



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DE TISSEMSILT
INSTITUT DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUE DE FORESTERIE ET DE
LENVIRONNEMENT



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

Filière : **Sciences Agronomiques**

Spécialité : **Sciences Forestières**

Thème

**Évaluation de l'impact environnemental de l'exploitation
de la biomasse forestière à Tissemsilt**

Présentée par: Ouaddane Amel

Soutenu le, 27/06/2026

Devant le Jury

Chahi Mokhtar
Si Tayeb Tayeb
Mairif Mohamed

Président
Encadrant
Examineur

M.C.B.
M.C.B.
M.C.B.

Univ-Tissemsilt
Univ-Tissemsilt
Univ-Tissemsilt

Année universitaire : 2025-2026

Remerciements

Il est de tradition qu'à la fin de tout travail, l'on exprime sa gratitude à toutes les personnes qui y ont contribué de près ou de loin, d'une manière ou d'une autre.

Tout d'abord, je remercie Dieu, notre Créateur, pour tout.

J'exprime ma profonde gratitude à mon encadreur, Monsieur Si Tayeb Tayeb, pour avoir accepté de superviser mon travail, pour ses orientations, sa disponibilité, son aide et ses précieux conseils qui m'ont été d'un grand soutien.

Merci à lui pour son encadrement et son accompagnement tout au long de la réalisation de ce travail.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance sincère au Professeur Chahi Mokhtar, qui m'a fait l'honneur d'accepter de présider le jury, ainsi qu'à Monsieur Mairif Mohamed, qui a bien voulu examiner ce travail.

Je n'oublie pas de remercier, à cette occasion, tous les enseignants du département des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université de Tissemsilt pour leur soutien et leurs encouragements.

Enfin, j'exprime toute ma reconnaissance à l'ensemble du personnel administratif de la circonscription des forêts de Theniet El Had,

en particulier Monsieur Bilel Guergour et Monsieur Ahmed Titaouine, pour leur aide, leur disponibilité et leur collaboration durant la réalisation de ce travail.

À toutes celles et ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail, je dis : merci.

Dédicaces

Avant tout, je remercie ALLAH, le Tout-Puissant, de m'avoir donné la santé, la volonté et la patience pour mener à bien ce modeste travail.

Je dédie ce travail :

À mes très chers parents, pour leur amour, leurs encouragements, leurs sacrifices et leurs prières dans les moments les plus difficiles.

Que Dieu les protège et les garde en bonne santé.

À mon cher père Miloud, en témoignage de mon profond respect, de ma gratitude et de mon affection.

À ma chère mère Badra, qui a tant souffert pour mon bonheur, qui n'a jamais cessé de me soutenir,

et qui a toujours été une source d'amour, de tendresse et de sacrifice.

À mes chers frères Anes et Ali, et à ma chère sœur Alaa,
pour leur soutien, leur présence et leurs encouragements constants.

À tous les membres de ma famille,
pour leur affection et leur appui moral. À tous mes amis,
et à toute la promotion de Master Foresterie 2025-2026.

Enfin, à toutes celles et à tous ceux qui me connaissent, m'aiment et m'ont soutenue de près ou de loin.

Merci du fond du cœur.

SOMMAIRE

Remerciements

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale

Chapitre I : Biomasse forestière et exploitation du bois de chauffage.....	05
I.1. Définition de la biomasse forestière	06
I.2. Typologie de la biomasse forestière	06
I.3. Rôles écologiques de la biomasse forestière	08
I.3.1. Rôle dans le maintien de la biodiversité.....	08
I.3.2. Rôle dans la protection et la fertilité des sols	09
I.3.3. Rôle dans le stockage du carbone.....	09
I.3.4. Rôle dans la régulation hydrologique et la protection contre l'érosion.....	10
I.3.5. Rôle dans la stabilité structurale du peuplement	11
I.4. Facteurs influençant la biomasse forestière.....	11
I.4.1. Facteurs climatiques	11
I.4.2. Facteurs édaphiques.....	12
I.4.3. Facteurs topographiques et stationnels	12
I.4.4. Facteurs dendrométriques et structuraux.....	12
I.4.5. Facteurs biologiques	13
I.4.6. Facteurs sanitaires	13
I.4.7. Facteurs sylvicoles et anthropiques	13
I.5. Exploitation de la biomasse forestière.....	14
I.6. Types d'exploitation de la biomasse forestière.....	14
I.6.1. Exploitation matérielle	14

I.6.2. Exploitation énergétique.....	15
I.6.3. Exploitation des produits forestiers non ligneux	16
I.7. Collecte du bois de chauffage.....	17
I.7.1. Définition.....	17
I.7.2. Importance sociale et énergétique du bois de chauffage	17
I.7.3. Qualité du bois comme biocombustible et application au chêne-liège	18
I.8. Impacts écologiques de la collecte du bois de chauffage en milieu forestier	20
I.8.1. Impact sur la biomasse ligneuse	20
I.8.2. Impact sur la régénération naturelle	20
I.8.3. Impact sur le sol.....	21
I.8.4. Impact sur la biodiversité	23
I.8.5. Impact sur le stockage du carbone.....	24
Chapitre II : Généralités sur le chêne-liège.....	26
II.1. Généralités sur le chêne-liège	27
II.2. Taxonomie de <i>Quercus suber</i> L. 27.....	
II.3. Description botanique	28
II.4. Aire de répartition du chêne-liège	31
II.4.1. Répartition à l'échelle mondiale	31
II.4.2. Répartition géographique du chêne-liège en Algérie	32
II.5. Exigences écologiques	33
II.6. Régénération du chêne-liège	34
II.6.1. Différentes formes de régénération	35
II.6.1.1. Processus de régénération naturelle du chêne-liège.....	36
II.7. Facteurs influençant la régénération naturelle du chêne-liège	37
II.8. Importance économique, sociale et écologique du chêne-liège	38

II.8.1. Importance écologique du chêne-liège.....	38
II.8.2. Importance économique du chêne-liège.....	39
II.8.3. Importance sociale du chêne-liège	40
II.9. Synthèse	40

Chapitre III : Présentation de la zone d'étude — Parc National de

Theniet El Had.....	42
III.1. Présentation générale du Parc National de Theniet El Had	43
III.2. Historique.....	43
III.3. Localisation géographique	44
III.4. Zonage du parc.....	45
III.5. Caractéristiques physiques du milieu	46
III.5.1. Relief.....	46
III.5.2. Altitude.....	47
III.5.3. Pente.....	48
III.5.4. Géologie.....	49
III.5.5. Pédologie	50
III.5.6. Réseau hydrographique.....	51
III.6. Données climatiques	52
III.6.1. Précipitations	52
III.6.2. Températures.....	53
III.6.3. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen.....	53
III.6.4. Vent	54
III.6.5. Humidité relative	55
III.6.6. Étage bioclimatique	56
III.7. Caractéristiques biologiques	57

III.7.1. Faune.....	57
III.7.2. Flore	59
III.8. Subéraie du Parc National de Theniet El Had	61
III.9. Activités anthropiques dans le Parc National de Theniet El Had	62
III.9.1. Surpâturage et pression des populations riveraines	62
III.9.2. Incendies de forêt.....	63
III.9.3. Exploitation du bois de chauffage.....	63
III.10. Synthèse	64
Chapitre IV : Matériel et méthodes.....	65
IV.1. Démarche méthodologique générale.....	66
IV.2. Choix et description des sites d'étude.....	66
IV.3. Matériel utilisé	67
IV.4. Dispositif expérimental	68
IV.4.1. Choix des placettes circulaires concentriques.....	69
IV.4.2. Justification du choix de la forme circulaire	69
IV.4.3. Justification du choix des rayons	70
IV.5. Collecte des données sur le terrain.....	71
IV.5.1. Données météorologiques.....	71
IV.5.2. Données floristiques.....	71
IV.5.3. Données relatives à la régénération du chêne-liège	72
IV.5.4. Données relatives à la pression	73
IV.6. Mesures dendrométriques	75
IV.6.1. Mesure du diamètre des arbres.....	75
IV.6.2. Conversion de la circonférence en DBH.....	75
IV.6.3. Calcul de la surface terrière.....	76

IV.7. Estimation de la biomasse aérienne	77
IV.7.1. Choix des équations allométriques	77
IV.7.2. Équations appliquées aux arbres non démasclés.....	78
IV.7.3. Équations appliquées aux arbres démasclés.....	78
IV.7.4. Estimation de la biomasse à l'échelle de la placette	79
IV.7.5. Conversion de la biomasse à l'hectare	80
IV.7.6. Estimation du stock de carbone.....	80
Chapitre V : Résultats et discussion.....	82
V.1. Introduction	83
V.2. Résultats relatifs à la pression anthropique	83
V.3. Résultats relatifs à la régénération naturelle.....	84
V.3.1. Densité totale de régénération	84
V.3.2. Structure de la régénération par classes de taille.....	85
V.3.3. Origine de la régénération : semis et rejets	86
V.3.4. État sanitaire de la régénération	87
V.3.5. Taux de survie comparatif	88
V.3.6. Hauteur maximale des brins établis.....	89
V.3.7. Profil écologique comparatif	90
V.4. Discussion des résultats de la régénération	90
V.4.1. Impact de l'exploitation sur la densité de régénération.....	90
V.4.2. Hiatus de recrutement dans la classe 20–50 cm	91
V.4.3. Basculement du mode de reproduction	92
V.4.4. État sanitaire et pression anthropique.....	92
V.4.5. Structure verticale et potentiel de croissance	93
V.4.6. Mise en perspective avec l'écologie du chêne-liège à Theniet El Had	94

V.4.7. Mécanismes écologiques explicatifs liés à la dispersion des glands.....	94
V.5. Résultats dendrométriques.....	96
V.5.1. Nombre d'arbres par placette	96
V.5.2. Structure horizontale des peuplements	98
V.5.3. Structure verticale des peuplements	100
V.5.4. Surface terrière	101
V.6. Biomasse aérienne et stock de carbone	103
V.6.1. Biomasse aérienne moyenne	103
V.6.2. Carbone moyen stocké	104
V.6.3. Relation entre biomasse, carbone et surface terrière	105
V.7. Discussion intégrée des variables dendrométriques et environnementales	106
V.8. Synthèse générale de la discussion.....	108
V.9. Recommandations de gestion	109
V.9.1. Valorisation économique du liège au détriment du bois de chauffage	109
V.9.2. Mise en place d'un réseau végétal protecteur.....	110
V.9.3. Régénération naturelle assistée.....	110
V.9.4. Transition énergétique des populations riveraines	111
V.9.5. Création de coopératives locales de valorisation du liège.....	112
V.9.6. Suivi par cartographie et télédétection	112
V.9.7. Étude de la fenêtre climatique de régénération	113
V.10. Limites de l'étude et perspectives	114
Conclusion générale.....	116
Références bibliographiques.....	117
Annexes.....	127

Liste des tableaux

Tableau 01 : Évolution de la production moyenne annuelle du bois de chauffage en Algérie entre 1965 et 2005	18
Tableau 02 : Aptitude du bois de chêne-liège à l'usage comme bois de chauffage.....	19
Tableau 03 : Caractéristiques botaniques et écologiques du chêne-liège.....	28
Tableau 04 : Estimations de la superficie occupée par le chêne-liège dans la région méditerranéenne	31
Tableau 05 : Principaux modes de régénération du chêne-liège	36
Tableau 06 : Facteurs influençant la régénération naturelle du chêne-liège .	37
Tableau 07 : Précipitations mensuelles à Theniet El Had (2000-2025)	52
Tableau 08 : Températures mensuelles moyennes, maximales et minimales à Theniet El Had (2000-2025).....	53
Tableau 09 : Vitesse moyenne mensuelle du vent à Theniet El Had (2000-2025).....	55
Tableau 10 : Humidité relative dans la région de l'aire protégée.....	55
Tableau 11 : Paramètres utilisés pour le calcul du quotient pluviothermique d'Emberger	56
Tableau 12 : Dynamique du couvert végétal du Parc National de Theniet El Had entre 1987 et 2015.....	64
Tableau 13 : Localisation des stations étudiées.....	67
Tableau 14 : Caractéristiques stationnelles des sites étudiés.....	67
Tableau 15 : Matériel utilisé	67
Tableau 16 : Surfaces correspondant aux différents rayons	71
Tableau 17 : Synthèse des scores de pression anthropique par site.....	84
Tableau 18 : Synthèse des scores de pression anthropique par type de zone	84

Tableau 19 : Récapitulatif des placettes selon le type de zone.....	96
Tableau 20 : Moyennes corrigées par type de zone.....	96
Tableau 21 : Comparaison quantitative des écarts entre zones exploitées et non exploitées	105
Tableau 22 : Tableau récapitulatif des recommandations.....	114

Liste des figures

Figure 01 : Classification des combustibles issus du bois.....	01
Figure 02 : Rôle des forêts dans le cycle du carbone	10
Figure 03 : Sensibilité de la productivité du sol face à la récolte de biomasse forestière	21
Figure 04 : Relation entre le bois mort et la sensibilité de la biodiversité forestière	23
Figure 05 : Répartition du carbone entre le sol et la biomasse aérienne selon les types de milieux	25
Figure 06 : Caractères botaniques du chêne-liège (<i>Quercus suber</i> L.).....	30
Figure 07 : Répartition géographique mondiale du chêne-liège (<i>Quercus suber</i> L.).....	32
Figure 08 : Répartition des subéraies en Algérie	33
Figure 09 : Dynamique de la régénération naturelle du chêne-liège (<i>Quercus suber</i> L.).....	36
Figure 10 : Localisation géographique du Parc National de Theniet-El-Had et limites cantons	45
Figure 11 : Carte de zonage du parc national de Theniet-El-Had.....	46
Figure 12 : Carte des altitudes du parc national de Theniet El Had	48
Figure 13 : Carte des pentes du Parc National de Theniet El Had	49
Figure 14 : Carte pédologique du Parc National de Theniet El Had	50
Figure 15 : Carte du réseau hydrographique du Parc National de Theniet El Had.....	51
Figure 16 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen à Theniet El Had (2000-2025)	54
Figure 17 : Localisation de la zone d'étude dans le climagramme d'Emberger (2000-2025)	57

Figure 18 : Grands types de végétaux dans le Parc National de Theniet-El-Had.....	62
Figure 19 : Matériel utilisé sur le terrain	68
Figure 20 : Indices de pression anthropique observés sur le terrain : traces de foyers, résidus de combustion et restes de bois brûlé.....	74
Figure 21 : Présence de bois mort au sol dans une zone faiblement exploitée	74
Figure 22 : Densité totale de régénération par site	85
Figure 23 : Répartition de la régénération par classe de taille.....	86
Figure 24 : Origine de la régénération : semis naturels, rejets de souche et drageons (%).....	87
Figure 25 : Proportion des états sanitaires de la régénération par site	88
Figure 26 : Taux de survie comparatif des quatre sites (%)	89
Figure 27 : Hauteur maximale des brins établis par site (cm)	89
Figure 28 : Profil écologique comparatif.....	90
Figure 29 : Nombre d'arbres par placette	98
Figure 30 : Structure horizontale des peuplements de chêne-liège	99
Figure 31 : Structure verticale des peuplements de chêne-liège	101
Figure 32 : Surface terrière convertie à l'hectare selon le type de zone.....	103
Figure 33 : Biomasse aérienne moyenne (AGB) selon le type de zone	104
Figure 34 : Carbone moyen stocké selon le type de zone	105

Liste des abréviations

AGB : Above Ground Biomass / Biomasse aérienne.

BT : Biomasse totale sèche.

C : Circonférence.

CL : Clairière.

CNPF : Centre National de la Propriété Forestière.

CO₂ : Dioxyde de carbone.

CT : Stock de carbone total.

D : Diamètre.

DBH : Diameter at Breast Height / Diamètre à hauteur de poitrine.

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement.

du : Diamètre sous écorce à hauteur de poitrine.

End. : Endommagé.

FAO : Food and Agriculture Organization.

GPS : Global Positioning System.

H : Hauteur.

H min : Hauteur minimale.

H max : Hauteur maximale.

INRAE : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement.

NASA POWER : NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources.

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index / Indice de végétation par différence normalisée.

P : Placette.

PCI : Pouvoir calorifique inférieur.

PFNL : Produits forestiers non ligneux.

PNTEH / P.N.T.E.H. : Parc National de Theniet El Had.

PRECTOTCORR : Precipitation Corrected / Précipitations corrigées.

REJ : Rejet.

S : Site / Station.

SC : Sous couvert.

SE : Semis.

ST : Surface terrière.

THNP : Theniet El Had National Park.

Viv : Vivant.

Wa : Biomasse aérienne totale.

Wbr : Biomasse des branches.

Wl : Biomasse des feuilles.

Ws : Biomasse de la tige.

% : Pourcentage.

°C : Degré Celsius.

cm : Centimètre.

ha : Hectare.

kg : Kilogramme.

kg/ha : Kilogramme par hectare.

m : Mètre.

m² : Mètre carré.

m²/ha : Mètre carré par hectare.

MJ/kg : Mégajoule par kilogramme.

mm : Millimètre.

tMS/ha : Tonne de matière sèche par hectare.

Résumé :

Cette étude porte sur l'impact du prélèvement du bois de chauffage sur les peuplements de chêne-liège (*Quercus suber* L.) dans le Parc National de Theniet El Had. Elle repose sur une comparaison entre des zones de prélèvement et des zones témoins, à partir de 12 placettes circulaires.

Les résultats montrent que les zones témoins présentent une régénération naturelle plus importante, avec 258 et 282 jeunes individus, contre seulement 70 et 75 individus dans les zones de prélèvement. Dans ces dernières, la régénération est surtout assurée par les rejets de souche, tandis que les semis naturels dominent dans les zones témoins.

Les résultats dendrométriques confirment cette différence. Les zones de prélèvement sont caractérisées par des arbres de plus faibles dimensions, alors que les zones témoins conservent des arbres plus développés. La surface terrière est de 13,40 m²/ha dans les zones de prélèvement contre 51,98 m²/ha dans les zones témoins. La biomasse aérienne moyenne passe de 3 086,58 kg à 25 467,00 kg, et le carbone moyen stocké de 1 450,69 kg à 11 969,49 kg.

Ces résultats indiquent que le prélèvement répété du bois de chauffage fragilise la subéraie, perturbe la régénération naturelle et diminue la capacité de stockage du carbone. Une gestion plus contrôlée des prélèvements, associée à la protection des jeunes individus et à la valorisation du liège, apparaît nécessaire pour préserver les peuplements de chêne-liège du parc.

Mots-clés : chêne-liège, prélèvement du bois de chauffage, régénération naturelle, biomasse aérienne, carbone, surface terrière, Theniet El Had

Abstract:

This study investigates the impact of fuelwood harvesting on cork oak (*Quercus suber* L.) stands in Theniet El Had National Park. It is based on a comparison between fuelwood harvesting areas and control areas using 12 circular sampling plots. The results showed that the control areas exhibited significantly higher natural regeneration, with 258 and 282 young individuals,

compared with only 70 and 75 individuals in the harvested areas. In the latter, regeneration was mainly ensured by stump sprouts, whereas natural seedlings predominated in the control areas. Dendrometric analyses also revealed a marked reduction in aboveground biomass, carbon stock and basal area in the harvested areas. Basal area increased from 13.40 m²/ha in harvested areas to 51.98 m²/ha in control areas, while mean aboveground biomass increased from 3,086.58 kg to 25,467.00 kg and mean carbon stock from 1,450.69 kg to 11,969.49 kg. These findings indicate that repeated fuelwood harvesting progressively weakens cork oak forests by reducing mature woody biomass, disturbing natural regeneration and decreasing carbon storage capacity. More rational management of fuelwood harvesting, combined with the protection of young individuals and the promotion of cork valorization, is essential for the sustainable conservation of cork oak stands.

Key words: Cork oak, fuelwood harvesting, natural regeneration, aboveground biomass, carbon stock, basal area, Theniet El Had.

ملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم أثر استغلال حطب الوقود على أشجار البلوط الفليني في الحظيرة الوطنية لثنية الحد، وذلك من خلال مقارنة مناطق خاضعة لجمع حطب التدفئة وأخرى شاهدة اعتماداً على 12 قطعة دائرية. أظهر تحليل التجدد الطبيعي وجود فرق واضح بين النوعين، حيث سجلت المناطق الشاهدة تجددًا أكثر وفرة بلغ 258 و282 فردًا، مقابل 70 و75 فردًا في مناطق جمع الحطب. كما تبين أن التجدد في هذه الأخيرة يعتمد أساسًا على الخلفات النامية من الجذوع، في حين تهيمن الشتلات الطبيعية في المناطق الشاهدة.

أما من حيث الخصائص القياسية والبنوية للأشجار ، فقد أظهرت النتائج أن مناطق جمع الحطب تتميز بأشجار ذات أقطار وارتفاعات أقل، بينما تحتفظ المناطق الشاهدة بأشجار ذات بنية غابية أكثر استقراراً. وقد انتقلت المساحة القاعدية المحولة إلى الهكتار من 13,40 م²/هكتار في المناطق المستغلة إلى 51,98 م²/هكتار في المناطق غير المستغلة. كما ارتفعت الكتلة الحيوية الهوائية المتوسطة من 086,58 3 كغ إلى 467,00 25 كغ، وارتفع متوسط الكربون المخزن من 450,69 1 كغ إلى 969,49 11 كغ.

تؤكد هذه النتائج أن الاستغلال المتكرر لحطب الوقود يساهم في إضعاف غابة البلوط الفليني، من خلال تقليل الثروة الخشبية، وإضعاف التجدد الطبيعي، وخفض قدرة الغابة على تخزين الكربون. لذلك، تبرز ضرورة تنظيم عملية جمع الخشب، وحماية الأفراد الفتية، وتنميين الفلين، والمتابعة الدورية لحالة الغابة.

الكلمات المفتاحية: البلوط الفليني، حطب الوقود، التجدد الطبيعي، الكتلة الحيوية، الكربون، المساحة القاعدية، ثنية الحد.

Introduction

Introduction générale

L'augmentation de la demande en énergie a conduit, ces dernières années, à rechercher des sources capables de réduire l'utilisation des combustibles fossiles. Parmi ces sources, la biomasse forestière occupe une place importante, car elle peut provenir des résidus d'exploitation, du bois de faible valeur commerciale ou des peuplements nécessitant des éclaircies. Selon Alavalapati et al (2013), l'énergie issue de la biomasse forestière peut contribuer à diversifier les sources d'énergie, à réduire certaines émissions liées aux combustibles fossiles et à créer des bénéfices économiques, notamment dans les zones rurales.

Cependant, sa valorisation énergétique ne signifie pas que tout le bois disponible peut être prélevé sans contrôle. Certaines parties de l'arbre, comme les feuilles, les petites branches et les éléments fins, doivent être laissées sur place, car elles participent au maintien de la fertilité du sol forestier (Rodríguez, 2019). L'utilisation du bois comme source d'énergie doit donc rester liée à une gestion raisonnée.

Les forêts méditerranéennes sont directement concernées par cette problématique. Ce sont des milieux fragiles, souvent soumis à la sécheresse, aux incendies, au surpâturage et à différentes pressions humaines. Elles assurent en même temps plusieurs fonctions écologiques importantes, notamment la protection des sols, la conservation de la biodiversité, la régulation des écoulements et le stockage du carbone. Chen et al (2017) rappellent que les forêts fournissent à la fois des ressources matérielles et des services écologiques essentiels, comme le maintien de la biodiversité et la régulation du climat.

Parmi les essences caractéristiques de ces forêts, le chêne-liège (*Quercus suber* L.) occupe une place particulière. D'après Sghaier et al (2020), les subéraies couvrent environ 2 306 000 ha dans le monde, dont 37,5 % se trouvent en Afrique du Nord. En Algérie, leur superficie est estimée à environ 400 000 ha, ce qui témoigne de l'importance de cette essence dans le patrimoine forestier national. Malgré cela, ces peuplements restent exposés à plusieurs menaces, notamment les incendies, le surpâturage, la faiblesse de la régénération naturelle et les pratiques d'exploitation non contrôlées (Naggar, 2021).

Le bois de chauffage, en particulier, demeure une ressource utilisée dans plusieurs zones rurales. Lorsque son prélèvement devient répété ou anarchique, il peut modifier la structure du peuplement, réduire la matière organique du sol et fragiliser les jeunes plants. (Chen et al., 2017) montrent également que cette pratique peut perturber la dispersion des graines et réduire l'efficacité de la régénération naturelle, qui représente un indicateur essentiel pour évaluer l'avenir d'une subéraie.

Dans ce sens, plusieurs études ont mis en évidence les effets de l'exploitation du bois-énergie sur la végétation. (Kaina et al., 2018), dans une étude menée dans la préfecture de Tchaoudjo au Togo, ont montré que les espèces les plus utilisées pour la production du bois-énergie deviennent moins représentées dans la végétation. Les auteurs ont également constaté une diminution significative de la densité des tiges, de la surface terrière et de la biomasse des zones non exploitées vers les zones exploitées. Cette étude indique, par ailleurs, que les coupes peuvent favoriser une régénération végétative chez certaines espèces, mais que le développement des jeunes individus jusqu'au stade adulte reste limité par plusieurs contraintes, notamment les feux de végétation et la coupe des individus juvéniles.

Pour caractériser l'état d'un peuplement, les paramètres dendrométriques, comme le diamètre, la hauteur, la surface terrière et la biomasse aérienne, sont indispensables. Dans les subéraies, ces paramètres prennent une importance particulière, car les arbres présentent souvent des dimensions irrégulières selon les conditions du milieu et les pratiques d'exploitation (Naggar, 2021).

Le stock de carbone constitue également un indicateur important. (Zribi et al., 2017) indiquent que les sols forestiers peuvent contenir entre 50 % et 85 % du carbone organique total. Toute diminution des stocks de carbone dans la biomasse, la litière ou les sols correspond à une émission nette de CO₂ vers l'atmosphère (DREAL Occitanie, 2022).

Le Parc National de Theniet El Had, situé dans la région montagneuse de la wilaya de Tissemsilt, représente, dans ce contexte, un terrain d'étude particulièrement intéressant. Il abrite une subéraie exceptionnelle couvrant une superficie de 600 ha, établie entre 1200 et 1600 m d'altitude dans un étage bioclimatique subhumide à hiver froid (Loukkas & Neggaz, 2006). Cette subéraie présente aujourd'hui un état de dégradation plus ou moins marqué, sous l'effet conjugué de la sécheresse, du surpâturage, des incendies et de la pression humaine croissante (Feddag et al., 2013). Des analyses par télédétection ont d'ailleurs mis en évidence une diminution progressive du couvert forestier entre 1987 et 2015 (Berrichi et al., s. d).

Pourtant, l'effet réel du prélèvement du bois de chauffage sur l'état de ce peuplement reste encore peu documenté. La question principale qui se pose est donc la suivante : dans quelle mesure l'exploitation du bois de chauffage influence-t-elle l'état structural, la capacité de régénération et le stock de carbone des peuplements de chêne-liège dans le Parc National de Theniet El Had ?

Cette étude vise à répondre à cette question en comparant des zones soumises au prélèvement de bois avec des zones non exploitées, à travers l'analyse de la régénération naturelle, des paramètres dendrométriques, de la biomasse aérienne et du stock de carbone. Elle contribue ainsi à une meilleure compréhension des effets écologiques de l'usage domestique du bois dans un espace forestier protégé, et fournit des éléments d'aide à la gestion et à la conservation des subéraies de Theniet El Had.

Le présent mémoire est organisé en cinq chapitres :

Chapitre I : Biomasse forestière et exploitation du bois de chauffage.

Chapitre II : Le chêne-liège (*Quercus suber* L.).

Chapitre III : Présentation de la zone d'étude.

Chapitre IV : Matériels et méthodes.

Chapitre V : Résultats, discussion et recommandations.

Une conclusion générale synthétise enfin les principaux résultats et propose des perspectives de gestion et de conservation.

CHAPITRE I :

**Biomasse forestière et exploitation du bois de
chauffage.**

I.1. Définition de la biomasse forestière

La biomasse forestière désigne l'ensemble de la matière organique d'origine végétale produite par les écosystèmes forestiers. Elle comprend principalement les arbres, les branches, les feuilles, les racines, la litière, le bois mort, les résidus d'exploitation ainsi que les sous-produits issus de la transformation du bois. Cette biomasse joue un rôle écologique important dans le fonctionnement de la forêt, notamment dans le stockage du carbone, la fertilité du sol, la régénération naturelle et le maintien de la biodiversité (Kaina et al., 2018).

Elle peut également être valorisée à des fins énergétiques sous forme de bois de chauffe, de charbon de bois ou d'autres combustibles ligneux. Dans ce cas, on parle de bois-énergie, qui constitue une ressource utilisée pour la cuisson, le chauffage et certaines activités artisanales. Toutefois, lorsque son exploitation devient excessive ou non contrôlée, elle peut entraîner une réduction de la biomasse ligneuse, une modification de la structure du peuplement et une dégradation progressive de la végétation forestière (Kaina et al., 2018).

I.2. Typologie de la biomasse forestière :

La biomasse forestière peut être classée en plusieurs compartiments selon la localisation spatiale et la nature de la matière organique. On distingue en premier lieu la biomasse aérienne, qui regroupe l'ensemble des parties végétales situées au-dessus du sol, notamment le tronc, les branches, l'écorce, le feuillage et les cimes des arbres. Cette composante représente généralement la fraction la plus importante en masse et en stock de carbone aérien de l'écosystème forestier. S'ensuit la biomasse souterraine, constituée par les racines principales et fines des arbres et des autres végétaux ligneux, qui joue

un rôle crucial dans la dynamique du sol et le stockage du carbone sous-terrain (Saucier, 2023).

Une troisième catégorie est la biomasse non ligneuse, qui correspond aux éléments herbacés du sous-bois ainsi qu'à la litière organique (feuilles mortes, aiguilles, petites branches fines accumulées au sol). Ces compartiments interviennent fortement dans la minéralisation de la matière organique, la régénération naturelle et les échanges de nutriments avec le sol. Enfin, la biomasse résiduelle forestière désigne les fractions ligneuses non valorisées en bois d'œuvre, notamment les résidus de récolte (cimes, branches, souches, petit bois non commercial) et les résidus de transformation (sciures, écorces, copeaux, rabotures issus des scieries et industries du bois), fréquemment mobilisées comme biomasse énergétique dans la filière bois-énergie (Saucier, 2023).

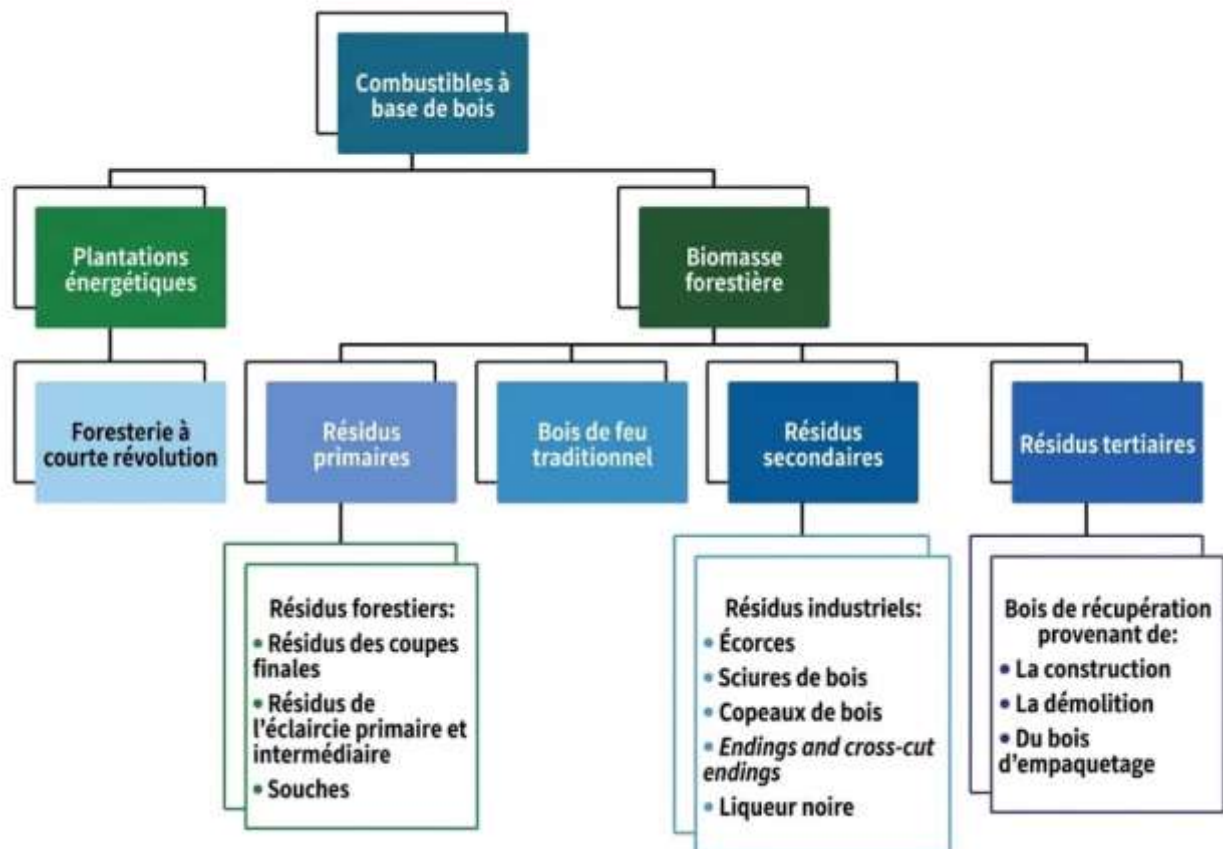


Figure 01 : Classification des combustibles issus du bois, (Thiffault et al., 2015).

I.3. Rôles écologiques de la biomasse forestière :

La biomasse forestière ne se limite pas à une ressource utilisée pour le bois ou pour l'énergie. Elle fait partie du fonctionnement normal de la forêt. Elle intervient dans plusieurs processus écologiques, notamment la protection du sol, le maintien de la biodiversité, le stockage du carbone et la stabilité du peuplement.

I.3.1. Rôle dans le maintien de la biodiversité

La biomasse forestière offre des habitats et des ressources pour de nombreuses espèces. Les arbres, les branches, la litière, les rémanents et le bois mort servent d'abris, de supports de reproduction ou de sources de nourriture pour plusieurs organismes forestiers, comme les insectes, les champignons, les

oiseaux, les reptiles, les amphibiens et les petits mammifères (INRAE Transfert, 2023).

Le bois mort au sol garde aussi une importance écologique avant sa décomposition complète. Il peut servir de refuge temporaire et participer au maintien de la diversité biologique dans le milieu forestier (INRAE Transfert, 2023).

I.3.2. Rôle dans la protection et la fertilité des sols

La biomasse forestière participe au maintien de la fertilité du sol. Les feuilles mortes, les branches fines, les racines et les autres résidus organiques retournent progressivement au sol et contribuent à la formation de l'humus.

Cette matière organique améliore la structure du sol, favorise l'activité biologique et permet le recyclage des éléments nutritifs nécessaires à la croissance des arbres. Elle joue donc un rôle important dans la productivité forestière (INRAE Transfert, 2023).

I.3.3. Rôle dans le stockage du carbone

La biomasse forestière constitue un réservoir de carbone. Les arbres absorbent le dioxyde de carbone atmosphérique par la photosynthèse, puis le stockent sous forme de matière organique dans le tronc, les branches, les feuilles et les racines.

Ainsi, plus un peuplement possède une biomasse importante, plus sa capacité de stockage du carbone est élevée. Cette fonction donne à la forêt un rôle important dans la régulation du climat (Vennetier et al., 2014).

LE CYCLE DU CARBONE

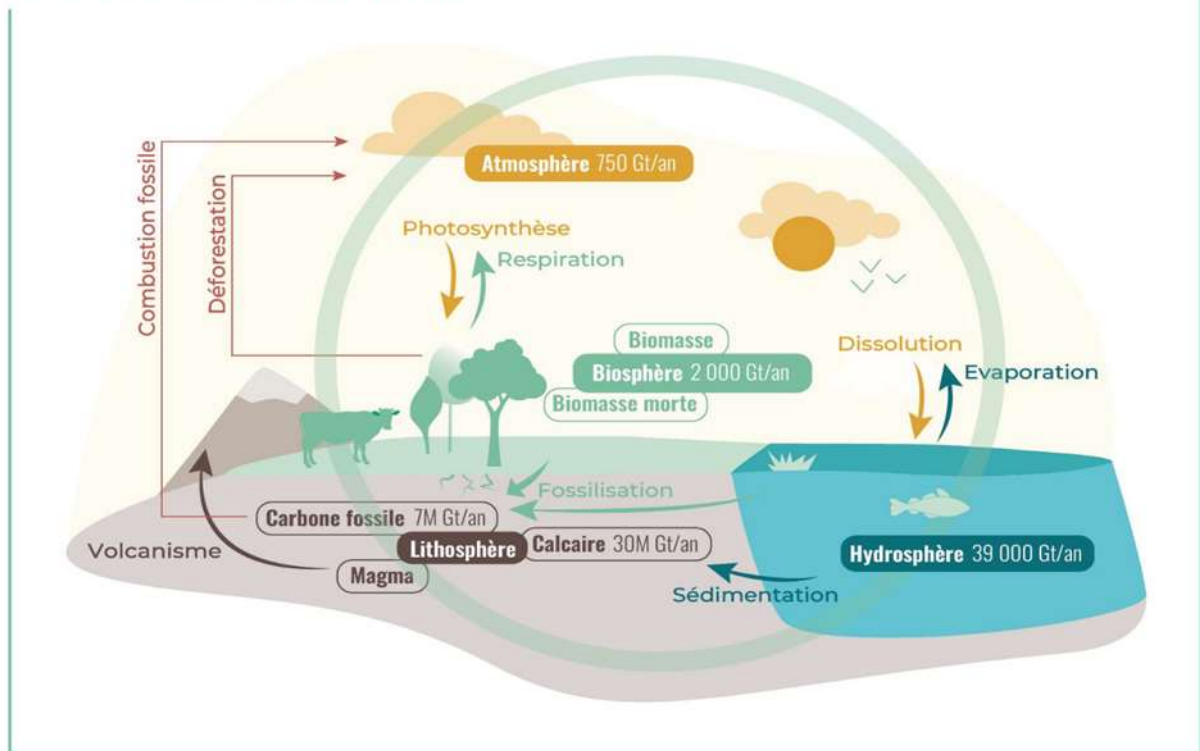


Figure 02 : Rôle des forêts dans le cycle du carbone (Avril, 2024).

