



المدرسة الوطنية الغابوية للمهندسين

**ECOLE NATIONALE FORESTIERE D'INGENIEURS
DE SALE**

**Contribution à l'évaluation du rôle de la mise en réserve
de biosphère de l'Arganier dans l'atténuation des effets
du changement climatique par la séquestration du C
(Zone Sud de la RBA)**

MEMOIRE DE 3^{ème} CYCLE

Présenté par : Mr. EL HAFED HASSAN

**POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR
DES EAUX ET FORETS**

OPTION : Gestion des Parcs Nationaux(GPN)

Soutenu publiquement le 28 juin 2022 à 11h00 devant le jury:

MM :

Pr. Zaher H.	(E.N.F.I – Salé)	Présidente
Pr. SABIR M.	(E.N.F.I – Salé)	Rapporteur
Dr. HALLAM J.	(I.N.R.A – Agadir)	Co-Rapporteur
Pr. HLAL E.	(E.N.F.I – Salé)	Examineur
Pr. BELGHAZI B.	(E.N.F.I – Salé)	Examineur
Pr. BENJELLOUN H.	(E.N.F.I – Salé)	Examineur

Dédicace

*Au nom du Dieu le puissant, le clément, et le
miséricordieux, je dédie ce travail à : Ma chère mère.
Source de tendresse, d'amour et de soutien pour les
énormes sacrifices et les efforts qu'elle a consentis pour
mon éducation et ma formation. Mon cher père, celui qui a
sacrifié tant de choses pour que je puisse terminer mes
études en me rappelant que la volonté fait toujours les
grands hommes. La femme de ma vie, mes sœurs et mes
frères.*

*Mes amis : Amine, Mehdi, Mouad, Samir et Said. Je vous
remercie pour votre soutien dans la vie, je vous souhaite
pleinement de réussite et de bonheur.*

*Spéciale dédicace à tous mes collègues de la 51ème et la
52ème promotion de l'ENFI. Vous, lecteur de ce document.
J'espère que vous trouvez dans ce travail l'expression de ma
profonde gratitude.*

Remerciement

Au terme de ce travail, il m'est particulièrement agréable d'exprimer ma reconnaissance et mes vifs remerciements à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à sa réalisation ; principalement :

Pr. SABIR Mohamed, qui a accepté d'encadrer ce travail et mis à ma disposition tout le temps et le matériel nécessaire pour la réalisation de ce mémoire. Qu'il soit assuré de ma profonde gratitude et ma reconnaissance pour m'avoir fait profiter de son expérience et de son talent pédagogique et de ses qualités humaines.

Pr. ZAHER Hafida, qui a bien voulu évaluer et présider le jury de ce mémoire. C'est pour moi l'opportunité de lui exprimer ma profonde reconnaissance et mes vifs remerciements pour son esprit ouvert et ses conseils précieux tant sur le plan pratique que scientifique.

Dr. HALLAM Jamal, ingénieur docteur au Centre Régional de la Recherche Agronomique d'Agadir, pour son encadrement sur le terrain, sa bienveillance, sa générosité de partage de l'information et pour le temps qu'il a consacré à ce travail. Ses critiques constructives et son examen minutieux du document vont être d'une grande utilité.

Pr HLAL El aid, Pr BELGHAZI Bakhiyi et Pr BENJELLOUN Hassan qui ont acceptés d'évaluer ce travail et de me faire part de leurs expériences. C'est aussi l'occasion pour moi de reconnaître la qualité de leurs encadrements et leurs conseils. Qu'ils trouvent, donc, dans ces courtes lignes l'expression de ma profonde gratitude.

Résumé

Le stockage du carbone et sa dynamique dans les écosystèmes reçoivent une grande attention en raison du rôle du CO₂ dans les changements climatiques. La présente étude, qui s'intègre dans ce contexte des changements climatiques globaux, a été réalisée au niveau de la zone sud de la RBA. L'objectif global de la présente étude est d'évaluer l'effet de la mise en réserve des forêts d'arganier (RBA) sur leur rôle d'atténuation des effets du CC à travers l'évaluation de la dynamique du stock du C entre 1998 et 2021. Pour répondre à cet objectif, la détermination de la biomasse ligneuse et foliaire s'impose. Des équations disponibles ont été utilisées à cet effet. Ainsi le calcul du stock de carbone du sol a été réalisé par la méthode de Walkey-Black. L'analyse de changement des occupations du sol a été faite par Google earth engine en utilisant des images Sentinel 2A et Landsat 5 et par TrendsEratH pour les zones de grande échelle.

Le stock moyen de carbone séquestré au sein du site Boutmezguida a été estimé à 48,18 tonnes C/ha soit une carbomasse totale de 2,5 tonnes C/ha en supposant que le carbone racinaire équivaut à 20 % du carbone aérien. Le sol a un stock moyen de 45,47 t C/ha. Le site d'Aiterkha séquestre en moyenne 59,29 t C/ha soit une carbomasse de 7,88 t C/ha et 50,73 t C/ha de stock de carbone de sol. L'analyse de la variance a montrée que le zonage n'a pas d'effet pour le stockage de carbone au niveau de la biomasse, la nécromasse et le sol. Pour l'évolution des occupations du sol cette étude a montré qu'au niveau de la zone sud de la RBA une seule occupation de terre a connu une évolution régressive entre 1998 et 2021, sol nu, avec -3,28%. Par contre l'agriculture, parcours et les forêts ont connus une augmentation de, respectivement, 7 857 ha, 5 217 ha et 910 ha. En général et à l'échelle de la zone sud de la RBA entre 1998 et 2021, l'évolution du stock du COS n'est que de 0,7%. Au niveau de des zones centrales Boutmezguida et Aiterkha, la forêt a connu une dynamique régressive en faveur des terrains de parcours avec, respectivement, -10,31% et -21,05%.

Mot clés : Réserve de biosphère de l'arganeraie, changement climatique, séquestration du carbone, zone sud de la RBA, occupation du sol

Abstract

Carbon storage and its dynamics in ecosystems are receiving great attention due to the role of CO₂ in climate change. This study, which fits into this context of global climate change, was realized in the southern zone of the BRA. The overall objective of this study is to assess the effect of the stockpiling of argan forests (BRA) on their mitigation role of CC effects through the assessment of C stock dynamics between 1998 and 2021. To meet this objective, the determination of woody and foliar biomass is necessary. Available equations have been used for this purpose. Thus the calculation of the soil carbon stock was carried out by the Walkey-Black method. The soil cover change analysis was done by Google earth engine using Sentinel 2A and Landsat 5 images and by TrendsEratH for large-scale areas.

The average sequestered carbon stock at the Boutmezguida site was estimated at 48.18 tonnes C/ha, or a total carbomass of 2.5 tonnes C/ha assuming that root carbon is equivalent to 20% of airborne carbon. The average soil stock is 45.47 t C/ha. The Aiterkha site sequesters an average of 59.29 t C/ha, representing a carbon mass of 7.88 t C/ha and 50.73 t C/ha of soil carbon stock. The analysis of the variance showed that zoning has no effect for carbon storage at the biomass, necropsy and soil level. For the evolution of land cover this study showed that at the level of the southern zone of the RBA only one land cover experienced a regressive evolution between 1998 and 2021, bare soil, with -3.28%. By contrast, agriculture, rangeland and forests increased by 7,857 ha, 5,217 ha and 910 ha respectively. In general and at the scale of the southern zone of the RBA between 1998 and 2021, the evolution of the COS stock is only 0.7%. At the level of the central areas Boutmezguida and Aiterkha, the forest experienced a regressive dynamic in favour of rangelands with, respectively, -10.31% and -21.05%.

Keywords: Arganeraie biosphere reserve, climate change, carbon sequestration, southern RBA area, land cover

ملخص

يحظى تخزين الكربون وديناميكياته في النظم الإيكولوجية باهتمام كبير بسبب دور ثاني أكسيد الكربون في تغير المناخ. وقد أجريت هذه الدراسة، التي تتناسب مع هذا السياق لتغير المناخ العالمي، على مستوى المنطقة الجنوبية للمجال الحيوي للأركان. الهدف العام لهذه الدراسة هو تقييم تأثير المجال الحيوي للأركان في التخفيف من آثار التغير المناخي من خلال تقييم ديناميكيات تخزين الكربون بين عامي 1998 و 2021 في المجال الحيوي للأركان. ولتحقيق هذا الهدف، من الضروري تحديد الكتلة الحية الخشبية والورقية. وقد استخدمت المعادلات المتاحة لهذا الغرض. وكذلك تم حساب مخزون كربون التربة بطريقة Walkey-Black. تم إجراء تحليل تغيير غطاء التربة بواسطة محرك Google earth engine باستخدام صور Sentinel 2A و Landsat 5 و TrendsErathe للمناطق واسعة النطاق. قُدر متوسط مخزون الكربون المتبث في موقع بونتمزكيدا بـ 48.18 طنًا في الهكتار، منها 2.5 طن في الأشجار بافتراض أن كربون الجذور يعادل 20٪ من الكربون الجوي. يبلغ متوسط مخزون التربة 45.47 طن/هكتار. يقوم موقع أيت الرخا بتثبيت ما متوسطه 59.29 طن/الهكتار منها 7.88 طن/الهكتار في الأشجار و 50.73 طن/الهكتار مخزون كربون التربة. أظهر تحليل النتائج أن تقسيم المناطق ليس له أي تأثير على تخزين الكربون على مستوى الكتلة الحيوية، فرش الغابة والتربة. بالنسبة لتطور الغطاء الأرضي، أظهرت هذه الدراسة أنه على مستوى المنطقة الجنوبية من المجال الحيوي للأركان، شهد غطاء أرضي واحد فقط تطورًا رجعيًا بين عامي 1998 و 2021، التربة العارية، بنسبة -3.28٪. على النقيض من ذلك، زادت الزراعة والمراعي والغابات بمقدار 7857 هكتارًا و 5217 هكتارًا و 910 هكتارات على التوالي. بشكل عام وعلى نطاق المنطقة الجنوبية من المجال الحيوي للأركان بين عامي 1998 و 2015، بلغ تطور مخزون كربون التربة 0.7٪ فقط. على مستوى المناطق المركزية بونتمزكيدة وأيت الرخا، شهدت الغابة ديناميكية تراجعية لصالح المراعي بنسبة -10.31٪ و -21.05٪ على التوالي.

الكلمات المفتاحية: محمية المحيط الحيوي للأركان، تغير المناخ، تثبيت الكربون، المنطقة الجنوبية للمجال الحيوي للأركان، الغطاء الأرضي

Sommaire

Dédicace.....	I
Remerciement.....	II
Résumé.....	III
Abstract	IV
ملخص.....	V
Liste des figures	X
Liste des tableaux	XII
Liste des abréviations.....	XIV
Introduction générale.....	1
PREMIERE PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	4
Chapitre 1. La réserve de biosphère de l'arganeraie	5
I. Présentation générale du MAB et des RB	5
1. Programme MAB et création des RB.....	5
2. Qu'est ce qu'une réserve de biosphère ?.....	6
3. Les réserves de biosphère au Maroc	7
II. La réserve de biosphère de l'arganier.....	9
1. Création et objectifs.....	9
2. Zonage de la RBA	10
3. Plan cadre	12
Chapitre 2 : Les changements climatiques	13
I. Généralités sur les changements climatiques	13
1. Définition.....	13
2. Observations du changement climatique	14
3. Instruments juridiques des Nations unies.....	16
II. Changement climatique au Maroc	17
1. Profil climatique	17
2. Vulnérabilité aux impacts du changement climatique	18
3. L'arganier et le changement climatique	21
III. Gaz à effet de serre	22
1. Généralités	22
2. Gaz à effet de serre	22
IV. Séquestration du carbone	24

1. Cycle global du Carbone	24
2. Formes et réservoirs du carbone	25
DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES.....	27
I. Présentation de la zone d'étude	28
1. Situation géographique.....	28
2. Situation administrative	33
3. Contexte forestier.....	35
4. Caractéristiques du milieu physique.....	36
a. Topographie, géologie et géomorphologie	36
b. Climat	38
c. Contexte hydrologique	43
5. Principaux habitats naturels	45
II. Approche méthodologique.....	47
1. Stratégie d'échantillonnage	47
a. Méthode d'échantillonnage	47
b. Détermination des strates.....	48
c. Taille de l'échantillon	49
d. Répartition des placettes sur le terrain	50
e. Taille et forme de la placette	51
2. Méthodes d'estimation des stocks du C.....	51
2.1. Réservoir 1 : la Biomasse Aérienne.....	52
2.1.1. Stock du carbone dans la strate arborée	52
2.1.1.1. Échantillonnage des arbres	52
2.1.1.2. Estimation du volume	53
2.1.1.3. Estimation de la biomasse ligneuse	53
2.1.1.4. Estimation de la biomasse foliaire.....	54
2.1.1.5. Estimation du stock du carbone	54
2.2. Réservoir 2 : Nécromasse	55
2.2.1. Échantillonnage du bois mort et litière	55
2.2.2. Estimation de la biomasse	56
2.2.3. Estimation du stock du carbone	56
2.2.4. Strate herbacé et arbustive	56
2.3. Réservoir 3 : sol	57

2.3.1. Échantillonnage du sol	57
2.3.2. Analyse du sol	58
2.3.2.1. Densité apparente	58
2.3.2.2. Carbone organique du sol	59
2.3.3. Estimation du stock du carbone du sol	62
3. Analyses statistiques	62
4. Etude diachronique de l'évolution de l'occupation du sol	62
a. Données utilisées	62
b. Classification des images	63
c. Détection et spatialisation des changements	64
Troisième partie : Résultats et discussion	65
Chapitre 1 : Stocks de carbone dans les différents réservoirs de carbone	66
I. Stock de carbone dans la biomasse	66
1. Estimation de la biomasse aérienne	66
a. Estimation de la biomasse ligneuse	66
b. Estimation de la biomasse foliaire	67
2. Estimation du stock de carbone dans la strate arborée	71
II. Stock de carbone dans la Nécromasse	73
1. Estimation de stock de carbone du bois mort	73
2. Estimation du carbone de la litière	75
III. Stock de carbone dans le sol	78
IV. Stock total de carbone et sa répartition dans les différents réservoirs	80
V. Discussion	85
Chapitre 2 : Evolution des occupations du sol entre 1998 et 2021 dans la zone sud de la RBA et les zones centrales Boutmezguida et Ait Erkha	89
I. Evolution des occupations des terres dans la RBA et sa zone sud entre 1998 et 2021	89
1. Evolution des occupations des terres dans la RBA entre 1998 et 2021	89
2. Evolution des occupations du sol dans la zone sud de la RBA (Anti Atlas)	93
3. Evolution du stock de carbone de sol dans la zone sud de la RBA entre 1998 et 2021	97
II. Evolution des occupations des terres dans les zones centrales Boutmezguida et Ait Erkha dans la zone sud de la RBA entre 1998 et 2021	100

1. Dynamique de l'occupation des sols dans la zone centrale Boutmezguida entre 1998 et 2021	100
a. Situation en 1998	100
b. Situation en 2021	102
2. Dynamique de l'occupation des sols dans la zone centrale Ait Erkha entre 1998 et 2021	104
a. Situation en 1998	104
b. Situation en 2021	105
3. Détection et caractérisation des changements dans les deux zones centrales entre 1998 et 2021	107
a. Zone centrale Boutmezguida	107
b. Zone centrale Aiterkha	109
c. Discussion	111
Conclusion générale	112
Références bibliographiques	115
Annexes.....	119

Liste des figures

Figure 1: Modèle de zonage d'une réserve de biosphère proposé par l'UNESCO (Osseni, 2017)	7
Figure 2: les réserves de biosphère au Maroc (DEF, 2019)	8
Figure 3: Zonage de la réserve de biosphère de l'arganier (Source : HCEFLCD/DPRN)	11
Figure 4: Evolution de la température moyenne annuelle mondiale (source : NOAA, NASA, Hadley Center, 2021)	15
Figure 5: évolution du niveau moyen des mers du globe	15
Figure 6: Carte pluviométrique du Maroc (Source : Laouina A. ,2007)	18
Figure 7: émissions des GES par source (Source : DE, 2016)	20
Figure 8: schéma simplifié du cycle du carbone (source : la Banque de schémas SVT Académie Dijon, 2020)	25
Figure 9: la situation géographique de la RBA.....	28
Figure 10: Les zones biogéographiques de la RBA (source : DREFLCDSDO)	29
Figure 11: la zone sud de la RBA (zone d'Anti Atlas)	30
Figure 12: Situation géographique du premier site (BOUTMEZGUIDA).....	33
Figure 13: Situation géographique du deuxième site (AITERKHA).....	33
Figure 14: situation administrative du SIBE BOUTMEZGUIDA.....	34
Figure 15: situation administrative du SIBE AITERKHA	35
Figure 16: Carte des altitudes du SIBE Boutmezguida	37
Figure 17: Carte des altitudes du site Ait Erkha	38
Figure 18: Diagramme ombrothermique de Sidi Ifni (source : climate-data, 2019).....	40
Figure 19: Carte des précipitations du SIBE Boutmezguida	40
Figure 20: Diagramme ombrothermique d'AITERKHA (source : climate-data, 2019)	41
Figure 21: Carte des précipitations du SIBE Ait Erkha	42
Figure 22: Carte des sous bassins hydraulique (ABHSM, 2005)	43
Figure 23: Carte hydrologique du SIBE Boutmezguida.....	44
Figure 24: Carte hydrologique du SIBE Ait Erkha	45
Figure 25: Zonage du site d'AITERKHA	48
Figure 26: zonage du site BOUTMEZGUIDA.....	49
Figure 27: Carte des placettes réalisées au niveau de BOUTMEZGUIDA	50
Figure 28: Carte des placettes réalisées au niveau d'AITERKHA	51
Figure 29: Démarche envisagée pour évaluer la quantité du carbone stockée par l'arganier.....	52
Figure 30: Mesure de la hauteur des arbres par le Vertex	53
Figure 31: les quadrats des échantillons de la litière et du bois mort.....	55
Figure 32: Tendence des précipitations entre 1984 et 2021 dans la région d'Agadir Inezgane (Source : DPEFLCA).....	57
Figure 33: Prélèvement des échantillons de la densité apparente du sol.....	58
Figure 34: séchage des échantillons de la densité apparente	59
Figure 35: Titrage de bichromate avec le sulfate de fer (FeSO4)	61
Figure 36: Volume et biomasse ligneuse par zone.....	67
Figure 37: Comparaison entre les biomasses foliaires des zones étudiées et celles d'autres études.....	68

Figure 38: La biomasse aérienne dans la zone de BOUTMEZGUIDA	70
Figure 39: La biomasse aérienne dans la zone d'AITERKHA.....	70
Figure 40: Variation du stock de carbone du bois mort par zone	74
Figure 41: Variation du stock de carbone de la litière par zone	76
Figure 42: Variation du stock de carbone du sol par zone	78
Figure 43: Variation de stock de carbone par zone.....	81
Figure 44: Répartition du carbone au niveau de la zone centrale du site Boutmezguida.....	82
Figure 45: Répartition du carbone au niveau de la zone tampon du site Boutmezguida	82
Figure 46: Répartition du carbone au niveau de la zone de transition du site Boutmezguida	83
Figure 47: Répartition du carbone au niveau de la zone centrale du site Aiterkha.....	83
Figure 48: Répartition du carbone au niveau de la zone tampon du site Aiterkha	84
Figure 49: Répartition du carbone au niveau de la zone de transition du site Aiterkha.....	84
Figure 50: arbre de la zone centrale Aiterkha	85
Figure 51: arbre de la zone centrale Boutmezguida.....	86
Figure 52: Culture de Figuier de Barbarie dans la zone centrale de Boutmezguida.....	87
Figure 53: Occupation des terres dans la réserve de biosphère Arganeraie en 1998	92
Figure 54: Occupation des terres dans la réserve de biosphère Arganeraie en 2021	92
Figure 55: Evolution des occupations des terres de la réserve de biosphère Arganeraie entre 1998 et 2021	93
Figure 56: Occupation des terres dans la zone sud de la réserve de biosphère Arganeraie en 1998	96
Figure 57: Occupation des terres dans la zone sud de la RBA en 2021.....	96
Figure 58: Evolution des occupations des terres dans la zone sud de la RBA entre 1998 et 2021	97
Figure 59: Le stock du carbone organique de sol en 1998 dans la zone sud de la RBA.....	99
Figure 60: Le stock du carbone organique de sol en 2021 dans la zone sud de la RBA.....	99
Figure 61: Evolution du stock de carbone de sol entre 1998 et 2021 dans la zone sud de la RBA	100
Figure 62: Carte d'occupation du sol de la zone centrale Boutmezguida en 1998	101
Figure 63: Classes d'occupation du sol dans Boutmezguida en 1998 en pourcentage	102
Figure 64: Carte d'occupation du sol de la zone centrale Boutmezguida en 2021	102
Figure 65: Classes d'occupation du sol dans Boutmezguida en 2021 en pourcentage	103
Figure 66: Carte d'occupation du sol de la zone centrale Aiterkha en 1998.....	104
Figure 67: Classes d'occupation du sol dans Aiterkha en 1998 en pourcentage	105
Figure 68: Carte d'occupation du sol de la zone centrale Aiterkha en 2021	106
Figure 69: Classes d'occupation du sol dans Aiterkha en 2021 en pourcentage	107
Figure 70: Evolution des occupations du sol dans la zone centrale Boutmezguida entre 1998 et 2021.....	108
Figure 71: Carte des changements d'occupation du sol dans la zone centrale Boutmezguida entre 1998 et 2021.....	109
Figure 72: Evolution des occupations du sol dans la zone centrale Aiterkha entre 1998 et 2021	110

Figure 73: Carte des changements d'occupation du sol dans la zone centrale Boutmezguida entre 1998 et 2021.....	110
---	-----

Liste des tableaux

Tableau 1: pouvoir de réchauffement global par rapport au CO2 des différents GES (Source : GIEC, 4 ^e rapport d'évaluation, 2007).....	24
Tableau 2: Liste et superficies des zones centrales pour la zone sud de la RBA (source : DREFLCDSO)	32
Tableau 3: Classement des zones centrales de l'Anti Atlas	32
Tableau 4: Description des oueds du sous-bassin de Tiznit-Sidi Ifni (Source : (ABHSM, 2005))	44
Tableau 5: Habitats naturels identifiés au sein du SIBE de Boutimezguida (Source : DEF, 2019).....	46
Tableau 6: Habitats naturels identifiés au sein du SIBE d'AITERKHA (Source : DEF, 2019).....	47
Tableau 7: Nombre de placettes au niveau des strates étudiées.....	50
Tableau 8: Caractéristiques des images satellitaires Landsat 5 et Sentinel 2A	63
Tableau 9: Les classes d'occupation du sol.....	63
Tableau 10: Volume et biomasse ligneuse par zone	66
Tableau 11: La biomasse aérienne par zone	69
Tableau 12: Analyse de la variance pour la variable biomasse aérienne (zone AITERKHA).....	70
Tableau 13: Analyse de la variance pour la variable biomasse aérienne (zone BOUTMEZGUIDA)	71
Tableau 14: Comparaison entre la biomasse aérienne d'arganier dans les deux sites étudiés avec d'autres essences	71
Tableau 15: Le stock de carbone dans la strate arborée par zone	72
Tableau 16: Comparaison entre la Carbomasse totale d'arganier dans les deux sites étudiés avec d'autres essences	73
Tableau 17: Stock de carbone du bois mort par zone.....	73
Tableau 18: Analyse de la variance pour la variable SCOBM (zone BOUTMEZGUIDA)	74
Tableau 19: Analyse de la variance pour la variable SCOBM (zone AITERKHA).....	75
Tableau 20: Stock de carbone de la litière par zone.....	75
Tableau 21: Analyse de la variance pour la variable SCOL (zone BOUTMEZGUIDA).....	76
Tableau 22: Comparaison multiple des moyennes par le test LSD pour la variable SCOL.....	77
Tableau 23: Les groupes homogène pour la variable SCOL	77
Tableau 24: Analyse de la variance pour la variable SCOL (zone AITERKHA)	77
Tableau 25: Densité apparente et quantité de carbone organique stockée dans le sol par zone	78
Tableau 26: Analyse de la variance pour la variable SCOS (zone Boutmezguida).....	79

Tableau 27: Analyse de la variance pour la variable SCOS (zone AITERKHA)	80
Tableau 28: Stock total de carbone par zone	80
Tableau 29: Effectif du cheptel exploité par tête dans les communes constituent le SIBE de Boutmezguida (source : DPEFLCD de Sidi Ifni).....	88
Tableau 30: Effectif du cheptel exploité par tête dans les communes constituent le SIBE Aiterkha (source : DPEFLCD de Sidi Ifni)	88
Tableau 31: Evolution de la couverture terrestre dans la réserve de biosphère de l'arganier entre 1998 et 2021	90
Tableau 32: Matrice d'évolution (conversion) des occupations des terres (ha) dans la réserve de biosphère Arganeraie entre 1998 et 2021	90
Tableau 33: Résumé des changements de la couverture terrestre, entre 1998 et 2021 dans la réserve de biosphère Arganeraie	91
Tableau 34: Evolution de la couverture terrestre dans la zone sud de la réserve de biosphère de l'arganier entre 1998 et 2021.....	94
Tableau 35: Matrice d'évolution (conversion) des occupations des terres (ha) dans la zone sud de la réserve de biosphère Arganeraie entre 1998 et 2021.....	94
Tableau 36: Résumé des changements de la couverture terrestre, entre 1998 et 2021 dans la zone sud de la réserve de biosphère Arganeraie	95
Tableau 37: Evolution du stock du carbone dans le sol (COS) par occupation de sol dans la zone sud de la RBA de l'année 1998 à l'année 2021	98
Tableau 38: Résumé de l'évolution du carbone organique du sol entre l'année 1998 et l'année 2021 dans la zone sud de la RBA	98
Tableau 39: Superficie des classes d'occupation du sol de la zone centrale Boutmezguida 1998.....	101
Tableau 40: Superficie des classes d'occupation du sol de la zone centrale Boutmezguida 2021.....	103
Tableau 41: Superficie des classes d'occupation du sol de la zone centrale Aiterkha en 1998	105
Tableau 42: Superficie des classes d'occupation du sol de la zone centrale Aiterkha en 2021	107
Tableau 43: Evolution des unités d'occupation du sol dans la zone centrale Boutmezguida entre les années 1998 et 2021	108
Tableau 44: Evolution des unités d'occupation du sol d'Aiterkha entre les années 1998 et 2021	109

Liste des abréviations

ANDZOA : Agence Nationale de Développement des Zones Oasiennes et l'Arganier

CCNUCC : Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques

DEF : Département des Eaux et Forêts

D.R.E.F. L.C.D : Direction Régionale des Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification.

FAO: Food and Agriculture organization

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

MAB: Man and Biosphere

ONU: Organisation des Nations Unies

RBA : Réserve de Biosphère de l'Arganeraie

SCOBM: Stock de Carbone Organique du Bois Mort

SCOL: Stock de Carbone Organique de Litière

SCOS: Stock de Carbone Organique du Sol

SIBE: Site d'Intérêt Biologique et Ecologique

UNESCO : L'Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture

TCN : Troisième Communication Nationale

ABHSM : Agence de Bassin Hydraulique Souss Massa

Introduction générale

Le changement climatique fait référence à tout changement à long terme de la distribution statistique des régimes climatiques, que ce soit en termes de changements des conditions moyennes (plus ou moins de précipitations, des températures plus élevées ou plus basses) ou de distribution des événements par rapport à la moyenne (événements météorologiques extrêmes, comme des inondations ou des sécheresses). En général, ce terme est utilisé pour désigner tout changement climatique sur la durée, quelle qu'en soit la cause, mais la définition de l'ONU est plus spécifique: elle utilise le terme pour indiquer que les changements sont imputables à l'activité humaine, que ce soit directement ou indirectement **(GIEC, 2007)**. Cette activité a fait apparaître une plus épaisse «couche de gaz à effet de serre autour de la terre», qui fait augmenter les températures de la planète, affectant ainsi des écosystèmes comme, entre autres, la couverture nuageuse, les précipitations, les configurations des vents, les courants océaniques ainsi que les éléments de la climatologie et la répartition de la faune et de la flore, qui sont des éléments indispensables au développement de la vie sur terre. Les six principaux GES dont les émissions sont causées par les humains sont le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), l'oxyde de diazote (N₂O), les hydrurofluorurocarbones (HFC), les perfluorurocarbones (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF₆) **(CCNUCC, 2010)**.

Le Maroc n'échappe pas à ces phénomènes. Des signes annonciateurs d'impact probables des changements climatiques ont été observés, notamment la fréquence et l'intensité des sécheresses, des inondations dévastatrices inhabituelles, la réduction de la durée d'enneigement dans le Rif et l'Atlas, la modification de la répartition spatio-temporelle des pluies, les changements d'itinéraires et de dates de passage des oiseaux migrateurs, la destruction des sols fertiles, l'avancée de la désertification vers le nord du pays **(Riziki, 2009)**.

Tous les écosystèmes forestiers du Maroc connaissent une dégradation inquiétante due à la pression démographique, au surpâturage et à l'urbanisation, aggravée par les conditions climatiques qu'a connues le pays durant ces dernières décennies. Le classement de l'Arganeraie en « Réserve de Biosphère », par l'UNESCO (en 1998) entraîne la reconnaissance de la richesse de son patrimoine (qui est aussi sérieusement menacé) **(El Fasskaoui, 2009)**. L'Arganeraie a été déclarée première Réserve de Biosphère du Maroc sur une superficie de 2,5 millions d'hectares environ. Elle concernait les provinces et préfectures d'Agadir Ida Outanane, Inzeguane Aït Melloul, Chtouka Aït Baha, Taroudant, Tiznit et Essaouira. L'objectif étant de gérer et conserver le système économique et écologique « Arganeraie », tout en développant l'économie de la région **(ANDZOA)**. Certes, les arganeraies subissent encore des pressions prononcées. La régression en densité principalement en plaine **(Benabid et Melhaoui, 2011)** et la coupe illicite de bois sont des raisons parmi plusieurs derrière cette dynamique de dégradation. Ce déclin s'est accentué au cours des deux dernières décennies **(Aouragh, 2012)**, en raison de nombreuses agressions d'origine anthropique et climatique **(Naggar et M'hirit, 2006)**.

Les écosystèmes à arganier se caractérisent par leur diversité naturelle, ces écosystèmes représentent une richesse floristique et faunistique très importante où s'individualise un endémisme d'espèces végétales et animales. L'aire biogéographique sur laquelle s'étend l'arganier est aussi très diversifiée. Il occupe en effet, la plaine du Souss, l'Anti-Atlas, le grand Atlas et les plateaux de Haha. En effet, l'arganeraie assure plusieurs fonctions ; écologique, sociale et économique :

- ✓ Sur le plan écologique, d'abord par la protection du sol contre les érosions hydrique et éolienne toujours menaçante. Il contribue également au maintien d'un couvert végétal dans des conditions particulièrement défavorables le considérant comme dernier rempart face à l'avancée du désert.

- ✓ Sur le plan socio-économique, cette espèce conditionne l'existence des populations rurales à travers la multiplicité des usages que lui confère son statut spécial notamment, tous les droits de jouissance qui lui sont greffés : mise en culture sous arganier, ramassage de bois mort, collecte des fruits, parcours des troupeaux, coupe de bois (**Nagggar, 2018**).

L'objectif global de la présente étude est d'évaluer l'effet de la mise en réserve des forêts d'arganier (RBA) sur leur rôle d'atténuation des effets du CC à travers l'évaluation de la dynamique du stock du C entre 1998 et 2021 dans la zone Sud de la RBA (Anti Atlas, Massa).

Les objectifs spécifiques visés dans ce travail consistent à :

- ✓ Etablir la cartographie des occupations des terres de la zone d'étude en 1998 et 2021,
- ✓ Evaluer les stocks du C des différents réservoirs en 1998 et en 2021 selon les zones de la RBA (centrales, tampons, de transition),
- ✓ Analyser l'évolution des occupations du sol entre 1998 et 2021 dans la zone d'étude.

**PREMIERE PARTIE : REVUE
BIBLIOGRAPHIQUE**

Chapitre 1. La réserve de biosphère de l'arganeraie

I. Présentation générale du MAB et des RB

1. Programme MAB et création des RB

En 1968, l'Unesco a organisé à Séville le colloque « Utilisation et conservation de la biosphère », qui est considéré la première conférence intergouvernementale d'experts sur les bases scientifiques de l'utilisation rationnelle et de la conservation des ressources de la biosphère.

Cette conférence intergouvernementale visait la réconciliation de l'environnement et du développement, questions toujours d'actualité dans le domaine du développement durable. Le principal résultat de la conférence a été la création en 1971 du Programme sur l'homme et la biosphère connu sous le sigle MAB (Man and Biosphere) visant à établir une base scientifique afin d'améliorer les relations entre les individus et leur environnement. Il associe sciences exactes, naturelles et sociales pour améliorer les moyens de subsistance des populations et sauvegarder des écosystèmes naturels et gérés, promouvant ainsi des approches novatrices du développement économique qui sont socialement et culturellement adaptées et viables du point de vue environnemental **(UNESCO)**.

Au niveau mondial, le programme MAB est gouverné par son Conseil International de Coordination (CIC), sous l'autorité de la conférence générale de l'UNESCO et de son conseil exécutif. Le niveau suivant de gouvernance est représenté par les réseaux régionaux et thématiques. Idéalement, au niveau national, la gouvernance est assumée par les comités nationaux du MAB **(DEF, 2019)**.

Dans le cadre du programme MAB, l'UNESCO a établi un Réseau Mondial des Réserves de Biosphère (RMRB) qui se propose de protéger la nature, tout en préservant l'activité humaine sur toute la planète. En 2015, le RMRB comptait

727 réserves de biosphère réparties dans 131 pays, dont 21 réserves de biosphère transfrontalières sur le territoire de deux pays ou plus (**UNESCO, 2021**).

2. Qu'est ce qu'une réserve de biosphère ?

Une réserve de biosphère est une aire portant sur des écosystèmes terrestres et/ou côtiers/marins qui vise à promouvoir des approches et des moyens pour réconcilier la conservation de la diversité biologique avec son utilisation durable. Elle est proposée par le gouvernement national, reconnue sur le plan international par l'UNESCO et reste sous la seule souveraineté de l'Etat sur le territoire duquel elle se trouve. Elle constitue un champ d'études et de démonstrations de la gestion durable des ressources naturelles.

Une réserve de biosphère doit remplir trois fonctions majeures, qui se complètent et se renforcent mutuellement :

- Une fonction de conservation : contribuer à la conservation des paysages, des écosystèmes, des espèces et des gènes ;
- Une fonction de développement : favoriser un développement économique et humain respectueux des particularités socioculturelles et environnementales ;
- Une fonction logistique : encourager la recherche, la surveillance, l'éducation et l'échange d'information concernant les questions locales, nationales et mondiales de conservation et de développement.

Elle est organisée en 3 types de zones (**figure n°1**), où se répartissent les objectifs de protection, d'entretien et de développement :

- Des zones centrales (ou zones A), ayant comme fonction la protection de la nature et devant être protégée par la législation nationale (classées aires protégées). Elles représentent généralement un faible pourcentage de la superficie globale de la réserve de biosphère;
- Des zones tampon (ou zones B), qui entourent ou juxtaposent les zones centrales. Ce sont des zones de développement durable où les activités de

production doivent rester compatibles avec les principes écologiques, dont l'éducation environnementale, la récréation et la recherche scientifique;

- Des zones de transition (Zones C), offrant le plus grand potentiel de développement et se prêtant à diverses activités.

Les réserves de biosphère ne font pas l'objet d'une convention internationale mais obéissent simplement à des critères communs qui leur permettent de remplir convenablement leurs trois fonctions. Elles forment un réseau mondial qui favorise les échanges d'information et d'expériences (DEF, 2019).



Figure 1: Modèle de zonage d'une réserve de biosphère proposé par l'UNESCO (Osseni, 2017)

3. Les réserves de biosphère au Maroc

En 1996, l'Administration des Eaux et Forêts a élaboré à l'échelle nationale, avec des fonds de la Banque Africaine de Développement, le Plan Directeur des Aires Protégées (PDAP) en conformité avec les normes internationales et en application des recommandations de la Conférence des Nations Unies pour l'Environnement et le Développement (CNUED-Rio, 1992). Depuis 1998, le Maroc s'est officiellement engagé dans une politique de création de Réserves de Biosphère en donnant aux écosystèmes présentant une végétation et une faune particulière le label de Réserves de Biosphère.

En effet, le Maroc s'est doté, dans le cadre du programme Man And Biosphere Reserve (MAB) de l'UNESCO, de quatre réserves de biosphère (**figure n°2**), qui sont inscrites dans la liste MAB et qui viennent promouvoir des solutions réconciliant la conservation de la biodiversité et son utilisation durable. Il s'agit de :

- La Réserve de Biosphère de l'Arganeraie (RBA) est la première réserve de biosphère créée en 1998 dans la région du Sud-Ouest Marocain.
- La Réserve de Biosphère des Oasis du Sud Marocain (RBOSM) créée en 2000 dans la région d'Errachidia, Ouarzazate et Zagora.
- La Réserve de Biosphère Intercontinentale de la Méditerranée (RBIM) créée en 2006 et assise sur les territoires des provinces du Nord-Ouest du Maroc et celles de Cadiz et Malaga de l'Andalousie (Espagne).
- La Réserve de Biosphère du Cèdre de l'Atlas (RBCA) créée en 2016 sur une surface d'environ 1.375.000 ha. Ce statut a été accordé par l'UNESCO lors du 4ème congrès mondial des réserves de biosphère, organisé du 14 au 17 mars à Lima (Pérou).

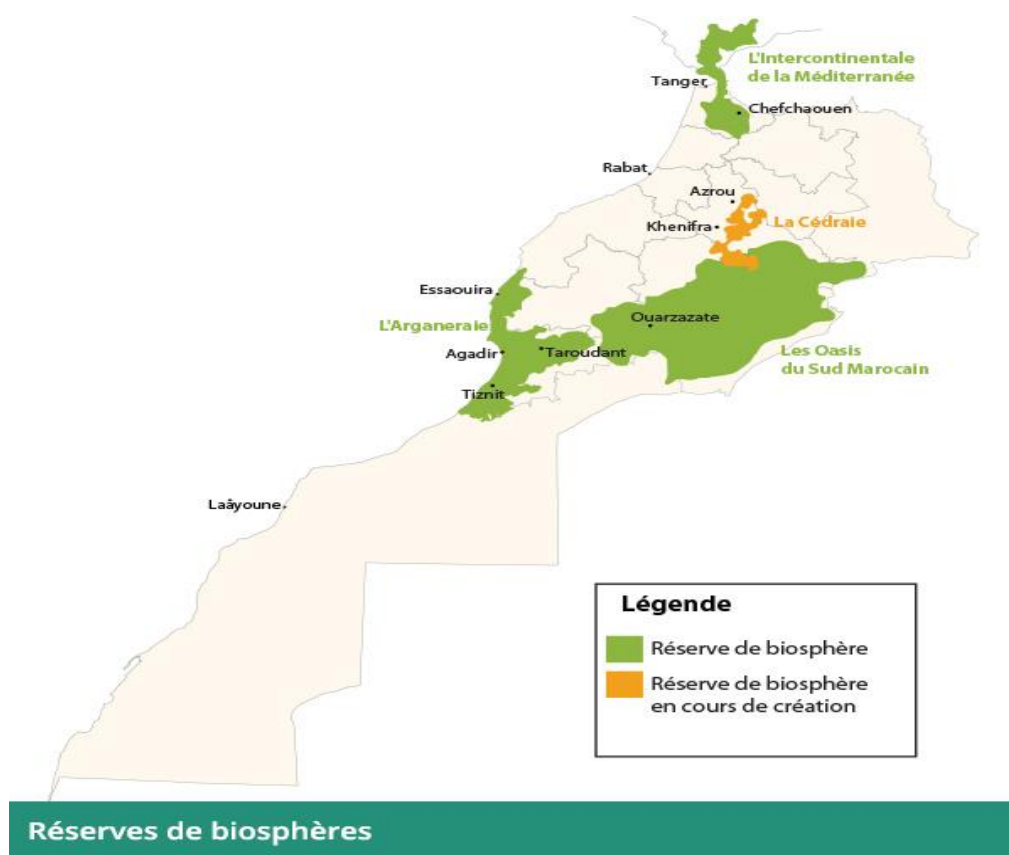


Figure 2: les réserves de biosphère au Maroc (DEF, 2019)

II. La réserve de biosphère de l'arganier

1. Création et objectifs

Afin de réduire l'impact du fonctionnement socioéconomique traditionnel local sur l'Arganeraie, l'État a mis en œuvre la reconnaissance de celle-ci en tant que Réserve de Biosphère Arganeraie (RBA) du programme Man and Biosphère (MAB) de l'UNESCO, en appliquant les recommandations de la stratégie de Séville élaborée par l'assemblée du comité MAB qui s'est tenue à Séville (Espagne) en mars 1995. Le 8 décembre 1998, l'Arganeraie a été déclarée par l'UNESCO première Réserve de Biosphère du Maroc, sur une superficie de 2,5 millions d'hectares environ. Elle concerne les provinces et préfectures d'Agadir Ida Ou Tanane, Inezgane Ait Melloul, Chtouka Ait Baha, Tiznit, Taroudant, Sidi Ifni et Essaouira.

