



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 Nord de la RBA)**

MEMOIRE DE 3^{ème} CYCLE

Présenté par : Mr. OUTAASSOUTE SAMIR

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

OPTION : Gestion des Parcs Nationaux(GPN)

Soutenu publiquement le 28 Juin 2022 à 9h00 devant le jury:

MM :

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

Dédicaces

A celle qui représente pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

A ma très chère mère

A celui qui attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation, rien au monde ne vaut les efforts qu'il a fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien-être.

A mon très cher père

A celle que j'ai aimée, j'aime et j'aimerai toujours. Que Dieu réunisse nos chemins pour un long commun serein et que ce travail soit témoignage de ma reconnaissance et de mon amour sincère et fidèle.

A Ikouza

A ceux qui ont sacrifié tant de choses pour que je puisse terminer mes études. Vous êtes toujours présents dans mon cœur, vous étiez et vous resterez les plus chers.

A mes très chers frères Mohammed, Haddou, Hafid et Mounir.

A mon cher cochambreur, frère, et ami, **EL HADEK Mouad**. Ton amitié m'est si précieuse que je ne voudrais pas l'entacher.

A mes chers amis de l'équipe « cosme »: Said, Mouad, Hassan et Amine

Je ne trouve pas les mots pour vous remercier pour tout ce que vous m'avez fourni, votre aide, votre soutien et votre amour. Pour tous vos encouragements qui n'ont cessé de m'épauler tout au long de ce travail, je vous dis que je vous aime énormément et puisse Dieu vous procurer santé, bonheur, et réussite.

A tous les membres de la 51^{ème}, 52^{ème}, 53^{ème} promotions de l'ENFI.

Remerciements

Ce travail n'a pu être entrepris et achevé que grâce au concours de nombreuses personnes que je suis particulièrement heureuse de remercier ici.

Ma profonde gratitude va au **Pr Mohammed SABIR**, enseignant-chercheur à L'E.N.F.I, qui a bien voulu assurer l'encadrement de cette étude et qui n'a pas cessé de me guider et d'orienter de très près les différentes phases de ce travail, tout en consacrant le temps nécessaire avec une modestie sans égale. La grande qualité de ses conseils tant sur le plan pratique que scientifique m'a été d'un soutien inestimable. Qu'il trouve ici l'expression de tous mes respects.

Je tiens à adresser aussi mes vifs remerciements au **Dr Jamal HALLAM**, pour les critiques et le soutien qu'il a apporté à ce travail. Qu'il en soit vivement remercié et qu'il trouve à travers ces mots ma profonde reconnaissance pour sa disponibilité sans faille.

Pr Hassan BENJELLOUN, enseignant-chercheur à l'ENFI pour l'honneur qui m'a accordé en acceptant de présider ce jury et d'enrichir le présent travail par ses suggestions constructives. Qu'il trouve ici l'expression de mes meilleurs sentiments.

Je tiens à adresser aussi mes vifs remerciements au **Pr Hafida ZAHER**, enseignante chercheur à l'ENFI, qui a bien voulu examiner ce travail et qui n'a ménagé aucun effort pour me guider et m'orienter durant toutes les phases de réalisation de ce travail. Qu'elle trouve ici l'expression de ma vive gratitude.

Pr HLAL Elaid, Enseignant chercheur à l'ENFI, qui a accepté d'examiner ce présent travail. Je le remercie d'avoir participé à ma formation. Qu'il reçoive à travers ces lignes l'expression de ma profonde gratitude.

Mes remerciements vont aussi au **Pr Bakhiyi BELGHAZI**, Enseignant chercheur à l'Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, qui m'a fait l'honneur de bien vouloir accepter d'examiner ce travail et de l'enrichir par ses connaissances et suggestions constructives. Qu'il trouve ici l'expression de mes meilleurs sentiments.

Enfin, je tiens à remercier INRA- Agadir dont laquelle j'ai eu le plaisir de travailler mon mémoire de fin d'étude, pour tous les moyens qu'a mis à notre disposition pour réussir ce travail.

RESUME

Les forêts, en tant que puits du carbone, sont l'une des stratégies d'atténuation envisagées pour faire face aux changements climatiques. Dans ce contexte, la présente étude a été réalisée dans la RBA. L'objectif principal de ce travail est d'évaluer l'effet de la mise en réserve des forêts d'arganier sur le potentiel du stockage du carbone dans les différents réservoirs (Biomasse aérienne, Nécromasse et Sol) dans la zone Nord de la RBA. Mais aussi, d'analyser la dynamique des occupations des sols dans la zone biogéographique du Haut Atlas en général et dans ses zones centrales en particulier. Pour ce faire, l'étude a été menée au niveau de deux sites Aghroud et Ain Asmama avec leurs zones tampons et transitions correspondantes.

Les résultats obtenus montrent que les stocks totaux de carbone sont de 87,77 t/ha et 38,22 t/ha pour les zones centrales, 57,99 t/ha et 62,24 t/ha pour les zones tampons et 26,93t/ha et 60,02 t/ha pour les zones de transitions, respectivement dans le site Aghroud et dans le site Ain Asmama. Les stocks de carbone varient de 91% à 96% dans les sols contre 2% à 7% dans la biomasse et seulement 0,65% à 1,15% dans la nécromasse. Ce qui montre que le sol est le principal réservoir du carbone organique dans les écosystèmes d'arganier. Il ressort aussi des résultats de la présente étude, que la différence n'est pas significative entre les trois zones (centrale, tampon et transition) dans le site Ain Asmama, le surpâturage et la pression anthropique ont affecté significativement le stock du carbone. Cependant, elle est significative dans le site Aghroud entre les trois zones. Donc, le zonage a un effet sur le stock du carbone, la zone centrale est bien conservée avec le stock le plus élevé du carbone total (87,77 tC/ha).

L'analyse de la dynamique des occupations du sol entre 1998 et 2021, dans les deux zones centrales, a montré qu'au niveau d'Ain Asmama, la forêt a connu une dynamique régressive très importante en faveur des terrains de parcours et l'habitation, à cause du surpâturage et la pression de la population. Au niveau de la zone centrale Aghroud, la forêt a connu une légère perte de sa superficie en faveur des terrains peu productifs, ce qui la rend relativement conservée par rapport à la zone centrale Ain Asmama.

Mot clés : Réserve de Biosphère de l'Arganeraie (RBA), zones centrales, stock de carbone, dynamique des occupations du sol, changements climatiques.

ABSTRACT

Forests, as carbon sinks, are one of the mitigation strategies considered coping with climate change. In this context, the present study was carried out in the RBA. The main objective of this work is to assess the effect of the setting aside of argan forests on the potential of carbon storage in the different reservoirs (Aboveground Biomass, Necromass and Soil) in the northern area of the RBA. But also, to analyze the dynamics of land occupations in the biogeographic zone of the High Atlas in general and in its central areas in particular. To do this, the study was conducted at two sites Aghroud and Ain Asmama with their corresponding buffer zones and transitions.

The results obtained show that the total carbon stocks are 87.77 t/ha and 38.22 t/ha for the core areas, 57.99 t/ha and 62.24 t/ha for the buffer zones and 26.93t/ha and 60.02 t/ha for the transition zones, respectively in the Aghroud site and in the Ain Asmama site. The carbon stocks vary from 91% to 96% in soils against 2% to 7% in biomass and only 0.65% to 1.15% in necromass. This shows that the soil is the main reservoir of organic carbon in argan ecosystems. The results of this study also show that the difference is not significant between the three zones: central, buffer and transition, in the Ain Asmama site, overgrazing and anthropic pressure have negatively affected the carbon stock. However, it is significant in the Aghroud site between the three zones. Thus, zoning has an effect on carbon stock, the central zone is well conserved with the highest total carbon stock (87.77 tC/ha).

The analysis of land use dynamics between 1998 and 2021, in the two central areas, showed that at the level of Ain Asmama, the forest has experienced a very important regressive dynamics in favor of rangelands and housing, due to overgrazing and population pressure. At the level of the central area Aghroud, the forest has experienced a slight loss of its area in favor of land little productive, which makes it relatively preserved compared to the central area Ain Asmama.

