ces processus de dégradation touchent l'ensemble du territoire mais avec une intensité variable selon les régions. En effet, le taux des superficies qui connaît une dynamique végétale de dégradation durant 28 ans est de 43% de la superficie totale.

La détection des changements de l'occupation du sol entre 1987 et 2015 montre que les forêts de cèdre et du pin d'Alep, par opposition aux autres formations végétales, régressent de façon importante (Bentouati, 2006), avec notamment une extension des formations à

dominance de frêne dimorphe, du chêne vert, des espaces de sol nu, des zones agricoles et des pelouses.

La carte des formations végétales de 1987 montre 3085 ha de formations à dominance de cèdre, ce chiffre est proche à l'estimation de la surface de cèdre à Ouled Yagoub de l'inventaire forestier de l'Aurès dans le cadre du Projet Algérie 15 (1970) qui considère 3300 ha de cèdre, mais il ne reste en 2015 que 1354 ha de formations à dominance de cèdre, soit une régression en termes de superficie de 1731 ha. Ce qui traduit l'extension des autres formations végétales, tel que les formations à dominance de frêne dimorphe qui sont l'objectif de cette étude. Les résultats obtenus montrent une extension importante des superficies des formations à dominance de frêne dimorphe de 1493 ha en 1987 à 2072 ha en 2015 soit un gain d'une superficie de 579 ha en 28 ans. La superficie des formations qui ont subi une progression de la dominance du frêne dimorphe est de l'ordre de 2825 ha.

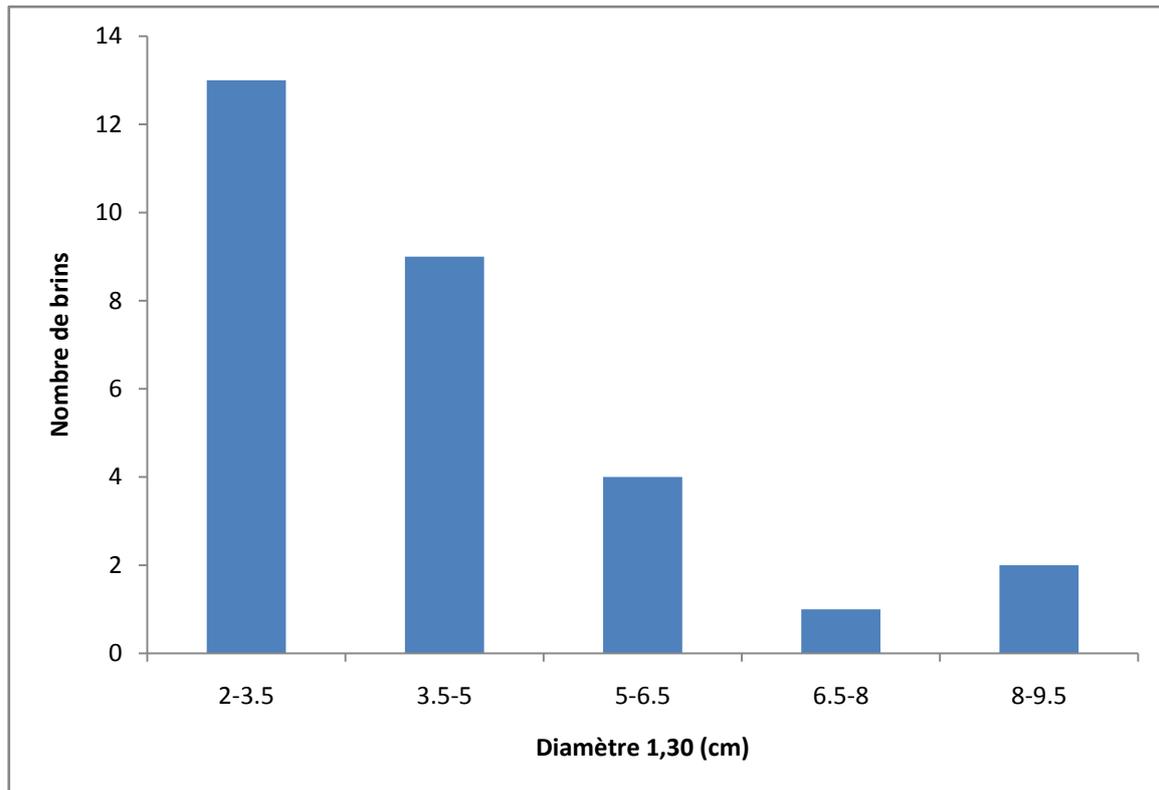
La dégradation des ressources forestières résulte premièrement des effets des perturbations climatiques par une succession d'années sèches étalées sur la décennie 1992-2002 (Bentouati et Bariteau, 2006 ; Rhanem, 2011), ce qui traduit les fortes valeurs de dégradation des formations végétales. Les activités humaines exercées sur des forêts généralement fragiles contribuent à réduire notablement la densité du couvert végétal (Abdessemed, 1981). Toutefois, ce patrimoine forestier est dégradé par diverses pressions climatiques et anthropiques parmi celles-ci : les coupes illicites, les défrichements, les incendies de forêts, le pâturage, l'érosion, la sécheresse, les insectes et les maladies.

## 6.2. Etude de la biomasse du frêne dimorphe

Les résultats que nous exposons dans cette étude de biomasse porteront sur l'estimation de la biomasse individuelle du brin, la biomasse totale et le volume.

### 6.2.1. Caractéristiques des brins échantillonnés

La figure ci-dessous (figure 27) représente la structure (répartition des individus par classes de diamètre) des 30 brins échantillons de frêne dimorphe des 21 placettes.



**Figure 27 :** Structure de l'échantillon brins.

La structure de l'échantillon se caractérise par une grande hétérogénéité des diamètres. En effet il apparaît dans la figure 27 que plus de 70% des brins échantillonnées possèdent des diamètres inférieurs à 5 cm. L'aspect de la structure définit la jeunesse des cépées qui forment le taillis. Cet état s'explique soit par un taillis réellement soit que les brins les plus âgés sont coupés par les riverains pour d'autres fins et qu'ils ne subsistent sur la cépée que des brins encore en pleine croissance.

Les caractéristiques des 30 brins échantillons, issus des 21 placettes d'échantillonnage, sont résumées dans le tableau 6.

Tableau 6 : Paramètres statistiques des variables mesurées des brins

	N Actifs	Moyenne	Minimum	Maximum	Ec.-Type	C.V.
AGE(ans)	30	15,96	8	26	4,4	0,28
D1,30 (cm)	30	4,34	2	9	1,7	0,39
HAUT (m)	30	4,29	2,5	5,7	0,84	0,20
PFB (kg)	30	8,33	1,6	37	9,08	1,09
PSB (kg)	30	5,31	0,96	24,05	5,79	1,09
PFF (kg)	30	2,43	0,3	8	2,11	0,87
PSF (kg)	30	0,97	0,12	3,90	0,88	0,90
PST (kg)	30	6,28	1,1	26,96	6,51	1,036
VOL (dm <sup>3</sup> )	30	4,9	1,41	16,28	3,72	0,76

Les valeurs moyennes mesurées sur les 30 brins échantillonnés montrent une faible hétérogénéité pour la majorité des paramètres calculés exception faites pour les poids frais et sec des brins dont les coefficients de variations dépassent les 100%. Cette grande amplitude au niveau du minimum et du maximum du poids s'explique probablement par une grande variabilité des diamètres des brins qui entrent dans le calcul des poids.

Les valeurs des diamètres des brins échantillons montrent qu'ils sont de faibles diamètres allant de 2 à 9 cm seulement, avec un coefficient de variation de 39%. Celui-ci renseigne sur une certaine hétérogénéité des diamètres. La hauteur des brins échantillons varie entre 2.5 et 5.7 mètres, avec un coefficient de variation de 20%, ce paramètre montre une faible dispersion. L'âge de ces brins est entre 8 et 26 ans avec une moyenne de 16 ans, ce qui montre que ces brins sont très jeunes. Les volumes calculés sont très dispersés puisque le coefficient de variation atteint 76%. Il varie de 1.4 à 16.3 dm<sup>3</sup> avec une moyenne de 4.9 dm<sup>3</sup>.

Signalons enfin que les valeurs du poids sec des brins sont très éloignées les unes des autres, elles oscillent entre 0.96 et 24.05 kg, donc une grande hétérogénéité les caractérisent. Le taux moyen de la matière sèche de ces brins est de 63.08%. Le poids sec des feuilles de l'échantillon est compris entre 0.12 et 3.9 kg avec une moyenne de 0.97 kg, le coefficient de variation est très élevé (90%) indiquant une grande hétérogénéité.

### 6.2.2. Détermination du volume des brins

Nous avons établis une relation entre le volume et le diamètre à travers un tarif de cubage à partir des volumes calculés des brins par la formule de Smalian. L'équation retenue qui traduit le mieux la relation entre le volume et le diamètre est de type allométrique et de forme de puissance. Cette dernière s'écrit :

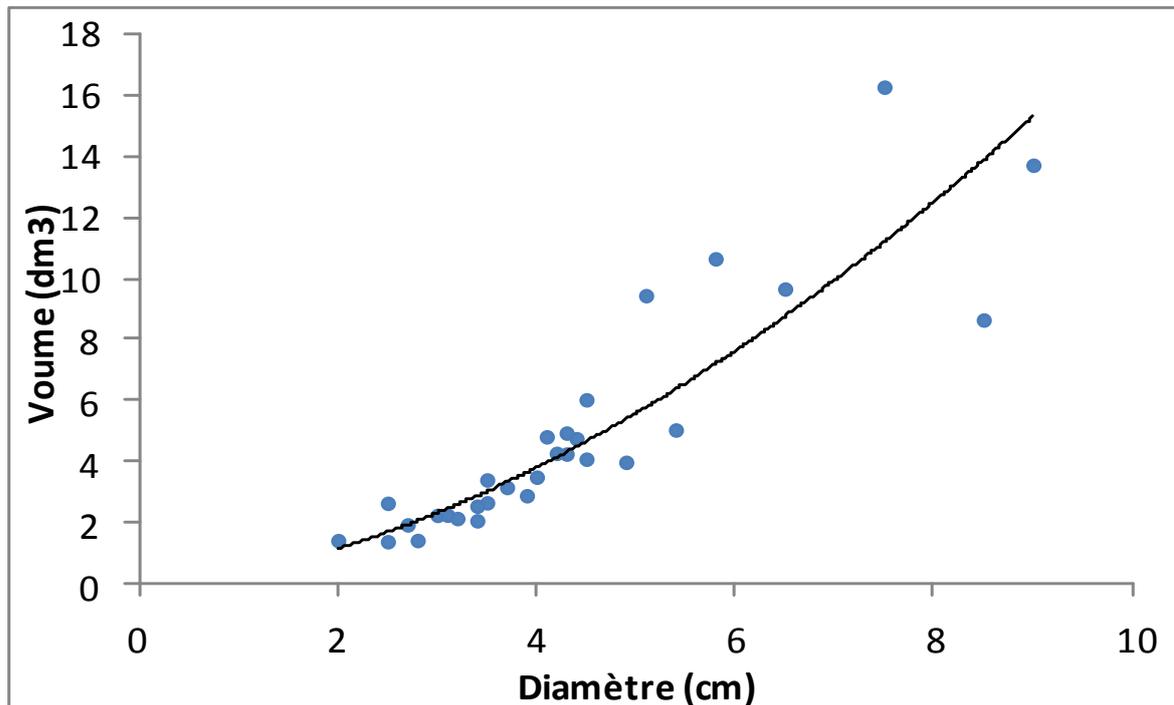
$$V = 0,351 D^{1,716} \quad (R^2 = 0,86).$$

Où :

**V** : Volume estimé ;

**D** : Diamètre à 1,30 m ;

$R^2$ : Coefficient de détermination ;



**Figure 28** : Volume des brins en fonction du diamètre à 1,30m

La figure 28 représente la variation du volume en  $\text{dm}^3$  en fonction du diamètre à 1,30m du sol. La courbe montre une relation de type puissance entre le volume et le diamètre. En effet, le coefficient de détermination obtenu au seuil de 5% est hautement significatif ( $R^2 = 0,86$ ).