I.3.4. Rôle dans la régulation hydrologique et la protection contre l'érosion

La couverture végétale forestière limite le ruissellement et protège le sol contre l'érosion. Elle intercepte une partie des précipitations et réduit l'impact direct des gouttes de pluie sur le sol (Vennetier et al., 2014).

Les racines stabilisent également le sol et favorisent l'infiltration de l'eau. De leur côté, la litière et les débris végétaux améliorent la porosité du sol et réduisent les pertes de matière, surtout dans les zones de pente (Vennetier et al., 2014).

I.3.5. Rôle dans la stabilité structurale du peuplement

La biomasse forestière donne aussi une idée sur l'état structural du peuplement. Un peuplement riche en biomasse contient généralement des arbres plus développés, avec des diamètres et des hauteurs plus importants (Landmann & Gosselin, 2009).

Cette structure diversifiée rend le peuplement plus stable et plus résistant face aux perturbations. Les gros arbres, le bois mort et les habitats associés participent donc à l'équilibre écologique de la forêt (Landmann & Gosselin, 2009).

I.4. Facteurs influençant la biomasse forestière

La biomasse forestière est influencée par plusieurs facteurs naturels, biologiques et anthropiques qui conditionnent la croissance des arbres et leur capacité à accumuler de la matière organique.

I.4.1. Les facteurs climatiques

La biomasse forestière dépend fortement des conditions climatiques. La température, les précipitations et l'humidité influencent directement la croissance des arbres et la quantité de bois produite. Lorsque le climat est favorable, avec une disponibilité suffisante en eau, la production de biomasse augmente. En revanche, la sécheresse, les fortes chaleurs ou l'irrégularité des pluies peuvent ralentir la croissance forestière et réduire la quantité de biomasse disponible. Le taux d'humidité du bois reste aussi un facteur important, car il influence son rendement énergétique (Rodríguez & Alcoberro, 2019).

I.4.2. Facteurs édaphiques

Les facteurs édaphiques, c'est-à-dire les caractéristiques du sol, jouent un rôle essentiel dans la production de biomasse forestière. La texture du sol, sa profondeur, sa fertilité, sa teneur en matière organique et sa richesse en éléments minéraux influencent l'enracinement des arbres, leur alimentation en eau et leur nutrition. Les sols profonds, fertiles et bien structurés favorisent une meilleure croissance des peuplements forestiers. À l'inverse, les sols pauvres, compactés, superficiels ou sensibles à l'érosion limitent le développement des arbres et diminuent la production de biomasse (Rodríguez & Alcoberro, 2019).

I.4.3. Les facteurs topographiques et stationnels

La biomasse varie aussi selon les caractéristiques du site, notamment l'altitude, l'exposition, la pente, la topographie et la profondeur du sol. Ces facteurs modifient les conditions microclimatiques et hydriques du milieu. Une exposition favorable et une bonne disponibilité en eau peuvent stimuler la croissance, alors qu'une forte pente ou des conditions stationnelles défavorables peuvent la limiter. (Naggar, 2021).

I.4.4. Les facteurs dendrométriques et structuraux

La structure du peuplement influence directement la quantité de biomasse forestière. La densité des arbres, le diamètre, la circonférence, la hauteur et la surface terrière constituent des indicateurs importants du niveau de développement du peuplement. En général, plus les arbres sont développés et plus la surface terrière est élevée, plus la biomasse accumulée est importante. Ces paramètres permettent donc d'évaluer l'état structural de la forêt et son potentiel de production de biomasse (Naggar, 2021).

I.4.5. Les facteurs biologiques

Les facteurs biologiques concernent surtout les caractéristiques propres aux espèces et aux peuplements. L'âge des arbres, la densité du bois, l'espèce dominante, la composition floristique et l'état de développement du peuplement peuvent modifier la quantité de biomasse produite. Certaines essences possèdent un bois plus dense que d'autres, ce qui peut augmenter la biomasse pour un même volume. De même, la présence de jeunes arbres, de végétation accompagnatrice ou d'autres espèces ligneuses peut influencer l'estimation globale de la biomasse forestière (Molto, 2012).

I.4.6. Facteurs sanitaires

L'état sanitaire des arbres constitue aussi un facteur important dans l'évaluation de la biomasse forestière. Les arbres malades, creux, attaqués par des insectes, infectés par des champignons ou soumis au dépérissement présentent souvent une réduction de leur croissance et une perte progressive de matière vivante. La mortalité des arbres diminue la biomasse vivante et augmente la nécromasse, c'est-à-dire la biomasse morte. Ainsi, une forêt en bon état sanitaire conserve une biomasse vivante plus importante, tandis qu'un peuplement dégradé ou affecté par des maladies, des ravageurs ou des stress environnementaux voit sa biomasse diminuer progressivement (Molto, 2012).

I.4.7. Les facteurs sylvicoles et anthropiques

Les activités humaines influencent fortement la biomasse forestière. Les coupes, le pâturage, les incendies, la collecte du bois, l'absence de travaux sylvicoles et les mauvaises pratiques d'exploitation peuvent dégrader la structure du peuplement, perturber la régénération et réduire progressivement la biomasse. Dans les subéraies, ces pressions constituent des facteurs majeurs

de dégradation, notamment lorsque l'exploitation dépasse la capacité de renouvellement du peuplement (Naggar, 2021).

I.5. L'exploitation de la biomasse forestière :

L'exploitation de la biomasse forestière désigne simplement l'utilisation de la matière organique provenant de la forêt, comme le bois, les branches, les résidus de coupe ou encore les écorces.

Elle consiste à récupérer ces éléments, souvent laissés sur place après les interventions forestières, puis à les utiliser soit pour produire de l'énergie, soit comme matières premières. Ce type d'exploitation vise surtout à mieux valoriser les ressources disponibles en forêt, tout en limitant le gaspillage et en réduisant les impacts sur l'environnement (Haddoum et al., 2013).

I.6. Les types d'exploitation de biomasse forestière :

L'exploitation forestière peut être distinguée en trois formes principales :

- l'exploitation matérielle
- l'exploitation énergétique
- l'exploitation des produits forestiers non ligneux.

Chaque forme correspond à un mode d'utilisation particulier des ressources forestières et présente des impacts différents selon l'intensité et les pratiques adoptées, notamment dans les écosystèmes méditerranéens comme celui du Parc national de Theniet El Had.

I.6.1. L'exploitation matérielle :

concerne principalement la production de bois d'œuvre destiné à la construction, au mobilier ou à l'industrie. Elle repose en général sur la coupe

d'arbres matures sélectionnés en fonction de leur qualité. Dans le cas des feuillus comme le chêne-liège, cette exploitation peut être réalisée de manière relativement sélective, alors que pour d'autres essences, elle peut être plus mécanisée. Lorsqu'elle n'est pas bien encadrée, elle peut entraîner une modification de la structure des peuplements et affecter la biodiversité (Laird, 1999).

I.6.2. L'exploitation énergétique

L'exploitation énergétique de la biomasse forestière désigne la valorisation des matières organiques d'origine forestière dans le but de produire de l'énergie, principalement sous forme de chaleur. Elle concerne les produits et sous-produits issus de la forêt ou de la transformation du bois, notamment le bois de chauffage, les plaquettes forestières, les sciures, les chutes de bois, les plaquettes de scierie, les granulés et les briquettes.

L'exploitation énergétique de la biomasse forestière repose sur la collecte des résidus ligneux issus des opérations sylvicoles et de transformation du bois. Après leur préparation, notamment par broyage, séchage et compactage, ces matières sont utilisées comme combustible dans des installations adaptées afin de produire de l'énergie thermique ou électrique (Rodriguez, 2019).

Cette forme d'exploitation repose souvent sur l'utilisation de sous-produits générés lors des opérations de gestion forestière, d'exploitation ou de transformation du bois. Elle permet ainsi de donner une valeur énergétique à des matières ligneuses qui ne sont pas toujours destinées au bois d'œuvre. Elle peut également contribuer à réduire l'usage des combustibles fossiles, à valoriser une ressource locale, à créer des emplois et à soutenir l'activité économique des zones rurales (Rodriguez, 2019).

Cependant, l'exploitation énergétique de la biomasse forestière doit être encadrée par une gestion durable. L'exportation excessive des feuilles et des parties fines de l'arbre doit être évitée, car ces éléments concentrent une grande partie des nutriments nécessaires à l'enrichissement du sol forestier et à la croissance des nouveaux plants. Ainsi, la valorisation énergétique de la biomasse forestière ne doit pas être considérée uniquement comme une source d'énergie renouvelable, mais comme une pratique qui doit rester compatible avec le maintien de la fertilité du sol, la régénération forestière et l'équilibre écologique du peuplement (Rodriguez, 2019).

I.6.3. L'exploitation des produits forestiers non ligneux :

L'exploitation des produits forestiers non ligneux (PFNL) désigne la collecte, l'utilisation, la transformation et la commercialisation des ressources biologiques forestières autres que le bois d'œuvre ou la matière ligneuse destinée à l'industrie. Elle concerne notamment les fruits, graines, feuilles, racines, champignons, plantes médicinales, miel, cire, gommes, résines, écorces et autres produits végétaux ou animaux issus du milieu forestier (Maïdou, 2006).

Cette forme d'exploitation ne repose donc pas principalement sur l'abattage des arbres, mais sur l'utilisation de ressources disponibles dans l'écosystème forestier. Elle peut répondre à des besoins alimentaires, médicaux, artisanaux ou économiques pour les populations locales. Toutefois, lorsqu'elle est excessive ou mal contrôlée, elle peut entraîner la raréfaction de certaines espèces, perturber la régénération naturelle et contribuer à la dégradation des ressources forestières. Elle doit donc concilier les besoins socio-économiques avec la conservation de la biodiversité et le maintien des fonctions écologiques de la forêt (Maïdou, 2006).

I.7. Collecte du bois de chauffage

I.7.1. Définition

La collecte du bois de chauffage désigne l'activité qui consiste à prélever, ramasser, transporter et utiliser du bois d'origine forestière ou arborée afin de répondre à des besoins énergétiques, principalement pour la cuisson des aliments, le chauffage domestique et certaines activités artisanales. Elle peut concerner le bois mort, les branches, les troncs, les fagots ou les morceaux de bois destinés à la consommation directe des ménages ou à la commercialisation.

Dans les régions où les autres sources d'énergie sont peu accessibles ou coûteuses, le bois de chauffage constitue souvent une ressource énergétique essentielle pour les populations. Il est utilisé par les ménages, les restaurateurs, les artisans et d'autres usagers qui dépendent du bois comme combustible quotidien. Cependant, lorsque cette collecte devient fréquente, intensive ou non contrôlée, elle peut exercer une pression importante sur le couvert végétal, réduire les ressources ligneuses, favoriser la disparition de certaines espèces et exposer les sols à l'érosion et à la dégradation (Folefack & Abou, 2009) .

I.7.2. Importance sociale et énergétique du bois de chauffage

Le bois de chauffage constitue une ressource énergétique traditionnelle dans de nombreux milieux ruraux. En Algérie, il conserve une place dans la production forestière nationale, même si les quantités produites varient d'une période à l'autre. Cette ressource reste particulièrement liée aux usages domestiques, notamment le chauffage et certaines activités quotidiennes dépendantes de l'énergie ligneuse.

Tableau 01 : Évolution de la production moyenne annuelle du bois de chauffage en Algérie entre 1965 et 2005 (Haddoum et al., 2013).

Périodes	Bois de chauffage (1000 m ³)
1965–1969	55.24
1970–1974	52.90
1975–1979	31.10
1980–1984	32.15
1985–1989	29.23
1990–1994	58.19
1995–1999	31.10
2000–2005	32.15

Les données du tableau montrent que la production du bois de chauffage en Algérie n'a pas suivi une évolution régulière. Elle était relativement élevée durant les périodes 1965–1969 et 1970–1974, avec respectivement 55,24 et $52,90 \times 10^3 \text{ m}^3$, puis elle a diminué durant les périodes suivantes. Une hausse est observée entre 1990 et 1994, avec $58,19 \times 10^3 \text{ m}^3$, avant un retour à des valeurs proches de $31 \text{ à } 32 \times 10^3 \text{ m}^3$ après cette période. Cette variation indique que le bois de chauffage reste présent dans la production forestière nationale, mais avec une importance variable selon les périodes .

Dans le cas du Parc National de Theniet El Had, cette question prend une importance particulière, car la collecte du bois de chauffage peut exercer une pression sur les peuplements de chêne-liège. Elle peut réduire la biomasse ligneuse disponible, modifier la structure des arbres et diminuer le stock de carbone. L'étude de cette pratique permet donc de mieux comprendre ses effets sur l'état structural et fonctionnel de la subéraie.

I.7.3. Qualité comme biocombustible et application au chêne-liège

Un bois de bonne qualité énergétique associe une valeur calorifique satisfaisante à une faible teneur en humidité, en cendres et en éléments indésirables. Le pouvoir calorifique dépend à la fois de l'état de séchage du bois et de sa composition chimique ; en effet, l'augmentation de la teneur en

eau réduit l'énergie utile dégagée lors de la combustion, tandis qu'une teneur élevée en lignine et en produits extractibles tend généralement à améliorer la valeur énergétique du bois (Doat, 1977). De même, de faibles teneurs en azote, en soufre et en chlore constituent un avantage environnemental, alors qu'une teneur élevée en certains éléments minéraux, comme le potassium, peut favoriser les dépôts et la corrosion lors de la combustion (Telmo et al., 2010).

Dans le cas du chêne-liège (*Quercus suber* L.), l'intérêt énergétique est lié à son usage traditionnel comme bois de feu et pour la production de charbon dans les systèmes méditerranéens et nord-africains (Belghazi et al., s.d.). Les données disponibles indiquent que son pouvoir calorifique inférieur atteint environ 17,6 MJ/kg sur matière sèche, mais diminue à 11,6 MJ/kg lorsque le bois présente 30 % d'humidité, ce qui confirme l'importance du séchage préalable pour améliorer le rendement thermique (Malico et al., 2021). Ainsi, le chêne-liège présente un potentiel énergétique réel, mais sa valorisation comme bois de chauffage doit privilégier les résidus de taille, les branches mortes et les bois issus d'opérations sylvicoles contrôlées, afin d'éviter la dégradation du capital ligneux, la réduction de la production de liège et l'affaiblissement de la régénération naturelle de la subéraie.

Tableau 02 : Aptitude du bois de chêne-liège à l'usage comme bois de chauffage

Source : adapté de (Malico et al., 2021).

èlément	Données \ interprétation
Usage traditionnel	Bois de feu et production de charbon dans les systèmes méditerranéens
PCI à l'état reçu	11,6 MJ kg ⁻¹ (30 % d'humidité)
PCI sur matière sèche	17,6 MJ kg ⁻¹
Effet de l'humidité	Diminue la valeur énergétique

Conclusion	Intérêt pour le chauffage, mais à contrôler

I.8. Les impacts écologiques de la collecte de bois de chauffage en milieu forestier :

La collecte du bois de chauffage est une pratique fréquente dans plusieurs milieux forestiers. Lorsqu'elle reste limitée, elle peut répondre à des besoins énergétiques locaux. Mais lorsqu'elle devient répétée ou non contrôlée, elle peut modifier l'état du peuplement.

Ses effets peuvent toucher la biomasse ligneuse, la régénération naturelle, le sol, la biodiversité et le stockage du carbone. Leur importance dépend surtout de la quantité de bois prélevée, de la fréquence de collecte et de la sensibilité du site.

I.8.1. Impact sur la biomasse ligneuse

La collecte du bois de chauffage agit directement sur la biomasse ligneuse. Elle concerne souvent le bois mort, les branches sèches, les rémanents et parfois les jeunes arbres de faible diamètre (ADEME et al., 2015).

Lorsque les prélèvements sont fréquents, la quantité de bois disponible diminue progressivement. Cela peut appauvrir la structure du peuplement et réduire une partie des ressources utilisées par les espèces liées au bois mort et aux débris ligneux (ADEME et al., 2015).

I.8.2. Impact sur la régénération naturelle

La collecte du bois peut gêner la régénération naturelle, surtout lorsque les jeunes tiges, les rejets ou les éléments situés autour des semis sont touchés, car

les conditions d'installation et de survie des jeunes plants deviennent alors moins favorables. En effet, les résidus ligneux laissés au sol jouent un rôle protecteur en limitant l'exposition des semis au soleil direct, à la sécheresse et aux variations de température ; leur suppression rend donc les jeunes plants plus vulnérables aux contraintes du milieu. De plus, la collecte du bois peut perturber la dispersion des graines, qui sont alors moins bien réparties et atteignent plus difficilement les sites favorables à la germination, ce qui peut réduire le recrutement de nouveaux individus (Chen et al., 2017). Dans le cas du chêne-liège, cet aspect est particulièrement important, car le renouvellement du peuplement dépend fortement de la réussite de la régénération naturelle.

I.8.3. Impact sur le sol:

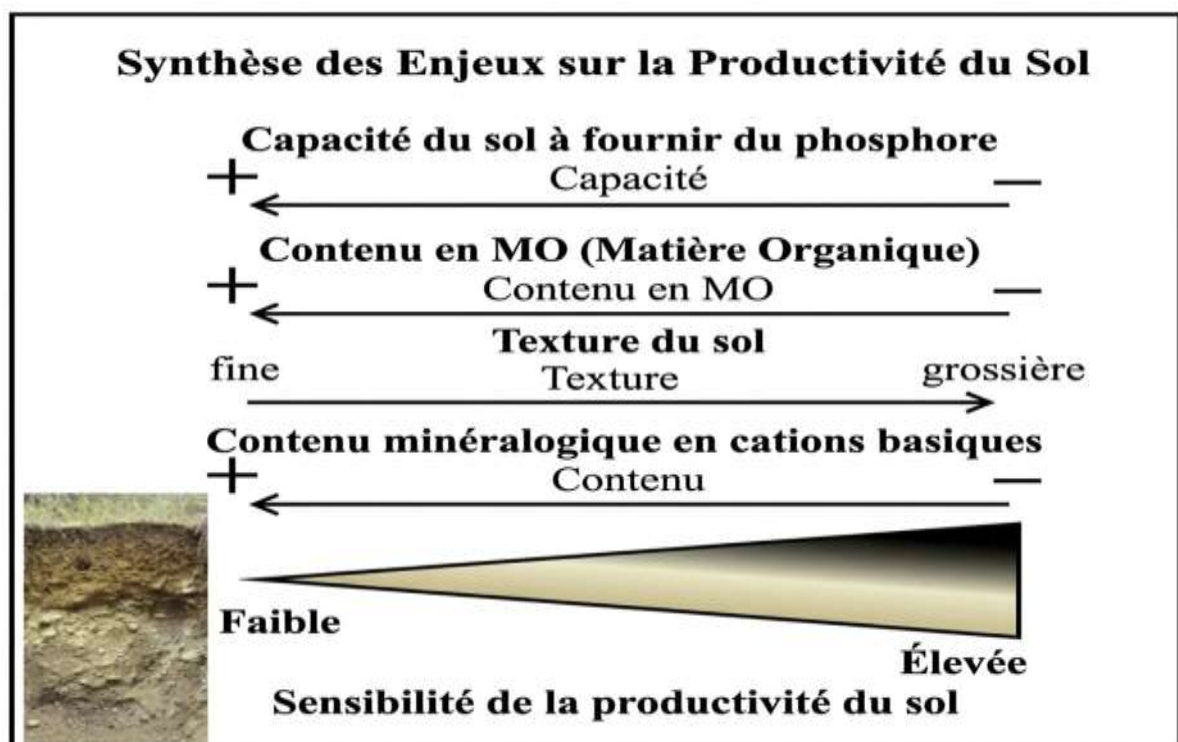


Figure 03 : Sensibilité de la productivité du sol face à la récolte de biomasse forestière (Thiffault et al., 2015).

La collecte répétée du bois peut provoquer une dégradation progressive du sol. Le passage fréquent des personnes, des animaux ou des moyens utilisés pour transporter le bois peut entraîner un compactage du sol. Ce compactage réduit l'infiltration de l'eau et gêne l'aération des racines.

En plus, l'enlèvement du bois mort, des branches et des rémanents diminue l'apport de matière organique. À long terme, cela peut appauvrir le sol, réduire son activité biologique, accentuer le ruissellement et rendre la régénération plus difficile (ADEME, 2022).

I.8.4. Impact sur la biodiversité:

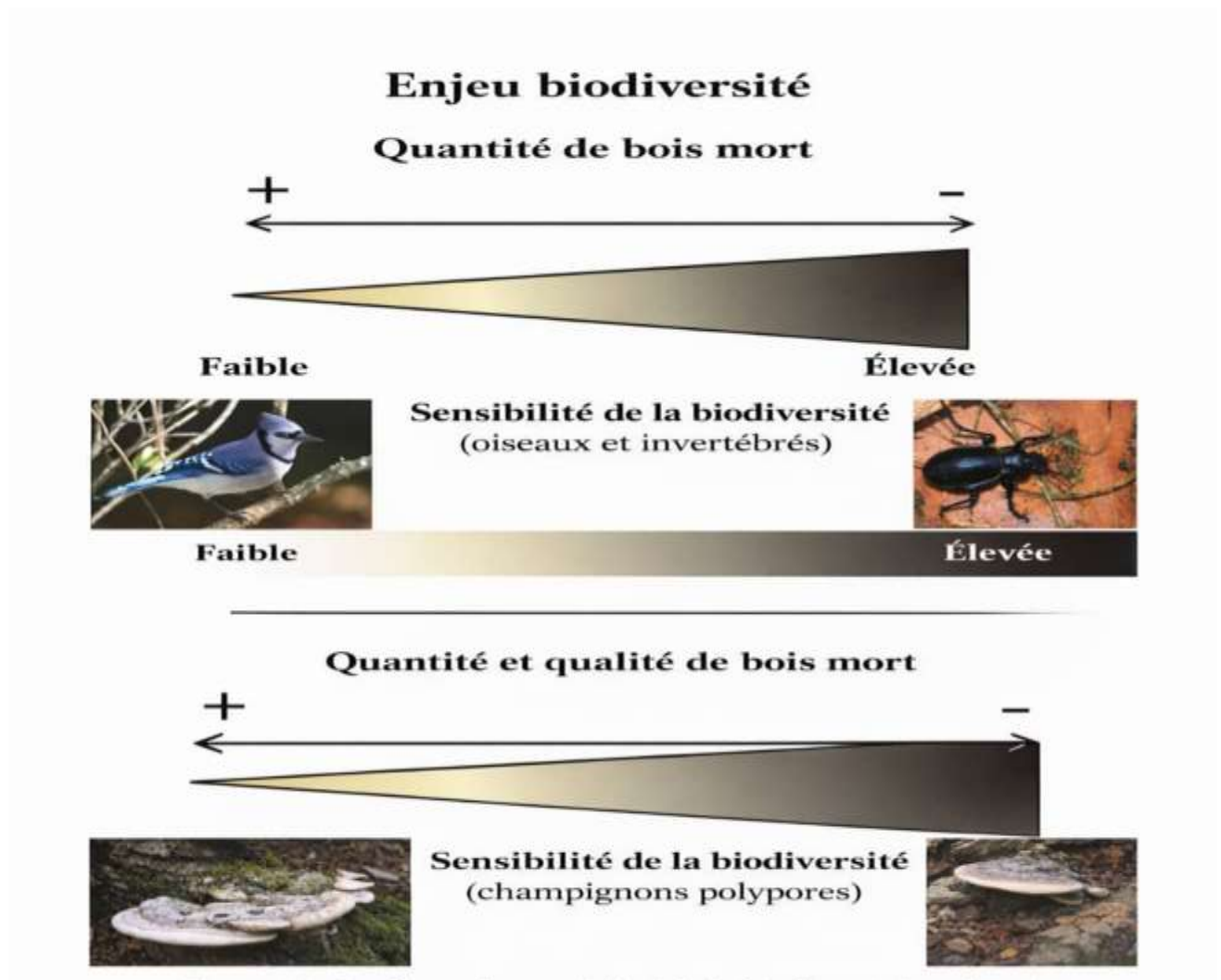


Figure 04 : Relation entre le bois mort et la sensibilité de la biodiversité forestière (Thiffault et al., 2015).

La collecte du bois de chauffage peut aussi toucher la biodiversité, surtout lorsqu'elle réduit fortement le bois mort et les débris ligneux. Ces éléments sont utilisés par plusieurs espèces comme abris, supports de reproduction ou sources de nourriture.

Quand le bois mort devient rare, le nombre de niches écologiques diminue. Cela peut appauvrir la diversité biologique du site, surtout pour les organismes qui dépendent directement du bois mort.

L'effet peut être indirect aussi. La réduction du couvert et des abris peut modifier l'activité de certains petits mammifères, comme les rongeurs impliqués dans la dispersion des graines. Cette perturbation peut ensuite influencer la régénération forestière (Chen et al., 2017).

I.8.5. Impact de la collecte du bois de chauffage sur le stockage du carbone

La collecte répétée du bois de chauffage réduit la biomasse ligneuse disponible. Comme cette biomasse stocke une partie importante du carbone, sa diminution peut entraîner une baisse du carbone stocké dans le peuplement.

Lorsque les prélèvements deviennent intensifs, la forêt perd une partie de sa capacité à jouer son rôle de puits de carbone. Cette baisse peut aussi réduire la stabilité écologique et la capacité de résilience du peuplement (Magnan et al., 2024).

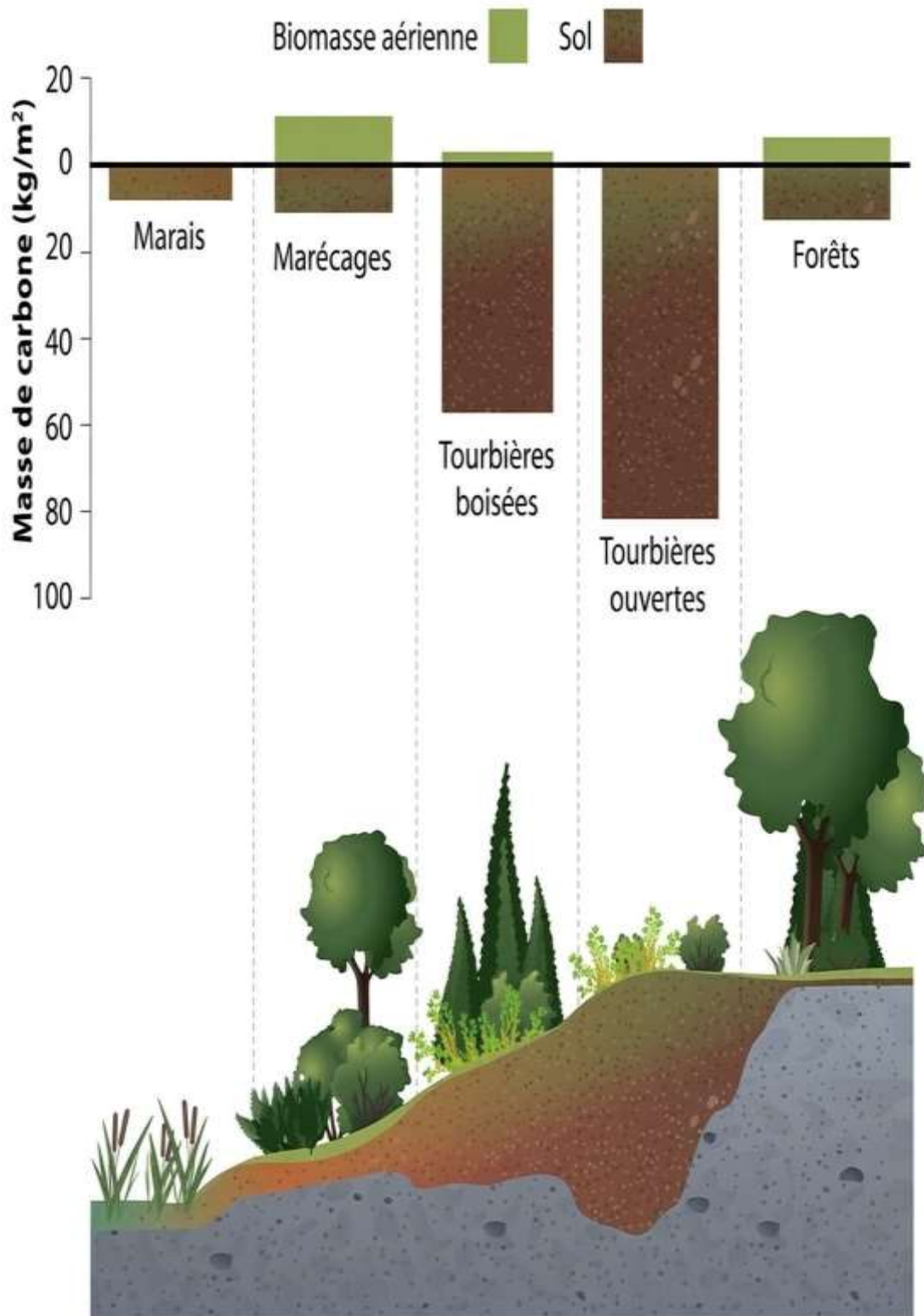


Figure 05 : Répartition du carbone entre le sol et la biomasse aérienne selon les types de milieux (Magnam et al., 2024)

Chapitre II :

Le chêne-liège (*Quercus suber* L.) et sa régénération

II.1. Généralités sur le chêne-liège:

Le chêne-liège (*Quercus suber* L.) est une essence forestière méditerranéenne appartenant à la famille des Fagaceae. Il constitue l'espèce caractéristique des subéraies de la Méditerranée occidentale et occupe une place importante en Algérie, notamment dans les formations forestières du Nord. Cette essence présente une valeur écologique, économique et sociale remarquable, liée à son rôle dans la protection des sols, le maintien de la biodiversité et la production du liège. Cependant, les peuplements de chêne-liège restent sensibles aux perturbations naturelles et anthropiques, ce qui rend l'étude de leur état, de leur régénération et de leur conservation particulièrement importante (Adouane, 2019).

II.2. Taxonomie de *Quercus suber* L:

Nom scientifique : *Quercus suber* L.

Règne : Plantae

Sous-règne : Tracheobionta

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous-classe : Hamamelidae

Ordre : Fagales

Famille : Fagaceae

Sous-famille : Quercineae ou Quercoidées

Genre : *Quercus*

Espèce : suber L.

D'après (Benseghir,2002, cité par Adouane, 2008), le chêne-liège est connu en Algérie sous plusieurs noms vernaculaires, qui varient selon les régions :

El Feline : cette appellation serait probablement d'origine grecque, liée au terme Phellodrus ou Phellos, qui signifie liège.

Akhname : nom utilisé pour désigner le liège dans la région de la Petite Kabylie.

Aqchour : appellation employée dans la région de la Grande Kabylie.

Fernane : nom donné au chêne-liège dans l'Est du pays (Chaabna Bouzitoune, 2012).

II.3. Description botanique:

Tableau 03 : Caractéristiques botaniques et écologiques du chêne-liège (Lamey, 1893).

élément	description	élément	description
Origine et exigences écologiques	Espèce feuillue, heliophile et thermophile, d'origine méditerranéenne.	Appareil reproducteur	Espèce monoïque. La fructification débute vers 15 ans et devient abondante à partir de 30 à 35 ans
Port général	Arbre trapu, de Moyenne grandeur ,atteignant généralement 10 a 12m de hauteur , et pouvant exceptionnellement atteindre 20 a 22m	Floraison et fécondation	La floraison a lieu de la mi-avril à mai, tandis que la fécondation se produit généralement à la fin du mois d'août. Une seconde floraison peut parfois apparaître après des pluies précoces de fin d'été.
Tronc et houppier	Tronc généralement court, se ramifiant souvent à moins de 2 m du sol. Chez les sujets isolés, le houppier tend à s'étaler en largeur .	Fruit	Le fruit est un gland amer, mûrissant généralement entre la fin septembre et le mois d'octobre.

peuplements	Peut constituer des peuplements purs ou être associé à d'autres essences, notamment des chênes caducifoliés et sempervirents, ainsi que des pins et autres conifères	Cycle reproducteur	Le cycle peut devenir biennuel lorsque les conditions climatiques, notamment le froid, retardent le débourrement, la floraison et la pollinisation.
Système racinaire	Le chêne-liège est fortement enraciné. Il développe un pivot long et profond, accompagné de vigoureuses racines latérales assurant une bonne résistance aux vents.	écorce	L'écorce naturelle, appelée liège mâle, est épaisse, crevassée et subéreuse. Son épaisseur moyenne est d'environ 3 cm, mais elle peut augmenter avec l'âge de l'arbre.
Croissance initiale	Durant les premières années, le développement est surtout souterrain, la racine se développant davantage que la partie aérienne. La croissance de la tige devient plus marquée à partir de 15 à 20 ans.	longévité	La longévité moyenne est estimée à environ 150 ans, mais elle varie selon les conditions écologiques et le degré d'exploitation. Chez les arbres non exploités, elle peut atteindre 200 à 250 ans.
feuilles	Feuilles petites, coriaces, dentées, persistantes, blanchâtres et tomenteuses sur la face inférieure. Elles vivent plus d'une année et tombent progressivement au cours de la deuxième année.	variabilité	Le chêne-liège présente une forte variabilité morphologique et botanique, ce qui justifie sa qualification d'espèce polymorphe. Des formes régionales distinctes sont signalées selon les zones géographiques.
Sensibilité du feuillage	Le feuillage peut être affecté par une levée excessive du liège, le dépérissement ou certaines attaques parasitaires.	densité de bois	La densité du bois varie de 0,803 à 1,029, supérieure à celle des chênes rouvre et pédonculé, mais inférieure à celle du chêne yeuse.

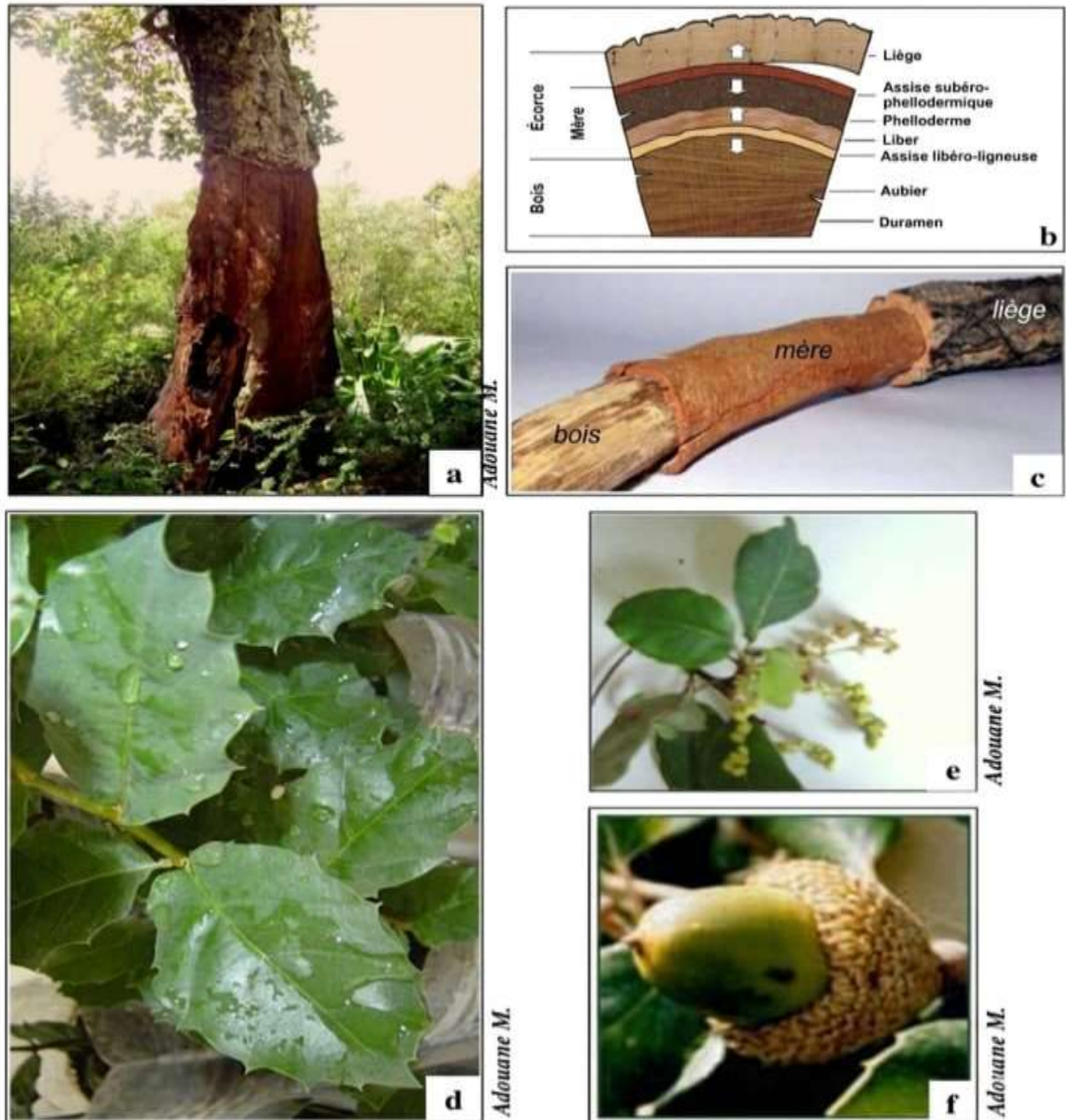


Figure 06 : Caractères botaniques du chêne-liège (*Quercus suber* L.) :

a) Écorce du chêne-liège ;b) Coupe transversale d'une tige ;c) Structure des couches entourant le bois ;d) Feuilles du chêne-liège ;e) Chatons mâles ;f) Jeune gland.