Key words: Arganeraie Biosphere Reserve (RBA), central areas, carbon stock, dynamics of land use, climate change.

ملخص

تعتبر الغابات باعتبارها أحواض للكربون، إحدى استراتيجيات التخفيف التي تم النظر فيها للتعامل مع التغيرات المناخية. في هذا السياق، أجريت الدراسة الحالية في محمية المحيط الحيوي لأرغان. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تقييم تأثير محمية المحيط الحيوي لأرغان على إمكانية تخزين الكربون في الخزانات المختلفة (الكتلة الحيوية الجوية ، الكتلة العضوية والتربة) في المنطقة الشمالية من محمية المحيط الحيوي لأرغان. ولكن أيضاً تحليل ديناميكيات استخدام الأراضي في المنطقة الجغرافية الحيوية للأطلس الكبير بشكل عام وفي مناطقها المركزية بشكل خاص. للقيام بذلك ، تم إجراء الدراسة في موقعين هما " أغرود" و"عين أسمامة" مع المناطق العازلة و الانتقالية لكل موقع.

أظهرت النتائج أن إجمالي مخزون الكربون هو 87,77 طن في الهكتار و 38,22 طن في الهكتار للمناطق المركزية، 57,99 طن في الهكتار و 62,24 طن في الهكتار للمناطق العازلة و 26,93 طن في الهكتار و 60,02 طن في الهكتار للمناطق الانتقالية على التوالي في موقع أغرود وفي موقع عين أسمامة. تختلف مخزونات الكربون من 91٪ إلى 96٪ في التربة مقابل 2٪ إلى 7٪ في الكتلة الحيوية و 0,65٪ إلى 1,15٪ فقط في الكتلة الحيوية. كما يتضح من نتائج هذه الدراسة أن الاختلاف ليس واضحاً بين المناطق الثلاثة: المركزية، العازلة، والانتقالية ، في موقع عين أسمامة ، وقد أثر الرعي الجائر والضغط البشري سلباً على مخزون الكربون. ومع ذلك ، فالاختلاف مهم في موقع أغرود بين المناطق الثلاث. لذلك، فإن تقسيم المناطق له تأثير على مخزون الكربون، المنطقة المركزية لهذا الموقع محفوظة جيداً بأعلى مخزون من إجمالي الكربون (87.77 طن في الهكتار).

أظهر تحليل ديناميكيات استخدام الأراضي بين عامي 1998 و 2021 ، في المنطقتين المركزيتين ، أنه على مستوى عين أسمامة ، شهدت الغابة ديناميكية رجعية كبيرة للغاية لصالح المراعي والسكن ، بسبب الرعي الجائر والضغط السكاني. على مستوى منطقة أغرود المركزية ، شهدت الغابة خسارة طفيفة في مساحتها لصالح الأراضي غير المنتجة ، مما يجعلها محمية نسبياً مقارنة بالمنطقة المركزية لعين أسمامة.

الكلمات المفتاحية: محمية المحيط الحيوي لأرغان، المناطق المركزية، مخزون الكربون، ديناميكيات الغطاء الأرضي، التغيرات المناخية.

Sommaire

Dédicaces	ii
Remerciements.....	iii
RESUME	iv
ABSTRACT.....	v
ملخص.....	vi
Liste des tableaux.....	xi
Liste des figures	xiii
Liste des Annexes	xv
Liste des abréviations.....	xvi
Introduction générale	1
PARTIE 1: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	4
Chapitre 1: Le changement climatique	5
1.1. Définition	5
1.2. Gaz à effet de serre.....	5
1.3. Emissions mondiales de gaz à effet de serre.....	6
1.4. Changements climatiques au Maroc	7
1.4.1. Vulnérabilité face aux changements climatiques	8
1.4.2. L'arganier et les changements climatiques.....	8
1.4.3. Inventaire national des émissions de gaz à effet de serre	9
1.4.4. Mesures d'adaptation face aux changements climatiques	10
Chapitre 2 : Dynamique du carbone	12
2.1. Cycle global du carbone.....	12
2.2. Cycle du carbone en forêt	13
2.3. Rôle des écosystèmes forestiers dans le cycle global du carbone et l'évolution du CO ₂ atmosphérique.....	14
2.4. Rôle des sols dans le cycle du carbone	15
2.5. Séquestration du carbone	16
2.5.1. Flux de carbone au niveau de l'arbre	16
2.5.1.1. La photosynthèse : le captage du dioxyde de carbone par l'arbre	16
2.5.1.2. La respiration autotrophe Ra : l'émission de dioxyde de carbone par l'arbre	17
2.5.2. Bilan du carbone dans un peuplement forestier	17
2.5.3. Séquestration du carbone par les sols forestiers	18

Chapitre 3 : la Réserve de Biosphère d'Arganier (RBA)	20
3.1. Présentation générale du MAB et des RB.....	20
3.2. La réserve de biosphère d'arganier	21
3.2.1. Historique de création de la RBA.....	21
3.2.2. Le zonage de la RBA.....	21
3.3. Ecosystèmes à arganier	23
PARTIE 2 : MATERIELS ET METHODES	25
Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude.....	26
1.1. Situation biogéographique de la réserve de biosphère arganeraie (RBA)	26
1.2. Le choix des sites	28
1.3. La situation géographique et administrative de la zone d'étude	30
1.4. Situation forestière de la zone d'étude	32
1.5. Milieu physique.....	32
1.5.1. Géologie et pédologie	32
1.5.2. Topographie.....	33
1.5.3. Conditions bioclimatiques	33
1.5.3.1. Les précipitations	34
1.5.3.2. Les températures	35
1.5.3.3. Hygrométrie	36
1.5.3.4. Le vent.....	37
1.5.3.5. la sécheresse	37
1.6. Milieu naturel.....	38
1.6.1. Biodiversité floristique	38
1.6.2. Biodiversité faunistique	39
1.7. Milieu humain	39
1.7.1. Démographie et répartition de la population	39
1.7.2. Pressions et Menaces liées au milieu humain.....	40
Chapitre 2 : Approche méthodologique	42
2.1. Stratégie d'échantillonnage.....	42
2.1.1. Méthode d'échantillonnage	42
2.1.2. Détermination des strates	42
2.1.3. Taille de l'échantillon.....	44
2.1.4. Répartition des placettes sur le terrain.....	44
2.1.5. Taille et forme de la placette	46

2.2. Méthodes d'estimation des stocks du C	46
2.3. Réservoir 1 : la Biomasse Aérienne (BA).....	47
2.3.1. Échantillonnage des arbres	47
2.3.2. Estimation du volume	47
2.3.3. Estimation de la biomasse ligneuse	48
2.3.4. Estimation de la biomasse foliaire	48
2.3.5. Estimation du stock du carbone	49
2.4. Réservoir 2 : Nécromasse (N)	49
2.4.1. Échantillonnage du bois mort et litière	49
2.4.2. Estimation de la biomasse	50
2.4.3. Estimation du stock du carbone	51
2.5. Réservoir 3 : sol (S)	51
2.5.1. Échantillonnage du sol	51
2.5.2. Analyse du sol	52
2.5.2.2. Carbone organique du sol.....	52
a. Réactifs	53
b. Mode opératoire.....	53
2.5.3. Estimation du stock du carbone du sol	55
2.6. Analyses statistiques	55
2.7. Etude diachronique de l'évolution de l'occupation du sol.....	55
2.7.1. Données utilisées	55
2.7.2. Choix des classes	56
2.7.3. Détection et spatialisation des changements	56
PARTIE 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS	57
Chapitre 1 : Stock de carbone dans les différents réservoirs de carbone	58
1.1. Introduction.....	58
1.2. Stock de carbone dans la biomasse aérienne	58
1.2.1. Estimation de la biomasse aérienne du peuplement d'arganier.....	58
1.2.2. Estimation du stock de carbone	61
1.3. Stock de carbone dans la partie souterraine	65
1.4. Stock de carbone dans la nécromasse	66
1.4.1. Stock de carbone dans le bois mort	66
1.4.2. Stock de carbone dans la litière	68
1.5. Conversion du carbone en dioxyde de carbone	71