### 6.2.3. Estimation de la biomasse

Il existe un grand nombre de modèles exprimant la relation entre le poids et les caractéristiques de l'arbre comme pour les tarifs de cubage. Ces modèles se présentent sous plusieurs formes (Picard et *al.*, 2012).

Le modèle choisi dans cette étude est le modèle allométriques de type :

$$PS = a D^b . \text{Où :}$$

**PS** : Poids sec de l'organe (kg) ;

**D** : Diamètre à 1,30 m du même brin en (cm) ;

**a, b** : Coefficients de régression.

Pour trouver le meilleur modèle, le choix est porté souvent sur celui qui montre le coefficient de détermination ( $R^2$ ) le plus élevé et l'écart type résiduel le plus bas.

#### 6.2.3.1. Tarif biomasse du brin

Selon les critères statistiques évoqués ci-dessus le modèle retenu pour le tarif de biomasse du brin est :

$$PSB = 0,102 D^{2,479} (R^2 = 0,86).$$

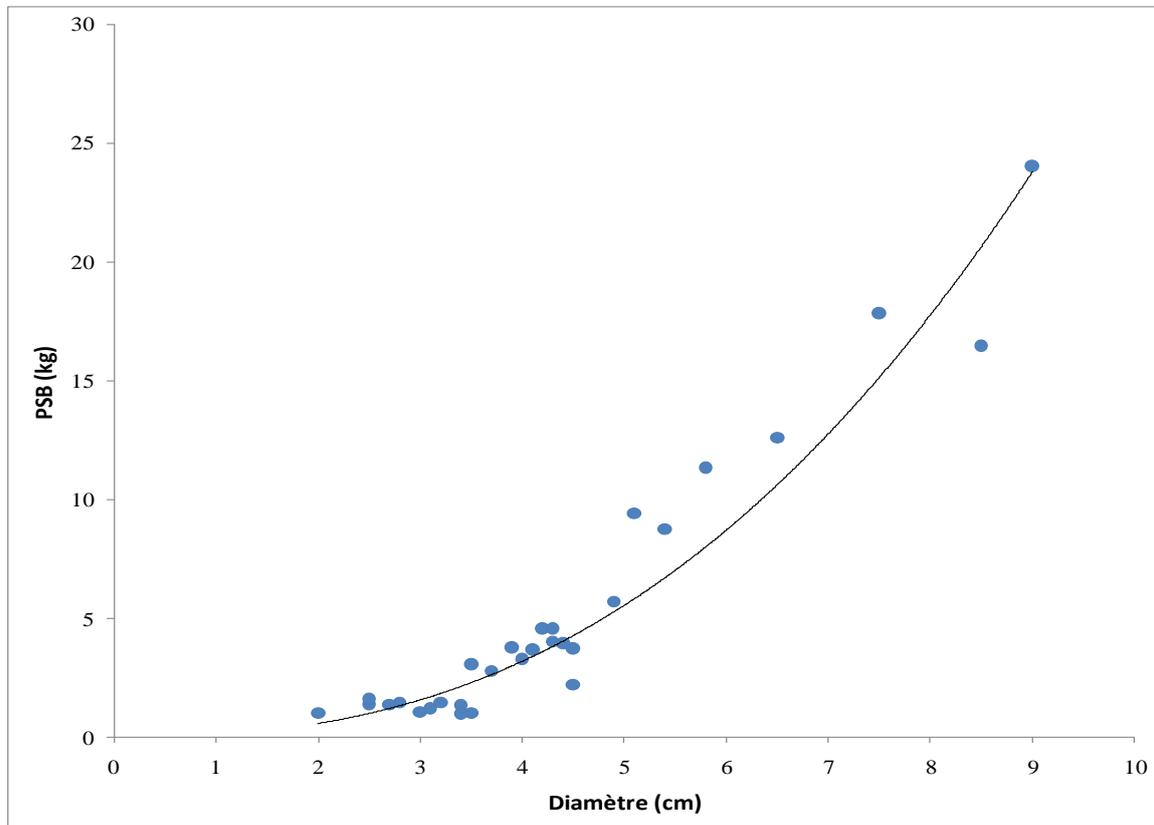
Où :

**PSB** : Poids sec du brin ;

**D** : Le diamètre à 1,30 m (cm);

**R<sup>2</sup>** : Coefficient de détermination.

C'est une équation allométriques, retenue avec le coefficient de détermination le plus élevé et qui s'ajuste mieux au nuage de points.



**Figure 29** : Poids sec des brins en fonction du diamètre à 1,30m

La variation du poids sec des brins en kilogramme en fonction de leurs diamètres (figure 30) affiche une corrélation très significative entre le poids sec du brin et son diamètre à 1,30 m du sol. Cette courbe montre aussi une concentration des points relevés (70%) au niveau des diamètres ne dépassant pas les 5cm. Cet état de fait est dû probablement à l'effet de l'échantillonnage comme nous l'avons déjà évoqué auparavant.

#### 6.2.3.2. Tarif biomasse des feuilles

La biomasse foliaire a été déterminée sur les mêmes brins en fonction du diamètre à 1,30m. L'équation ajustée pour évaluer la masse foliaire est de la forme :

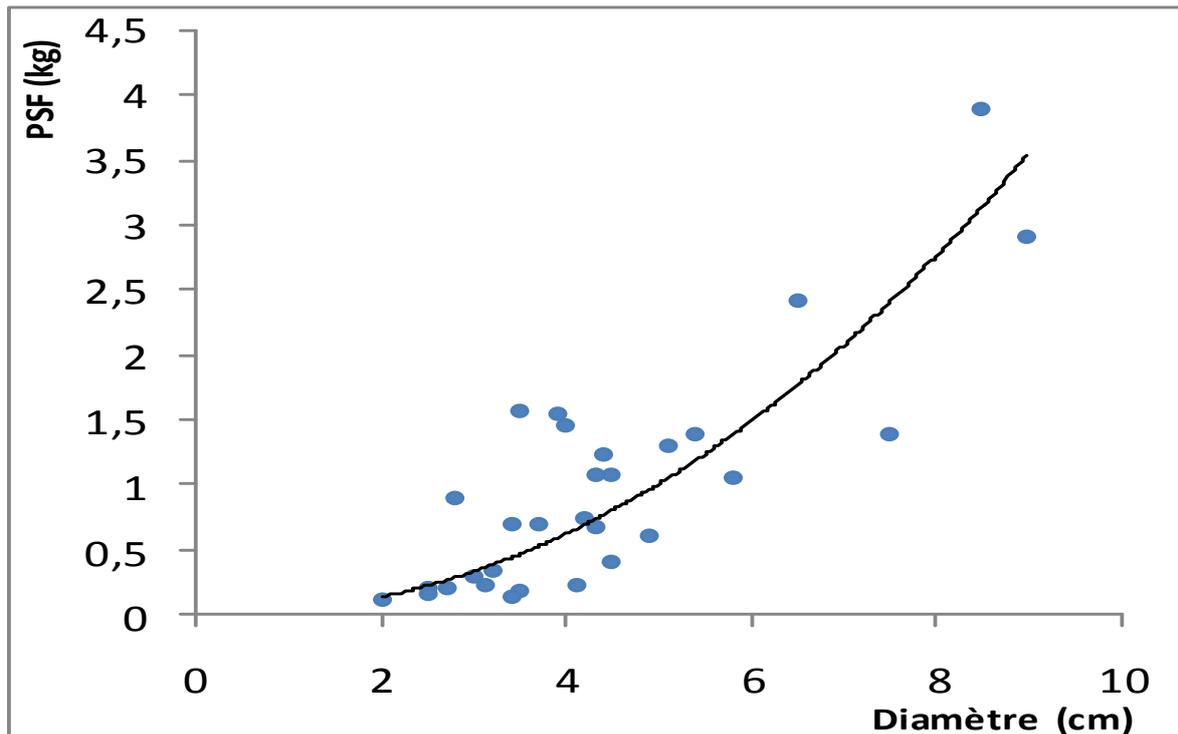
$$\text{PSF} = 0,032 D^{2,129} ; (R^2 = 0,63)$$

Où :

**PSF** : Biomasse sèche des feuilles ;

**D** : Diamètre à 1,30 m ;

**R<sup>2</sup>** : Coefficient de détermination ;



**Figure 30** : Poids sec des feuilles en fonction du diamètre à 1,30m

La figure 30 indique que la relation entre le poids sec des feuilles et les diamètres des brins, est expliquée à 63% par le modèle ajusté. La qualité de ce modèle apparaît faible comparée à celle du modèle expliquant la variation du poids sec des brins en fonction des diamètres. Cette différence pourrait être expliquée par l'emplacement du brin à l'intérieur de la forêt et la densité des brins, ce cas de figure implique le phénomène de concurrence entre les couronnes de ces brins.