(d'Adouane, 2019).

II.4. Aire de répartition du chêne-liège :

Le chêne-liège (*Quercus suber* L.) est une essence caractéristique du bassin méditerranéen occidental. Son aire naturelle de répartition reste relativement limitée et concerne principalement les régions soumises à l'influence méditerranéenne et atlantique. Sa présence varie selon les pays, les conditions du milieu et l'état de conservation des peuplements.

II.4. 1.À l'échelle mondiale:

À l'échelle mondiale, le chêne-liège est surtout présent dans la partie occidentale du bassin méditerranéen. Son aire naturelle couvre principalement le Portugal, l'Espagne, le Maroc, le nord de l'Algérie et la Tunisie. Il est également présent, mais sur des superficies plus limitées, dans le sud de la France, en Italie et dans certaines îles méditerranéennes comme la Sicile, la Corse et la Sardaigne. Les estimations disponibles montrent que les superficies occupées par le chêne-liège varient selon les pays et les périodes d'évaluation. Toutefois, les pays les plus représentés restent le Portugal, l'Espagne, l'Algérie et le Maroc, qui regroupent une grande partie des subéraies méditerranéennes. D'après les données rapportées par (Kholkhal, 2022) et (Rakem, 2023), la superficie totale occupée par le chêne-liège dans la région méditerranéenne était estimée à environ 2 277 700 ha en 2008.

Tableau 04: Estimations de la superficie occupée par le chêne-liège dans la région méditerranéenne .

Pays	1931	1937	1958	1977	1989	2008
Portugal	555 555	600 000	700 000	676 000	650 000	736 700
Espagne	540 000	340 000	530 000	500 000	500 000	506 000
Algérie	440 000	440 000	475 000	480 000	480 000	414 000
Maroc	300 000	300 000	375 000	400 000	350 000	345 000
Tunisie	134 000	140 000	145 000	99 000	100 000	92 000
Italie	75 000	75 000	104 000	100 000	100 000	92 000
France	159 000	150 000	127 000	100 000	100 000	92 000
Total	2 207 555	2 045 000	2 456 000	2 355 000	2 280 000	2 277 700

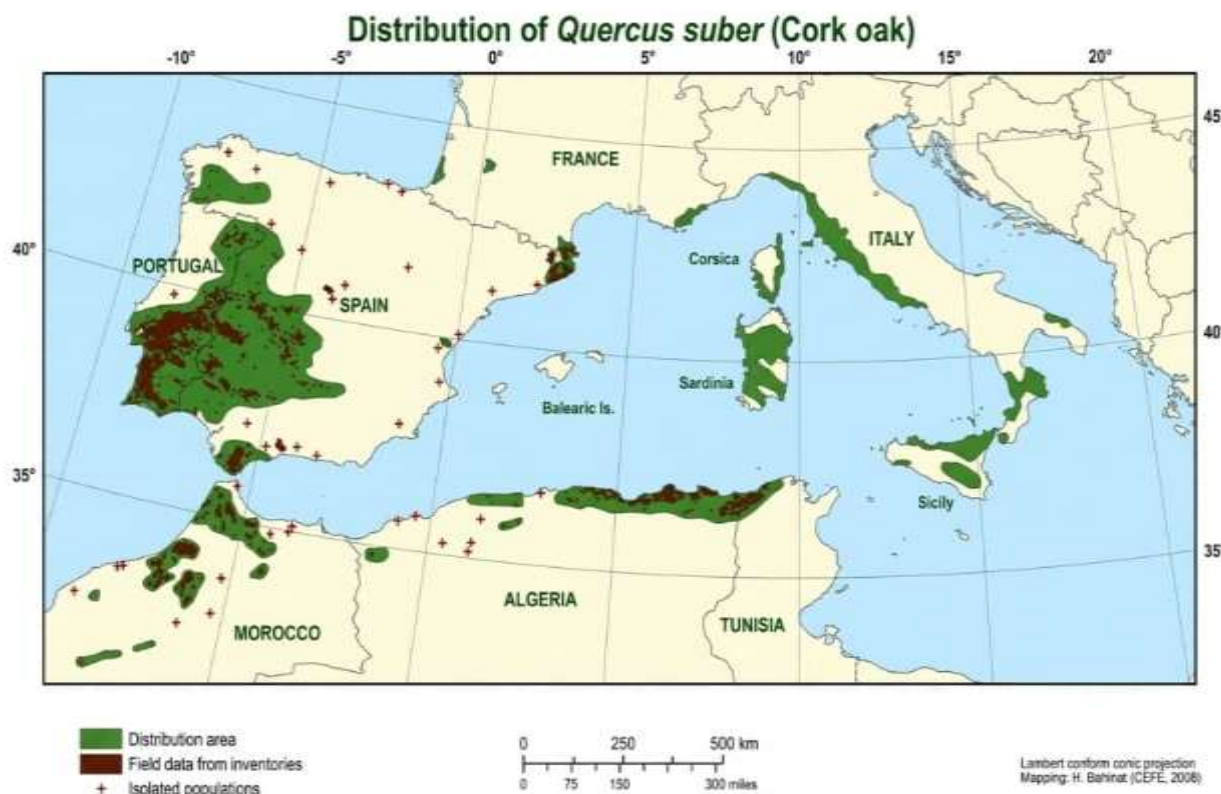


Figure 07 : Répartition géographique mondiale du chêne-liège (*Quercus suber* L.) dans le bassin méditerranéen (FAO, 2013).

II.4. 2. Répartition géographique du chêne-liège en Algérie:

En Algérie, le chêne-liège occupe principalement les régions du Nord, surtout dans les zones humides et subhumides. Les peuplements les plus étendus se concentrent dans la partie orientale du pays, notamment dans les wilayas de Bejaïa, Jijel, Skikda, Annaba et El Taref. Cette partie regroupe l'essentiel des subéraies algériennes et constitue le principal domaine de développement de l'espèce.

Dans le Centre, le chêne-liège est également signalé dans plusieurs régions comme Chlef, Tipaza, Boumerdès, Blida, Bouira, Tizi Ouzou, Médéa et Tissemsilt. Dans l'Ouest algérien, sa présence devient plus limitée et se présente souvent sous forme d'îlots ou de peuplements fragmentés, notamment

à Tlemcen, Mascara, Tiaret, Relizane et dans certaines zones littorales proches d'Oran.

La subéraie algérienne couvre environ 440 000 ha, mais seule une partie de cette superficie est considérée comme productive. Selon Lalaoui (2000), la proportion productive est estimée à environ 52 %. Les principales subéraies algériennes se localisent donc surtout dans les zones humides et subhumides du Nord, depuis l'Algérois jusqu'à la frontière tunisienne, avec une extension altitudinale qui peut atteindre environ 1 200 m dans plusieurs stations (Zeraia, 1981, Ferkhi, 2022).



Figure 08 : Répartition des subéraies en Algérie (Abbas, 2013).

II.5. Exigences écologiques :

Le chêne-liège est une essence exigeante sur le plan écologique. Son développement dépend de plusieurs facteurs, notamment la lumière, la température, les précipitations, l'humidité atmosphérique et la nature du sol. C'est une espèce héliophile, qui supporte mal l'ombrage prolongé, surtout durant les phases de croissance.

Sur le plan climatique, le chêne-liège se développe généralement dans les régions méditerranéennes tempérées, humides à subhumides. Il préfère des températures moyennes relativement douces, autour de 16 à 17 °C, et une pluviométrie annuelle généralement supérieure à 600 mm. Il nécessite aussi une humidité atmosphérique assez élevée, notamment pendant la saison sèche, ce qui explique sa présence fréquente dans les régions littorales ou influencées par l'humidité maritime.

En Algérie, son extension altitudinale est souvent limitée à environ 1 200 m. Toutefois, dans certaines stations particulières, il peut atteindre 1 300 à 1 400 m, et exceptionnellement 1 600 m, comme dans le cas de la subéraie de Theniet El Had. Cette situation montre que l'espèce peut s'adapter à certaines conditions stationnelles particulières, même lorsqu'elle s'éloigne de son optimum écologique.

Sur le plan édaphique, le chêne-liège est une essence calcifuge. Il évite les sols calcaires, surtout lorsque le calcaire est actif ou assimilable. Il supporte également mal les sols salés, les argiles compactes et les terrains imperméables favorisant l'engorgement. En revanche, il se développe mieux sur des sols siliceux, meubles, bien drainés, relativement profonds et frais.

la répartition du chêne-liège dépend de la combinaison entre les conditions climatiques et les propriétés du sol. Cette essence constitue donc un bon indicateur des milieux méditerranéens humides à subhumides, non calcaires et relativement tempérés (Saccardy, 1938).

II.6. La régénération du chêne-liège:

Le chêne liège, comme toutes les essences feuillues, se multiplie par régénération naturelle ou artificielle. Dans les conditions écologiques optimales, le chêne-liège témoigne d'un tempérament robuste, résistant aux

dégradations auxquelles il est soumis, continuant à se perpétuer par régénération naturelle, semis et surtout par rejets à la suite de l'intervention de l'homme ou du feu. Par contre, dans les conditions moins favorables il est menacé d'éviction par d'autres essences à tempérament plus vigoureux notamment: chêne zéen, chêne vert, pin maritime.

II.6.1 .Différentes formes de régénération:

II.6.1.1. Le processus de régénération naturelle du chêne-liège:

La régénération naturelle du chêne-liège repose sur la germination des glands produits par les arbres adultes vigoureux. Lorsque les glands sont bien conservés et que les conditions du milieu sont favorables, leur taux de germination peut dépasser 80 %, ce qui permet l'installation de régénérations naturelles parfois denses, notamment durant les années à pluviométrie normale et dans les peuplements soumis à un pâturage contrôlé. Ce processus exige toutefois la présence d'un nombre suffisant d'arbres-mères bien répartis dans l'espace, en bon état sanitaire et capables de produire une glandée significative, afin d'assurer à la fois la régénération et une diversité génétique satisfaisante. Après leur germination in situ, les glands donnent naissance à de jeunes plants qui développent prioritairement un système racinaire profond, au détriment de la partie aérienne, ce qui constitue une adaptation physiologique essentielle à la sécheresse estivale. La régénération naturelle présente ainsi plusieurs avantages, notamment un faible coût d'investissement, l'absence de perturbation du sol et une meilleure adaptation locale des nouveaux peuplements, issus d'arbres déjà adaptés à la station. Néanmoins, son succès reste irrégulier car il dépend des années de bonne fructification, de la qualité sanitaire des arbres-mères, de la densité du peuplement, ainsi que de la maîtrise des contraintes écologiques et biotiques, telles que la sécheresse, la surcharge en bétail, la mauvaise gestion du pâturage et la prédation des glands par la faune

sauvage. Lorsque ces conditions ne sont pas réunies, la régénération naturelle devient insuffisante ou hétérogène, ce qui peut conduire à compléter le renouvellement par semis direct ou par plantation dans les clairières.

(Varela & Piazzetta, 2014)

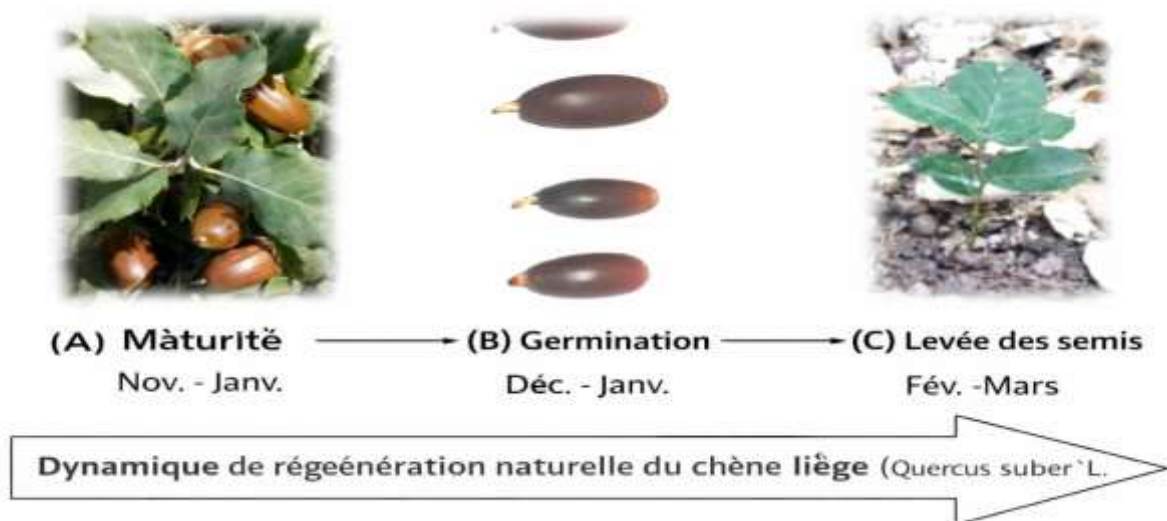


Figure 09 : Dynamique de la régénération naturelle du chêne-liège (*Quercus suber* L.) par semis (Kadri, 2017).

En plus de la régénération naturelle, le chêne-liège peut se régénérer selon d'autres modes, notamment par semis direct, par plantation, par rejets ou par régénération assistée. Ces modes sont résumés dans le tableau suivant (Ritsche et al., 2021).

Tableau 05: Principaux modes de régénération du chêne-liège

Mode de régénération	Principe	Conditions de réussite
Régénération naturelle par semis	Germination spontanée des glands tombés au sol.	Disponibilité des glands, humidité suffisante, sol favorable, protection contre le pâturage et la prédation.
Régénération artificielle par semis direct	Introduction volontaire de glands dans le sol.	Glands sains et mûrs, bonne période de semis, préparation du sol, protection contre les animaux.
Régénération artificielle par plantation	Plantation de jeunes plants produits en pépinière.	Plants vigoureux, sol préparé, arrosage éventuel, mise en défens des parcelles.

Régénération végétative par rejets	Reprise à partir de rejets de souche ou de collet.	Souches vivantes, bonne vigueur des arbres, absence de perturbations répétées.
Régénération assistée	Protection et accompagnement des semis naturels existants.	Mise en défens, réduction du pâturage, contrôle de la concurrence végétale.

Ainsi, la régénération naturelle par semis reste le mode le plus important sur le plan écologique, car elle assure le renouvellement spontané et la diversité génétique du peuplement. Les autres modes peuvent être utiles dans les situations de dégradation, mais ils nécessitent souvent une intervention humaine ou dépendent de la vigueur des souches existantes.

II.7. Facteurs influençant la régénération naturelle du chêne-liège:

Le tableau ci-dessous résume les principaux facteurs qui influencent la régénération naturelle du chêne-liège, depuis la production des glands jusqu'à l'installation et la survie des jeunes semis.

Tableau 06: Facteurs influençant la régénération naturelle du chêne-liège établi à partir de (Belkhodja, 2015).

Catégorie de facteurs	Facteur	Effet sur la régénération naturelle
Facteurs physiologiques	Fructification	Détermine la quantité de glands disponible dans le milieu. Une glandée abondante augmente les possibilités de renouvellement, alors qu'une faible fructification limite l'installation de nouveaux semis.
	Qualité des glands	Les glands sains, bien formés et riches en réserves présentent une meilleure aptitude à germer. Les glands immatures, desséchés ou altérés réduisent le taux de germination.
	Maturité physiologique	La germination exige des glands physiologiquement mûrs. Une semence peut paraître développée sans avoir achevé son développement interne et sans être apte à germer.
	Germination	Elle dépend de l'état interne du gland, de l'humidité, de la température et de l'aération du sol. Une germination rapide favorise l'installation des semis avant la sécheresse estivale.
Facteurs édaphiques	Nature du sol	Le chêne-liège préfère des sols acides, siliceux ou sablo-argileux, meubles et bien structurés. Les sols lourds, compacts ou asphyxiants limitent l'installation des jeunes plants.
	Calcaire actif	Le chêne-liège est une essence calcifuge. La présence de calcaire actif est défavorable, car elle perturbe le développement des jeunes semis et leur adaptation.
	Drainage	Un bon drainage assure l'aération des racines et limite l'engorgement. Un drainage insuffisant provoque l'asphyxie racinaire et compromet la survie des jeunes plants.

	Horizon organique	Un horizon organique bien conservé maintient l'humidité, enrichit le sol en matière organique et protège les jeunes racines. Sa disparition réduit les chances de régénération.
	Pénétration racinaire	La réussite des semis dépend de la capacité de la racine pivotante à pénétrer profondément. Les sols meubles favorisent l'accès aux réserves hydriques, alors que les horizons compacts l'entravent.
Facteurs climatiques	Température	Les températures modérées favorisent la germination. Le froid excessif ralentit le développement des glands, tandis que les fortes chaleurs associées au déficit hydrique fragilisent les semis.
	Lumière	Le chêne-liège est héliophile. Une lumière suffisante favorise la croissance des jeunes semis, alors qu'un couvert trop dense réduit leur vigueur et leur survie.
	Pluviométrie	L'eau disponible pendant la germination et les premiers mois de croissance est déterminante. Les années humides favorisent l'installation des semis, contrairement aux années sèches.
	Sécheresse	La sécheresse estivale est l'un des principaux freins à la régénération. Les jeunes semis peuvent se dessécher avant que leur système racinaire n'atteigne les horizons profonds.
Facteurs biotiques et anthropiques	Pâturage	Le pâturage agit par broutement des jeunes semis, piétinement du sol et parfois consommation des glands. Une pression pastorale excessive bloque le renouvellement du peuplement.
	Prédateurs des glands	Les rongeurs, les oiseaux et d'autres consommateurs peuvent réduire le stock de glands disponibles, surtout lors des années de faible fructification.
	Incendies	Les incendies détruisent les semis, altèrent le sol et perturbent le peuplement. Malgré la possibilité de rejets de souche, les feux répétés restent défavorables à la régénération par semis.
	Action humaine	Les coupes illicites, le défrichement, le ramassage des glands, l'exploitation excessive et l'absence de protection réduisent les possibilités de régénération naturelle.
	Érosion	L'érosion entraîne la perte de l'horizon superficiel fertile, réduit la réserve en eau, expose les racines et diminue la capacité du sol à accueillir les semis.

En somme, la régénération naturelle du chêne-liège dépend de l'interaction entre la qualité des glands, les propriétés du sol, les conditions climatiques et le niveau de perturbation biotique ou anthropique. Toute dégradation de l'un de ces éléments peut réduire l'installation des semis et compromettre le renouvellement du peuplement.

II.8. Importance économique, sociale et écologique :

II.8.1. Importance écologique du chêne-liège:

Le chêne-liège est une espèce importante dans les forêts méditerranéennes. Il forme des peuplements qui participent à la protection du

milieu naturel. Ces forêts abritent plusieurs espèces végétales et animales, ce qui leur donne un rôle dans le maintien de la biodiversité. Elles contribuent aussi à protéger le sol contre l'érosion, surtout dans les zones en pente ou les terrains fragiles.

La présence du chêne-liège aide également à garder une certaine humidité dans le milieu forestier et à réduire les effets de la chaleur. Son couvert végétal limite l'exposition directe du sol au soleil et au ruissellement. De cette manière, la subéraie participe à l'équilibre écologique du milieu.

L'écorce du chêne-liège représente aussi une particularité importante. Elle est épaisse et protège l'arbre contre plusieurs facteurs extérieurs. Le liège joue surtout un rôle de protection contre le feu, car il agit comme une couche isolante. Lors d'un incendie, cette écorce peut empêcher le feu d'atteindre les tissus vivants de l'arbre. C'est pour cela que le chêne-liège peut parfois reprendre sa croissance après le passage du feu, contrairement à d'autres espèces plus sensibles. Cette capacité explique en partie son adaptation aux conditions méditerranéennes (Boudab & Dellouche, 2014).

II.8.2. Importance économique du chêne-liège

Le chêne-liège a aussi une importance économique connue. Son produit principal est le liège, qui est prélevé à partir de l'écorce. Ce liège est utilisé dans plusieurs domaines, surtout pour la fabrication des bouchons, des panneaux, des matériaux d'isolation, des revêtements et de certains objets de décoration.

Le bois du chêne-liège peut également être utilisé. Il sert parfois comme bois d'œuvre, mais il est surtout valorisé comme bois de chauffage ou pour la production de charbon. Cette utilisation est liée à son pouvoir calorifique.

L'écorce peut aussi être exploitée pour les tanins, utilisés dans certaines activités comme le tannage.

Les glands ont également une valeur, notamment pour l'alimentation du bétail dans certaines régions. Les feuilles, après leur chute, participent à la formation de la litière et peuvent enrichir le sol en matière organique. Ainsi, le chêne-liège ne fournit pas seulement du liège, mais aussi plusieurs produits utiles pour les populations locales (Boudab & Dellouche, 2014).

II.8.3. Importance sociale du chêne-liège

Le chêne-liège présente une importance sociale liée aux relations anciennes entre les populations locales et les subéraies. Ces peuplements ne fournissent pas seulement du liège, mais aussi plusieurs ressources utiles dans la vie quotidienne, comme le bois de chauffage, le charbon, les glands utilisés pour l'alimentation du bétail, ainsi que certains produits issus de l'écorce. Cette diversité d'usages montre que le chêne-liège participe, directement ou indirectement, aux besoins des populations riveraines, surtout dans les zones rurales où les ressources forestières gardent une valeur pratique importante.

Sur le plan local, la subéraie peut également soutenir certaines activités économiques traditionnelles liées à la récolte du liège, à sa transformation et à la valorisation de ses produits. La gestion durable des subéraies vise d'ailleurs à maintenir leurs avantages sociaux, écologiques et environnementaux, tout en améliorant la qualité et la quantité de la production de liège. Ainsi, le chêne-liège possède une valeur sociale parce qu'il contribue aux usages locaux, aux activités rurales et au lien entre les populations et leur milieu forestier (Birem, 2020).

II.9.Synthèse

Le chêne-liège (*Quercus suber* L.) est une essence méditerranéenne à la fois exigeante et remarquablement adaptée. En Algérie, les quelque 414 000 ha de subéraies représentent un patrimoine forestier majeur, dont la subéraie de Theniet El Had constitue un cas singulier par son altitude exceptionnelle, aux limites de l'optimum écologique de l'espèce.

Sur le plan biologique, le chêne-liège dispose de mécanismes d'adaptation efficaces : développement racinaire prioritaire, écorce subéreuse protectrice contre le feu et capacité de régénération végétative par rejets. Cependant, la régénération naturelle par semis, la plus importante pour le renouvellement génétique du peuplement reste tributaire d'une combinaison fragile de conditions favorables. Lorsque celles-ci sont perturbées de façon répétée, la reconstitution du peuplement devient difficile sans intervention humaine.

C'est dans ce contexte que s'inscrit la problématique de la collecte du bois de chauffage. En perturbant simultanément la structure du peuplement, la qualité du sol et les conditions d'installation des semis, cette pression peut fragiliser durablement la régénération naturelle du chêne-liège.

La présente étude cherche à quantifier cet impact à travers une comparaison rigoureuse entre zones exploitées et zones non exploitées au sein du Parc National de Theniet El Had.

CHAPITRE III:

Présentation de la zone d'étude

III .1. Présentation générale du Parc National de Theniet-El-Had:

Le Parc National de Theniet El Had est situé dans la wilaya de Tissemsilt. Il a été classé comme parc national par le décret présidentiel n°83/459 du 23 juillet 1983. Il couvre une superficie totale d'environ 3 424 ha, dont 2 978,88 ha de superficie boisée et 445,12 ha de superficie non boisée. Le parc appartient aux étages bioclimatiques humide à hiver froid et subhumide à hiver froid. Il présente une richesse naturelle remarquable, avec environ 606 espèces floristiques, 488 espèces faunistiques ainsi que cinq zones humides. Il se distingue notamment par la présence du cèdre de l'Atlas, d'une cédraie remarquable, de cèdres millénaires et du chêne-liège, observé à plus de 1 400 m d'altitude. Le parc possède également une importante valeur patrimoniale grâce à la présence d'écritures libyques datant de plus de 800 ans. Il joue ainsi un rôle essentiel dans la conservation de la biodiversité, la protection des paysages forestiers et la sensibilisation environnementale (Naggar, 2021).

III.2. Historique

L'histoire du Parc National de Theniet El Had est marquée par plusieurs étapes. Avant son classement actuel, la forêt domaniale des cèdres a connu de nombreuses perturbations naturelles et humaines entre 1843 et 1920, notamment les incendies de 1891, 1902, 1903 et 1905, ainsi qu'une exploitation forestière importante, contribuant à la dégradation progressive du massif forestier. Face à cette situation, un premier classement a été établi le 3 août 1923, par arrêté gouvernemental, sur une superficie de 1 563 ha à l'intérieur de la forêt domaniale des cèdres, afin de protéger la cédraie reconnue pour sa valeur paysagère, écologique et forestière. Durant la période coloniale et la guerre de libération, certaines parties difficilement accessibles du massif ont également subi des perturbations, notamment des bombardements. Après l'indépendance, une étude réalisée en 1983–1984 a permis de retenir une

superficie d'environ 3 425 ha pour le classement du site. C'est ainsi que la cédraie de Theniet El Had a été à nouveau classée comme parc national par le décret présidentiel n°83/459 du 23 juillet 1983. Cette nouvelle classification a renforcé la protection du site et confirmé son importance en tant qu'espace naturel représentatif des écosystèmes forestiers montagnards de l'Ouarsenis (Ait Abdelkader & Guelib, 2021).

III.3. Localisation géographique

Le Parc National de Theniet El Had constitue l'aire d'étude. Il se situe dans la partie nord de l'Ouarsenis, entre les monts de Beni Chograne à l'ouest, les monts de Titteri à l'est, la vallée du Chelif au nord et les plaines du Sersou au sud. Il s'étend principalement sur les versants du Djebel El Meddad, où le cèdre occupe près du tiers de la superficie totale du parc. Le parc se trouve à environ 52 km du chef-lieu de la wilaya de Tissemsilt, à près de 1,8 km du centre de la daïra de Theniet El Had et à environ 180 km au sud-ouest d'Alger. Il appartient administrativement à la wilaya de Tissemsilt et s'étend sur les communes de Theniet El Had et de Sidi Boutouchent. Sur le plan géographique, le parc est localisé entre 35°54'04'' et 35°49'41'' de latitude Nord, et entre 02°02'04'' et 01°52'45'' de longitude Est. Son altitude varie entre environ 853 m et 1 787 m. Le point culminant correspond au point géodésique « Ras El Braret », tandis que l'altitude moyenne est estimée à environ 1 320 m. Du point de vue de l'administration forestière, le parc dépend de la Conservation des forêts de Tissemsilt, de la circonscription de Theniet El Had et du district de Theniet El Had (Meziane, 2017).

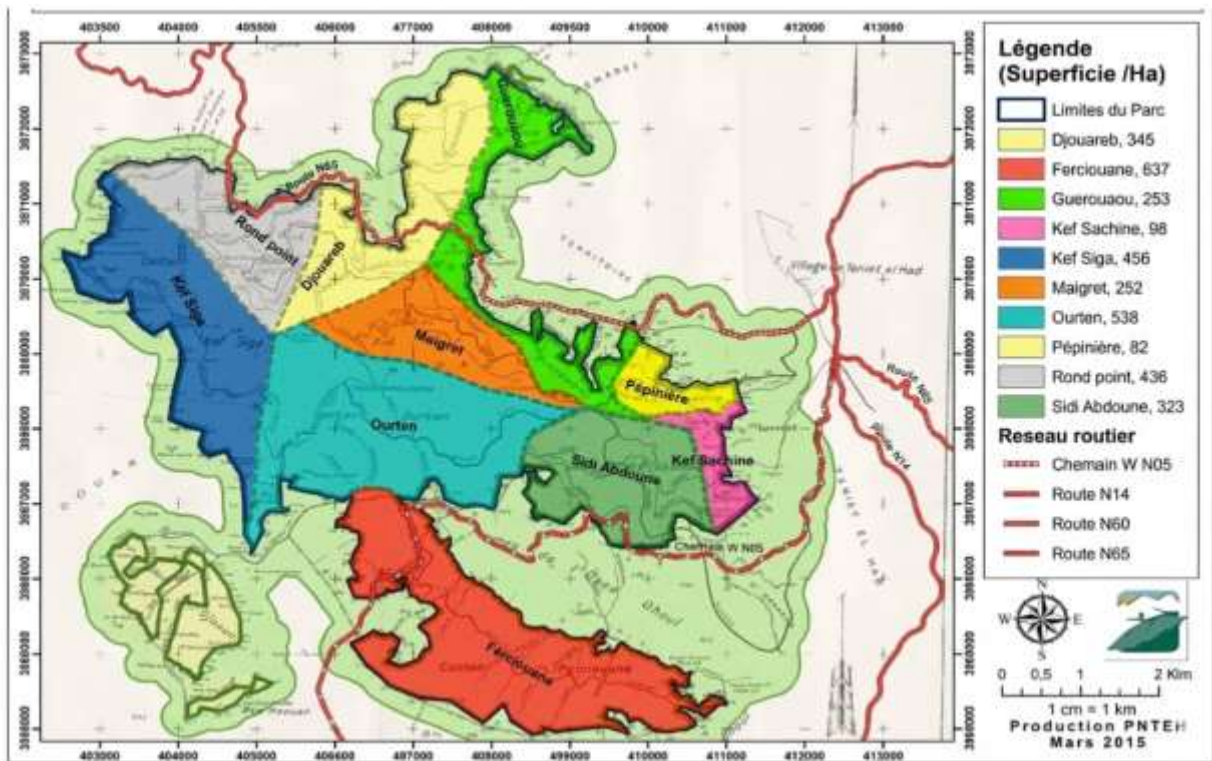


Figure 10 : Localisation géographique du Parc National de Theniet-El-Had et limites cantons(THNP, 2018)

III .4. Zonage du parc:

Le Parc National de Theniet-El-Had est réparti en quatre zones principales selon le zonage établi par le P.N.T.E.H. (2014). Ce découpage permet de distinguer des espaces ayant des caractéristiques écologiques et des niveaux de protection différents.

Classe I : appelée réserve intégrale, elle couvre une superficie de 407 ha. Elle se situe dans la partie centrale et supérieure du versant nord. Cette zone est généralement occupée par des peuplements purs de cèdre de l'Atlas ou par des peuplements mixtes associant le cèdre à différentes espèces de chênes.

Classe II : appelée zone primitive ou de faible croissance, elle s'étend sur 558 ha. Elle est le plus souvent constituée de peuplements où le cèdre se trouve

en mélange avec plusieurs espèces de chênes, notamment le chêne vert, le chêne zéen et le chêne-liège.

Classe III : appelée zone tampon, elle représente la plus grande partie du parc avec une superficie de 2368 ha. Cette zone assure une transition entre les secteurs les plus protégés et les zones plus ouvertes du parc.

Classe VI : appelée zone à forte croissance, elle couvre une superficie de 92 ha et correspond essentiellement aux grandes clairières

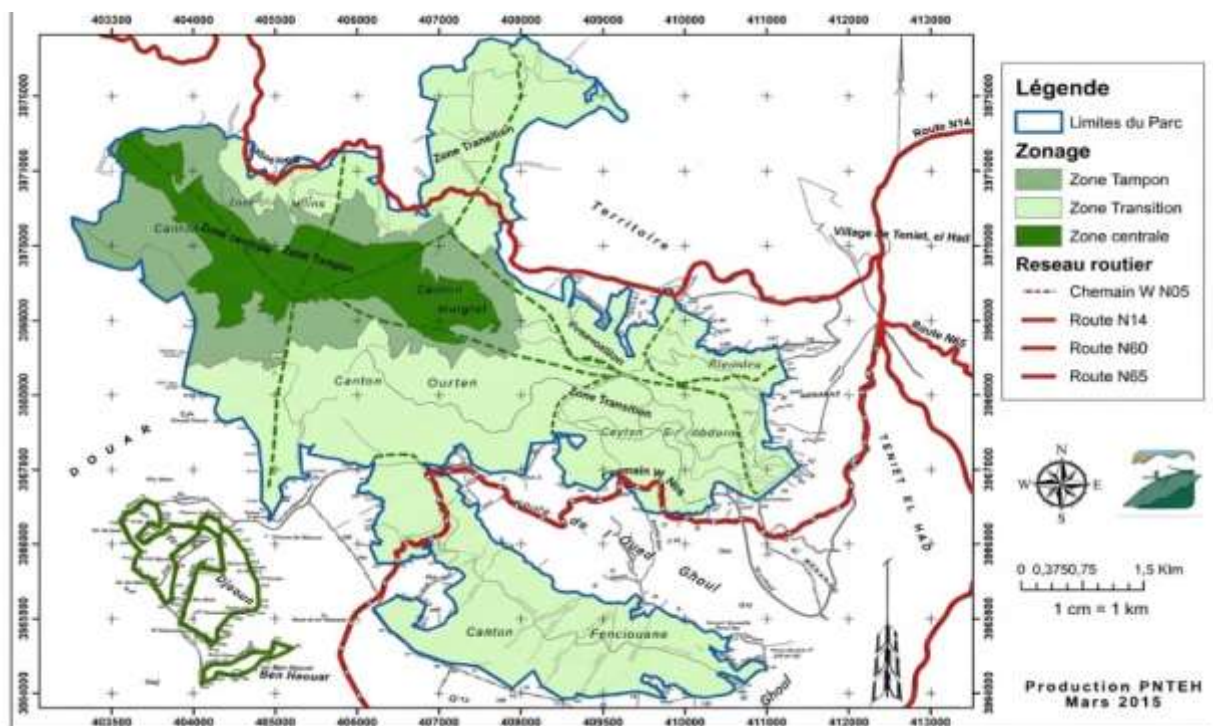


Figure 11 : Carte de zonage du parc national de Theniet-El-Had(THNP, 2018)

III .5. caractéristiques physiques du milieu du Parc National de Theniet El Had:

III.5.1. Relief

Le Parc National de Theniet El Had se caractérise par un relief montagneux assez accidenté. Le paysage est marqué par la présence de crêtes, de versants parfois abrupts, de formations rocheuses et de clairières d'altitude.

Cette organisation du relief donne au parc une grande diversité de paysages et influence directement la répartition de la végétation.

Les conditions écologiques varient selon les versants. Le versant nord est généralement plus frais et plus humide, ce qui favorise le développement des formations forestières les plus exigeantes en humidité. En revanche, les versants sud et ouest sont plus exposés à la chaleur et à la sécheresse, ce qui peut rendre la végétation plus vulnérable, notamment face au risque d'incendie et au déficit hydrique. Ainsi, le relief joue un rôle important dans la diversité écologique du parc (Sarmoum et al., 2018).

III.5.2. Altitude

L'altitude constitue un facteur important dans la différenciation des conditions écologiques du Parc National de Theniet El Had. Elle influence la température, l'humidité, la pluviométrie et la répartition des espèces végétales. D'une manière générale, les zones les plus élevées sont plus fraîches et plus humides, alors que les zones basses sont relativement plus chaudes et plus sèches.

Dans le parc, l'altitude varie approximativement entre 854 m et 1 786 m selon les données rapportées dans la littérature. Cette variation altitudinale explique en partie la présence de plusieurs étages bioclimatiques et la diversité des formations forestières. Les peuplements de cèdre de l'Atlas occupent surtout les altitudes élevées, tandis que d'autres espèces comme le chêne vert, le pin d'Alep et le chêne-liège peuvent apparaître selon les conditions locales d'exposition, de sol et d'humidité (Sarmoum et al., 2018).

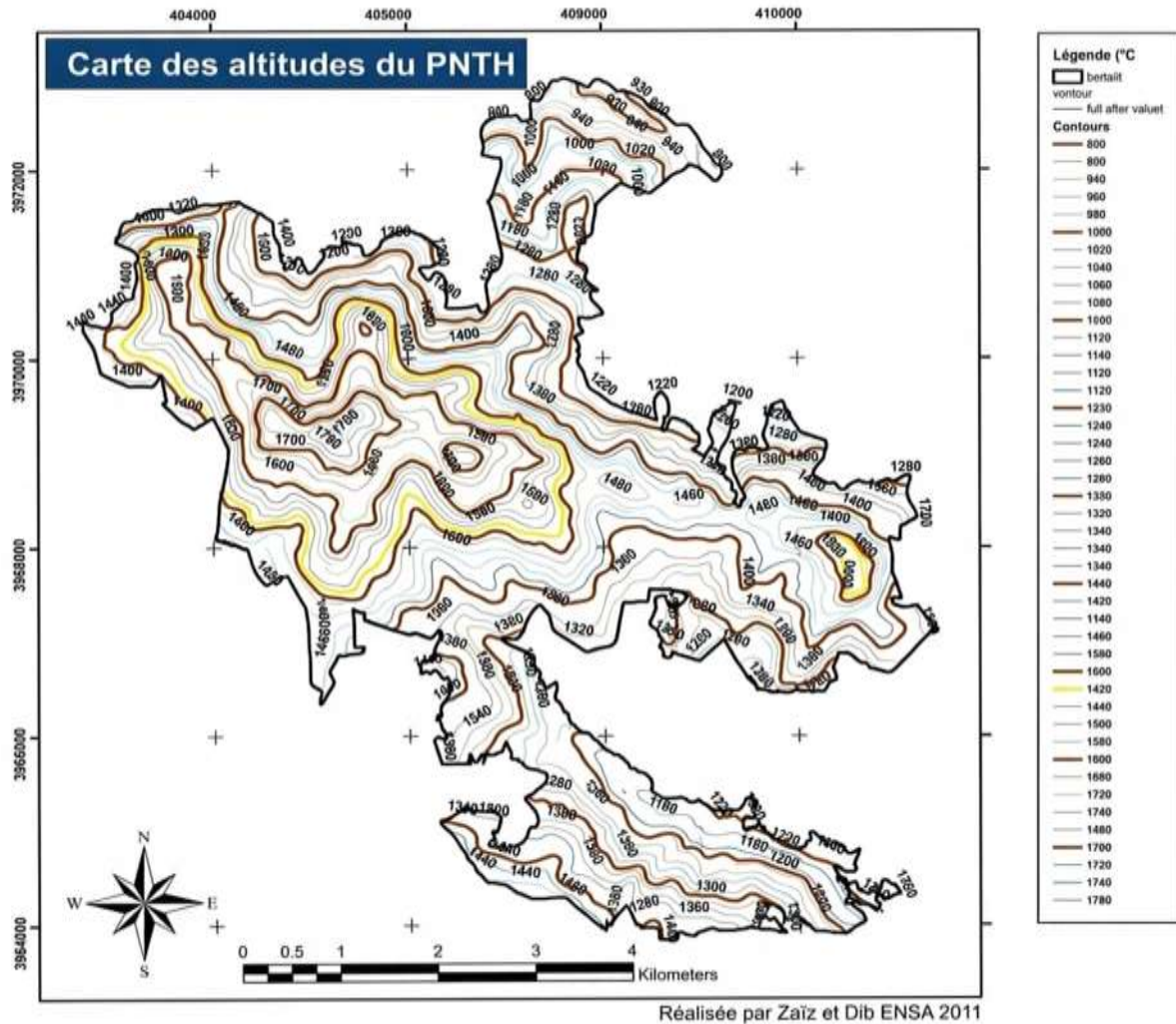


Figure 12 : Carte des altitudes du parc national de Theniet El Had (Zaiz et Dib, 2011)

III .5. 3.Pente

Le Parc National de Theniet El Had présente des pentes variables, liées à son caractère montagneux et accidenté. Ces pentes influencent directement l'organisation du milieu, notamment la stabilité des sols, le ruissellement des eaux et l'accessibilité de certaines zones forestières. Les secteurs les plus inclinés sont généralement plus sensibles à l'érosion, surtout lorsque le couvert végétal est dégradé ou lorsque la roche mère affleure en surface.