Cela signifie que l'UNESCO reconnaît à la région une singularité et un potentiel de biodiversité pour lequel des projets soutenable sont nécessaires. D'après l'UNESCO, une réserve naturelle a pour propos «de concilier conservation de la diversité naturelle et culturelle et développement économique et social ». Les objectifs décrits par l'UNESCO sont ainsi d'accomplir « trois fonctions interconnectées, de conservation, de développement et de soutien logistique »

Les principaux objectifs de la création de la RBA sont les suivants : la préservation des ressources biologiques des valeurs paysagères et culturelles, Le maintien de l'équilibre et des écosystèmes, la contribution au développement local et régional de la zone. **(ITSMAIL.S et BOUIZEDKANE.A, 2019).**

En mettant l'être humain au centre de la problématique de préservation et de développement de la réserve, l'objectif consiste à « établir un équilibre durable entre ces buts souvent conflictuels que sont la conservation de la diversité biologique, la promotion de développement humain et la préservation des valeurs culturelles qui leurs sont associées » **(UNESCO- Secrétariat MAB).**

2. Zonage de la RBA

Un zonage de la réserve a permis d'individualiser les trois zones stipulées dans les normes du réseau MAB de l'UNESCO relatives à la création des Réserves de Biosphère (**voir figure n°3**) :

- **Des aires centrales (zones A)** ou zones de protection intégrale à long terme, permettant de conserver la diversité biologique, de surveiller les écosystèmes les moins perturbés et de mener la recherche scientifique. Le choix des zones a pris comme référence les terrains relevant des sites d'intérêt biologique et écologique (SIBE) y compris le Parc National de Souss-Massa (PNSM). A cela s'ajoute d'autres zones proposées par les gestionnaires locaux et après concertation avec les populations et l'ensemble de la société civile (communes, ONG).

Ainsi, 18 aires centrales (zones A) ont été individualisées avec une superficie de 17.000 hectares. Elles correspondent aux SIBE identifiés par le plan directeur des aires protégées du Maroc et des sites proposés par les gestionnaires. Leur délimitation a pris en considération: **(i)** soit le contexte écologique lié à la présence de l'arganier et l'accès difficile, **(ii)** soit l'existence d'un phénomène naturel conséquent et intéressant, tel que la présence de peuplement bien venant d'arganier, espèce animale ou végétale rare, **(iii)** soit l'absence d'activités humaines (maisons, azibs, citernes, pistes...).

- **Des zones tampons (zone B)** entourant ou juxtaposant les aires centrales et sont destinées à être gérées en vue d'une production compatible avec les pratiques écologiquement durables. En effet, 13 zones tampons ont été identifiées d'une superficie cumulée de l'ordre de 560.000 ha. Leur choix a été basé sur les critères suivants : (i) Existence et importance de l'arganier (les peuplements épars ou de faible densité sont exclus, les terrains à risque d'érosion sont inclus) et (ii) importance de l'arganier dans l'économie locale.

- **Des zones de transition (zone C)**, elles comprennent les espaces de la RBA non couverts par les zones A et B. L'objectif assigné à ces zones est la concrétisation d'un développement socio-économique durable de l'aire de l'Arganeraie.

Ces zones de transitions flexibles peuvent contenir un certain nombre d'activités agricoles, d'établissement humains ou d'autres exploitations et dans lesquelles les communautés locales, agences de gestion, scientifiques, ONG, intérêts économiques, culturels et d'autres partenaires œuvrent ensemble pour gérer et développer durablement les ressources de la région dans un esprit solidaire envers les autres zones et surtout vis-à-vis des zones centrales. Dans la RBA, la Zone C comprend également des villes et grandes agglomérations (Grand Agadir, Essaouira, Taroudant, Tiznit) (DEF, 2019)

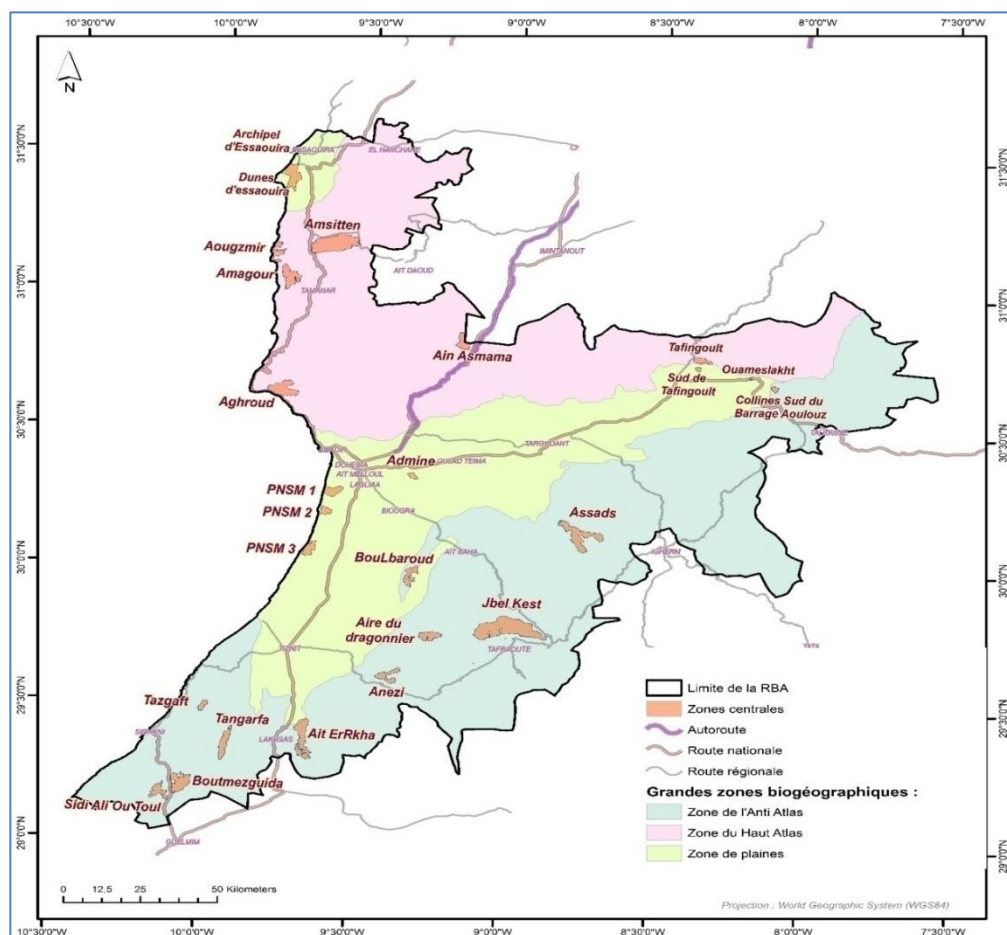


Figure 3: Zonage de la réserve de biosphère de l'arganier (Source : HCEFLCD/DPRN)

3. Plan cadre

La RBA dispose, depuis sa mise en place, d'un plan cadre qui constitue un outil d'orientation de sa mise en œuvre. En plus de l'établissement du zonage de la RBA, ce plan cadre avait programmé un certain nombre de mesures potentielles visant d'assurer les objectifs et les fonctions assignés aux différentes zones. Dans l'objectif de mettre en œuvre la RBA, un plan cadre a été élaboré entre 1998 et 2002 dans le cadre du projet Conservation et Développement de l'Arganeraie (PCDA) qui s'articule autour de quatre parties:

- ✓ la stabilisation de la superficie des peuplements forestiers, particulièrement de l'arganier, avec amélioration de la structure horizontale et verticale des peuplements forestiers ;
- ✓ la diminution de la dépendance du cheptel vis-à-vis des ressources naturelles ;
- ✓ la rationalisation de l'usage de l'eau et des cultures en plaine ;
- ✓ l'efficacité des mesures d'augmentation des revenus et de l'amélioration du niveau de vie de la population concernée. (ANDZOA, 2019).

Pour aboutir à l'écosystème souhaité tel qu'il a été défini précédemment, il est indispensable de programmer un certain nombre de mesures potentielles au niveau de chaque zone de la RBA (A, B et C), qui doivent s'intégrer dans une stratégie de développement général de l'aire de la RBA. Ces mesures doivent avoir une durée d'application de 20 ans avec des programmes prioritaires sur 5 ans :

- Au niveau des zones de protection (A) :

- ✓ Instaurer un protocole d'accord de protection avec la population (système de compensation des droits d'usage, système de rachat de ces droits, système d'échange foncier...) ;
- ✓ Élaborer l'état des lieux et le programme d'intervention ;
- ✓ Mettre en place un observatoire des zones A et B ;
- ✓ Approfondir la recherche scientifique.

- Au niveau des zones tampon (B) :

- ✓ Appuyer le développement rural intégré ;
- ✓ Lutter contre l'érosion, notamment hydrique ;
- ✓ Réaliser des plans d'aménagement forestier ;
- ✓ Promouvoir la formation professionnelle ;
- ✓ Rationaliser l'exploitation pastorale ;
- ✓ Promouvoir la commercialisation des produits de terroirs ;
- ✓ Promouvoir l'auto organisation de la population ;
- ✓ Encourager la substitution et l'économie du bois de feu.

- Au niveau des zones de transition (C) :

- ✓ Inciter à la conservation et à la protection de l'environnement ;
- ✓ Impliquer les investisseurs et les exploitants de plaine dans la conservation des écosystèmes d'arganier ;
- ✓ Impliquer les ONG en matière d'activité de valorisation des produits locaux et de protection de l'Arganeraie.

- A travers toutes les zones A, B et C :

- ✓ Promouvoir l'éducation environnementale,
- ✓ Assurer la pérennité de l'écosystème à arganier par la régénération naturelle ou assister,
- ✓ Réaliser des reboisements à usages multiples,
- ✓ Valoriser les systèmes de production agricole,
- ✓ Réaliser des reboisements à usages multiples et
- ✓ Promouvoir des activités extra-forestières (apiculture, pêche artisanale, petit élevage).

Chapitre 2 : Les changements climatiques

I. Généralités sur les changements climatiques

1. Définition

Selon le Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat (GIEC, 2014), le changement climatique s'entend d'une variation de l'état du climat que l'on peut déceler par des modifications de la moyenne ou de la

variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus. Il se rapporte à tout changement du climat dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou à l'activité humaine.

Selon la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC, 1992), les changements climatiques désignent des changements qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables.

2. Observations du changement climatique

a. Augmentation de la température de surface de la Terre

Le réchauffement de la température moyenne mondiale de l'air à la surface des terres et de l'eau à la surface des océans est très net. L'écart par rapport à la moyenne de la période de référence préindustrielle 1850-1900 est faiblement marqué jusqu'au milieu des années 1930 (**figure n°4**) puis devient ensuite, le plus souvent, légèrement positif jusque vers 1980. Depuis le début des années 1980, le réchauffement s'accroît nettement, avec une croissance continue de la moyenne décennale. La décennie 2010-2019 (avec une température supérieure de 0,66 °C à la moyenne 1961-1990) a été plus chaude de 0,19 °C que la décennie 2000-2009 (0,47 °C au-dessus de la moyenne 1961-1990). Les cinq dernières années sont les cinq plus chaudes observées depuis 1850. L'année 2016, avec une température supérieure de 0,86 °C à la moyenne 1961-1990, se classe au premier rang des années les plus chaudes depuis 1850, l'année 2019 se classant en deuxième position. Depuis la fin du XIXe siècle la température moyenne mondiale a augmenté de presque 1 °C (moyenne décennale 2010-2019 de 0,97 °C) (MTE, 2021).

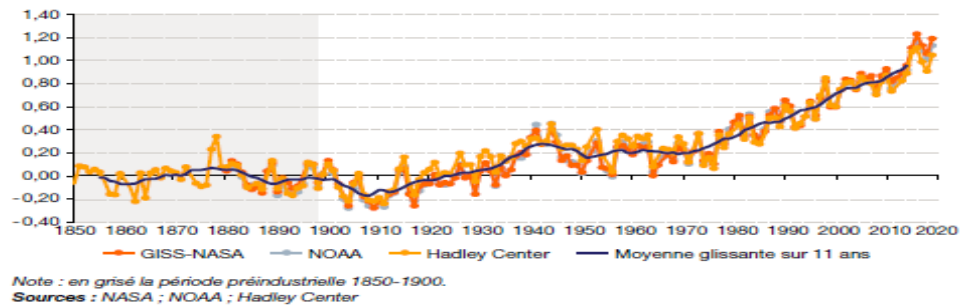


Figure 4: Evolution de la température moyenne annuelle mondiale (source : NOAA, NASA, Hadley Center, 2021)

b. Bilan de masse des glaces du GROENLAND de 2002 à 2019

Les régions polaires perdent de la glace et cette perte s'est accélérée dans les années 2000. Entre 2002 et 2019, la masse de la calotte glaciaire du Groenland s'est réduite en moyenne de 268 ± 11 gigatonnes par an (Gt/an). Au cours de l'été arctique exceptionnellement chaud de 2019, le Groenland a perdu 600 Gt de glace, ce qui équivaut à une élévation du niveau des mers de 2,2 mm (MTE, 2021).

c. Evolution du niveau moyen des mers du globe depuis 1993

Le niveau moyen de la mer s'est élevé de $1,7 \pm 0,3$ mm/an sur la période 1901-2010 (Figure n°5). Le taux d'élévation du niveau marin s'est accéléré durant les dernières décennies pour atteindre $3,3 \pm 0,4$ mm/an sur la période 1993-2019 (Figure n°5). Environ 30 % de l'élévation du niveau des mers est due à la dilatation causée par l'augmentation de la température de l'eau (MTE, 2021).

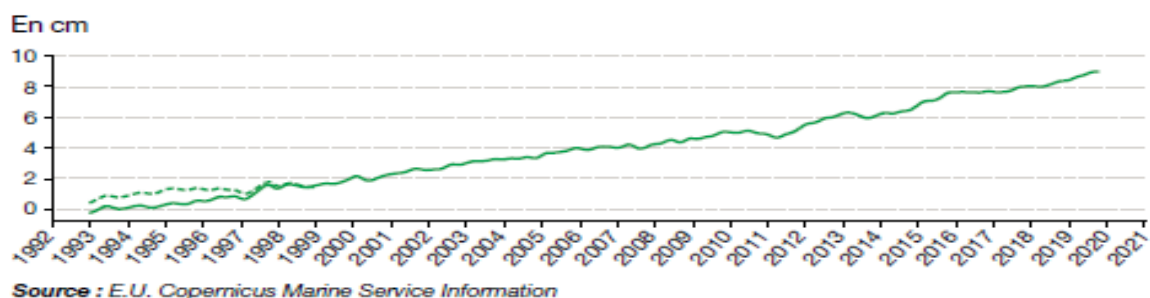


Figure 5: évolution du niveau moyen des mers du globe

3. Instruments juridiques des Nations unies

- **Convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC)**

Les changements climatiques constituent un problème complexe, qui, bien qu'étant de nature environnementale, a des conséquences sur beaucoup d'issues globales telles que la pauvreté, le développement économique, la croissance de la population, le développement durable et la gestion des ressources. La réponse aux changements climatiques passe par une réduction des émissions. En 1992, des pays ont joint un traité international, - la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) - en vue de considérer ce qui pouvait être fait pour réduire le réchauffement global et faire face à toute hausse inévitable des températures. Avec 197 Parties, la Convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) jouit d'une adhésion presque universelle. La CCNUCC met en place un cadre global de l'effort intergouvernemental pour faire face au défi posé par les changements climatiques.

- **Protocole de Kyoto**

Lorsqu'ils adoptèrent la Convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), les gouvernements savaient que leurs engagements ne seraient pas suffisants pour sérieusement faire face aux changements climatiques. En 1995, dans une décision connue sous le nom de Mandat de Berlin, les Parties à la Convention entamèrent un cycle de négociations en vue de décider des engagements plus solides et plus détaillés pour les pays industrialisés. Après deux années et demie d'intenses négociations, le Protocole de Kyoto fut adopté au Japon, le 11 décembre 1997. Le Protocole de Kyoto pose une limite aux grandes économies mondiales sur le rejet total des émissions de gaz à effet de serre (GES). Une première période d'engagements allait de 2008 à 2012. La seconde période d'engagement a démarré le 1er janvier 2013 et s'est terminé en 2020. Le Protocole compte 192 Parties.

- **Accord de Paris**

Convoquée à Paris en décembre 2015 pour sa 21^e session, la Conférence des Parties à la Convention-cadre (CCNUCC) a adopté l'Accord de Paris, un accord historique qui rassemble tous ses signataires autour d'efforts ambitieux de lutte contre les changements climatiques.

Cet accord universel s'appuie sur la Convention et rassemble toutes les nations autour d'une cause commune qui vise à accélérer et intensifier les actions et les investissements nécessaires à un avenir durable à faible intensité de carbone et à contenir la hausse de la température mondiale pour le XXI^e siècle bien au-dessous de 2 °C, avec pour objectif de limiter la hausse de la température à 1,5 °C au-dessus des niveaux de l'ère préindustrielle.

L'Accord de Paris a été ouvert à la signature le 22 avril 2016 - Jour de la Terre - au Siège des Nations Unies à New York et il est entré en vigueur le 4 novembre 2016.

- **Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)**

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a été créé en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et ONU Environnement en vue de fournir des évaluations détaillées de l'état des connaissances scientifiques, techniques et socio-économiques sur les changements climatiques, leurs causes, leurs répercussions potentielles et les stratégies de parade.

II. Changement climatique au Maroc

1. Profil climatique

Le Maroc est caractérisé par un climat très différent selon les régions. En effet, les zones littorales bénéficient d'un climat tempéré, alors que le climat est désertique dans le sud et l'est du pays. Aussi, le climat marocain comporte beaucoup de nuances : méditerranéen au Nord, océanique à l'Ouest, continental à

l'intérieur des terres et saharien au Sud. Le climat montre des variations en fonction des saisons, il est principalement caractérisé par un été chaud et sec où les précipitations sont quasiment absentes et l'évaporation particulièrement forte, et un hiver doux sur la bande littorale, froid à l'intérieur du pays, sur les chaînes de l'Atlas, du Rif et les hauts plateaux de l'Oriental.

De plus, on enregistre une forte variabilité interannuelle des précipitations sur l'ensemble des régions (**figure n°6**), en particulier dans les régions du Nord du Royaume. La gamme des pluviométries moyennes annuelles va de moins de 100 mm au sud à 1200 mm avec deux pics saisonniers, en hiver et au printemps, selon les régions (**DE, 2016**).

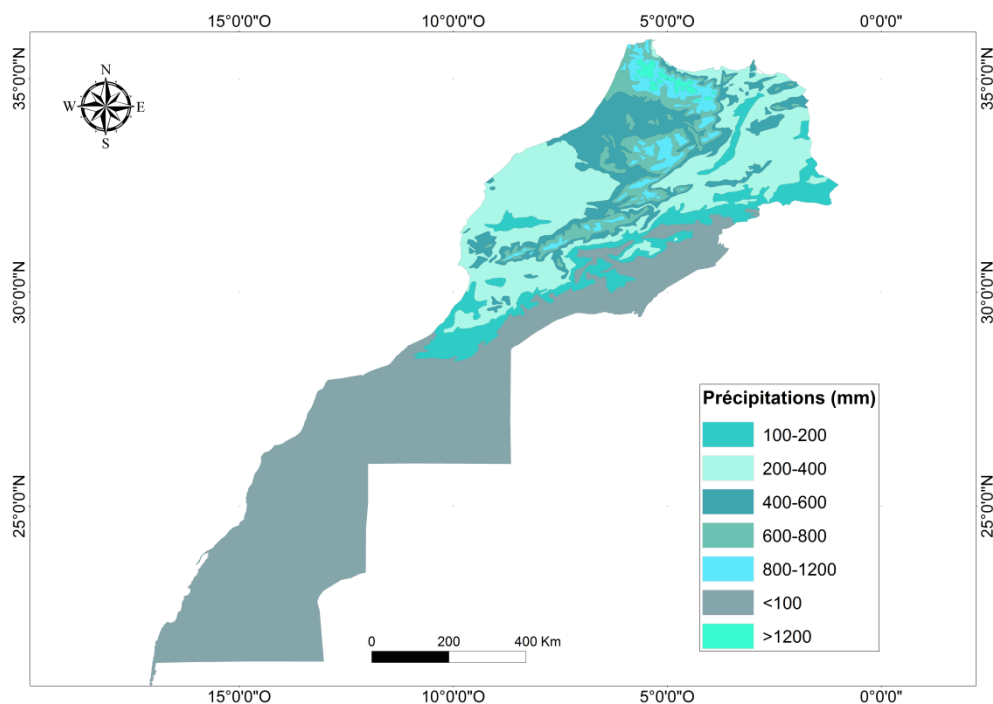


Figure 6: Carte pluviométrique du Maroc (Source : Laouina A. ,2007)

2. Vulnérabilité aux impacts du changement climatique

a. Impact sur le climat

Le changement climatique est déjà en cours au Maroc au vu des tendances climatiques observées entre 1960 et 2005. Les températures moyennes annuelles ont augmenté de 1,0 à plus de 1,8°C et les précipitations ont subi un déclin qui

varie entre 3 et 30% avec une baisse de 26% dans la région Nord-Ouest du pays considérée comme la zone la plus humide du Maroc. Pour tous les horizons temporels, on observe une tendance à la baisse des cumuls annuels des précipitations qui varie entre 10 et 20% pour atteindre 30% sur les provinces sahariennes à l'horizon 2100. Pour les températures moyennes annuelles, une tendance à la hausse de 0,5 à 1°C est projetée à l'horizon 2020 et de 1 à 1,5 °C aux horizons 2050 et 2080, sur l'ensemble du pays (DE, 2016).

b. Impact sur les écosystèmes forestiers

Dans des bioclimats saharien, semi-aride et aride, cela se traduit par un stress hydrique sur la végétation, ce qui favorisera l'extension de la désertification, et par conséquent, des déplacements progressifs de peuplements vers le Nord, à la recherche de fraîcheur et d'humidité. Dans les bioclimats humides et subhumides, la tendance est une évolution vers des bioclimats plus secs et la disparition de certaines espèces forestières telles que, le Sapin de Talasemtante, le cèdre de TiziIfri, le chêne liège de la nappe numidienne, le cèdre de Ketama au Rif, le genévrier thurifère du Haut Atlas. A ces disparitions, succèderaient des espèces plus adaptées au stress hydrique comme le thuya, le caroubier, le pin d'Alep, le pistachier et le genévrier rouge (DE, 2016).

La pêche dans les eaux continentales et l'aquaculture relevant du domaine forestier seraient également touchées (GIEC, 2007).

c. Inventaire des GES

Le Maroc a réalisé dans le cadre de la TCN (Troisième Communication Nationale), cinq inventaires des émissions de gaz à effet de serre qui portent sur les années 2005, 2006, 2008, 2010 et 2012.

Les émissions anthropiques nettes des GES au Maroc pour l'année 2012 sont évaluées à **100 547,4 Gg Eq-CO₂**, soit **3,10 tonnes Eq-CO₂/habitant** (contre 93 937,2 Gg Eq-CO₂ en 2010 et 2,95 tonnes Eq-CO₂/habitant) (**figure n°7**). Ces émissions correspondent au solde des émissions totales des GES par les

différentes sources (émissions brutes) et des absorptions de CO₂ par les écosystèmes végétaux (DE, 2016).

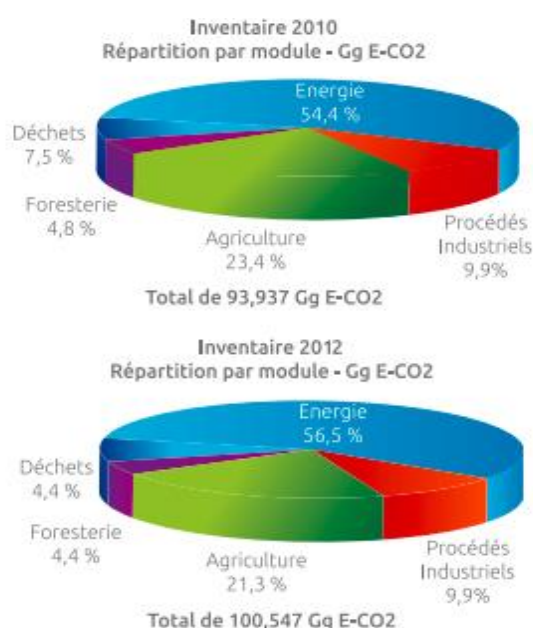


Figure 7: émissions des GES par source (Source : DE, 2016)

d. Projections climatiques futures au Maroc

Selon le rapport national sur les changements climatiques au Maroc (2011) et à l'instar des autres pays de la rive sud de la méditerranée, et selon les données disponibles à l'état actuel, les projections climatiques futures du Maroc peuvent être résumées comme suit :

- Une tendance à l'augmentation de la température moyenne annuelle, comprise entre 0,6 et 1,1 °C à l'horizon 2020 et 2 à 3 °C vers la fin du siècle ;
- Une tendance à la réduction du volume moyen des précipitations de l'ordre de 4 % en 2020, par rapport à l'année 2000 ;
- Une augmentation de la fréquence et de l'intensité des orages dans le nord et à l'ouest de la chaîne de l'Atlas ;
- Une augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses dans le sud et à l'est du pays ;

- Un dérèglement des précipitations saisonnières (pluie d'hiver concentrées sur une courte période) et ;
- Une réduction de la durée d'enneigement et un retrait du manteau neigeux (migration en altitude de l'isotherme 0°C et accélération de la fonte des neiges).

3. L'arganier et le changement climatique

De par son aridité, l'aire de répartition d'arganier se trouve dans les ambiances climatiques très sensibles à l'érosion éolienne et hydrique ainsi que le pâturage intensif. Les changements climatiques menacent d'accentuer la vulnérabilité de cet arbre. L'adaptation à un stress hydrique plus marqué, dû à la baisse des précipitations et à l'augmentation de l'évapotranspiration liée à la hausse des températures, est un facteur particulièrement important pour cet écosystème et pour les populations qui en dépendent. Son impact, sur la structure et la densité de l'arganeraie, varie en fonction de l'état du couvert végétal et de l'altitude de sa situation (GIZ, 2013).

Dans les scénarios prévus pour les changements climatiques, cinq facteurs déterminants s'ajouteront aux forces de dégradations déjà existantes pour l'arganeraie et qui auront un impact sur l'aire de distribution actuel de cet écosystème forestier. Ces facteurs sont la réduction des précipitations, l'augmentation de la température, le stress hydrique, l'érosion éolienne et hydrique ainsi que l'expansion de la désertification.

a. La stratégie d'adaptation

Même si de nombreuses études ont concerné l'arganeraie, les scénarios d'action doivent impérativement être basés sur (i) la mise en valeur des connaissances, du savoir-être et du savoir-faire des populations locales (ii) la capitalisation des études et travaux de recherches s'y rapportant et (iii) l'identification des insuffisances et des dysfonctionnements relatifs à leur exploitation et à leur gouvernance (GIZ, 2013).

L'accès à cette banque de données permettra l'élaboration d'une évaluation réelle de la vulnérabilité du système socio écologique de l'arganeraie face au niveau de risques et de la capacité de son adaptation. De même, elle devra être une condition préalable à une prise de décision éclairée. Elle permettra aussi l'établissement des prévisions stratégiques et d'un plan d'action, à moyen et long terme, basé sur une économie qui utilise de façon durable la biodiversité et les services écosystémiques. Cette démarche est la seule garantie du renforcement de la résilience de ce réservoir de carbone, vital pour la région, qui contribue à remédier aux effets du changement climatique (**Krichi, 2017**).

III. Gaz à effet de serre

1. Généralités

La Terre reçoit en permanence de l'énergie du soleil. La partie de cette énergie qui n'est pas réfléchiée par l'atmosphère, notamment les nuages, ou la surface terrestre (océans et continents) est absorbée par la surface terrestre qui se réchauffe en l'absorbant. En contrepartie, les surfaces et l'atmosphère émettent du rayonnement infrarouge, d'autant plus intense que les surfaces sont chaudes. Une partie de ce rayonnement est absorbée par certains gaz et par les nuages puis réémise vers la surface, ce qui contribue à la réchauffer. Ce phénomène est appelé l'effet de serre (**GIEC, 2013**). L'importance du phénomène est fonction de la concentration des GES ; c'est pourquoi une augmentation de la concentration peut conduire à un réchauffement de la planète.

2. Gaz à effet de serre

Hors vapeur d'eau, les GES occupent moins de 0,1 % du volume atmosphérique. La vapeur d'eau, qui fluctue entre 0,4 et 4 %, est le principal gaz à effet de serre. Les activités humaines ont très peu d'impact direct sur les fluctuations de sa concentration, mais ont un impact fort sur les concentrations des autres GES.

Plus d'une quarantaine de gaz à effet de serre ont été recensés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (**GIEC**).

- **Vapeur d'eau (H₂O)**

La vapeur d'eau (H_2O) provient de l'évaporation de l'eau des océans et des cours d'eau. L'évapotranspiration des plantes produit également de l'eau qui charge l'air en humidité. Les activités humaines produisent aussi de la vapeur d'eau, à l'instar des tours de refroidissement des centrales nucléaires.

- **Dioxyde de carbone (CO_2)**

Le dioxyde de carbone (CO_2) est principalement issu de la combustion des énergies fossiles (pétrole, charbon) et de la biomasse. Comme l'eau, le CO_2 participe au cycle de la photosynthèse des plantes. C'est donc un gaz à effet de serre naturel et indispensable, dans une certaine limite de concentration.

- **Méthane (CH_4)**

Le méthane (CH_4) est essentiellement généré par l'agriculture (rizières, élevages).

Les émissions proviennent de :

- Production, distribution, combustion de gaz et de pétrole
- Extraction et combustion du charbon
- Décharges

- **Ozone (O_3)**

L'ozone (O_3) est un GES également qualifié de polluant secondaire. L' O_3 se forme dans la basse atmosphère à partir d'autres gaz contenant des oxydes d'azote et des composés organiques volatils (COV). L'ozone est ainsi principalement issu des activités humaines, mais les végétaux en produisent aussi.

- **Protoxyde d'azote (N_2O)**

Le protoxyde d'azote (N_2O) est un GES qui provient :

- Des activités agricoles
- De la combustion de la biomasse
- Des produits chimiques comme l'acide nitrique

- **Les gaz fluorés (HFC, PFC, SF_6)**

L'hydrofluorocarbure (HFC), le perfluorocarbures (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF_6) correspondent aux gaz fluorés utilisés dans les anciens systèmes de réfrigération et employés dans les aérosols et les mousses isolantes.

Le pouvoir de réchauffement global (PRG) est le rapport entre l'énergie renvoyée vers le sol en 100 ans par 1 kg de gaz et celle que renverrait 1 kg de CO_2

(Tableau n°1). Il dépend des propriétés radiatives et des durées de vie des gaz dans l'atmosphère. Par exemple, 1 kg de méthane (CH₄) réchauffera autant l'atmosphère que 28 à 30 kg de CO₂ au cours du siècle qui suit leur émission.

Si le CO₂ est le gaz qui a le plus petit pouvoir de réchauffement global, il est celui qui a contribué le plus au réchauffement climatique depuis 1750, du fait des importantes quantités émises **(MTE, 2021)**.

Tableau 1: pouvoir de réchauffement global par rapport au CO₂ des différents GES

Gaz	Formule	PRG relatif / CO ₂ (à 100 ans)
Gaz carbonique	CO ₂	1
Méthane	CH ₄	25
Protoxyde d'azote	N ₂ O	298
Perfluorocarbures	C _n F _{2n+2}	7400 à 12200
Hydrofluorocarbures	C _n H _m F _p	120 à 14800
Hexafluorure de soufre	SF ₆	22800

(Source : GIEC, 4^e rapport d'évaluation, 2007)

IV. Séquestration du carbone

1. Cycle global du Carbone

Bien qu'il ne soit pas l'élément chimique le plus présent sur Terre, le carbone est l'un des composés les plus marquants dans le fonctionnement et l'évolution du système Terre. Un ensemble de processus biogéochimiques nombreux et complexes permet son transfert d'un réservoir à un autre conduisant à un cycle planétaire. Ce dernier est partagé entre un cycle rapide, impliquant les réservoirs atmosphère, océan et biosphère, et un cycle lent, impliquant la croûte terrestre, les sols et l'océan **(Suchet, 2013)**.

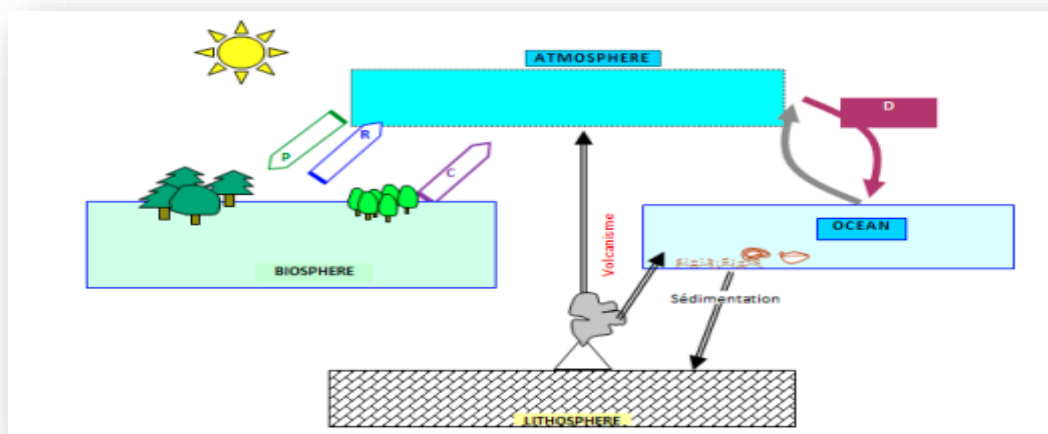


Figure 8: schéma simplifié du cycle du carbone (source : la Banque de schémas SVT Académie Dijon, 2020)

2. Formes et réservoirs du carbone

Le carbone se retrouve sous deux formes: le carbone organique (C_{org}) et le carbone inorganique (C_{inorg}). Il est souvent utile de faire la distinction. Le C_{org} est celui qui est produit par des organismes vivants et qui est lié à d'autres carbones ou à des éléments comme l'hydrogène (H), l'azote (N) ou le phosphore (P) dans les molécules organiques ou les hydrocarbures. Le C_{inorg} est celui qui est associé à des composés inorganiques, c'est-à-dire des composés qui ne sont pas et n'ont pas été du vivant et qui ne contiennent pas de lien C-C ou C-H, comme par exemple le carbone du CO_2 atmosphérique ou celui des calcaires $CaCO_3$ (**H. Belalite, 2019**).

Le carbone existe sous deux formes principales (inorganique et organique) et dans les trois états (solide, liquide, gaz) dans quatre grands réservoirs : l'atmosphère, les océans, la biosphère continentale et la croûte terrestre. La taille de ces réservoirs est fortement disproportionnée puisque le réservoir atmosphère (avant d'avoir été perturbé par les activités humaines) ne contient que 596 Gt.C (1 Gt.C = 10⁹ tonnes de carbone) sous forme de CO_2 contre 2 750 Gt.C sous forme organique dans la biosphère continentale, et 39 000 Gt.C sous forme inorganique dans les océans. La lithosphère renferme quant à elle 143 millions de Gt de carbone inorganique et organique dans la croûte terrestre et probablement

plus de 4 milliards de Gt.C dans le manteau supérieur. En d'autres termes, le carbone des réservoirs superficiels (atmosphère + biosphère continentale + océans) ne représente que 0,001 % du carbone du globe terrestre. On remarquera enfin que les réserves de combustibles dit « fossiles » (pétrole, gaz, charbon), estimées à environ 4 000 Gt de carbone, constituent tout au plus 0,02 % du carbone organique des roches sédimentaires **(Suchet, 2013)**.

DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES

I. Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique

La réserve de biosphère de l'Arganeraie (RBA) couvre une vaste plaine intramontone avec ses bordures montagneuses, l'ensemble étant variablement ouvert à l'ouest sur l'océan atlantique (**figure n°9**). Le domaine topographique central en est la plaine du Souss, prolongée au Sud par les plaines et plateaux du Massa et de Tiznit et drainé par l'oued Souss et l'Oued Massa ;

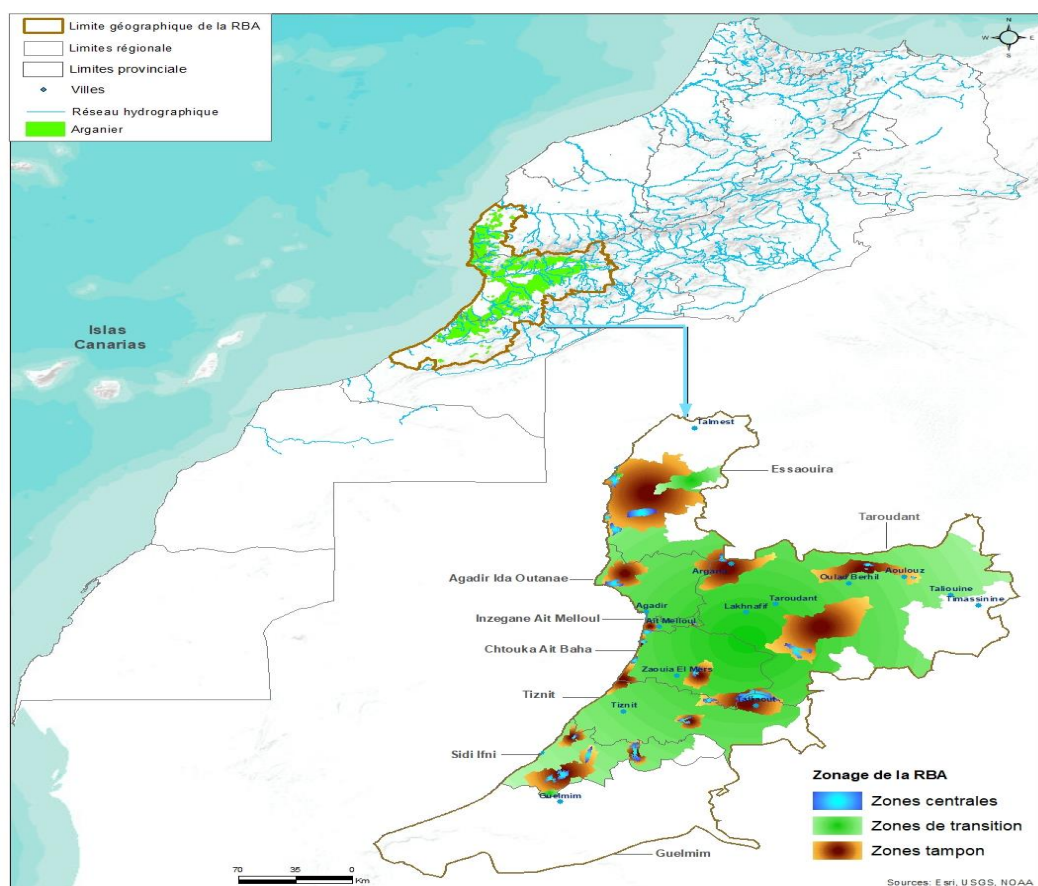


Figure 9: la situation géographique de la RBA

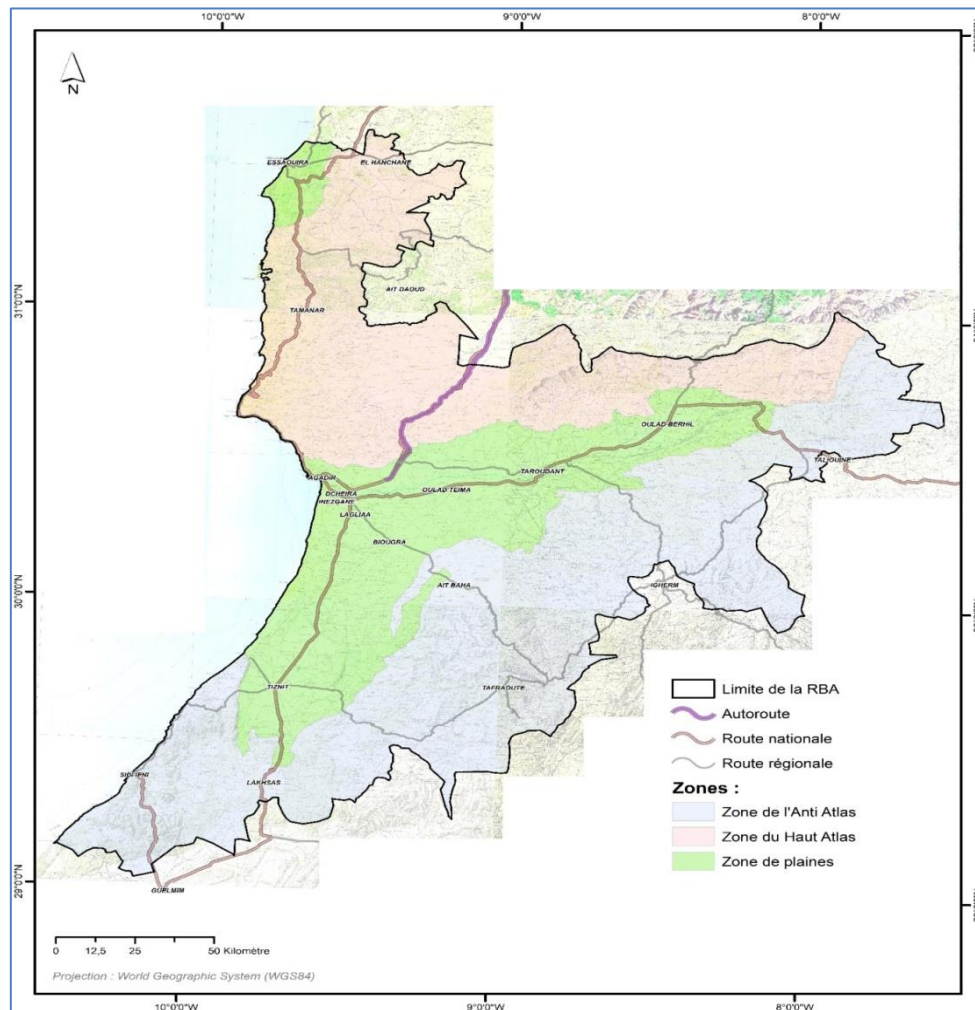


Figure 10: Les zones biogéographiques de la RBA (source : DREFLCDSO)

Un autre zonage peut être utilisé pour la RBA, c'est le zonage par les zones biogéographique (**figure n°10**). Dans le cadre de ce travail la zone d'étude c'est la zone de moyennes montagnes de l'Anti Atlas (la zone sud de la RBA) (**figure n°11**). Cette zone contient 11 zones centrales (**tableau n°2**) et vu les moyens et le temps disponible on a fixé deux zones à savoir : **BOUTMEZGUIDA** et **AIT ERKHA** en se basant sur le classement de l'Evaluation Décennale de la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie 2008-2017 et Elaboration du Nouveau Plan d'Action 2018 – 2027 réalisé par Direction Régionale des Eaux et Forêts et de la Lutte Contre la Désertification du Sud-Ouest à Agadir (**tableau n°3**).