1.6. Stock de carbone organique dans le sol (SCOS)	71
1.7. Stock total du carbone et sa répartition dans les réservoirs	76
Chapitre 2 : Etude diachronique de la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie et les zones centrales entre 1998 et 2021	81
2.1. Evolution de l'occupation du sol dans la RBA entre 1998 et 2021	81
2.2. Evolution de l'occupation du sol dans la zone Nord de la RBA entre 1998 et 2021.....	85
2.3. Evolution du Stock du carbone organique du sol dans la zone Nord de la RBA entre 1998 et 2021	89
2.4. La dynamique d'occupation des sols dans les zones centrales : Ain Asmama et Aghroud entre 1998 et 2021.....	93
2.4.1. Dynamique de l'occupation des sols dans la zone Ain Asmama entre 1998 et 2021	93
2.4.1.1. Situation de la zone centrale Ain Asmama en 1998.....	93
2.4.1.2. Etat de la zone centrale Ain Asmama en 2021	95
2.4.1.3. Détection et caractérisation des changements	96
2.4.2. Dynamique de l'occupation des sols dans la zone Aghroud entre 1998 et 2019	98
2.4.2.1. Situation de la zone centrale Aghroud en 1998.....	98
2.4.2.2. Situation de la zone centrale Aghroud en 2021.....	100
2.4.2.3. Détection et caractérisation des changements	101
2.5. Conclusion	103
Conclusion générale	105
Références bibliographiques	108
Annexes.....	114

Liste des tableaux

Tableau 1: Prévision climatique au Maroc en 2015	9
Tableau 2: Classement des zones centrales du Haut Atlas	29
Tableau 3: Situation administrative des zones centrales	30
Tableau 4: Les précipitations moyennes mensuelles et annuelles des stations de la zone d'étude	34
Tableau 5: Température maximales et minimales des stations de la zone d'étude	36
Tableau 6: Synthèses bioclimatiques	36
Tableau 7: Le recensement général de la population et de l'habitat de 2004 et 2014 par province	40
Tableau 8: répartition des placettes au niveau des strates étudiées pour les 2 sites	44
Tableau 9: Tarifs de cubage utilisé dans le calcul des volumes	48
Tableau 10: Caractéristiques des images satellitaires	56
Tableau 11: Les classes d'occupation du sol.....	56
Tableau 12: Biomasse aérienne moyenne selon le zonage dans les 2 sites.....	59
Tableau 13: Comparaison de la biomasse aérienne d'arganier avec d'autres biomasses quantifiées au Maroc	61
Tableau 14: Stock du carbone dans la biomasse aérienne selon le zonage dans les 2 sites	62
Tableau 15: ANOVA 1 stock de carbone aérien dans le site Aghroud	64
Tableau 16: Test Tukey pour le stock du carbone aérien dans le site Aghroud	64
Tableau 17: (ANOVA 1) stock de carbone aérien dans le site Ain Asmama	65
Tableau 18: Stock de carbone souterrain selon le zonage dans les sites étudiés.....	65
Tableau 19: Quantité moyenne de carbone stockée dans le bois mort.....	66
Tableau 20: (ANOVA 1) Bois mort dans le site Aghroud	68
Tableau 21: (ANOVA 1) Bois mort dans le site Ain Asmama	68
Tableau 22: Quantité moyenne de carbone stockée dans la litière.....	69
Tableau 23: (ANOVA 1) la litière dans le site Aghroud.....	70
Tableau 24: (ANOVA 1) la litière dans le site Ain Asmama.....	70
Tableau 25: Quantité de CO ₂ stockée dans les sites étudiés selon le zonage	71
Tableau 26: Stock de carbone organique du sol (SCOS) dans les sites étudiés	72
Tableau 27: (ANOVA 1) le carbone du sol dans le site Aghroud.....	73
Tableau 28: Test Tukey pour SCOS dans le site Aghroud.....	74
Tableau 29: (ANOVA 1) le carbone du sol dans le site Ain Asmama.....	74
Tableau 30: Stock total du carbone dans les réservoirs.....	76
Tableau 31: Evolution de la couverture terrestre dans la RBA entre 1998 et 2021	82
Tableau 32: Matrice d'évolution (conversion) des occupations des terres (ha) dans la RBA entre 1998 et 2021	82
Tableau 33: Résumé des changements de la couverture terrestre, entre 1998 et 2021	83
Tableau 34: Evolution de la couverture terrestre dans la zone Nord entre 1998 et 2021	86
Tableau 35: Matrice d'évolution (conversion) des occupations des terres (ha) dans la zone Nord entre 1998 et 2021	86
Tableau 36: Résumé des changements de la couverture terrestre, entre 1998 et 2021	87
Tableau 37: Evolution du stock du carbone dans le sol (COS) par occupation des terres dans la zone Nord entre 1998 et 2021	91

Tableau 38: Résumé de l'évolution du carbone organique du sol entre 1998 et 2021 dans la zone Nord	91
Tableau 39: Superficie et taux de couverture des classes d'occupation du sol.....	94
Tableau 40: Superficie et taux de couverture des unités d'occupation du sol	96
Tableau 41: Evolution des unités d'occupation du sol d'Ain Asmama entre 1998 et 2021	97
Tableau 42: Superficie des unités d'occupation du sol de la zone Aghroud en 1998.....	99
Tableau 43: Superficie des unités d'occupation du sol de la zone Aghroud en 2021	101
Tableau 44: Evolution des unités d'occupation du sol d'Aghroud entre 1998 et 2021	102

Liste des figures

Figure 1: Répartition des émissions de gaz à effet de serre en 2010 (GIEC, 2014).....	6
Figure 2: Taux annuels d'augmentation des GES entre 1970 et 2010 (GIEC, 2014)	7
Figure 3: Répartition des émissions de gaz à effet de serre en 2012 (M.M.E.M.E.E.E., 2014)	10
Figure 4 : Cycle global du carbone (valeurs en Gtc) (Bourque, 2004)	13
Figure 5: nouveau zonage de la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie	23
Figure 6: la situation géographique de la RBA (DREFLCD-SO, 2020).....	26
Figure 7: La carte des zones biogéographique de la RBA (DREFLCD-SO, 2020).....	27
Figure 8: la carte de la localisation du site Aghroud	31
Figure 9: la carte de la localisation du site Ain Asmama	31
Figure 10: carte de la répartition des précipitations (mm).....	35
Figure 11: Carte des unités homogènes au niveau du site Aghroud.....	43
Figure 12: Carte des unités homogènes au niveau du site Ain Asmama	43
Figure 13: Carte de localisation des placettes au niveau du site Aghroud	45
Figure 14: Carte de localisation des placettes au niveau du site Ain asmama	45
Figure 15: Démarche envisagée pour évaluer la quantité du carbone stockée par l'arganier .	47
Figure 16: Échantillonnage du bois mort et de la litière.....	50
Figure 17: préparation des échantillons du bois mort et litière pour séchage	50
Figure 18: Séchage des échantillons du sol pour mesure de la densité apparente	52
Figure 19 et 20: Dosage du carbone organique du sol	54
Figure 21: Contribution de la biomasse foliaire et ligneuse dans la biomasse aérienne	59
Figure 22: Stock du carbone aérien dans les différentes zones des 2 sites.....	63
Figure 23: Stock du carbone dans le bois mort pour les différentes zones	67
Figure 24: Stock du carbone dans la litière pour les différentes zones	69
Figure 25: Stock de carbone et de matière organique pour les différentes zones	73
Figure 26: stock total du carbone par type de zone	77
Figure 27: Répartition du carbone au niveau de la zone centrale Aghroud	79
Figure 28: Répartition du carbone au niveau de la zone tampon Aghroud	79
Figure 29: Répartition du carbone au niveau de la zone de transition Aghroud	79
Figure 30: Répartition du carbone au niveau de la zone centrale Ain Asmama	80
Figure 31: Répartition du carbone au niveau de la zone tampon Ain Asmama	80
Figure 32: Répartition du carbone au niveau de la zone de transition Ain Asmama	80
Figure 33: Carte d'occupation des terres dans la RBA en 1998.....	84
Figure 34: Carte d'occupation des terres dans la RBA en 2021.....	84
Figure 35: Dégradation des occupations des terres de la RBA entre 1998 et 2021	85
Figure 36: Carte d'occupation des terres dans la zone Nord de la RBA en 1998	88
Figure 37: Carte d'occupation des terres dans la zone Nord de la RBA en 2021	88
Figure 38: Carte de dégradation des occupations des terres de la zone Nord entre 1998 et 2021	89
Figure 39: Le stock du carbone organique en 1998 dans la zone Nord de la RBA.....	92
Figure 40: Le stock du carbone organique en 2021 dans la zone Nord de la RBA.....	92
Figure 41: Evolution du SCOS entre 1998 et 2021 dans la zone Nord	93
Figure 42: Carte d'occupation du sol de la zone centrale Ain Asmama en 1998.....	94