La pente constitue donc un facteur important dans la dynamique écologique du parc. Elle peut limiter le développement des sols, réduire leur

profondeur et influencer la répartition des formations végétales. Dans les zones fortement inclinées, la régénération naturelle peut être plus difficile en raison du ruissellement, de la perte de matière organique et de l'instabilité du substrat.

Source : Atlas des parcs nationaux algériens, Parc National de Theniet El Had, rubrique « Milieu abiotique »

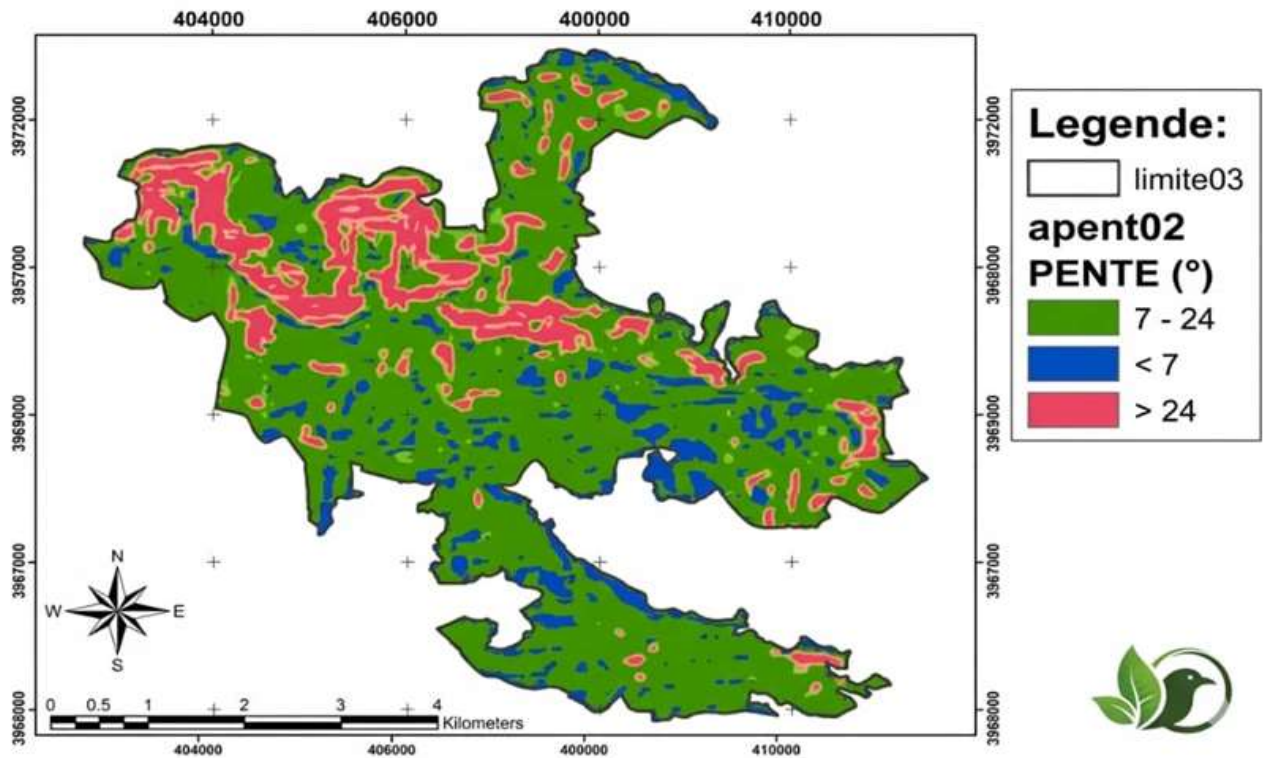


figure 13 : Carte des pentes du Parc National de Theniet El Had (Zaiz et Dib, 2011)

III .5.4.Géologie

Sur le plan géologique, les sols du Parc National de Theniet El Had remontent à l'étage médjanien de l'Éocène supérieur. La structure géologique de la zone repose principalement sur des sédiments oligocènes, développés en faciès numidien. La présence fréquente de la roche mère et des escarpements rocheux donne au milieu un caractère montagnard et accidenté (Atlas des parcs nationaux algériens,s.d.)

III .5. 5.Pédologie

Les sols du parc sont décrits comme des sols peu évolués, d'apport colluvial et non carbonatés. Ils sont généralement maigres, peu profonds et souvent marqués par la proximité de la roche mère. Dans plusieurs secteurs, ces sols sont interrompus par des escarpements rocheux importants, ce qui traduit une forte hétérogénéité stationnelle. Leur faible profondeur et leur caractère parfois squelettique limitent localement le développement racinaire et la capacité de rétention en eau. Malgré cela, ces sols permettent l'installation de formations forestières remarquables, en particulier là où les conditions topographiques et climatiques restent favorables. L'ensemble de ces caractéristiques pédologiques joue donc un rôle essentiel dans la distribution de la végétation à l'intérieur du parc (Loukkas, 2006).

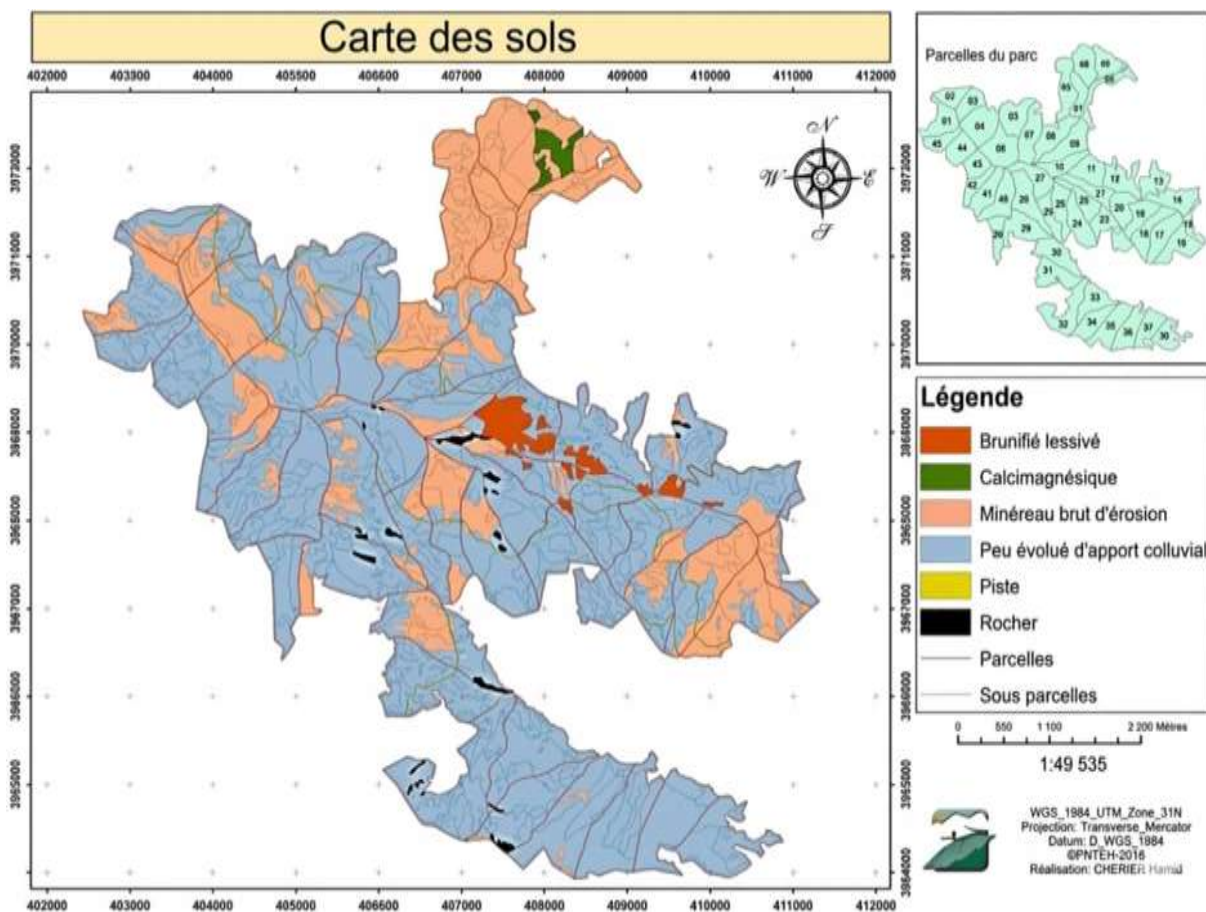


Figure 14 : Carte pédologique du Parc National de Theniet El Had (PNTEH, 2016).

III .5.6. Réseaux hydrologiques

Le réseau hydrologique du Parc National de Theniet El Had est relativement diversifié. Il comprend un nombre important de sources, estimé à 52, dont la majorité sont de nature ferrugineuse. Le parc est également traversé par trois oueds permanents, à savoir Oued El-Mouilha, Oued El-Ghoul et Oued Besbessa. À cela s'ajoutent deux étangs permanents, ceux de Sidi Abdoune et du Rond-Point, ainsi que plusieurs étangs temporaires qui s'assèchent généralement à partir du mois de juillet. Parmi les plans d'eau les plus importants du parc, on peut citer Djedj El Maa haut, Djedj El Maa bas, Rond-Point bas, Rond-Point haut, Guelmam Pépinière et Guigueb (P.N.T.E.H, 2014).

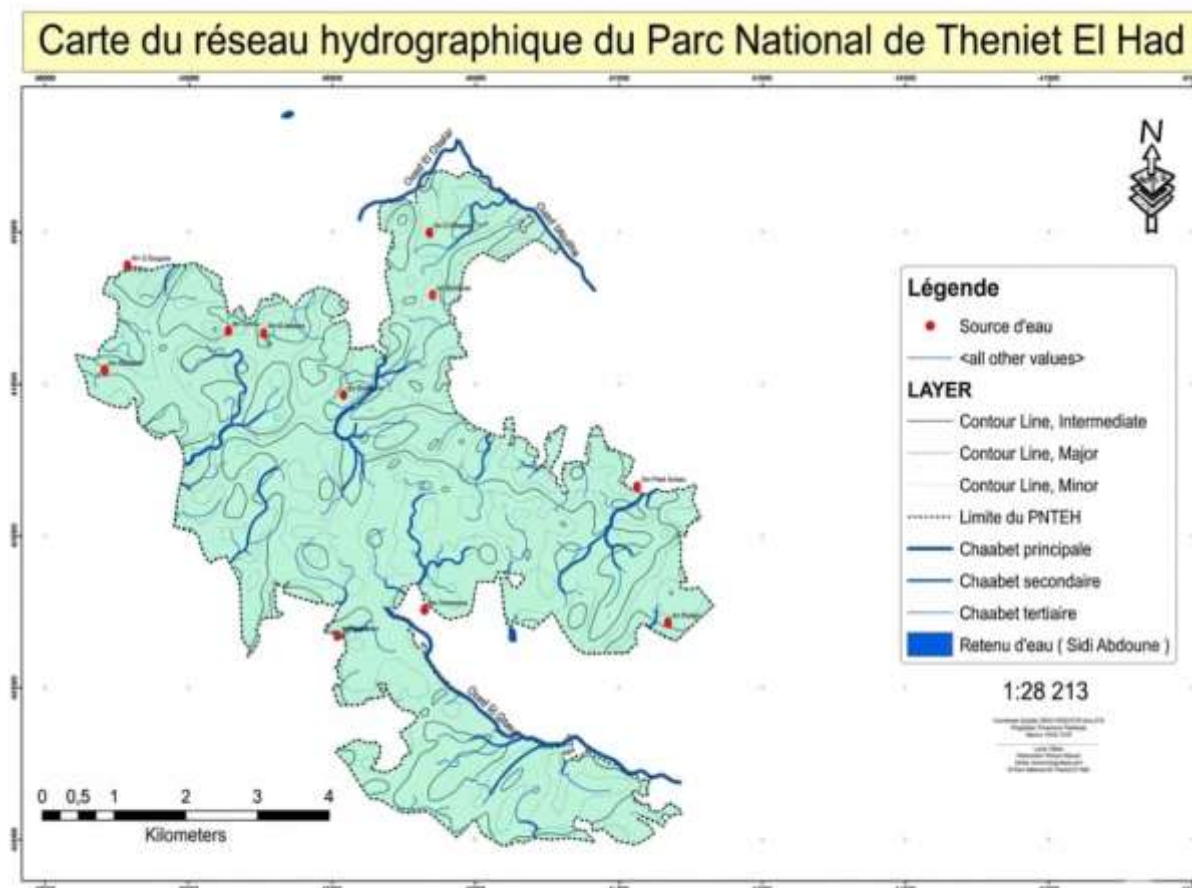


Figure 15 : Carte du réseau hydrographique du Parc National de Theniet El Had (PNTEH, 2024).

III .6. Données climatiques

III.6.1. Précipitations

L'analyse des précipitations mensuelles moyennes à Theniet El Had durant la période 2000–2025 montre une répartition saisonnière irrégulière. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées principalement pendant la saison froide, notamment en novembre avec 74,09 mm, en janvier avec 69,97 mm et en décembre avec 64,32 mm. Les mois de février, mars et avril présentent également des quantités importantes, avec respectivement 61,11 mm, 59,98 mm et 58,52 mm.

En revanche, la période estivale est caractérisée par une forte diminution des précipitations. Les mois les plus secs sont juillet et août, avec seulement 2,40 mm et 9,05 mm en moyenne. Le total annuel moyen des précipitations est estimé à 519,93 mm. Cette distribution traduit un régime pluviométrique typiquement méditerranéen, marqué par une concentration des pluies en automne-hiver et une sécheresse estivale bien prononcée.

Tableau 07 : Précipitations mensuelles à Theniet El Had (2000-2025).

Source : NASA POWER, PRECTOTCORR converti de mm/jour en mm/mois.

mois	Précipitations mensuelles (mm)
janvier	69.97
février	61.11
mars	59.98
avril	58.52
mai	40.12
juin	13.02
juillet	2.40
août	9.05
septembre	27.25
octobre	40.10
novembre	74.09
décembre	64.32
total	519.93

III.6.2. Températures

L'analyse des températures montre une variation saisonnière marquée au niveau de la zone d'étude. Les températures moyennes les plus basses sont enregistrées en hiver, avec un minimum moyen de 7,29 °C en janvier, tandis que les températures moyennes les plus élevées sont observées en été, atteignant 27,56 °C en juillet.

Les températures maximales augmentent progressivement à partir du printemps et dépassent 40 °C durant la période estivale, avec un maximum moyen de 40,87 °C en juillet, ce qui traduit l'intensité de la chaleur durant la saison sèche. En revanche, les températures minimales demeurent faibles en hiver, avec des valeurs négatives, notamment en janvier (-1,50 °C) et en février (-1,21 °C), confirmant le caractère froid de la saison hivernale dans cette zone montagneuse.

Tableau 08: Températures mensuelles moyennes, maximales et minimales à Theniet El Had (2000-2025). **Source :** NASA POWER

Mois	T_{moyenn} (°C)	T_{maximale} °C)	T_{minimale} C)
Janvier	7.29	20.09	-1.50
Février	8.28	21.78	-1.21
Mars	11.13	26.33	-0.28
Avril	14.22	30.09	3.24
Mai	18.36	33.44	6.32
Juin	23.57	38.62	10.57
Juillet	27.56	40.87	15.26
Août	27.21	40.31	16.01
Septembre	22.57	36.44	11.52
Octobre	18.08	32.20	7.28
Novembre	11.83	25.68	2.51
Décembre	8.53	20.73	-0.60

III.6.3. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen permet de mettre en évidence la période sèche selon le critère $P < 2T$, où P représente les

précipitations mensuelles en millimètres et T la température moyenne mensuelle en degrés Celsius.

D'après les données climatiques de NASA POWER pour la période 2000-2025, la période sèche s'étend de juin à septembre. Elle devient particulièrement marquée en juillet et en août, où les précipitations moyennes restent très faibles par rapport au double de la température moyenne. Cette sécheresse estivale constitue un facteur écologique important, car elle influence la disponibilité en eau du sol, la régénération naturelle, le stress hydrique des jeunes plants et la vulnérabilité des formations forestières aux incendies.



Figure16 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen à Theniet El Had (2000-2025).

III.6.4. Le Vent

La vitesse moyenne mensuelle du vent reste relativement modérée durant la période étudiée. Les valeurs moyennes varient globalement entre 2,00 m/s et 2,33 m/s, soit environ 7,20 à 8,39 km/h. Les valeurs les plus élevées sont observées en mars et en novembre. Même lorsque les vitesses moyennes restent modérées, le vent peut accentuer les effets de la sécheresse estivale en

augmentant l'évaporation et le dessèchement du couvert végétal, surtout durant les périodes chaudes.

Tableau 09 : Vitesse moyenne mensuelle du vent à Theniet El Had (2000-2025).

Source : NASA POWER

Mois	Vent moyen (m/s)	Vent moyen (km/h)
Janvier	2.00	7.20
Février	2.02	7.25
Mars	2.33	8.40
Avril	2.24	8.05
Mai	2.12	7.63
Juin	2.15	7.73
Juillet	2.17	7.81
Août	2.14	7.70
Septembre	2.15	7.73
Octobre	2.10	7.57
Novembre	2.33	8.39
Décembre	2.20	7.92

III.6.5. Humidité relative

L'humidité relative augmente généralement pendant la nuit, ce qui compense partiellement les pertes d'eau enregistrées durant la journée. Dans la région du Parc National de Theniet El Had, l'humidité est plus importante entre décembre et mai, puis elle diminue progressivement pendant la saison sèche.

Tableau 10 : Humidité relative dans la région de l'aire protégée. (Ferhat et Lalam, 2021).

Mois	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
7 h	78	79	69	65	64	49	55	69	62	86	88	72
13 h	64	62	51	48	46	35	39	49	71	72	73	56
18 h	75	72	62	58	58	44	49	64	70	81	85	67

Les valeurs les plus élevées sont observées en automne et en hiver, notamment en octobre et novembre. Les valeurs les plus faibles apparaissent en été, surtout à 13 h, ce qui correspond à la période la plus chaude.

III.6.6. Étage bioclimatique

Le quotient pluviothermique d'Emberger permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une région méditerranéenne. Il prend en compte la pluviométrie annuelle moyenne, la température maximale moyenne du mois le plus chaud et la température minimale moyenne du mois le plus froid.

La formule simplifiée de Stewart est la suivante : $Q_2 = 3,43 \times P / (M - m)$

- Q_2 : quotient pluviothermique d'Emberger ;
- P : précipitation annuelle moyenne en mm ;
- M : température maximale moyenne du mois le plus chaud ;
- m : température minimale moyenne du mois le plus froid.

Tableau 11 : Paramètres utilisés pour le calcul du quotient pluviothermique d'Emberger

Paramètre	Valeur
P : précipitation annuelle moyenne	519,93 mm
M : température maximale moyenne du mois le plus chaud	40,87 °C
m : température minimale moyenne du mois le plus froid	-1,50 °C
Q_2 : quotient pluviothermique d'Emberger	42,09
Étage bioclimatique	Semi-aride à hiver froid

Pour la zone d'étude, d'après les données NASA POWER couvrant la période 2000-2025, la précipitation annuelle moyenne est de 519,93 mm, la température maximale moyenne du mois le plus chaud est de 40,87 °C, et la température minimale moyenne du mois le plus froid est de -1,50 °C.

$$\text{Donc : } Q_2 = 3,43 \times 519,93 / (40,87 - (-1,50)) = 42,09$$

La valeur obtenue, $Q_2 = 42,09$, associée à une température minimale moyenne du mois le plus froid de $-1,50\text{ }^{\circ}\text{C}$, place la zone d'étude dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver froid.

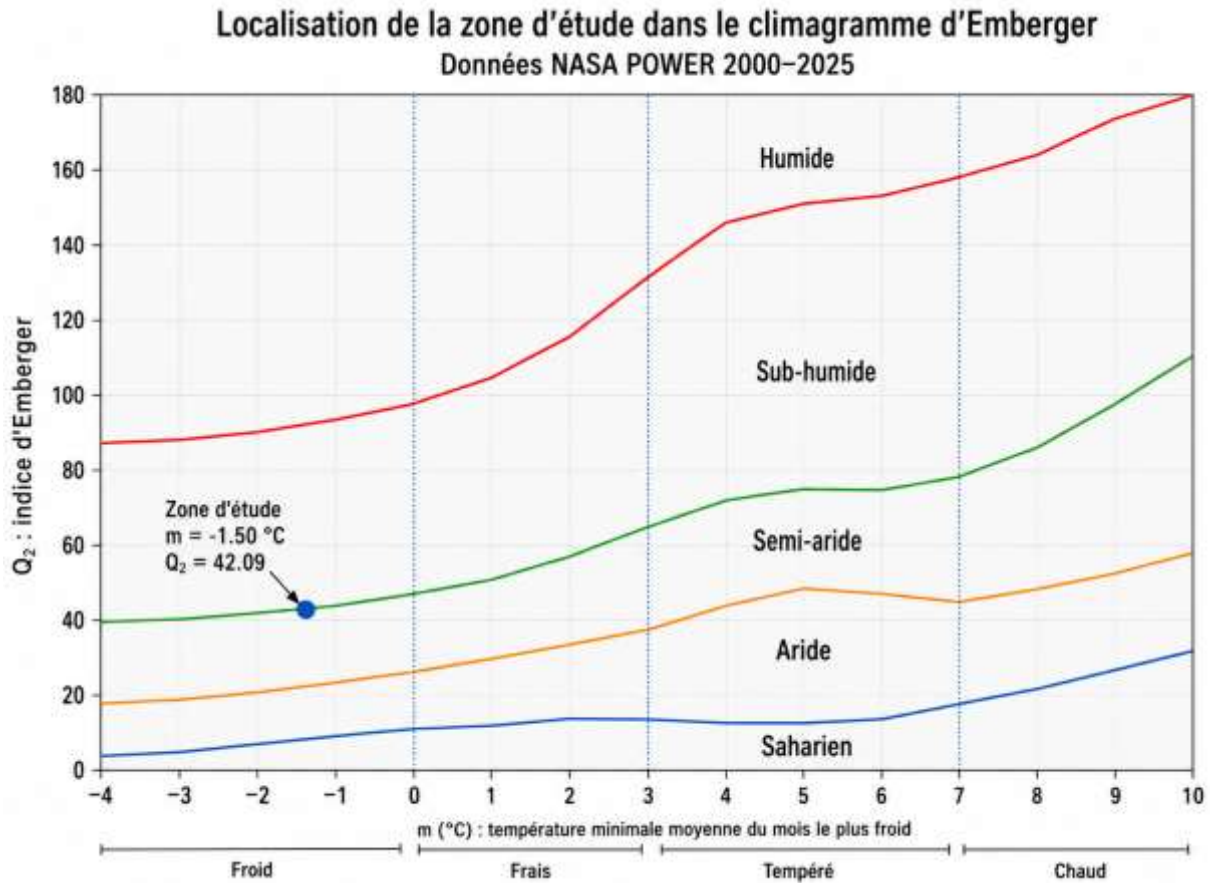


Figure17 : Localisation de la zone d'étude dans le climagramme d'Emberger (2000-2025).

III.7.Caractéristiques biologiques :

III.7.1. La faune

La faune du Parc National de Theniet El Had se caractérise par une grande diversité spécifique. Elle compte environ 654 espèces, réparties entre plusieurs groupes zoologiques.

Mammifères :

La faune mammalienne du parc comprend 24 taxons, dont la majorité est identifiée au niveau spécifique. Parmi ces mammifères, 13 espèces bénéficient d'un statut de protection.

Oiseaux :

L'avifaune du parc est également riche, avec 110 espèces recensées, dont 36 espèces protégées.

Insectes :

Les insectes représentent le groupe le plus important, avec 486 espèces inventoriées. Parmi elles, 32 espèces sont protégées. La majorité appartient principalement aux ordres des Coléoptères et des Hyménoptères.

Reptiles et amphibiens :

Le parc abrite 12 espèces de reptiles, dont 7 sont protégées. Les amphibiens sont représentés par 7 espèces, parmi lesquelles 2 sont protégées.

Parmi les espèces signalées, on peut citer : la grenouille verte (*Pelophylax* ou *Rana saharicus*), le crapaud de Mauritanie (*Sclerophrys mauritanica*), la rainette méridionale (*Hyla meridionalis*), le pleurodèle de Poiret (*Pleurodeles poireti*), le discoglosse peint (*Discoglossus pictus*), le crapaud berbère ou crapaud mauresque (*Bufo bufo*) ainsi que le pleurodèle algérien (*Pleurodeles nebulosus*) (THNP, 2024).

III.7.2. La flore

La flore du Parc National de Theniet El Had est très diversifiée et comprend environ 660 espèces végétales. Elle est dominée par plusieurs formations forestières caractéristiques.

La cédraie :

La forêt de cèdre occupe principalement le versant nord du parc, où elle présente un taux de recouvrement élevé, estimé entre 70 et 80 %, avec une densité d'environ 400 arbres/ha. Elle est constituée de grands arbres pouvant atteindre 30 m de hauteur, accompagnés d'autres espèces telles que le chêne zéen, *Crataegus monogyna*, *Prunus avium*, *Juniperus oxycedrus*, *Rosa canina* et *Rubus fruticosus*. L'âge moyen de cette formation varie entre 125 et 135 ans.

Sur le versant sud, le recouvrement végétal est légèrement plus faible, estimé entre 60 et 70 %, avec une hauteur moyenne comprise entre 10 et 12 m. On y observe également la présence d'arbustes tels que le genêt, le ciste et d'autres espèces du sous-bois. La superficie totale de cette formation est estimée à 666 ha.

La forêt de chêne vert :

La formation à chêne vert est représentée par des peuplements anciens, notamment au niveau du Rond-Point. Aux basses altitudes, la strate arbustive devient plus dominante, avec la présence de formations épineuses et d'un faible degré de recouvrement. La hauteur moyenne des arbres est d'environ 8 m. Le sous-bois est principalement composé de *Calycotome spinosa*, *Ampelodesma mauritanicus*, *Prospero autumnale*, *Genista scorpius*, *Lavandula stoechas* et *Cistus*.

La superficie totale de cette formation est estimée à 1 389 ha.

La subéraie :

La forêt de chêne-liège présente un recouvrement moyen compris entre 60 et 70 %, avec une hauteur moyenne variant entre 10 et 12 m. Elle se présente généralement sous forme de taillis, en association avec plusieurs espèces méditerranéennes telles que *Quercus ilex*, *Calycotome*, *Genista tricuspidata*, *Rosa canina*, *Crataegus monogyna*, *Crataegus laciniata* et *Juniperus oxycedrus*.

La superficie totale de la subéraie est estimée à 406 ha.

La forêt de chêne zéen :

Le chêne zéen se développe sous forme de petits peuplements dispersés. Environ un tiers de ces peuplements constitue des futaies situées sur les versants exposés au nord, tandis que les deux tiers restants se trouvent sur les versants sud, sous forme de fourrés ou de jeunes peuplements. Les peuplements purs de chêne zéen (*Quercus canariensis*) sont rares. Cette espèce se rencontre le plus souvent en association avec le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) sur les versants nord, et avec le chêne afarès (*Quercus afares*) sur les versants sud. En raison de leurs ressemblances morphologiques, la distinction entre ces espèces reste parfois difficile.

La superficie totale de cet écosystème est estimée à 365 ha.

La pinède :

La forêt de pin est caractérisée par des peuplements anciens. Elle occupe principalement les basses altitudes des versants nord, notamment dans la région de Guérouaou. On y rencontre également le cèdre au niveau de Guérouaou et le chêne dans la zone de Sidi-Abdoun. Cette formation couvre une superficie d'environ 27 ha.

Autres formations végétales :

D'autres espèces végétales sont également présentes dans le parc. Le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*) et le pistachier térébinthe (*Pistacia terebinthus*) couvrent une superficie estimée à 37 ha. Le frêne dimorphe (*Fraxinus dimorpha*) apparaît sous forme de petits peuplements isolés, couvrant environ 15 ha. Enfin, le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*) domine largement le sous-bois du parc, avec une superficie estimée à 63 ha.

III.8.Subéraie du Parc National de Theniet El Had

La subéraie du Parc National de Theniet El Had représente une formation forestière importante dominée par le chêne-liège (*Quercus suber* L.). Elle se développe dans une zone montagneuse soumise à un étage bioclimatique subhumide à hiver froid, ce qui offre des conditions favorables à l'installation et à la croissance de cette espèce. Cette formation couvre une superficie estimée à environ 406 ha, avec un recouvrement moyen variant entre 60 et 70 % et une hauteur moyenne des arbres comprise entre 10 et 12 m. Le chêne-liège y apparaît souvent sous forme de taillis, en mélange avec d'autres espèces méditerranéennes telles que le chêne vert (*Quercus ilex*), le genêt, le calycotome, l'égantier, l'aubépine et le genévrier oxycèdre. La production de liège dans cette subéraie dépend de plusieurs facteurs, notamment l'état sanitaire des arbres, leur croissance, le diamètre et la hauteur d'écorçage, ainsi que les conditions du milieu. Ainsi, la subéraie de Theniet El Had constitue un écosystème à la fois écologique et économique, nécessitant une gestion durable afin de préserver le chêne-liège et d'améliorer la qualité de la production subéricole (Naggar, 2021).

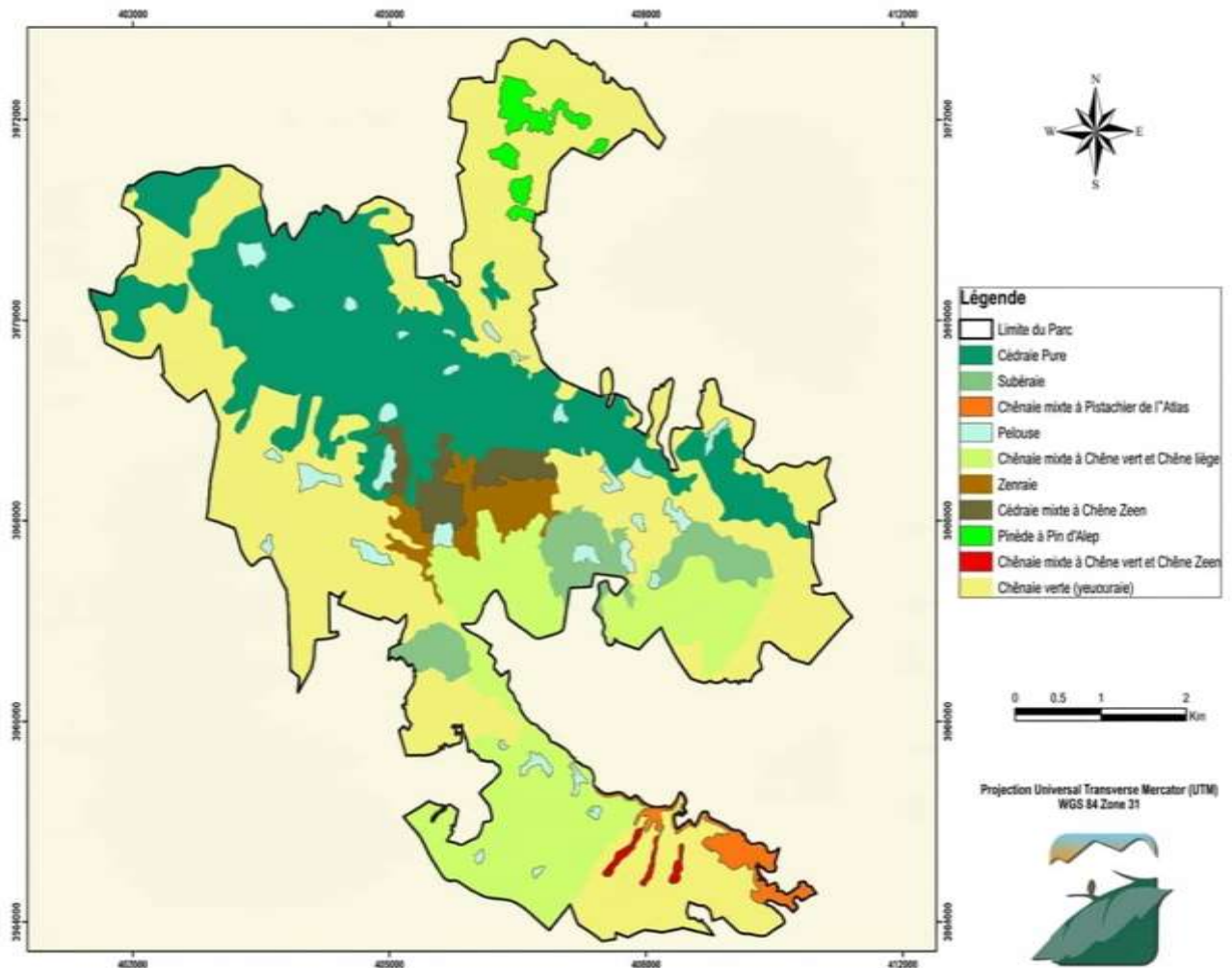


Figure18 : Grands types de végétaux dans le Parc National de Theniet-El-Had (THNP, 2024)

III.9.Activités anthropiques dans le Parc National de Theniet El Had:

III.9.1.Le surpâturage et la pression des riverains

Le surpâturage représente l'une des pressions les plus fréquentes exercées sur les formations forestières du parc. L'introduction répétée du bétail dans les zones boisées entraîne le piétinement du sol, la compaction des horizons superficiels et la destruction d'une partie de la strate herbacée et arbustive. Cette pression limite également l'installation des jeunes plantules, notamment celles du chêne-liège, ce qui fragilise la régénération naturelle des peuplements. À long terme, le pâturage excessif favorise l'ouverture du couvert végétal et

accentue la régression des formations forestières au profit de formations plus dégradées (Berrichi et al., s. d).

III.9.2. Les incendies de forêt

Les incendies constituent une autre forme importante de dégradation du milieu forestier. Dans les subéraies méditerranéennes, leur répétition peut provoquer la destruction du couvert végétal, la mortalité d'une partie des arbres et l'appauvrissement du sol. Au niveau du Parc National de Theniet El Had, les incendies perturbent la structure des peuplements et réduisent leur capacité de renouvellement. Lorsqu'ils sont associés à la sécheresse et à l'absence de travaux sylvicoles suffisants, leurs effets deviennent plus graves et peuvent compromettre la stabilité écologique des formations forestières (Naggar et al., 2019).

III.9.3.L'exploitation du bois de chauffage :

L'exploitation du bois de chauffage représente l'une des principales formes de pression anthropique exercées sur les formations forestières du Parc National de Theniet El Had. La collecte excessive et non contrôlée du bois de feu contribue à la diminution de la biomasse ligneuse, à l'appauvrissement du couvert végétal et à la perturbation de la régénération naturelle des peuplements forestiers. Cette pression favorise progressivement la transformation des formations forestières denses vers des formations plus ouvertes, telles que le matorral, la broussaille ou même le sol nu. Selon l'étude diachronique réalisée sur l'évolution du couvert végétal entre 1987 et 2015, environ 40 % de la superficie étudiée, soit 1511,37 ha, ont connu une dynamique de dégradation sous l'effet des pressions anthropiques cumulées, notamment les prélèvements de bois, le surpâturage et les incendies. Ces résultats traduisent une régression progressive de la qualité écologique des peuplements forestiers du parc (Berrichi et al., s. d.).

Tableau 12 : Dynamique du couvert végétal du Parc National de Theniet El Had entre 1987 et 2015 (Berrichi et al., s. d.).

Dynamique du couvert végétal	Superficie (ha)	Pourcentage
stabilité	1734.45	45%
dégradation	1511.37	40%
Progression	588.09	15%

III.10. Synthèse

Le Parc National de Theniet El Had présente une double réalité : une richesse écologique remarquable et une fragilité tout aussi prononcée. Les conditions physiques du milieu, relief accidenté, sols peu profonds et pentes marquées, définissent un cadre stationnel exigeant qui limite naturellement la résilience des formations forestières face aux perturbations.

Sur le plan climatique, le régime méditerranéen impose une sécheresse estivale prolongée et des hivers froids, confirmés par un étage bioclimatique subhumide à hiver froid ($Q_2 = 89,07$). Cette position aux limites de l'optimum écologique du chêne-liège signifie que toute pression supplémentaire risque de déstabiliser un équilibre déjà précaire.