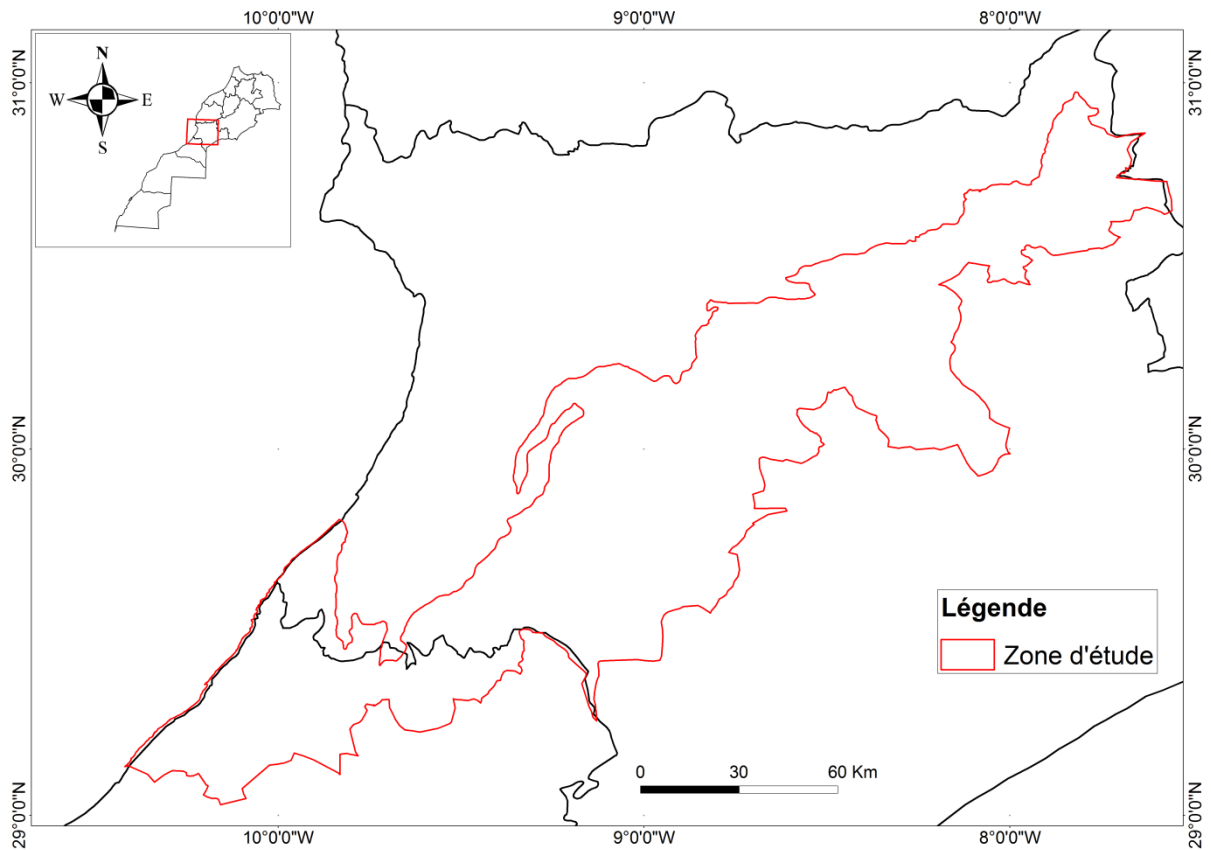


Figure 11: la zone sud de la RBA (zone d'Anti Atlas)

Les indicateurs utilisés pour faire le classement :

Idéalement, un bon indicateur doit être mesurable, mais, dans le contexte de la RBA, il ne peut être qu'évalué : Le niveau de connaissance des divers secteurs de la RBA est très hétérogène. Il semble donc difficilement possible de proposer des indicateurs définis de manière fine sur l'ensemble du territoire de la RBA. D'où nous avons eu recours à l'utilisation d'indices avec 5 classes de valeurs, qui sont proposés comme suit :

- 0 : Critère totalement absent
- 1 : Valeur très faible (presque nulle)
- 2 : Valeur faible
- 3 : Valeur moyenne
- 4 : Valeur élevée

Chaque indicateur sera évalué selon une grille préalablement établie, et qui sera définitivement ajustée lors des 1^{ères} visites de terrain, en particulier afin d'obtenir une ventilation discriminante des valeurs attribuées.

Critère 1 : Aspects paysagers

La valeur paysagère est évaluée globalement, en fonction de l'évaluation de l'aspect naturel du paysage, de son côté spectaculaire ou harmonieux. La présence visible d'habitat ou d'infrastructure modernes (« modernisation ») sont des facteurs négatifs, diminuant la valeur de l'indice attribué.

Critère 2 : Endémisme végétal

Les espèces à endémisme restreint (niveau RBA) seront davantage valorisées que les espèces à endémisme plus large (ensemble du Maroc, Maghreb...).

Critère 3 : Endémisme animal

L'endémisme animal (Vertébrés, Papillons diurnes) sera évalué, selon des critères comparables à ceux utilisés pour la flore.

Critère 4 : Etat global du milieu végétal

Ce critère se base sur l'état global de conservation de la végétation spontanée, en particulier sur l'état de la couverture arborée (problème des coupes) et sur l'état des espèces pastorales, bon indicateur de niveau de pâturage (seules les espèces ligneuses seront évaluées). Des mises en culture, même partielles, ne peuvent qu'abaisser la valeur de l'indice. La présence d'espèces menacées ou rares, selon la documentation disponible, augmentera la valeur de l'indice.

Critère 5 : Etat global de la faune

Ce critère permet d'évaluer l'état global de conservation de la faune, en particulier la faune susceptible d'être exploitée par l'homme (chasse et braconnage). La présence d'espèces menacées (statut UICN mondial et méditerranéen) augmentera la valeur de l'indice.

Critère 6 : Efforts de régénération / reconstitution du milieu naturel

Ce critère humain repose sur une évaluation de divers aspects de l'activité humaine vis-à-vis du milieu naturel. Il englobe les aspects de gestion par la population locale de son milieu naturel, de plantation forestière par les Service des Eaux et Forêts, de gestion cynégétique, et d'existence d'une Aire protégée en projet ou effectivement gérée.

Tableau 2: Liste et superficies des zones centrales pour la zone sud de la RBA

Zone centrale par grande zone	Superficie (ha)	% des ZC
Anti Atlas	37 528	56,5
Aire du dragonnier	1 950	2,9
Ait ErRkha	4 657	7,0
Anezi	1 980	3,0
Assads	5 481	8,3
BouLbaroud	1 964	3,0
Boutmezguida	3 578	5,4
Collines Sud du Barrage Aoulouz	450	0,7
JbelKest	12 163	18,3
Sidi Ali Ou Toul	1 955	2,9
Tangarfa	2 594	3,9
Tazgaft	755	1,1

(Source : DREFLCD-SO)

Tableau 3: Classement des zones centrales de l'Anti Atlas

Nom de la zone centrale	Valeur attribuée	Commentaires
Aire du dragonnier	62	Les 2 sites les plus riches
JbelKest	62	
Bou Timezguida	46	
Ait Er Rkha	43	
Sidi Ali Ou Toul	42	
Assads	41	
Tangarfa	36	
Tazgaft	34	
Collines au-dessus du barrage d'Aoulouz	35	Site proche de l'aire du dragonnier, mais plus pauvre
Anezi	33	
Bou Lbaroud	33	Alternative à Ikounka
Ikounka	24	Altéré par carrières, pauvre
Oulqadi	Non analysé	Risque minier majeur

(Source : DREFLCD-SO)

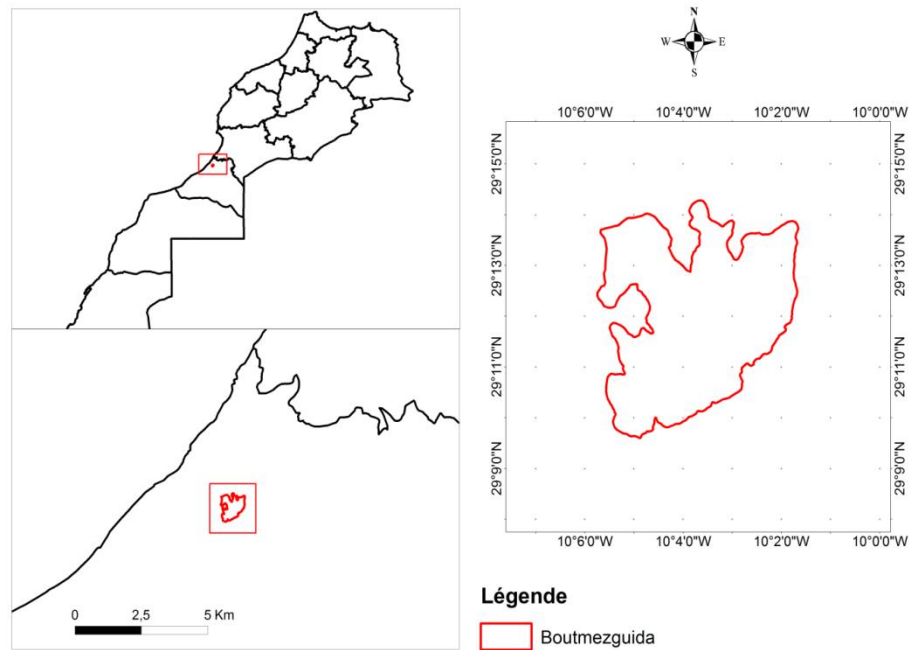


Figure 12: Situation géographique du premier site (BOUTMEZGUIDA)

Le SIBE de Boutmezguida est localisé dans le sud du Maroc, dans la province de Sidi Ifni. Il couvre une superficie totale est d'environ 3 456 ha (**figure 12**).

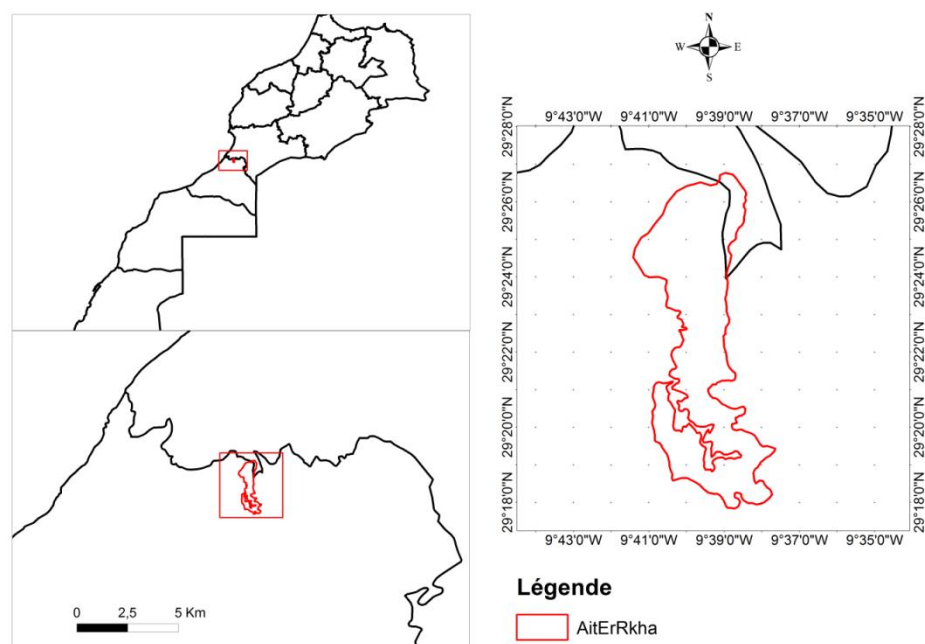


Figure 13: Situation géographique du deuxième site (AITERKHA)

Le SIBE d'Ait Erkha est localisé dans le sud du Maroc, dans la province de Sidi Ifni. Il couvre une superficie totale d'environ 3 975 ha (**figure 13**).

2. Situation administrative

Le SIBE de Boutimezguida est situé dans la région de Guelmim Oued Noun et dans la province de Sidi Ifni. Il dépend donc de la Direction Régionale des Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification du Sud-Ouest, basée à Agadir et de la Direction Provinciale des Eaux et Forêts et de la Lutte Contre la Désertification de Sidi Ifni. Son territoire se superpose à 2 communes territoriales ; à savoir les communes d'Imi N'Fast et Tnine Amellou, réparties sur 6 douars (**figure n°14**).

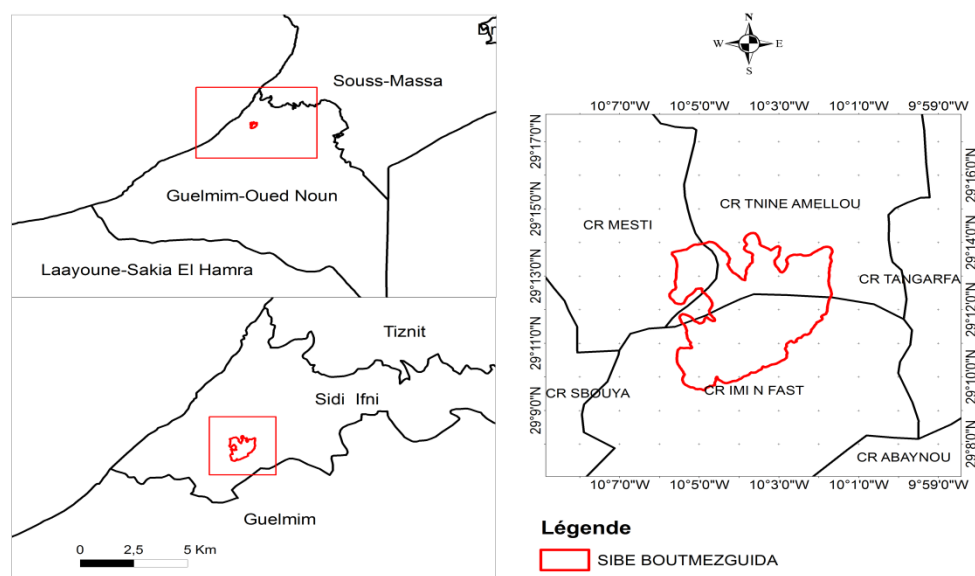


Figure 14: situation administrative du SIBE BOUTMEZGUIDA

Le SIBE de Ait Erkha est situé dans la région de Guelmim Oued Noun et dans la province de Sidi Ifni. Il dépend donc de la Direction Régionale des Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification du Sud-Ouest, basée à Agadir et de la Direction Provinciale des Eaux et Forêts et de la Lutte Contre la Désertification de Sidi Ifni. Son territoire se superpose sur 3 communes rurales (Ait Erkha, Sidi H'Saine Ouali et Sidi Abdallah Oubelaid (**figure n°15**), dans lesquelles on recense une quarantaine de douars.

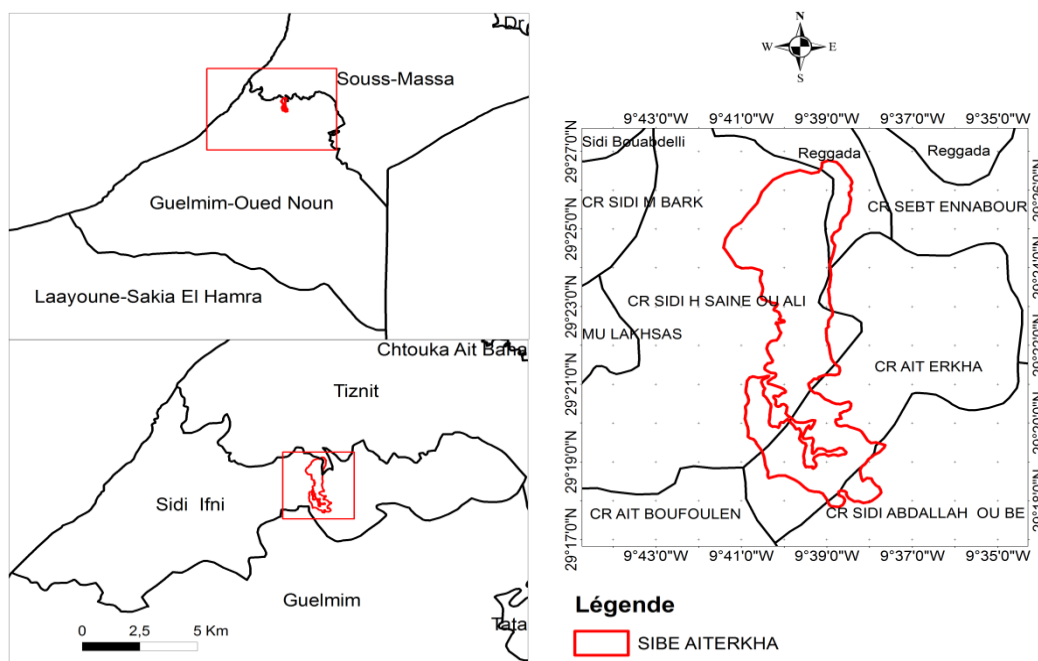


Figure 15: situation administrative du SIBE AITERKHA

3. Contexte forestier

Le SIBE de Boutimezguida représente la forêt de chêne vert la plus méridionale du Maroc, lui conférant un intérêt particulièrement marqué pour le Royaume. Cette forêt est située au niveau du Jbel Boutimezguida, d'où le SIBE tire son nom. Le sommet du Jbel Boutimezguida est le point culminant de toute la région de Sidi Ifni (1 730 m). Les écosystèmes forestiers sont relativement bien conservés dans tout le SIBE, cependant, ces écosystèmes sont aujourd'hui progressivement remplacés par des plantations des cactus.

La majeure partie du territoire du SIBE de Boutimezguida s'étend sur le secteur forestier de Sidi Ifni.

Le SIBE de Ait Erkha représente la tétraclinaie (aujourd'hui reconnu comme étant en constante régression à l'échelle nationale) la plus méridionale du Maroc, lui conférant un intérêt particulièrement marqué pour la conservation de cet écosystème forestier, à l'échelle nationale. Les écosystèmes forestiers sont dégradés dans la partie nord du site et dans sa partie sud-est. Dans ces secteurs, l'occupation du sol est essentiellement à dominante agricole.

La majeure partie du SIBE d'Ait Erkha s'étend sur le secteur forestier d'Ait Erkha (96% de son territoire). Seul un petit périmètre de la partie ouest du SIBE fait partie du secteur forestier de Lakhssas (4%).

4. Caractéristiques du milieu physique

a. Topographie, géologie et géomorphologie

Le SIBE de Boutimezguida est situé à environ 35 km de la ville de Sidi Ifni dans la partie occidentale de l'Anti-Atlas. Plus précisément, il est localisé sur le massif de Sidi Ifni.

Les montagnes de l'Anti-Atlas, se présentent sous forme d'un vaste relief qui s'allonge parallèlement à celui du Haut-Atlas. Elles sont principalement formées par une couverture carbonatée paléozoïque reposant sur des terrains précambriens anciens.

Le domaine occidental de l'Anti-Atlas est constitué d'un ensemble de boutonnières où affleurent des formations d'âge Protérozoïque inférieur (Paléoprotérozoïque ou Précambrien I) et supérieur (Néoprotérozoïque ou Précambrien II, II - III et III). Ces boutonnières sont enveloppées dans la plupart des cas par une épaisse série de calcaires et de dolomies, d'âge Protérozoïque terminal, connu sous le nom d'Adoudounien. Sa partie supérieure est rattachée au Cambrien. La série carbonatée de l'Adoudounien est considérée comme une formation infracambrienne.

C'est dans ce contexte géologique que s'inscrit notre site d'étude qui est localisé en limite sud de la boutonnière de Sidi Ifni. Cette boutonnière est située entre l'Atlantique et les boutonnières précambriennes de l'Akhssas et du Kerdous, le Massif, s'élève à une altitude de 1 730 m (**Figure n°16**) sur son point culminant (sommet de Jbel Boutimezguida).

Dans la boutonnière d'Ifni les dépôts du Précambrien moyen sont surmontés par série volcano-sédimentaire, d'épaisseur moyenne de 400 m, qui présente une très grande extension géographique. Cette série comprend essentiellement 3 niveaux :

- Un niveau de base conglomératique, gréseux et pélitique avec des intercalations de rhyolites qui repose sur le granite d'Alouzad (partie SE de la boutonnière),
- Un niveau médian constitué d'ignimbrites inférieures surmontées par des formations volcano-détritiques et par des trachyandésites,
- Un niveau sommital constitué de brèches ignimbritiques qui passe latéralement à des trachytes datés de 597 ± 13 Ma.

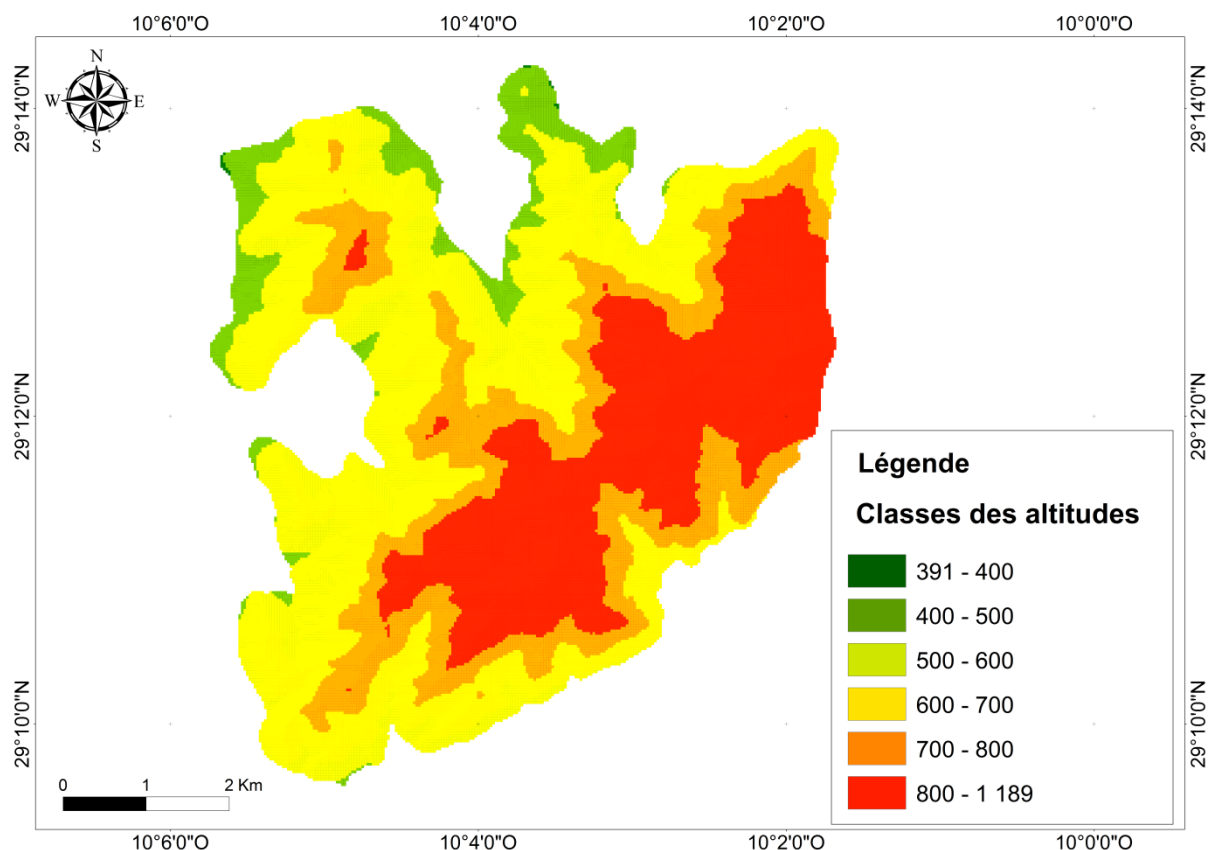


Figure 16: Carte des altitudes du SIBE Boutmezguida

Le SIBE de Ait Erkha est situé à environ 160 km d'Agadir dans la partie occidentale de l'Anti-Atlas. Plus précisément, il est localisé sur le plateau de Lakhssas en bordure sud-ouest du massif du Kerdous.

Le SIBE est localisé en limite du plateau de Lakhssas. Situé entre les boutonnières précambriennes d'Ifni et du Kerdous (voir ci-dessous), ce plateau, s'élève à une altitude moyenne de 800 à 1 000 m et domine ainsi les plaines avoisinantes (**figure n°17**). Il est formé d'une couverture adoudounienne et

cambrienne, essentiellement carbonatée, qui repose en concordance sur des séries volcaniques et volcano- détritiques.

La couverture sédimentaire est représentée par des séries détritiques carbonatées et schisteuses. On distingue du bas en haut, la série de base, les calcaires inférieurs et la série Lie-de-vin. Elles sont surmontées par la série des calcaires supérieurs et par la série schisto- calcaire rattachée au Cambrien. Ces derniers représentent la formation dominante en superficie sur le plateau de Lakhssas.

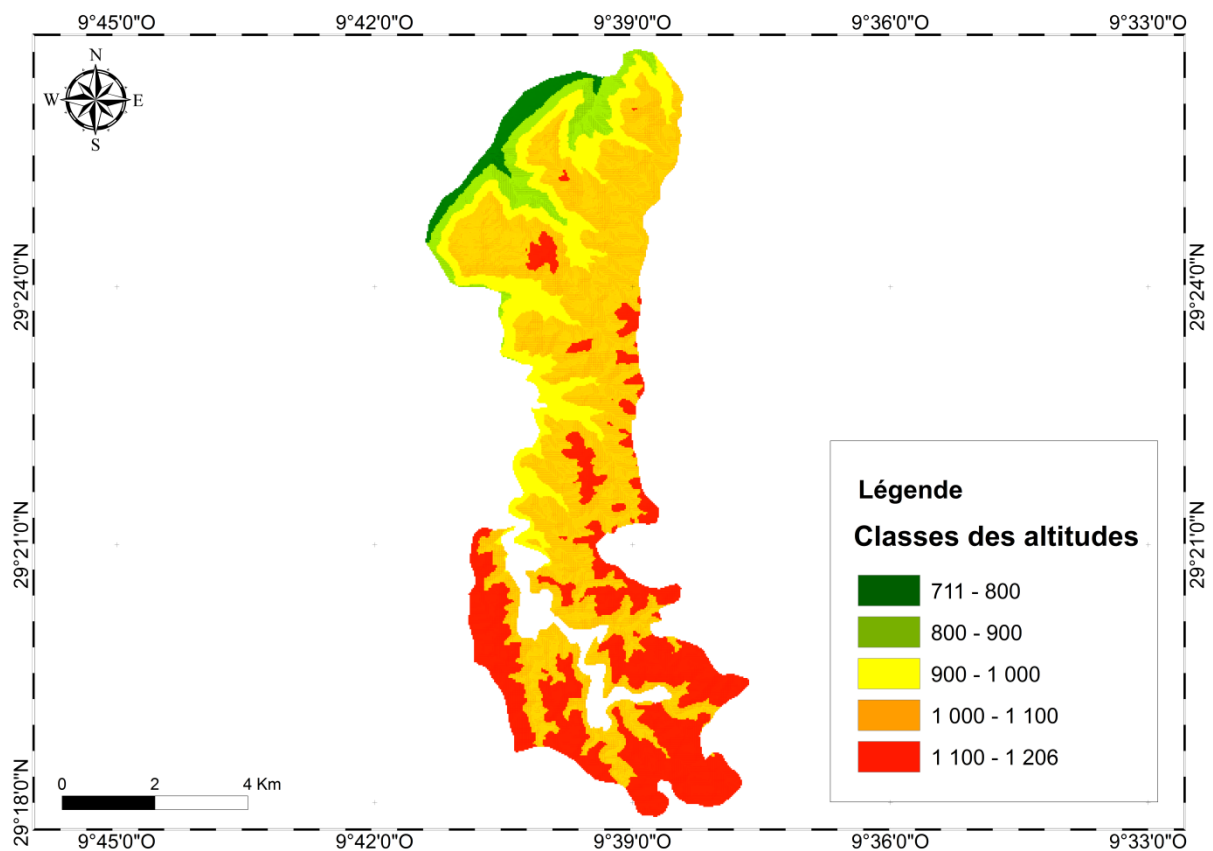


Figure 17: Carte des altitudes du site Ait Erkha

b. Climat

Le climat de la région du SIBE de Boutimezguida, comme celui de tout le Maroc, est de type méditerranéen. Le SIBE de Boutimezguida se trouve dans la zone bioclimatique semi-aride. C'est un climat extra tropical à photopériodisme saisonnier et quotidien qui se caractérise par une concentration hivernale des précipitations, l'été étant sec.

La présence de l'Océan Atlantique, de latitudes sahariennes, l'étagement des reliefs en bandes parallèles à la côte expliquent la complexité du climat de l'Anti-Atlas occidental. Ses caractéristiques sont encore difficiles à préciser. La densité des postes climatiques reste, encore insuffisante et les observations ne concernent le plus souvent que de courtes périodes, pas toujours comparables entre elles.

Les principaux traits climatiques se manifestent par la sécheresse de l'air, l'irrégularité et la faiblesse des précipitations, la forte évaporation. A l'ouest la proximité de l'océan favorise l'extension vers le sud, le long du littoral, de conditions pré désertiques. A l'est, au contraire, les conditions désertiques viennent presque au contact de l'Atlas.

Le SIBE d'Ait Erkha se trouve dans la zone bioclimatique semi-aride. C'est un climat extra tropical à photopériodisme saisonnier et quotidien qui se caractérise par une concentration hivernale des précipitations, l'été étant sec.

➤ **Précipitations**

La moyenne des précipitations enregistrées entre 2014 et 2016 sur la région du SIBE de Boutimezguida est de 220 mm (**figure n°19**). Cette moyenne décroît de la côte vers les terres, ainsi qu'en fonction de l'exposition des versants de l'Anti-Atlas. Entre le plus sec et le plus humide des mois, l'amplitude des précipitations est de 37 mm (**figure n°18**).

La saison pluvieuse couvre en moyenne la période allant d'octobre à mai. Les pluies tombent régulièrement en automne et en hiver.

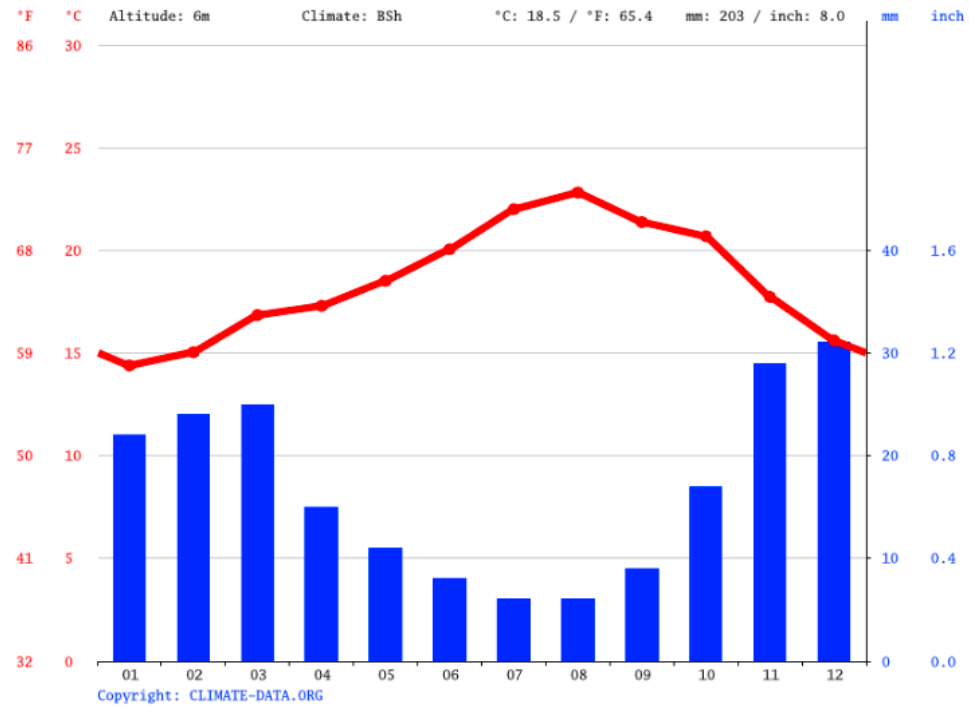


Figure 18: Diagramme ombrothermique de Sidi Ifni (source : climate-data, 2019)

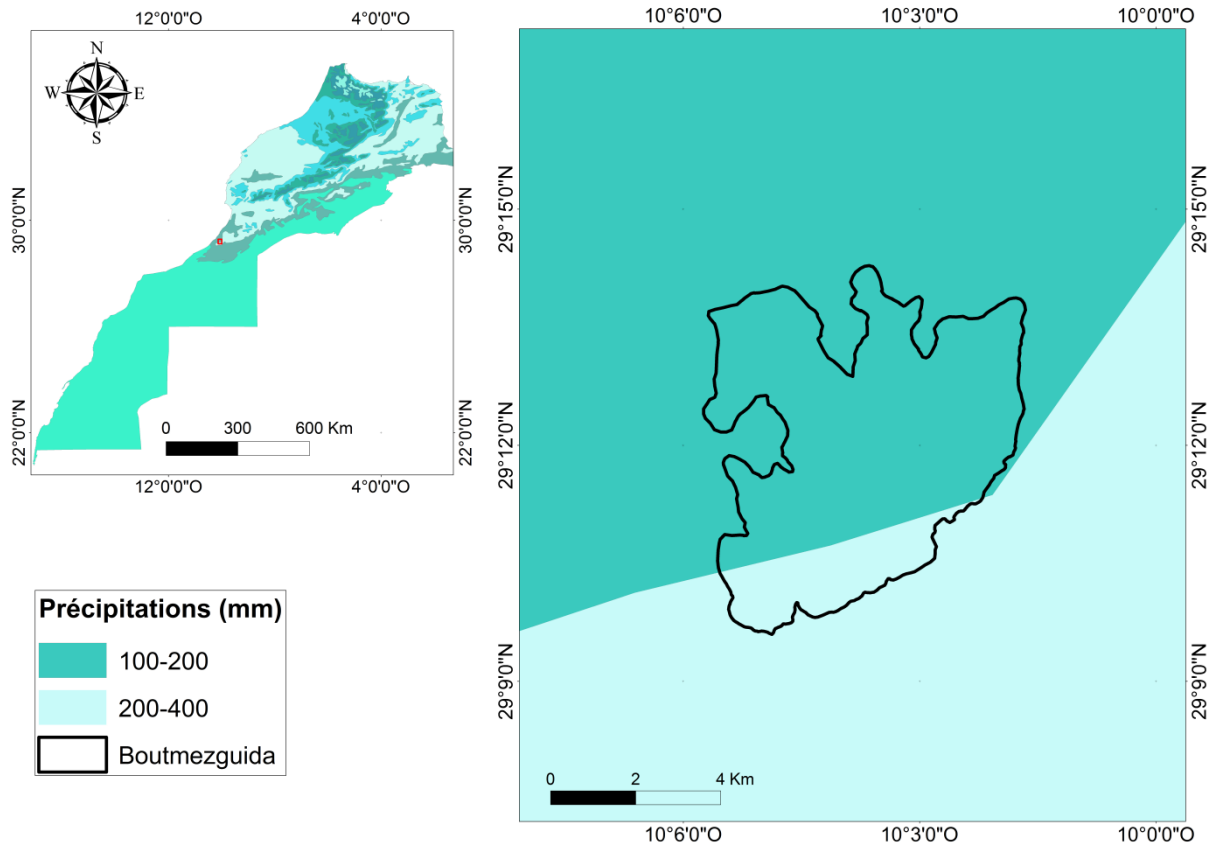


Figure 19: Carte des précipitations du SIBE Boutmezguida

La moyenne des précipitations annuelles enregistrées, au niveau de la station météorologique de Lakhssas, entre 2014 et 2016 sur la région d'Ait Erkha est de 220 mm (**Figure n°21**). Cette moyenne décroît de la côte vers les terres, ainsi qu'en fonction de l'exposition des versants de l'Anti-Atlas. Entre le plus sec et le plus humide des mois, l'amplitude des précipitations est de 37 mm (**Figure n°20**).

La saison pluvieuse couvre en moyenne la période allant d'octobre à mai. Les pluies tombent régulièrement en automne et en hiver.