Figure 43: Classes d'occupation du sol dans Ain Asmama en 1998 en pourcentage	95
Figure 44: Carte d'occupation du sol de la zone centrale Ain Asmama en 2021	95
Figure 45: Classes d'occupation du sol dans Ain Asmama en 2021 en pourcentage	96
Figure 46: Evolution des occupations du sol dans la zone Ain Asmama entre 1998 et 2021 ..	97
Figure 47: Carte des changements d'occupation du sol dans la zone centrale Ain Asmama entre 1998 et 2021	98
Figure 48: Carte d'occupation du sol de la zone centrale Aghroud en 1998	99
Figure 49: Classes d'occupation du sol dans la zone Aghroud en 1998 en pourcentage	100
Figure 50: Carte d'occupation du sol de la zone centrale Aghroud en 2021	100
Figure 51 : Classes d'occupation du sol dans Aghroud en 2021 en pourcentage	101
Figure 52: Evolution des unités d'occupation du sol d'Aghroud entre 1998 et 2021	102
Figure 53: Carte des changements d'occupation du sol de la zone Aghroud entre 1998 et 2021	103
Figure 54: Dessèchement de l'arganier sous l'effet de la sécheresse prolongée	104
Figure 55: Prélèvement de bois dans la zone Ain Asmama	104

Liste des Annexes

Annexe 1: Fiche d’inventaire par placette et par zone	115
Annexe 2: mesure dendrométrique sur le terrain (hauteur)	115
Annexe 3: prélèvement de la densité apparente	116
Annexe 4: la pression anthropique dans le site Ain Asmama	116

Liste des abréviations

C_{1,30 m} : Circonférence à 1,30 m

CC : changements climatiques

CCNUCC : Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques

CNUED : Conférence des Nations Unies pour l'Environnement et le Développement

CO₂ : Dioxyde du carbone

COS : Carbone Organique du Sol

C.N.I : Communication National Initiale à la CCNUCC

DA : Densité Apparente

DEF : Département des Eaux et Forêts

DREFLCD-SO : Direction Régional aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification du Sud-Ouest

FAO : Organisation pour l'alimentation et l'agriculture

GES : Gaz à effet de serre

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

GIZ : Agence de Coopération Internationale Allemande

HCEFLCD : Haut-Commissariat aux Eaux et Forêt et à la Lutte Contre la Désertification

IPCC : Intergouvernemental Panel on Climat Change

MAB : Programme Man and Biosphere

MENA : Middle East and North Africa

MO : Matière organique

RBA : Réserve de Biosphère Arganeraie

SCOS : Stock du Carbone Organique du Sol

SIBE : Sites d'Intérêts Biologique et Ecologique

tC/ha : tonne de carbone par hectar

Introduction générale

Les changements climatiques sont l'une des plus grandes menaces environnementales, économiques et sociales auxquelles les sociétés humaines sont actuellement confrontées. Il est reconnu comme un défi sérieux affectant notre planète, ses habitants, l'environnement et l'économie. On prévoit que les effets du changement climatique augmenteront l'intensité et la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes, augmenteront la température et modifieront les régimes de précipitations (**GIEC, 2014**). En effet, la température a augmenté à un rythme remarquable au cours des 100 dernières années, et au cours des trois dernières décennies la surface de la Terre a connu une succession des années plus chaudes (**GIEC, 2014**). En outre, les activités humaines sont à l'origine du changement climatique, notamment les vagues de chaleur, les fortes précipitations et les sécheresses, plus fréquents et plus sévères, augmente la fréquence des conditions météo propices aux incendies, la perte d'oxygène et l'acidification des océans. Il est clairement établi que le dioxyde de carbone (CO₂) est le principal moteur du changement climatique, même si d'autres gaz à effet de serre et divers polluants atmosphériques affectent eux aussi le climat (**GIEC, 2014**). En effet, les puits de carbone océaniques et terrestres seront moins efficaces pour ralentir l'accumulation de CO₂ dans l'atmosphère.

Le Maroc n'échappe pas aux conséquences, il est situé dans une région dont les données climatiques, écologiques et socio-économiques actuelles et les projections futures indiquent une forte vulnérabilité aux changements climatiques (CC). Sa position géographique lui confère une gamme remarquable de bioclimats, allant du climat humide au nord, au climat semi-aride et aride (voir désertique) dans les régions du sud. Le pays présente de nombreuses nuances climatiques entre les régions côtières, l'intérieur et les montagnes de l'Atlas. Il en découle une grande diversité bioécologique. En dépit d'une contribution faible à l'accroissement des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, les changements climatiques sont déjà une réalité au Maroc. Les températures annuelles moyennes ont augmenté et les précipitations ont reculé. Aussi la désertification croissante réduit les zones humides et semi-arides. On constate par ailleurs une accélération des phénomènes climatiques extrêmes (sécheresse et inondations).

Les forêts stockent plus de la moitié du carbone organique des terres émergées et le carbone emmagasiné dans les sols des forêts représente 35 % du total du carbone présent dans les réservoirs du sol (**Robert, 2002**). Les forêts jouent donc un rôle déterminant dans la

régulation du niveau du CO₂ atmosphérique, dont l'augmentation d'origine anthropique est considérée comme majoritairement responsable du réchauffement climatique (**GIEC, 2007**).

Par ailleurs, la forêt marocaine se trouve au cœur des débats internationaux sur le changement climatique. Cependant, 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.

L'arganeraie constitue l'un des peuplements forestiers les plus importants du Maroc. Elle couvre une superficie de 868 034 hectares (**IFN, 1999**), occupant ainsi le deuxième rang parmi les essences forestières du pays. C'est une formation exclusivement marocaine et spécifique au sud-ouest. Son aire biogéographique s'étend sur une importante région couvrant la plaine du Souss, l'Anti-Atlas, le Haut-Atlas et le plateau des Haha.

Comme dans beaucoup de régions arides, où les écosystèmes naturels se caractérisent par une grande fragilité, l'arganeraie marocaine a été soumise depuis longtemps à une forte pression (**Benchekroun et Buttoud, 1989**). Ainsi, les prélèvements systématiques des noix et le broutage des chèvres. Même si l'arganier est réputé comme une espèce adaptée à l'aridité (caractère plus ou moins épineux), les conditions climatiques jouent un rôle d'accentuation des conséquences de sa surexploitation (**Benchekroun et Buttoud, 1989**) et la diminution des pluies depuis plusieurs années dans la zone de l'arganeraie, comme dans bon nombre d'autres régions du globe, contribue au dépérissement des arganiers (**Bellefontaine, 2010**).

La création de la Réserve de Biosphère Arganeraie par l'UNESCO en 1998 qui essaie de développer une vision de synthèse pourrait être une solution appropriée afin de remédier aux différents problèmes évoqués. Il s'agit de concilier les fonctions économiques, écologiques et sociales, prises dans un contexte de solidarité menée par esprit d'équité entre d'une part, les zones spécifiques (zones A, B et C) et les intérêts des groupements socio-économiques qui les animent (**Aziki, 2006**). Cependant, à l'heure actuelle, aucune information n'existe sur la contribution de ces forêts d'arganiers et de leurs écosystèmes à la séquestration du carbone et donc à l'atténuation des effets du CC et encore moins des effets de leur mise en réserve de biosphère (depuis 1998) sur ce phénomène des CC.