Or, les pressions anthropiques sont bien réelles et documentées. L'analyse diachronique du couvert végétal entre 1987 et 2015 révèle que 40 % de la superficie étudiée ont connu une dynamique de dégradation sous l'effet combiné du surpâturage, des incendies et de la collecte du bois de chauffage. C'est cette dernière pression, agissant sur un milieu fragilisé, que la présente étude cherche à quantifier à travers une comparaison rigoureuse entre zones exploitées et zones non exploitées au sein du parc.

Chapitre IV :

Matériels et méthodes

IV.1. Démarche méthodologique générale:

Cette étude vise à évaluer l'impact de la collecte du bois de chauffage sur la régénération naturelle, la biomasse aérienne et le stock de carbone des peuplements de chêne-liège dans le Parc National de Theniet El Had. La démarche adoptée repose sur une comparaison entre des sites soumis à différents niveaux de prélèvement ligneux. Cinq sorties de terrain ont été réalisées entre les mois d'avril et de mai, afin d'effectuer des observations stationnelles, floristiques et dendrométriques, ainsi que de relever les indices de coupe. Les données recueillies ont permis d'évaluer la régénération naturelle, à travers les semis, les rejets et les jeunes tiges, et d'estimer la biomasse aérienne à partir des mesures dendrométriques. Cette approche permet d'analyser l'effet de la pression anthropique sur l'état des peuplements étudiés.

IV.2. Choix et description des sites d'étude :

Quatre stations ont été retenues dans les subéraies du Parc National de Theniet El Had afin de permettre une comparaison entre des sites présentant des conditions écologiques proches, mais soumis à des niveaux différents de collecte de bois de chauffage. Le choix des stations s'est appuyé sur plusieurs critères, notamment l'accessibilité, l'altitude, l'exposition, la pente, la nature du sol, la densité du couvert forestier, la composition floristique dominante et l'état général du peuplement.

Parmi les stations sélectionnées, deux sites correspondent à des zones exploitées ou fortement affectées par les prélèvements ligneux, tandis que deux autres correspondent à des zones non exploitées ou faiblement perturbées, utilisées comme sites de référence. Pour chaque station, les coordonnées géographiques, les caractéristiques stationnelles, l'état du peuplement et les signes de perturbation anthropique ont été relevés. Les sites choisis restent

dominés par le chêne-liège, ce qui permet de comparer l'effet de la collecte du bois entre des stations relativement similaires du point de vue écologique.

Tableau 13: Localisation des stations étudiées

Station	lieu	Type	Latitude	Longitude	Altitude (m)
01	Sidi abdoun	Exploitée	35.855546° N	1.993909° E	1439
02	Sidi abdoun	Exploitée	35.85460° N	1.99419° E	1442
03	Sidi abdoun	Non exploitée	35.85597° N	1.99993° E	1480
04	Sidi abdoun	Non exploitée	35.8545° N	2.00073° E	1463

Tableau 14: Caractéristiques stationnelles des sites étudiés

Station	Essence principale	Essence dominante	Exposition	Pente (%)	Statut d'exploitation
01	Chêne-liège	Chêne vert , le chêne zeen , cédre de latlas , rosa canina	Sud	5	exploitée
02	Chêne liège	Chêne vert, le chêne zeen	Sud	15	exploitée
03	Chêne-liège	le genévrier oxycedre ,aubépine mono-gyna -rosa canina	SE	10	Non exploitée
04	Chêne-liège	le chêne zeen-le chêne vert	Sud	7	Non exploitée

IV.3. Matériel utilisé

Tableau 15: Matériel utilisé

Matériel	Utilisation
Récepteur GPS	Localisation précise des stations d'étude
Boussole	Détermination de l'exposition
Clinomètre / estimation visuelle	Évaluation de la pente
Mètre ruban	Délimitation des placettes
Règle graduée	Mesure de la hauteur des jeunes individus
Compas forestier / ruban dendrométrique	Mesure de la circonférence des arbres à 1,30 m du sol
Appareil photographique	Illustration des observations de terrain
Carnet de terrain	Consignation des données recueillies
Blume leiss	Mesure de la hauteur des grands arbres

 Boussole forestière	 Ruban métrique	 Compas forestier
 Ruban de mesure	 Blume Leiss	 GPS de terrain

Figure 19: Matériel utilisé sur le terrain .

IV.4. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté repose sur des placettes circulaires concentriques centrées sur un arbre adulte de chêne-liège, considéré comme arbre semencier. Ce protocole permet d'étudier la régénération naturelle selon différentes distances autour de l'arbre central et de comparer les stations étudiées selon une même méthode d'observation. Les données recueillies concernent principalement le nombre de jeunes individus, leur classe de taille, leur origine lorsqu'elle est identifiable, leur état sanitaire et leur position par rapport au couvert forestier.

IV.4.1. Choix des placettes circulaires concentriques

Le choix des placettes circulaires concentriques répond à une logique d'échantillonnage adaptée à l'étude de la régénération naturelle du chêne-liège. Ce dispositif permet d'organiser les observations autour d'un arbre adulte pouvant jouer le rôle d'arbre semencier potentiel, puis d'analyser la distribution des jeunes individus selon leur éloignement de cette source de graines. Dans cette étude, les observations ont été conduites selon quatre distances successives : 2 m, 4 m, 8 m et 16 m.

Les placettes concentriques permettent de comparer la densité des semis, des rejets et des jeunes tiges selon leur distance par rapport à l'arbre central. Elles facilitent également l'analyse de la distribution spatiale de la régénération naturelle, tout en intégrant des critères comme la hauteur, le diamètre au collet et l'état sanitaire des jeunes individus. Cette méthode est particulièrement utile dans les subéraies, car elle permet de déterminer si la régénération se concentre à proximité des arbres adultes ou si elle diminue progressivement avec la distance (McRoberts et al., s. d.).

IV.4.2. Justification du choix de la forme circulaire

La forme circulaire a été retenue en raison de sa simplicité de mise en place sur le terrain et de son intérêt pour les relevés forestiers. Contrairement aux placettes rectangulaires ou carrées, la placette circulaire nécessite seulement la détermination d'un point central et d'un rayon fixe, ce qui facilite sa délimitation, notamment dans les milieux forestiers où la pente, la végétation dense et les obstacles naturels peuvent compliquer le travail de terrain.

Cette forme présente également l'avantage de réduire les erreurs liées aux limites de la placette, car elle possède un périmètre régulier autour d'un centre unique. Elle permet donc une meilleure organisation des mesures

dendrométriques et des observations de régénération. Dans cette étude, l'utilisation de placettes circulaires concentriques permet de comparer les différentes stations selon un protocole homogène, tout en évaluant l'effet de la distance à l'arbre semencier sur l'installation des jeunes individus de chêne-liège (McRoberts et al., s. d.).

IV.4.3. Justification du choix des rayons

Les rayons de 2 m, 4 m, 8 m et 16 m ont été retenus afin d'analyser la régénération naturelle du chêne-liège selon plusieurs distances autour de l'arbre semencier. Ce choix permet de distinguer la régénération située à proximité immédiate de l'arbre adulte, celle présente à une distance intermédiaire et celle observée dans une zone plus éloignée. La progression régulière des rayons facilite ainsi l'étude de la répartition spatiale des semis, des rejets et des jeunes tiges en fonction de leur éloignement par rapport à la source potentielle de graines.

Le recours à des cercles concentriques s'inscrit dans une logique utilisée en inventaire forestier, où plusieurs rayons peuvent être adoptés pour observer des éléments différents du peuplement à différentes échelles. (Chevrou, 1993). montre que les placettes formées de plusieurs cercles concentriques présentent plusieurs avantages pratiques et méthodologiques, notamment la facilité de mise en œuvre, la taille réduite du dispositif et la possibilité d'organiser les observations selon des catégories ou des distances autour d'un même centre.

Dans cette étude, les rayons choisis ne correspondent pas à des catégories de diamètre comme dans les inventaires forestiers classiques, mais à des distances d'observation autour de l'arbre semencier. Les petits rayons permettent de caractériser la régénération très proche de l'arbre adulte, tandis que les rayons plus grands permettent d'évaluer si cette régénération se maintient ou diminue progressivement avec l'éloignement. Ce dispositif offre

donc un cadre adapté pour comparer la densité, l'état sanitaire et la distribution des jeunes individus de chêne-liège dans les différentes zones de la placette (Chevrou, 1993).

Tableau 16: Surfaces correspondant aux différents rayons

Rayon	Surface	Utilisation principale
2 m	12,57 m ²	Très jeunes individus / plantules
4 m	50,27 m ²	Jeunes plants
8 m	201,06 m ²	Individus de plus grande taille
16 m	804,25 m ²	Brins établis et arbres adultes

IV.5. Collecte des données sur le terrain

IV.5.1. Données mésologiques

Les données mésologiques concernent les caractéristiques physiques et stationnelles du milieu. Elles comprennent principalement l'altitude, l'exposition, la pente, la position topographique, la profondeur apparente du sol, l'état de surface ainsi que toute observation utile relative aux conditions locales du site. Ces informations permettent de caractériser les stations étudiées et de mieux interpréter les variations observées au niveau de la régénération naturelle et de la biomasse.

IV.5.2. Données floristiques

Les données floristiques ont été relevées de manière sommaire afin de décrire la végétation accompagnatrice du chêne-liège et d'apprécier l'état général du milieu. Une attention particulière a été portée aux espèces dominantes, ainsi qu'aux espèces susceptibles d'indiquer une perturbation ou une dégradation du site. Ces observations servent principalement d'appui à l'interprétation écologique des résultats, sans constituer un volet central de l'étude.

IV.5.3. Données sur la régénération du chêne-liège

Dans chaque placette, les données relatives à la régénération naturelle du chêne-liège ont été relevées selon les différents rayons d'observation retenus. Les jeunes individus ont été classés en plusieurs catégories de taille : individus de moins de 20 cm, de 20 à 50 cm, de plus de 50 cm, ainsi que les brins établis. Pour chaque classe, le nombre d'individus a été recensé en distinguant leur origine, notamment les semis issus de la germination des glands et les rejets provenant de repousses végétatives. Cette classification a été adoptée dans le cadre de la présente étude afin de mieux apprécier les différents stades de développement de la régénération naturelle du chêne-liège (Ibáñez et al., 2015).

Les mesures ont également porté sur la hauteur des jeunes individus, exprimée en centimètres, ainsi que sur le diamètre au collet, exprimé en millimètres. Lorsque plusieurs individus étaient présents dans une même catégorie, les valeurs minimales et maximales de hauteur et de diamètre ont été relevées afin de caractériser la variabilité des jeunes plants au sein de chaque placette.

L'état sanitaire des individus a été apprécié à partir d'observations de terrain portant sur leur vitalité, la présence de dommages, les signes de dépérissement ou encore la mortalité éventuelle. Ces données permettent d'évaluer le niveau d'installation, de survie et de développement de la régénération naturelle du chêne-liège dans les différentes stations étudiées (Ibáñez et al., 2015).

a) Semis :

Les semis correspondent aux jeunes individus issus de la germination récente des glands. Ils représentent le premier stade de la régénération naturelle

et permettent d'apprécier la capacité d'installation du chêne-liège autour de l'arbre semencier.

b) Rejets :

Les rejets correspondent aux repousses végétatives issues de la souche ou d'organes persistants. Chez le chêne-liège, ces repousses traduisent la capacité de reprise végétative de l'espèce après une perturbation ou une coupe.

c) Jeunes tiges :

Les jeunes tiges regroupent les individus appartenant aux classes de hauteur les plus développées. Leur présence traduit une régénération plus avancée et permet d'apprécier le passage entre l'installation récente et le développement durable du peuplement (Ibáñez et al., 2015).

IV.5.4. Données sur la pression anthropique

Les indices de pression anthropique ont été relevés directement sur le terrain afin d'apprécier l'intensité de la collecte de bois de chauffage dans les différentes stations étudiées. Ces observations concernent principalement les signes visibles de prélèvement ligneux, tels que les sentiers d'accès, les tas de branches, les zones de coupe récente, les traces de transport, les souches coupées, les branches coupées sur arbres vivants, les jeunes tiges coupées, les blessures sur les troncs, la raréfaction du bois mort au sol, les rejets de souche sectionnés ainsi que la présence de foyers ou d'autres traces humaines. L'ensemble de ces indicateurs permet de caractériser le degré de perturbation lié à l'exploitation du bois dans chaque site.

Afin de faciliter la comparaison entre les stations, chaque indice a été codé selon une échelle simple : 0 correspond à l'absence du signe de pression, 1 à une présence faible ou localisée, et 2 à une présence élevée ou fréquente. Ce

codage permet d'obtenir une appréciation semi-quantitative de l'intensité de la pression anthropique et de mieux interpréter les variations observées au niveau de la régénération naturelle du chêne-liège et de la biomasse aérienne.

L'évaluation de ces indices permet ainsi de relier l'état de la régénération aux signes visibles d'exploitation du bois, notamment lorsque les prélèvements touchent les jeunes tiges, les rejets ou les éléments ligneux morts au sol. Cette approche permet de comparer les sites faiblement perturbés et les sites plus affectés par la collecte de bois de chauffage, tout en tenant compte des traces directes observées dans chaque placette (Kaina et al., 2018).



Figure 20: Indices de pression anthropique observés sur le terrain : traces de foyers, résidus de combustion et restes de bois brûlé.



Figure 21 : Présence de bois mort au sol dans une zone faiblement exploitée.

IV.6. Mesures dendrométriques

IV.6.1. Mesure du diamètre des arbres

Le diamètre des arbres a été mesuré à 1,30 m du sol, hauteur conventionnelle utilisée en foresterie pour la mesure du diamètre à hauteur de poitrine, ou DBH (Diameter at Breast Height). Cette mesure a été réalisée à l'aide d'un compas forestier, tenu perpendiculairement à l'axe de l'arbre afin d'obtenir une valeur précise du diamètre. Le diamètre est exprimé en centimètres et constitue une donnée dendrométrique essentielle pour caractériser la grosseur des arbres, apprécier la structure du peuplement et servir de base aux estimations du volume ou de la biomasse sur pied (Centre Régional de la Propriété Forestière d'Auvergne, 2006).

IV.6.2. Conversion de la circonférence en DBH

Pour les arbres dont seule la circonférence a été mesurée sur le terrain, le diamètre à hauteur de poitrine (DBH) a été obtenu à partir de la relation suivante :

$$DBH = C / \pi$$

où C représente la circonférence mesurée à 1,30 m du sol et $\pi = 3,1416$. Cette conversion permet d'obtenir une valeur standardisée du diamètre des arbres afin d'homogénéiser les données dendrométriques utilisées dans les analyses forestières. Les valeurs de DBH ainsi calculées ont été intégrées aux mesures de structure du peuplement et aux équations allométriques destinées à l'estimation de la biomasse aérienne. Cette méthode est largement utilisée en inventaire forestier lorsque la mesure directe du diamètre à l'aide d'un compas forestier n'est pas possible ou moins pratique (BioForest, 2017).

IV.6.3. Calcul de la surface terrière

La surface terrière constitue un indicateur dendrométrique important pour caractériser la structure d'un peuplement forestier. Elle correspond à la somme des sections transversales des troncs des arbres mesurées à 1,30 m du sol, rapportée à l'hectare, et s'exprime en m²/ha. Cet indicateur permet d'apprécier l'occupation de l'espace par les arbres, le degré de densité du peuplement ainsi que le niveau de concurrence entre les individus.

Dans cette étude, la surface terrière individuelle de chaque arbre a été calculée à partir du diamètre à hauteur de poitrine selon la formule suivante :

$$g = \pi \times DBH^2 / 40\,000$$

où :

g : surface terrière individuelle de l'arbre, exprimée en m²

DBH : diamètre à hauteur de poitrine, exprimé en cm

π : constante égale à 3,1416.

La surface terrière totale de chaque placette a ensuite été obtenue par la somme des surfaces terrières individuelles des arbres inventoriés :

$$G \text{ placette} = \Sigma g$$

Afin de comparer les placettes entre elles, cette valeur a été rapportée à l'hectare selon la relation suivante :

$$Gha = (G \text{ placette} / S \text{ placette}) \times 10\,000$$

où :

Gha : surface terrière corrigée à l'hectare, exprimée en m²/ha

G placette : somme des surfaces terrières individuelles dans la placette

S placette : surface de la placette, exprimée en m².

Dans le cas des placettes circulaires de rayon 16 m, la surface utilisée pour la conversion est de 804,25 m². Cette correction permet d'exprimer la surface terrière à l'hectare et de comparer la structure des peuplements entre les zones exploitées et non exploitées (Centre National de la Propriété Forestière, 2018).

IV.7. Estimation de la biomasse aérienne

IV.7.1. Choix des équations allométriques

L'estimation de la biomasse aérienne du chêne-liège (*Quercus suber* L.) a été réalisée à partir d'équations allométriques spécifiques à cette espèce. Le choix de ces équations se justifie par leur adaptation aux caractéristiques dendrométriques du chêne-liège et par la prise en compte de l'état d'exploitation de l'arbre. En effet, il est nécessaire de distinguer les arbres non exploités pour le liège, appelés arbres vierges ou non démasclés, des arbres exploités, appelés arbres démasclés. Cette distinction est importante, car le démasclage modifie certaines caractéristiques du tronc et peut influencer l'estimation de la biomasse aérienne.

Dans cette étude, les arbres non exploités ont été considérés comme des arbres vierges, tandis que les arbres ayant déjà subi une extraction du liège ont été classés comme arbres démasclés. La biomasse aérienne totale a été obtenue par la somme des différents compartiments de l'arbre, à savoir les feuilles, les branches et la tige, en utilisant les modèles proposés pour *Quercus suber* par (Jorge et al., 2025).

IV.7.2. Équations appliquées aux arbres non démasclés

Pour les arbres non démasclés, les équations utilisées reposent sur le diamètre à hauteur de poitrine (d , en cm) et la hauteur totale de l'arbre (h , en m) (Jorge et al., 2025).

Biomasse des feuilles : $0.059 \times d^{1.216} \times h^{0.590}$

Biomasse des branches : $0.032 \times d^{1.864} \times h^{0.736}$

Biomasse de la tige : $0.006 \times d^{2.651} \times h^{0.699}$

La biomasse aérienne totale est calculée comme suit : $W_a = W_l + W_{br} + W_s$

où :

W_l : biomasse des feuilles

W_{br} : biomasse des branches

W_s : biomasse de la tige

W_a : biomasse aérienne totale .

d : diamètre à hauteur de poitrine, en cm

h : hauteur totale de l'arbre, en m.

IV.7.3. Équations appliquées aux arbres démasclés

Pour les arbres démasclés, c'est-à-dire les arbres ayant déjà subi une exploitation du liège, les équations reposent sur le diamètre sous écorce à hauteur de poitrine, noté du . Dans cette étude, du correspond au diamètre

mesuré au niveau de la partie exploitée du tronc, après enlèvement du liège (Jorge et al., 2025).

Biomasse des feuilles : $0.059 \times du^{1.216}$

Biomasse des branches : $0.032 \times du^{1.864}$

Biomasse de la tige : $0.006 \times du^{2.651}$

**La biomasse aérienne totale est obtenue par la relation suivante : W_a
 $= W_l + W_{br} + W_s$**

où :

du : diamètre sous écorce à hauteur de poitrine, en cm .

W_l : biomasse des feuilles .

W_{br} : biomasse des branches .

W_s : biomasse de la tige.

W_a : biomasse aérienne totale.

IV.7.4. Estimation de la biomasse à l'échelle de la placette

La biomasse aérienne a été estimée à l'échelle de chaque placette à partir des valeurs calculées pour les arbres inventoriés. Après l'estimation de la biomasse individuelle de chaque arbre, les valeurs obtenues ont été additionnées afin d'obtenir la biomasse aérienne totale de la placette, exprimée en kilogrammes de matière sèche.

Les approches méthodologiques d'estimation de la biomasse reposent généralement sur les dimensions dendrométriques des arbres, notamment le

diamètre à hauteur de poitrine et la hauteur totale. L'utilisation des équations allométriques permet ainsi d'estimer la biomasse des arbres adultes sans recourir à des méthodes destructives.

IV.7.5. Conversion à l'hectare

Afin de comparer les différentes placettes ainsi que les sites exploités et non exploités, les valeurs de biomasse obtenues à l'échelle de la placette ont été rapportées à l'hectare. Cette conversion repose sur la surface échantillonnée. Dans le cas des placettes circulaires de rayon 16 m, la surface d'une placette est d'environ 804 m².

La biomasse aérienne à l'hectare est calculée selon la relation suivante :

Biomasse aérienne à l'hectare = (Biomasse de la placette / Surface de la placette) × 10 000

où la surface de la placette est exprimée en m². Cette conversion permet d'exprimer les résultats en kg/ha ou en tMS/ha, ce qui facilite la comparaison entre les stations étudiées (DREAL Nouvelle-Aquitaine, s. d.).

IV.7.6. Estimation du stock de carbone

Le stock de carbone a été estimé à partir de la biomasse aérienne totale calculée pour les arbres échantillonnés. La biomasse constitue l'un des principaux réservoirs de carbone dans les écosystèmes forestiers. Dans cette étude, le carbone stocké dans la biomasse aérienne a été obtenu par l'application d'un facteur de conversion à la biomasse sèche estimée (DREAL Occitanie, 2022).

La relation utilisée est la suivante :

$$CT = BT \times 0,47$$

où :

CT : stock de carbone estimé dans la biomasse aérienne

BT : biomasse aérienne totale sèche estimée

0,47 : facteur de conversion de la biomasse sèche en carbone.

Chapitre V :

Résultats, discussion et recommandations.

V.1. Introduction

La régénération naturelle de chêne-liège est un indicateur fondamental de la santé et de la résilience des écosystèmes forestiers du parc national de Theniet El Had . Elle représente la capacité d'un peuplements de *Quercus suber* L à se renouveler et à maintenir sa structure à long terme en l'absence de perturbations majeures.

La présente étude vise à évaluer et comparer l'impact de l'exploitation répétée et non réglementée du bois de chauffage sur la dynamique de régénération naturelle de chêne-liège dans quatre sites forestiers. Deux sites ont fait l'objet d'une exploitation irrégulière (Sites 01 et 02), tandis que deux autres sites sont demeurés protégés de toute intervention anthropique directe (Sites 03 et 04).

L'analyse porte sur les principaux paramètres dendrométriques et écologiques :

la densité de régénération, la structure par classes de taille, l'état sanitaire, l'origine des rejets, et les caractéristiques biométriques (hauteur, diamètre).

Sites exploités : Site 01 (S1) et Site 02 (S2). Sites non exploités : Site 03 (S3) et Site 04 (S4). Le dispositif comparatif repose sur quatre sites, trois placettes par site, quatre classes de taille et plusieurs indicateurs écologiques et dendrométriques.

V.2. Résultats de la pression anthropique

Les indices de pression anthropique ont été relevés dans les douze placettes étudiées afin de comparer l'intensité des perturbations entre les sites exploités et les sites non exploités.

Tableau17 : Synthèse des scores de pression anthropique par site

Site	Type	Nombre de placette	Somme des scores	Score moyen
S1	exploitée	3	54	18
S2	exploitée	3	57	19
S3	Non exploitée	3	1	0.33
S4	Non exploitée	3	0	0.00

Tableau18 : Synthèse des scores de pression anthropique par type de zone

Type	Nombre de placettes	Somme de scores	Score moyen
exploitée	6	111	18.50
Non exploitée	6	1	0.17

Les résultats montrent une différence très nette entre les placettes exploitées et les placettes non exploitées. Les sites exploités présentent des scores élevés, avec une somme de 54 pour le Site 01 et de 57 pour le Site 02. À l'inverse, les sites non exploités présentent des scores très faibles, avec une somme de 1 pour le Site 03 et de 0 pour le Site 04. La synthèse par type confirme cette opposition, avec un score moyen de 18,50 dans les zones exploitées contre seulement 0,17 dans les zones non exploitées. Ces résultats montrent que les signes de coupe, de prélèvement du bois et de perturbation humaine sont fortement présents dans les sites exploités, alors qu'ils sont absents ou très rares dans les sites non exploités.

V.3. Résultats de la régénération naturelle

Les résultats de la régénération naturelle sont présentés à partir des données brutes par site, puis synthétisés par des indicateurs comparatifs permettant d'opposer les zones exploitées et les zones non exploitées.

V.3.1. Densité totale de régénération

La Figure 22 illustre le nombre total d'individus recensés dans chacun des quatre sites. L'écart entre les sites exploités (S1 = 70 ; S2 = 75) et les sites non exploités (S3 = 258 ; S4 = 282) est considérable, représentant un rapport de 1 à 3.7 environ.

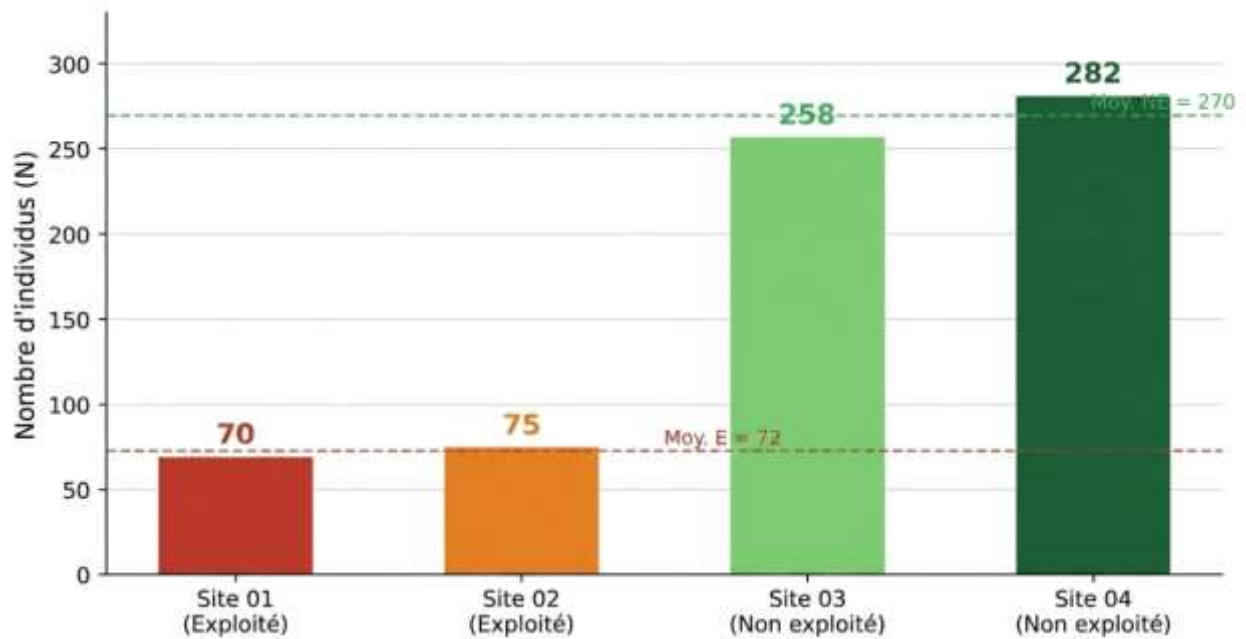


Figure 22: Densité totale de régénération par site (N individus, 3 placettes cumulées).

V.3.2. Structure de régénération par classe de taille :

La Figure 23 compare la répartition des individus selon les quatre classes de taille. On note un hiatus critique dans la classe 20–50 cm du Site 02 (N = 2 seulement), révélateur d'une interruption du recrutement causée par les récoltes irrégulières. Les sites non exploités présentent une distribution plus continue et plus équilibrée.

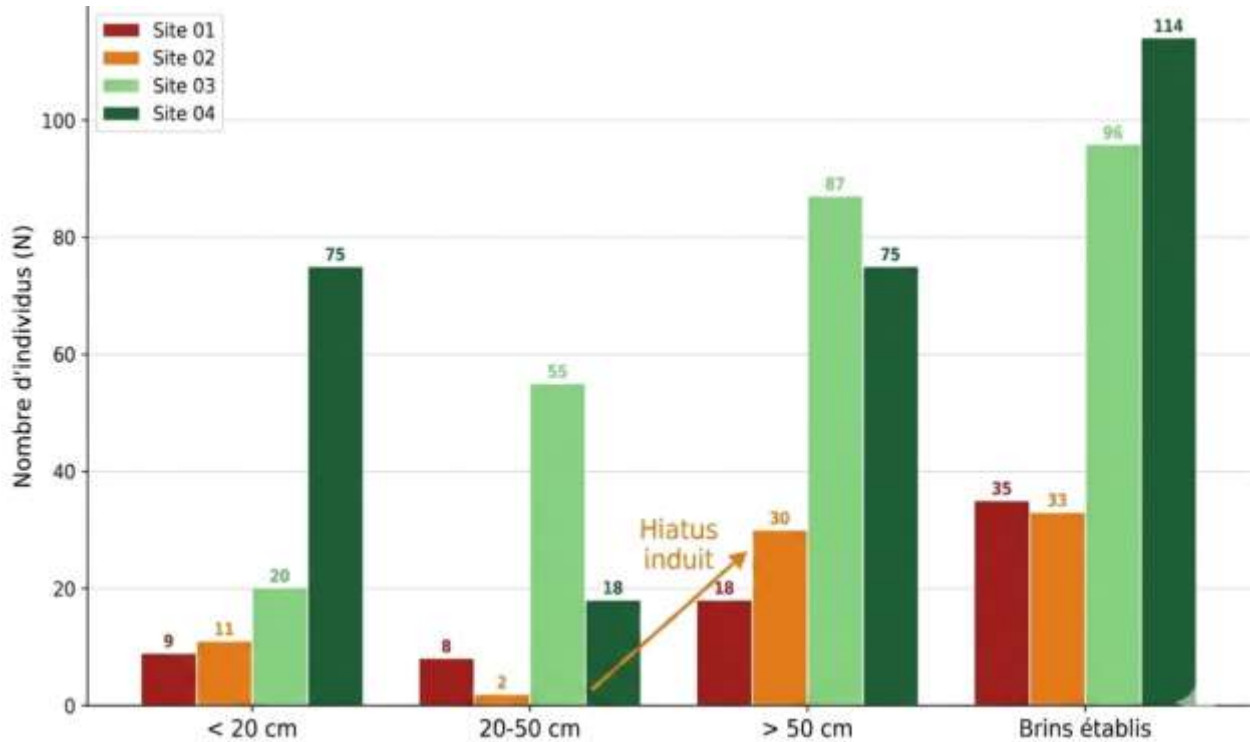


Figure 23: Répartition de la régénération par classe de taille (sites exploités vs non exploités).

V.3.3. Origine de la régénération : semis et rejets

La Figure 24 révèle une divergence fondamentale dans le mode de reproduction entre les deux groupes de sites. La régénération séminale (semis naturels) domine largement dans les sites non exploités ($\geq 97\%$), tandis que les rejets de souche dominent dans les sites exploités ($\geq 80\%$), révélant une réponse post-perturbation par multiplication végétative.

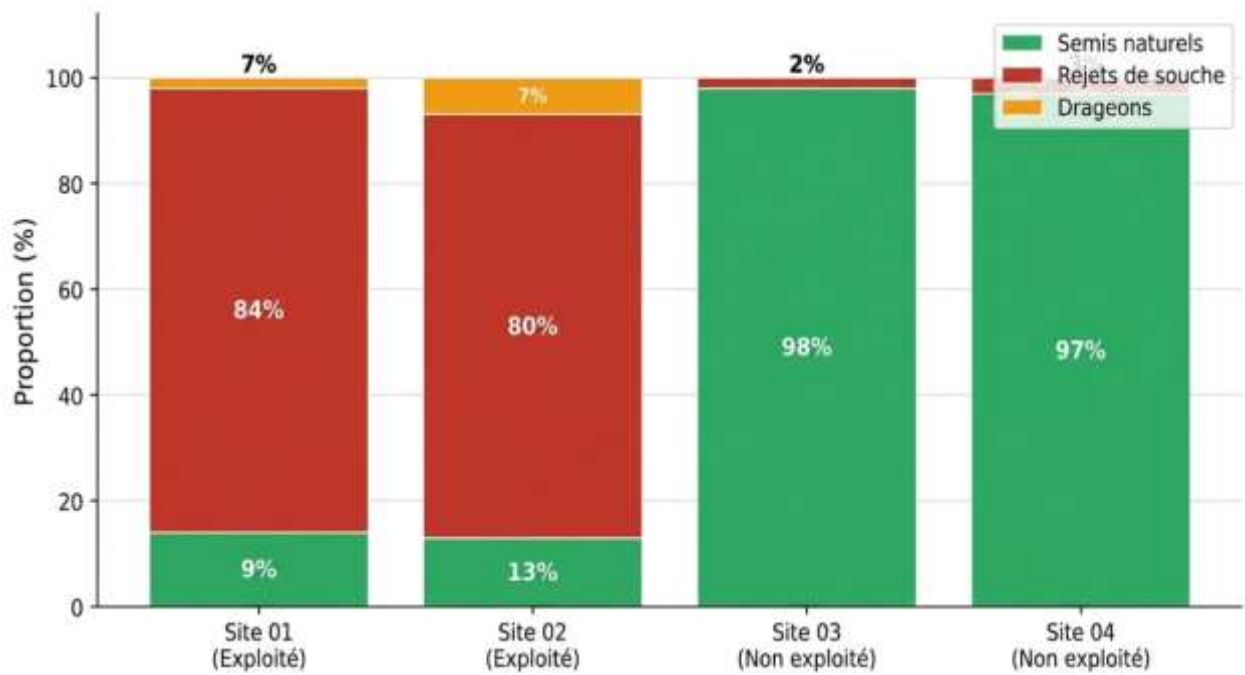


Figure 24: Origine de la régénération : semis naturels, rejets de souche et drageons (%).

V.3.4. État sanitaire de la régénération :

La Figure 25 montre la proportion d'individus vivants, morts et endommagés pour chaque site. Les sites non exploités présentent des taux de survie nettement supérieurs ($\geq 94\%$), tandis que les sites exploités enregistrent une mortalité et des dommages plus importants, notamment le Site 01 avec 24% d'individus endommagés.

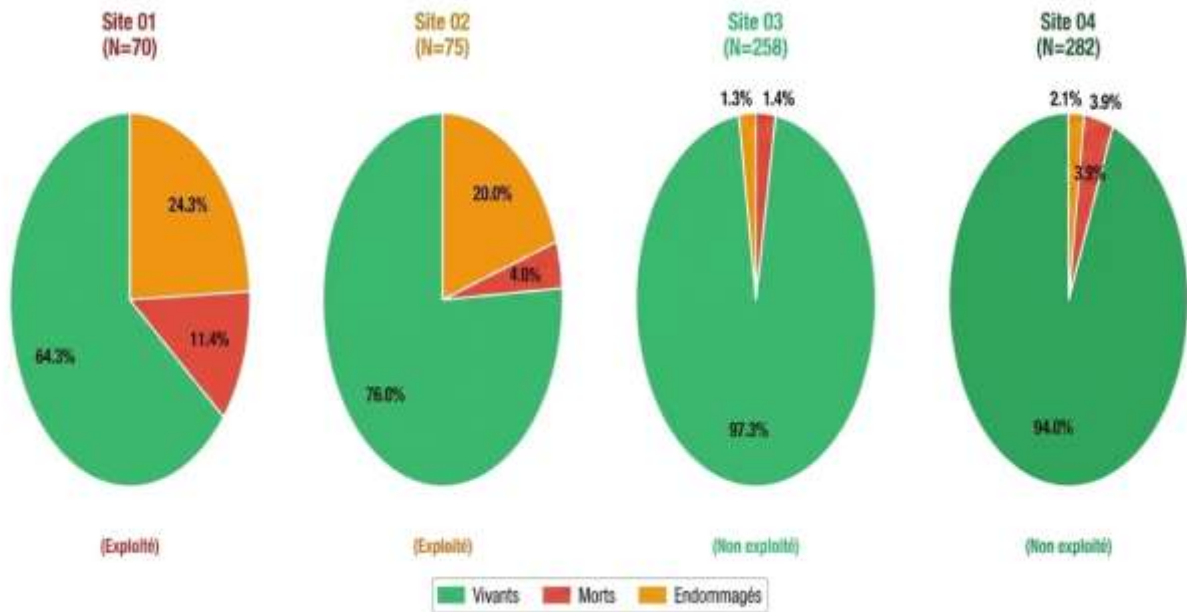


Figure 25: Proportion des états sanitaires de la régénération par site.

V.3.5. Taux de survie comparatif

La Figure 26 montre une différence nette du taux de survie entre les sites exploités et les sites non exploités. Les sites non exploités présentent les valeurs les plus élevées, avec 97 % pour le Site 03 et environ 93–94 % pour le Site 04. Ces valeurs dépassent le seuil de 90 %, ce qui traduit un meilleur maintien des jeunes individus dans les zones peu perturbées.

À l'inverse, les sites exploités enregistrent des taux de survie plus faibles, avec 64 % pour le Site 01 et 76 % pour le Site 02. Cette diminution peut être liée aux effets des prélèvements répétés de bois, aux dommages mécaniques, au piétinement et à la perturbation du milieu. Ainsi, le taux de survie confirme que la régénération naturelle du chêne-liège est plus favorable dans les zones non exploitées que dans les zones soumises à la collecte du bois de chauffage.