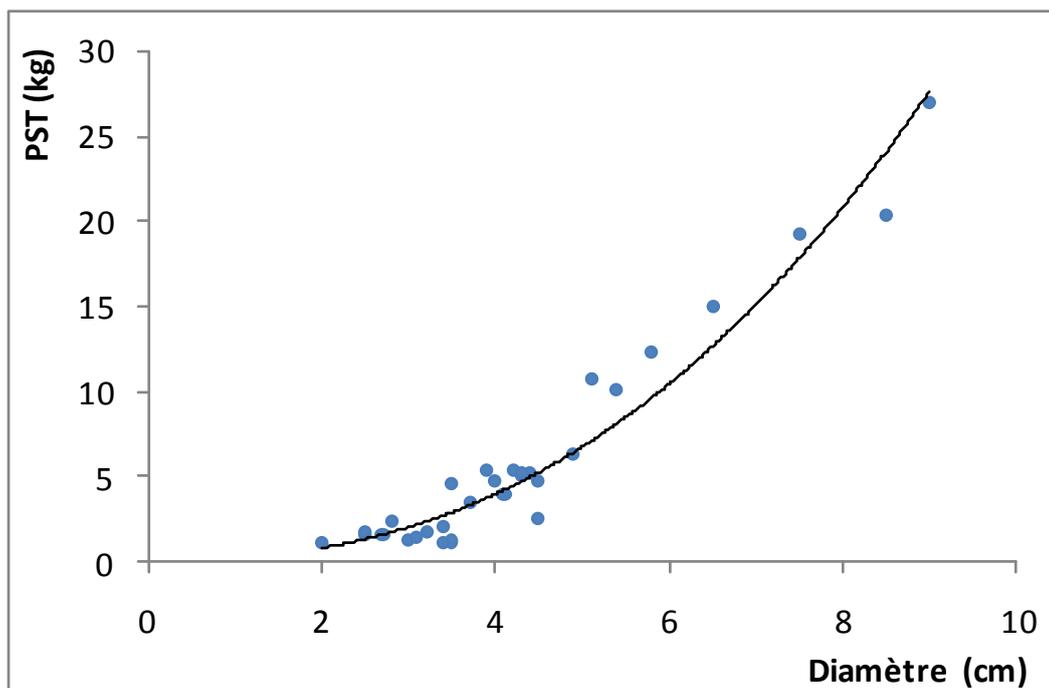
#### 6.2.3.2. Tarif de biomasse totale

La biomasse totale a été déterminée sur les mêmes brins en fonction du diamètre à 1,30m. L'équation ajustée pour évaluer la masse totale est de la forme :

$$PST = 0,138 D^{2,411} \quad (R^2=0,85)$$

Où :

- PST** : Biomasse sèche totale ;
- D** : Diamètre à 1,30 m ;
- R<sup>2</sup>** : Coefficient de détermination ;



**Figure 31** : Poids sec total en fonction du diamètre à 1,30m.

La figure 31 montre une relation très forte entre la biomasse totale des brins du frêne dimorphe et les diamètres à 1.30m. Cette relation est expliquée à 85% par l'équation polynomiale ajustée. Ce taux est très important, donc l'équation choisie peut être considérée valable pour l'estimation de la biomasse totale des brins en fonction des diamètres carrés dans la limite de l'intervalle des diamètres des brins échantillons.

### 6.2.3.3. Relation entre le volume du brin et son poids

De même nous avons aussi établi une relation entre le volume du brin avec son poids, l'équation retenue pour établir cette relation est de forme de puissance. Cette relation évoquée dans plusieurs travaux (Auclair et Bige, 1984 ; Auclair et Maerten, 1986 ; Miglioretti, 1987; Laamouri et al., 2002) montre en effet que le volume du brin peut être estimé avec un léger écart par son propre poids sec. Le coefficient de détermination explique 86 % de variation.

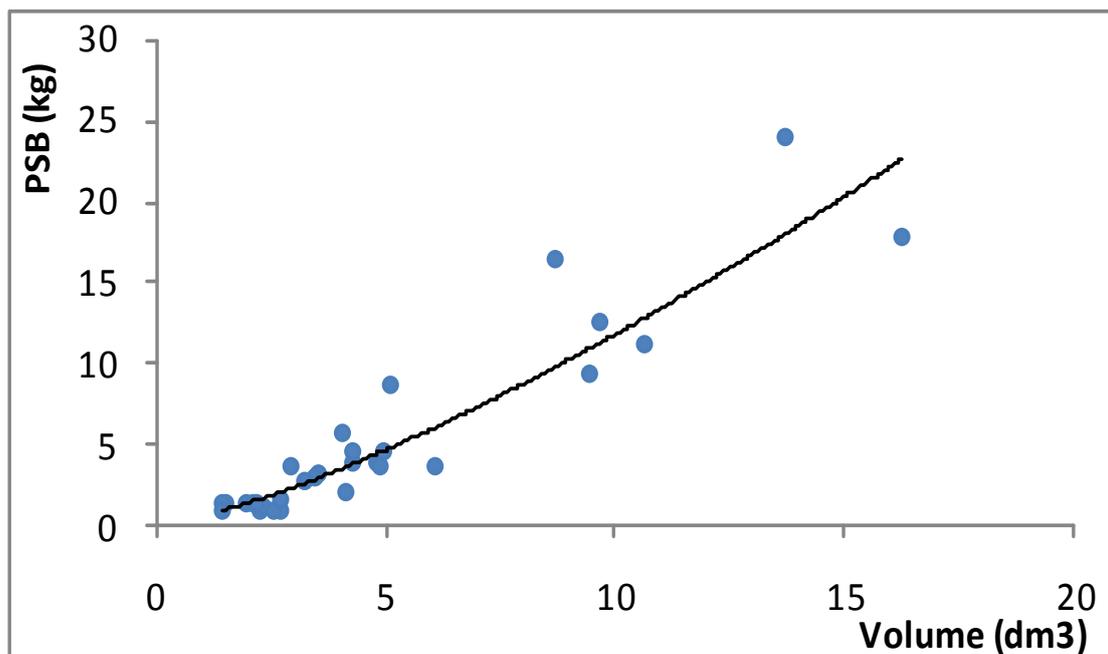
$$PSB = 0,531 V^{1,344} \quad (R^2 = 0,86).$$

Où :

**PSB** : Poids sec du brin en Kg ;

**V** : Volume de brin en  $dm^3$  ;

**R<sup>2</sup>** : Coefficient de détermination ;



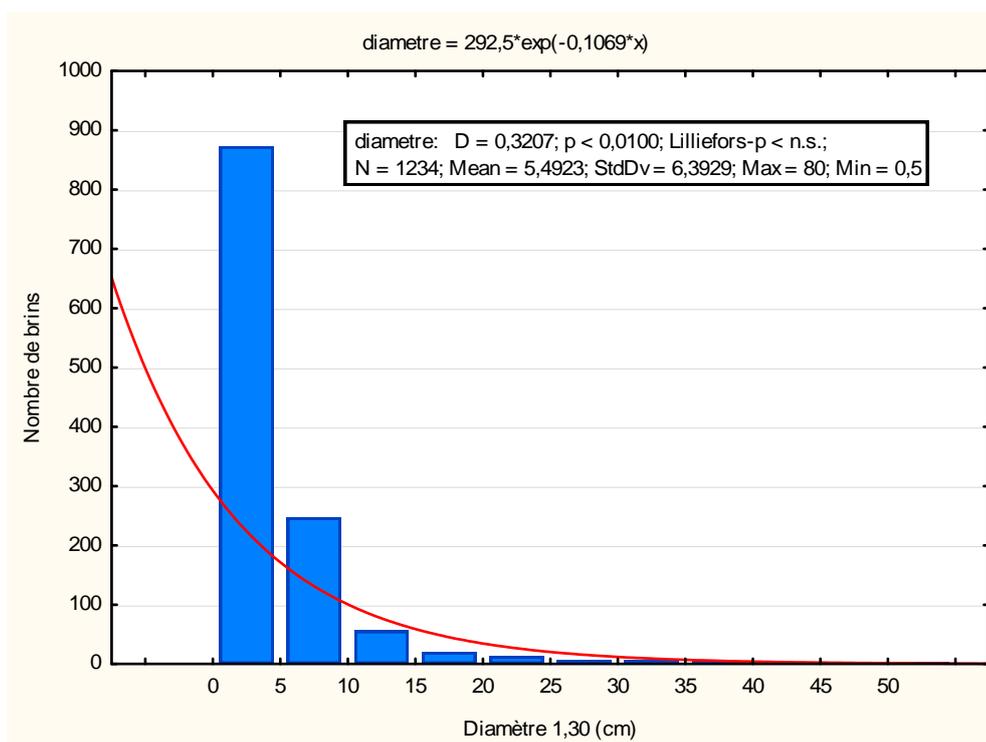
**Figure 32 :** Relation poids sec du brin et volume

Il ressort de la figure 32 que le volume du brin est bien corrélé avec son poids sec. L'équation liant la biomasse et le volume donne un coefficient de détermination significatif ( $R^2 = 0,86$ ). Notons toutefois que même si le domaine de validité de ce tarif est plus large, il apparaît plus efficace autour des dimensions plus faibles des brins.

#### **6.2.4. La biomasse aérienne du peuplement échantillonné**

Les 21 placettes inventoriées font l'objet d'étude de la structure des brins de frêne dimorphe. Il faut mentionner que seuls les brins ayant une hauteur de plus de 1,30 m sont mesurés et pris en compte pour l'estimation de la biomasse. Les brins de taille inférieure à 1.30m ne représentent qu'une partie négligeable de la biomasse totale du frêne en raison du très faible volume que représentent ces petits brins. Le diamètre à 1.30m est mesuré sur un total de 1234 brins répartis sur 21 placettes.

La structure du peuplement synthétise la répartition des brins par classe de diamètre. Cette répartition montre que la majorité des brins de frêne dimorphe dans la cédraie d'Ouled Yagoub ne dépassent pas les 20 cm de diamètre. La figure 33 montre que plus de 90% des brins ont moins de 10 cm de diamètre.



**Figure 33** : Structure des placettes échantillonnées

Sur la base des tarifs de biomasse et de cubage élaborés, les mesures de diamètre de tous les brins échantillonnés du peuplement nous permettent d'estimer le volume, la biomasse des feuilles et des brins ainsi que d'autres paramètres par unité de surface. Le tableau 7 montre les variables mesurées pour le frêne dimorphe dans la cédraie d'Ouled Yagoub.

**Tableau 7** : Description statistique des paramètres mesurés de la zone d'étude

	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type	C.V.
<b>Age (an)</b>	17	9	26	4,46	0,26
<b>Hauteur dominante (m)</b>	4,06	2,46	6,47	1,08	0,26
<b>D 1,30m (cm)</b>	5,17	1,82	12,8	2,37	0,46
<b>Nombre de cépées/placette</b>	7	1	24	6,4	0,9
<b>Nombre Moyen de brins/cépée</b>	7	2	13	2,74	0,39
<b>Nombre de brins/placette</b>	51	5	184	52,84	1,03
<b>Nombre de brins/ha</b>	1280	125	4600	1320,98	1,03
<b>V/ha (m<sup>3</sup>/ha)</b>	16,11	1,49	73,36	15,94	0,99
<b>PSB (kg/ha)</b>	9855,19	18,02	26515,07	7804,01	0,79
<b>PSF (kg/ha)</b>	1627,76	76,75	4657,76	1256,62	0,77
<b>PST (kg/ha)</b>	11630,49	191	31731,77	9129,29	0,78
<b>AMV (m<sup>3</sup>/ha/an)</b>	0,96	0,093	3,334	0,791	0,824

L'échantillonnage révèle que le peuplement est constitué de 149 cépées portant au total 1234 brins. Soit en moyenne 7 cépées par placette et 7 brins par cépée. On constate que la densité moyenne des brins du peuplement de frêne dimorphe est de 1280 brins par hectare, mais elle peut atteindre 125 brins par hectare sur les zones à faible présence de frêne et 4600 brins/ha dans les zones à forte présence de cette essence. La biomasse aérienne moyenne du frêne dimorphe est estimée à 11,6 t/ha, elle peut atteindre 0,19 t/ha pour les zones à faible densité, et 31,7 t/ha dans les zones à forte densité du frêne. La biomasse des brins varie entre 18 et 26515 kg/ha, avec une moyenne de 9,85 t/ha avec une variation importante entre les placettes de 79%. La biomasse foliaire varie entre 76 et 4657 kg/ha, soit une moyenne de 1,62 t/ha, avec un coefficient de variation de 0,77 qui représente une variabilité importante.