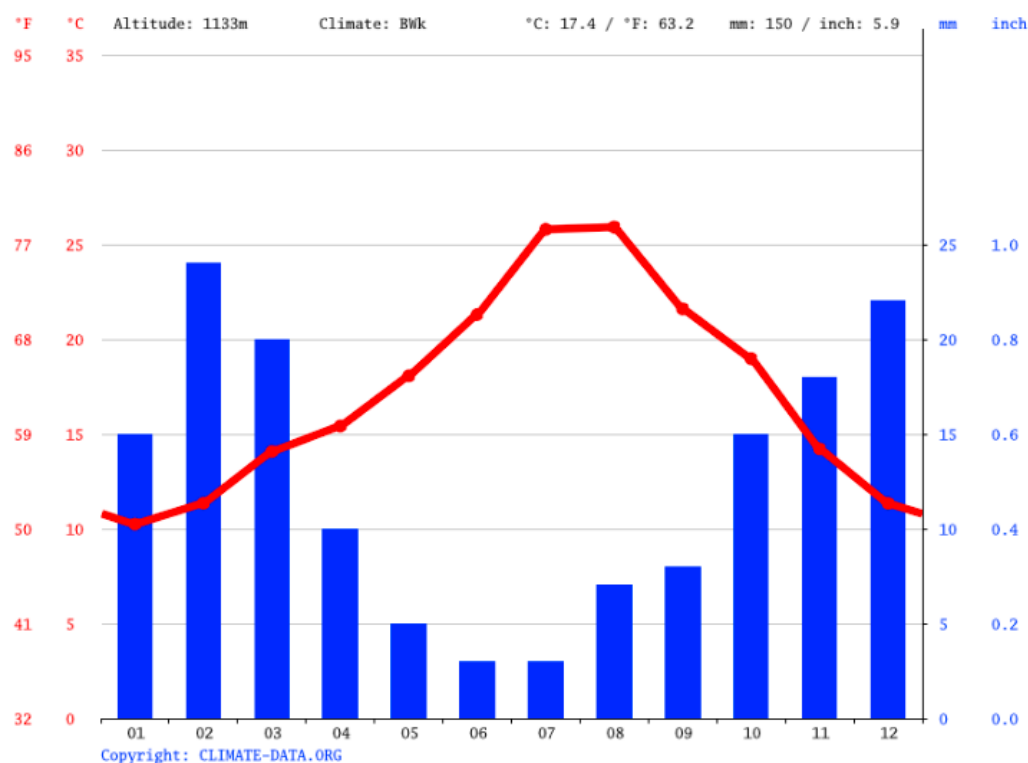


Figure 20: Diagramme ombrothermique d'AITERKHA (source : climate-data, 2019)

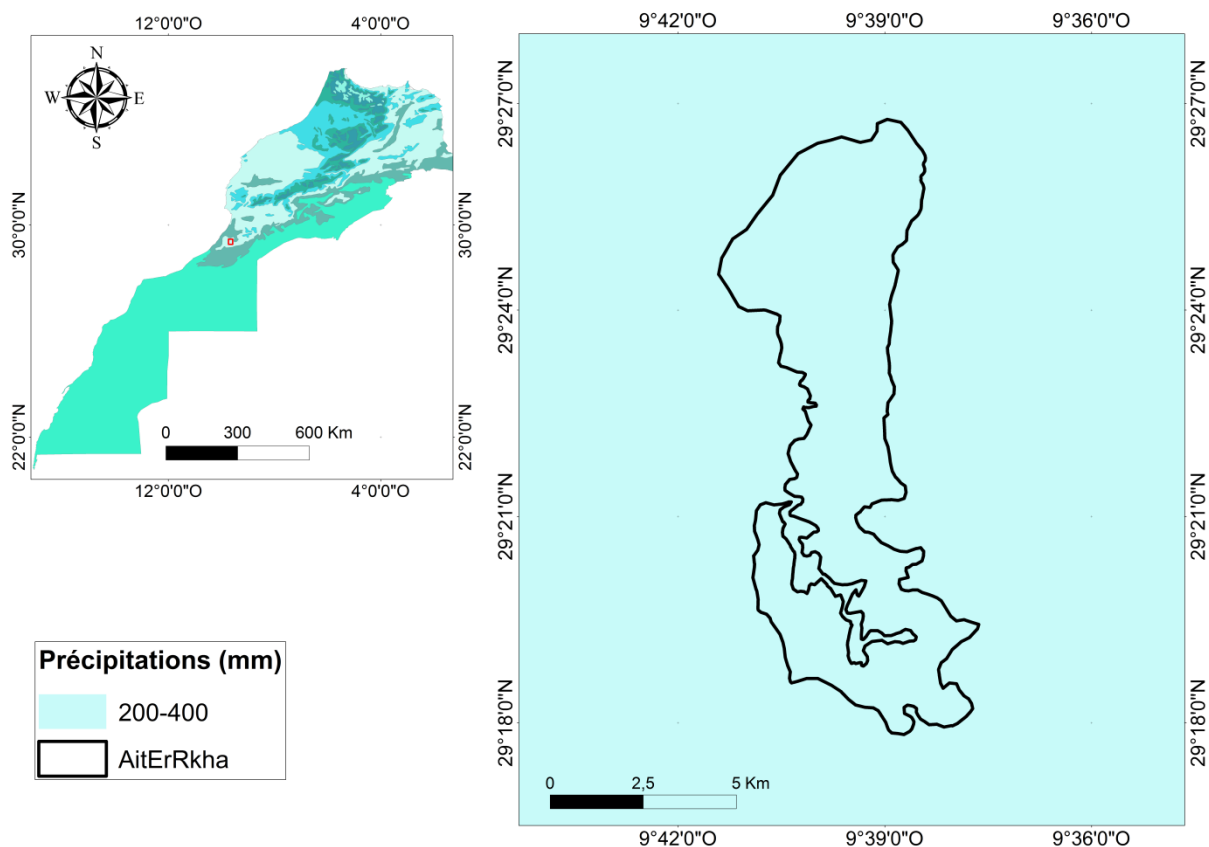


Figure 21: Carte des précipitations du SIBE Ait Erkha

➤ **Température**

Le diagramme climatique de Sidi Ifni, ci-dessus, décrit l'évolution des températures durant l'année. Il s'avère que le mois d'août est le mois le plus chaud de l'année avec une température de 24°C. Janvier est le mois le plus froid de l'année. La température moyenne est de 8.8°C à cette période.

Les températures sont modérées dans les zones exposées vers l'océan et plus contrastées sur les autres. Il s'avère qu'il existe aussi une variabilité des températures en fonction de l'altitude. Les sommets et les dos des plateaux sont plus frais que les fonds de vallée. Ce paramètre présente une variabilité interannuelle, mais il est peu variable d'une année à l'autre.

La moyenne annuelle est de 15°C.

➤ Vent

La région est relativement ventée. Des vents d'est chauds, communément appelés "Chergui", peuvent souffler en été comme en automne.

c. Contexte hydrologique

Le deux SIBE sont situés dans la zone d'action de l'Agence de Bassin Hydraulique de Souss-Massa (**figure n°22**). Ce dernier est réparti entre quarts bassins versants, drainés par quatre principaux cours d'eau, à savoir :

- Les bassins côtiers des oueds Tamraght et Tamri (2.600 km²) ;
- Le bassin de l'oued Souss (16.200 km²) ;
- Les bassins de Massa et de Chtouka (6.280 km²) ;
- Le bassin de Tiznit- Sidi Ifni (820 Km²).

Les SIBE de Boutimezguida et AITERKHA fait partie du sous bassin de Tiznit Sidi Ifni (**figure n°23 et 24**), situé entre l'Océan Atlantique la plaine de Massa, et les montagnes de l'Anti-Atlas, ce bassin a une superficie répartie entre 35% de zones de plaine et 65 % de zones de montagne. (ABHSM, 2005).

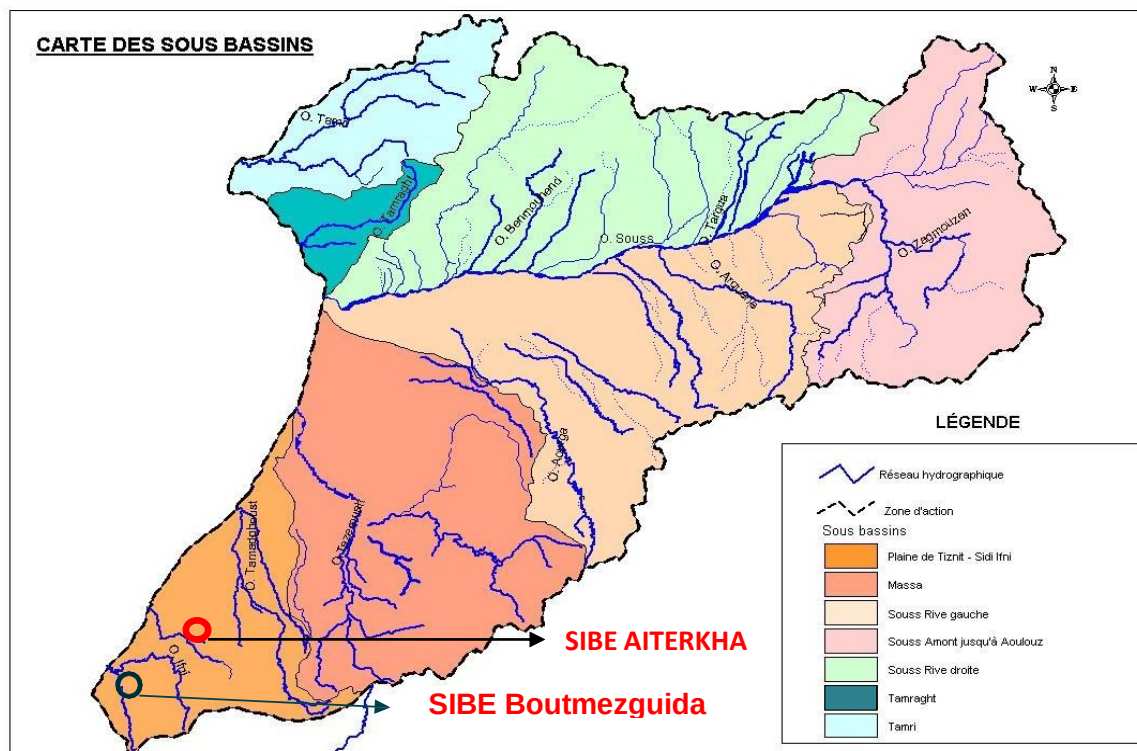


Figure 22: Carte des sous bassins hydraulique (ABHSM, 2005)

La plaine de Tiznit-Sidi Ifni totalise une superficie de 2 226 km². Les principaux oueds dans la plaine de Tiznit sont les oueds Adoudou et Tamdrhoust ainsi que l'oued Assaka (**tableau n°4**) et les affluents rive gauche de l'oued Massa sur les bordures qui ne sont pas pérennes.

Au niveau de la plaine de Sidi Ifni, les oueds Ifni et Kraymat se déversent dans l'océan au niveau de Sidi Ifni. Le tableau ci-dessous, résume les caractéristiques morphologiques des oueds de la plaine de Tiznit-Sidi Ifni.

Tableau 4: Description des oueds du sous-bassin de Tiznit-Sidi Ifni

Oued	Longueur (km)	Altitude Amont(m)	Altitude Aval(m)	Pente moyenne (%)
Tamdrhoust	47,7	1112	99	0,29
Adoudou	76,4	1272	90	0,11
Ifni	23,61	400	6	0,27
Kraymat	44,69	647	46	0,16
Ougendou	30,82	800	37	0,52

(Source : (ABHSM, 2005))

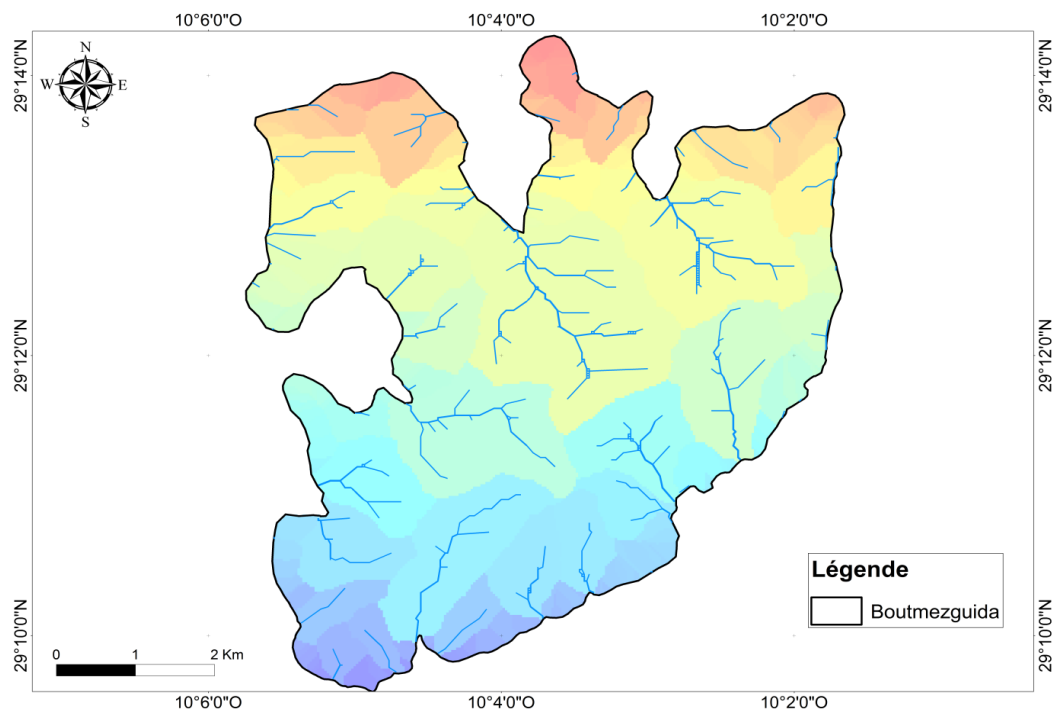


Figure 23: Carte hydrologique du SIBE Boutmezguida

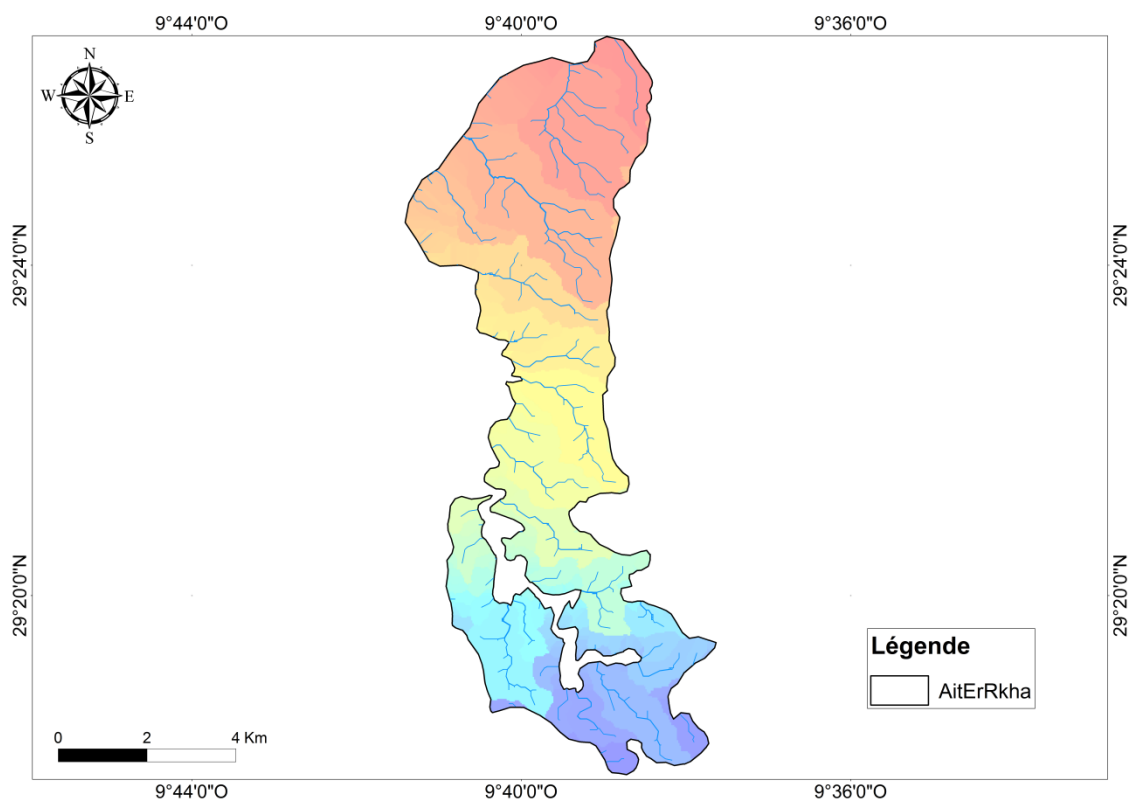


Figure 24: Carte hydrologique du SIBE Ait Erkha

5. Principaux habitats naturels

Les habitats du SIBE de Boutimezguida sont dominés par les groupements à Arganier et Euphorbes succulentes qui couvrent près de 73 % de la surface. Ces derniers sont assez dégradés et notamment par la présence de Figuiers de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*). Les formes plus en altitude, enrichies en Genêt d'Ifni (*Genista tamarruti*), occupent 13 % de l'aire d'étude. Puis les matorrals, dominés par le Genêt d'Ifni, la Lavande dentée (*Lavandula dentata*) ou le ciste de Crète (*Cistus creticus*) occupent 7 % du SIBE.

Les arganeraies, avec ou sans Genêt d'Ifni étant largement dominant et la surface du site étant élevée (plus de 3 400 ha).

Nous nous trouvons ici au cœur de la zone biogéographique infra-méditerranéenne qui se caractérise par la présence de l'Arganier. Ce climat et la végétation qui lui est associée constituent une entité tout à fait originale qui les rapproche de ceux que l'on rencontre en Macaronésie (ensemble d'archipels qui

comprend les Iles Canaries, Madère et l'archipel des Açores). Les habitats élémentaires sont au nombre de huit (8). Ils sont listés dans le tableau suivant.

Tableau 5: Habitats naturels identifiés au sein du SIBE de Boutimezguida

Habitat naturel ou semi-naturel observé	Syntaxons	Flore caractéristique et patrimoniale observée	État de conservation
Oued	-	<i>Pulicaria glandulosa</i> , <i>Bupleurum canescens</i>	Modéré
Groupe ment thermoméditerranéen à Chêne vert et Arbousier	<i>Oleo-Ceratonion</i>	<i>Quercus ilex</i> , <i>Arbutus unedo</i> , <i>Genista segonnei</i>	Modéré
Groupe ment thermoméditerranéen à oléastre et Lentisque	<i>Oleo-Ceratonion</i>	<i>Coronilla ramosissima</i> , <i>Olea europea</i> , <i>Pistacia lentiscus</i>	Modéré
Groupe ment thermoméditerranéen à Genêt d'Ifni	<i>Oleo-Ceratonion</i>	<i>Genista tamarrutii</i> , <i>Chamaecytisus mollis</i>	Modéré
Groupe ment inframéditerranéen à Arganier et Euphorbes succulentes	<i>Euphorbio echini-Arganietum spinosae</i>	<i>Argania spinosa</i> , <i>Euphorbia officinarum</i> subsp. <i>echinus</i> , <i>Euphorbia regis-jubae</i> , <i>Kleinia anteu phorbium</i>	Généralement mauvais
Groupe ment inframéditerranéen à Arganier, Euphorbe succulentes et Genêt d'Ifni	<i>Euphorbio echini-Arganietum spinosae</i>	<i>Argania spinosa</i> , <i>Euphorbia officinarum</i> subsp. <i>echinus</i> , <i>Euphorbia regis-jubae</i> , <i>Kleinia anteu phorbium</i> , <i>Genista tamarrutii</i> , <i>Chamaecytisus mollis</i>	Modéré
Cultures	-		-
Zones anthropisées	-		-

(Source : DREFLCD-SO)

Les habitats du SIBE d'Aït Erkha sont dominés par les arganeraies et les cultures qui représentent plus de 60 % de l'aire d'étude à eux deux. Puis viennent les formations à Thuya de Berbérie (*Tetraclinis articulata*) et les steppes à Armoise (*Artemisia herba-alba*).

Les habitats élémentaires sont au nombre de sept (**tableau n°6**).

Tableau 6: Habitats naturels identifiés au sein du SIBE d'AITERKHA

Habitat naturel ou semi-naturel observé	Surface occupée par l'habitat	Syntaxons	Flore caractéristique et patrimoniale observée	État de conservation
Oued	39.75 ha	-	<i>Ziziphus lotus</i> , <i>Scrophularia canina</i>	Modéré
Steppe arbrisselée à Armoise blanche	675,75 ha	-	<i>Artemisia herba-alba</i> , <i>Launaea arborescens</i>	Mauvais
Forêts de Thuya d'Afrique du Nord	715,5 ha	<i>Euphorbia echini-Tetraclinetum articulatae</i>	<i>Tetraclinis articulata</i>	Très variable
Groupe inframéditerranéen à Arganier et Euphorbe oursin	1152,75 ha	<i>Euphorbia echini-Arganietum spinosae</i>	<i>Argania spinosa</i> , <i>Euphorbia officinarum</i> subsp. <i>echinus</i> , <i>Kleinia anteuphorbium</i>	Variable
Falaises	39.75 ha	-	<i>Capparis spinosa</i>	Bon
Cultures	1272 ha	-		-
Zones anthropisées	79.5 ha	-		-

(Source : DREFLCD-SO)

II. Approche méthodologique

1. Stratégie d'échantillonnage

a. Méthode d'échantillonnage

Etant donné que les facteurs de l'environnement sont hétérogènes au niveau de la zone d'étude, une stratification de cet univers s'impose en se basant sur le zonage de la RBA. L'intérêt de cette démarche consiste à partager l'ensemble de la zone en unités homogènes dites strates de telle sorte qu'à l'intérieur de chaque strate, on peut appliquer une méthode de l'échantillonnage appropriée (aléatoire). Il s'en suit que les unités de sondage (placettes) concernent d'une manière équitable, tous les milieux de cette zone. Les différentes étapes adoptées pour effectuer cet échantillonnage sont les suivantes :

- Les deux zones (AITERKHA et BOUTMEZGUIDA) sont subdivisées en strates ou unités homogènes selon type de zone (centrales, tampon et transition) ;
- Arrêter la taille globale « n » de l'échantillon ;
- Répartir la taille globale au niveau des strates ; par mesure de simplicité, nous avons adopté une répartition équitable pour toutes les strates (Godron, 1976);
- Déterminer la taille de la placette

b. Détermination des strates

Dans le rapport de l'évaluation décennale de la RBA 2008-2017, le département des eaux et forêts a établi un nouveau zonage qui nous a permis d'identifier les zones homogènes pour les 2 zones étudiées à savoir AITERKHA et BOUTMEZGUIDA.

De ce fait, nous avons identifiés 3 strates (les unités homogènes) pour chaque zone à savoir strate centrale, tampon et de transition (**figure 25 et 26**).

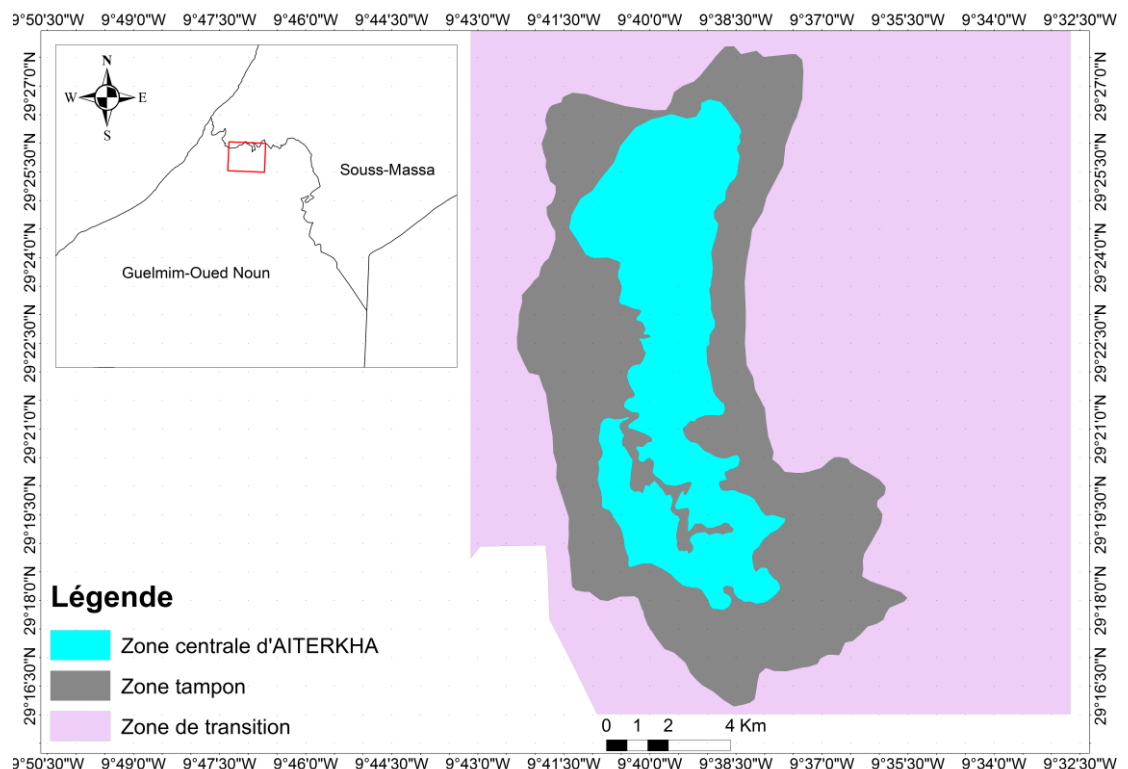


Figure 25: Zonage du site d'AITERKHA

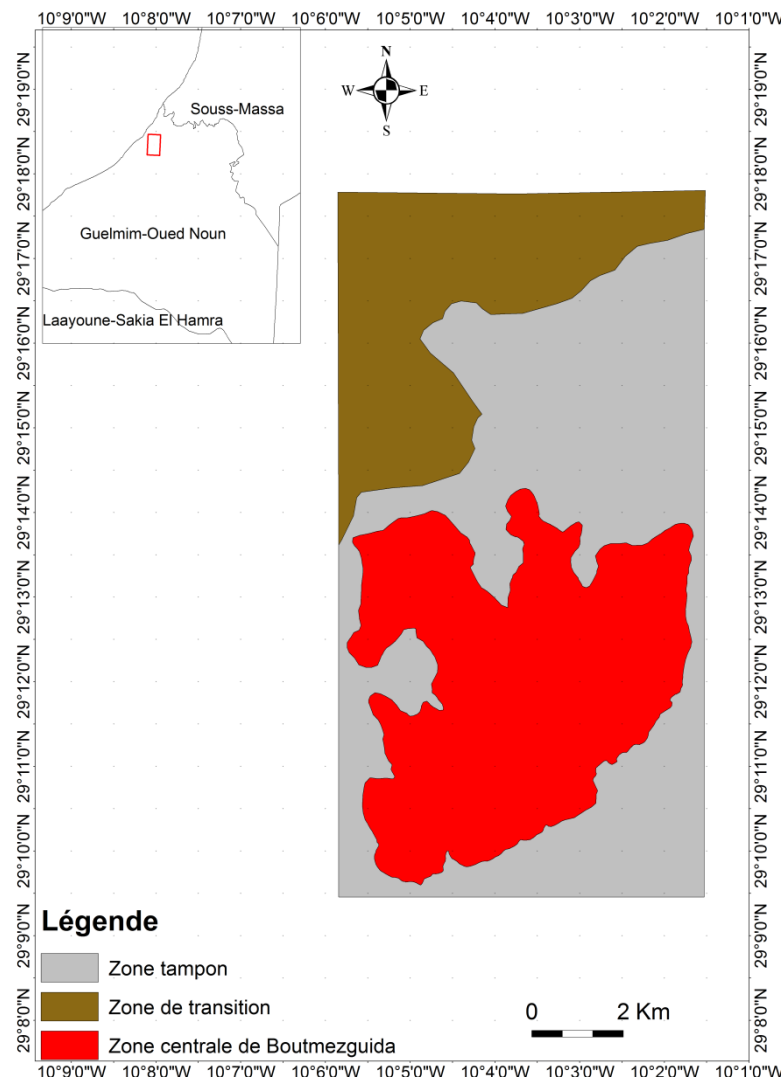


Figure 26: zonage du site BOUTMEZGUIDA

c. Taille de l'échantillon

Pour ce qui est de la taille de l'échantillon, des expériences montrent qu'en écologie végétale, le nombre de relevés arrêté d'une manière subjective donne aussi de bons résultats (**Daget et Godron, 1982 in Belghazi 1990**). A ce propos, ces derniers auteurs montrent qu'il faut prendre en considération 3 à 10 relevés par strate sans tenir compte de la taille ni du poids de la strate. Quant à **Rameau (1986)**, il propose un minimum de 10 relevés par strate. Compte tenu de l'immensité de la zone d'étude (1 M ha) et les moyens disponibles pour la réalisation de ce travail, nous avons retenu un échantillon de 60 placettes, dont la répartition sur le terrain est explicitée dans la suite du texte.

d. Répartition des placettes sur le terrain

Selon (Godron, 1971 ; 1976) nous avons adopté une répartition équitable entre toutes les unités homogènes quel que soit la superficie (**tableau n°7**). Nous avons déterminé 10 placettes pour chaque strate (**figure 27 et 28**).

Tableau 7: Nombre de placettes au niveau des strates étudiées

Site	Strates	Nombre de placettes
AITERKHA	Zone centrale	10
	Zone tampon	10
	Zone de transition	10
BOUTMEZGUIDA	Zone centrale	10
	Zone tampon	10
	Zone de transition	10

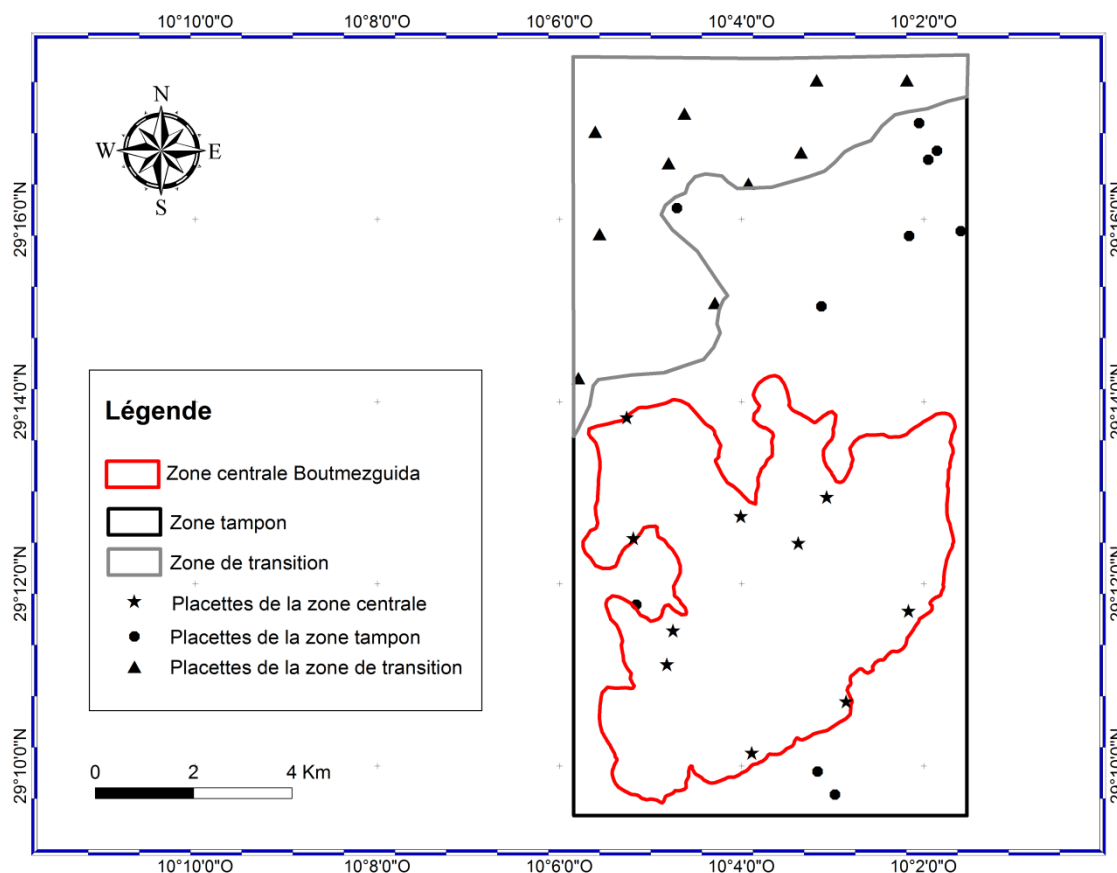


Figure 27: Carte des placettes réalisées au niveau de BOUTMEZGUIDA

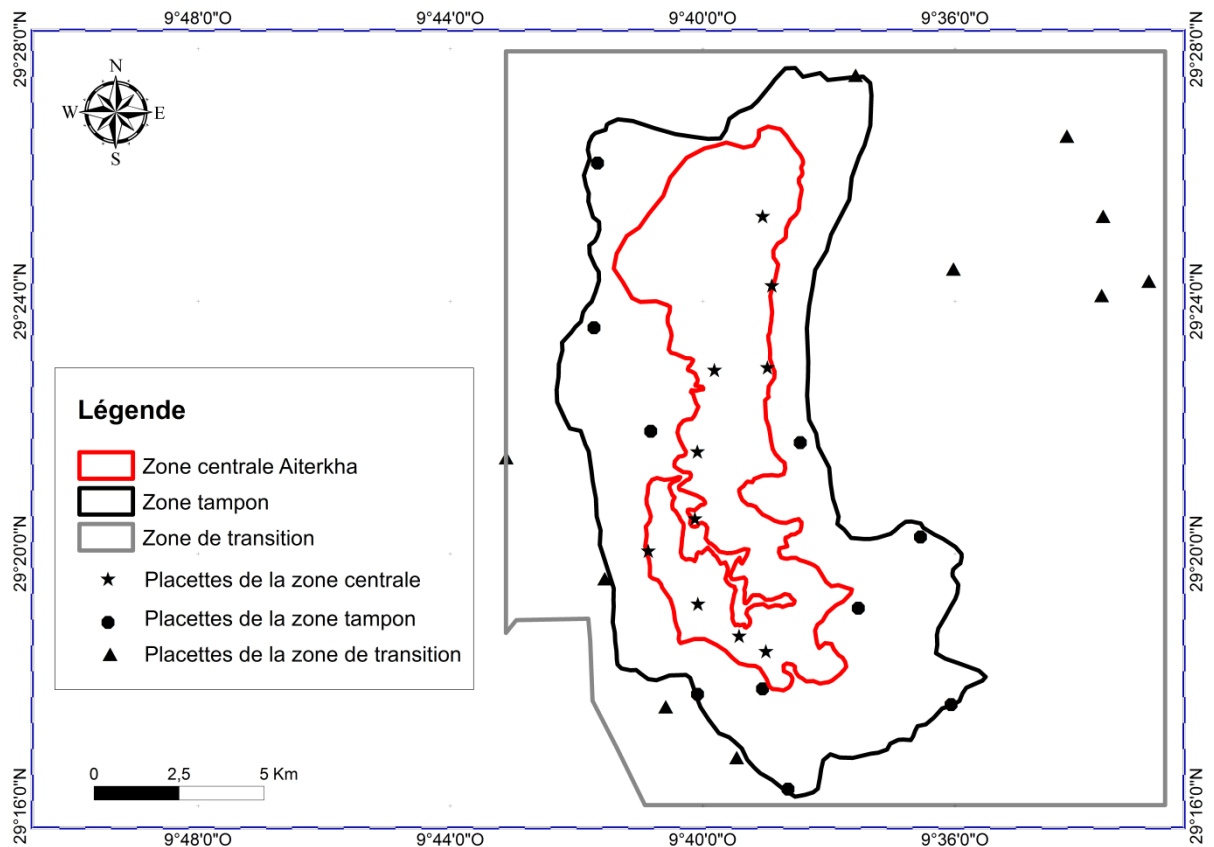


Figure 28: Carte des placettes réalisées au niveau d'AITERKHA

e. Taille et forme de la placette

La placette peut épouser plusieurs formes: circulaire, carrée, rectangulaire... Mais, en se basant sur des considérations qui visent la facilité d'installation de la placette sur le terrain, surtout lorsqu'il s'agit d'un terrain accidenté tel que celui de la zone d'AITERKHA et d'BOUTMEZGUIDA, nous avons retenu la forme circulaire de 12 m de rayon, soit une superficie de cinq ares.

2. Méthodes d'estimation des stocks du C

L'estimation des stocks du C est basée sur les équations d'estimation de la biomasse (**figure n°29**). L'utilité de l'allométrie réside dans son approche « non destructive ». En effet, les équations allométriques nous permettent de produire des informations quantitatives sans pour autant détruire l'individu. La forme

mathématique des équations allométriques se présente principalement sous la forme d'une fonction puissance :

$$Y = a.X^b$$

Où :

Y : la caractéristique à mesurer en fonction de X (Biomasse ou Volume)

X : la caractéristique mesurée (Circonférence, diamètre, hauteur de l'arbre, etc.)

a : constante de proportionnalité

b : constante allométrique

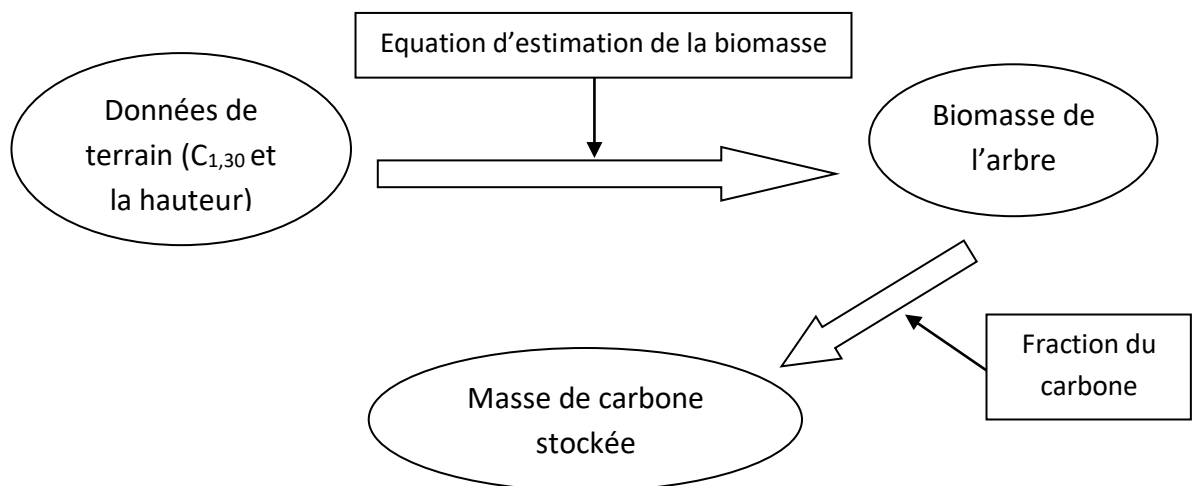


Figure 29: Démarche envisagée pour évaluer la quantité du carbone stockée par l'arganier

2.1. Réservoir 1 : la Biomasse Aérienne

2.1.1. Stock du carbone dans la strate arborée

2.1.1.1. Échantillonnage des arbres

à l'intérieur de chaque placette, Les circonférences de toutes les tiges ont été mesurées à 1,30 m (**Hairiah et al., 2001 ; Mahamane, 2006**) à l'aide d'un ruban, aussi la hauteur totale par un Vertex (**figure n°30**) et la projection de

houppier. Ces mesures nous a permis de calculer le volume sur pieds de tous les arbres.



Figure 30: Mesure de la hauteur des arbres par le Vertex

2.1.1.2. Estimation du volume

Vu l'impossibilité d'abattage des arbres de l'arganier dans la forêt (opération non autorisée par le service local), nous avons utilisé les tarifs du cubage construits récemment par le service des aménagements de la DREF du Sud-Ouest pour la forêt de Dir (province Chtouka Ait Baha) et nous avons retenu une équation pour les 2 zones.

$$V = 39,239 - 1,874C + 0,037C^2$$

Avec :

V bois: volume du bois du tronc (dm³),

C_{1,30} : circonférence à 1,30 m (cm),

2.1.1.3. Estimation de la biomasse ligneuse

Les volumes sont convertis en masse sèche en utilisant des tables de densité basale (Db). L'expression de la masse sèche est la suivante :

$$M = Db * V \text{ (Hairiah et al., 2001 ; Pearson et Brown, 2005)}$$

Avec : M : masse sèche de l'arbre (kg)

Db : densité basale du bois (kg/m³)

V : volume de l'arbre obtenu par mesure sur le terrain (m³).

La densité basale (ou l'infradensité) est un paramètre très important d'autant plus qu'il permet le calcul de la masse sèche contenue dans un volume de bois (Hairiah et al., 2001 ; Pearson et Brown, 2005). L'expression de l'infradensité est la suivante :

$$Db = \frac{1}{\frac{ms}{mo} - 0,347}$$

Avec :

Db : infradensité ou densité basale (g cm³),

m_s : masse de l'échantillon à l'état saturé,

m_o : masse de l'échantillon après passage au four à 105 °C.

2.1.1.4. Estimation de la biomasse foliaire

On fait référence aux travaux de Marouch (2013) et Aammou (2013) se sont intéressés à l'étude de la biomasse foliaire des peuplements d'arganier dans la région d'Essaouira. La biomasse foliaire sèche est calculée comme suit :

$$PSF = 0,53 D_m^{1,361}$$

Avec :

PSF : Poids sec foliaire en Kg;

D_m : le diamètre moyen de la projection du houppier au sol en m ;

2.1.1.5. Estimation du stock du carbone

La conversion de la biomasse en carbone nécessite un facteur de conversion. Il s'agit de la fraction du carbone dans la biomasse qui est en général égale à 0,5 (MacDicken, 1997 ; Woomer, 2001 in Woomer et al., 2001 ; Pearson et Brown, 2005). Cependant, cette fraction varie selon l'espèce. Selon Belghazi.T et al., (2017), le pourcentage en poids du carbone contenu dans la matière sèche pour l'arganier est de 48,5 %.

$$\text{StC}_{\text{BA}} = \text{M} \times 48,5\%$$

Avec :

StCBA : stock du carbone en kg dans la biomasse aérienne d'un arbre individuel,

M : biomasse sèche en kg.