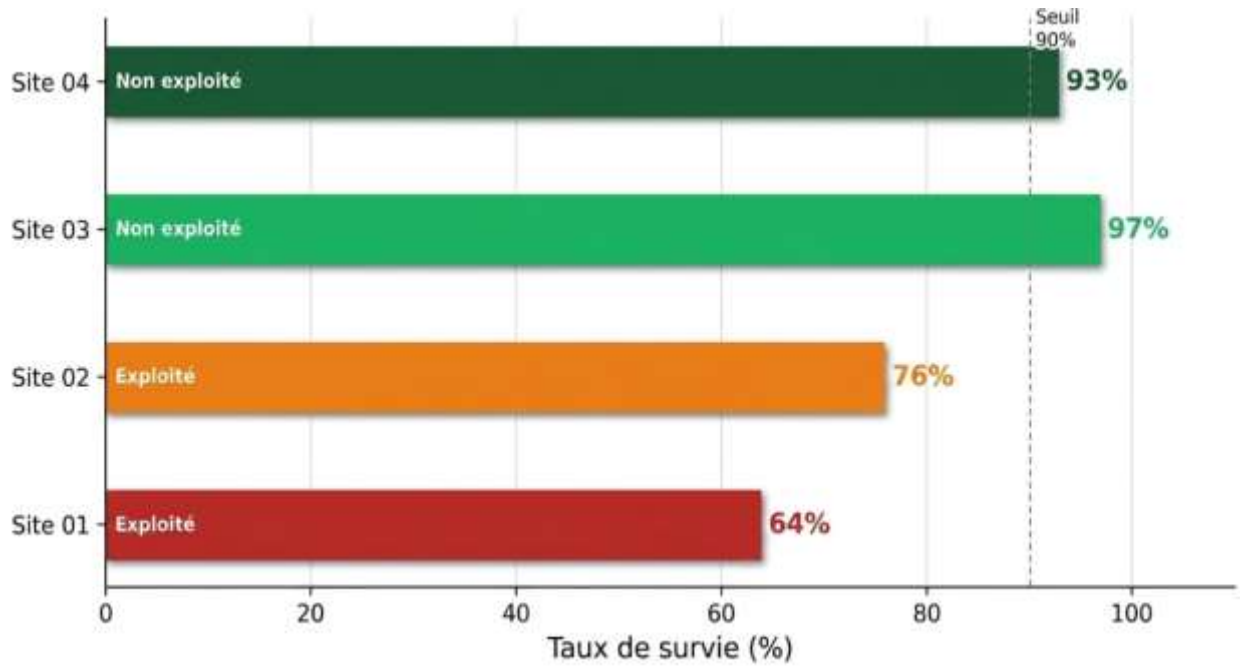


Figure 26: Taux de survie comparatif des quatre sites (%)

V.3.6. Hauteur maximale des brins établis

La Figure 27 compare les hauteurs maximales atteintes par les brins établis dans chacun des sites. Les sites non exploités présentent des individus nettement plus grands (500–710 cm vs 300–450 cm), témoignant d'une croissance non entravée sur plusieurs décennies.

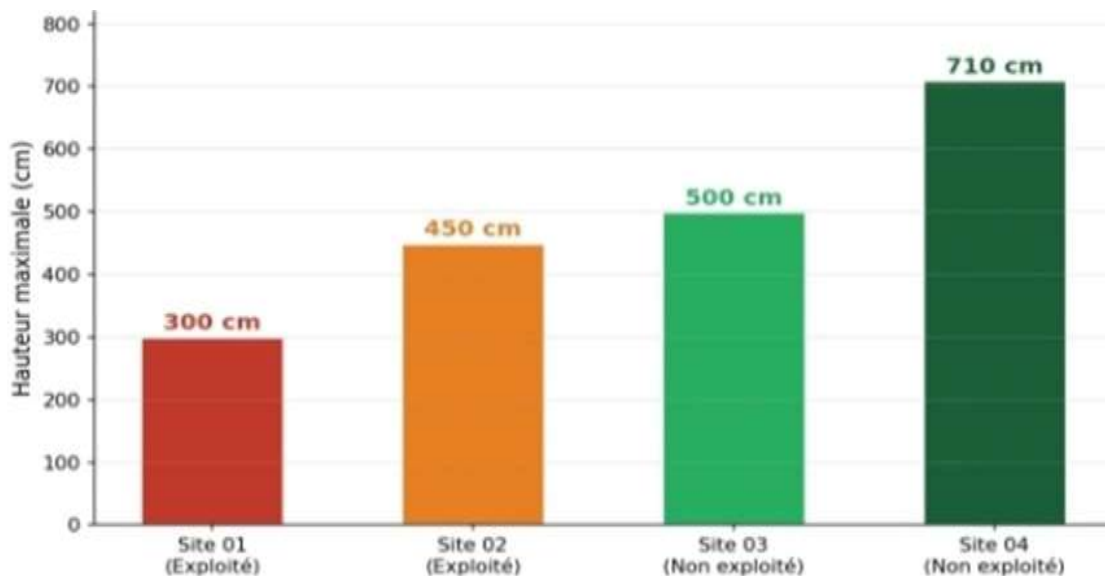


Figure 27: Hauteur maximale des brins établis par site (cm).

V.3.7. Profil écologique comparatif

La Figure 28 synthétise six indicateurs clés normalisés sur une échelle de 0 à 100. La surface des polygones représente la qualité globale de la régénération. Les sites non exploités (S3, S4) couvrent une superficie nettement supérieure sur tous les axes simultanément, confirmant la dégradation multidimensionnelle de la régénération dans les sites soumis à l'exploitation.

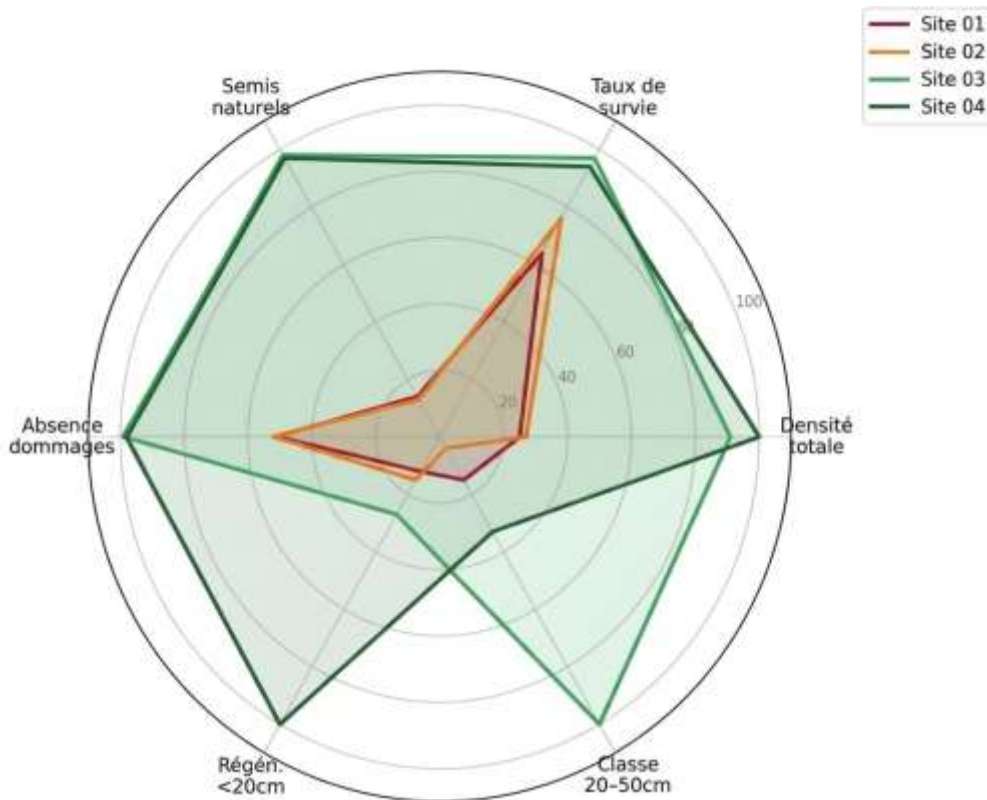


Figure 28: Profil écologique comparatif : indicateurs normalisés (0–100) pour les quatre sites.

V.4. Discussion des résultats de régénération

V.4.1. Impact de l'exploitation sur la densité de régénération

Les résultats obtenus révèlent un différentiel important de densité entre les sites exploités et les sites non exploités. En effet, la densité moyenne de régénération atteint seulement 72,5 individus dans les sites exploités, contre 270 individus dans les sites non exploités, soit un rapport d'environ 1 à 3,7. Cette forte réduction montre que l'exploitation non réglementée du bois de

chauffage affecte directement la capacité de renouvellement naturel de la subéraie.

Cette tendance rejoint les observations de Chen et al. (2017), qui ont montré que la collecte du bois de chauffage modifie à la fois les conditions biotiques et abiotiques du milieu forestier, avec des conséquences négatives sur les processus de recrutement des arbres. Dans leur étude menée sur un système chêne–rongeurs, les auteurs indiquent que la collecte du bois réduit la dispersion des glands, diminue les distances de dispersion et peut compromettre le recrutement forestier. Ainsi, la faible densité observée dans les sites exploités de Theniet El Had peut être interprétée non seulement comme une conséquence directe des coupes et du piétinement, mais aussi comme le résultat d'une perturbation plus globale du cycle de régénération naturelle.

V.4.2. Hiatus de recrutement dans la classe 20–50 cm

Le déficit observé dans la classe 20–50 cm au niveau des sites exploités constitue un indicateur important de perturbation du recrutement. Cette classe représente un stade intermédiaire essentiel entre les jeunes semis et les individus plus établis. Sa faiblesse montre que les jeunes plants ne parviennent pas à évoluer normalement vers les stades supérieurs, probablement en raison des coupes répétées, du piétinement, des dommages mécaniques et de l'ouverture excessive du milieu.

Cette situation peut être rapprochée des résultats de Chen et al. (2017), qui montrent que la collecte du bois de chauffage réduit la probabilité de déplacement des graines et limite leur mise en cache par les rongeurs, deux processus favorables à la régénération. Dans les forêts soumises à la collecte active du bois, les graines étaient moins susceptibles d'être déplacées que dans les forêts témoins non exploitées. Cette réduction de la dispersion peut entraîner une mauvaise répartition spatiale des semis et limiter leur installation dans des microhabitats favorables. Dans notre cas, cela pourrait contribuer à expliquer

la discontinuité observée entre les jeunes plants et les classes de hauteur plus avancées.

V.4.3. Basculement du mode de reproduction

La dominance des rejets de souche dans les sites exploités traduit une réponse végétative du peuplement après les coupes. Les proportions élevées de rejets, atteignant 80 à 84 %, indiquent que la régénération naturelle se fait principalement à partir des souches et non par semis. Ce mode de reprise permet une réaction rapide après perturbation, mais il ne garantit pas un renouvellement durable du peuplement, car il limite la diversité génétique et peut produire des individus multi-tiges, moins stables et plus vulnérables.

À l'inverse, dans les sites non exploités, la reproduction séminale domine largement avec 97 à 98 % des individus. Cette dominance traduit un fonctionnement écologique plus équilibré, fondé sur la production de glands, leur dispersion, leur germination et leur installation progressive. Les travaux de Chen et al. (2017) renforcent cette interprétation, car ils montrent que la collecte du bois de chauffage perturbe la dispersion animale des graines, qui constitue une étape clé du recrutement des chênes. Ainsi, dans les sites exploités de Theniet El Had, la faiblesse de la régénération par semis peut être liée à la fois à la réduction des arbres semenciers, à la perturbation du couvert et à l'altération des interactions écologiques favorables à la dispersion des glands.

V.4.4. État sanitaire et pression anthropique

Le taux d'endommagement des individus est nettement plus élevé dans les sites exploités, avec 20 à 24 % d'individus touchés, contre seulement 0,4 à 2 % dans les sites non exploités. Cette différence met en évidence l'effet direct des activités humaines sur l'intégrité physique des jeunes plants. Les blessures mécaniques, le piétinement, le passage répété des usagers et les perturbations racinaires peuvent réduire la survie des semis et limiter leur croissance.

Cette pression ne se limite pas aux dommages visibles. Chen et al. (2017) soulignent que les perturbations liées aux activités humaines et aux animaux domestiques peuvent modifier le comportement des petits mammifères disperseurs, en augmentant leur vigilance et leur perception du risque. Cela peut réduire leur activité de déplacement des graines et donc affaiblir indirectement la régénération. Dans la subéraie étudiée, les dommages observés sur les jeunes individus peuvent donc être associés à une double perturbation : une perturbation directe des plants et une perturbation indirecte des processus écologiques qui permettent leur installation.

V.4.5. Structure verticale et potentiel de croissance

La différence de hauteur maximale entre les brins établis des sites non exploités et ceux des sites exploités traduit une meilleure continuité de croissance dans les zones protégées. Les individus des sites non exploités atteignent des hauteurs maximales de 500 à 710 cm, alors que ceux des sites exploités ne dépassent généralement pas 300 à 450 cm. Cette différence montre que, dans les zones non exploitées, les jeunes individus peuvent franchir progressivement les stades de développement, tandis que dans les sites exploités, leur croissance verticale semble freinée par les perturbations répétées.

Ce résultat est cohérent avec l'idée que la collecte du bois modifie la structure de l'habitat. Selon Chen et al. (2017), l'enlèvement des arbres du couvert réduit le recouvrement global de la végétation et modifie les conditions de microhabitat. Dans le contexte méditerranéen de Theniet El Had, cette ouverture du couvert peut accentuer le stress hydrique, augmenter l'exposition des jeunes plants et réduire leurs chances d'atteindre les classes de hauteur supérieures.

V.4.6. Mise en perspective avec l'écologie du chêne-liège à Theniet El Had

Les résultats obtenus doivent être interprétés à la lumière de l'écologie du chêne-liège, dont la régénération naturelle dépend de plusieurs étapes successives : production des glands, dispersion, germination, survie des semis et passage progressif vers les classes supérieures. L'exploitation non réglementée du bois de chauffage perturbe plusieurs de ces étapes. Elle réduit la densité de régénération, favorise les rejets de souche, limite la croissance verticale et affaiblit la continuité entre les classes de hauteur.

Les résultats de Chen et al. (2017) permettent d'élargir cette interprétation. Dans leur étude, la collecte du bois de chauffage a entraîné une prédation plus élevée des graines, une réduction du nombre de graines dispersées, un raccourcissement des distances de dispersion et une baisse de l'efficacité de dispersion. Ces processus peuvent expliquer pourquoi les sites exploités présentent une régénération séminale plus faible : les glands sont moins bien dispersés, restent davantage regroupés près des arbres mères ou sont plus exposés à la prédation, au dessèchement et aux pathogènes.

Ainsi, la régénération réduite observée dans les sites exploités de Theniet El Had ne doit pas être interprétée uniquement comme une conséquence mécanique des coupes. Elle traduit aussi une perturbation du fonctionnement écologique du peuplement. La réduction des arbres adultes diminue le stock semencier, l'ouverture du couvert modifie les microhabitats, et les activités humaines peuvent perturber les animaux impliqués dans la dispersion des glands. Cette combinaison de facteurs explique la faiblesse de la régénération séminale et la dominance des rejets de souche.

V.4.7. Mécanismes écologiques explicatifs liés à la dispersion des glands

Les tendances observées dans les sites exploités peuvent être expliquées par un mécanisme écologique lié à la dispersion des glands. Chez les chênes, une partie des glands est consommée par les rongeurs, tandis qu'une autre partie

peut être transportée, enfouie puis oubliée, ce qui favorise l'installation de nouveaux semis. Cependant, lorsque le milieu est perturbé par la collecte du bois de chauffage, ce service écologique peut être affaibli.

Dans l'étude de Chen et al. (2017), les distances de dispersion des graines étaient significativement réduites dans les forêts soumises à la collecte du bois, avec des diminutions pouvant atteindre 48,8 % à 71,8 % dans les sites de collecte active selon l'année de fructification. Les auteurs expliquent qu'une réduction de la distance de dispersion augmente la probabilité que les graines restent près des arbres parents, où la mortalité des jeunes plants peut être plus élevée à cause de la compétition, des ennemis naturels et de la dépendance négative à la densité.

Transposée avec prudence au chêne-liège de Theniet El Had, cette logique permet de mieux comprendre les résultats obtenus. Dans les sites exploités, les coupes répétées peuvent diminuer le nombre d'arbres producteurs de glands, réduire la qualité des microhabitats favorables à la germination et perturber les animaux disperseurs. Les glands ont alors plus de risques d'être consommés sur place ou de rester à proximité de l'arbre mère, ce qui limite le recrutement efficace. À l'inverse, dans les sites non exploités, le maintien du couvert, la présence d'arbres adultes et la stabilité écologique du milieu favorisent une meilleure régénération par semis.

En conséquence, les résultats obtenus dans les sites exploités ne traduisent pas seulement une baisse quantitative de la régénération, mais aussi une modification qualitative du fonctionnement du peuplement. La dominance des rejets de souche, le déficit dans la classe 20–50 cm et la faiblesse de la reproduction séminale montrent que l'exploitation du bois de chauffage perturbe à la fois la structure actuelle de la subéraie et sa capacité future de renouvellement. Ces observations confirment la nécessité de limiter les coupes, de protéger les semis et de mettre temporairement en défens les zones les plus

sensibles afin de préserver la dynamique naturelle du chêne-liège à Theniet El Had.

V.5. Résultats dendrométriques

Les résultats dendrométriques permettent de compléter l'analyse de la régénération par une lecture structurale des peuplements adultes de chêne-liège. Ils concernent le nombre d'arbres inventoriés, la structure diamétrique, la structure en hauteur, la biomasse aérienne, le carbone stocké et la surface terrière.

Tableau 19: Récapitulatif des placettes selon le type de zone

Site	Zone finale	Placette	N arbres	Somme AGB (kg)	Somme carbone (kg)	Somme ST (m ²)	ST (m ² /ha)
Site 01	exploitée	P01	17	1 759,15	826,80	0,6454	8,02
Site 01	exploitée	P02	18	1 883,73	885,35	0,6910	8,59
Site 01	exploitée	P03	18	2 097,54	985,85	0,7778	9,67
Site 02	exploitée	P01	12	4 415,60	2 075,33	1,4439	17,95
Site 02	exploitée	P02	16	4 012,37	1 885,81	1,4163	17,61
Site 02	exploitée	P03	16	4 351,10	2 045,02	1,4927	18,56
Site 03	non exploitée	P01	22	28 668,17	13 474,04	4,5930	57,11
Site 03	non exploitée	P02	19	29 422,10	13 828,39	4,5920	57,10
Site 03	non exploitée	P03	20	28 509,95	13 399,67	4,4713	55,60
Site 04	non exploitée	P01	18	17 751,40	8 343,16	3,1315	38,94
Site 04	non exploitée	P02	20	20 825,53	9 788,00	3,6718	45,65
Site 04	non exploitée	P03	24	27 624,83	12 983,67	4,6222	57,47

Tableau 20 : Moyennes corrigées par type de zone

Zone finale	Nombre de placettes	Moyenne AGB (kg)	Moyenne carbone (kg)	Moyenne ST (m ²)	Moyenne ST convertie (m ² /ha)
exploitée	6	3 086,58	1 450,69	1,0778	13,40
non exploitée	6	25 467,00	11 969,49	4,1803	51,98

V.5.1. Nombre d'arbres par placette

Le nombre d'arbres inventoriés varie entre les placettes exploitées et non exploitées, mais l'écart observé reste relativement modéré comparativement aux différences enregistrées pour la biomasse, le carbone et la surface terrière. Dans les zones exploitées, le nombre moyen d'individus est de 16,17 arbres par

placette, alors qu'il atteint 20,50 arbres par placette dans les zones non exploitées. Ainsi, les zones non exploitées présentent en moyenne environ 4,33 individus supplémentaires par placette, soit une augmentation d'environ 26,8 % par rapport aux zones exploitées.

Cependant, cet écart numérique ne doit pas être interprété uniquement comme une simple différence de densité. En effet, le nombre d'arbres ne renseigne pas à lui seul sur l'état réel du peuplement. Une placette peut contenir un nombre relativement élevé d'individus, mais si ces individus appartiennent à de faibles classes de diamètre ou de hauteur, leur contribution à la biomasse, au stock de carbone et à la surface terrière reste limitée. C'est précisément ce qui apparaît dans les zones exploitées : le nombre d'arbres n'est pas extrêmement faible, mais ces arbres appartiennent surtout à des classes de diamètre et de hauteur moins développées.

À l'inverse, les zones non exploitées ne se distinguent pas seulement par un nombre plus élevé d'individus ; elles se caractérisent surtout par la présence d'arbres plus développés, de plus grands diamètres et de hauteurs plus importantes. Cette différence explique pourquoi les écarts deviennent beaucoup plus marqués pour les indicateurs structuraux et fonctionnels : la biomasse aérienne moyenne passe de 3 086,58 kg dans les zones exploitées à 25 467,00 kg dans les zones non exploitées, tandis que le stock moyen de carbone passe de 1 450,69 kg à 11 969,49 kg. De même, la surface terrière corrigée passe de 13,40 m²/ha dans les zones exploitées à 51,98 m²/ha dans les zones non exploitées. Ainsi, le nombre d'individus doit être analysé en relation avec la taille des arbres, et non de manière isolée.

Sur le plan écologique, ces résultats montrent que l'exploitation du bois de chauffage n'entraîne pas nécessairement une disparition massive du nombre total d'arbres dans toutes les placettes, mais elle modifie surtout la qualité structurale du peuplement. Les zones exploitées peuvent encore contenir

plusieurs individus, mais ceux-ci présentent une contribution plus faible à la biomasse, au carbone stocké et à la surface terrière. Cela traduit une dégradation progressive du capital ligneux mature, liée aux prélèvements répétés des arbres les plus développés ou les plus accessibles.

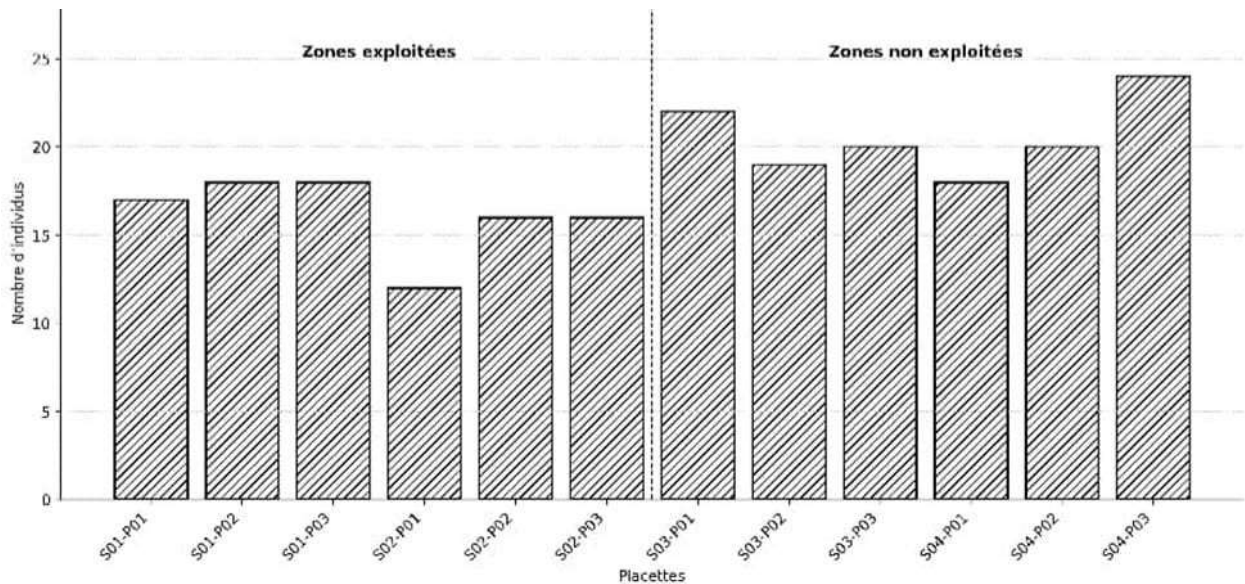


Figure 29: Nombre d'arbres par placette.

V.5.2. Structure horizontale des peuplements

La structure horizontale des peuplements, établie selon la typologie des classes de diamètre (perches < 7,5 cm ; petits bois 7,5–27,5 cm ; bois moyens 27,5–47,5 cm ; gros bois 47,5–67,5 cm ; très gros bois > 67,5 cm), met en évidence une différence nette entre les zones exploitées et les zones non exploitées.

Dans les zones exploitées, les individus se concentrent principalement dans les classes de faibles et moyens diamètres. Les petits bois sont les plus représentés avec 73 tiges/ha, suivis des perches avec 62 tiges/ha, puis des bois moyens avec 52 tiges/ha. Les gros bois deviennent ensuite faiblement représentés avec seulement 12 tiges/ha, tandis que les très gros bois sont absents. Cette distribution indique que les peuplements exploités sont dominés

par des arbres de petites et moyennes dimensions, ce qui traduit l'effet des prélèvements répétés du bois de chauffage sur les arbres les plus développés.

À l'inverse, dans les zones non exploitées, la distribution diamétrique est plus orientée vers les classes de diamètres élevés. Les gros bois dominent avec 116 tiges/ha, suivis des bois moyens avec 100 tiges/ha. Les petits bois et les très gros bois sont faiblement représentés, avec respectivement 21 tiges/ha et 19 tiges/ha, tandis que les perches sont absentes. Cette répartition traduit un peuplement plus mature, mieux conservé et moins soumis aux prélèvements directs.

Ainsi, la structure horizontale confirme que l'exploitation du bois de chauffage réduit la représentation des gros diamètres et modifie l'équilibre structural du peuplement. Les zones exploitées présentent une dominance des jeunes classes et des diamètres faibles à moyens, alors que les zones non exploitées conservent une structure plus développée, caractérisée par une forte proportion de bois moyens et de gros bois.

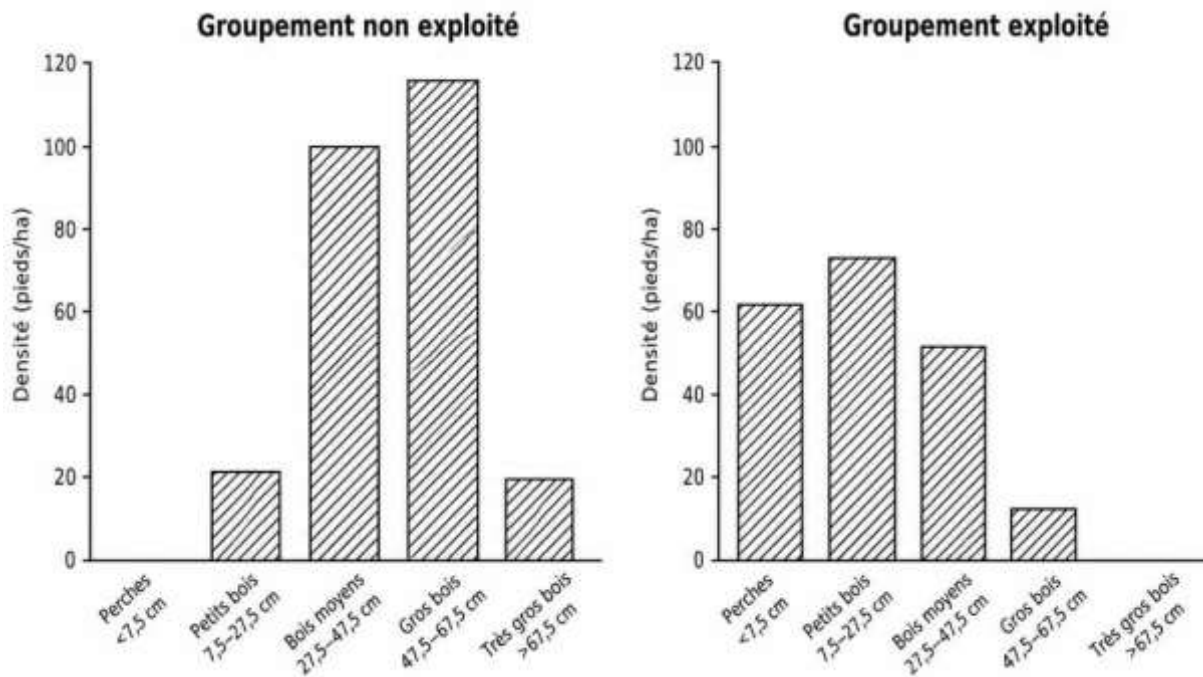


Figure30: Structure horizontale des peuplements de chêne-liège.

V.5.3. Structure verticale des peuplements

L'analyse des classes de hauteur confirme également l'effet de l'exploitation du bois de chauffage sur la structure verticale du peuplement. Dans les zones exploitées, les individus sont principalement concentrés dans les classes de faibles hauteurs. La classe [2–4 m[représente la valeur la plus élevée avec 53 individus, soit environ 109,8 pieds/ha, suivie de la classe [4–6 m[avec 38 individus, soit environ 78,8 pieds/ha. Les classes supérieures deviennent ensuite très faiblement représentées : la classe [6–8 m[ne compte que 5 individus, tandis que la classe [8–10 m[ne compte qu'un seul individu. Au-delà de 10 m, les individus sont absents dans les zones exploitées.

Cette distribution montre que les zones exploitées sont dominées par des arbres de faible à moyenne hauteur. L'absence presque totale des classes élevées traduit une limitation du développement vertical du peuplement, probablement liée aux coupes répétées et à la disparition progressive des individus les plus développés ou les plus accessibles.

Dans les zones non exploitées, la structure verticale apparaît plus développée et plus équilibrée. Les individus sont surtout représentés dans les classes moyennes et élevées : la classe [6–8 m[compte 36 individus, soit environ 74,6 pieds/ha, la classe [8–10 m[compte 31 individus, soit environ 64,2 pieds/ha, et la classe [10–12 m[compte 32 individus, soit environ 66,3 pieds/ha. La classe [12–14 m[reste également présente avec 8 individus, soit environ 16,6 pieds/ha. Cette présence des classes supérieures montre que les arbres des zones non exploitées ont pu poursuivre leur croissance verticale dans des conditions moins perturbées.

Ainsi, la comparaison met en évidence une opposition nette entre les deux types de zones. Les zones exploitées présentent une structure verticale simplifiée, limitée principalement aux classes inférieures à 6 m, alors que les zones non exploitées conservent une meilleure continuité verticale jusqu'à 12

m et plus. Cette différence traduit un meilleur état de conservation des peuplements non exploités et confirme que l'exploitation du bois de chauffage affecte non seulement le diamètre des arbres, mais aussi leur développement en hauteur.

Ces résultats sont cohérents avec les tendances observées pour la biomasse, le carbone et la surface terrière. Les zones non exploitées, qui présentent davantage d'arbres de grande hauteur, enregistrent également les valeurs les plus élevées de biomasse aérienne, de carbone stocké et de surface terrière. À l'inverse, les zones exploitées, dominées par des arbres plus bas, présentent une contribution plus faible au capital ligneux global du peuplement. Cela confirme que la hauteur doit être analysée comme un indicateur complémentaire de la maturité structurale du chêne-liège.

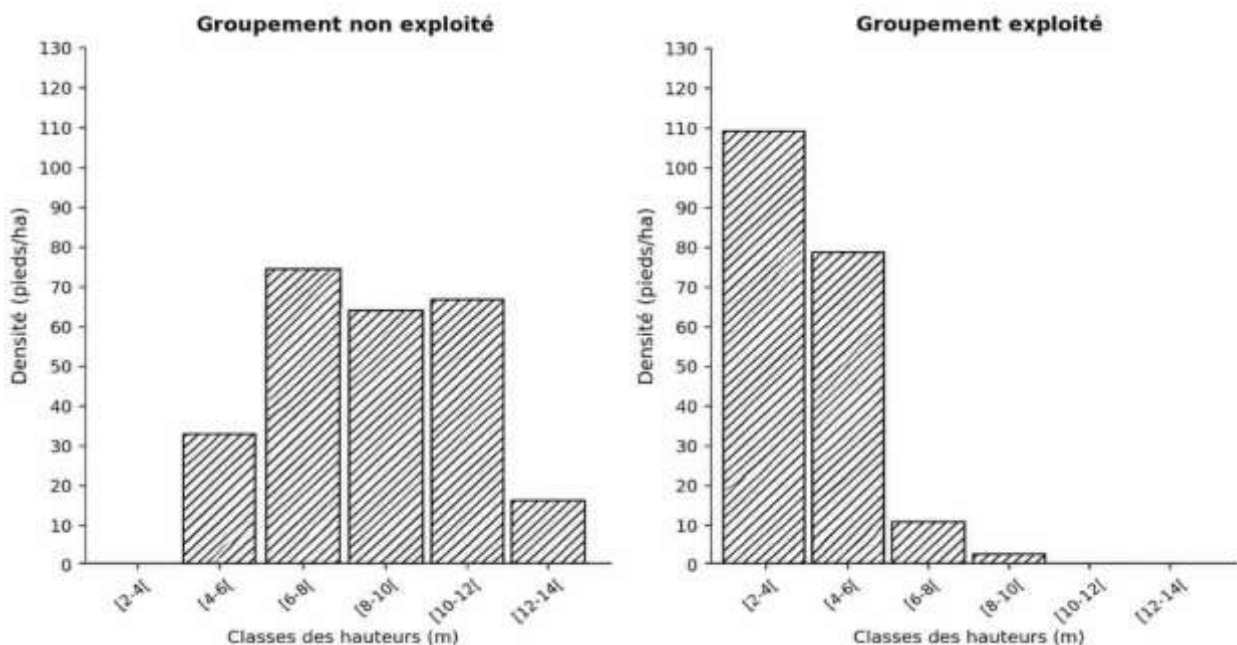


Figure 31: Structure verticale des peuplements de chêne-liège.

V.5.4. Surface terrière

la surface terrière passe de 13,40 m²/ha dans les zones exploitées à 51,98 m²/ha dans les zones non exploitées. L'écart est de 38,58 m²/ha, ce qui représente une augmentation d'environ 287,9 %. Cela signifie que la surface

occupée par les sections des troncs est presque 3,9 fois plus élevée dans les zones non exploitées que dans les zones exploitées.

Cette différence met en évidence une opposition nette entre les deux types de zones. Les zones exploitées présentent une surface terrière plus faible, ce qui traduit un peuplement appauvri en arbres de gros diamètre. Cette situation peut être liée aux prélèvements répétés du bois de chauffage, qui réduisent progressivement le capital ligneux mature et modifient la structure du peuplement.

En revanche, les zones non exploitées présentent une surface terrière corrigée nettement plus élevée. Cette valeur s'explique par la présence d'arbres adultes de plus grands diamètres dans les placettes étudiées. Elle traduit donc une structure plus mature, mieux conservée et plus riche en biomasse ligneuse.

Sur le plan écologique, cette différence est importante, car la surface terrière est directement liée à la biomasse aérienne et au stock de carbone. Les zones non exploitées, qui présentent une surface terrière plus élevée, enregistrent également les valeurs les plus fortes de biomasse et de carbone. À l'inverse, les zones exploitées montrent une réduction simultanée de la surface terrière, de la biomasse et du carbone stocké.

Ainsi, la surface terrière convertie à l'hectare confirme que l'exploitation du bois de chauffage entraîne une diminution du capital ligneux mature et une simplification de la structure du peuplement de chêne-liège.

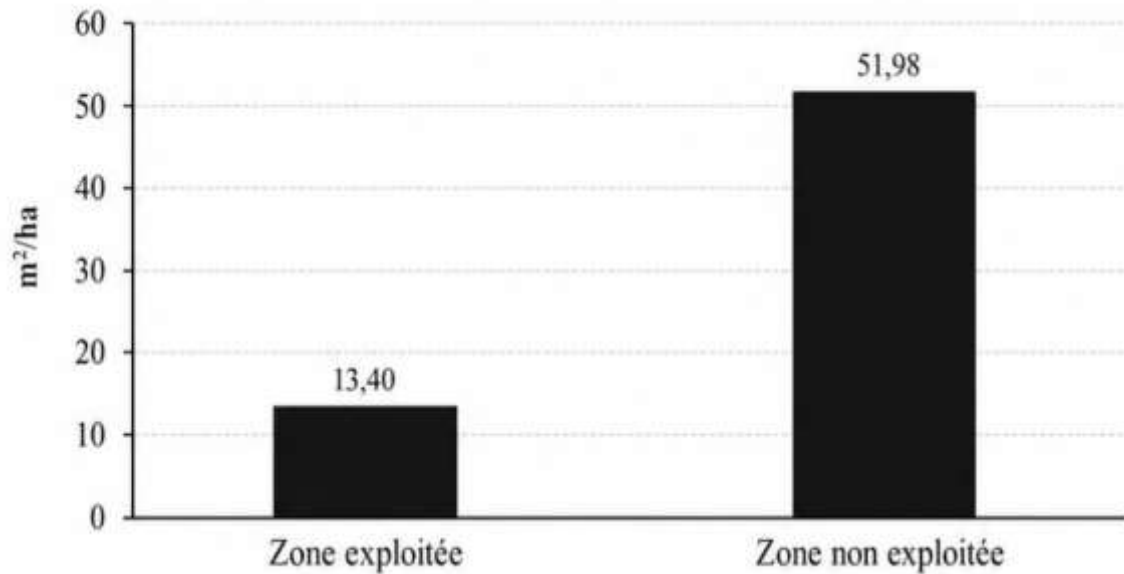


Figure 32: Surface terrière convertie à l'hectare selon le type de zone.

V.6.Biomasse aérienne et stock de carbone

V.6.1. Biomasse aérienne moyenne

La biomasse aérienne moyenne est nettement plus élevée dans les zones non exploitées que dans les zones exploitées. Elle passe de 3 086,58 kg dans les zones exploitées à 25 467,00 kg dans les zones non exploitées. Cet écart indique que les placettes non exploitées conservent un capital ligneux plus important, tandis que les zones exploitées présentent une accumulation plus faible de matière végétale aérienne.