L'accroissement moyen en volume du frêne dimorphe varie entre 0,093 et 3,33 m<sup>3</sup>/ha/an, avec une moyenne du peuplement de 0,96 m<sup>3</sup>/ha/an.

Les données bibliographiques évoquant la biomasse des formations arborescentes des milieux semi-arides sont peu nombreuses. Nous avons regroupé dans le Tableau 8 celles concernant des travaux effectués dans des milieux présentant certaines analogies avec la zone étudiée. Nous avons noté les valeurs de biomasse (en t/ha) des espèces étudiées et l'auteur de l'étude.

**Tableau 8:** Comparaison bibliographique de données de biomasse

Espèce / Formation végétale	Biomasse (t/ha)	Source
<i>Juniperus thurifera</i> Oukaïmeden (Maroc)	260	Badri, 1994
<i>Juniperus thurifera</i> Azzaden (Maroc)	49	Montes, 2012
<i>Juniperus phoenicea</i> Île de Naxos (Grèce)	29,5	Tsiourlis, 1992
<i>Juniperus occidentalis</i> Oregon (USA)	20	Cannell, 1982
<i>Argania spinosa</i> Plateau de Haha (Maroc)	52	Benzyane & Khatouri, 1992
<i>Tetraclinis articulata</i> (Maroc)	13,1	Haloui, 1992
<i>Quercus ilex</i> (Maroc)	43,5	Haloui, 1992
<i>Quercus ilex</i> Var (France)	65-101	Miglioretti, 1987
<i>Quercus ilex</i> Moyen Atlas central (Maroc)	20	Makhloufi, 1992
<i>Quercus ilex</i> Forêt Ait Hatem (Maroc)	24,9	Belghazi et al., 2001
<i>Quercus ilex</i> Marcona (Algérie)	2,24	Khater, 2010
<i>Quercus ilex</i> Ouled Yagoub (Algérie)	9,29	Zitouni, 2010
<i>Fraxinus dimorpha</i> Ouled Yagoub (Algérie)	11,6	Présente étude

Les documents consultés ne donnent aucune indication sur la biomasse du frêne, donc une comparaison avec les biomasses d'autres essences du même milieu peut nous montrer l'importance et l'intérêt de la biomasse du frêne dimorphe dans cette zone.

Nous avons voulu comparer les formations contenant le frêne dimorphe avec d'autres formations végétales du bassin méditerranéen. Nous avons consigné les valeurs de biomasse relatives à l'arganier (*Argania spinosa*) au chêne vert (*Quercus ilex*) et au thuya (*Tetraclinis articulata*). Au Maroc, hormis les données relativement éparées de la phytomasse du thuya (mesurées dans un peuplement âgé de seulement 27 ans), on peut remarquer une certaine homogénéité des valeurs entre les formations de thuya, de chêne vert et celles de frêne dimorphe. Les données de biomasse de chêne vert dans la lisière de la pinède d'Ouled

Yagoub étudiée par Zitouni (2010) sont assez proches de celles que nous avons obtenues dans notre site d'étude. Il faut cependant souligner que la cédraie bénéficie de conditions climatiques plus favorables ce qui traduit la biomasse importante de ce frêne par rapport à celle du chêne vert de la zone étudiée.

### **Conclusion**

A partir de l'étude de la biomasse du frêne dimorphe dans la cédraie d'Ouled Yagoub, des modèles sont présentés pour décrire la variation de la biomasse des brins, des feuilles et la biomasse totale en fonction des diamètres. L'échantillon de 30 brins s'est avéré suffisant pour permettre l'estimation de la biomasse du brin individuel. Le diamètre à 1,30m apparaît fortement lié au poids du brin. A partir de cette relation, la biomasse totale est déterminée grâce aux mesures effectuées sur tous les brins de la placette. La production moyenne en biomasse du frêne dimorphe obtenue est de l'ordre de 11,63 tonnes de matière sèche à l'hectare. Par catégorie de composante aérienne, la masse sèche moyenne du bois représente 9,85 tonne/ha, alors que celle des feuilles n'est que de 1,62 tonne/ha.

Comparativement aux résultats obtenus dans des régions méditerranéennes sur l'estimation de la biomasse de quelques essences forestières possédant une forme et une répartition proches de celles du frêne dimorphe, les valeurs que nous avons obtenues pour le frêne dimorphe à Ouled Yagoub restent très faibles. Cette faiblesse dans la production peut être liée, d'une part à la pression de défrichage et de pâturage qui ont largement contribué à sa dégradation. D'autres parts, la concurrence avec d'autres essences forestières telles que le cèdre de l'Atlas, le chêne vert et le genévrier oxycèdre et aussi la concurrence entre les brins des cépées de frêne dimorphe qui rend sa croissance et son développement plus difficile surtout lorsqu'il ne présente pas des hauteurs importantes pour bien profiter de la lumière qui assure un développement et une productivité importante. Ceci expliquerait l'extension du frêne dimorphe après dépérissement du cèdre et sa disparition des bords des Oued et en altitude tout en colonisant, dans certains cas, des versants jusqu'à une altitude importante. Cette extension du frêne dans la cédraie dépérit ne peuvent être expliqués que par l'absence ou bien la diminution de la concurrence avec le cèdre lui conférant des espaces et favorisant ainsi son développement.

En outre, l'accroissement moyen en volume est relativement faible ; de l'ordre de  $0,96\text{m}^3/\text{ha}/\text{an}$ . L'accroissement en biomasse est faible ( $0,65\text{ t}/\text{ha}/\text{an}$ ). Cette valeur est plus importante que celle signalée par Zitouni (2010) pour le chêne vert à la lisière de la pinède de Ouled Yagoub où l'accroissement moyen en biomasse est de  $0,31\text{ t}/\text{ha}/\text{an}$ , très proche à celle signalée par Belghazi *et al.* (2001) au Maroc pour le chêne vert où les accroissements en biomasse varient de  $0,63\text{ t}/\text{ha}/\text{an}$  à  $1,02\text{ t}/\text{ha}/\text{an}$ . Cet accroissement important indique une production future plus importante de cette essence dans ce milieu de cédraie dégradée.

## RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

La dynamique régressive des formations forestières des Ouled Yagoub montre une tendance croissante ces dernières années, pour plusieurs causes qu'on doit faire face pour arrêter la dégradation de ce milieu naturelle, les études antérieurs sur la région (Abdessemed, 1984 ; BNEDER, 2010 ; Bentouati, 2008 ; Beghami, 2013 ; Zitouni, 2010) montrent les principaux facteurs qui sont :

L'homme qui par son action directe (coupes) ou indirecte (parcours) a contribué à la régression des formations végétales en général.

Le feu a toujours constitué un moyen de choix pour le défrichage ou pour l'extension des pâturages au détriment de la végétation sylvatique.

Le parcours est l'un des facteurs dont les effets sont apparemment peu spectaculaires par rapport aux coupes et aux incendies mais dont les conséquences ne sont pas moins redoutables.

Les délits de subsistance : Ils sont le fait d'une population de plus en plus nombreuse, comme elle vit en montagne, autour des forêts, c'est en forêts qu'elle prélève ce qui lui manque en matériaux, en menus profits et surtout pour l'entretien de son bétail, élément essentiel de sa subsistance. Ce type de délits est axé essentiellement sur le bois de chauffage et accessoirement sur le bois d'œuvre (coupes de perches pour la construction)

Les délits à fins commerciales sont les délits les plus redoutables. Ils sont le fait de certains trafiquants (en général étrangers à la forêt) qui, bénéficiant parfois de la complicité de riverains, opérant dans la majorité des massifs grâce à des moyens de transport rapides.

Contrairement au charbon, le bois d'œuvre connaît actuellement une demande énorme et ce sont les cédraies qui en souffrent le plus : particulièrement celles des Ouled -Yacoub, le bois du Cèdre rare sur le marché est fort recherché pour l'ébénisterie.

Pour mettre fin aux processus de dégradation intense dont les formations forestières sont l'objet, il faut prendre certaines mesures. Ces dernières doivent viser à la restauration de la forêt en la rendant plus efficace moins onéreuse, et à la reconversion de l'actuelle économie de subsistance des populations.

La création d'une réserve naturelle ou d'un parc national, permettra la protection de la cédraie la mieux conservée de la région qui, bénéficiant de conditions climatiques très favorables présente une richesse floristique remarquable. Sa protection permettra également d'étudier le dynamisme de ces formations et de sauvegarder les peuplements les plus importants du Pays de *Juniperus communis*, de *Taxus baccata*, l'unique peuplement de la région de *Prunus avium* et les seules stations d'*Arabis turrita*.

L'amélioration des conditions de vie des populations riveraine semble être très important pour freiner ou diminuer la pression anthropique sur les ressources forestières, pour cela plusieurs actions peuvent être bénéfiques, tel que :

La construction de petites retenues collinaires est indispensable pour l'irrigation d'un hectare ou deux.

Dans les zones favorables à la céréaliculture, un assolement convenable l'utilisation des semences sélectionnées, des engrais minéraux et d'herbicides contribueraient à élever la production.

L'arboriculture doit respecter les normes techniques de choix de meilleures variétés pour la zone, de densité, de fertilisation et d'utilisation des produits phytosanitaires. On peut valoriser certaines zones favorables, où l'eau manque, par la culture de l'olivier ou du pistachier vrai qui peut être greffé sur le pistachier de l'Atlas.

Le maraichage pourrait être développé intensifié avec la mobilisation des eaux, et l'utilisation des serres des mini serres et les techniques de mulching soit en plastique, paille, pierres, cartons ou autres produits organiques ou inorganiques, de tunnels de forçage, de couvertures flottantes ...etc, qui améliorent nettement la production, ce qui pourrait être une source de revenu très importante pour les riverains,

Pour contrôler l'élevage, on recommande de réduire progressivement le nombre de têtes, améliorer la conduite des troupeaux, intensifier rapidement les cultures fourragères pour arriver à faire du parcours forestier, actuellement source principale d'unités fourragères, un simple complément accessoire des cultures fourragères. Parallèlement à cette action, il conviendra de développer d'autres spéculations susceptibles d'améliorer le revenu des populations. L'apiculture, par exemple, pourrait procurer autant de revenu que l'élevage traditionnel sinon plus, de même que l'aviculture.