2.2. Réservoir 2 : Nécromasse

2.2.1. Échantillonnage du bois mort et litière

Dans la placette circulaire, un quadrat de 1m x 1m a été placé près de l'arganier pour collecter le bois mort. A l'intérieur du quadrat, un semi-quadrat de 0.5 m x 0.5 m pour collecter la litière de l'arganier (**figure n°31**). Le bois mort et la litière collectée sont renvoyés au laboratoire pour déterminer leurs masses sèches.



Figure 31: les quadrats des échantillons de la litière et du bois mort

2.2.2. Estimation de la biomasse

Les échantillons de litière et du bois mort ont été séchés au four à 100°C jusqu'à la stabilisation du poids sec.

2.2.3. Estimation du stock du carbone

Le stock du carbone dans le bois mort est calculé comme suit :

$$\text{StC}_{\text{BM}} = \text{MS}_{\text{BM}} \times 48,5\%$$

Avec :

StC_{BM} : stock du carbone dans le bois mort ;

MS_{BM} : masse sèche du bois mort en Kg

Pour le stock du carbone dans la litière il est calculé comme suit :

$$\text{StC}_{\text{L}} = \text{MSL} \times 48,5\%$$

Avec :

StC_{L} : stock du carbone dans la litière (Kg) ;

MSL : masse sèche de la litière (Kg).

2.2.4. Strate herbacé et arbustive

Le Maroc a subi depuis le début des années 1980 de longues sécheresses (**figure n°32**) qui ont mis en évidence la fragilité de ses ressources en eau. Ces sécheresses ont eu des conséquences néfastes sur la satisfaction des besoins en eau de tous les secteurs socio-économiques, en particulier agricoles, et sur la préservation des écosystèmes terrestres et aquatiques. Le graphe au dessous montre la tendance des précipitations enregistrées dans la région d'Agadir depuis 1984. Cette région a connu une sécheresse forte cette année ce qui explique l'absence de la strate herbacé et pour la strate arbustive elle est représentée par

les espèces d'euphorbes. D'après les recherches bibliographiques on n'a pas trouvé une méthodologie d'estimation de la biomasse spécifique à ces espèces.

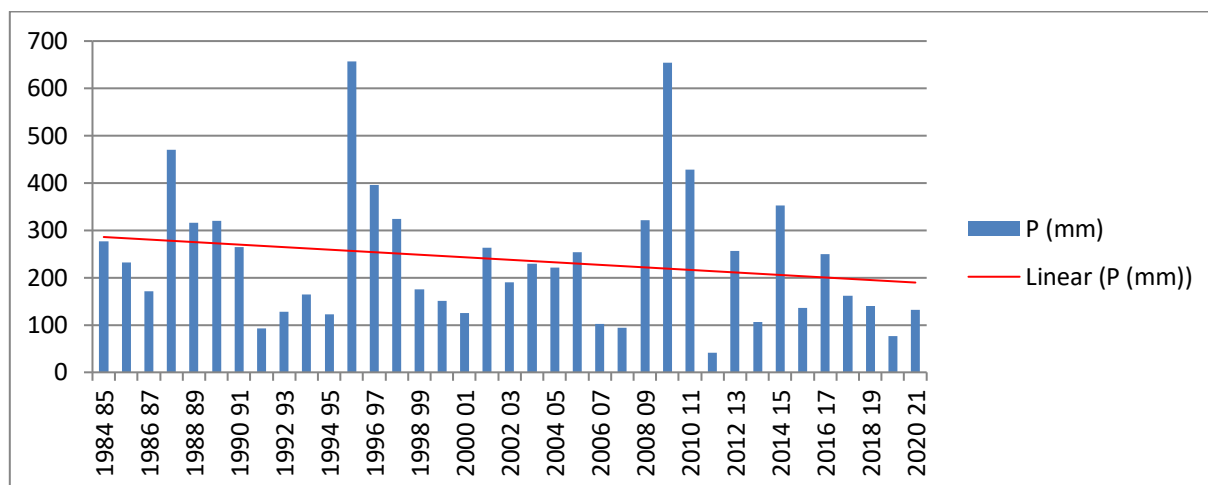


Figure 32: Tendence des précipitations entre 1984 et 2021 dans la région d'Agadir Inezgane (Source : DPEFLCA)

2.3. Réservoir 3 : sol

2.3.1. Échantillonnage du sol

Trois répétitions par strate ont été retenues et réparties aléatoirement, Dans chaque répétition, nous avons prélevé deux types d'échantillons du sol, à savoir :

- Un échantillon pour la détermination de la densité apparente du sol (**figure n°33**). Pour l'obtenir, nous avons utilisé un cylindre de volume connu (200 cm³).
- Un échantillon pour la détermination de la quantité du carbone organique stockée dans le sol. Nous avons procédé par un sondage à la tarière pédologique, Comme le sol est rocheux on s'est limité à 0-30 cm de profondeur.

Les échantillons du sol récoltés, comme tous les autres échantillons, ont été conservés immédiatement dans des sachets en plastique bien fermés.



Figure 33: Prélèvement des échantillons de la densité apparente du sol

2.3.2. Analyse du sol

2.3.2.1. Densité apparente

La densité apparente d'un sol est définie comme étant le rapport entre la masse du sol sec (généralement séché à l'étuve à 105 °C) et son volume frais. Les échantillons destinés à la mesure de la densité apparente sont séchés à l'étuve à 105°C pendant 24h (**figure n°34**), et pesés à sec (M_s) (**Hairiah et al., 2001**). La densité apparente de l'échantillon a été obtenue en divisant sa masse sèche (m_0) par son volume (v) à l'état frais.

$$Da = \frac{M_{solsec}}{V_{Tdu sol}}$$

Avec :

Da : Densité apparente ($g\ cm^3$)

Ms du sol sec : masse du sol sec (g)

V_T du sol : Volume total du sol ($g\ cm^3$)

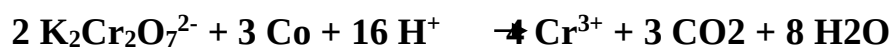


Figure 34: séchage des échantillons de la densité apparente

2.3.2.2. Carbone organique du sol

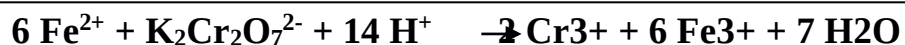
La quantification du C organique dans les échantillons du sol est réalisée par la méthode de **Walkley-Black (1934)** d'oxydation humide à l'acide chromique. Le carbone organique oxydable du sol est oxydé par une solution de dichromate de potassium dans de l'acide sulfurique concentré. La chaleur de la réaction augmente la température, ce qui est suffisant pour induire une oxydation substantielle.

La réaction chimique est la suivante :



Le $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ réduit pendant la réaction avec le sol est proportionnel au C organique oxydable présent dans l'échantillon. Le carbone organique peut alors être estimé en mesurant le dichromate non réduit restant par rétro-titrage avec du

sulfate ferreux en utilisant le complexe o-phénanthroline-ferreux comme indicateur.



a. Réactifs

- Bichromate de potassium $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, 1N
- Sulfate de fer ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 0.5N
- Acide sulfurique concentré 96% (H_2SO_4) (densité =1,83)
- Complexe O-phénanthroline –ferreux 0.025M

b. Mode opératoire

Après séchage à l'air libre pendant 28 heures et tamisage à 2 mm. Les échantillons du sol ont été traités selon les étapes suivantes pour pouvoir déduire la quantité du carbone organique séquestré dans le sol :

- Peser 1g du sol tamisé à 2 mm ou 0,5g si le sol est riche en matière organique.
- Introduire la prise du sol dans un erlenmeyer de 250 ml.
- Ajouter 10 ml de bichromate de potassium 1N et Agiter à la main jusqu'à la diffusion du sol.
- Ajouter 20 ml d'acide sulfurique concentré en agitant jusqu'au mélange des produits chimiques pendant une 1min.
- Laisser reposer pour 30 min sous la haute.
- Ajouter 200 ml d'eau distillée et bien homogénéisé, laisser repos 2 heures minimum.
- Prélever ensuite 50ml de la solution, dans un bécher de 250 ml.
- Ajouter 3 à 4 gouttes de l'indicateur O-phénanthroline ferreux, la couleur de la solution prend une teinte verdâtre à vert foncé.
- Titrer l'excès de bichromate avec le sulfate de fer (FeSO_4) goutte à goutte jusqu'à l'apparition d'une couleur rouge marron (**figure n°35**).

- Noter le volume de sulfate de fer utilisé pour l'échantillon et le volume de blanc.

Le % de carbone est calculé par la formule suivante :

$$\% \text{ CO} = \frac{(\text{B} - \text{E}) \times 5,85}{\text{masse du sol} \times \text{B}}$$

Avec :

B : volume de sulfate de fer utilisé pour titrer le blanc (ml)

E : volume de sulfate de fer utilisé pour titrer l'échantillon (ml)

5,85 : facteur utilisé à partir de la dilution, du facteur de correction



Figure 35: Titrage de bichromate avec le sulfate de fer (FeSO₄)

2.3.3. Estimation du stock du carbone du sol

La quantité du COS à l'hectare est obtenue par la formule suivante (**Pearson et Brown, 2005**) :

$$C \text{ (t /ha)} = [\text{densité apparente (g /cm}^3\text{)} * \text{profondeur du sol (cm)} * C]$$

3. Analyses statistiques

Le calcul des masses sèches et des stocks de carbone dans les réservoirs de carbone et les représentations des graphiques ont été réalisés à l'aide du logiciel Excel (version 2007).

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel SPSS 21. La comparaison des moyennes des différents variables a été possible en utilisant la méthode d'analyse de la variance à un seul critère ANOVA¹. Les différences sont appréciées au seuil de probabilité de 5%.

4. Etude diachronique de l'évolution de l'occupation du sol

Pour étudier l'évolution de l'occupation du sol dans la zone biogéographique de l'Anti Atlas et par la suite créer une carte des changements d'occupation du sol, nous avons adopté une méthodologie qui s'appuie sur la classification supervisée.

a. Données utilisées

Notre jeu de données des images satellitaires se compose de 2 images Landsat 5 et Sentinel 2A des années 1998 et 2021 (**tableau 8**). Le choix des images s'est basé essentiellement sur leurs dates d'acquisition dans l'année et le pourcentage des nuages de tel sort à avoir des images acquis dans des dates proches et un faible pourcentage de nuages. On a opté pour la date de 1998 qui est caractérisé par la création de la RBA et 2021.

Tableau 8: Caractéristiques des images satellitaires Landsat 5 et Sentinel 2A

Satellite	Date de prise	Résolution spatiale (m)
Landsat 5	1998	30
Sentinel 2A	2021	10

b. Classification des images

La classification choisie est celle supervisée (ou "classification dirigée"). En se basant sur notre connaissance du terrain et sur la signature spectrale, on a défini pour chaque pixel de notre image sa classe d'appartenance. L'outil utilisé est celui de **Google earth Engine** qui repose sur des scripts prédéfinis et permet de calculer pour chaque pixel sa probabilité d'appartenir à une classe plutôt qu'une autre. Le pixel est affecté à la classe dont la probabilité d'appartenance est la plus élevée.

Dans cette étude, cinq classes d'occupation du sol ont été définies (**Tableau 9**) :

Tableau 9: Les classes d'occupation du sol

Classe	Description
Forêts	Cette classe regroupe essentiellement les forêts naturelles, les forêts artificielles (reboisements) et les matorrals (terres arbustives).
Parcelles agricoles	Cette classe regroupe les cultures irriguées (champs de moyenne et grande taille de terres cultivées irriguées et herbacées), les cultures pluviales (bour) et l'agroforesterie (Cultures permanentes, plantations agricoles).
Espace bâti	La classe regroupe les zones urbaines, les infrastructures et les zones connexes

	développées.
Sols nus	Terres nues sans végétations (stériles), roches, dunes...
Parcours	Terrains de parcours

c. Détection et spatialisation des changements

Les cartes de la quantification de carbone du sol en 1998 et 2021 et l'occupation du sol dans la RBA et sa zone sud (zone d'étude) sont réalisées par l'extension **Trends earth**, ainsi les cartes de détection des changements entre les deux dates.

Troisième partie : Résultats et discussion

Chapitre 1 : Stocks de carbone dans les différents réservoirs de carbone

Les réservoirs de carbone étudiés dans le cadre du présent travail, sont la biomasse (aérienne et souterraine), la Nécromasse (bois mort et litière) et le sol.

I. Stock de carbone dans la biomasse

A ce niveau, nous distinguons la biomasse aérienne et la biomasse souterraine.

1. Estimation de la biomasse aérienne

La biomasse aérienne est la somme de la biomasse ligneuse et foliaire.

a. Estimation de la biomasse ligneuse

Tableau 10: Volume et biomasse ligneuse par zone

		Volume (m ³ /ha)	Biomasse ligneuse (t M.S/ha)
BOUTMEZGUIDA	CENTRALE	3,44	3,24
	TAMPON	3,26	3,07
	TRANSITION	4,07	3,84
AITERKHA	CENTRALE	23,04	21,72
	TAMPON	13,64	12,87
	TRANSITION	5,76	5,43

L'analyse du **tableau n°10** montre que les volumes dans la zone de BOUTMEZGUIDA varient de 3,26 à 4,07 m³/ha pour une densité moyenne qui varie de 80 à 100 cépées/ha. Alors que les volumes varient entre 5,76 et 23,64 m³/ha dans la zone d'AITERKHA (**figure n°36**) pour une densité moyenne de 80 à 110 cépées/ha. Les résultats de la zone de BOUTMEZGUIDA vont dans le même sens que ceux de **Belghazi (2013)** qui a trouvé des volumes qui varient entre 1,18 et 4,67m³/ha dans les taillis d'arganier de plateau des Haha-Essaouira. Mais les résultats de la zone d'AITERKHA sont supérieurs aux résultats de ladite étude. **Ouswati (2016)** a avancé un chiffre de 6,07m³/ha pour les peuplements d'arganier dans la commune d'Imgrad province d'Essaouira. Ce résultat est dans l'intervalle des résultats de la zone d'AITERKHA et supérieur à ceux de la zone de BOUTMEZGUIDA. Après la multiplication du volume par la densité basale qu'égalise à 943 Kg/m³ pour la zone sud de la RBA, l'analyse du même tableau

montre que les biomasses ligneuses dans la zone de BOUTMEZGUIDA varient de 3,07 à 3,84 t MS/ha et de 5,43 à 21,72 t MS/ha dans la zone d'AITERKHA. Les résultats de **Belghazi (2013)** varient entre 1,42 et 9,72 t MS/ha, alors qu'**Ouswati (2016)** a trouvé 8,65 t MS/ha.

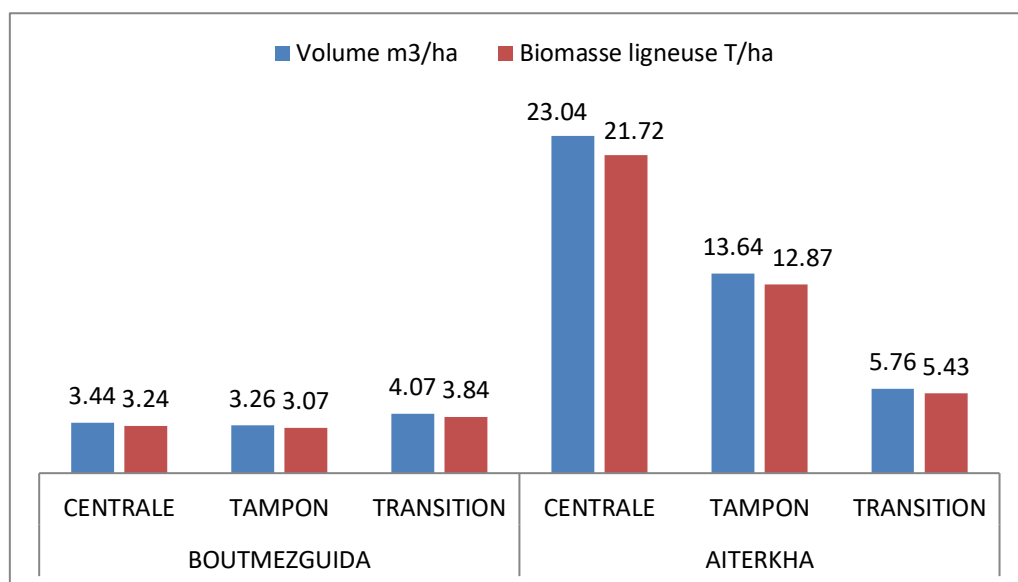


Figure 36: Volume et biomasse ligneuse par zone

b. Estimation de la biomasse foliaire

Tableau n°11 : Biomasse Foliaire par zone

		Biomasse foliaire t MS/ha
BOUTMEZGUIDA	CENTRALE	0,14
	TAMPON	0,14
	TRANSITION	0,15
AITERKHA	CENTRALE	0,26
	TAMPON	0,18
	TRANSITION	0,16

La biomasse sèche à l'hectare est obtenue par une extrapolation linéaire des résultats obtenus par placette. Ainsi, la production moyenne en biomasse foliaire est de l'ordre de 0,143 t MS/ha pour la zone de BOUTMEZGUIDA et de l'ordre de 0,2 t MS/ha pour la zone d'AITERKHA (**tableau n°11**).

En comparant ces résultats et ceux des peuplements des taillis d'arganier de plateau des Haha-Essaouira (**Belghazi, 2013**), on remarque que la biomasse foliaire de ces peuplements varie entre 0,18 et 0,48 t MS/ha ce qui est supérieur à celle de la zone de BOUTMEZGUIDA et égale à celle d'AITERKHA. D'autres auteurs ont étudiés la biomasse foliaire à savoir **Ouswati (2016)** qui a annoncé une valeur de l'ordre de 0,89 t MS/ha pour le peuplement de la commune Imgrad province d'Essaouira, ce qui est supérieur à la moyenne des deux zones (**figure n°37**). **Marouch (2013)** et **Aamou (2013)** ont étudiés la phytomasse foliaire des futaies adultes de l'Arganier et sa valeur fourragère dans le Jbel d'Amsitten, ils ont trouvés des valeurs de l'ordre de 1,35 t MS/ha et 1,36 t MS/ha ce qui supérieur à la moyenne des deux zones. **Oudaha (2007)** a annoncé 0,120 t MS/ha pour les rejets jeunes d'arganier dans le plateau de Haha. **Benzyane (1987)** a trouvé 1,65 t MS/ha pour les peuplements âgées d'arganier dans le plateau de Haha.

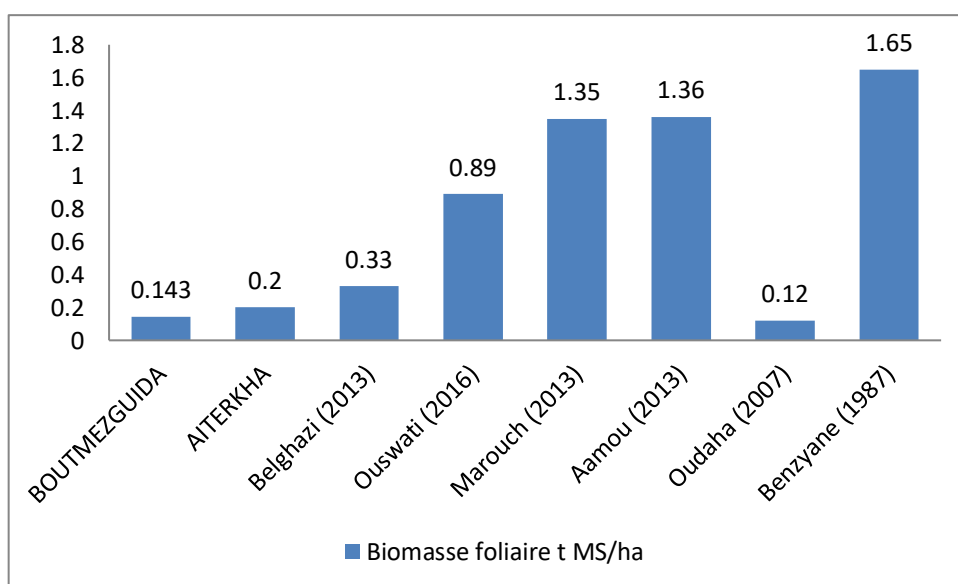


Figure 37: Comparaison entre les biomasses foliaires des zones étudiées et celles d'autres études

Tableau 11: La biomasse aérienne par zone

		Biomasse aérienne t MS/ha
BOUTMEZGUIDA	CENTRALE	3,38
	TAMPON	3,21
	TRANSITION	3,99
AITERKHA	CENTRALE	21,98
	TAMPON	13,04
	TRANSITION	5,59
Belghazi (2013)		4,80
Ouswati (2016)		9,54
Benzyane et Khatouri (1991)		52
Oudaha (2007)		4,7

Le calcul des biomasses ligneuse et foliaire de zones étudiées, nous a permis d'estimer la biomasse aérienne entre 3,21 et 3,99 t M.S/ha pour la zone de BOUTMEZGUIDA et entre 5,59 et 21,98 t MS/ha pour la zone d'AITERKHA (**tableau n°11**). Cette biomasse aérienne est composée de 95 % de biomasse ligneuse comme moyenne des zones de BOUTMEZGUIDA et de 98% pour les zones d'AITERKHA (**figure n°38 et n°39**). Le reste est constitué par la biomasse foliaire. Cela concorde avec les résultats **Belghazi (2013)** pour la zone de BOUTMEZGUIDA mais plus supérieur pour la zone d'AITERKHA. Le travail de **Belghazi (2013)** avait estimé la biomasse totale moyenne des taillis d'arganier étudiés dans les cinq peuplements à environ 4,8 t M.S/ha pour une densité moyenne de 95 cépées/ha. **Ouswati (2016)** avait estimé la biomasse aérienne à 9,54 tMS/ha. D'autres études de biomasse aérienne ont été effectuées sur l'arganier et se sont intéressées à des arbres adultes ainsi qu'à des taillis d'arganier. Nous citerons ici ceux de **Benzyane et Khatouri (1991)** et **Oudaha (2007)**. Les premiers auteurs avancent une production de 52 tonnes M.S/ha dans des peuplements de densité moyenne de 297 pieds/ha. Quant au second, il estime une production moyenne de 4,7 tonnes M.S/ha pour des jeunes taillis de densité moyenne de 51 cépées/ha.

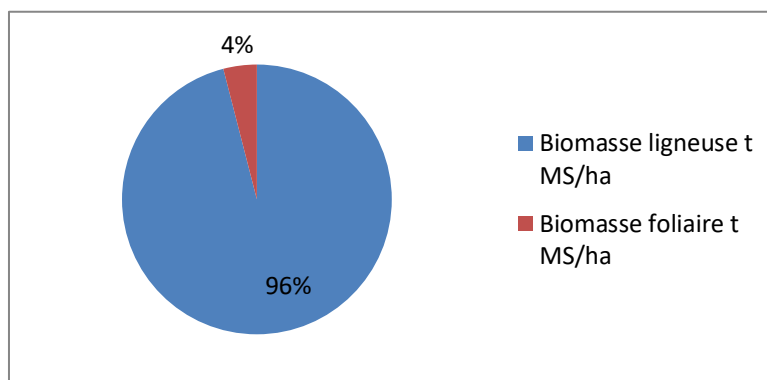


Figure 38: La biomasse aérienne dans la zone de BOUTMEZGUIDA

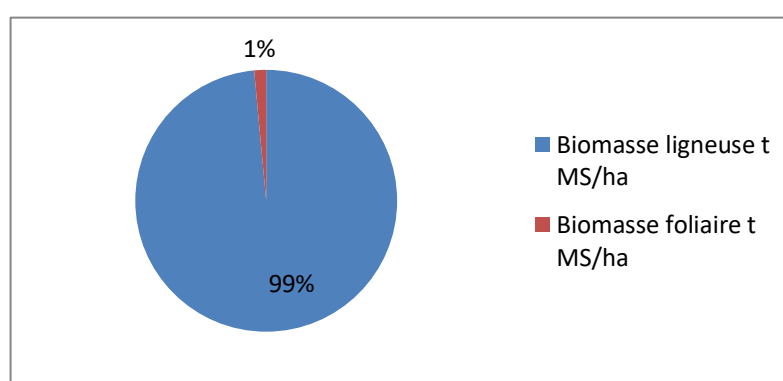


Figure 39: La biomasse aérienne dans la zone d'AITERKHA

Tableau 12: Analyse de la variance pour la variable biomasse aérienne (zone AITERKHA)

Sources de variation	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Facteur	3368499,980	2	1684249,990	2,059	,147
Résidus	22089937,873	27	818145,847		
Total	25458437,852	29			

L'analyse de la variance a révélé qu'il n'y a pas une différence ($p > 0,05$) entre les zones centrale, tampon et transition pour le site d'AITERKHA quant au caractère biomasse aérienne (**Tableau n°12**).

Tableau 13: Analyse de la variance pour la variable biomasse aérienne (zone BOUTMEZGUIDA)

Sources de variation	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Résidus	8422,938	2	4211,469	,154	,858
Facteur	738491,168	27	27351,525		
Total	746914,106	29			

L'analyse de la variance a révélé qu'il n'y a pas une différence ($p > 0,05$) entre les zones centrale, tampon et transition pour le site de BOUTMEZGUIDA quant au caractère biomasse aérienne (**Tableau n°13**).

Tableau 14: Comparaison entre la biomasse aérienne d'arganier dans les deux sites étudiés avec d'autres essences

Espèce	Zone	Densité (pieds/ha)	Biomasse aérienne t MS/ha	Référence
Arganier	BOUTMEZGUIDA	80 à 100 cépées/ha	3,33	La présente étude
Arganier	AITERKHA	80 à 110 cépées/ha	13,54	La présente étude
Chêne vert	Reggada moyen Atlas central marocain	1584	48,3	Boulmane et <i>al.</i> , 2013
Genévrier thurifère	Oukaimeden	201	250,7	Badri, 2003
Chêne liège	Maamora(canton B)	170	112,33	Rhoufacha, 2021
Chêne liège	Maamora(canton A et B)	<100	64,3	Oubrahim H., (2015)

2. Estimation du stock de carbone dans la strate arborée

L'estimation du stock du carbone dans la biomasse aérienne et souterraine de la strate arborée dans chaque zone est présentée dans le **tableau 15**.

Tableau 15: Le stock de carbone dans la strate arborée par zone

		Carbone aérien t/ha	Carbone racinaire t/ha	Carbomasse t/ha
BOUTMEZGUIDA	CENTRALE	1,64	0,33	1,96
	TAMPON	1,55	0,31	1,86
	TRANSITION	1,93	0,39	2,32
AITERKHA	CENTRALE	10,66	2,13	12,79
	TAMPON	6,33	1,27	7,59
	TRANSITION	2,71	0,54	3,25

Le stock de carbone racinaire, considéré comme une biomasse importante de carbone, est très difficile à déterminer, en se basant sur les données rapportées par la littérature, on peut l'évaluer entre 15 et 24 % du stock de carbone aérien (Arrouays *et al.*, 2002 ; Pansu, 2006). Or Belghazi.T *et al* (2017) ont adopté un pourcentage moyen de 20 % du stock de carbone aérien pour les peuplements d'arganier dans les plateaux des Haha.

Au niveau du site de BOUTMEZGUIDA, l'arganier stocke 1,70 t C/ha en moyenne entre les trois zones dans sa partie aérienne. Au niveau du site d'AITERKHA l'arganier stocke 6,57 t C/ha en moyenne dans sa partie aérienne (Tableau n°15). En considérant un pourcentage moyen de 20 %, le stock de carbone séquestré dans la biomasse racinaire peut être estimé à environ 0,34 t C/ha pour le site de BOUTMEZGUIDA et à environ 1,31 t C/ha. Ainsi, la carbomasse totale est donc de l'ordre de 2,05 t C/ha au niveau du site BOUTMEZGUIDA et de l'ordre de 7,88 t C/ha au niveau du site AITERKHA. Au niveau de la strate arborée du peuplement d'Imgrad, Ouswati (2016) a trouvé que l'arganier stocke 4,63 t C/ha, 0,93 t C/ha dans les racines et 5,6 t C/ha comme carbomasse totale. Nos résultats vont donc dans le même sens que ceux d'Ouswati.

Tableau 16: Comparaison entre la Carbomasse totale d'arganier dans les deux sites étudiés avec d'autres essences

Espèce	Zone	Densité (pieds/ha)	Carbomasse totale t MS/ha	Référence
Arganier	BOUTMEZGUIDA	80 à 100 cépées/ha	2,05	La présente étude
Arganier	AITERKHA	80 à 110 cépées/ha	7,88	La présente étude
Cèdre de l'Atlas	Jbel Aoua	86	40,44	El mdersa, 2019
	Azrou	107	99,42	
Chêne vert	Jbel Aoua	641	33,08	
	Jaaba	860	69,52	
	Azrou	318	19,75	
Pin maritime	Jbel Aoua	23	9,84	
Chêne zeen	Jaaba	186	70,53	
	Azrou	162	51,71	
Chêne liège	Maamoura (canton B)	81	9,16	Rhoufacha, 2021
Chêne vert	Tafachna (moyen atlas central)	5192	64	Boulmane et <i>al.</i> , 2013
Chêne vert	Reggada (moyen atlas central)	1584	58	Boulmane et <i>al.</i> , 2013

II. Stock de carbone dans la Nécromasse

1. Estimation de stock de carbone du bois mort

Tableau 17: Stock de carbone du bois mort par zone

		Stock de carbone t C/ha
BOUTMEZGUIDA	Centrale	0,27
	Tampon	0,23
	Transition	0,21
AIT ERKHA	Centrale	0,42
	Tampon	0,31
	Transition	0,43

Le bois mort gisant sur le sol dans l'arganier de BOUTMEZGUIDA séquestre 0,24 t C/ha en moyenne et 0,39 t C/ha en moyenne dans le site d'AITERKHA (tableau n°17). Le stock de carbone est plus faible au niveau de la zone de

transition de BOUTMEZGUIDA, il est évalué à 0,21 t C/ha et plus élevé au niveau de la zone de transition d'AITERKHA avec 0,43 t C/ha (**Figure n°40**). Nos résultats peuvent être comparés avec ceux d'autres espèces. **Rhoufacha (2021)** a annoncé un chiffre de l'ordre de 0,05 t C/ha pour la subéraie de Maamoura (canton B). **Mahamane (2006)** a estimé 0,97 T/ha de carbone séquestré dans le bois mort de la subéraie d'El Harcha.

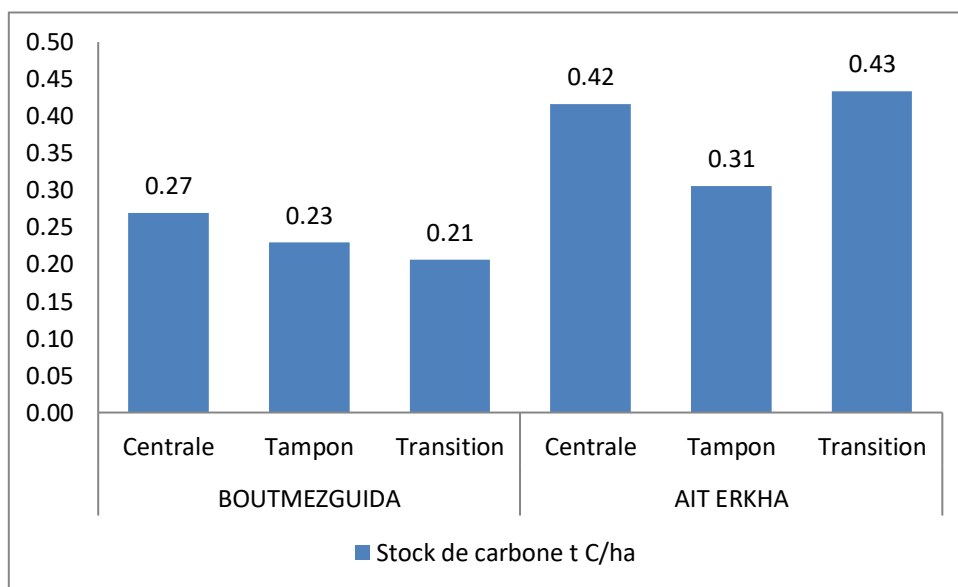


Figure 40: Variation du stock de carbone du bois mort par zone

Tableau 18: Analyse de la variance pour la variable SCOBM (zone BOUTMEZGUIDA)

Sources de variation	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Facteur	,000	2	,000	,270	,772
Résidus	,001	6	,000		
Total	,001	8			

L'analyse de la variance a révélé qu'il n'y a pas une différence ($p > 0,05$) entre les zones centrale, tampon et transition pour le site de BOUTMEZGUIDA quant au caractère SCOBM (**Tableau n°18**).

Tableau 19: Analyse de la variance pour la variable SCOBM (zone AITERKHA)

Sources de variation	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Significatio n
Facteurs	,000	2	,000	,234	,798
Résidus	,004	6	,001		
Total	,004	8			

L'analyse de la variance a révélé qu'il n'y a pas une différence ($p > 0,05$) entre les zones centrale, tampon et transition pour le site d'AITERKHA quant au caractère SCOBM (**Tableau n°19**).

2. Estimation du carbone de la litière

Le stock du carbone organique dans la litière (SCL) montre une petite différence en fonction des zones étudiées (**Tableau n°20**). Il varie respectivement de 0,32 à 0,62 t C/ha pour les zones du site BOUTMEZGUIDA et de 0,29 à 0,33 t C/ha pour celles du site AITERKHA (**figure n°41**).

En général, les litières des forêts peuvent atteindre 0,06 à 11,02 t/ha, soit une production moyenne de 4,88 t/ha pour la subéraie de Maamoura (**Rhoufacha, 2021**). Il varie respectivement de 3,5 à 8,7 t C/ha pour la chênaie verte de Reggada et Tafelma de moyen atlas central (**Boulmane et al., 2013**). De 5,7 et 2,5 t C/ha respectivement dans la subéraie et le matorral de la subéraie d'El Harcha (**Mahamane, 2006**).

Tableau 20: Stock de carbone de la litière par zone

		Stock de carbone t C/ha
BOUTMEZGUIDA	Centrale	0,62
	Tampon	0,32
	Transition	0,36
AIT ERKHA	Centrale	0,33
	Tampon	0,29
	Transition	0,29

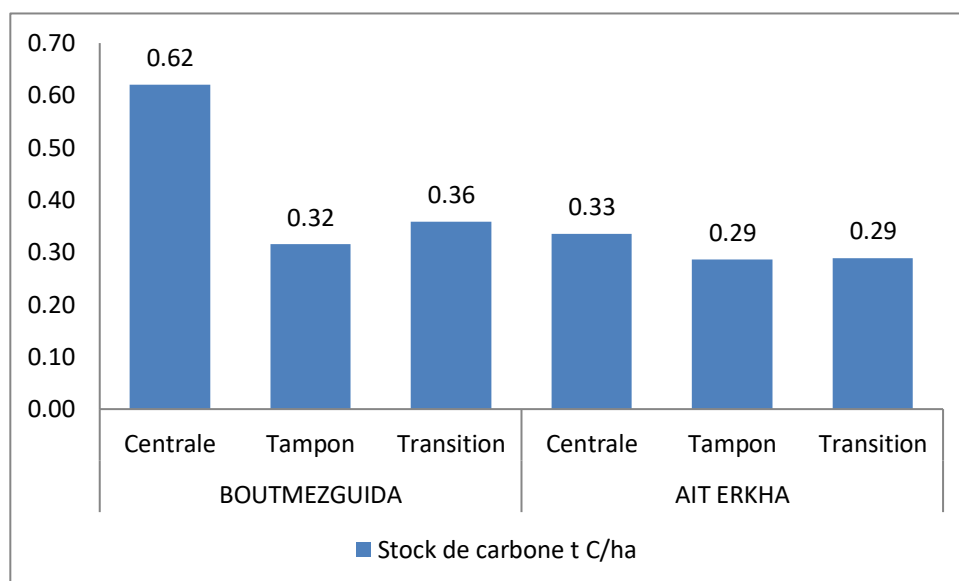


Figure 41: Variation du stock de carbone de la litière par zone

Tableau 21: Analyse de la variance pour la variable SCOL (zone BOUTMEZGUIDA)

Sources de variation	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Facteur	,002	2	,001	5,307	,047
Résidus	,001	6	,000		
Total	,003	8			

L'analyse de la variance a révélé qu'il y a une différence significative ($p < 0,05$) entre les zones centrale, tampon et transition pour le site de BOUTMEZGUIDA quant au caractère SCOL (**Tableau n°21**). Vu qu'il y a une différence significative entre les moyens de SCOL, la comparaison multiple des moyens s'impose (**tableau 22**). Cette comparaison des moyennes à l'aide du test de LSD a permis de distinguer deux groupes (**Tableau 23**). La différence existe entre la zone centrale et les deux autres zones, cela peut être expliqué par la nature de terrain, la zone centrale de Boutmezguida est très accidentée ce qui rend difficile au cheptel de l'atteindre.

Tableau 22: Comparaison multiple des moyennes par le test LSD pour la variable SCOL

(I) Code	(J) Code	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
Zone centrale	Zone tampon	,030526*	,010147	,024	,00570	,05535
	Zone de transition	,026251*	,010147	,041	,00142	,05108
Zone tampon	Zone centrale	-,030526*	,010147	,024	-,05535	-,00570
	Zone de transition	-,004274	,010147	,688	-,02910	,02055
Zone de transition	Zone centrale	-,026251*	,010147	,041	-,05108	-,00142
	Zone tampon	,004274	,010147	,688	-,02055	,02910

*. La différence moyenne est significative au niveau 0.05.

Tableau 23: Les groupes homogène pour la variable SCOL

Zone	Sous-ensemble pour $\alpha = 0,05$	
	1	2
Centrale	0,06204	
Tampon		0,031510
Transition		0,035785

Tableau 24: Analyse de la variance pour la variable SCOL (zone AITERKHA)

Sources de variation	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Facteur	,000	2	,000	,029	,972
Résidus	,005	6	,001		
Total	,005	8			

L'analyse de la variance a révélé qu'il n'y a pas une différence ($p > 0,05$) entre les zones centrale, tampon et transition pour le site d'AITERKHA quant au caractère SCOL (Tableau n°24).

III. Stock de carbone dans le sol

Dans le cadre de ce travail, nous avons limité notre analyse dans la détermination de la teneur en matière organique du sol, la déduction de la teneur en carbone organique du sol et la détermination de la densité apparente des échantillons étudiés et ce pour toutes les zones.

Le tableau suivant (**Tableau n°25**) récapitule les résultats trouvés concernant la densité apparente et les teneurs en carbone du sol pour zones étudiées (**Figure n°42**).

Tableau 25: Densité apparente et quantité de carbone organique stockée dans le sol par zone

		Densité apparente g/cm ³	Stock de carbone du sol (t/ha/30cm)
BOUTMEZGUIDA	Centrale	1,11	49,60
	Tampon	1,08	36,22
	Transition	1,17	50,58
AITERKHA	Centrale	0,92	52,90
	Tampon	0,98	53,86
	Transition	0,81	45,42

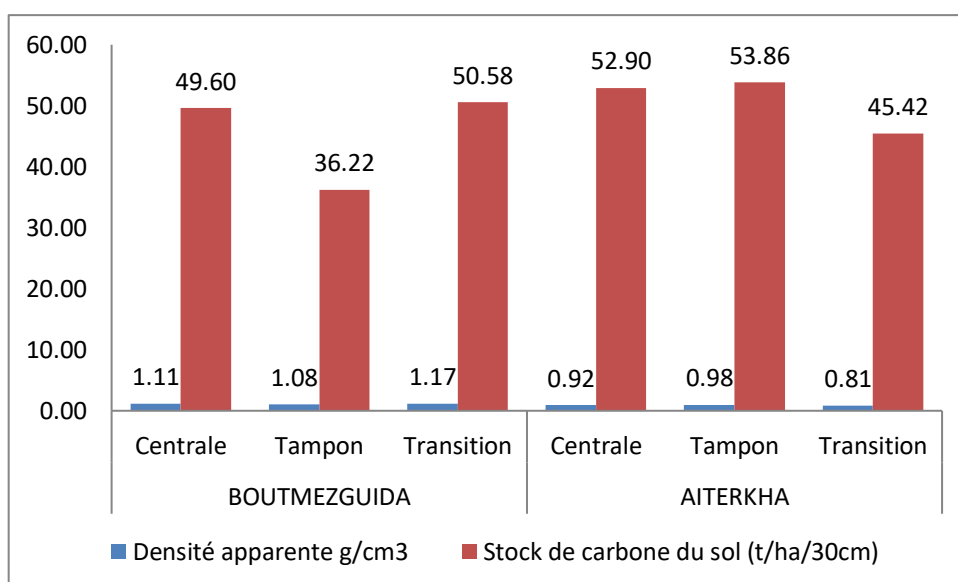


Figure 42: Variation du stock de carbone du sol par zone

Au niveau du site BOUTMEZGUIDA, l'arganier séquestre dans le sol de la zone de transition 50,58 t C/ha, la zone centrale en second lieu avec 49,60 t C/ha et la

zone tampon 36,22 t C/ha. De même dans le site AITERKHA, l'arganier emmagasine la plus grande quantité dans la zone tampon avec 53,86 t C/ha, suivi par la zone centrale avec 52,90 t C/ha et enfin la zone de transition avec 45,42 t C/ha.