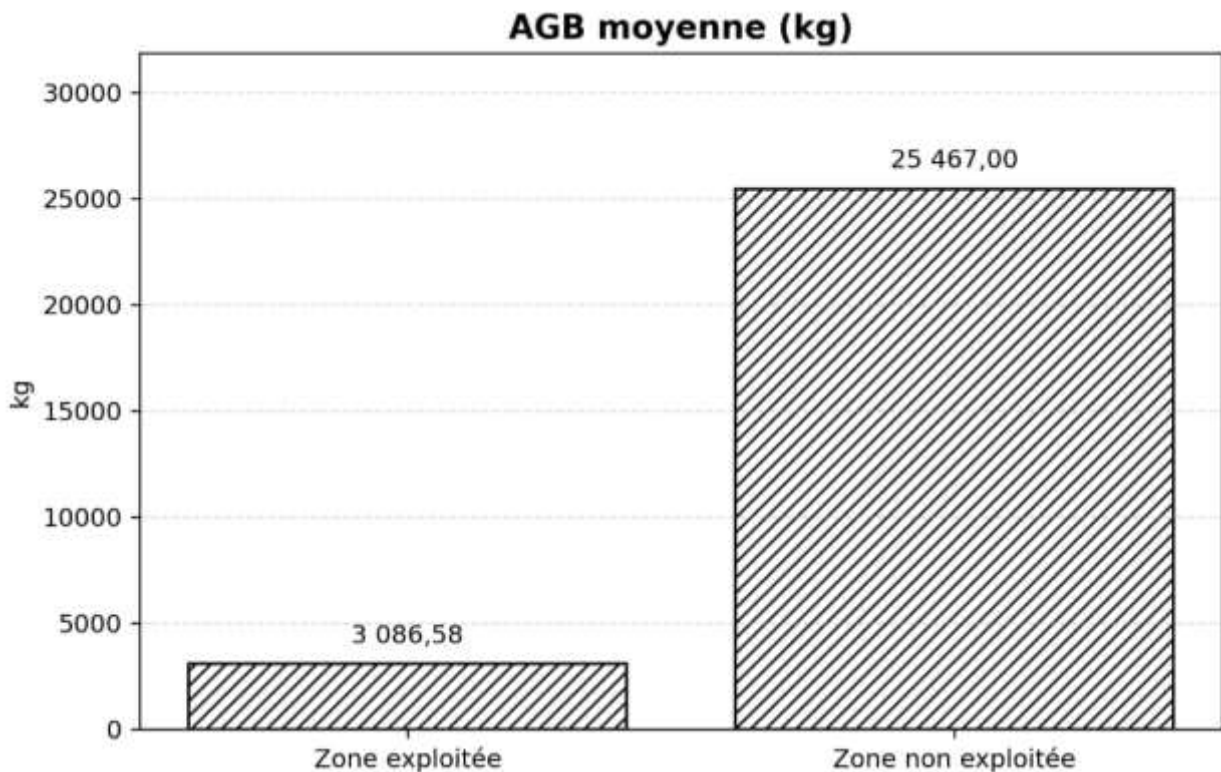


Figure 33: Biomasse aérienne moyenne (AGB) selon le type de zone.

V.6.2. Carbone moyen stocké

Le carbone moyen stocké suit la même tendance que la biomasse aérienne, puisqu'il est directement calculé à partir de celle-ci. Il passe de 1 450,69 kg dans les zones exploitées à 11 969,49 kg dans les zones non exploitées. L'écart absolu est de 10 518,80 kg, ce qui correspond à une augmentation d'environ 725,2 %. Cette différence indique que les zones non exploitées assurent une capacité de stockage du carbone nettement plus élevée, tandis que l'exploitation du bois de chauffage affaiblit cette fonction écologique dans les zones exploitées.

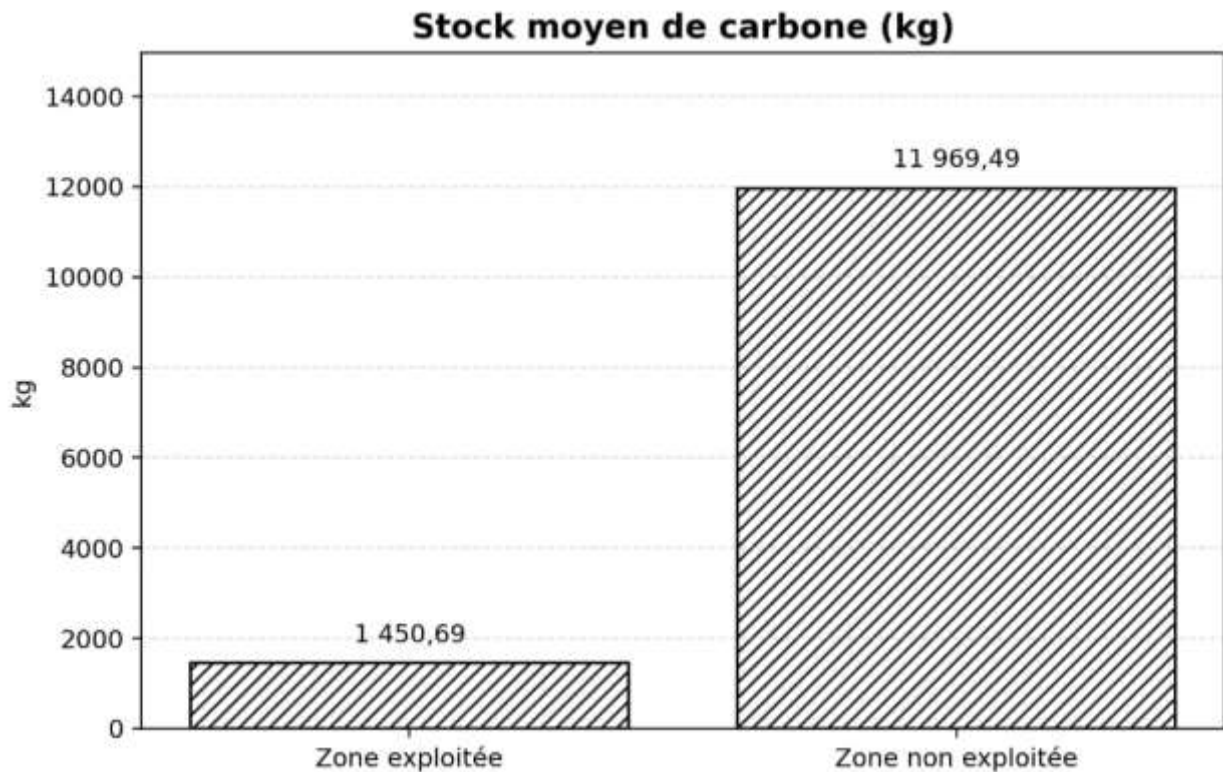


Figure 34: Carbone moyen stocké selon le type de zone.

V.6.3. Relation entre biomasse, carbone et surface terrière

Tableau 21 : Comparaison quantitative des écarts entre zones exploitées et non exploitées.

Indicateur	Exploitée	Non exploitée	Rapport non exploitée/exploitée	Augmentation relative
AGB moyenne (kg)	3 086,58	25 467,00	8,25 fois	+725,1 %
Carbone moyen (kg)	1 450,69	11 969,49	8,25 fois	+725,1 %
ST moyenne (m ²)	1,0778	4,1803	3,88 fois	+287,9 %
ST ramenée à l'hectare (m ² /ha)	13,40	51,98	3,88 fois	+287,9 %

Les résultats du tableau montrent une relation cohérente entre la surface terrière, la biomasse aérienne et le stock de carbone. Les zones non exploitées présentent des valeurs nettement plus élevées pour l'ensemble des indicateurs étudiés. La biomasse aérienne moyenne y est environ 8,25 fois supérieure à celle des zones exploitées, et le stock moyen de carbone suit exactement la même tendance, puisqu'il est directement dérivé de la biomasse aérienne. La surface terrière présente également une augmentation importante, avec des valeurs environ 3,88 fois plus élevées dans les zones non exploitées.

Cette relation montre que les différences observées entre les deux types de zones ne relèvent pas uniquement du nombre d'individus inventoriés, mais surtout de la taille des arbres et de leur contribution au capital ligneux. Les placettes non exploitées conservent davantage d'arbres adultes, de plus gros diamètre et plus fortement contributeurs à la biomasse et au carbone stocké.

V.7. Discussion intégrée des variables dendrométriques et environnementales

L'ensemble des résultats dendrométriques montre que l'impact de l'exploitation du bois de chauffage ne se traduit pas uniquement par une diminution du nombre d'arbres. L'écart numérique entre les zones exploitées et non exploitées reste relativement modéré, alors que les différences deviennent beaucoup plus marquées lorsque l'on considère les dimensions des arbres, la surface terrière, la biomasse aérienne et le stock de carbone. Cette situation indique que les peuplements exploités peuvent conserver plusieurs individus, mais que ceux-ci appartiennent majoritairement à des classes de diamètre et de hauteur moins développées.

Cette interprétation est en accord avec les résultats de Kaina et al (2018), qui ont montré, dans une étude sur l'impact de l'exploitation du bois-énergie au Togo, que la densité des tiges à l'hectare, la surface terrière et la biomasse diminuent significativement des zones non exploitées vers les zones exploitées. Les auteurs indiquent également que les espèces les plus utilisées pour le bois-énergie deviennent moins représentées dans la végétation, ce qui traduit une pression sélective exercée sur les ligneux exploités.

Sur le plan structural, les prélèvements répétés semblent affecter en priorité le capital ligneux mature, c'est-à-dire les arbres les plus gros, les plus hauts et les plus contributeurs à la biomasse. Cette réduction des individus développés entraîne une simplification de la structure du peuplement, visible à travers la faiblesse relative de la surface terrière et la moindre continuité des

classes de diamètre et de hauteur dans les zones exploitées. Cette tendance rejoint également les observations de Kaina et al (2018), qui rapportent que la surface terrière, la hauteur moyenne, la densité des tiges et la biomasse sont plus élevées dans les zones non exploitées que dans les zones moyennement exploitées et exploitées.

La structure diamétrique observée dans notre étude confirme également cette dynamique. Les zones exploitées sont dominées par les faibles et moyens diamètres, tandis que les zones non exploitées conservent une proportion plus importante de bois moyens et de gros bois. Ce résultat est comparable à celui de Kaina et al (2018), qui soulignent que la pression d'exploitation se concentre d'abord sur les individus de gros diamètre, puis sur les individus de diamètre moyen, avant de toucher les jeunes individus lorsque les arbres exploitables deviennent rares.

Sur le plan fonctionnel, cette dégradation structurale se répercute directement sur la capacité de stockage du carbone. La biomasse aérienne constitue le support principal du carbone stocké dans les parties aériennes des arbres ; ainsi, toute réduction du capital ligneux mature entraîne une baisse du stock de carbone. Les variables étudiées doivent donc être interprétées ensemble : la surface terrière renseigne sur la structure horizontale du peuplement, la hauteur et le diamètre traduisent son niveau de développement, tandis que la biomasse et le carbone expriment sa fonction écologique.

Cette relation entre exploitation, structure et biomasse a également été mise en évidence par Kaina et al (2018), qui notent que les formations végétales exploitées présentent une densité moyenne des ligneux, une surface terrière et une biomasse plus faibles que les formations non exploitées. Ces résultats confirment que la coupe du bois-énergie ne réduit pas seulement le nombre d'individus, mais diminue surtout le volume ligneux disponible et, par conséquent, les fonctions écologiques associées au peuplement.

Dans le contexte du Parc National de Theniet El Had, cette évolution est préoccupante, car la subéraie de chêne-liège joue un rôle important dans la protection du sol, le maintien du couvert végétal, la conservation de la biodiversité et le stockage du carbone. Lorsque l'exploitation réduit les arbres les plus développés et fragilise la régénération naturelle, elle affaiblit progressivement la stabilité écologique du peuplement et sa capacité de reconstitution à long terme.

Les observations de Kaina et al (2018) renforcent cette interprétation, car les auteurs indiquent que la pression exercée sur les ligneux constitue un frein majeur à l'évolution des formations végétales. Selon eux, la coupe répétée des individus de grande taille puis de taille moyenne entraîne une dégradation progressive des formations, qui peuvent passer de forêts riches en gros ligneux à des formations plus ouvertes et dégradées.

V.8. Synthèse générale de la discussion

En synthèse, les résultats montrent que l'exploitation du bois de chauffage n'entraîne pas seulement une réduction numérique de certains paramètres, mais surtout une modification de la qualité structurale et fonctionnelle des peuplements de chêne-liège. Les zones exploitées se caractérisent par une régénération plus faible, une dominance des rejets, une moindre représentation des arbres développés, ainsi que des valeurs réduites de biomasse, de carbone et de surface terrière. À l'inverse, les zones non exploitées conservent une structure plus équilibrée, un capital ligneux plus important et une meilleure continuité de régénération.

Ces résultats sont globalement cohérents avec ceux de Kaina et al (2018), qui ont montré que l'exploitation du bois-énergie modifie la structure et la physionomie des formations végétales, réduit les ressources ligneuses et favorise la dégradation des peuplements. Les auteurs soulignent également que, même si les zones exploitées peuvent présenter un potentiel de régénération,

les jeunes individus rencontrent des difficultés à atteindre le stade adulte à cause des pressions anthropiques et du manque d'individus de gros diamètre.

Ainsi, la pression de prélèvement ligneux constitue un facteur majeur de fragilisation de la subéraie étudiée. Elle affecte simultanément la structure diamétrique, la croissance en hauteur, la biomasse, le stockage du carbone et la dynamique de régénération. Cette convergence entre nos résultats et ceux de Kaina et al (2018) confirme que l'exploitation du bois de chauffage agit comme un facteur de dégradation progressive des peuplements forestiers, en réduisant leur maturité structurale et leur capacité de reconstitution durable.

V.9.Recommandations de gestion :

À la lumière des résultats obtenus dans les placettes étudiées, il apparaît que l'exploitation du bois de chauffage exerce une pression importante sur les peuplements de chêne-liège du Parc National de Theniet El Had. Les zones exploitées présentent des valeurs plus faibles de biomasse aérienne, de carbone stocké et de surface terrière corrigée par rapport aux zones non exploitées. Cette situation traduit une perte du capital ligneux mature, une simplification de la structure forestière et une diminution de la capacité écologique du peuplement.

Dans ce contexte, les recommandations suivantes visent à réduire l'impact du prélèvement du bois de chauffage, à favoriser la restauration progressive des peuplements dégradés et à proposer des alternatives de gestion compatibles avec la conservation du chêne-liège.

V.9.1. Valorisation économique du liège au détriment du bois de chauffage

Le chêne-liège présente un avantage écologique et économique majeur : il produit du liège, une ressource renouvelable pouvant être exploitée sans abattre l'arbre. Contrairement au prélèvement du bois de chauffage, qui entraîne une perte progressive du capital ligneux, la récolte raisonnée du liège

permet de maintenir les arbres vivants tout en générant une valeur économique durable.

Il est donc recommandé d'orienter progressivement les populations riveraines vers la valorisation du liège comme alternative économique au bois de chauffage. Cette orientation nécessite l'identification des arbres aptes au démasclage ainsi qu'une formation technique afin d'éviter les blessures susceptibles d'affaiblir les arbres.

V.9.2. Mise en place d'un réseau végétal protecteur

Les résultats montrent que les zones exploitées présentent une structure plus appauvrie. Cette dégradation peut favoriser l'ouverture du couvert forestier, l'exposition du sol, l'érosion et la perte d'humidité. Dans un milieu méditerranéen comme Theniet El Had, où la sécheresse estivale constitue déjà une contrainte importante, la protection du sol devient une priorité.

Il est recommandé de mettre en place un réseau végétal protecteur dans les zones les plus affectées. Ce réseau peut être constitué d'espèces arbustives et herbacées adaptées aux conditions locales, capables de stabiliser le sol, de réduire le ruissellement et d'améliorer le microclimat. La présence d'un sous-couvert végétal limite également la compaction du sol et crée des conditions plus favorables à la germination des glands et à l'installation des jeunes plants de chêne-liège.

Cette mesure doit être appliquée en priorité dans les secteurs où la surface terrière, la biomasse et le couvert forestier sont les plus faibles. Elle représente une étape intermédiaire entre la protection passive et la restauration active du peuplement.

V.9.3. Régénération naturelle assistée

La régénération naturelle assistée constitue une mesure importante pour restaurer les zones dégradées sans introduire systématiquement des plants

extérieurs. Elle consiste à accompagner la dynamique naturelle du peuplement en protégeant les semis, les rejets et les jeunes individus déjà présents sur le terrain.

Dans les zones exploitées, les jeunes plants peuvent être menacés par le pâturage, le piétinement, la concurrence herbacée et les perturbations répétées liées au prélèvement du bois. Il est donc recommandé de mettre en défens temporairement les secteurs sensibles, de limiter l'accès du bétail et de protéger les jeunes individus durant les premières phases de leur développement.

Cette approche présente un avantage écologique important : elle permet de conserver l'identité génétique locale du chêne-liège de Theniet El Had. Les individus issus de la régénération naturelle sont mieux adaptés aux conditions pédoclimatiques du site, notamment à la sécheresse, à l'altitude et aux variations saisonnières propres au parc.

V.9.4. Transition énergétique des populations riveraines

La réduction durable du prélèvement du bois de chauffage ne peut pas être obtenue uniquement par des interdictions. Le bois de chauffage répond souvent à un besoin réel des populations riveraines, notamment durant la saison froide. Ainsi, toute stratégie de conservation doit prendre en compte la dimension sociale et énergétique du problème.

Il est recommandé de développer des alternatives énergétiques accessibles, notamment l'amélioration de l'accès au gaz naturel, l'utilisation d'équipements solaires ou d'autres solutions de chauffage moins dépendantes du bois. Cette transition permettrait de réduire la pression directe sur les peuplements de chêne-liège, tout en maintenant le confort énergétique des ménages.

Cette recommandation est essentielle, car une politique de protection qui ne propose pas d'alternative crédible risque de favoriser les prélèvements

clandestins. La conservation de la subéraie doit donc être accompagnée d'une amélioration des conditions de vie des populations locales.

V.9.5. Création de coopératives locales de valorisation du liège

La création de coopératives locales peut jouer un rôle central dans la gestion durable de la subéraie. Ces structures permettraient d'impliquer directement les populations riveraines dans des activités compatibles avec la conservation, notamment la récolte encadrée du liège, son tri, son stockage et sa première transformation.

Le modèle coopératif présente un intérêt particulier, car il transforme la relation des habitants à la forêt. Au lieu de considérer la forêt uniquement comme une source immédiate de bois de chauffage, elle devient une ressource économique durable qu'il faut préserver pour maintenir les revenus futurs. Les bénéfices issus du liège pourraient encourager les habitants à protéger les arbres au lieu de les couper.

Ces coopératives devraient fonctionner en coordination avec l'administration du Parc National, les services forestiers et les collectivités locales. Elles pourraient aussi participer à des actions de sensibilisation, de surveillance et de restauration écologique.

V.9.6. Suivi par cartographie et télédétection

Le suivi des peuplements ne doit pas se limiter aux observations ponctuelles sur le terrain. Il est recommandé de compléter les mesures dendrométriques par un suivi cartographique et satellitaire. Les images satellitaires, notamment à travers des indices de végétation comme le NDVI, permettent de détecter les zones en dégradation, de suivre l'évolution du couvert végétal et d'identifier les secteurs prioritaires d'intervention.

Cette approche permettrait de comparer les données de terrain obtenues dans les placettes avec l'évolution spatiale du couvert forestier à l'échelle du

parc. Elle serait particulièrement utile pour repérer les zones où la pression anthropique augmente, où le couvert végétal régresse, ou encore où les actions de restauration commencent à produire des effets positifs. Le suivi par télédétection peut ainsi constituer un outil d'aide à la décision pour orienter les patrouilles, cibler les zones à protéger et évaluer l'efficacité des mesures de gestion dans le temps (Bachir Bouiadjra et al., 2011).

V.9.7. Étude de la fenêtre climatique de régénération:

La régénération du chêne-liège dépend fortement de la disponibilité en eau, surtout durant les premières phases de germination des glands, d'enracinement et d'installation des jeunes plants. Cette période correspond à une phase physiologique sensible, car les plantules possèdent encore un système racinaire peu développé et restent donc très vulnérables au stress hydrique. Une humidité suffisante du sol, associée à des températures modérées et à des précipitations régulières, favorise l'imbibition des glands, l'émission de la radicule, la croissance racinaire et la reprise végétative. À l'inverse, un déficit pluviométrique précoce peut provoquer une faible germination, un dessèchement des jeunes plants, une réduction de la croissance et une mortalité importante.

Dans ce sens, l'identification d'une fenêtre climatique optimale de régénération devient une étape importante pour améliorer la réussite des actions de restauration. Cette fenêtre correspond à la période où les conditions thermiques et hydriques sont les plus favorables à l'installation du chêne-liège, notamment après les premières pluies automnales ou pendant les périodes où l'humidité du sol reste suffisante. Les travaux de Bouhraoua et Villemant montrent que l'état physiologique du chêne-liège varie selon les conditions pluviométriques, en particulier les pluies printanières, qui coïncident avec la reprise végétative. Cela indique que la disponibilité en eau influence directement la vigueur des arbres et leur capacité à résister au stress hydrique.

Ainsi, les opérations de mise en défens, de semis, de plantation complémentaire ou de régénération naturelle assistée devraient être planifiées en fonction de cette fenêtre climatique. Une telle planification permettrait d'augmenter le taux de germination, d'améliorer la survie des jeunes plants et de réduire les pertes liées à la sécheresse. Dans le contexte actuel de changement climatique, marqué par l'augmentation des températures et l'intensification des sécheresses, cette approche constitue une mesure essentielle pour adapter les stratégies de régénération du chêne-liège aux conditions climatiques locales (Bouhraoua & Villemant, 2007).

Tableau 22: Tableau récapitulatif des recommandations.

N°	Recommandation	Horizon temporel	Impact principal
1	Valorisation du liege	Court terme	Filiere economique durable
2	Reseau vegetal protecteur	Court-Moyen terme	Restauration pedologique
3	Regeneration Naturelle Assistee	Moyen terme	Renouvellement endogene
4	Transition energetique	Court terme	Suppression de la pression
5	Cooperatives locales	Moyen terme	Gouvernance participative
6	Cartographie par satellites	Court terme	Surveillance preventive
7	Fenetre climatique de regeneration	Long terme	Adaptation au climat

V.10. Limites de l'étude et perspectives

La présente étude repose sur un dispositif de 12 placettes réparties entre des zones soumises au prélèvement de bois de chauffage et des zones de référence non soumises à cette pression. Ce dispositif permet une comparaison écologique directe, mais il reste spatialement limité à quelques stations non représentatives de l'ensemble du Parc National de Theniet El Had. L'extension du nombre de placettes permettrait de renforcer la portée statistique des résultats.

Certaines observations de terrain, notamment l'état sanitaire, l'intensité de la pression anthropique et la distinction des signes de perturbation, reposent sur une appréciation semi-quantitative. Elles sont utiles pour comparer les sites, mais gagneraient à être complétées par un suivi pluriannuel et par des mesures standardisées répétées.

L'estimation de la biomasse et du carbone repose sur des équations allométriques et sur un facteur de conversion. Ces méthodes sont adaptées aux études forestières non destructives, mais elles produisent des estimations dépendantes de la qualité des mesures dendrométriques et du choix des modèles.

En perspective, il serait pertinent de compléter ce travail par un suivi diachronique de la régénération, une cartographie par télédétection, une analyse plus fine du couvert végétal et une évaluation socio-économique des usages du bois de chauffage par les populations riveraines.

Conclusion générale

Ce travail a porté sur l'étude de l'impact de l'exploitation du bois de chauffage sur les peuplements de chêne-liège dans le Parc National de Theniet El Had. La comparaison entre les zones exploitées et les zones non exploitées a permis d'avoir une idée plus claire sur l'état de la régénération naturelle, la structure des arbres, la biomasse aérienne et le stock de carbone.

Les résultats obtenus montrent que les zones non exploitées présentent un état général meilleur que les zones exploitées. Elles renferment davantage d'individus bien développés, avec des hauteurs et des diamètres plus importants. Elles montrent aussi des valeurs plus élevées de biomasse, de carbone stocké et de surface terrière. À l'inverse, les zones exploitées apparaissent plus fragilisées, avec une régénération moins abondante et une présence plus importante de rejets de souche.

La régénération naturelle semble donc plus favorable dans les zones non exploitées, où les semis sont mieux représentés et où les jeunes individus arrivent davantage à se maintenir. Dans les zones exploitées, la régénération repose surtout sur les rejets, ce qui traduit une réaction du peuplement aux perturbations causées par les prélèvements répétés de bois.

D'une manière générale, cette étude montre que la collecte du bois de chauffage peut affecter progressivement la subéraie, en réduisant le capital ligneux et en limitant la capacité du peuplement à se renouveler normalement. Cette situation mérite une attention particulière, surtout dans un milieu méditerranéen déjà soumis à des contraintes climatiques.

Il apparaît donc nécessaire de mieux contrôler les prélèvements de bois, de protéger les jeunes plants et d'assurer un suivi régulier de la régénération naturelle. Ces mesures peuvent contribuer à préserver les peuplements de chêne-liège de Theniet El Had et à maintenir leur rôle écologique.

Références bibliographiques

1-Abbas, M. (2013). Incidence économique des feux de forêts sur les suberaies. 16-17 janvier 2013, Université de Tlemcen, 37 p.

2-ADEME. (2022). Récolte durable de bois pour la production de plaquettes forestières. Agence de la transition écologique, France. <https://librairie.ademe.fr/biomasse-et-production-bio/4885-recolte-durable-de-bois-pour-la-production-de-plaquettes-forestieres.html>

3-ADEME, Cornillier, C., Benoist, A., & Gleizes, O. (2015). Étude préliminaire à la réalisation de bilans environnementaux sur le chauffage au bois – Partie 2 : Mise en œuvre de méthodes de caractérisation d’impact sur le changement climatique. ADEME, FCBA, CIRAD, CNPF, 74 p.

4-Adouane, M. (2019). Les mycorhizes du chêne-liège (*Quercus suber* L.) dans l’extrême Nord-Est algérien et recherche d’un substrat de culture pour une production optimale en pépinière [Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar - Annaba].

5-Ait Abdelkader, S., & Guelib, A. (2021). Contribution à une étude typologique de la yeuseraie du Parc National de Theniet El Had (W. Tissemsilt) [Mémoire de master, Université de Tissemsilt].

6-Alavalapati, J. R. R., Lal, P., Susaeta, A., Abt, R. C., & Wear, D. N. (2013). Forest biomass-based energy. In D. N. Wear & J. G. Greis (Eds.), *The Southern Forest Futures Project: Technical report* (Gen. Tech. Rep. SRS-178). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station.

7-Avril, A.-L. (2024, 22 août). Le rôle des forêts dans le cycle du carbone. Reforest’Action.

8-Bachir Bouiadjra, S. E., El Zerey, W., & Benabdeli, K. (2011). Étude diachronique des changements du couvert végétal dans un écosystème montagneux par télédétection spatiale : cas des monts du Tessala (Algérie)

occidentale). *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, 5, 211-225.

9-Belkhodja, N. (2015). Contribution à l'étude de régénération naturelle de peuplement de chêne dans la forêt d'Ifri [Mémoire de master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen].

10-Belghazi, B., Ezzahiri, M., & Khaldi, A. (s.d.). Bilan des travaux de régénération artificielle du chêne-liège (*Quercus suber* L.) dans quelques forêts d'Afrique du Nord.

11-Berrichi, F., Zaidi, H., Chamakhi, D., & Hadj Sahraoui, O. (s. d.). Analyse spatio-temporaire des dégradations et évolution des forêts par télédétection : Cas du parc national de Theniet El Had - Algérie.

12-BioForest. (2017). Diamètre à la hauteur poitrine (DHP). BioForest Technologies.

13-Birem, F. (2020). Synthèse bibliographique sur le comportement du chêne-liège (*Quercus suber* L.) après incendie et ses problèmes de régénération [Mémoire de Master II, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou].

14-Boudab, N. E. H., & Dellouche, M. (2013-2014). Évaluation écologique d'aire potentielle du chêne-liège dans l'Est algérien [Mémoire de master, Centre universitaire de Mila].

15-Bouhraoua, R. T., & Villemant, C. (2007). Santé, dépérissement et techniques de suivi du chêne-liège en Algérie. Alger : Direction Générale des Forêts.

16-Centre National de la Propriété Forestière. (2018). Connaître et utiliser la surface terrière. CNPF, délégation régionale Pays de la Loire.

17-Centre Régional de la Propriété Forestière d'Auvergne. (2006). Comment mesurer la grosseur d'un arbre ? Forêts d'Auvergne, Fiche technique n°38.

18-Chaabna Bouzitoune, S. (2012). Étude des facteurs de dépérissement du chêne-liège (*Quercus suber* L.) : État sanitaire des subéraies du Nord-Est algérien [Mémoire de magister, Université d'Annaba].

19-Chen, W., Zhong, J., Sun, S., Xie, Z., & Zhou, Y. (2017). Fuelwood collection depresses the seed-dispersal service provided by rodents. *Forest Ecology and Management*, 406, 53-60.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.10.008>

20-Chevrou, R. B. (1993). La placette sol d'inventaire formée de plusieurs cercles concentriques. *Forêt Méditerranéenne*, XIV(3), 244-255.

21-Delabrazé, P., & Valette, J.-C. (1974). Inflammabilité et combustibilité de la végétation forestière méditerranéenne. *Revue forestière française*, 26(S), 171-177.

22-Dib, M., & Zaiz, A. (2011). Apport du SIG dans l'étude de la productivité des espèces forestières : Cas du cèdre de l'Atlas dans le Parc National de Theniet El Had.

23-Direction Générale des Forêts. (s. d.). Atlas des parcs nationaux algériens. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Algérie.

24-Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Nouvelle-Aquitaine. (s. d.). Mesurer et estimer les stocks de carbone et les gaz à effet de serre en zones humides. Préfet de la région Nouvelle-Aquitaine.

25- Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Occitanie. (2022). Séquestration carbone : Note méthodologique. Préfet de la région Occitanie, DEC/Division Statistiques et valorisation des données.
https://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/methodo_sequestration_carbone.pdf

26-Doat, J. (1977). Le pouvoir calorifique des bois tropicaux. Bois et Forêts des Tropiques, 172, 33-47.

27-FAO. (2020). The hidden power of wood fuel. Forest Products Statistics. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/cc7561en/online/forest-products-statistics-2023/hidden-importance-of-wood-fuel.html>

28-Ferhat, Z., & Lalam, F. (2021). Analyse comparative de la qualité des eaux des sources du Parc National Theniet El Had-Tissemsilt [Mémoire de master, Université de Tissemsilt].

29-Ferkhi, A. (2022). Contribution à l'étude des interactions biotiques affectant l'état de santé du chêne-liège (*Quercus suber* L.) dans la région de Jijel : cas des insectes ravageurs et des champignons phytopathogènes [Mémoire de master, Université de Jijel].

30-Folefack, D. P., & Abou, S. (2009). Commercialisation du bois de chauffe en zone sahélienne du Cameroun. Sécheresse, 20(3), 312-318. <https://doi.org/10.1684/sec.2009.0193>

31-Haddoum, S., Rahmani, A., Ben Brahim, R. R., Zanndouche, O., & Ahmed Zaïd, T. (2013). Étude du potentiel de biomasse forestière en vue du développement des filières bois-énergie en Algérie. Revue des Énergies Renouvelables, 16(3), 507-516.

32-Ibáñez, B., Gómez-Aparicio, L., Stoll, P., et al. (2015). A neighborhood analysis of the consequences of *Quercus suber* decline for regeneration dynamics in Mediterranean forests. PLoS ONE, 10(2), e0117827. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117827>

33-INRAE Transfert. (2023). Impacts environnementaux et enjeux technico-économiques et sociétaux associés à la mobilisation de biomasse

agricole et forestière pour la production d'énergie en France à l'horizon 2050. Rapport final, juillet 2023, pp. 10-11.

34-Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Volume 4: Agriculture, forestry and other land use. IGES.

35-Jorge, C., Paulo, J. A., & Tomé, M. (2025). Tree biomass models for the entire production cycle of *Quercus suber*. *iForest*, 18, 38-44. <https://doi.org/10.3832/ifor4604-018>

36-Kaddu, M., Senyonga, L., Seruyange, J., Watundu, S., Ngoma, M., & Turyareeba, D. (2025). Fuelwood collection and technical efficiency among rural households in Uganda: An instrumental variable–stochastic frontier analysis approach. *Energy Reports*, 13, 5968-5977. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.05.015>

37-Kadri, D. (2017). Approche quantitative de la régénération naturelle du chêne-liège (*Quercus suber* L.) au niveau du canton de Tizi Tghidet, forêt domaniale de Béni Ghobri (commune de Yakouren, wilaya de Tizi-Ouzou) [Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou].

38-Kaina, A., Wala, K., Koumantiga, D., Folega, F., & Akpagana, K. (2018). Impact de l'exploitation du bois-énergie sur la végétation dans la préfecture de Tchaoudjo au Togo. *Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou*, 7(1), 69-88.

39-Laird, S. A. (1999). L'exploitation du bois d'œuvre et des produits forestiers non ligneux (PFNL) dans les forêts d'Afrique centrale. FAO. <http://www.fao.org/4/x2161f/x2161f07.htm>

40-Lamey, A. (1893). Le chêne-liège : sa culture et son exploitation. Berger-Levrault et Cie.

41-Landmann, G., & Gosselin, F. (2009). Utilisation de la biomasse forestière, biodiversité et ressources naturelles : Synthèse et pistes d'approfondissement. In G. Landmann, F. Gosselin, & I. Bonhême (Eds.), *Bio2 - Biomasse et biodiversité forestières : Augmentation de l'utilisation de la biomasse forestière : implications pour la biodiversité et les ressources naturelles* (pp. 177-191). GIP Ecofor.

42-Loukkas, A. (2006). Atlas of Algerian national parks. Theniet El Had National Park. General Directorate of Forests.

43-Magnan, G., Garneau, M., Perrier, L., Beaulne, N. K., Sanderson, G., Primeau, D., & Lachance, J. (2024). Guide d'inventaire pour l'estimation des stocks de carbone dans les milieux humides (version mai 2024). Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, Direction des milieux humides, Québec, Canada.

44-Maïdou, H. M. (2006). Étude sur la gestion durable des produits forestiers non ligneux en République Centrafricaine : Rapport final. Projet IUCN/OIBT/PFNL-RCA.

45-Malico, I., Gonçalves, A. C., & Sousa, A. M. O. (2021). Evergreen oak biomass residues for firewood. In *Forest Biomass: From Trees to Energy*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95417>

46-McRoberts, R. E., Tomppo, E. O., & Czaplewski, R. L. (s. d.). Plans d'échantillonnage pour les évaluations forestières nationales. Répertoire des connaissances sur les évaluations des ressources forestières nationales.

47-Mechergui, T., Pardos, M., Boussaidi, N., Jacobs, D. F., & Catry, F. X. (2023). Problems and solutions to cork oak (*Quercus suber* L.) regeneration: A review. *iForest*, 16, 10-22. <https://doi.org/10.3832/ifor3945-015>

48-Meziane, B. (2017). Les coléoptères saproxyliques des Monts d'Ouarsenis (Nord-Ouest Algérien) : cas du Parc National de Theniet El Had [Mémoire de magister, Université de Tlemcen, Algérie].

49-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].

50-Naggar, O. (2021). Étude des potentialités subéricoles de la région Nord-Ouest algérien : Cas de la forêt du Parc National de Theniet-El-Had (W. Tissemsilt) [Thèse de doctorat, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen].

51-Naggar, O., Bouhraoua, R. T., Torres, E., & Zedek, M. (2019). Bois et Forêts des Tropiques, 342, 41-54.

52-NASA POWER. (2025). NASA POWER Data Access Viewer. National Aeronautics and Space Administration. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

53-Piazzetta, R., Ruii, P. A., & Pintus, A. (2014). Méthodes de régénération du chêne-liège en Sardaigne (Italie). Forêt Méditerranéenne, 35(2), 109-116.

54-Rakem, S. (2023). Analyse de la diversité floristique de la suberaie du parc national de Theniet El Had suivant un gradient altitudinal [Mémoire de master, Université de Tissemsilt].

55-Ritsche, J., Katzensteiner, K., & Acácio, V. (2021). Tree regeneration patterns in cork oak landscapes of Southern Portugal: The importance of land cover type, stand characteristics and site conditions. Forest Ecology and Management, 486, 118970. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.118970>

56-Rodríguez, J. (2019). Production et commercialisation de biomasse forestière [Support de formation]. eforOwn, Erasmus+ / CTFC.

57-Rodríguez, J., & Alcoberro, G. (2019). Biomasse forestière : Propriétés, mesures et facteurs de conversion. eforOwn.

58-Saccardy, L. (1938). Le Chêne-Liège et le Liège en Algérie. *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale*, 18(203).

59-Sarmoum, M., Feddag, F., Masloub, A. E. K., & Belkaid, B. (2013, 17-18 janvier). Diagnostic de l'état actuel de la subéraie du Parc National de Theniet El Had (W. Tissemsilt). Communication présentée aux Journées d'étude sur la réhabilitation des subéraies incendiées et reboisement (JERSIR), Tlemcen, Algérie.

60-Sarmoum, M., Navarro-Cerrillo, R. M., Guibal, F., & Abdoun, F. (2018). Structure, tree growth and dynamics of *Cedrus atlantica* Manetti forests in Theniet El Had National Park (N-W Algeria). *Open Journal of Ecology*, 8(8). <https://doi.org/10.4236/oje.2018.88026>

61-Sassen, M., Sheil, D., Giller, K. E., & ter Braak, C. J. F. (2015). Complex contexts and dynamic drivers: Understanding four decades of forest loss and recovery in an East African protected area. *Biological Conservation*, 190, 117-128.

62Sghaier, T., Garchi, S., & Azzi, T. (2020). Modélisation de la croissance et de la production du liège en Tunisie. *Bois et Forêts des Tropiques*, 346, 3–20. <https://doi.org/10.19182/bft2020.346.a31805>

63-Saucier, F. (2023). Estimation de la biomasse générée par les activités de récolte prévues aux possibilités forestières 2023–2028 : Méthodologie. *Forestier en chef*, Roberval, Québec. 20 pages.

64-Telmo, C., Lousada, J., & Moreira, N. (2010). Proximate analysis, backwards stepwise regression between gross calorific value, ultimate and

chemical analysis of wood. *Bioresource Technology*, 101(10), 3808-3815.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.021>

65-Thiffault, E., St-Laurent Samuel, A., & Serra, R. (2015). La récolte de biomasse forestière : saines pratiques et enjeux écologiques dans la forêt boréale canadienne. Ressources naturelles Canada - Service canadien des forêts, Nature Québec, Fédération québécoise des coopératives forestières.