L'utilisation des arbres fourragères donne une importante source de fourrage et assure le développement de l'élevage contrôlé afin d'éviter le surpâturage en forêts. En plus de l'Atriplex (*halimus*, *glaica*, *nummilaria*) et la luzerne arborescente (*Medicago arborea*) qui doivent être plantés sur des surfaces assez grandes pour s'intégrer dans un plan pastoral, la plantation d'arbres fourragers doit se limiter à des bosquets autour des fermes et des maisons, comme brise-vent ou limite de champs. Pour cela Abdessemed (1980) a proposé l'utilisation du frêne dimorphe et d'autres espèces tel que : *Rhamnus alpina*, *Lonicera arborea*, *Acer monspessulanus*, *Celtis australis*, *Fraxinus excelsior*, *Morus alba*, *Gleditchia triacanthos*, *Pistacia atlantica*, *Prosopis juliflora*.

Le frêne dimorphe offre une source naturelle importante de fourrage, avec une valeur énergétique (0,75-086 UFL/Kg MS) beaucoup plus importante que celle du chêne vert (0,29-061 UFL/Kg MS) (Bourbouze, 1980), ce qui nous encourage à favoriser ses plantations pour le développement de l'activité pastorale dans la région, pour améliorer les conditions de vie des populations riveraines, et protéger les formations forestières des montagnes contre la surexploitation et le surpâturage.

Pour atteindre cet objectif on propose de lancer des études préliminaires pour la sélection des meilleures provenances à travers une étude comparative de la biomasse foliaire des différentes provenances. Ainsi que des études sur les meilleurs techniques de multiplication, de régénération, d'entretien et de conduite sylvicole qui donnent la meilleure production en biomasse surtout foliaire de cette essence fourragère.

En plus des techniques culturales, et de la production de biomasse foliaire, des études doivent être faites sur les bienfaits thérapeutiques des différents compartiments de l'espèce, ainsi que d'étudier l'importance nutritionnelle de l'utilisation de ses samares comme condiment. En plus, l'étude des caractéristiques chimiques et mécaniques de son bois peut montrer l'importance et les meilleurs utilisations possibles son bois.

## **CONCLUSION GENERALE**

A travers cette modeste contribution à l'étude de la dynamique spatiale et de la biomasse aérienne du frêne dimorphe dans la cédraie des Ouled Yagoub, on peut ressortir les conclusions suivantes :

Dans la partie d'étude de la dynamique des formations végétales et surtout les formations à frêne dimorphe dans la cédraie des Ouled Yagoub, à travers une comparaison diachronique de deux images satellites Landsat datant de 1987 et 2015 sur la base de la classification supervisée par maximum de vraisemblance. Les résultats que nous avons obtenus montrent une nette dégradation et régression des superficies forestières dans la zone d'étude. Ces processus de dégradation touchent l'ensemble du territoire mais avec une intensité variable selon les régions. En effet, le taux de dégradation de la végétation durant 28 ans avoisine les 43% de la superficie totale. La détection des changements de l'occupation du sol entre 1987 et 2015 montre que les forêts de cèdre et du pin d'Alep, par opposition aux autres formations végétales, régressent de façon importante. Avec notamment une extension des formations à dominance de frêne dimorphe et du chêne vert, des espaces de sol nu, des zones agricoles et des pelouses.

La carte des formations végétales de 1987 montre 3085 ha de formations à dominance de cèdre, mais il ne reste en 2015 que 1354 ha de formations à dominance de cèdre, soit une régression de superficie de 1731 ha. Ce qui traduit l'extension des autres formations végétales, tel que les formations à dominance de frêne dimorphe qui sont l'objectif de cette étude. L'extension des superficies des formations à dominance de frêne dimorphe était de 1493 ha en 1987 à 2072 ha en 2015 soit un gain d'une superficie de 579 ha en 28 ans. Ainsi que la superficie des formations qui ont subi à une progression de la dominance du frêne dimorphe est de l'ordre de 2825 ha.

A partir de l'étude de la biomasse du frêne dimorphe dans la cédraie de Ouled Yagoub, des modèles sont présentés pour décrire la variation de la biomasse des brins, des feuilles et la biomasse totale en fonction des diamètres, L'échantillon de 30 brins s'est avéré suffisant pour permettre d'estimer la biomasse du brin individuel, le diamètre à 1,30m possède une très forte liaison avec le poids du brin, à partir de cette relation la biomasse totale est déterminée grâce aux mesures effectuées sur tous les brins de la placette, la production moyenne en biomasse du frêne dimorphe obtenue est de l'ordre de 11,63 tonnes de matière sèche à l'hectare, dont la masse sèche moyenne du bois représente 9,85 tonne/ha, alors que celle des feuilles n'est que de 1,62 tonne/ha. Comparativement aux résultats obtenus dans des régions méditerranéennes, sur l'estimation de la biomasse de quelques essences forestières qui ont une forme et une répartition proche de celles du frêne dimorphe, les valeurs que nous avons obtenues pour le frêne dimorphe à Ouled Yagoub restent très faibles. Cette faiblesse dans la production peut être liée, d'une part à la pression de défrichement et de pâturage qui ont largement contribué à sa dégradation. D'autres parts, la concurrence inter-spécifique avec

d'autres essences forestières telles que le cèdre de l'Atlas, le chêne vert et le genévrier oxycèdre, et aussi la concurrence intra-spécifique entre les cépées de frêne dimorphe et même entre les brins de la même cépée qui représentent un nombre important (jusqu'à 13 brins/cépée) en matière d'eau et d'éléments nutritifs du sol, influe négativement la croissance des brins, et donc la production en biomasse. En plus de ça, les faibles hauteurs des brins (maximum 6,5m), en présence des arbres de cèdre et de chêne vert plus hauts, influent aussi négativement l'ensoleillement et donc l'activité photosynthétique des feuilles, ce qui résulte une faible production du taillis de frêne.

Le dépérissement du cède a donnée des conditions plus favorables à la croissance et la multiplication du frêne dimorphe, à cause de l'absence de sa concurrence en matière d'eau, d'éléments minéraux du sol et de lumière, ce qui explique l'extension rapide de la répartition du frêne dimorphe qui était sur les bords des Oued et devient plus abondant dans l'aire de cèdre des fois même sur des altitudes importantes. Donc, l'extension du frêne dans la cédraie dépérie peut être expliquée par l'absence ou bien la diminution de la concurrence avec le cèdre, ce qui rend la croissance et la multiplication de cette essence très faciles et favorise son occupation rapide de l'espace.

De même, l'accroissement moyen en volume est relativement faible de  $0,96\text{m}^3/\text{ha}/\text{an}$ , L'accroissement en biomasse est faible et de l'ordre de  $0,65\text{ t}/\text{ha}/\text{an}$ , Cette valeur est plus importante que celle signalé par Zitouni (2010) pour le chêne vert à la lisière de la pinède de Ouled Yagoub où l'accroissement moyenne en biomasse est de  $0,31\text{ t}/\text{ha}/\text{an}$ , et très proche à celle signalé par Belghazi *et al*, (2001) au Maroc pour le chêne vert où les accroissements en biomasse varient de  $0,63\text{ t}/\text{ha}/\text{an}$  à  $1,02\text{ t}/\text{ha}/\text{an}$ , Cet accroissement important indique une production future plus importante de cette essence dans ce milieu de cédraie dégradée.

**Références bibliographiques :**

1. Abdessemed K., 1981 : Le Cèdre de l'Atlas dans les massifs de l'Aurès et du Belezma - Étude phytosociologique et problèmes de conservation et d'aménagement. Thèse. Doct. Fac. S.t. Jérôme. Marseille. 202 p.
2. Abdessemed K., 1984 : Les Relations Climat-Végétation dans le Sud Constantinois. *Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques*, 131:2-4, 145-155
3. Abdessemed S., 2009 : Comportement des semis du Cèdre de l'Atlas en conditions de stress thermique. Mém. Mag. Univ. de Constantine. 140p.
4. Achard, F. 1989. Étude des rythmes saisonniers de la végétation en Afrique de l'Ouest par télédétection spatiale. Thèse de doctorat, Université Paul-Sabatier, Toulouse, 243 p.
5. Achard, F. and Blasco, F. 1990. Analysis of vegetation seasonal evolution and mapping of forest cover in West Africa with the use of NOAA AVHRR HRPT data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 56, n° 10, p. 1359-1365.
6. Amat J. P. et Hotyat M., 1985 : Paysage forestier et télédétection. *Revue Géographique de l'Est*. Tome 25, N°4, année 1985. Du paysage aux paysages. pp. 379-389.
7. Araujo, T. M., Higuchi, N. et Junior, J. A. D. 1999 : Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Para, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 117(1-3), 43\_52.
8. Auclair D. et Bige M.C., 1984 : Une méthode d'évaluation régionale de la biomasse des taillis à partir des données de l'Inventaire forestier national. Application à la région Centre. *Annales des sciences forestières*, 41 (4), pp.405-426.
9. Auclair D. et Maerten E., 1986 : Une méthode d'évaluation de la biomasse des arbres de haie. *Annales des sciences forestières*, 43 (1), pp.57-66.
10. Austin M. P. et Smith T.M., 1989 : A new model for the continuum concept. *Vegetatio* 83:35-47.
11. B.N.E.D.E.R., 2008 : Rapport sur la caractérisation des formations forestières de la Wilaya de Khenchela. 25p.
12. B.N.E.D.E.R., 2010a : Etude de classement de la cédraie de Beni Oudjana et d'Ouled Yagoub en parc national. Phase II : analyse de l'état des lieux. 230p.
13. B.N.E.D.E.R., 2010b : Etude et expertise sur le dépérissement de la cédraie d'Ouled Yagoub et Chelia wilaya de Khenchela. phase II: Identification et localisation des foyers de dépérissement. 16p.
14. Baltaxe, B. 1980. The application of Landsat data to tropical forest surveys. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 120 p.
15. Barbero M., 1981 : Les fruticées de la zone bioclimatique méditerranéenne à chêne pubescent : structure, dynamique, zonage, utilisation et protection, *Biomasse. Forêt méditerranéenne*, T.3, n° 2, pp 101-104.
16. Barbero M., Quézel P. et Loisel R., 1990 : Les apports de la phytoécologie dans l'interprétation des changements et perturbations induits par l'homme sur les écosystèmes forestiers méditerranéens. *Forêt méditerranéenne*, 12 : 194-215
17. Bariteau M., Alptekin C.U. et Brahic P., 1994 : La faculté germinative des organes de cèdre (*Cedrus atlantica* M.) : influence des traitements densimétriques à l'alcool, du desailage et de la stratification. *Ann. Rech. For. Maroc*, Vol. 2 : 500 – 509.