Ces résultats vont dans le même sens que ceux trouvés par **Sabir et al., (2020)**, qui ont évalué les stocks de carbone organique dans les sols du Maroc et ils ont annoncés un chiffre de l'ordre de 21,4 t C/ha/30 cm sous forêt d'arganeraie. Pour d'autres espèces, le stock moyen du carbone organique au niveau des forêts étudiées par **El mdersa (2019)** est de l'ordre de 231,45 t/ha dans la forêt d'Azrou, 147,14 t/ha dans la forêt de Jbel Aoua Sud et de 126,62 t/ha dans la forêt de Jaâba dans les premiers trente centimètres du sol. **Boulmane (2013)** a estimé que le stock moyen du carbone du sol dans les deux parcelles (Tafechna et Reggada) est de 62,3 t C/ha dans la couche 0-100cm sous les peuplements de chêne vert. **Oubrahim (2015)** a trouvé une valeur de SCOS de l'ordre de 78 t/ha sous peuplement de chêne liège dans la forêt de Maamoura. Dans le Rif marocain **Sabir et al., (2002)** ont annoncés 100 t/ha pour les peuplements de chêne liège. En outre, **Mahamane (2006)** a trouvé dans la forêt d'El Harcha au Maroc que le chêne liège emmagasine une quantité de carbone qui s'élève à 108,15 t C/ha et le chêne vert 42,63 t C/ha. **Rhoufacha (2021)** a annoncé 77,82 t C/ha sous les peuplements de chêne liège de Maamoura (canton B).

Tableau 26: Analyse de la variance pour la variable SCOS (zone Boutmezguida)

Sources de variation	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Significatio n
Facteur	386,000	2	193,000	,368	,707
Résidus	3147,562	6	524,594		
Total	3533,562	8			

L'analyse de la variance a révélé qu'il n'y pas une différence significative ($p > 0,05$) entre les zones centrale, tampon et transition pour le site de BOUTMEZGUIDA quant au caractère SCOS (**Tableau n°26**).

Tableau 27: Analyse de la variance pour la variable SCOS (zone AITERKHA)

Sources de variation	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Facteurs	128,284	2	64,142	4,776	,057
Résidus	80,586	6	13,431		
Total	208,870	8			

L'analyse de la variance a révélé qu'il n'y pas une différence significative ($p > 0,05$) entre les zones centrale, tampon et transition pour le site d'AITERKHA quant au caractère SCOS (**Tableau n°27**).

IV. Stock total de carbone et sa répartition dans les différents réservoirs

Après le calcul des stocks du carbone dans les différents réservoirs (Biomasse aérienne, Biomasse souterraine, Nécromasse et Sol), le stock total dans tous les réservoirs est fourni dans le **tableau 28** par zone :

Tableau 28: Stock total de carbone par zone

	BOUTMEZGUIDA			AITERKHA		
	CENTRALE	TAMPON	TRANSITION	CENTRALE	TAMPON	TRANSITION
Stock de Carbone Aérien (T/ha)	1,64	1,55	1,93	10,66	6,33	2,71
Stock de carbone du sol (T/ha)	49,60	36,22	50,58	52,90	53,86	45,42
Stock de carbone du Bois mort (T/ha)	0,27	0,23	0,21	0,42	0,31	0,43
Stock de carbone de la litière (T/ha)	0,62	0,32	0,36	0,33	0,29	0,29
Stock de carbone racinaire t/ha	0,33	0,31	0,39	2,13	1,27	0,54
Stock total (T/ha)	52,45	38,63	53,46	66,44	62,05	49,39

Il ressort du **tableau n°28** que le stock total moyen du carbone est de 48,18 T/ha pour le site de Boutmezguida et de 59,29 T/ha pour le site d'Aiterkha. Ainsi dans le site de Boutmezguida la zone de transition a stockée plus de carbone que les autres zones avec une valeur de 53,46 T/ha, suivi par la zone centrale avec 52,45 T/ha et enfin la zone tampon avec 38,63 T/ha. Dans le site d'Aiterkha la zone centrale a stockée 66,44 T/ha, suivi par la zone tampon avec 62,05 T/ha et enfin la zone de transition qui a séquestrée 49,39 T/ha (**Figure n°43**).

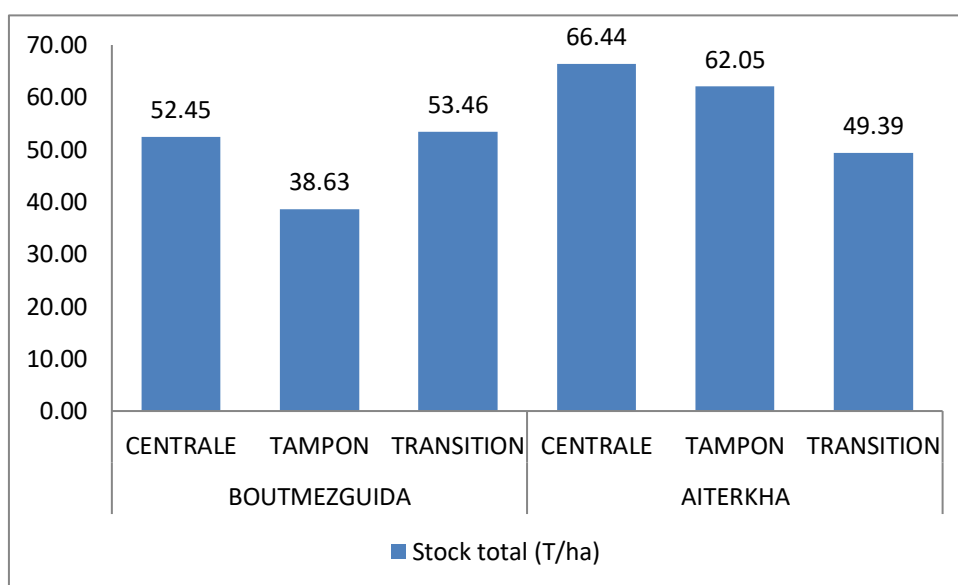


Figure 43: Variation de stock de carbone par zone

L'arganier dans le site Boutmezguida emmagasine dans sa zone centrale 52,45 t C/ha, dont 3,74 % dans la biomasse (3,12% dans la biomasse aérienne et 0,62 % dans les racines) ; 1,7 % dans la nécromasse (0,51 % dans le bois mort et 1,18 % dans la litière) et 94,56 % dans le sol. La zone tampon séquestre en totalité 38,63 t C/ha, répartis en 4,82 % dans la biomasse (4,01 % dans la biomasse aérienne et 0,81 % dans les racines) ; 1,41 % dans la nécromasse (0,59 % dans le bois mort et 0,81 % dans la litière) et 93,76 % dans le sol. La zone de transition stocke 53,46 tC/ha, dont 4,33 % dans la biomasse (3,61 % dans la biomasse aérienne et 0,71 % dans les racines) ; 1,05 % dans la nécromasse (0,38 % dans le bois mort et 0,66 % dans la litière) et 94,61 % dans le sol.

Dans le site d'Aiterkha la zone centrale séquestre 66,44 t C/ha, dont 19,25 % dans la biomasse (16,04 % dans la biomasse aérienne et 3,20 % dans les racines) ; 1,12 % dans la nécromasse (0,62 % dans le bois mort et 0,5 % dans la litière) et 79,61 % dans le sol. La zone tampon séquestre en totalité 62,05 t C/ha, répartis en 12,23 % dans la biomasse (10,19 % dans la biomasse aérienne et 2,03 % dans les racines) ; 0,95 % dans la nécromasse (0,49 % dans le bois mort et 0,46 % dans la litière) et 86,81 % dans le sol. La zone de transition stocke 49,39 t C/ha, dont 6,58 % dans la biomasse (5,48 % dans la biomasse aérienne et 1,1 % dans les racines) ; 1,46 % dans la nécromasse (0,87 % dans le bois mort et 0,58 % dans la litière) et 91,95 % dans le sol.

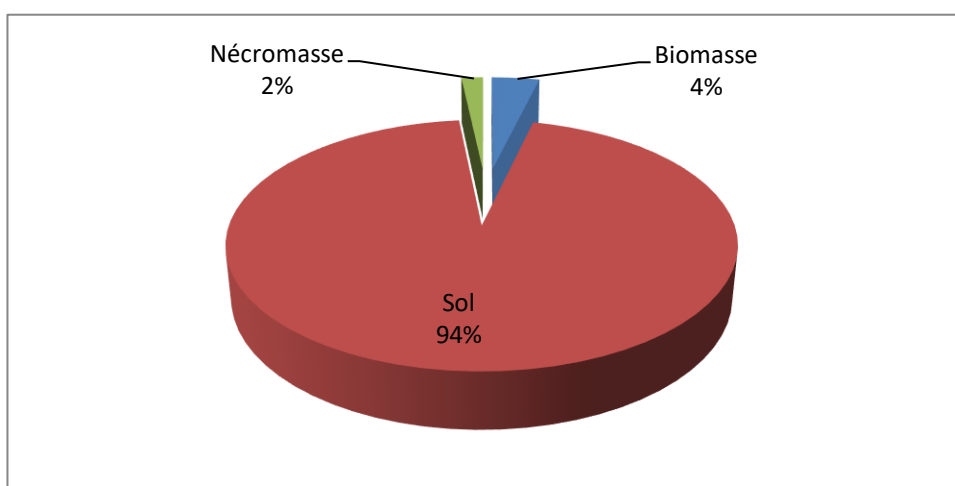


Figure 44: Répartition du carbone au niveau de la zone centrale du site Boutmezguida

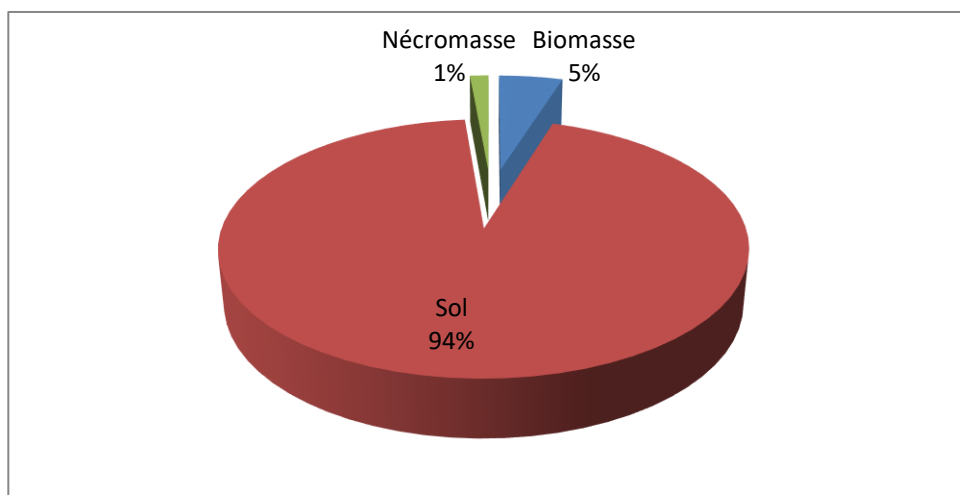


Figure 45: Répartition du carbone au niveau de la zone tampon du site Boutmezguida

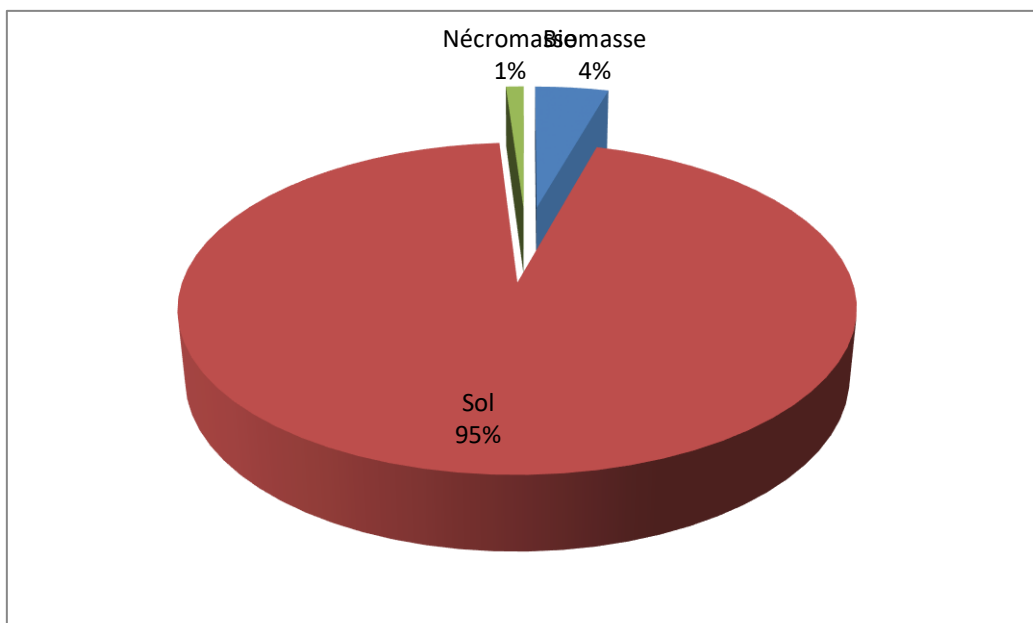


Figure 46: Répartition du carbone au niveau de la zone de transition du site Boutmezguida

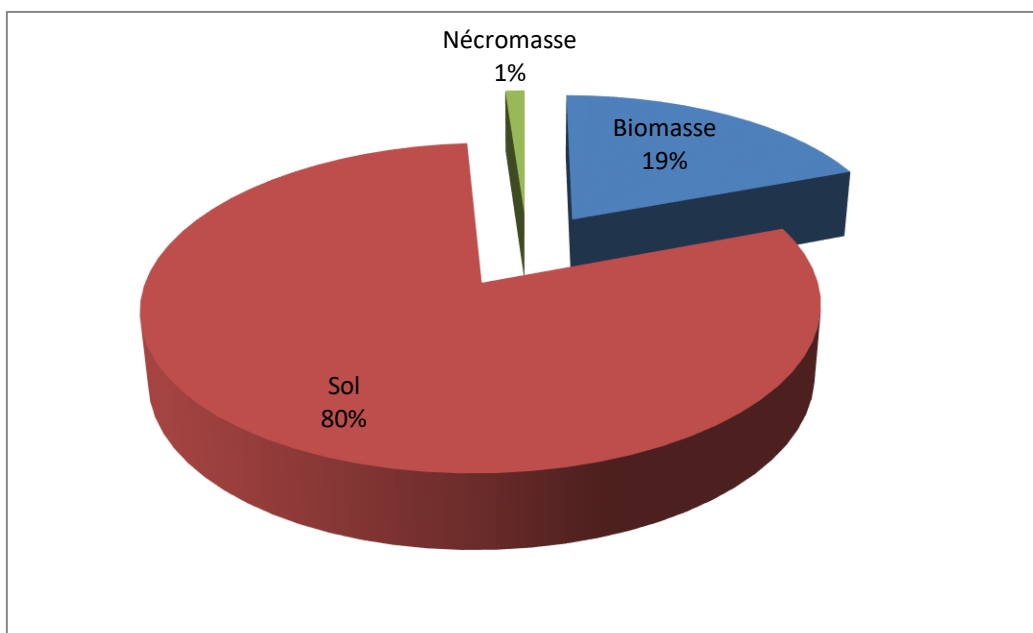


Figure 47: Répartition du carbone au niveau de la zone centrale du site Aiterkha

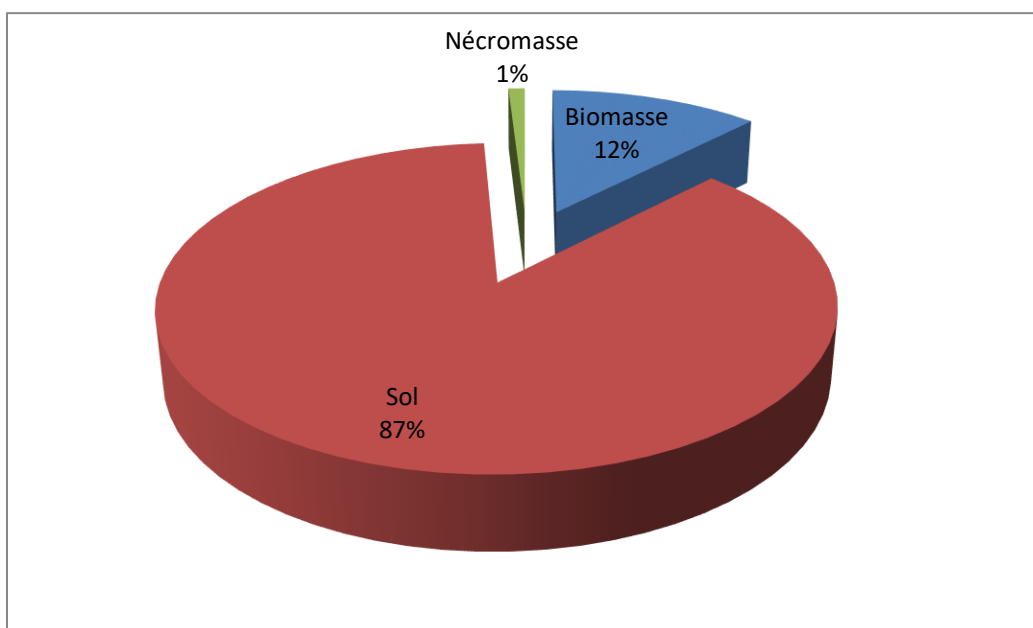


Figure 48: Répartition du carbone au niveau de la zone tampon du site Aiterkha

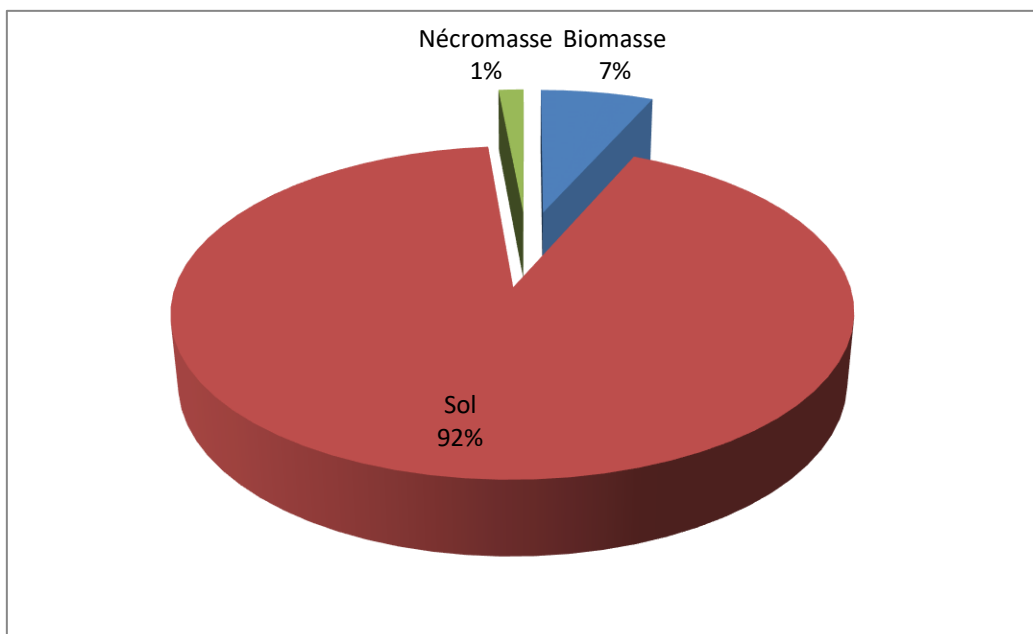


Figure 49: Répartition du carbone au niveau de la zone de transition du site Aiterkha

V. Discussion

Dans un rapport publié par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (**FAO, 2006**), Wulf Killmann affirme : « Nous devons assurément arrêter la déforestation et accroître la superficie des terres émergées boisées », soulignant le rôle central des espaces forestiers dans la lutte contre le réchauffement climatique. Les forêts mondiales jouent, en effet, un rôle majeur dans la régulation du cycle du carbone et de la concentration de CO₂ atmosphérique.

En effet, la RBA contribuent positivement dans ce mécanisme à travers la séquestration d'une quantité considérable de carbone. Les stocks moyens dans la partie aérienne sont compris entre 1,55 et 1,95 t C/ha dans les zones de Boutmezguida et entre 2,71 et 10,66 t C/ha dans les zones d'Aiterkha. Ceci peut lier à l'âge des peuplements des deux sites. En effet, les peuplements de site d'Aiterkha (**figure n°50**) sont plus âgés que ceux de site Boutmezguida (**figure n°51**).



Figure 50: arbre de la zone centrale Aiterkha



Figure 51: arbre de la zone centrale Boutmezguida

L'analyse de la variance des moyens des différentes zones (centrale, tampon, transition) pour le stock de carbone dans la biomasse, la nécromasse et le sol a montrée qu'il n'y a pas une différence entre ces moyens dans les deux sites. Ceci peut lier à des activités humaines à savoir :

- **L'agriculture** : Elle est surtout localisée dans la partie nord du SIBE de Boutmezguida et plutôt dans les vallées, pour des raisons évidentes de facilités d'accès. La culture des Figuiers de Barbarie occupe généralement les abords des villages mais pas seulement. D'ailleurs, il est parfois difficile de distinguer entre les parcelles strictement cultivées et les formations non contrôlées au milieu de l'arganeraie (**figure n°52**), notamment quand il n'existe pas de muret limitant clairement la parcelle cultivée. Au niveau du SIBE Aiterkha l'agriculture semble avoir été poussée à l'extrême dans toute la bordure nord-est et jusqu'au sud-est. En effet, les sols sont très érodés, presque nus. Quand les parcelles ne sont plus exploitées, l'Armoise parvient péniblement à se développer, ce qui montre le caractère très dégradé des sols.



Figure 52: Culture de Figuier de Barbarie dans la zone centrale de Boutmezguida

- **L'exploitation du bois de chauffage :** L'usage du bois de chauffe a vraisemblablement contribué à une dégradation de la plupart des arganeraies. Cette pratique favorise en effet le développement des arbres en taillis plus ou moins rabougris.
- **Le pâturage :** Les deux SIBE ne sont pas épargnés par cette pratique mais, ici, il ne s'agit pas toujours de surpâturage de sorte que cette action sur le milieu n'est pas forcément la première cause de dégradation.

Les enquêtes réalisées sur les deux SIBE, dans le cadre de l'élaboration du plan d'aménagement et de gestion, révèlent la pratique d'un élevage de type traditionnel, dominé par l'élevage ovin/caprin (**Tableau 29 et 30**) (DPEFLCD de Sidi Ifni, 2019).

Tableau 29: Effectif du cheptel exploité par tête dans les communes constituent le SIBE de Boutmezguida

Commune rurale	Bovins	Ovins	Caprins
Imi n-Fast	143	4200	3100
Tnine Amellou	188	3300	2900

(Source : DPEFLCD de Sidi Ifni)

Tableau 30: Effectif du cheptel exploité par tête dans les communes constituent le SIBE Aiterkha

Commune rurale	Bovins	Ovins	Caprins
Ait Erkha	180	9700	6100
Sidi Abdallah Ou Belaid	220	1595	3500
Sidi H'Saine Ou Alil	240	419	510

(Source : DPEFLCD de Sidi Ifni)

L'ensemble de ces activités sont garanties par **Dahir du 4 mars 1925 (8 chaâbane 1343) sur la protection et la délimitation des forêts d'arganiers** : Les droits de jouissance sur les boisements d'arganiers appartiennent uniquement aux indigènes des tribus et fractions traditionnellement usagères. Ces droits comprennent :

- Le ramassage du bois mort
- La cueillette des fruits
- le parcours des troupeaux
- l'utilisation du sol
- la coupe de bois de chauffage, de charbonnage et de service
- La coupe de branchages pour clôtures

- L'enlèvement de la terre, du sable et de la pierre

Chapitre 2 : Evolution des occupations du sol entre 1998 et 2021 dans la zone sud de la RBA et les zones centrales Boutmezguida et Ait Erkha

L'analyse des résultats de la dynamique d'occupation du sol s'est faite en trois phases :

- La première consiste à générer les cartes d'occupation de sol pour les dates 1998 et 2021 pour la zone sud de la RBA par la plateforme **Trendsearth** et par **Google earth engine** pour les deux zones centrales. Présenter les superficies des classes d'occupation du sol, ainsi on a calculé le taux de couverture de chaque classe pour chaque date ;
- La deuxième consiste à générer les cartes de carbone du sol et sa dégradation entre les deux dates et pour la zone sud de la RBA
- La troisième consiste à faire la détection du changement enregistré entre les deux dates et présenter les résultats spatialement sur des cartes de changement et sous formes de matrices de changement.

I. Evolution des occupations des terres dans la RBA et sa zone sud entre 1998 et 2021

1. Evolution des occupations des terres dans la RBA entre 1998 et 2021

L'analyse des données de tendances (**Tableaux 31 et 32**) indique que deux occupations des terres ont connu une évolution régressive entre 1998 et 2021, parcours et sol nu, avec respectivement -3,81%, -10,46%. Cela représente, respectivement, pour les deux occupations, une régression de 71 556 ha et 32 117 ha en 23 ans. Par contre l'agriculture et les forêts ont connus une augmentation de, respectivement, 85 123 ha et 13 800 ha. La forêt a perdu entre ces deux dates une superficie totale de 188 ha, répartis entre 27 ha pour le parcours et 161 ha pour l'agriculture. Pour les parcours 5124 ha ont été convertis en forêt, 99 461 ha

en agriculture, 1546 ha en sol nu et 199 ha en établissement humains pendant la même période. Entre 1998 et 2021, l'agriculture a cédée 88,63 ha pour la forêt, 60,79 ha pour le parcours, 35,3 ha en établissement humains et 1,28 ha en sol nu.

Tableau 31: Evolution de la couverture terrestre dans la réserve de biosphère de l'arganier entre 1998 et 2021

Occupations des terres	Superficie en 1998 (ha)	Superficie en 2021 (ha)	Dynamique entre 1998 et 2021 (ha)	Pourcentage
La forêt	139 196	152 996	13 800	9,91%
Parcours	1 879 473	1 807 917	-71 556	-3,81%
Agriculture	637 555	722 677	85 123	13,35%
Les établissements humains	19 291	23 859	4568	23,68%
Sol nu	306 942	274 825	-32 117	-10,46%
Zones humides et plans d'eau	4628	4809	476 360	3,94%
Total :	2 987 085	2 987 085	0	

Tableau 32: Matrice d'évolution (conversion) des occupations des terres (ha) dans la réserve de biosphère Arganeraie entre 1998 et 2021

2021 1998	La forêt	Parcours	Agriculture	Etablissements humains	Sol nu	Zones humides	Total :
La forêt	139 008	27	161	0	0	0	139 196
Parcours	5 124	1 773 015	99 461	199	1 546	129	1 879 473
Agriculture	88,63	60,79	6 189,37	35,3	1,28	0,16	637 555
Etablissements humains	0	0	0	19 291	0	0	19 291
Sol nu	0	28 796	4 118	823	273 151	54	306 942
Zones humides	0	0	0	16	0	4 612	4 628
Total :	152 996	1 807 917	722 677	23 859	274 825	4 810	2 987 085

Tableau 33: Résumé des changements de la couverture terrestre, entre 1998 et 2021 dans la réserve de biosphère Arganeraie

Type d'évolution de la couverture terrestre	Surface (ha)	Pourcentage (%)
Terres avec une amélioration du couvert	146 362	4,91%
Terres avec un couvert stable	2 823 418	94,67%
Terres avec un couvert dégradé	12 490	0,42%

Les tendances globales des occupations des terres dans la RBA entre 1998 et 2021 (**Tableau 33**) montrent que la majorité des terres ont été stables 94,67%. Les occupations améliorées en termes de couvertures représentent 4,91%. Par contre les terres avec un couvert dégradé représentent 0,42% de la surface (**figure 53, 54 et 55**).

Les grands traits de cette transformation régressive peuvent être annoncés comme suit:

- Les terrains de parcours transformés ont été converties vers des champs d'agriculture (99 461 ha) ;
- Les sols nus transformés vers des terres de parcours (28 796 ha) ;
- Les terrains de parcours transformés vers des terrains forestiers (5 124 ha).

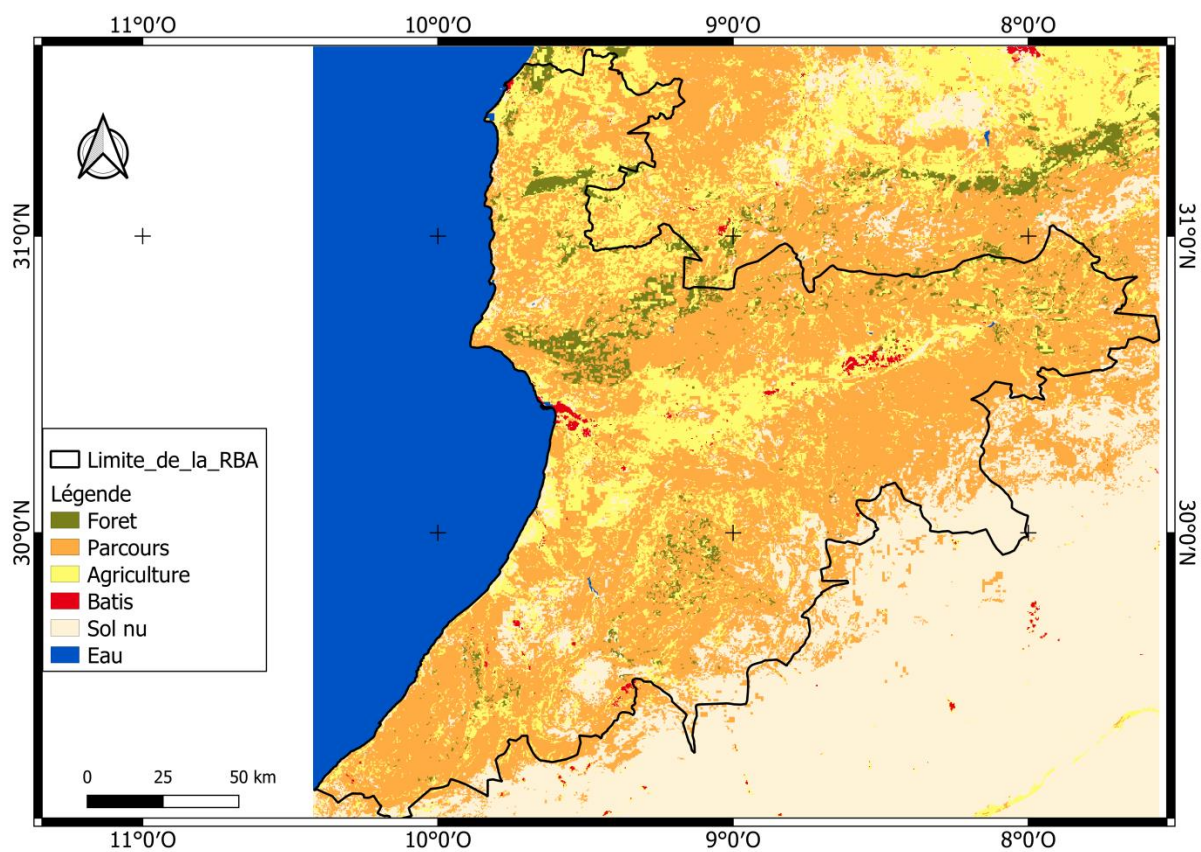


Figure 53: Occupation des terres dans la réserve de biosphère Arganeraie en 1998

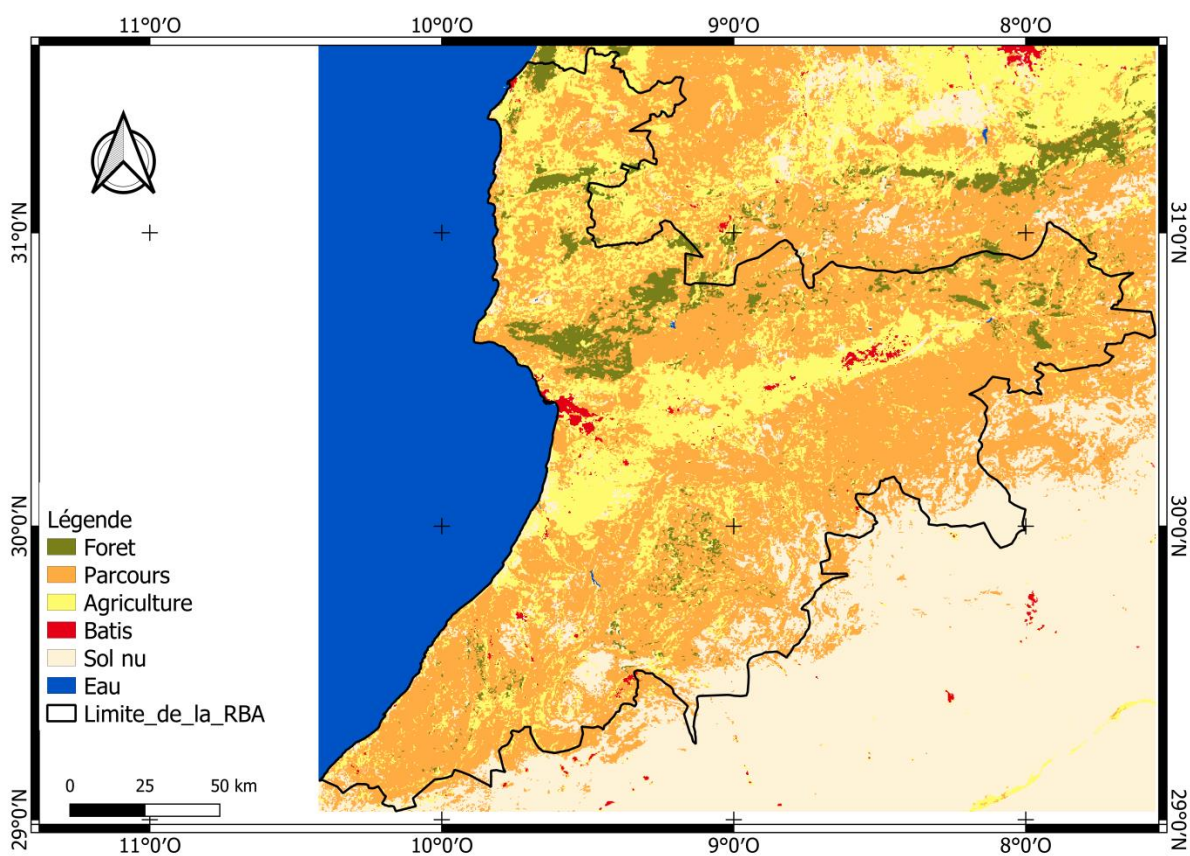


Figure 54: Occupation des terres dans la réserve de biosphère Arganeraie en 2021

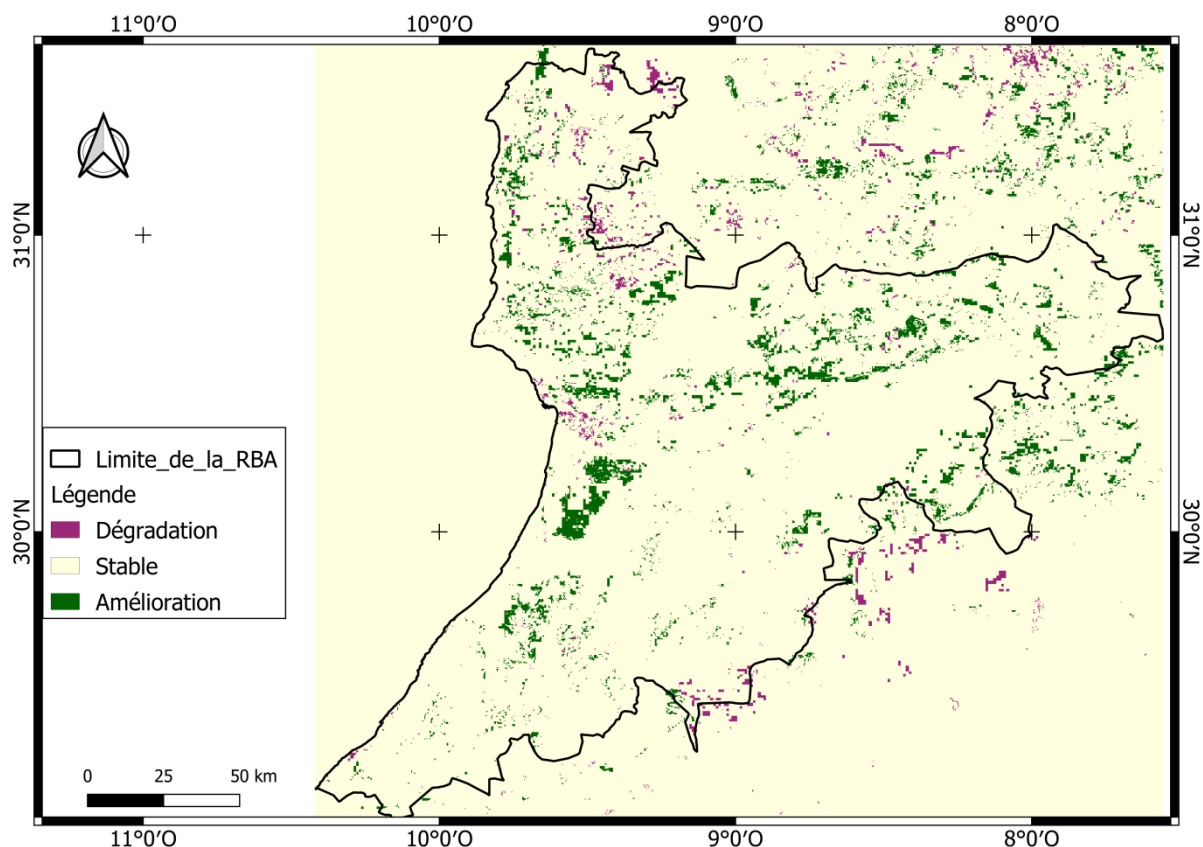


Figure 55: Evolution des occupations des terres de la réserve de biosphère Arganeraie entre 1998 et 2021

2. Evolution des occupations du sol dans la zone sud de la RBA (Anti Atlas)

L'analyse des données de tendances (**Tableaux 34 et 35**) indique qu'une seule occupation de terre a connu une évolution régressive entre 1998 et 2021, sol nu, avec -3,28%. Cela représente pour cette occupation, une régression de 14 093 ha en 23 ans. Par contre l'agriculture, parcours et les forêts ont connus une augmentation de, respectivement, 7 857 ha, 5 217 ha et 910 ha. La forêt a perdu entre ces deux dates une superficie totale de 49 ha, répartis entre 27 ha pour le parcours et 22 ha pour l'agriculture. Pour les parcours 579 ha ont été convertis en forêt, 8 177 ha en agriculture, 1 091 ha en sol nu et 5 ha en établissement humains pendant la même période. Entre 1998 et 2021, l'agriculture a cédée 380 ha pour la forêt, 91 ha pour le parcours et 16 ha en établissement humains.