Dans cette perspective, l'objectif du présent travail est l'évaluation de l'effet de la mise en réserve des forêts d'arganier (RBA) sur le potentiel du stockage du carbone dans la zone Nord

de la RBA (Haut Atlas). Plus particulièrement on s'intéressera à comparer le stock du C dans les différentes zones de la RBA (centrales, tampons et transitions).

Pour atteindre cet objectif, nous nous sommes proposées :

- ✓ de Quantifier les stocks de carbone organique contenue dans la biomasse, nécromasse (bois mort, litière) et le sol dans différents zones de la RBA (centrales, tampons et transitions) ;
- ✓ d'établir la cartographie des occupations des terres et le stock de carbone de la zone Nord de la RBA en 1998 et 2021 ;
- ✓ Analyser la dynamique des occupations de terres dans les zones centrales de la zone Nord de la RBA.

PARTIE 1: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1: Le changement climatique

1.1. Définition

Selon le 5ème rapport du **GIEC (2014)**, les changements climatiques désignent une variation de l'état du climat qui peut être identifiée par des changements affectant la moyenne et/ou la variabilité de ses propriétés, persistant pendant de longues périodes, généralement des décennies ou plus. Les changements climatiques peuvent être la conséquence de processus naturels internes ou de forçages externes tels que : les modulations des cycles solaires, les éruptions volcaniques et les changements anthropiques persistants de la composition de l'atmosphère ou de l'utilisation des terres.

La Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), définit le changement climatique comme étant : «des changements de climat 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.

Depuis la moitié du 19ème siècle, la température moyenne globale à la surface de la terre a augmenté de près d'un degré. Cette augmentation de la température moyenne pourrait atteindre 4,8°C à l'horizon 2100 par rapport à la période 1986-2005, dans le scénario le plus pessimiste. L'activité humaine est la cause principale du réchauffement observé à travers notamment les émissions de GES dont la concentration atteint des niveaux sans précédent depuis au moins 800 000 ans (5ème rapport du **GIEC, 2014**).

1.2. Gaz à effet de serre

L'atmosphère est composée d'azote (78,1%) et d'oxygène (20,9%), en plus d'un certain nombre de gaz à l'état de traces dont l'argon (0,93%), l'hélium et les gaz à effet de serre (GES) tels que l'ozone, le dioxyde de carbone, le méthane, le protoxyde d'azote, les hydrofluorocarbures et l'hexafluorure de soufre. En outre, l'atmosphère contient également de la vapeur d'eau, dont la proportion est très variable, mais dont la quantité est généralement de 1% (**IPCC, 2001**).

Les gaz à effet de serre, comme la vapeur d'eau mais aussi le gaz carbonique absorbent les radiations infrarouges du soleil, en réfléchissent une partie qu'ils renvoient dans l'espace et en émettent une autre vers la terre. Ce processus naturel piégeant l'énergie solaire dans l'atmosphère, appelé «l'effet de serre» est un phénomène naturel et indispensable. Grâce à lui

qu'une température moyenne de 15°C est maintenue à la surface de la terre sinon, elle diminuerait considérablement atteignant -18°C. Cependant, ce phénomène naturel se trouve renforcé par les émissions anthropiques de CO₂ principalement, d'où on parle d'effet de serre additionnel (**René et al., 1998**). Chose qui a amplifié l'effet de serre naturel et a causé une augmentation de la température atmosphérique. En effet, La contribution des gaz à effet de serre au réchauffement moyen en surface se situe probablement entre 0,5 °C et 1,3 °C au cours de la période 1951-2010 (**GIEC, 2014**). Bien que le CO₂ soit le gaz qui a le plus petit pouvoir de réchauffement global, il est celui qui a contribué le plus au réchauffement climatique depuis 1750.

1.3. Emissions mondiales de gaz à effet de serre

Les GES sont naturellement présents dans l'air, les activités anthropiques au cours de ces 200 dernières années (depuis la révolution industrielle), en produisent de plus en plus, particulièrement le CO₂ qui vient en première place suivi par le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O). D'autres gaz actuellement présents dans l'atmosphère (chlorofluorocarbones et soufre) sont issus uniquement des activités industrielles (figure 1).

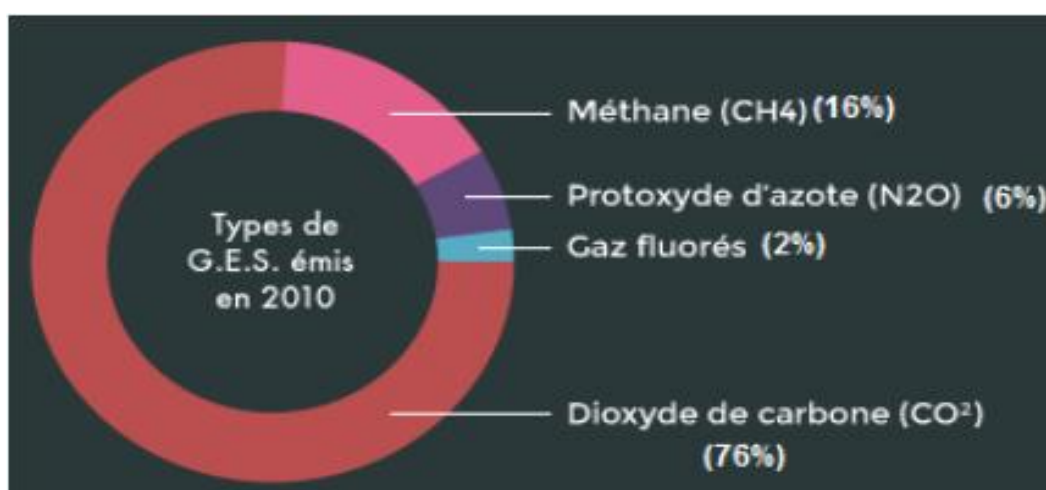


Figure 1: Répartition des émissions de gaz à effet de serre en 2010 (GIEC, 2014)

Selon le **GIEC (2014)**, Les émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique ont largement augmenté entre 1970 et 2010, avec une hausse de plus en plus rapide lors des dernières décennies. En effet, les émissions de gaz à effet de serre ont augmenté de 2,2% par an entre 2000 et 2010 ; alors que cette augmentation était en moyenne de 1,3% par an pour la période 1970-2000 (figure 2).

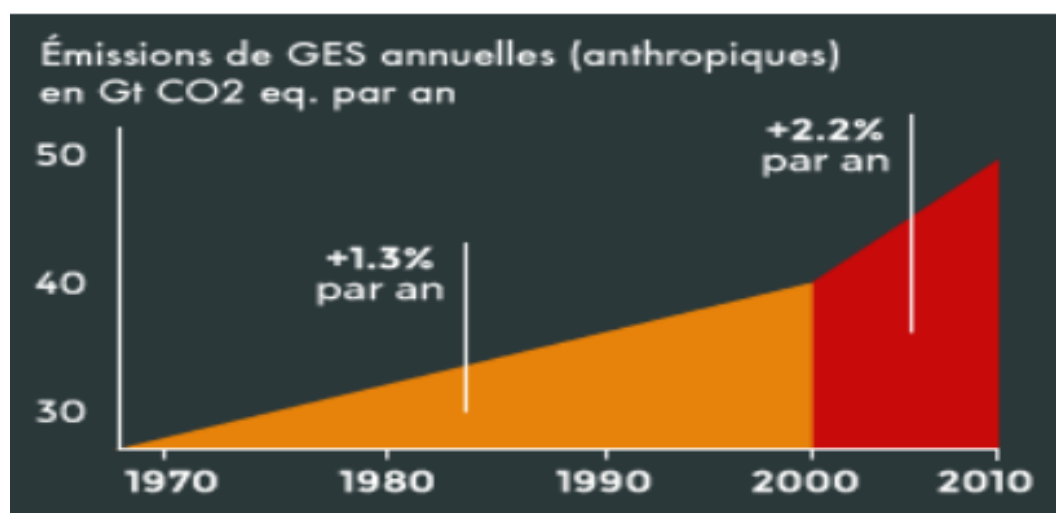


Figure 2: Taux annuels d'augmentation des GES entre 1970 et 2010 (GIEC, 2014)