18. Battandier, J. A. et Trabut L. C., 1895 : Flore de l'Algérie. Monocotylédones. Paris: J.-B. Bailliere.vol.2 p.582. 825p.
19. Baudrillart J. J., 1825 : Traité général des eaux et forêts, chasses et pêches: composé d'un recueil chronologique des règlements forestiers, d'un dictionnaire des eaux et forêts, et d'un dictionnaire des chasses et pêches; avec un atlas contenant un grand nombre de tableaux et de figures, Seconde partie Dictionnaire général raisonné et historique des eaux et forêts, Tome 2. Ed. Huzard. 1006p.
20. Beghami R., 2010 : Contribution à l'étude des insectes associés au dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) dans la région des Aurès : cas de la cédraie de Chelia. Mém. Mag. Univ. de Batna.132p.
21. Beghami Y., 2013 : Ecologie et dynamique de la végétation de l'Aurès : analyse spatio-temporelle et étude de la flore forestière et montagnarde. Thèse de Doctort. Université Mohamed Khidhar. Biskra. 193p.
22. Belghazi B., Ezzahiri M., Aoid S. et Tobi M., 2001 : Estimation de la biomasse du chêne vert dans le massif forestier d'Ait Hatem (Oulmes).*Ann. Rech. For. Maroc*. T(34), pp.9-16.
23. Bellakhdar J., 1997 : La pharmacopée marocaine traditionnelle : médecine arabe ancienne et savoirs populaire. Ed. Ibis Press; Paris (France). 759 p.
24. Beloula S., 2010 : Etude sur le dépérissement du Cèdre de l'Atlas dans le Parc National de Belezma (Wilaya de BATNA) Apport de la télédétection et SIG. Mém. Mag. Univ. de Batna. 60p.
25. Benabid A., 1994 : biogéographie phytosociologie et phytodynamique des cédraies de l'Atlas *Cedrus atlantica* (Manetti). *Ann. Rech. For. Maroc*, T (27) : 61-76.
26. Bencherif K. et Latreuch Belarouci N., 2006 : Cartographie physionomique de la végétation forestière par teledetection satelliaire optique de moyenne résolution spatiale pour la en zones semi arides (Ouest Algerien). *Bulletin des sciences géographiques*. N°18. Pp : 38-50.
27. Benhouhou S., De Bélair G., Gharzouli R., Véla E. et Yahi N., 2010 : Proposition de zones importantes pour les plantes en Algérie. *UICN Méditerranée, Malaga*, 21 p.
28. Benmessaoud H., 2008 : Etude de la vulnérabilité à la désertification par des méthodes quantitatives numériques dans le massif des Aurès (Algérie). Thè. Doc. Univ. de Batna. 220p.
29. Bentouati A et Bariteau M. 2006. Réflexions sur le dépérissement du Cèdre de l'Atlas des Aurès (Algérie). *Forêt méditerranéenne t. XXVII, n° 4*, 317- 322
30. Bentouati A., 2008 : La situation du cèdre de l'Atlas dans les Aurès (Algérie). *Rev. Forêt méditerranéenne*. T. XXIX. n° 2 : 203-208.
31. Bentouti A. et Bariteau M., 2006 : Réflexions sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas des Aurès (Algérie). *Forêt Méditerranéenne*, Tome XXVII (4) : 317-322.
32. Blasco, F. 1990. Guidelines on use of Landsat and SPOT for land use and forest change. Provisionnai version, F.A.O., Rome, 63 p.
33. Bombelli A., Avitabile V., Balzter H., Marchesini L. B., Bernoux M., Brady M., Hall R., Hansen M., Matieu H., Martin H., Janetos A., Law B. E., Manlay R., Marklund L. G., Olsson H., Pandey D., Saket M., Schnullius C., Sessa R., Shimabukuro Y. E., Valentini R., & Wulder M., 2009 : Biomass : assessment report on available methodological standards and guides, GTOS-67. FAO. 18p.

34. Borfecchia F., De Cecco L., Dibari C., Iannetta M., Martini S., Pedrotti F. et Schino G., 2003 : Carta della vegetazione reale della “Riserva naturale di Torricchio” ottenuta mediante elaborazione di immagini satellitari multispettrali. *La Riserva Naturale di Torricchio* 11(4):359–369.
35. Boudy P., 1950 : *Economie Forestière Nord-Africaine*. Tome deuxième; Monographies et traitements des essences forestières, fascicule II. Editions Larose; Paris (Ve). 878 p.
36. Boudy P., 1952 : *Guide du forestier en Afrique du Nord*. Ed. La Maison Rustique. 505p.
37. Bouras L., 1990 – Contribution à la quantification et à la caractérisation des litières du cèdre (*Cedrus atlantica* M) et du chêne vert (*Quercus ilex* L) dans le parc national de Belezma (Aurès). *Mem. Ing. For. Univ. Batna*. 55p.
38. Bourbouze A., 1980 : Utilisation d'un parcours forestier pâturé par des caprins. *Fourrages*, 82: 121-144
39. Briki A.; 2004 : L'Agonie du cèdre de L'Atlas des Aurès (Algérie) succombant a ces blessures. Document de la Conservation des forêts de Batna. 40p.
40. Brown S., Gillespie, A.J.R., et Lugo, A.E., 1989 : Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forestry inventory data. *Forest Science*, 35, 881\_902.
41. Carrière R., 1865 : *Fraxinus dimorpha* dumosa. *Rev. Hort.* (Paris), 1865: 325
42. Chevalier A., 1927 : Les Frênes comme plantes fourragères dans l'Afrique du Nord. *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale*, 71 : 467-471
43. CIRAD - IEMVT 1987. La végétation et les potentialités pastorales de la République de Djibouti. Maisons-Alfort, 1:250 000.
44. Cosson, E. & Durieu M. C., 1855 : Notes sur quelques espèces nouvelles d'Algérie. *Bull. Soc. Bot. France*. 2: [367]
45. Courbet F., Lagacherie M., Marty P., Ladier J., Ripert C., Riou-Nivert P., Huard F., Amandier L. et Paillassa É., 2012 : Le cèdre en France face au changement climatique : bilan et recommandations. RMT AFORCE. 29p.
46. De Vilmorin G.B., 2003 : *Histoires d'arbres*. Ed. Jean-paul Gisserot. Paris, 280p.
47. De Wispelaere, G., Peyre De Fabregues, B. et Gachet, R. 1988. Évaluation de la biomasse herbacée en zone sahélienne dans la région du sud Tamesna (Niger) : «Perspectives et limites d'utilisation des données SPOT». SPOT 1 : Utilisation des images, bilan, résultats, Centre national d'études spatiales, Cepadues Éditions, Toulouse, p. 139-151.
48. Dobignard A. et Chatelain C., —2010-2013— Index synonymique flore d'Afrique du Nord. Conservatoire et jardin Botaniques, ville de Genève, vols. 1-5.
49. Dorvil W., 2010 : Evaluation de la biomasse et des stocks de carbone sur des placettes forestières en forets tropicales humides de Guadeloupe. Mémoire de Master. Université des Antilles et de La Guyane. 44p.
50. Ducrey M, 1994 : Adaptation du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) au climat méditerranéen. Aspect écophysiological de sa réaction à la sécheresse. *Ann. Rech. For. Maroc*. T27 (spécial) : 139-153.
51. Eggleston S., 2006 : IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Vol. 4. AFOLU (Agriculture, Forestry and Other Land Use), Kanagawa, Japan : Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Monograph Wageningen UR Library.
52. Emberger L., 1938 : Contribution à la connaissance des cédraies et en particulier du Deodora et du cèdre de l'Atlas. *Rev. Bot. Appl et Agri* N°198. 192p.

53. Emberger L., 1938 : Les Arbres du Maroc et comment les reconnaître. Paris : Larose. 318p.
54. Ezzahiri M. et Belghazi B., 2000 : Synthèse de quelques résultats sur la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas au Moyen - Atlas (Maroc). *Science et changement planétaires/sécheresse*. Volume 11, Numéro 2 : 79-84.
55. Ezzahiri M. et Belghazi B., 2002 : Biomasse foliaire du chêne vert (*Quercus rotundifolia* Lam.) en tant que ressource fourragère : exemple des chênaies du Moyen-Atlas, du plateau central et du Maroc oriental. *Sécheresse*. 13 (3), pp : 181-189.
56. F.A.O.1980. Global environment monitoring system, pilot project on tropical forest cover monitoring. Benin-Cameroon-Togo, project implementation : methodology, results, conclusion. Rome, 99 p.
57. F.A.O. 1989. Classification and mapping of vegetation types in tropical Asia. Rome, 169 p.
58. F.A.O. 1991. Procedure for interpretation and compilation of high resolution satellite data for assessment of forest cover state and change. Rome, 33 p.
59. Fabre J. P. Mouna M. Merlep et Benhalima S., 1999 : Le point sur certains ravageurs du cèdre de l'atlas en Afrique du nord, en France et en Europe. *Forêt méditerranéenne*. T. XX, n °4 : 203-218.
60. Farrar J. L., 1996 : Les arbres du Canada. Les Editions Fides. 502p.
61. Fennane M. et Ibn Tattou M., 2007 : Flore pratique du Maroc, Manuel de détermination des plantes vasculaire. Volume 2; Angiosperme (Leguminosae – Lentibulariaceae). Institut scientifique, Université Mohamed V – Agdal, Rabat. 635p.
62. Fennane M., Ibn Tattou M., Ouyahya A. & El Oualidi J. —2007— Flore Pratique du Maroc, volume 2. Manuel de détermination des plantes vasculaires — Trav. Inst. Sci. Ser. Bot. 38, 648 pp.
63. Gachi M., Khemici M. et Zamoum M., 1986 : Note sur la présence en Algérie de la processionnaire du cèdre *Thaumetopoea bonjeani* POWEL. (*Lepidoptera, Thaumetopoeidae*) *Ann. Rech. Forest. En Algérie*. n°1 : 53-63.
64. Gaussen, H. 1957. Les cartes de végétation. Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Toulouse, tome I, fascicule 2, Institut français de Pondichéry, p. 51-76.
65. Gehring C., Park S. et Denich M., 2004 : Liana allometric biomass equations for Amazonian primary and secondary forest. *Forest Ecology and Management*, 195(1), 69\_83.
66. Girard, M. C. et Girard C. M. 1989. Télédétection appliquée, zones tempérées et intertropicales. Collection Sciences agronomiques, Editions Masson, Paris, 260 p.
67. Goward, S. N., Dye, D., Kerber, A. and Kalb V., 1987 : Comparison of north and south American biomes from AVHRR observation. *Geocarto International*, vol. 1, p. 27-39.
68. Guibal F., 1984 : Contribution dendroclimatologique à la connaissance de la croissance du Cèdre de l'Atlas dans les reboisements du Sud-Est de la France. Th. Doc. 3<sup>ème</sup> cycle. Univ. d'Aix- Marseille. 123 p.
69. Hadji O., 1991 : Contribution à l'étude de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M) dans la forêt domaniale de Belezma W (Batna). *Mem. Ing. Agr. I.N.A. El-Harrach*. 81p.
70. Hainry D. et Colombet M., 2009 : Bilan des introductions et perspectives d'utilisation du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) en Bretagne. *Forêt privé*. Bretagne. 10p.