Tableau 34: Evolution de la couverture terrestre dans la zone sud de la réserve de biosphère de l'arganier entre 1998 et 2021

Occupations des terres	Superficie en 1998 (ha)	Superficie en 2021 (ha)	Dynamique entre 1998 et 2021 (ha)	Pourcentage
La forêt	30 226	31 136	910	1,48%
Parcours	947 450	952 667	5 217	0,27%
Agriculture	134 017	141 874	7 857	2,85%
Les établissements humains	1 961	2 070	109	2,70%
Sol nu	222 171	208 078	-14 093	-3,28%
Zones humides et plans d'eau	1334	1334	0	0,00%
Total :	1 337 159	1 337 159	0	

Tableau 35: Matrice d'évolution (conversion) des occupations des terres (ha) dans la zone sud de la réserve de biosphère Arganeraie entre 1998 et 2021

2021 1998	La forêt	Parcours	Agriculture	Etablissements humains	Sol nu	Zones humides	Total :
La forêt	30 177	27	22	0	0	0	30 226
Parcours	579	937 598	8 177	5	1 091	0	947 450
Agriculture	380	91	133 529	16	0	0	134 017
Etablissements humains	0	0	0	1 961	0	0	1 961
Sol nu	0	14 951	146	87	206 987	0	222 171
Zones humides	0	0	0	0	0	1 334	1 334
Total :	31 136	952 667	141 874	2 070	208 078	1 334	1 337 160

Tableau 36: Résumé des changements de la couverture terrestre, entre 1998 et 2021 dans la zone sud de la réserve de biosphère Arganeraie

Type d'évolution de la couverture terrestre	Surface (ha)	Pourcentage (%)
Terres avec une amélioration du couvert	24 234	1,81%
Terres avec un couvert stable	1 310 252	98,09%
Terres avec un couvert dégradé	1 339	0,10%

Les tendances globales des occupations des terres dans la RBA entre 1998 et 2021 (**Tableau 36**) montrent que la majorité des terres ont été stables 98,09%. Les occupations améliorées en termes de couvertures représentent 1,81%. Par contre les terres avec un couvert dégradé représentent 0,1% de la surface (**figure 56, 57 et 58**).

Les grands traits de cette transformation régressive peuvent être annoncés comme suit:

- Les terrains de parcours transformés ont été converties vers des champs d'agriculture (8 177 ha) ;
- Les sols nus transformés vers des terres de parcours (14 951ha) ;
- Les terrains de parcours transformés vers des terrains forestiers (579 ha).

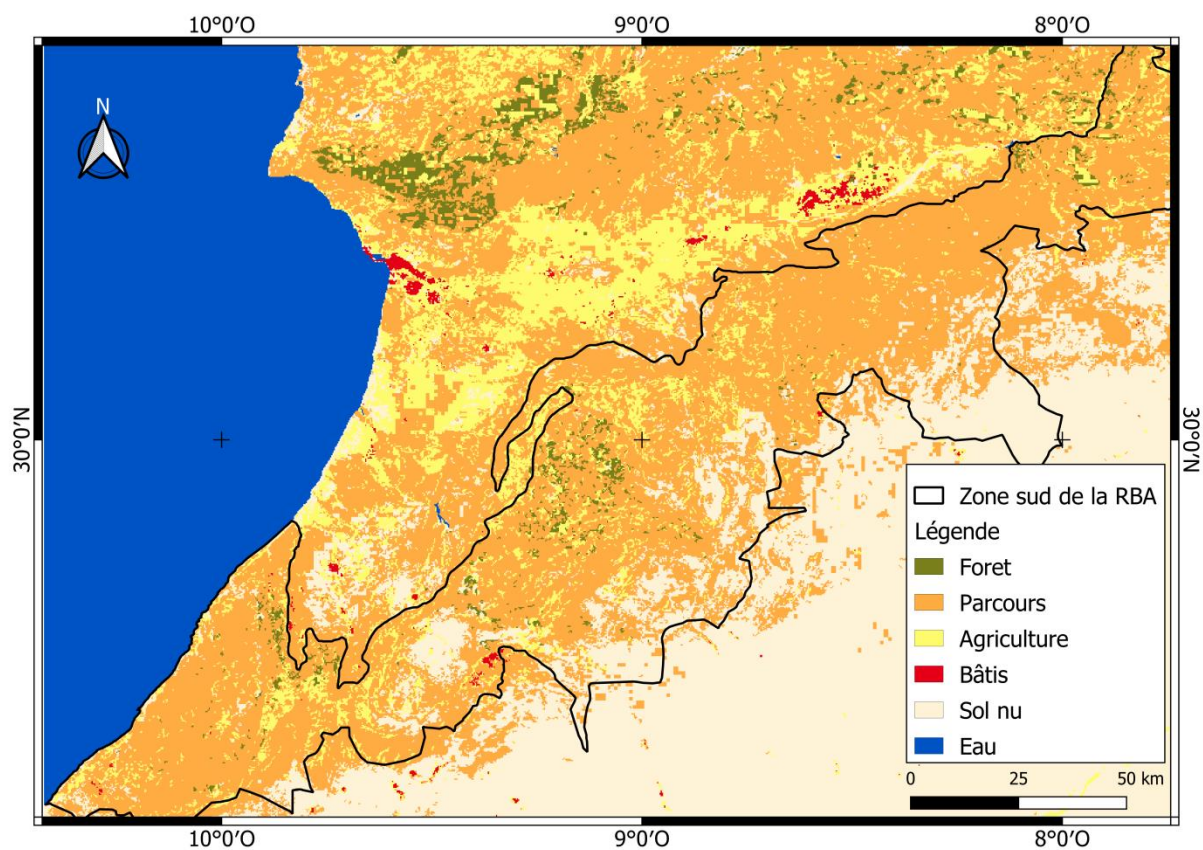


Figure 56: Occupation des terres dans la zone sud de la réserve de biosphère Arganeraie en 1998

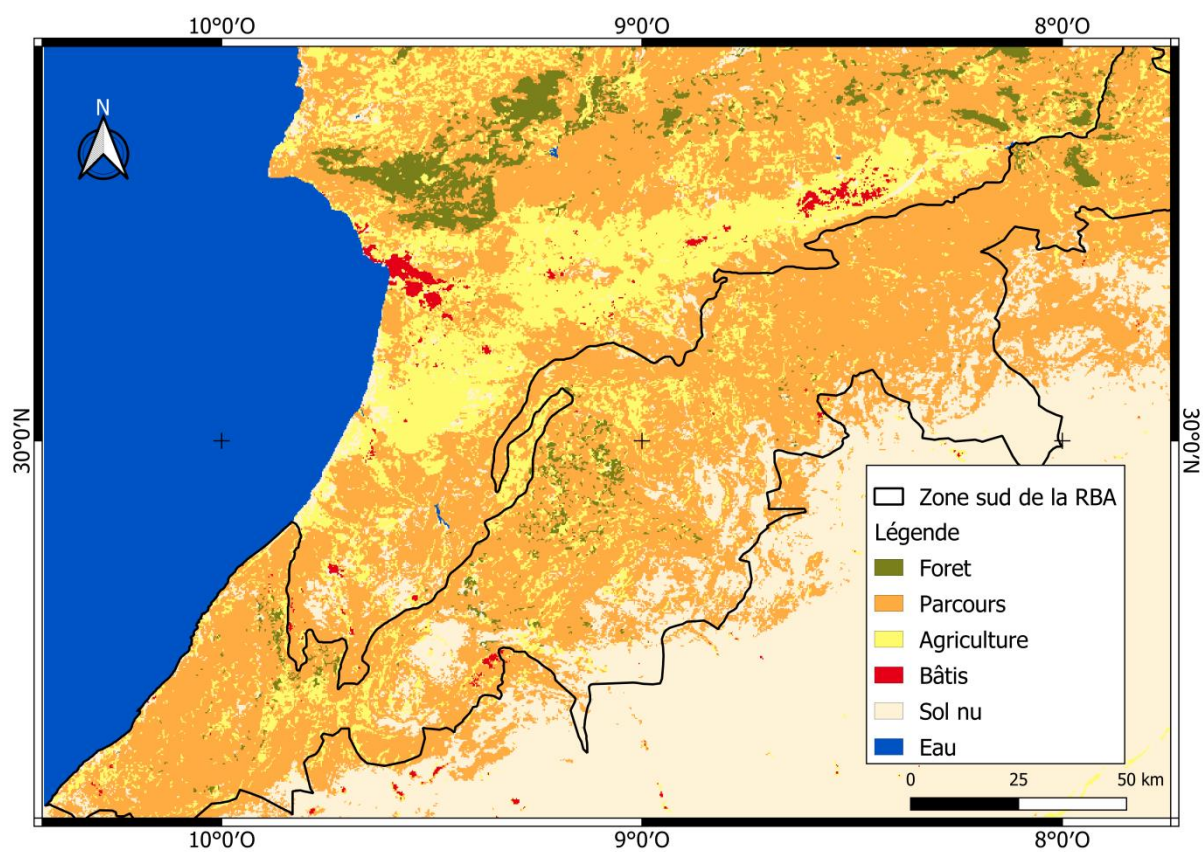


Figure 57: Occupation des terres dans la zone sud de la RBA en 2021

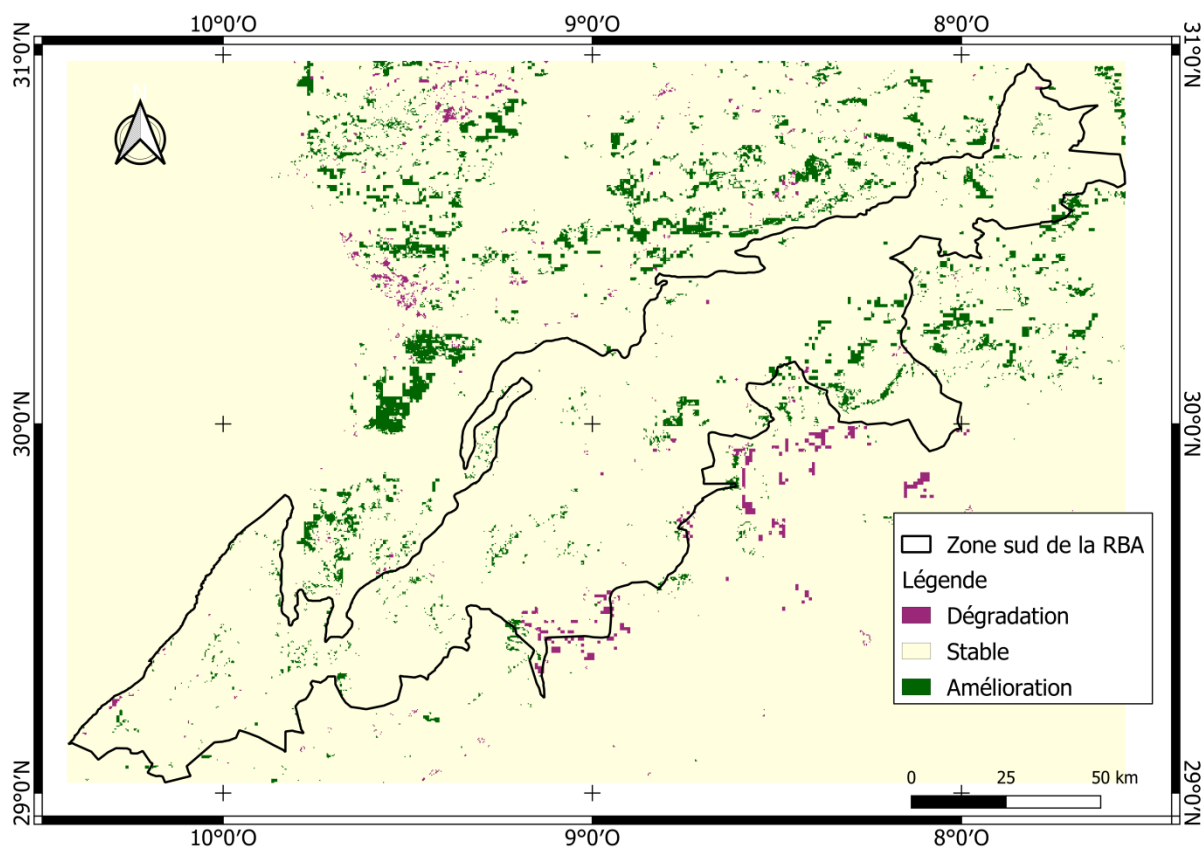


Figure 58: Evolution des occupations des terres dans la zone sud de la RBA entre 1998 et 2021

3. Evolution du stock de carbone de sol dans la zone sud de la RBA entre 1998 et 2021

Les résultats numériques du SCOS entre l'année initiale 1998 et l'année finale 2021 (**Tableau 37**) (**figure 59, 60 et 61**) montrent que l'occupation sol nu enregistre une perte nette dans le bilan du stock du COS de 2,51%. Pour les parcours, les terres forestiers et l'agriculture le taux du carbone est passé, respectivement, de 33,42 t/ha à 33,37 t/ha, de 46,17 t/ha à 46,16 t/ha et de 33,39 t/ha à 33,43 t/ha.

En général et à l'échelle de la surface totale de la zone sud de la RBA, le stock du COS est stable. Entre 1998 et 2021, malgré les dynamiques des surfaces des occupations des terres, l'évolution du stock du COS n'est que de 0,7%. On note que 99,69% de la surface de la zone sud de la RBA ait un stock COS stable. Les surfaces ayant connu une amélioration de leur stock de COS représenteraient 0,20% et celles ayant connu une dégradation sont de 0,11% (**Tableau 38**).

Tableau 37: Evolution du stock du carbone dans le sol (COS) par occupation de sol dans la zone sud de la RBA de l'année 1998 à l'année 2021

Occupation des terres	Stock COS 1998 (tonnes/ha)	Stock COS 2021 (tonnes/ha)	Surface 1998 (ha)	Surface 2021 (ha)	Stock COS 1998 (tonnes)	Stock COS 2021 (tonnes)	Variation Stock COS (tonnes)	Variation Stock COS (%)
Terres forestières	46,17	46,16	30 225,89	31 136,14	1 395 451,49	1 437 296,72	41 845,23	3,00%
Parcours	33,43	33,37	947 450,37	952 667,48	31 673 404,11	31 794 803,28	121 399,17	0,38%
Terres cultivées	33,39	33,43	134 016,65	141 874,03	4 475 135,60	4 742 557,02	267 421,42	5,98%
Etablissements humains	30,23	30,23	1 961,18	2 069,56	59 284,81	62 561,27	3 276,46	5,53%
Sol nu	24,23	25,22	222 171,16	208 078,03	5 383 820,19	5 248 674,15	-135 146,04	-2,51%

Tableau 38: Résumé de l'évolution du carbone organique du sol entre l'année 1998 et l'année 2021 dans la zone sud de la RBA

Evolution du stock du carbone	Surface (ha)	% de la surface totale
Surface des terres avec amélioration du COS	2671,65	0,20%
Surface des terres avec un COS stable	1 331 683,76	99,69%
Surface des terres avec dégradation du COS	1469,40	0,11%

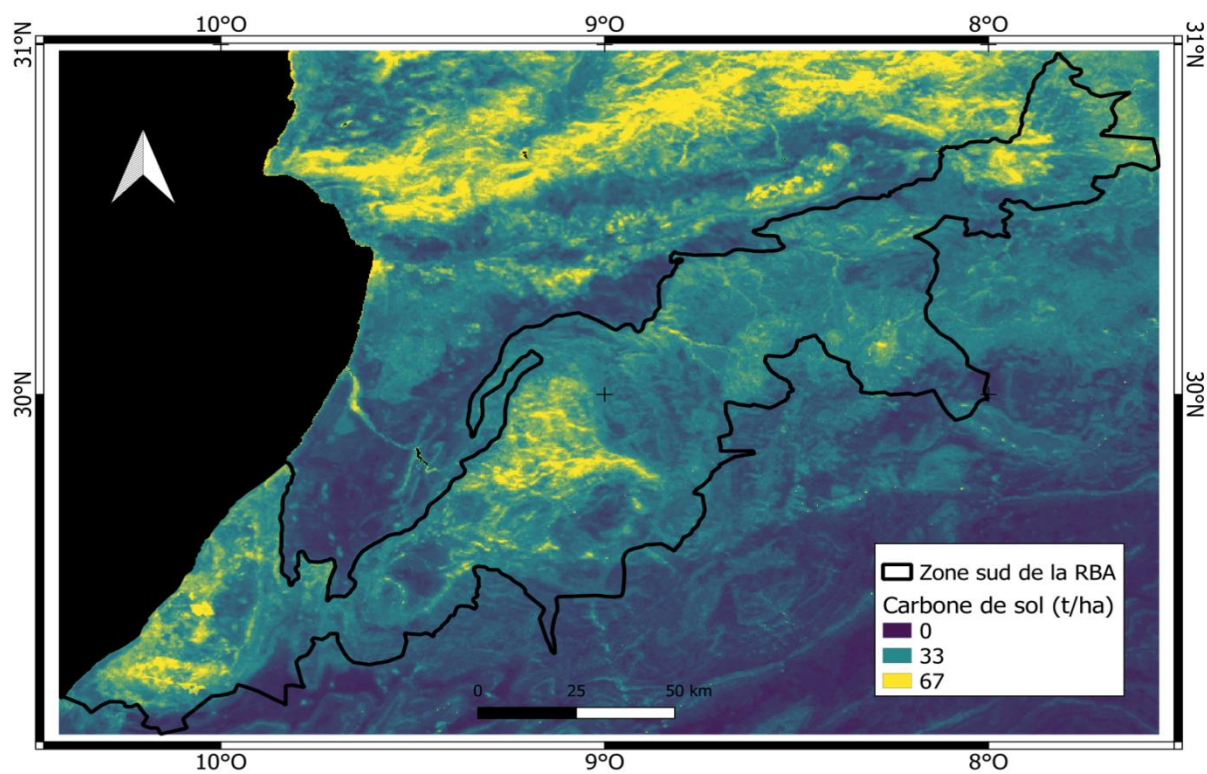


Figure 59: Le stock du carbone organique de sol en 1998 dans la zone sud de la RBA

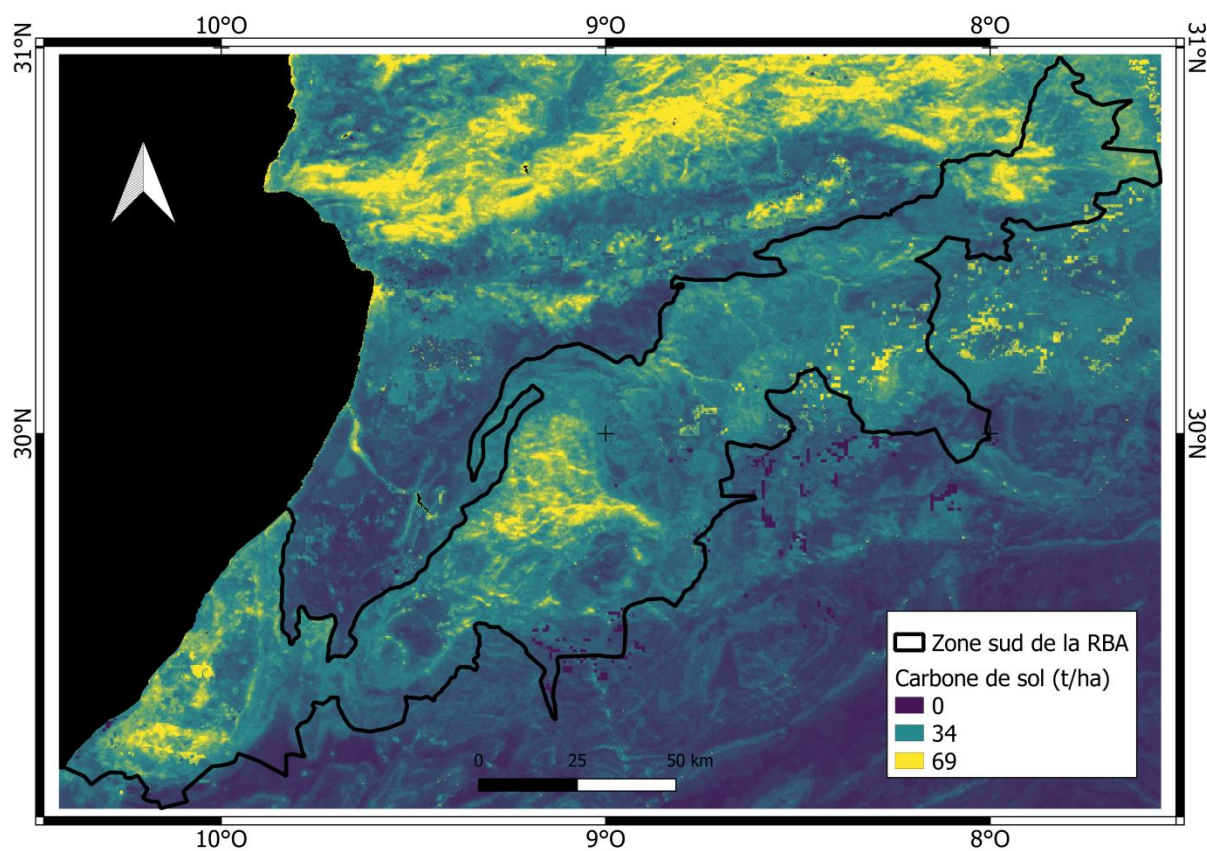


Figure 60: Le stock du carbone organique de sol en 2021 dans la zone sud de la RBA

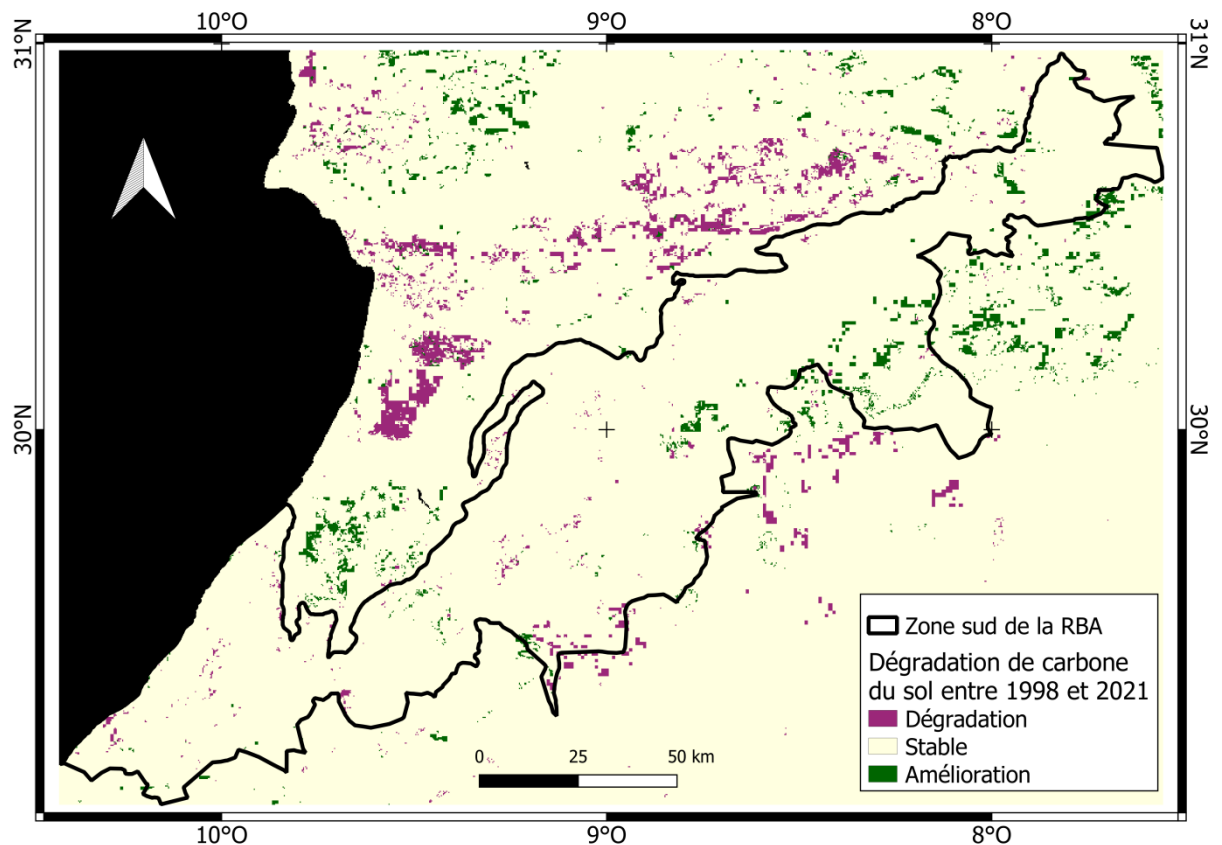


Figure 61: Evolution du stock de carbone de sol entre 1998 et 2021 dans la zone sud de la RBA

II. Evolution des occupations des terres dans les zones centrales Boutmezguida et Ait Erkha dans la zone sud de la RBA entre 1998 et 2021

1. Dynamique de l'occupation des sols dans la zone centrale Boutmezguida entre 1998 et 2021

a. Situation en 1998

La classification a permis de distinguer 2 classes d'occupations des sols :

- Forêt,
- Parcours,

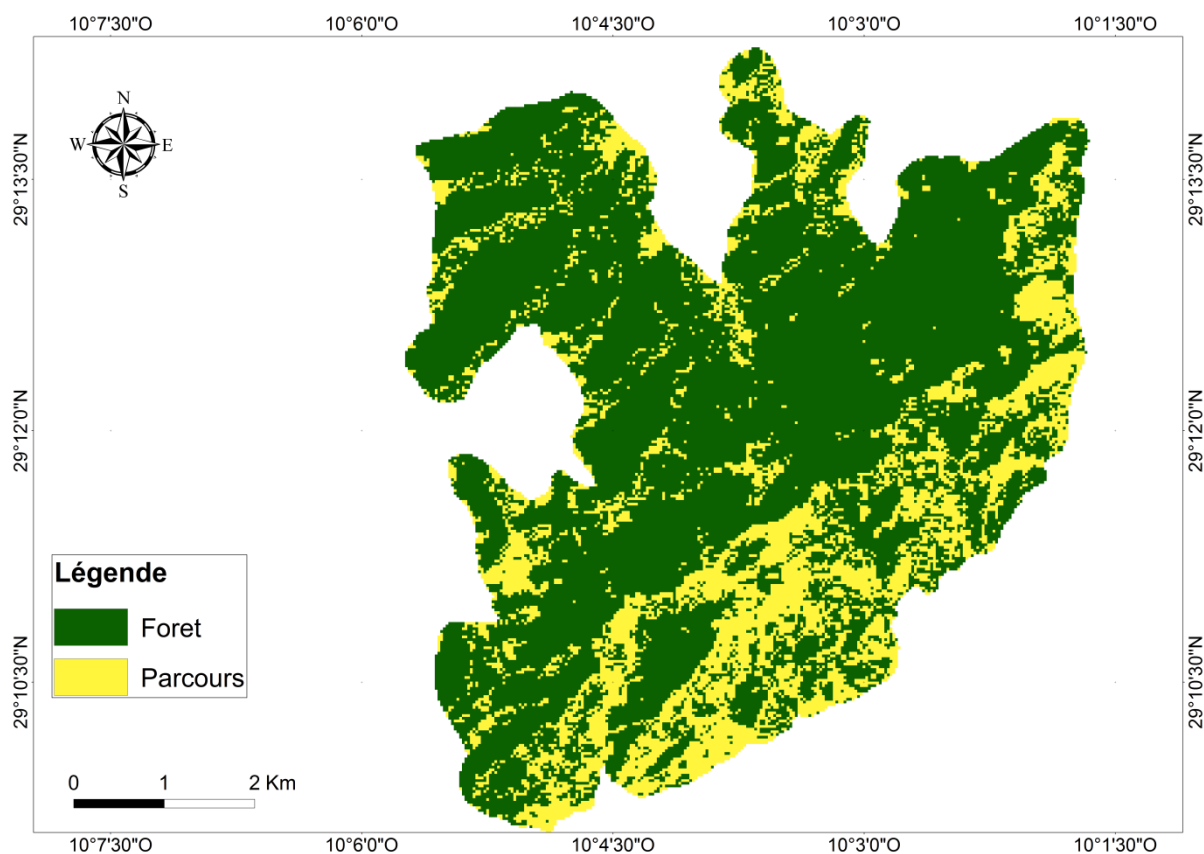


Figure 62: Carte d'occupation du sol de la zone centrale Boutmezguida en 1998

L'état de l'occupation du sol est donné dans le **tableau 39** et la **figure 63**. Les grandes superficies sont occupées par la forêt avec une superficie de 2994,37 ha. Il est à noter que la superficie occupée par le parcours est de 584,12 ha. Le taux de couverture des parcours est de 16% et la forêt 84% (**figure n°63**).

Tableau 39: Superficie des classes d'occupation du sol de la zone centrale Boutmezguida 1998

Classe	Surface (ha)
Forêt	2994,37
Parcours	584,12
Total	3578,48

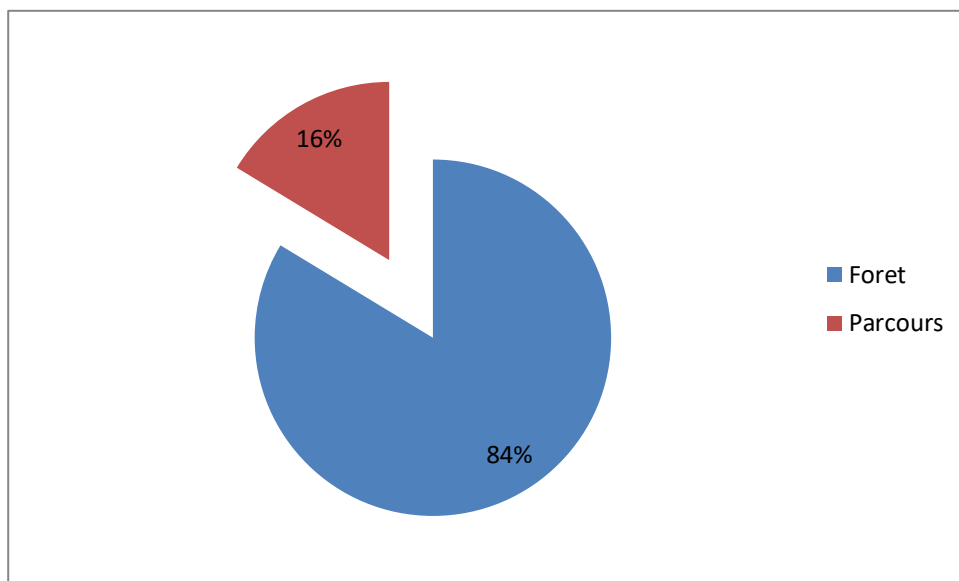


Figure 63: Classes d'occupation du sol dans Boutmezguida en 1998 en pourcentage

b. Situation en 2021

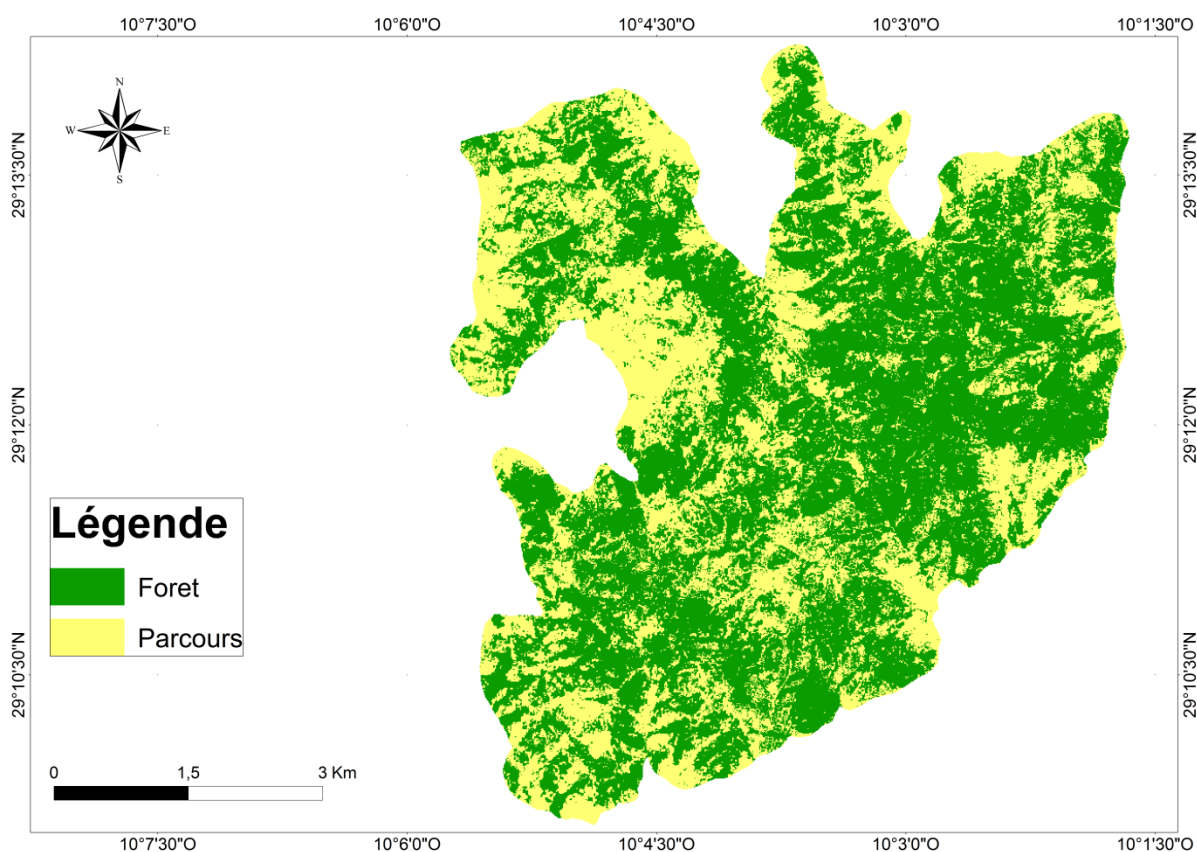


Figure 64: Carte d'occupation du sol de la zone centrale Boutmezguida en 2021

La classification a permis de distinguer 2 classes d'occupations des sols :

- Foret,
- Parcours,

L'état de l'occupation du sol est donné dans **le tableau 40 et la figure 64**. La grande superficie est occupée par la forêt avec une superficie de 2685,40 ha. Il est à noter que la superficie occupée par le parcours est de 893,08 ha. Le taux de couverture des parcours est de 25% et la forêt 75% (**figure n°65**).

Tableau 40: Superficie des classes d'occupation du sol de la zone centrale Boutmezguida 2021

Classe	Surface (ha)
Foret	2685,40
Parcours	893,08
Total	3578,48

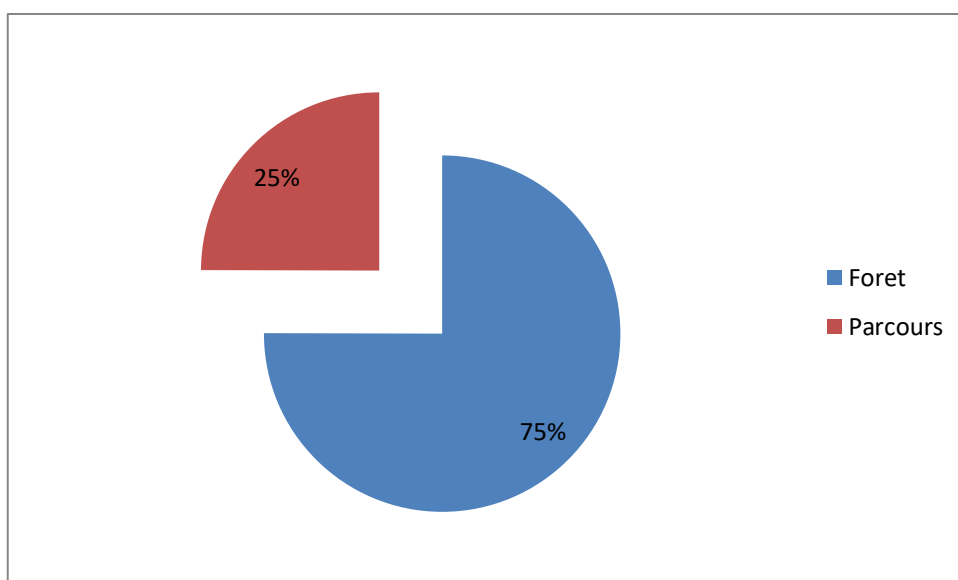


Figure 65: Classes d'occupation du sol dans Boutmezguida en 2021 en pourcentage

2. Dynamique de l'occupation des sols dans la zone centrale Ait Erkha entre 1998 et 2021

a. Situation en 1998

La classification a permis de distinguer 2 classes :

- Forêt,
- Parcours

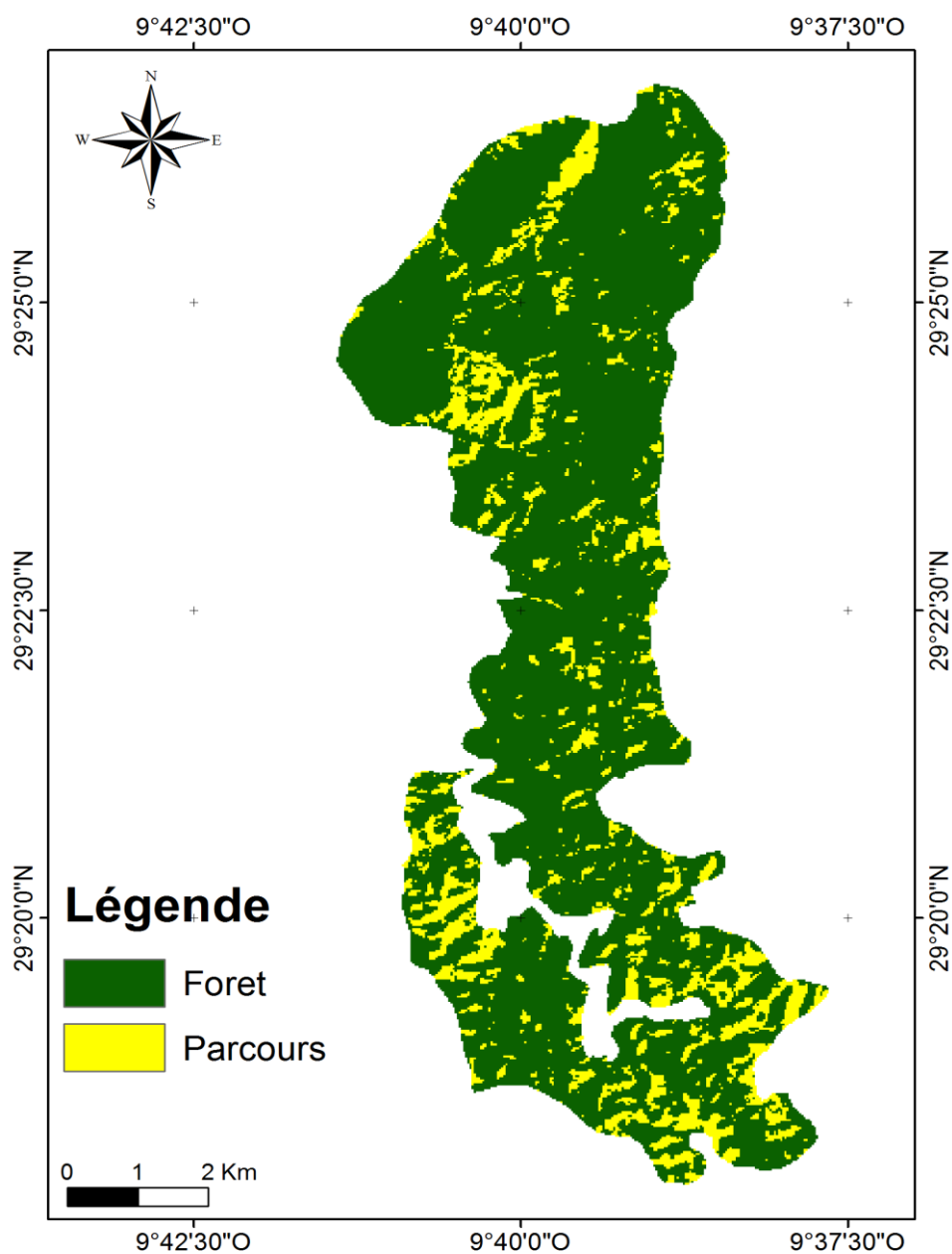


Figure 66: Carte d'occupation du sol de la zone centrale Aiterkha en 1998

La situation de l'occupation du sol est donnée dans **le tableau 41 et la figure 66**. La grande superficie est occupée par la forêt avec une superficie de 4312,81 ha. Il est à noter que la superficie occupée par les terrains de parcours est de 344,65 ha. Le taux de couverture de la classe forêt est de 93% et 7% pour la classe parcours (**figure 67**).