1.4. Changements climatiques au Maroc

Situé entre l'océan atlantique à l'ouest et la méditerranée au nord, entre le désert du Sahara au sud et l'Europe au nord, le Maroc est une terre de transition et de contrastes (C.N.I, 2001). Contraste que se manifeste notamment à travers la diversité climatique sur le territoire marocain ; climat saharien dans la partie sud, océanique dans la partie ouest et méditerranéen dans la partie Nord. La vie de la population marocaine est très liée au climat et ses fluctuations. L'économie est très dépendante de l'eau, de l'agriculture, du tourisme et du littoral. Les données climatiques relevées dans la région du Maghreb, dont le Maroc fait partie, indiquent un réchauffement durant le 20^{ème} siècle estimé à plus de 1°C avec une tendance accentuée les 40 dernières années (PNUD-FEM, 2000). Ces données montrent aussi une augmentation nette de la fréquence des inondations et des sécheresses ; passé d'une sécheresse tous les dix ans au début du siècle à cinq à six années de sécheresses en dix ans à la fin du siècle. Le Maroc, bien que peu émetteurs de GES, se trouve être particulièrement vulnérable aux changements climatiques.

Conscient de sa vulnérabilité aux changements climatiques et conscient des risques du changement climatique sur le devenir de la planète d'une manière générale, le Maroc s'est joint très tôt aux efforts de la communauté internationale pour l'atténuation des émissions des GES et pour l'adaptation de ses politiques et programmes de développement aux effets du Changement Climatique (CC). Le Maroc a ainsi signé la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques CCNUCC, lors de la Conférence des Nations Unies pour l'Environnement et le Développement (CNUED) tenue à Rio de Janeiro en 1992.

1.4.1. Vulnérabilité face aux changements climatiques

De par sa position géographique en tant que pays d'Afrique et disposant d'une façade méditerranéenne importante, le Maroc est soumis à une grande vulnérabilité naturelle aux changements climatiques (désertification, inondations, raréfaction des ressources en eau...). Et les signes d'un climat en évolution y sont de plus en plus évidents sous forme de hausse des températures, de diminution des précipitations, de l'augmentation des fréquences et de l'ampleur des sécheresses et d'inondations. En effet, les 2/3 du pays sont concernés par une augmentation des températures dépassant les 1°C (**Aafi, 2015**). De même les prévisions météorologiques y prévoient une augmentation des températures moyennes estivales de l'ordre de 2°C à 6°C et une régression de 20% en moyenne des précipitations d'ici la fin du siècle (**M.M.E.M.E.E.E., 2014**).

Les effets de l'augmentation de la température et de la diminution voire la rareté de plus en plus marquée de la pluviométrie affectent plusieurs secteurs au Maroc dont notamment l'eau, l'agriculture et les forêts ; Les écosystèmes forestiers marocains, malgré leur diversité, sont très fragiles, en raison d'une pression accrue due à la poussée démographique et au faible niveau de vie des populations rurales. La collecte du bois de feu est le premier facteur responsable du recul de la forêt marocaine, évalué à environ 31 000 hectares par an (**FAO 2013**). En plus des fortes pressions anthropiques auxquelles les forêts marocaines sont soumises, s'ajoutent les impacts liés aux changements climatiques, dont les conséquences sont visibles sur les massifs forestiers avec des dépérissements et des mortalités massives d'arbres sur pied, une absence totale de jeunes semis et une perte de biodiversité floristique et faunistique (**Aafi, 2015**). Ajoutés à cela une désertification et une déforestation accentuées, une baisse des réserves d'eau de surfaces et souterraines et une pollution des nappes phréatiques.

1.4.2. L'arganier et les changements climatiques

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 réels et potentiels 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**). L'évaluation des effets des changements climatiques sur l'arganeraie est contrainte par de nombreuses incertitudes liées à la complexité de sa régénération naturelle, à la multiplicité des mécanismes en jeu, à sa localisation géographique, aux propriétés des sols, à la topographie du site et à son accessibilité. Cette quantification vise à encourager la sauvegarde et la restauration des écosystèmes qui contribuent à atténuer les effets de ces changements climatiques et à lutter contre la désertification. 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 (**Krichi, 2017**). Le tableau 1 montre que le sud du Maroc (aire de répartition de l'arganier) subit une hausse de température de 1,6 °C en 2015 par comparaison à 2013. Le changement climatique participe également à la dégradation de la biodiversité, accentue son empreinte écologique et réduit leur productivité (**GIZ, 2013**).

Tableau 1:Prévision climatique au Maroc en 2015

Régions du Maroc	Réchauffement prévu en 2015	Diminution en % par an de Pmm
Oriental	2 °C	-13%/-16%
Nord	1,7 °C	-12%/14%
Centre	1,8 °C	-13%/17%
Sud	1,6°C	-10%

Source : (GIZ, 2013)

1.4.3. Inventaire national des émissions de gaz à effet de serre

En comparaison avec les pays industrialisés, les résultats de l'inventaire attestent une très faible contribution du Maroc à l'amplification de l'effet de serre ; Dans la zone MENA, le Maroc fait partie des pays les moins émetteurs des GES (**M.M.E.M.E.E.E., 2014**). Les émissions globales des GES du Maroc sont estimées à 101,63 MtEq-CO₂ en 2012 (**TCN, 2014**), soit 3,12 tonnes Eq-CO₂/ hab. Le CO₂ y représente le principal GES émis avec 66,2%, le CH₄ et le N₂O sont émis à proportions égales soit respectivement 16,4 et 17,5% des émissions nettes nationales de GES directs en 2012 comme le montre la Figure 3.

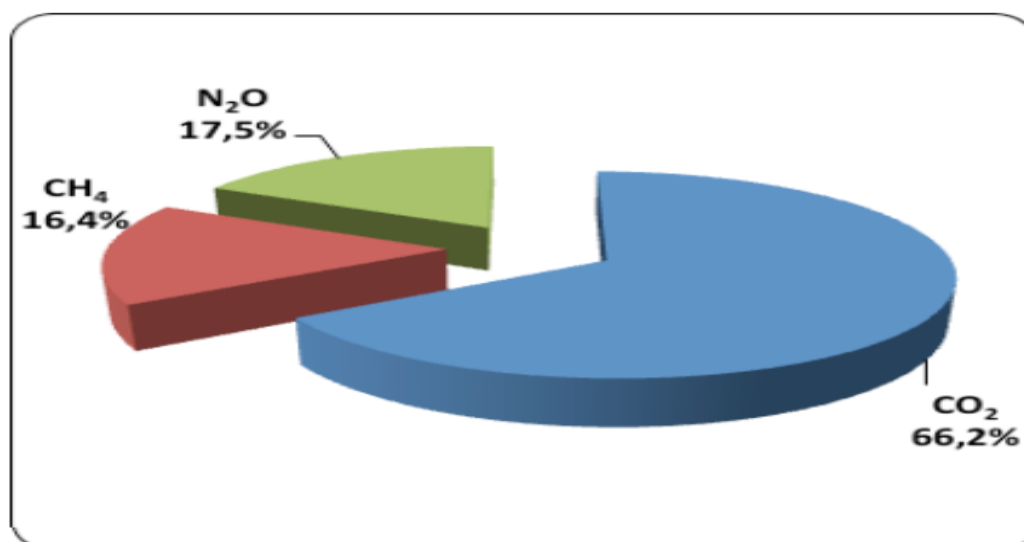


Figure 3: Répartition des émissions de gaz à effet de serre en 2012 (M.M.E.M.E.E.E., 2014)

1.4.4. Mesures d'adaptation face aux changements climatiques

La réduction de la vulnérabilité aux changements climatiques est considérée parmi les priorités de la stratégie du Maroc en matière de lutte contre le réchauffement climatique. Le Maroc s'est ainsi engagé de manière volontariste à mettre en œuvre des actions d'adaptation et d'atténuation dans le cadre d'une approche intégrée, participative et responsable. La stratégie adoptée par le Maroc en matière de lutte contre les changements climatiques repose sur deux principes : d'une part la mise en œuvre d'une politique d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre (PNLCRC, 2009). Et d'autre part l'anticipation d'une politique d'adaptation qui prépare l'ensemble de sa population et de ses acteurs économiques à faire face à la vulnérabilité de son territoire et de son économie aux effets des changements climatiques.