71. Harfouche A. et Nedjahi A., 2003 : Prospections écologiques et sylvicoles dans les cédraies du Bélézma et de l'Aurès à la recherche de peuplements semenciers et d'arbres plus. *Rev. For. Fr.* LV 2 : 113-122.
72. Herincq F., Lavallée A., Neumann L., Verlot B., Gérard C. et Pavard A., 1872 : Le nouveau jardinier illustré. Edit. Paris Donnaud. 1786p.
73. Hinsinger D., 2010 : Diversité et évolution du genre *Fraxinus*. Thèse de Doctorat en sciences forestières, Faculté de Foresterie, de Géographie et de Géomatique, Université Laval.
74. Holben B. N., et Kalb V., 1989 : Accuracy of the AVHRR vegetation index as a predictor of biomass, primary productivity, and net CO<sub>2</sub> flux. *Vegetation* 80:71–89
75. Houamel A. ; 2012- Contribution a l'étude du dépérissement de la cédraie dans la région de Batna (cas du parc national du Belezma). Mém. Mag. Univ. de Tlemcen. 93p.
76. Hughes R., Flint K., Boone J. et Jaramillo V. J., 1999 : Biomass, Carbon, and Nutrient Dynamics of Secondary Forests in a Humid Tropical Region of México. *Ecology*, 80(6), 1892\_1907.
77. Islam M. et Adams M., 2000 : Nutrient characteristics of foliage and the availability of water in a rangeland near Quetta, Balochistan, Pakistan. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 3 (12) : 2058-2062.
78. Janodet È. et Blasco F., 1993 : Cartes écologiques de la végétation et télédétection satellitaire. *Télédétection et cartographie*. Éd. AUPELF-UREF. Les Presses de l'Université du Québec. p. 247-261.
79. Janodet, E. 1989. Télédétection et cultures industrielles : choix de site de plantation. École nationale du génie rural des eaux et des forêts (Paris), Société GEOSYS, Toulouse, 32 p.
80. Janodet, E. 1990. Comparaison de deux cartes écologiques de la végétation du Cameroun. Centenaire Henri Gaussen, Toulouse, 3-7 juin 1991, Université Paul-Sabatier.
81. Khanfouci M. S., 2005 : Contribution a l'étude de la fructification et de la régénération du cèdre de l'atlas (*Cedrus atlantica* M) dans le massif du Belezma. Mém. Mag. Univ. de Batna. 224p.
82. Kherchouche D., Kalla M., Gutierrez E., Briki A. et Hamchi A., 2013 : La sécheresse et le dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif du Belezma (Algérie). *Sécheresse* 24 : 129-37
83. Khuroo A. A., Ewald Weber B. N., Malik A.H., Reshi Z. A., Dar G.H., 2011 : Altitudinal distribution patterns of the native and alien woody flora in Kashmir Himalaya, India. *Environmental Research*, 111 : 967–977
84. Kokaly R. F., Depain D. G., Clark R.N. et Livo K.E., 2003 : Mapping vegetation in Yellowstone National Park using spectral feature analysis of AVIRIS data. *Remote Sens. Environ* 84:437–456.
85. Konan Y. E. L. 2012 : utilisation de la télédétection pour le suivi de la dynamique des formations végétales dans le périmètre d'exploitation forestière (pef) n° 12530. Mémoire pour le diplôme d'agronomie approfondie. École Supérieure d'Agronomie (ESA) Côte d'Ivoire. 44p.
86. Kostova I. et Iossifova T., 2007 : Chemical components of *Fraxinus* species. *Fitoterapia*, 78 : 85–106

87. Küchler, A. W. et Zonneveld, I. S. (éd.) 1988. Vegetation mapping. Handbook of vegetation science, Lieth (ed.), vol. 10, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 635 p.
88. Küchler, A. W., 1967. Vegetation mapping. Ronald Press Company, New-York, 472 p.
89. Lamtom S.H. et Savidge R. A., 2003 : A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. *Biomass and Bioenergy*, **25**, 381-388.
90. Lapie G. et Maige A., 1914 : Flore forestière de l'Algérie comprenant les arbres arbustes et arbrisseaux les plus répandus en Tunisie au Maroc et dans le midi de la France. Paris. E. ORLHAC Editeur. 357p.
91. Laporte, N. 1990. Étude de l'évolution spatio-temporelle de la végétation tropicale : utilisation de données satellitaires NOAA AVHRR sur l'Afrique de l'Ouest. Thèse de doctorat, Université Paul-Sabatier, Toulouse, 231 p.
92. Lavenu, F., Blasco, F., Podaire, A., Deschamps, P. Y., et Anoh, J. C. 1988. Études des formations de savanes dans la zone soudanienne, le secteur nord ouest du parc de la Comoe, Côte d'Ivoire. SPOT 1 : Utilisation des images, bilan, résultats, Centre national d'études spatiales, CEPADUES Éditions, Toulouse, p. 429-445.
93. Lillesand T., Raulth R. et Kieser R. W., 1999 : Remote sensing and image interpretation. Wiley, New York.
94. Lingelsheim A., 1920 : Das Pflanzenreich., in H.G.A.Engler (ed.), Wilhelm Engelmann, Leipzig. IV, 243(1): 36.
95. Malingreau, J. P. et Belward, A. S. 1991. Scale considerations in vegetation monitoring using AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*.
96. Martin A. R. et Thomas S. C., 2011 : A Reassessment of Carbon Content in Tropical Trees. *PLoS ONE* 6(8): e23533.
97. Mathieu A., 1860 : Flore forestière: description et histoire des végétaux ligneux qui croissent spontanément en France. 2e éd., revue et augmentée. Nancy: Ancienne maison Grimblot et cie . 455 p.
98. Mccoy R. M., 2005 : Field methods in remote sensing. The Guilford Press, New York/London Kamagata N, Hara K, Mori M, Akamatsu Y, Li Y, Hoshino Y (2006) A new method of vegetation mapping by object-based classification using high resolution satellite data. *J Jpn Soc Photogram Remote Sens* 54(1):43-49
99. Meentemeyer V., 1991 : Geographic modeling and modern ecology. In: Esser G, Overdieck D (eds) *Modern ecology basic and applied aspects*. Elsevier, Amsterdam, pp 773-804.
100. M'hirit O. et Blerot P., 1999 : Le grand livre de la forêt marocaine. Belgique. Mardaga. 280p.
101. M'hirit O., 1982 : Etude écologique et forestière des cédraies du Rif Marocain : Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la production du cèdre de l'Atlas. *Ann. Rech. For. Maroc* 2 (1). 499p.
102. M'hirit O., 1994 - Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) présentation générale et état des connaissances a travers le réseau Silva mediterranea "Le cèdre". *Ann. Rech. For. Maroc*. T (27) : 3-21.
103. M'hirit O., 1999 : La Forêt Méditerranéenne: Espace Ecologique, Richesse Economique et Bien Social. *Unasylya*, vol. 50. 15p.
104. M'hirit O., 2006 : Le cèdre de l'Atlas mémoire du temps. Ed. La croisse des chemins, Mardaga. 288p.

105. Miglioretti F., 1987 : Contribution à l'étude de la production des taillis de chêne vert en forêt de la Gardiole de Rians (Var). *Ann. Sci. For.*, 44 (2), pp. 227- 242.
106. Molto Q., 2012 : Estimation de biomasse en forêt tropicale humide. Propagation des incertitudes dans la modélisation de la distribution spatiale de la biomasse en Guyane française. Thèse de doctorat. Université des Antilles et de La Guyane. 176p.
107. Montès N., 1999 : Potentialités, dynamique et gestion d'une formation arborée à genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) des Atlas Marocains: le cas de la vallée de l'Azzaden. Thèse de doctorat en géographie et aménagement. Université Toulouse Le Mirail. 203p.
108. Mouna M., 2009 : *Phaenops marmottani* Fairmaire (Coleoptera Buprestidae), xylophage primaire pour le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Man.) *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie*. n° 31 (2) : 85-90.
109. Nassif F. et Tanji A., 2013 : Floristic analysis of Marmoucha's plant diversity (Middle Atlas, Morocco). *LAZAROA*, 34: 117-140.
110. Navarroa T., El Oualidib J., Talebc M.S., Pascuala V., Cabezudoa B. 2009: Dispersal traits and dispersal patterns in an oro-Mediterranean thorn cushion plant formation of the eastern High Atlas, Morocco. *Flora*, 204 : 658–672
111. Nedjahi A., 1988 : La cédraie de Chréa. (Atlas Blideen) : Phénologie, productivité, régénération. *Thè. Doc. Univ. de Nancy*. 184p.
112. Nelson, M.L., Brewer, C.K., Solem, S.J., 2015 : Existing vegetation classification, mapping, and inventory technical guide, version 2.0. Gen. Tech. Rep. WO-90. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Ecosystem Management Coordination Staff. 210 p.
113. Quezel P. et Barbero M., 1981 : Contribution à l'étude des formations pré-steppiques à Genévriers au Maroc. *Bol. Soc. Bot, ser. 2*, 1137-1160
114. QUEZEL P. et SANTA S., 1962-1963 : Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertique méridionales. CNRS Editions, vol 2, Paris. 1170p.
115. Quezel P., 1976 : Les forêts du pourtour méditerranéen. *Forêts et maquis méditerranéens: écologie, conservation et aménagement. Note technique MAB*. UNESCO, Paris. (2) : 9-33.
116. Quezel P., 1998 : Cèdre et cédraies du pourtour méditerranéenne : signification bioclimatique et phytogéographiques. *Forêt méditerranéenne*. Vol. XIX, no 3 : 250-256.
117. Rehder A., 1949 : Bibliography of cultivated trees and shrubs hardy in the cooler temperate regions of the Northern Hemisphere. Jamaica Plain, MASSACHUSETTS, U. S. A., Arnold Arboretum of Harvard Univ. 878p.
118. Rhanem M., 2008 : Quelques résultats obtenus par l'analyse de l'information mutuelle sur les observations phyto-écologiques recueillies dans la vallée des Aït-Bou-Guemmez (Haut Atlas, Maroc). — *Flora Mediterranea*, 18: 471-512.
119. Romane f., Floret C., Galan M., Grandjanny L., Le Floch E., Maistre M. et Perret P., 1988 : Quelques remarques sur les taillis de chênes verts : répartition, histoire, biomasse. *For Méd*, X n ° 1 : 131-135.
120. Sahli M., 2004 : Environnement aménagement et stratégie de développement de protection de la nature: cas du Parc National de Belezma. Th. Doc. Univ. Constantine. 244p.
121. SCET-AGRI, BDPA et Centre Technique Forestier Tropic AL/CIRAD 1989. Potentialités et possibilités de relance de l'activité forestière. Synthèse régionale et nationale - République de Guinée. Paris, carte au 1:700 000.