Tableau 41: Superficie des classes d'occupation du sol de la zone centrale Aiterkha en 1998

Classe	Surface (ha)
Forêt	4312,81
Parcours	344,65
Total	4657,46114

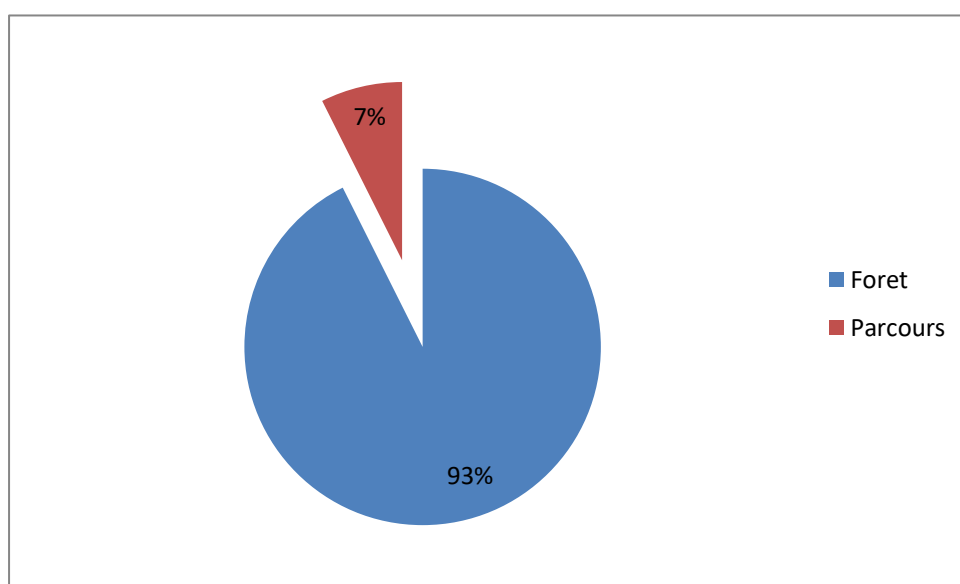


Figure 67: Classes d'occupation du sol dans Aiterkha en 1998 en pourcentage

b. Situation en 2021

La classification a permis de distinguer 4 classes :

- Agriculture,
- Forêt,

- Parcours,

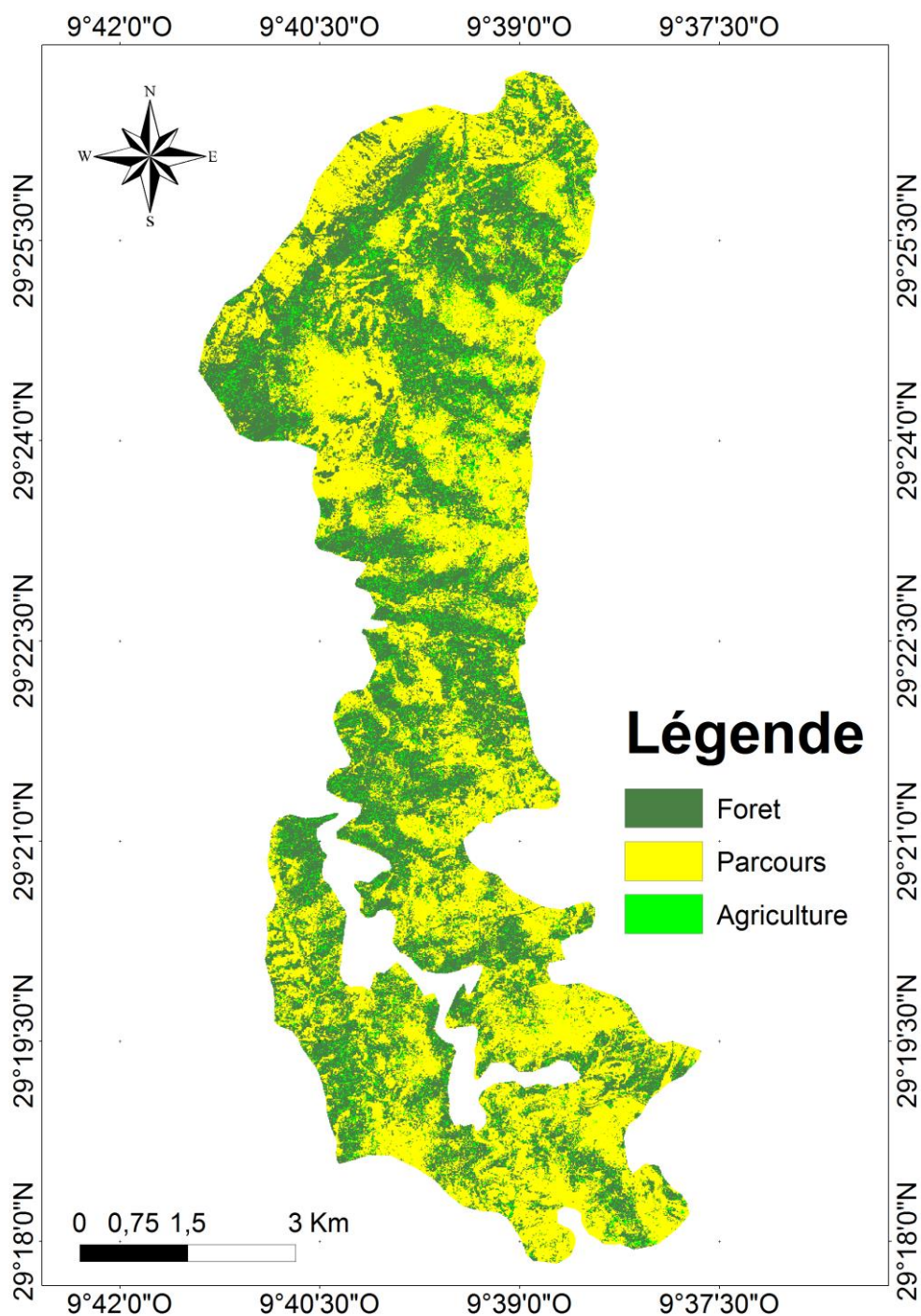


Figure 68: Carte d'occupation du sol de la zone centrale Aiterkha en 2021

La situation de l'occupation du sol est donnée dans **le tableau 42 et la figure 68**. La grande superficie est occupée par la forêt avec une superficie de 3404,75 ha. Il est à noter que la superficie occupée par les terrains de parcours est de 1041,86

ha et l'agriculture occupe 210,85 ha. Le taux de couverture de la classe forêt est de 73%, 22% pour la classe parcours et 5% pour l'agriculture (**figure 69**).

Tableau 42: Superficie des classes d'occupation du sol de la zone centrale Aiterkha en 2021

Classe	Surface (ha)
Forêt	3404,75
Parcours	1041,86
Agriculture	210,85
Total	4657,46114

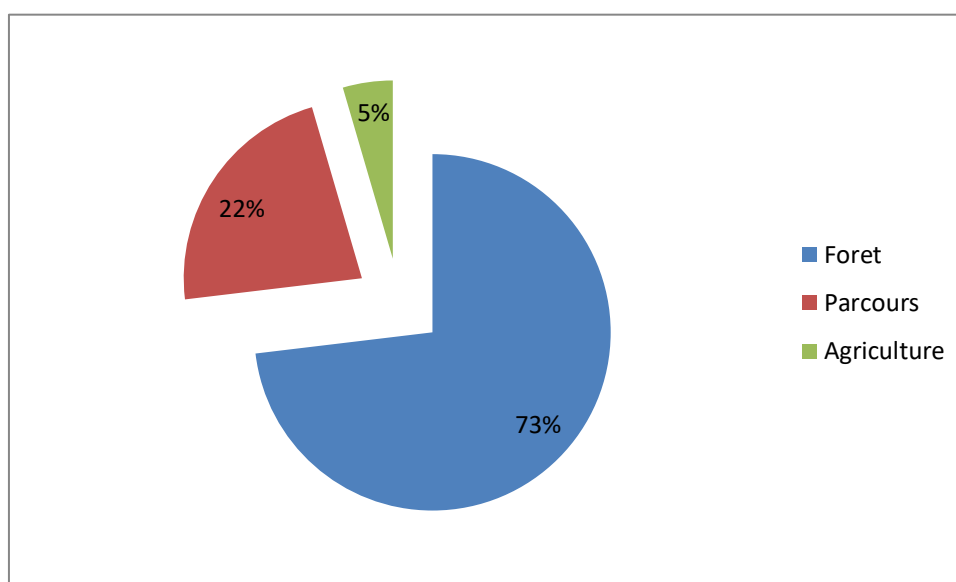


Figure 69: Classes d'occupation du sol dans Aiterkha en 2021 en pourcentage

3. Détection et caractérisation des changements dans les deux zones centrales entre 1998 et 2021

a. Zone centrale Boutmezguida

L'analyse des données (**Tableaux 43 et figure 71**) indique qu'une seule occupation de terre a connu une évolution régressive entre 1998 et 2021, forêt, avec -10,31%. Cela représente pour cette occupation, une régression de 308,97 ha en 23 ans. Par contre le parcours a connu une augmentation de 308 ha. La

perte en superficie de la strate forêt a favorisé le gain en superficie pour les terrains de parcours (**figure 70**).

Tableau 43: Evolution des unités d'occupation du sol dans la zone centrale Boutmezguida entre les années 1998 et 2021

Classe	Surface (ha) en 1998	Surface (ha) en 2021	Dynamique entre 1998 et 2021 en (ha)	Evolution moyen annuel (ha)
Foret	2994,37	2685,40	-308,97	-13,43
Parcours	584,12	893,08	308,97	13,43

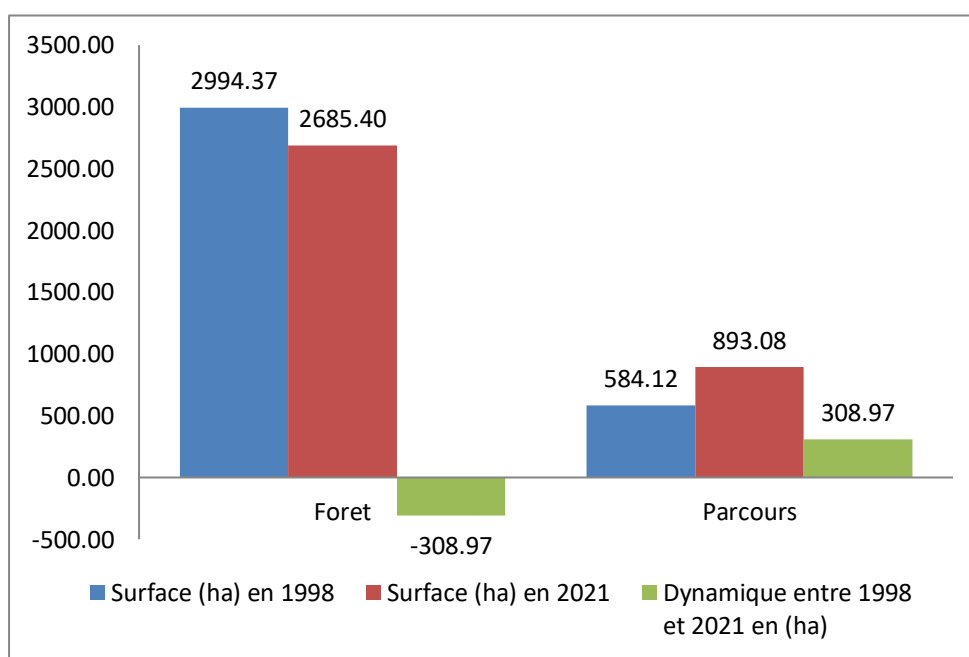


Figure 70: Evolution des occupations du sol dans la zone centrale Boutmezguida entre 1998 et 2021

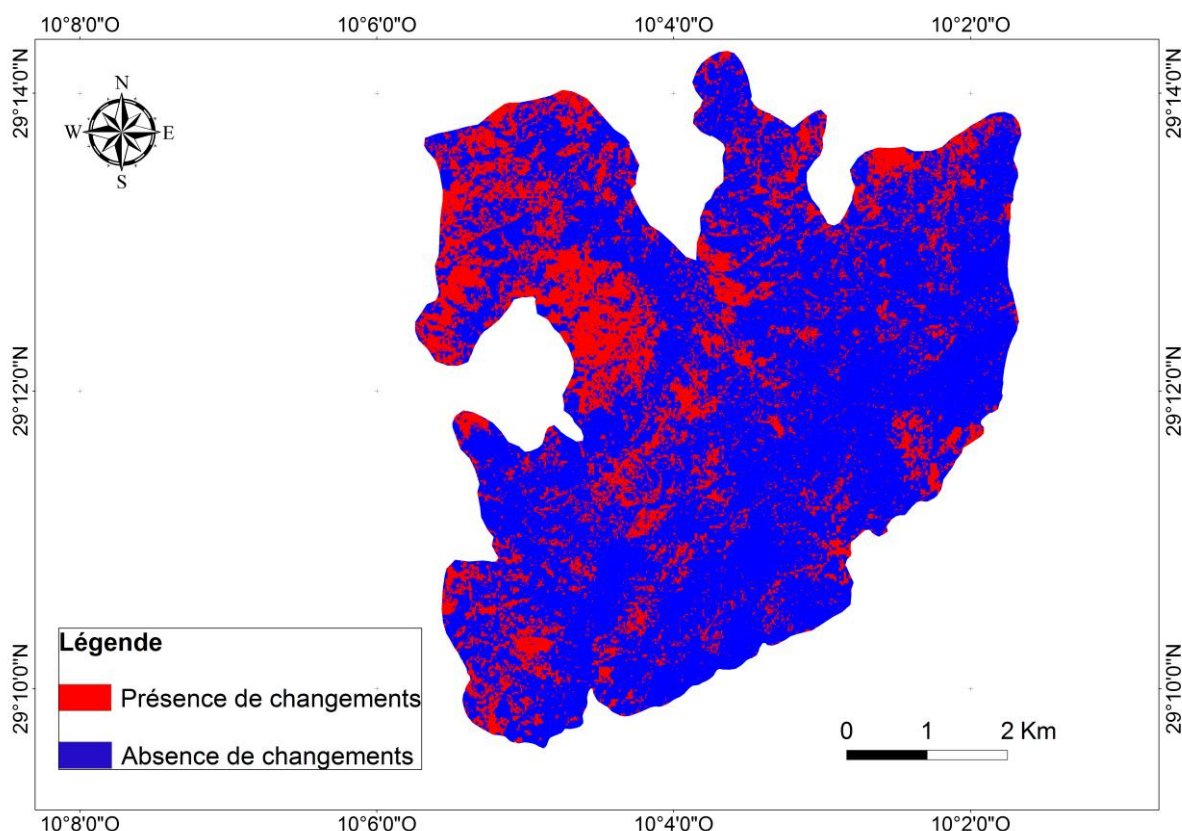


Figure 71: Carte des changements d'occupation du sol dans la zone centrale Boutmezguida entre 1998 et 2021

b. Zone centrale Aiterkha

L'analyse des résultats (**Tableaux 44 et figure 73**) indique qu'une seule occupation de terre a connu une évolution régressive entre 1998 et 2021, forêt, avec -21,05%. Cela représente pour cette occupation, une régression de 908,06 ha en 23 ans. Par contre le parcours a connu une augmentation de 697,21 ha et l'agriculture une augmentation de 210,85 ha. La perte en superficie de la strate forêt a favorisé le gain en superficie pour les terrains de parcours et les terrains agricoles (**figure 72**).

Tableau 44: Evolution des unités d'occupation du sol d'Aiterkha entre les années 1998 et 2021

Classe	Surface (ha) en 1998	Surface (ha) en 2021	Dynamique entre 1998 et 2021 en (ha)	Evolution moyen annuel (ha)
Forêt	4312,81	3404,75	-908,06	-39,48

Parcours	344,65	1041,86	697,21	30,31
Agriculture	0	210,85	210,85	9,17

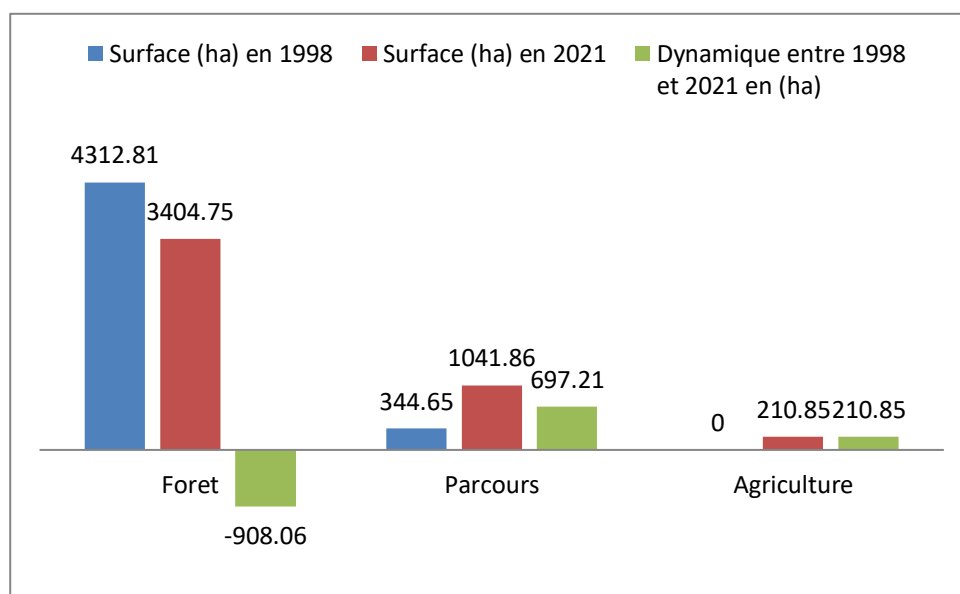


Figure 72: Evolution des occupations du sol dans la zone centrale Aiterkha entre 1998 et 2021

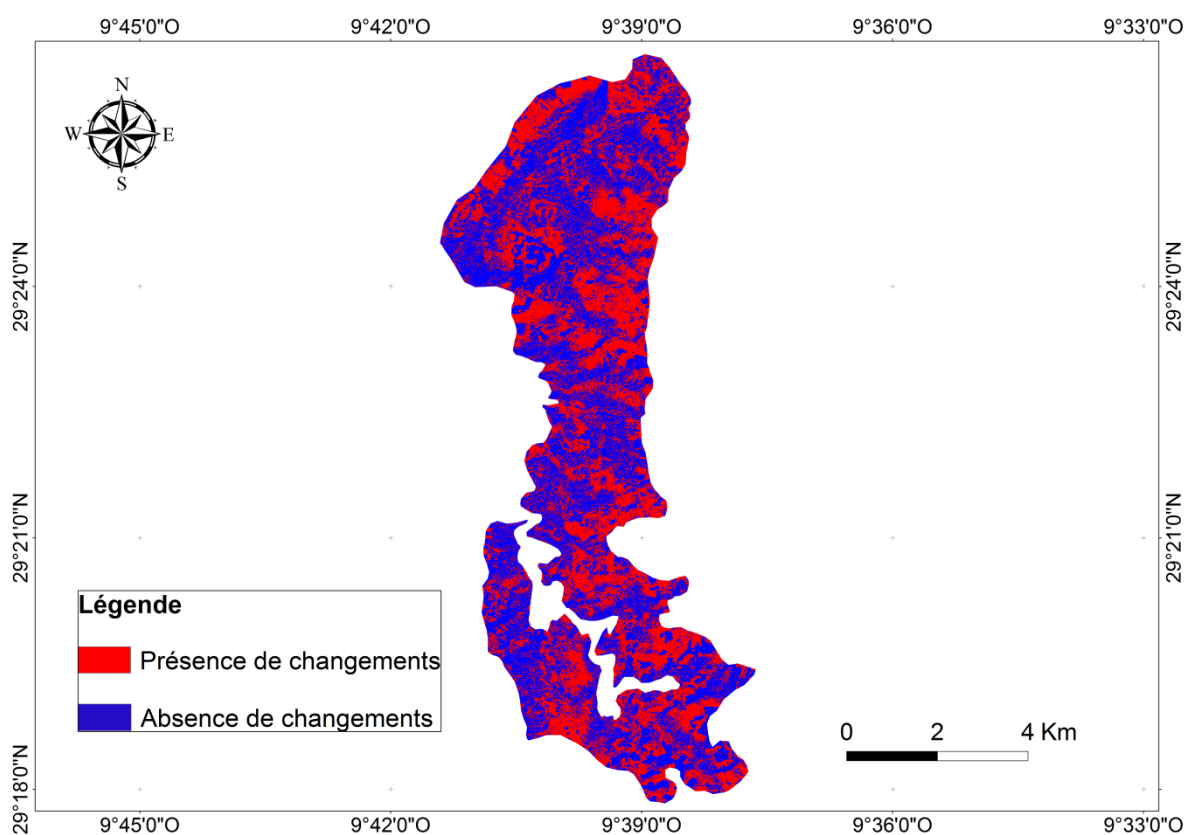


Figure 73: Carte des changements d'occupation du sol dans la zone centrale Boutmezguida entre 1998 et 2021

c. Discussion

La culture, notamment du cactus, participe à la transformation des milieux naturels en zone cultivées dans la zone centrale de Boutmezguida. Il s'agit d'une culture à fort potentiel économique dans la région, ce qui incite la population locale à chercher de nouveaux terrains pour étendre la production.

La faune, la flore, et les habitats naturels du SIBE d'Ait Erkha sont menacés principalement par :

- Les activités agricoles, qui remplacent les habitats naturels par d'autres artificiels ;
- Le sylvo-pastoralisme qui n'est pas bien réparti sur le territoire. Certaines zones sont surpâturées ;
- La transhumance : le SIBE d'Ait Erkha accueille plusieurs nomades disposant de cheptels dont les effectifs dépassent largement la capacité d'accueil du site et qui engendrent une surexploitation des ressources végétales ;
- Les mauvaises pratiques d'exploitation du thuya ;
- Les prélèvements de bois sur pied ;
- L'arrachage des plantes médicinales présentes dans le SIBE sans aucun plan de gestion.

Les facteurs d'influence d'origine naturelle constituent parfois une menace sur les valeurs d'un espace naturel et peuvent amplifier le degré d'influence des menaces d'origine anthropique. Ils sont principalement associés au changement climatique et aux événements climatiques, parfois extrêmes. Il s'agit notamment :

- Des contraintes bioclimatiques : irrégularité des précipitations avec période de sécheresse prononcée ;
- De l'érosion des sols qui induit une diminution du couvert végétal et la dégradation de la biodiversité floristique ;

Conclusion générale

Dans un premier temps la présente étude a porté sur l'évaluation des stocks de carbone organique dans les différentes composantes (Biomasse aérienne, Biomasse souterraine, Nécromasse et Sol) dans l'écosystème de l'arganier de la zone sud de la RBA. Pour ce faire, nous avons choisi deux sites à savoir Boutmezguida et Aiterkha. La stratification était faite par le zonage de la RBA (Centrale, tampon et transition). Les placettes ont été réparties d'une manière aléatoire, nous avons pris 10 placettes pour chaque zone soit 60 placettes au total. Les modèles de biomasse établis par la DREFLCD de SO pour la forêt de Dir en 2016, nous a permis d'estimer la biomasse aérienne et souterraine. La conversion de la masse sèche nous a permis d'estimer le stock du carbone. Pour le stock du carbone dans le sol a été calculé en tenant compte de la densité apparente, la concentration du carbone organique du sol et la profondeur du sol sur 30 cm.

L'utilisation des modèles carbomasse et l'extrapolation des résultats à l'échelle des peuplements étudiés via les données d'inventaire réalisé a permis d'estimer les stocks de carbone organique pour chaque zone. En effet, Le sol est le principal réservoir du carbone dans ces écosystèmes il détient entre 80% et 95% du stock total du carbone organique selon les zones. Le stock le plus élevé est constaté dans la zone tampon Aiterkha (53,86 tC/ha) et le plus bas est constaté dans la zone tampon Boutmezguida (36,22 tC/ha). La biomasse constitue le deuxième réservoir du carbone (entre 4% et 19% du carbone total) variant de 1,86 à 12,79 tC/ha. La nécromasse vient en dernier lieu (entre 1 et 2% du carbone total), variant de 0,54 à 0,89 tC/ha. Le stock total du carbone varie entre 38,63 et 53,46 tC/ha dans le site de Boutmezguida, et entre 49,39 et 66,44 tC/ha pour le site Aiterkha. L'analyse de la variance pour la biomasse, la nécromasse et le sol a montré que le zonage n'a pas d'effet pour le stockage de carbone au niveau de la biomasse et la nécromasse mais il a un effet significatif pour le SCOS.

Dans un second lieu, ce travail a étudié la dynamique des occupations des sols et du stock de carbone entre 1998 et 2021 d'abord pour la RBA ensuite pour la zone sud de la RBA et enfin pour les deux zones centrale Boutmezguida et Aiterkha.

Les résultats de cette évaluation au niveau de la RBA ont montré que deux occupations des terres ont connu une évolution régressive entre 1998 et 2021, parcours et sol nu, avec respectivement -3,81%, -10,46%. Cela représente, respectivement, pour les deux occupations, une régression de 71 556 ha et 32 117 ha en 23 ans. Par contre l'agriculture et les forêts ont connus une augmentation de, respectivement, 85 123 ha et 13 800 ha. Au niveau de la zone sud de la RBA une seule occupation de terre a connu une évolution régressive entre 1998 et 2021, sol nu, avec -3,28%. Cela représente pour cette occupation, une régression de 14 093 ha en 23 ans. Par contre l'agriculture, parcours et les forêts ont connus une augmentation de, respectivement, 7 857 ha, 5 217 ha et 910 ha. En général et à l'échelle de la zone sud de la RBA, le stock du COS est stable. Entre 1998 et 2015, l'évolution du stock du COS n'est que de 0,7%. On note que 99,69% de la surface de la zone sud de la RBA ait un stock COS stable. Les surfaces ayant connu une amélioration de leur stock de COS représenteraient 0,20% et celles ayant connu une dégradation sont de 0,11%.

Au niveau de la zone centrale Boutmezguida, la forêt a connu une dynamique régressive en faveur des terrains de parcours avec -10,31%, cela représente pour cette occupation, une régression de 308,97 ha. Au niveau d'Aiterkha la forêt a connu une dynamique régressive avec -21,05%. Cela représente pour cette occupation, une régression de 908,06 ha en 23 ans. Par contre le parcours a connu une augmentation de 697,21 ha et l'agriculture une augmentation de 210,85 ha.

A la lumière de tout ce qui précède, nous recommandons ce qui suit :

- Matérialiser les zones centrales pour qu'elle soit bien définie aux usagers
- Sensibiliser et définir le zonage de la RBA aux acteurs locales car il n'est pas généralement reconnu et les sensibiliser sur le rôle de la séquestration du carbone dans l'atténuation du changement climatique ;
- Instaurer la régénération artificielle au moins dans les zones centrales qui sont constituées généralement par des vieux arbres ;
- Attribution d'un statut réglementaire adapté et classement du SIBE d'Ait Erkha et Boutmezguida comme réserve biologique ou parc naturel ;

- Conservation des eaux et sol, notamment freiner l'érosion des sols.
- Mise en place de recherches sur les effets du changement climatique sur l'évolution des milieux forestiers des zones centrales.

Références bibliographiques

- Anonyme.2020.** Réserve de Biosphère des Arganeraies. Site officiel de l'ANDZOA.
- ANALY C. 2019.** Apport du SIG et de la modélisation pour la caractérisation des écosystèmes de l'arganeraie en vue de leur conservation et utilisation durable. Projet de Fin d'Etudes pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Agronomie, IAV Hassan II, 12 p.
- Aboutayeb H. 2014.** La réserve de biosphère de l'arganeraie: un nouvel Eco-territoire touristique au sud du Maroc. PASOS. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural.
- Aammou K., 2013.** Estimation de la phytomasse foliaire des futaies adultes de l'arganier et sa valeur fourragère dans le versant sud d'Amsitten (Commune Rurale d'Imgrad). Mémoire de 3ème cycle, ENFI, Salé, Maroc, 98 p.
- Arrouays D., Balesdent J., Germon J.C., jayet P.A., Soussana J.F. &Stengel P. (2002).** Stocker du carbone dans les sols agricoles de France, Expertise scientifique collective. Edition INRA. 332p.
- Audet-Giroux G.(2021).** La séquestration du carbone dans les écosystèmes de la forêt boréale selon les traitements sylvicoles. Mémoire à l'université LAVAL. 1-5 p.
- Benzyane M. et Khatouri M., 1991.** Estimation de la biomasse des peuplements d'arganier dans le plateau de Haha (Essaouira- Maroc). Ann. Rech. For. Maroc, 128-140 pp.
- Belalite H, 2019.** Géochimie des enveloppes superficielles. 1 p. (http://geo.univ-batna2.dz/sites/default/files/geo/files/cycle_de_carbone.pdf)
- Belghazi B., 1990.** Etude de l'écologie et la productivité du pin maritime (Pinus pinaster var. Maghrebiana) en peuplement artificiels au Nord du Maroc, thèse de Doctorat ès-sciences Agronomiques, IAV. Hassan II, Rabat, 189 p.
- Belghazi T., 2013.** Typologie de l'arganeraie et estimation de la biomasse aérienne des taillis d'arganier (Plateau des Haha-Essaouira, Maroc), Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de docteur en sciences agronomiques et ingénierie biologique, Université Catholique de Louvain Faculté d'ingénierie biologique, agronomique et environnementale, 128 p.
- Boulmane M., Makhloufi M., Bouillet J.P., Saint-André L., Satrani B., 2010.** Estimation du stock de carbone organique dans les Quercus ilex du Moyen Atlas Marocain. Acta Botanica Gallica. 157, 451-467.

- DEF. 2019.** Réserve de Biosphère : un concept et une reconnaissance internationale. Site officiel de DEF.
- DEF., 2018.** Evaluation Décennale de la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie 2008 - 2017 et Elaboration du Nouveau Plan d'Action 2018 – 2027. 170 p.
- DEF., 2020.** Étude pour l'élaboration du Plan d'Aménagement et de Gestion (PAG) du SIBE de Ait Erkha. Mission III : Plan d'aménagement et de gestion et programmes d'actions. 66 p.
- DEF., 2020.** Étude pour l'élaboration du Plan d'Aménagement et de Gestion (PAG) du SIBE de Boutmezguida. Mission II : Schéma de stratégie générale d'intervention. 19 p.
- DEF., 2016.** Etude d'aménagement de la forêt de Dir, Volume 1 : Procès Verbal d'Aménagement. DREFLCD-SO, 77p.
- EL MDERSSA M. (2019).** Evaluation quantitative et qualitative du potentiel de stockage de carbone dans les composantes (Peuplements forestiers et sols) des écosystèmes forestiers du Moyen Atlas central dans le contexte des changements climatiques. Thèse de doctorat, faculté des sciences de Meknès, 6 p.
- Emberger L. 1925.** Le domaine naturel de l'arganier. Bulletin de la Société Botanique de France, 771 p.
- El Fasskaoui B. 2009.** Fonctions, défis et enjeux de la gestion et du développement durables dans la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie (Maroc). Etudes caribéennes, 2-3 p.
- Emmeline S. 2012.** Genre et changement climatique Panorama. Bridge devlopment-Gender.
- Godron M., 1976.** Les échantillonnages phytoécologiques. Note n°8, CNRS-CEPE Louis Emberger, 23p.
- Godron M., 1971.** Essai sur une approche probabiliste de l'écologie des végétaux. Thèse Doct. Es Sc. Nat., USTL, Montpellier, 247 p.
- GIEC, 2013.** Changements climatiques 2013. Les éléments scientifiques. Résumé à l'intention des décideurs. Rapport du Groupe de travail I du GIEC. Résumé technique.
- GIEC, 2014.** 5ème rapport du GIEC sur les changements climatiques et leurs évolutions futures. Partie 2 : Impact, adaptation et vulnérabilité.

- GIZ (2013).** Adaptation au Changement climatique basée sur les Écosystèmes forestiers. Semaine forestière méditerranéenne (III SFM), du 17 au 21 mars, Tlemcen, Algérie.
- Hairiah K., Sitompul S.M., van Noordwijk M., et Palm C., 2001.** Methods for sampling carbon stocks above and below ground. International Centre for Research in Agroforestry. Bogor, Indonesia. 32p.
- ILMEN R et BENJELLOUN H. 2013.** Les écosystèmes forestiers marocains à l'épreuve des changements climatiques. Forêts méditerranéens.
- ITSMAIL S et BOUIZEDKANE A. 2019.** Entre écotourisme et économie du tourisme : cas de la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie. Quelle contribution au développement socioéconomique de la région ? Actes de la conférence internationale sur les ENJEUX et PERSPECTIVES ÉCONOMIQUES en AFRIQUE FRANCOPHONE, 627 p.
- JANCOVICI J. (2019).** Le réchauffement climatique (le changement climatique) : réponse à quelques questions élémentaires. 82 p.
- Krichi M. (2017).** Gouvernance locale et résilience : Cas de l'arganeraie au Maroc. Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.). 11-13p.
- Mahamane I., 2006.** Etude de l'impact des transformations des écosystèmes forestiers sur le stockage du carbone dans la biomasse et dans le sol (cas du Bassin Versant de l'Oued Bouregreg Oulmès). Mémoire de 3ème cycle, ENFI, Salé. 117p.
- Marouch R., 2013.** Evaluation de la phytomasse foliaire et de la qualité fourragère des futaies adultes d'arganier pur, des forêts au sein des 3 communes rurales du versant nord de Jbel Amsitten : Smimou, Imin tlit et Ida ou azza. Mémoire de 3ème cycle, ENFI, Salé, Maroc, 124 p.
- MTE. (2017).** Chiffres clés du climat. Ministère de la transition écologique, France. 10 11 16 p.
- Ministère Délégué auprès du Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement Chargé de l'Environnement. (2016).** 3^{ème} Communication Nationale du Maroc à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques. 22-25p
- MacDicken K. 1997.** A guide to Monitoring Carbon Storage in Foresty and Agroforestry Projects. Forest Carbon Monitoring Program. Winrock International Institute for Agricultural Development, 92 p.

- NAGGAR M. 2018.** La gestion durable de l'arganeraie et les enjeux de lutte contre la désertification. Revue espace géographique et société marocaine, 86p.
- Oudaha Y., 2007.** Estimation de la biomasse des jeunes rejets d'arganier dans le plateau des Haha (Province d'Essaouira). Mémoire de 3ème cycle, ENFI, Salé, Maroc, 69 p.
- Ouswati S. 2016.** Estimation de la biomasse et du stock de carbone dans un jeune peuplement d'arganier dans la région d'Essaouira. MEMOIRE DE STAGE DE FIN D'ETUDES. Master "Gestion des Écosystèmes et Biologie de la Conservation", Faculté des Sciences Semlalia. 26-28 p.
- Oukemmou Y. 2020.** Contribution à l'évaluation de la dynamique des occupations des terres dans les zones centrales de la réserve de biosphère de l'arganier. Mémoire de 3ème cycle à l'école nationale forestière d'ingénieurs. 72-75 p.
- Pansu M., 2006.** Chimie du sol et modélisation du cycle du carbone et de l'azote. Thèse, Université de Bourgogne, 210 p
- Pearson T., Brown S., 2005.** Exploration du potentiel de séquestration du carbone dans les forêts classée de la République de Guinée : Guide de Mesure et de Suivi du Carbone dans les Forêts et Prairies Herbeuses. Winrock International, Arlington, VA, USA. 39p.
- Rhoufacha M. 2021.** Effet de l'âge des peuplements de chêne-liège de la forêt de la Maâmora sur les différents réservoirs du stock du carbone. Mémoire de 3ème cycle à l'école nationale forestière d'ingénieurs. 67-83 p.
- Sabir M., Roose E., 2004.** Influences du couvert végétal et des sols sur le stock de carbone du sol et les risques d'érosion et de ruissellement dans les montagnes méditerranéennes du Rif Occidental (Maroc). Coll. intern gestion de la Biomasse, Erosion et séquestration du Carbone au Centre Agropolis Montpellier. Bulletin du Réseau Erosion 23, 144-154
- Suchet P. (2013).** Le cycle biogéochimique du carbone. 25-26 p.
(https://new.societechimiquedefrance.fr/wp-content/uploads/2019/12/2013-371-372-fev.-mars-p25-Amiotte_HD.pdf)
- UNESCO 2021.** Programme sur l'Homme et la biosphère (MAB).
(<https://fr.unesco.org/biosphere/wnbr>)

Annexes

Annexe 1: Fiche d'inventaire par placette

PLACETTE N° :			ZONE :			
Arbre n°	Régime	C 1,30 (cm)	H (m)	Nombre de brins (/ cépée)	Diamètre De la couronne	
					D1	D2

Annexe 2: Mesures de la matière sèche dans la nécromasse

ZONE :		
Strate	Poids frais (g)	Poids sec (g)
Litière		
Bois mort		

Annexe 3: Cumul annuel des précipitations (mm) entre 1984 et 2021 dans la station météorologique Agadir-Inezgane

Année	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Cumul annuel
1984 85	2,5	0	81,3	25,1	142,8	12	1,6	3,4	7,8	0	0	0	276,5
1985 86	0	0,1	12,9	32,5	0,4	108	50,4	26,4	0	1,7	0	0	232,4
1986 87	7,2	4,4	6,7	0,3	54,7	81,4	5,1	1	9,9	0	0	1	171,7
1987 88	3,3	76,2	11,3	206,2	70,4	47	45,8	0	7,5	2,1	0,1	0	469,9
1988 89	1,2	60,3	170,2	0	28,3	10,8	10	34,9	0	0	0	0,3	316
1989 90	0	31,6	127,4	95,6	4,8	0	37,1	23,4	0	0	0,6	0	320,5
1990 91	0	3,5	6,9	113,3	0,6	79,4	54,9	5,5	0	0	0,3	0	264,4
1991 92	5	9,5	6,9	42,4	0,1	7,9	1,7	19,2	0,1	0	0	0	92,8
1992 93	0	13,5	0	3,2	58,2	0,8	39,2	0	13,4	0	0	0	128,3
1993 94	0,4	48,7	57,4	1	13,5	14,1	27,8	0,7	0,4	0,2	0	0	164,2
1994 95	0,9	4	4,4	9,9	0	21,4	74,6	6	0	0,6	0	0,1	121,9
1995 96	3,2	12,6	111,6	155,2	178,9	33,2	109,6	4,7	35,6	12,2	0	0	656,8
1996 97	0	8,4	47,2	221,4	77,9	0	0,6	39,5	0	0	0	0,3	395,3
1997 98	0,5	29,1	17,9	73,4	115,4	68,5	18,6	0,9	0,3	0	0	0	324,6
1998 99	0	0	2,7	30,5	32,9	1,5	100	2,4	1	0	0	4	175
1999 00	0,8	64,9	6,6	18,2	10,8	0	0	48,1	1,2	0	0	0	150,6
2000 01	0	0,9	0,5	108,3	11,6	0	3,4	0	0	0	0	0	124,7
2001 02	22	0	15,2	75,7	0,5	14,1	91,3	41,9	0	0	1,6	0,7	263
2002 03	0	0,3	87,8	59,5	0	13,1	10,9	11,1	0	0	0	7,8	190,5
2003 04	0	22,6	66,1	44,2	0,5	46,6	38	3,7	7,8	0	0	0	229,5
2004 05	0	24,5	74,2	30,9	0	66,9	24,4	0	0	0	1	0	221,9
2005 06	0	31,3	10,7	57,9	115,2	16,7	7,5	11,2	2,4	1,5	0	0	254,4
2006 07	0	34,1	18,7	0	11	23,6	2,5	0	0	0	0	11,8	101,7
2007 08	0,3	1,3	44,2	27,6	6,6	6,9	0,4	2,2	1,9	0	2,3	0,2	93,9
2008 09		37,6	56,9	22,2	18,7	175,6	10,3	0	0	0	0	0	321,3

2009 10	0,8	0,2	0	229,4	94,6	212,5	30,1	23,7	4,2	7,2	0	51,3	654
2010 11	2	16,1	89,3	99,3	84,3	3,5	71	113,4	51,5	0	0	0,2	530,6
2011 12	0,2	18,3	41,3	0	18,7	0	0	8,1	0	0	0	0,2	86,8
2012 13	51,5	96	44,6	0	4,7	13,7	84,3	24,7	0	0	0	0	319,5
2013 14	2,7	0,6	0,2	5,3	46,3	3,4	19,2	28,7	0,1	0	0	0	106,5
2014 15	4,9	0	287,1	0,8	7,6	0	37,7	0	0,6	0,1	0	13,3	352,1
2015 16	5,7	72,4	0	0	0,5	29,6	5,5	1,1	17,2	0	0	3,7	135,7
2016 17	0	20	56,4	40,1	11,9	118,2	0,8	0	2,2	0,5	0	0	250,1
2017 18	0	0,5	13,2	23,9	16,9	30,9	67	9,1	0	0,3	0	0	161,8
2018 19	3,1	65,2	63,8	0	0	1,6	2,8	3,8	0	0	0	0,4	140,7
2019 20	0,2	0	0,2	39,3	8,6	0	3,8	3,1	21,5	0	0,1	0	76,8
2020 21	0,1	2,6	44,6	2,4	53	25,9	2,6	0,8	0	0,2	0,1	0	132,3