Dans ce cadre, le Maroc a lancé plusieurs stratégies sectorielles volontaristes d'envergure intégrant la dimension environnementale, et notamment celle du changement climatique, dans des domaines clés de l'économie nationale (énergie, transport, agriculture, bâtiment, eau, déchets, forêt, etc.) on se focalise particulièrement sur le secteur de l'eau et la forêt:

➤ *dans le secteur de l'eau :*

Vu l'extrême vulnérabilité de ce secteur au climat, il est parmi les secteurs prioritaires qui ont besoin de véritables politiques d'adaptation aux effets attendus du changement climatique au Maroc. Dans ce cadre, la nouvelle Stratégie Nationale de l'Eau (SNE) a été adoptée en 2009

dans un objectif d'assurer une gestion intégrée et durable de la demande et de la ressource en eau. Cette stratégie se décline en plusieurs plans et programmes nationaux :

- Plan National de Lutte Contre le Réchauffement Climatique (PNLCRC) ;
- Programme National d'Economie d'Eau en Irrigation (PNEEI) qui a pour objectifs l'économie de 2,4 Milliards de m³/an d'eau en irrigation ;
- Plan National de Protection Contre les Inondations (PNPCI)
- Economie d'Eau Potable, Industrielle et Touristique à hauteur de 120 Million de m³/an 19

➤ ***dans le secteur de la forêt :***

D'une manière générale, les dynamiques qui règnent actuellement dans les espaces forestiers et qui les prédisposent ainsi aux effets des changements climatiques, sont nombreuses et variées, notamment : Le défrichement et la mise en culture de l'espace forestier, la surexploitation des parcours forestiers et steppiques, l'approvisionnement en bois-énergie, les incendies de forêt et les extensions urbaines (T.C.N., 2014). Les principaux programmes en termes d'adaptation climatique des écosystèmes forestiers sont :

- Plan Directeur de Reboisement (PDR), lancé en 1996 ;
- Programme Forestier National (PFN) : élaboré en 1998, le PFN s'est fixé pour objectifs à l'horizon 2020, la sauvegarde et la conservation du patrimoine forestier, l'aménagement et la valorisation des ressources productives (reboisement de 50 000 ha/an), la conservation des sols, la lutte contre l'érosion
- Plan Directeur des Aires Protégées (PDAP) qui a identifié 168 sites d'intérêt biologique et écologique répartis sur 154 unités spatiales différentes
- Programme National de Protection et de Valorisation de la Biodiversité (PNPVB) qui a pour but l'amélioration des connaissances sur la biodiversité afin d'en assurer une gestion durable tout en accordant une attention particulière aux espèces endémiques et menacées
- Plan Directeur de Lutte Contre les Incendies de Forêts (PDLCIF) qui vise entre autre la mise en place d'un dispositif cohérent et efficace pour la maîtrise des feux de forêts
- Le Programme d'Action National de Lutte Contre la Désertification (PANLCD),
- Programme National d'Aménagement des Bassins Versants (PNABV) adopté en 1997
- Programme d'Aménagement et de Gestion Durable des Parcours 2012 -2022
- Stratégie « Forêts du Maroc » 2020-2030 ...

Chapitre 2 : Dynamique du carbone

2.1. Cycle global du carbone

Depuis quelques décennies, le cycle du carbone est au cœur des enjeux environnementaux, notamment dans le cadre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques **(Bernoux et Chevallier, 2013)**. Le cycle mondial du carbone est l'un des principaux cycles biogéochimiques en raison de son importance dans la régularisation de la concentration de CO₂, et de son influence sur la productivité biologique.

Le carbone se retrouve dans l'ensemble de notre environnement ; dans l'atmosphère, sur terre, sous terre et dans les océans, sous forme minérale ou organique (vivante et morte). On distingue ainsi quatre grands réservoirs de carbone à savoir ; l'atmosphère, la biosphère, l'hydrosphère et la lithosphère. Ces deux derniers constituent les plus grands réservoirs de carbone avec respectivement 50 000 000 GtC et 39 000 GtC **(Bourque, 2004 ; Renaudat, 2005)**. Ils sont un puits efficace et contiennent 50 fois plus de carbone que l'atmosphère **(Schlesinger, 1997 ; Renaudat, 2005)**.

Le carbone est l'un des principaux éléments de la matière organique constituant les êtres vivants. La concentration de carbone dans les organismes vivants (0,19%) représente environ cent fois sa concentration moyenne sur terre. Le carbone, qui est l'une des composantes de dioxyde de carbone (CO₂), principal gaz à effet de serre qui contribue actuellement au réchauffement de la planète, est l'objet de nombreux échanges entre les divers constituants terrestres, atmosphériques et océaniques qui forment le cycle global du carbone. La compréhension de son cycle c'est-à-dire les états sous lesquels on le rencontre et les processus biochimiques qui le font passer d'un état à l'autre est nécessaire. Ce sont les végétaux qui le fixent lors de leur croissance, à partir du CO₂ présent sous forme dissoute dans les océans ou sous forme gazeuse dans l'atmosphère. Il est ensuite soit rejeté dans l'air ou dans l'eau par la respiration, soit séquestré plus ou moins longtemps dans les sols et les fonds marins. Le carbone est généralement rejeté dans l'atmosphère sous forme de CO₂, il peut également l'être sous d'autres formes, dont le méthane (CH₄) et le monoxyde de carbone (CO). Le cycle du carbone joue un rôle déterminant dans l'effet de serre, naturel ou non, étant donné son influence sur la concentration de CO₂ présent sous forme gazeuse dans l'atmosphère (figure 4).

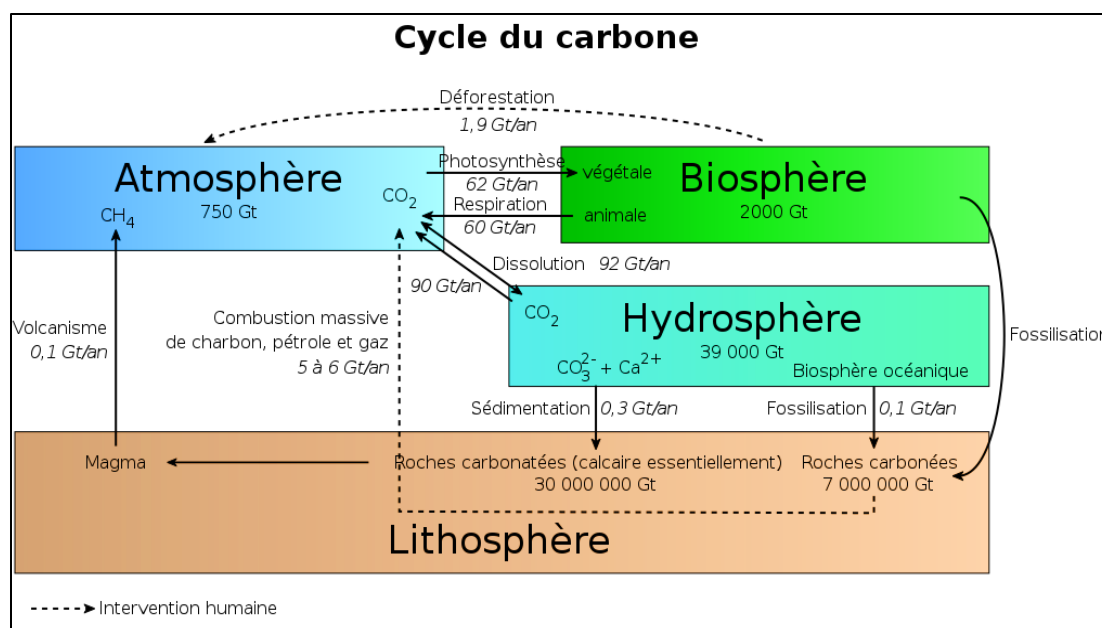


Figure 4 : Cycle global du carbone (valeurs en Gtc) (Bourque, 2004)

2.2. Cycle du carbone en forêt

Environ la moitié du C terrestre se trouve dans les forêts, et environ les deux tiers de ce stock est retenu dans les réservoirs du sol. Les forêts constituent ainsi une partie vitale du cycle du carbone, car elles stockent et libèrent cet élément fondamental suivant un processus dynamique de croissance, de décomposition, de perturbation et de renouvellement. Les forêts retiennent le carbone à la fois dans la biomasse vivante et morte, dans les matières organiques en décomposition et dans les sols. Ce sont les processus de photosynthèse, de respiration (autotrophique et hétérotrophique), de transpiration et de décomposition qui entretiennent la circulation naturelle du carbone entre la forêt et l'atmosphère. Ce mode de fonctionnement dynamique des écosystèmes forestiers leur permet de recycler le carbone. Ils jouent donc un rôle important dans le cycle mondial du carbone.