66-UICN France. (2015). Bois-énergie et biodiversité forestière. Les énergies renouvelables, Volume 3. Paris, France. https://uicn.fr/wp-content/uploads/2016/06/Energies_renouvelables_Bois-m6.pdf

67-Varela, M. C., & Piazzetta, R. (2014). Méthodes de régénération du chêne-liège au Portugal. *Forêt Méditerranéenne*, 35(2), 101-108.

68-Vennetier, M., Ladier, J., & Rey, F. (2014). Le contrôle de l'érosion des sols forestiers par la végétation face aux changements globaux. *Revue forestière française*, 467-478.

69-Zribi, L., Chaar, H., Khaldi, A., Hanchi, B., Mouillot, F., & Gharbi, F. (2016). Estimate of biomass and carbon pools in disturbed and undisturbed oak forests in Tunisia. *Forest Systems*, 25(2), e060.

annexe

Données brutes par site:

Tableau V.1 — Données brutes du Site 01 exploité :

S	P	Rayon	Classe taille	N	Origine SE/REJ	Couvert SC/CL	Viv	Mort	End	H Min	H Max	D Min	D Max
S1	P1	2	< 20 cm	3	3rej	cl	1	2	0	5	19	0.3	0.5
		4	20-50 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		8	> 50 cm	8	4semi+4rej	4sc+4cl	4	2	2	50	74	0.7	3
		16	Brins établis	13	13rej	cl	8	1	4	80	100	3	7.5
S1	P2	2	< 20 cm	1	1semi	cl	1	0	0	13	19	0.1	0.5
		4	20-50 cm	6	6rej	6cl	4	0	2	11	50	0.3	0.9
		8	> 50 cm	4	4rej	4cl	3	1	0	75	92	0.8	3
		16	Brins établis	14	10rej+4semi	10cl+4sc	13	0	1	149	300	2	8.5
S1	P3	2	< 20 cm	5	5rej	4cl+1sc	2	1	2	10	18	0.3	0.5
		4	20-50 cm	2	2rej	cl	1	0	1	21	49	0.3	1
		8	> 50 cm	6	rej	6cl	3	0	3	57	127	0.8	3
		16	Brins établis	14	1semi+9rej	4sc+10cl	8	1	5	100	300	2	9.5

Total N = 70 individus | Vivants = 45 | Morts = 8 | Endommagés = 17

Tableau V.2 — Données brutes du Site 02 exploité :

S	P	Rayon	Classe taille	N	Origine SE/REJ	Couvert SC/CL	Viv	Mort	End	H Min	H Max	D Min	D Max
S2	P1	2	< 20 cm	2	2rej	2cl	2	0	0	15	19.5	0.1	0.3
		4	20-50 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		8	> 50 cm	5	1semi+2drag+2rej	1sc+4cl	4	0	1	60	80	0.5	3
		16	Brins établis	14	10rej+4semi	10cl+4sc	6	1	7	200	400	3	9.5
S2	P2	2	< 20 cm	0	0	0	0	0	0	10	17	0.2	0.4
		4	20-50 cm	0	0	0	0	0	0	21	48	0.3	1
		8	> 50 cm	10	10rej	10cl	10	0	0	55	120	0.8	2.9
		16	Brins établis	12	10rej+2semi	2sc+10cl	9	1	2	200	300	4	8.9
S2	P3	2	< 20 cm	9	4semi+5rej	4sc+5cl	6	0	3	12	17	0.1	0.3
		4	20-50 cm	2	2drageons	2sc	2	0	0	21	44	0.3	1
		8	> 50 cm	14	14rej	4cl+10sc	12	0	2	53	120	0.5	1.8
		16	Brins établis	7	3semi+4rej	3sc+4cl	6	1	0	250	450	2.2	7.3

Total N = 75 individus | Vivants = 57 | Morts = 3 | Endommagés = 1

Tableau V.3 — Données brutes du Site 03 non exploité :

S	P	Rayon	Classe taille	N	Origine SE/REJ	Couvert SC/CL	Viv.	Mort	End.	H Min	H Max	D Min	D Max
S3	P1	2	< 20 cm	10	10 semis	10sc	8	2	0	14	19	0.2	0.5
		4	20-50 cm	42	42 semis	42sc	41	0	1	22	47	0.4	1
		8	> 50 cm	48	48 semis	48sc	47	1	0	55	100	0.8	2.8
		16	Brins établis	46	46 semis	46sc	46	0	0	250	500	2.9	7.3
S3	P2	2	< 20 cm	6	6 semis	1sc+5cl	5	1	0	12	18.2	0.3	0.6
		4	20-50 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		8	> 50 cm	9	9 semis	9sc	9	0	0	90	160	1	2
		16	Brins établis	25	25 semis	25sc	25	0	0	300	400	3	6
S3	P3	2	< 20 cm	4	4 semis	4sc	4	0	0	11	17.9	0.2	0.7
		4	20-50 cm	13	2rej+11semi	2cl+11sc	11	2	0	23	47.6	0.4	1
		8	> 50 cm	30	30 semis	25sc+5drag	30	0	0	53	98	0.5	0.9
		16	Brins établis	25	16 semis	25sc	25	0	0	110	380	1.5	3

Total N = 258 individus | Vivants = 251 | Morts = 6 | Endommagés = 1

Tableau V.4 — Données brutes du Site 04 non exploité :

S	P	Rayon	Classe taille	N	Origine SE/REJ	Couvert SC/CL	Viv	Mort	End	H Min	H Max	D Min	D Max
S4	P1	2	< 20 cm	20	20semis	5cl +15sc	20	0	0	13	18	0.3	0.6
		4	20-50 cm	7	7semis	7sc	7	0	0	22	48	0.3	1
		8	> 50 cm	11	9semis 2rej	4cl+7sc	9	0	2	51	90	0.8	3
		16	Brins établis	32	28semis+ 4rej	9cl+23sc	27	5	0	300	710	2	9.2
S4	P2	2	< 20 cm	28	20semis+8rej	28sc	28	0	0	15	19	0.1	0.5
		4	20-50 cm	6	6semis	6sc	6	0	0	21	47	0.5	1
		8	> 50 cm	44	35semis+9rej	44sc	43	0	1	50	100	1.8	3
		16	Brins établis	50	45semis+5rej	50sc	47	3	0	140	600	3	9.8
S4	P3	2	< 20 cm	27	7drag+20semis	27sc	26	0	1	10	20	0.3	0.5
		4	20-50 cm	5	5 semis	3cl+2sc	5	0	0	21	49	0.5	1
		8	> 50 cm	20	20 semis	20sc	17	3	0	50	170	1	3
		16	Brins établis	32	32 semis	2cl+30sc	30	0	2	500	700	2	9

Total N = 282 individus | Vivants = 265 | Morts = 11 | Endommagés = 6

Les résultats dendrométriques

Site :01

zone exploitée

Placette :

01

Arbre n°	Statut	DBH (cm)	H (m)	wl (kg)	wbr (kg)	ws (kg)	AGB (kg)	Carbone kg	Surface terrière (m²)
1	non démasclé	35.00	6.10	4.62	18.85	27.86	51.33	24.13	0.0177
2	non démasclé	20.50	7.30	7.50	38.52	72.29	118.31	55.61	0.0330
3	non démasclé	23.00	8.10	9.18	51.53	105.47	166.18	78.10	0.0415
4	non démasclé	17.50	3.30	3.88	15.99	27.28	47.15	22.16	0.0241
5	non démasclé	18.00	2.70	3.56	14.54	25.55	43.65	20.52	0.0254
6	non démasclé	15.50	3.50	3.46	13.32	20.61	37.38	17.57	0.0189
7	non démasclé	17.00	2.50	3.18	12.35	20.81	36.33	17.08	0.0227
8	non démasclé	23.00	2.50	4.59	21.69	46.37	72.65	34.15	0.0415
9	non démasclé	21.00	2.30	3.91	17.22	34.37	55.50	26.09	0.0346
10	non démasclé	20.00	2.30	3.68	15.72	30.20	49.61	23.32	0.0314
11	non démasclé	21.00	4.50	5.81	28.22	54.95	88.97	41.82	0.0346
12	non démasclé	16.00	3.00	3.29	12.61	20.13	36.02	16.93	0.0201
13	non démasclé	19.50	2.70	3.93	16.88	31.59	52.39	24.62	0.0299
14	non démasclé	20.00	4.20	5.26	24.49	46.01	75.75	35.60	0.0314
15	non démasclé	27.50	5.20	3.05	11.86	20.55	35.46	16.67	0.0241
16	non démasclé	16.00	2.70	3.09	11.67	18.70	33.46	15.73	0.0201
17	non démasclé	32.00	6.00	4.35	19.97	41.22	65.53	30.80	0.0380

Site :01

zone exploitée

Placette: 02

Arbre n°	Statut	du / DBH (cm)	H (m)	wl (kg)	wbr (kg)	ws (kg)	AGB (kg)	Carbone kg	Surface terrière (m²)
1	démasclé	30.00	5.00	21.10	139.04	416.24	576.38	270.90	0.0707
2	non démasclé	21.50	4.00	5.58	27.04	53.86	86.47	40.64	0.0363
3	démasclé	29.00	4.30	20.23	131.15	380.34	531.72	249.91	0.0661
4	non démasclé	15.50	3.00	3.16	11.89	18.50	33.55	15.77	0.0189
5	non démasclé	20.00	4.20	5.26	24.49	46.01	75.75	35.60	0.0314
6	non démasclé	18.50	3.00	3.92	16.53	29.58	50.03	23.51	0.0269
7	non démasclé	9.00	3.40	1.76	4.73	4.78	11.27	5.30	0.0064
8	démasclé	24.00	5.00	16.00	94.64	229.91	340.56	160.06	0.0452
9	non démasclé	19.50	4.50	5.31	24.58	45.15	75.03	35.26	0.0299
10	non démasclé	19.50	2.20	3.48	14.51	27.38	45.37	21.32	0.0299
11	non démasclé	19.00	2.60	3.72	15.64	28.72	48.08	22.60	0.0284
12	non démasclé	18.50	3.30	4.15	17.73	31.61	53.49	25.14	0.0269
13	non démasclé	21.00	2.50	4.11	18.31	36.43	58.85	27.66	0.0346
14	non démasclé	17.00	3.00	3.54	14.12	23.64	41.29	19.41	0.0227
15	non démasclé	43.50	6.00	7.09	37.61	79.70	124.39	58.46	0.0434
16	non démasclé	18.00	4.40	4.75	20.82	35.95	61.52	28.91	0.0254
17	non démasclé	17.00	4.30	4.37	18.41	30.40	53.18	25	0.0227
18	non démasclé	16.00	3.40	3.54	13.83	21.97	39.33	18.49	0.0201

Site :01

zone exploitée

Placette: 03

Arbre n	Statut	DBH/du cm	H m	wl kg	wbr kg	ws kg	AGB kg	Carbone kg	Surface terrière (m²)
1	non démasclé	21.00	4.10	5.50	26.35	51.49	83.33	39.17	0.0346
2	non démasclé	21.50	4.00	5.58	27.04	53.86	86.47	40.64	0.0363
3	démasclé	30.00	4.00	21.10	139.04	416.24	576.38	270.90	0.0707
4	non démasclé	15.50	3.00	3.16	11.89	18.50	33.55	15.77	0.0189
5	non démasclé	20.00	4.00	5.11	23.63	44.47	73.20	34.40	0.0314
6	non démasclé	15.50	3.00	3.16	11.89	18.50	33.55	15.77	0.0189
7	non démasclé	19.50	3.90	4.88	22.12	40.85	67.85	31.89	0.0299
8	démasclé	24.00	5.00	16.00	94.64	229.91	340.56	160.06	0.0452
9	Non démasclé	19.50	4.50	5.31	24.58	45.15	75.03	35.26	0.0299
10	Non démasclé	19.50	2.50	3.75	15.95	29.94	49.63	23.33	0.0299
11	Non démasclé	21.00	4.10	5.50	26.35	51.49	83.33	39.17	0.0346
12	Non démasclé	17.00	2.40	3.10	11.98	20.22	35.31	16.60	0.0227
13	Non démasclé	20.50	2.20	3.70	15.93	31.26	50.89	23.92	0.0330
14	démasclé	28.00	3.10	19.37	123.45	346.45	489.27	229.96	0.0616
15	démasclé	24.00	4.80	16.00	94.64	229.91	340.56	160.06	0.0452
16	Non démasclé	21.00	2.80	4.39	19.90	39.44	63.73	29.95	0.0346
17	Non démasclé	29.50	5.80	4.26	19.03	37.00	60.29	28.34	0.0330
18	Non démasclé	41.00	6.20	3.81	16.66	33.32	53.79	25.28	0.0346

Site :02

zone exploitée

Placette: 01

Arbre n°	Statut	du / DBH (cm)	H (m)	wl (kg)	wbr (kg)	ws (kg)	AGB (kg)	Carbone kg	Surface terrière (m²)
1	démasclé	21.00	4.15	13.57	75.18	161.18	249.92	117.46	0.0346
2	démasclé	56.00	3.30	45.69	407.82	2189.66	2643.17	1242.29	0.2463
3	démasclé	22.00	3.50	14.37	81.46	182.41	278.23	130.77	0.0380
4	démasclé	38.00	3.80	28.27	209.00	780.59	1017.85	478.39	0.1134
5	démasclé	28.00	4.60	19.37	123.45	346.45	489.27	229.96	0.0616
6	démasclé	44.00	3.90	33.90	269.10	1152.87	1455.86	684.26	0.1521
7	démasclé	50.00	3.50	39.71	335.45	1619.78	1994.93	937.62	0.1963
8	démasclé	30.00	4.40	21.10	139.04	416.24	576.38	270.90	0.0707
9	démasclé	54.00	4.60	43.68	383.04	1987.76	2414.47	1134.80	0.2290
10	démasclé	25.00	4.20	16.83	101.54	256.28	374.66	176.09	0.0491
11	démasclé	37.00	4.70	27.35	199.61	727.13	954.09	448.42	0.1075
12	démasclé	43.00	3.30	32.94	258.64	1084.48	1376.07	646.75	0.1452

Site: 02

zone exploitée

Placette :02

Arbre n°	Statut	du / DBH (cm)	H (m)	wl (kg)	wbr (kg)	ws (kg)	AGB (kg)	Carbone kg	Surface terrière (m²)
1	démasclé	44.00	3.40	33.90	269.10	1152.87	1455.86	684.25	0.1521
2	démasclé	40.00	3.50	30.12	228.32	894.70	1153.14	541.98	0.1257
3	démasclé	37.00	4.00	27.35	199.61	727.13	954.09	448.42	0.1075
4	démasclé	50.00	4.00	39.71	335.45	1619.78	1994.93	973.62	0.1963
5	démasclé	45.00	3.90	34.85	279.73	1223.89	1538.47	723.08	0.1590
6	démasclé	43.00	3.60	32.94	258.64	1084.48	1376.07	646.75	0.1453
7	démasclé	35.00	3.80	25.53	181.37	627.22	834.12	392.04	0.0962
8	démasclé	42.00	3.20	32.00	248.36	1018.68	1299.04	610.55	0.13850
9	démasclé	34.00	4.70	24.63	172.53	580.67	777.83	365.58	0.0908
10	Non démasclé	22.50	4.50	6.32	32.09	65.98	104.38	49.06	0.0398
11	Non démasclé	17.00	4.30	4.37	18.41	30.40	53.18	25.00	0.0227
12	Non démasclé	18.50	3.30	4.15	17.73	31.61	53.49	25.14	0.0269
13	Non démasclé	18.00	4.40	4.75	20.82	35.95	61.52	28.91	0.0254
14	Non démasclé	18.50	3.00	3.92	16.53	29.58	50.03	23.51	0.0269
15	Non démasclé	21.50	4.00	5.58	27.04	53.86	86.47	40.64	0.0363
16	Non démasclé	18.50	3.00	3.92	16.53	29.58	50.03	23.51	0.0269

Site :02

zone exploitée

Placette: 03

Arbre n°	Statut	du / DBH (cm)	H (m)	wl (kg)	wbr (kg)	ws (kg)	AGB (kg)	Carbone kg	Surface terrière (m²)
1	démasclé	44.00	3.40	33.90	269.10	1152.87	1455.86	684.25	0.1521
2	démasclé	34.00	4.70	24.63	172.53	580.67	777.83	365.58	0.0908
3	démasclé	26.00	2.50	17.67	108.65	284.46	410.78	193.58	0.0531
4	démasclé	45.00	3.90	34.85	279.73	1223.89	1538.47	723.08	0.1590
5	démasclé	35.00	3.80	25.53	181.37	627.22	834.12	392.04	0.0962
6	démasclé	55.00	4.10	44.68	395.35	2087.18	2527.22	1187.79	0.2376
7	démasclé	40.00	3.50	30.12	228.32	894.70	1153.14	541.98	0.1257
8	démasclé	50.00	4.00	39.71	335.45	1619.78	1994.93	937.62	0.1963
9	Non démasclé	22.00	2.00	3.81	16.94	35.26	56.02	26.33	0.0380
10	démasclé	28.66	3.80	19.94	128.51	368.60	517.04	243.01	0.0645
11	démasclé	38.50	5.10	28.73	213.76	808.21	1050.70	493.83	0.1164
12	démasclé	27.00	3.60	18.52	115.95	314.50	448.97	211.02	0.0573
13	Non démasclé	14.00	2.40	2.45	8.34	12.09	22.88	10.75	0.0154
14	Non démasclé	21.00	4.10	5.50	26.35	51.49	83.33	39.17	0.0346
15	Non démasclé	17.00	2.40	3.10	11.98	20.22	35.31	16.60	0.0227
16	Non démasclé	20.50	2.20	3.70	15.93	31.26	50.89	23.92	0.0330

Site :03

zone non exploitée

Placette :01

Arbre n°	Statut	DBH (cm)	H (m)	wl (kg)	wbr (kg)	ws (kg)	AGB (kg)	Carbone (kg)	Surface terrière (m²)
1	Non démasclé	41.62	10	41.36	499.96	2482.26	3023.58	1421.08	0.4029
2	Non démasclé	60.48	11	35.62	391.33	1694.87	2121.82	997.26	0.2873
3	Non démasclé	41.88	7	22.64	210.82	822.89	1056.34	496.48	0.2114
4	Non démasclé	55.04	8	57.76	866.22	5861.69	6785.67	3189.26	0.8666
5	Non démasclé	71.31	11	59.57	860.67	5199.47	6119.71	2876.26	0.6692
6	Non démasclé	40.03	9	37.82	443.69	2172.78	2654.29	1247.52	0.3852
7	Non démasclé	77.23	11	65.84	1003.40	6467.40	7536.64	3542.22	0.7890
8	Non démasclé	59.88	9	103.36	2006.25	17380.61	19490.22	9160.40	1.6714
9	Non démasclé	50.55	10	27.08	261.15	985.63	1273.86	598.71	0.2007
10	Non démasclé	45.01	7	32.60	368.57	1821.35	2222.52	1044.58	0.3850
11	Non démasclé	52.00	10	28.02	275.28	1062.37	1365.68	641.87	0.2124
12	Non démasclé	70.21	8	39.73	488.03	2591.99	3119.75	1466.28	0.4682
13	Non démasclé	51.92	11	29.59	294.44	1130.93	1454.96	683.83	0.2117
14	Non démasclé	33.24	11	17.20	128.23	346.74	492.18	231.32	0.0886
15	Non démasclé	48.33	9	24.09	222.26	812.88	1059.23	497.84	0.1835
16	Non démasclé	33.32	7	80.46	1344.79	9516.25	10941.50	5142.51	1.0086
17	Non démasclé	51.22	8	24.12	227.10	873.24	1124.46	528.50	0.2060
18	Non démasclé	49.69	10	79.59	1363.61	10341.52	11784.72	5538.82	1.1822
19	Non démasclé	58.03	7	31.48	349.38	1687.97	2068.82	972.35	0.3635
20	Non démasclé	41.33	5	74.81	1220.39	8543.85	9839.06	4624.36	0.9735
21	Non démasclé	32.44	4	49.08	649.88	3604.40	4303.35	2022.57	0.5338
22	Non démasclé	37.24	9	42.61	532.61	2817.32	3392.54	1594.49	0.4686

Site 03

Zone non exploitée

Placette : 02

Arbre n°	Statut	DBH (cm)	H (m)	wl (kg)	wbr (kg)	ws (kg)	AGB (kg)	Carbone (kg)	Surface terrière (m²)
1	Non démasclé	68.32	9.00	51.77	711.56	4174.29	4937.62	2320.68	0.6126
2	Non démasclé	40.55	7.00	16.78	133.18	428.21	578.17	271.74	0.1291
3	Non démasclé	40.50	4.00	48.19	656.17	3948.99	4653.36	2187.08	0.6433
4	Non démasclé	20.33	5.80	21.45	195.02	744.08	960.55	451.46	0.1989
5	Non démasclé	70.66	10.00	77.99	1321.86	9894.08	11293.93	5308.15	1.1434
6	Non démasclé	60.44	9.50	60.54	904.29	5869.95	6834.78	3212.35	0.7923
7	Non démasclé	53.45	12.00	55.47	760.27	4228.63	5044.37	2370.85	0.5469
8	Non démasclé	38.22	7.80	16.64	129.16	394.80	540.60	254.08	0.1147
9	Non démasclé	68.31	11.00	80.55	1366.87	10038.40	11485.82	5398.34	1.0993
10	Non démasclé	50.78	10.00	55.18	777.76	4653.54	5486.47	2578.64	0.6472
11	Non démasclé	48.11	5.00	40.29	539.69	3521.79	4101.77	1927.83	0.7560
12	Non démasclé	68.80	6.90	37.32	454.64	2467.16	2959.12	1390.79	0.4877
13	Non démasclé	74.25	11.00	45.71	573.58	2919.45	3538.74	1663.21	0.4330
14	Non démasclé	70.23	11.00	64.25	966.40	6130.90	7161.54	3365.92	0.7578
15	Non démasclé	50.05	12.00	72.53	1147.01	7589.40	8808.95	4140.21	0.8503
16	Non démasclé	42.78	7.00	17.91	147.15	493.51	658.57	309.53	0.1437
17	Non démasclé	46.33	6.30	34.03	400.69	2127.72	2562.44	1204.35	0.4576
18	Non démasclé	68.33	6.50	30.29	333.56	1621.56	1985.41	933.14	0.3667
19	Non démasclé	35.34	7.80	37.99	457.62	2386.27	2881.88	1354.48	0.4458

Site : 03

Zone non exploitée

placette :03

Arbre n°	Statut	DBH (cm)	H (m)	wt (kg)	wb (kg)	wr (kg)	AGB (kg)	Carbone (kg)	Surface terrière (m²)
1	Non démasclé	41.62	10	41.36	499.96	2482.26	3023.58	1421.08	0.4029
2	Non démasclé	60.48	11	35.62	391.33	1694.87	2121.82	997.26	0.2873
3	Non démasclé	31.88	7	22.64	210.82	822.89	1056.34	496.48	0.2114
4	Non démasclé	55.04	8	57.76	866.22	5861.69	6785.67	3189.26	0.8666
5	Non démasclé	22.31	4	59.57	860.67	5199.47	6119.71	2876.26	0.6692
6	Non démasclé	60.03	9	37.82	443.69	2172.78	2654.29	1247.52	0.3852
7	Non démasclé	70.23	11	65.84	1003.40	6467.40	7536.64	3542.22	0.7890
8	Non démasclé	60.88	9	103.36	2006.25	17380.61	19490.22	9160.40	1.6714
9	Non démasclé	50.55	10	27.08	261.15	985.63	1273.86	598.71	0.2007
10	Non démasclé	50.01	7	32.60	368.57	1821.35	2222.52	1044.58	0.3850
11	Non démasclé	52.00	10	28.02	275.28	1062.37	1365.68	641.87	0.2124
12	Non démasclé	67.21	8	39.73	488.03	2591.99	3119.75	1466.28	0.4682
13	Non démasclé	21.92	6	29.59	294.44	1130.93	1454.96	683.83	0.2117
14	Non démasclé	33.24	5	17.20	128.23	346.74	492.18	231.32	0.0868
15	Non démasclé	58.33	9	24.09	222.26	812.88	1059.23	497.84	0.1835
16	Non démasclé	69.32	12	80.46	1344.79	9516.25	10941.50	5142.51	1.0086
17	Non démasclé	51.22	8	24.12	227.10	873.24	1124.46	528.50	0.2060
18	Non démasclé	61.69	10	79.59	1363.61	10341.52	11784.72	5538.82	1.1822
19	Non démasclé	68.03	7	31.48	349.38	1687.97	2068.82	972.35	0.3635
20	Non démasclé	40.33	10	74.81	1220.39	8543.85	9839.06	4624.36	0.9735

Site :04

zone non exploitée

Placette :01

Arbre n°	Statut	DBH (cm)	H (m)	wl (kg)	wbr (kg)	ws (kg)	AGB (kg)	Carbone (kg)	Surface terrière (m²)
1	Non démasclé	57.11	7.40	31.09	354.84	1692.61	2079.45	977.34	0.3537
2	Non démasclé	39.98	8.00	53.08	760.86	4874.35	5688.28	2673.49	0.7540
3	Non démasclé	61.92	10.00	85.22	1490.15	11350.18	12925.55	6075.01	1.2061
4	Non démasclé	58.34	6.50	25.00	248.44	1066.48	1339.92	629.76	0.2673
5	Non démasclé	50.09	12.00	98.74	1840.32	14867.12	16806.18	7898.90	1.4122
6	Non démasclé	36.12	8.00	89.00	1569.64	11856.60	13515.24	6352.16	1.1905
7	Non démasclé	39.09	6.00	53.93	750.98	4427.39	5232.31	2459.18	0.6234
8	Non démasclé	45.31	9.00	41.32	508.07	2634.53	3183.92	1496.44	0.4454
9	Non démasclé	44.01	7.00	36.32	430.08	2214.66	2681.07	1260.10	0.4302
10	Non démasclé	31.23	6.80	44.21	590.98	3600.81	4236.00	1990.92	0.6537
11	Non démasclé	55.22	7.00	90.85	1619.91	12400.29	14111.06	6632.20	1.2315
12	Non démasclé	50.03	10.00	36.78	417.63	1921.83	2376.24	1116.84	0.3321
13	Non démasclé	20.12	6.40	20.59	185.06	705.34	911.00	428.17	0.1973
14	Non démasclé	49.77	7.50	33.81	385.30	1894.02	2313.13	1087.17	0.3823
15	Non démasclé	55.33	10.00	66.11	1026.09	6901.39	7993.60	3756.99	0.8714
16	Non démasclé	60.09	12.00	86.35	1498.40	11098.69	12683.44	5961.21	1.1327
17	Non démasclé	37.12	6.00	76.27	1257.22	8912.87	10246.37	4815.79	1.0050
18	Non démasclé	31.34	4.00	64.33	968.42	6149.11	7181.87	3375.48	0.7595

Site :04

zone non exploitée

Placette:02

Arbre n°	Statut	DBH (cm)	H (m)	wl (kg)	wbr (kg)	ws (kg)	AGB (kg)	Carbone (kg)	Surface terrière (m²)
1	Non démasclé	44.77	7.5	29.16	307.05	1371.42	1707.62	802.58	0.2997
2	Non démasclé	38.33	6	41.06	504.16	2615.87	3161.09	1485.71	0.4457
3	Non démasclé	23.45	5	35.70	398.92	1800.52	2235.13	1050.51	0.3162
4	Non démasclé	54.90	8.2	26.63	263.20	1067.86	1357.68	638.11	0.2367
5	Non démasclé	63.98	10	36.06	405.15	1840.66	2281.87	1072.48	0.3215
6	Non démasclé	34.91	7	47.80	635.41	3621.07	4304.28	2023.01	0.5662
7	Non démasclé	45.41	12	97.24	1797.58	14378.41	16273.23	7648.42	1.3770
8	Non démasclé	32.70	6	16.31	130.91	440.90	588.13	276.42	0.1432
9	Non démasclé	20.61	5	57.28	808.13	4724.23	5589.65	2627.14	0.6167
10	Non démasclé	53.22	6.3	21.95	204.58	817.93	1044.46	490.89	0.2225
11	Non démasclé	41.20	12	70.12	1089.14	7050.70	8209.97	3858.69	0.8044
12	Non démasclé	70.12	10	64.38	965.07	6061.89	7091.34	3332.93	0.7408
13	Non démasclé	22.20	7	21.23	190.97	714.95	927.14	435.76	0.1901
14	Non démasclé	29.33	5.9	28.61	310.61	1515.42	1854.64	871.68	0.3667
15	Non démasclé	58.12	5.5	22.55	218.15	939.49	1180.19	554.69	0.2653
16	Non démasclé	49.45	7.4	45.38	606.25	3625.63	4277.26	2010.31	0.6284
17	Non démasclé	73.79	8	37.60	448.51	2298.65	2784.76	1308.84	0.4276
18	Non démasclé	51.01	9	56.21	814.51	5154.87	6025.59	2832.03	0.7391
19	Non démasclé	60.34	9	45.37	586.52	3231.34	3863.23	1815.72	0.5196
20	Non démasclé	50.34	5	58.57	867.40	5637.34	6563.31	3084.76	0.7907

Site :04

zone non exploitée

Placette:03

Arbre n°	Statut	DBH (cm)	H (m)	wl (kg)	wbr (kg)	ws (kg)	AGB (kg)	Carbone (kg)	Surface terrière (m²)
1	Non démasclé	50.30	7	32.76	371.42	1841.42	2245.60	1055.43	0.3882
2	Non démasclé	33.21	4	39.92	481.98	2444.23	2966.14	1394.08	0.4210
3	Non démasclé	63.66	10	35.84	401.38	1816.36	2253.58	1059.18	0.3183
4	Non démasclé	57.29	8	27.64	279.82	1175.11	1482.57	696.81	0.2578
5	Non démasclé	66.84	10	38.03	439.56	2066.92	2544.50	1195.92	0.3509
6	Non démasclé	30.94	9	48.51	649.85	3738.68	4437.04	2085.41	0.5801
7	Non démasclé	41.69	6	93.46	1716.58	13879.47	15689.51	7374.07	1.4037
8	Non démasclé	65.49	10	58.68	854.66	5321.32	6234.66	2930.29	0.7162
9	Non démasclé	43.21	9	39.92	481.98	2444.23	2966.14	1394.08	0.4210
10	Non démasclé	25.83	4	14.50	102.04	268.65	385.19	181.04	0.0796
11	Non démasclé	47.75	8	22.15	199.26	725.05	946.46	444.84	0.1791
12	Non démasclé	53.66	11	37.91	430.55	1941.49	2409.95	1132.68	0.3183
13	Non démasclé	55.70	7	24.68	240.67	993.43	1258.78	591.63	0.2437
14	Non démasclé	60.21	12	47.30	595.64	2988.65	3631.60	1706.85	0.4210
15	Non démasclé	63.66	9	33.68	371.43	1687.40	2092.51	983.48	0.3183
16	Non démasclé	42.33	10	21.82	187.60	615.74	825.15	387.82	0.1407
17	Non démasclé	51.41	6	70.78	1139.24	8008.43	9218.45	4332.67	0.9749
18	Non démasclé	35.01	7	14.03	101.28	290.09	405.40	190.54	0.0963
19	Non démasclé	55.70	8	26.71	265.52	1090.62	1382.85	649.94	0.2437
20	Non démasclé	21.20	5	16.88	131.46	401.29	549.64	258.33	0.1146
21	Non démasclé	61.62	10	51.39	697.38	3984.82	4733.58	2224.78	0.5758
22	Non démasclé	38.20	9	18.10	143.36	435.73	597.19	280.68	0.1146
23	Non démasclé	43.66	9	33.68	371.43	1687.40	2092.51	983.48	0.3183
24	Non démasclé	39.79	8	17.74	141.84	447.11	606.69	285.14	0.1243

Les résultats de pressions

Site :01

zone :exploitée

placette :01

Indice	0 (Absent)	1 (Faible)	2 (Élevé)	Score
Sentiers d'accès			X	2
Tas de branches			X	2
Zones de coupe récente		X		1
Traces de transport	x			0
Souches coupées		x		1
Branches coupées sur arbres vivants			X	2
Jeune tiges coupées :			X	2
Blessures sur les troncs			x	2
Rarefaction du bois mort au sol			x	2
Rejets de souche sectionnés				2
Présence de foyers / traces humaines			X	2
Score total				18

Site :01

zone :exploitée

placette :02

Indice	0 (Absent)	1 (Faible)	2 (Élevé)	Score
Sentiers d'accès			X	2
Tas de branches			X	2
Zones de coupe récente		X		1
Traces de transport	x			0
Souches coupées		x		1
Branches coupées sur arbres vivants			X	2
Jeune tiges coupées			X	2
Blessures sur les troncs			x	2
Rarefaction du bois mort au sol			x	2
Rejets de souche sectionnés				2
Présence de foyers / traces humaines			X	2
Score total				18

Site :01

zone :exploitée

placette :03

Indice	0 (Absent)	1 (Faible)	2 (Élevé)	Score
Sentiers d'accès			X	2
Tas de branches			X	2
Zones de coupe récente		X		1
Traces de transport	x			0
Souches coupées		x		1
Branches coupées sur arbres vivants			X	2
Jeune tiges coupées			X	2
Blessures sur les troncs			x	2
Rarefaction du bois mort au sol			x	2
Rejets de souche sectionnés			x	2
Présence de foyers / traces humaines			X	2
Score total				18

Site :02

zone:exploitée

placette: 01

Indice	0 (Absent)	1 (Faible)	2 (Élevé)	Score
Sentiers d'accès			X	2
Tas de branches			X	2
Zones de coupe récente		X		1
Traces de transport			x	2
Souches coupées		x		1
Branches coupées sur arbres vivants ¹			X	2
Jeune tiges coupées			X	2
Blessures sur les troncs			x	2
Rarefaction du bois mort au sol			x	2
Rejets de souche sectionnés			x	2
Présence de foyers / traces humaines			X	2
Score total				20

Site :02

zone : exploitée

placette: 02

Indice	0 (Absent)	1 (Faible)	2 (Élevé)	Score
Sentiers d'accès			X	2
Tas de branches			x	2
Zones de coupe récente	x			0
Traces de transport			x	2
Souches coupées		x		1
Branches coupées sur arbres vivants			X	2
Jeune tiges coupées			X	2
Blessures sur les troncs			x	2
Rarefaction du bois mort au sol			x	2
Rejets de souche sectionnés			x	2
Présence de foyers / traces humaines			X	2
Score total				19

Site:02

zone : exploitée

placette: 03

Indice	0 (Absent)	1 (Faible)	2 (Élevé)	Score
Sentiers d'accès			X	2
Tas de branches			x	2
Zones de coupe récente	x			0
Traces de transport			x	2
Souches coupées		x		1
Branches coupées sur arbres vivants			X	2
Jeune tiges coupées			X	2
Blessures sur les troncs			x	2
Rarefaction du bois mort au sol		X		1
Rejets de souche sectionnés			x	2
Présence de foyers / traces humaines			X	2
Score total				18

Site :03

zone :non exploitée

placette :01

Indice	0 (Absent)	1 (Faible)	2 (Élevé)	Score
Sentiers d'accès	x			0
Tas de branches	x			0
Zones de coupe récente	x			0
Traces de transport	x			0
Souches coupées	x			0
Branches coupées sur arbres vivants	x			0
Jeune tiges coupées		x		1
Blessures sur les troncs	x			0
Rarefaction du bois mort au sol	x			0
Rejets de souche sectionnés	x			0
Présence de foyers / traces humaines	x			0
Score total				1

Site :03

zone :non exploitée

placette : 02

Indice	0 (Absent)	1 (Faible)	2 (Élevé)	Score
Sentiers d'accès	x			0
Tas de branches	x			0
Zones de coupe récente	x			0
Traces de transport	x			0
Souches coupées	x			0
Branches coupées sur arbres vivants	x			0
Jeune tiges coupées	x			0
Blessures sur les troncs	x			0
Rarefaction du bois mort au sol	x			0
Rejets de souche sectionnés	x			0
Présence de foyers / traces humaines	x			0
Score total				0

Site :03

zone :non exploitee

placette : 03

Indice	0 (Absent)	1 (Faible)	2 (Élevé)	Score
Sentiers d'accès	x			0
Tas de branches	x			0
Zones de coupe récente	x			0
Traces de transport	x			0
Souches coupées	x			0
Branches coupées sur arbres vivants	x			0
Jeune tiges coupées		x		1
Blessures sur les troncs	x			0
Rarefaction du bois mort au sol	x			0
Rejets de souche sectionnés	x			0
Présence de foyers / traces humaines	x			0
Score total				1

Site : 04

zone :non exploitee

placette :01

Indice	0 (Absent)	1 (Faible)	2 (Élevé)	Score
Sentiers d'accès	x			0
Tas de branches	x			0
Zones de coupe récente	x			0
Traces de transport	x			0
Souches coupées	x			0
Branches coupées sur arbres vivants	x			0
Jeune tiges coupées	x			0
Blessures sur les troncs	x			0
Rarefaction du bois mort au sol	x			0
Rejets de souche sectionnés	x			0
Présence de foyers / traces humaines	x			0
Score total				0

Site: 04

zone: non exploitée

placette :02

Indice	0 (Absent)	1 (Faible)	2 (Élevé)	Score
Sentiers d'accès	x			0
Tas de branches	x			0
Zones de coupe récente	x			0
Traces de transport	x			0
Souches coupées	x			0
Branches coupées sur arbres vivants	x			0
Jeune tiges coupées	x			0
Blessures sur les troncs	x			0
Rarefaction du bois mort au sol	x			0
Rejets de souche sectionnés	x			0
Présence de foyers / traces humaines	x			0
Score total				0

Site: 04

zone :non exploitée

placette :03

Indice	0 (Absent)	1 (Faible)	2 (Élevé)	Score
Sentiers d'accès	x			0
Tas de branches	x			0
Zones de coupe récente	x			0
Traces de transport	x			0
Souches coupées	x			0
Branches coupées sur arbres vivants	x			0
Jeune tiges coupées	x			0
Blessures sur les troncs	x			0
Rarefaction du bois mort au sol	x			0
Rejets de souche sectionnés	x			0
Présence de foyers / traces humaines	x			0
Score total				0