122. SCET-International 1978. Mapa da ocupação dos solos, República da Guiné Bissau. Paris, carte au 1:200 000.
123. SCET-International et Centre Technique Forestier Tropical / CIRAD 1979. Couverture végétale et formations forestières, Sénégal. Paris, carte au 1:500 000.
124. SCET-International, Direction DES Eaux et Forêts du Mali et Centre Technique Forestier Tropical / CIRAD 1988. Cartes des formations végétales - Mali, feuilles des cercles de Kati et de Kolokani (province de Koulikoro) et des cercles de Koutiala et Yorosso (province de Sikasso). Paris, carte au 1:200 000.
125. Seigue A., 1985 : La forêt circumméditerranéen et ses problèmes. Ed .g .p. Maisonneuve. Larose. Paris. 502p.
126. Selleron (G.), 1983. — Biogéographie et télédétection aérospatiale, approche dynamique de la forêt landaise. Thèse de 3e cycle, Université de Paris VII, édition C.N.R.S., 1985.
127. Singh A. et Samant S.S., 2010 : Conservation prioritization of habitats and forest communities in the Lahaul valley of proposed cold desert biosphere reserve, north western Himalaya, india. *Applied Ecology And Environmental Research* 8(2): 101-117.
128. Singh K. N., 2012 : Traditional knowledge on ethnobotanical uses of plant biodiversity : a detailed study from the Indian western Himalaya. *Biodiv. Res. Conserv.* 28 : 63-77.
129. Siziani Y., 2005 : Le Cèdre. UICN. Maroc. 4p.
130. Smektala G., Hautdidier B., Gautier D., Peltier R., Njiemoun A., et al., 2003 : Construction de tarifs de biomasse pour l'évaluation de la disponibilité ligneuse en zone de savanes au Nord-Cameroun. Actes du colloque, 27-31 mai 2002, Garoua, Cameroun, Cirad – Prasac. 8 p.
131. Talbi Y., 2009 : Contribution à l'étude des insectes associés au dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) dans la région de BATNA : cas de la cédraie de Belezma. Mém. Mag. Univ. de Batna. 115p.
132. Taleb M. S. et Fennane M., 2008 : Diversité floristique du Parc National du Haut Atlas oriental et des massifs Ayachi et Maâsker (Maroc). *Acta Botanica Malacitana* (33) 125-145
133. TCHIBOZO E. A. et DOMINGO E., 2014 : Occupation du sol et analyse de la structure spatiale des forêts classées: cas de Dogo-Ketou, dans le Centre-Est du Benin. *Revue de géographie du laboratoire Leïdi* N°12. Pp : 37-153.
134. Tillier S., 2011 : Gérer durablement la forêt méditerranéenne exemple du Parc Naturel Régional des Alpilles. Thè. Doc. Univ. MAINE. 394P.
135. Toth J., 1980 : Le cèdre : II. La graine : dissémination, extraction, qualité, germination, conservation. *La Forêt Privée.* 131: 78-84.
136. Toth J., 1980 : Le cèdre III. La graine des plants en pépinière, reboisement, régénération naturelle. *La Forêt Privée.* 132 : 41-47.
137. Toth J., 1981 : Contribution à l'étude monographique du cèdre méditerranéen. INRA. Station d'Avignon. 25P.
138. Towshend, J. R. G. et Justice, C., 1986 : Analysis of the dynamics of african vegetation using normalized difference vegetation index. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 7, n° 11, p. 1435-1445.
139. Towshend, J. R. G., Justice, C. O. et Kalb, V. 1987. Characterization and classification of south american land cover types using satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 8, n° 8, p. 1189-1207.

140. Tucker C. J., 1978 : A comparison of satellite sensor bands for vegetation monitoring. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 44(11):1169–1180.
141. Tucker C. J., 1979 : Red and photographic infra-red linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.* 8(2):127–150.
142. Tucker C. J., Townshend J. R. G. et Goff T. E., 1985 : African land-cover classification using satellite data. *Science* 227:369–375.
143. Tucker, C. J., Justice, C. O. et Prince, S. D. 1986. Monitoring the grassland of the Sahel 1984- 1985. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 7, n° 11, p. 1571-1581.
144. Tucker, C. J., Vanpraet, C. L., Boerwinkel, E. et Gaston, A. 1983. Satellite remote sensing of total dry matter production in the Senegalese Sahel. *Remote Sensing of Environment*, vol. 13, p. 369-375.
145. Tucker, C.J., Vanpraet, C. L., Sharman, M. J. et Van Ittersum, G. 1985. Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese Sahel : 1980-1984. *Remote Sensing of Environment*, vol. 17, p. 223-249.
146. Verma R.K. et Kapoor K.S., 2011: Plant Species Diversity in Ropa - Giavung Valley in Cold Deserts of District Kinnaur, Himachal Pradesh. *Biological Forum. An International Journal*, 3(2): 34-43
147. Viovy, N. 1990. Étude spatiale de la biosphère terrestre : intégration de modèles écologiques et de mesures de télédétection. Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse, 213 p.
148. Walker W., Baccini A., Nepstad M., Horning N., Knight D., Braun E., et Bausch A., 2011 : Field Guide for Forest Biomass and Carbon Estimation. Version 1.0. Woods Hole Research Center, Falmouth, Massachusetts, USA. 53p.
149. Wallander E., 2008 : Systematics of *Fraxinus* (Oleaceae) and evolution of dioecy. *Plant Systematics and Evolution*, 273 : 25-49
150. Wenzig T., 1883 : Die Gattung *Fraxinus* Tourn. *Bot. Jahrb. Syst.* 4: 188. 647p.
151. WESMAEL, A.. (1892). MONOGRAPHIE DES ESPÈCES DU GENRE FRAXINUS. Bulletin De La Société Royale De Botanique De Belgique / Bulletin Van De Koninklijke Belgische Botanische Vereniging, 31, 69–117.
152. Xie Y., Sha Z. et Yu M., 2008 : Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *J Plant Ecol* 1(1):9–23
153. Yahi N., Djellouli Y. et de Foucault B., 2008 : Diversités floristique et biogéographique des cédraies d'Algérie, *Acta Botanica Gallica: Botany Letters*, 155 (3) : 389-402



## Résumé :

Le problème de dépérissement du cèdre de la forêt de Ouled Yagoub a favorisé le développement d'autres essences forestières tel que le chêne vert et le frêne dimorphe. Cette dynamique forestière n'est pas encore étudiée, et très peu de travaux de recherche sont menés sur le frêne dimorphe.

L'intérêt de ce travail est la réalisation de la carte de dynamique des formations forestières ainsi que l'étude de la biomasse du taillis de frêne dimorphe qui est en extension remarquable dans cette zone, ce qui permet de mieux comprendre et évaluer la dynamique de cet écosystème perturbé ainsi que la biomasse de cette essence très peu étudiée, et de donner une vision plus claire sur l'état actuel et antérieur des formations forestières dans la zone de la cédraie.

Pour atteindre ces objectifs, on a utilisé deux méthodes: une approche géomatique, essentiellement basée sur la cartographie des formations forestières tout en utilisant des images satellites Landsat des années 1987 et 2015, et une étude d'évaluation de la biomasse du frêne dimorphe, à partir de données dendrométriques et pondérales sur la base d'un échantillonnage aléatoire, par une méthode déjà utilisé pour les taillis de chêne vert qui ont les mêmes caractéristiques que les taillis de frêne.

Durant la période allant de 1987 à 2015, l'approche géomatique nous montre que la superficie des formations contenant le frêne dimorphe a évolué de 2568.3ha à 3166.7 ha soit une augmentation de 598.32 ha, et que la superficie des formations à dominance de cèdre passe de 3085,38 ha à 1354,14 ha une diminution de 1731,24ha. L'évaluation de la biomasse de frêne dimorphe nous montre que le frêne dimorphe dans cette zone produit en moyenne une biomasse totale estimée à 11,6 tonnes / ha, soit 9,86 tonnes/ ha pour le bois et 1,6 tonnes/ ha pour les feuilles, alors que l'accroissement moyen en biomasse est estimé à 0,65 t/ha/an.

Cette biomasse importante du frêne dimorphe dans la zone de la cédraie des Ouled Yagoub montre l'importance économique et écologique de cette essence dans ce milieu naturel trop perturbé par l'action anthropique plus le phénomène de dépérissement qui a touché la plupart de la cédraie.

**Mots clés :** Frêne dimorphe, dynamique spatiale, biomasse, cédraie de Ouled Yagoub.

## ملخص :

مشكل تدهور الأرز الأطلسي في غابة أولاد يعقوب، أدى إلى نمو و تطور الأصناف الحراجية الأخرى مثل البلوط الأخضر و الدردار. هذه الحركية الحراجية لم يتم إجراء دراسة عليها، ولا يوجد إلا القليل جدا من الأبحاث حول الدردار. تكمن أهمية هذا العمل في انجاز خريطة لديناميكية التكوينات الحراجية، و أيضا دراسة الكتلة الحية لمنسغة الدردار، الذي يعتبر في توسع ملحوظ في هذه المنطقة ما يمكننا من الفهم الجيد و تقدير ديناميكية هذا الوسط البيئي المضطرب، مع معرفة الكتلة الحية لهذا الصنف الغير مدروس كثيرا. ما يعطينا نظرة أوضح حول الوضعية الحالية و السابقة للتكوينات الحراجية في هذه الغابة.

لتحقيق هذه الأهداف، اتبعنا طريقتين للعمل: مقارنة جيوماتيك، تعتمد أساسا على رسم خرائط التكوينات الحراجية باستخدام صور القمر الصناعي لاندسات لعامي 1987 و 2015، بالإضافة إلى دراسة تقدير الكتلة الحية للدردار، من خلال بيانات قياس أبعاد و كتل الأشجار بناء على عينات عشوائية، و هذا حسب طريقة عمل مستخدمة على منسغة البلوط الأخضر التي تشبه كثيرا منسغة الدردار.

خلال الفترة من 1987 إلى 2015، تبين أن مساحة التكوينات التي تحتوي على الدردار قفزت من 2568.3 هـ إلى 3166.7 هـ، أي زيادة بقدر 598.3 هـ، و لكن التكوينات التي يغلب فيها الأرز تغيرت مساحتها من 3085.3 هـ إلى 1354.1 هـ أي نقصان بقدر 1731.2 هـ. تقدير الكتلة الحية للدردار اظهر انه في هذه المنطقة ينتج معدل كتلة حية إجمالية تقدر بـ 11.6 طن/هـ، منها 9.86 طن/هـ كخشب، و 1.6 طن/هـ كأوراق، بحيث يقدر معدل النمو للكتلة الحية بـ 0.65 طن/هـ/سنة.

هذه الكتلة الحية الهامة للدردار في غابة الأرز لأولاد يعقوب تبين الأهمية الاقتصادية و البيئية لهذا الصنف الحراجي ضمن هذا الوسط الطبيعي المضطرب كثيرا بفعل الإنسان و ظاهرة التدهور التي مست أغلبية غابة الأرز.

**الكلمات الدالة :** الدردار، الديناميكية المكانية، الكتلة الحية، غابة الأرز أولاد يعقوب .