Les forêts agissent soit comme source soit comme puit de dioxyde de carbone :

- Une forêt est considérée comme source de dioxyde de carbone dans le cas où elle rejette plus de dioxyde de carbone qu'elle n'en absorbe. Le dioxyde de carbone forestier est rejeté lorsque les arbres brûlent ou se décomposent après leur mort (résultat de la sénescence, d'un incendie, d'une attaque par les insectes ou d'autres perturbations).

- Une forêt est considérée comme un puits de dioxyde de carbone si elle absorbe davantage de dioxyde de carbone dans l'atmosphère qu'elle n'en rejette. La photosynthèse est le mécanisme qui contribue à l'absorption du dioxyde de carbone de l'atmosphère. Le CO₂ est alors déposé dans la biomasse forestière (c'est-à-dire les troncs, les branches, les racines et les feuilles), dans la matière organique morte (litière et bois mort) et dans les sols. Ce processus d'absorption et de dépôt de carbone est connu sous le nom de stockage de carbone.

Lorsque le stock de carbone augmente, le flux net de l'atmosphère vers l'écosystème forestier est positif et on parle alors de puits de carbone ; dans l'autre sens, on parle de source de carbone. Dans le cas d'une forêt à l'équilibre, ces flux se neutralisent à peu près, c'est-à-dire que le stock de carbone dans la biomasse est stationnaire.

2.3. Rôle des écosystèmes forestiers dans le cycle global du carbone et l'évolution du CO₂ atmosphérique

Les écosystèmes forestiers jouent un rôle clé dans le cycle global du carbone, puisque le carbone est échangé naturellement entre les forêts et l'atmosphère par photosynthèse, respiration, décomposition et combustion (**IPCC, 2001**). A l'échelle mondiale, les écosystèmes forestiers couvrent uniquement 30% de la surface terrestre mais contiennent 81% du carbone de la biomasse aérienne terrestre et 40% du carbone contenu dans les racines, la litière et les sols.

Globalement, les écosystèmes forestiers (le bois, les racines et les feuilles des arbres, le sol, le bois mort et la litière des arbres) stockent à eux seules près de 50% de plus de carbone que tout ce que contient l'atmosphère (**FAO, 2005**). La quantité de carbone stockée par les forêts dépend du type, de l'âge et de la santé des arbres, du régime de gestion des forêts en place, et des facteurs limitant comme les animaux nuisibles, les insectes et les incendies.

Les écosystèmes forestiers représentent une composante essentielle du cycle global du carbone, constituant ainsi un réservoir de carbone important, extrêmement mobile et interférant fortement avec le réservoir de CO₂ atmosphérique. Selon les conditions environnementales (température, sécheresse), les écosystèmes forestiers peuvent constituer globalement un "puits" de C en assimilant de façon nette, des quantités importantes de CO₂ atmosphérique, ou au contraire constituer une "source" de CO₂ vers l'atmosphère.

Grâce à la photosynthèse qui permet de fixer le CO₂ atmosphérique, les écosystèmes forestiers peuvent participer au stockage de carbone de plusieurs manières:

i) par l'augmentation des surfaces forestières, ii) par l'accroissement des stocks de carbone dans les forêts existantes, iii) par la substitution des combustibles fossiles par l'énergie biomasse.

Par l'augmentation de la quantité de carbone qu'ils immobilisent, les écosystèmes terrestres et notamment forestiers ont joué, et jouent toujours, un rôle important d'atténuation de l'augmentation du CO₂ atmosphérique induite par les activités humaines.

2.4. Rôle des sols dans le cycle du carbone

Le sol constitue le troisième plus grand réservoir de carbone après les océans et les réservoirs géologiques. A l'échelle de la biosphère terrestre, les sols représentent le réservoir de carbone le plus important.

Le carbone du sol peut être scindé en deux catégories ; carbone organique du sol (COS); et le carbone inorganique du sol (CIS). Le carbone organique du sol est estimé à environ 1550 Pg à 1 m de profondeur (**Batjes, 1996**) et à 2456 Pg à 2 m de profondeur, alors que le carbone inorganique du sol est estimé à environ 750 à 950 Pg (**IPCC, 2001**), ce dernier est capturé dans des formes plus stables comme les carbonates. La quantité de carbone contenue dans le sol est affectée par le mode d'utilisation des terres (**Mahamane, 2006**). La quantité de carbone organique dans un sol forestier est le résultat de l'équilibre entre la production primaire nette (PPN) de la végétation et la décomposition de la matière organique (**Liski et Westman, 1997**).

Le sol participe au cycle du carbone en stockant et en rejetant le carbone dans l'atmosphère; Une fraction importante du CO₂ atmosphérique fixée par les plantes lors de la photosynthèse est incorporée dans le sol sous forme de matière organique. Dans le cycle global du carbone, les sols peuvent agir en tant que puits ou source de C et ce en fonction du mode d'utilisation des terres, du mode de gestion des terres et des changements environnementaux (**Schlesinger, 1997**).

Les échanges de carbone entre sols, végétation et atmosphère sont intenses : les sols à la fois émettent du CO₂ (via la respiration des racines et des microorganismes) et piègent du carbone organique (via la photosynthèse et la transformation des résidus des plantes en humus). Au final, les sols puisent globalement plus de CO₂ qu'ils n'en rejettent, constituant ainsi un puits de carbone de 1 à 3 Gt par an (**Bernoux et Chevallier, 2013**) qui participe à l'atténuation du changement climatique au niveau global.

Le sol joue ainsi un rôle prépondérant dans le cycle du C mais reste un compartiment difficile à estimer compte tenu de sa variabilité et du grand nombre de facteurs contrôlant la fraction organique du sol (**Bernoux et al., 2002**).

2.5.Séquestration du carbone

La séquestration du carbone telle qu'elle est définie par se réfère au stock de carbone dans sa forme solide par la fixation du CO₂ atmosphérique. La séquestration de carbone désigne aussi la capacité d'un puits de carbone à capter et stocker le carbone atmosphérique par le biais de processus physiques et biologique. En effet, il s'agit du processus d'augmentation de la teneur en carbone d'un réservoir

autre que l'atmosphère. Elle peut se faire de plusieurs façons : de manière naturelle ; par un puits de carbone où le carbone est fixé dans les sols, les végétaux et les océans, de manière artificielle : dans le substrat géologique rocheux, ou par des algues.

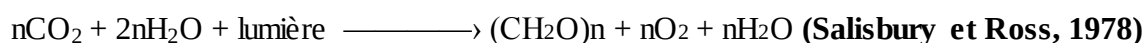
Les concepts de captage et de séquestration du carbone sont intimement liés. Le captage (ou stockage) du carbone par l'arbre est la quantité de carbone accumulée dans sa biomasse. Il s'exprime en kg/arbre, et aussi par aire géographique (tonne/hectare et tonne/hectare/arbre). Alors que la séquestration, (ou fixation) du carbone est la quantité de carbone captée incorporée dans la biomasse de l'arbre. Elle s'exprime en kg/an ou kg/jour (**MacPherson, 1998**).

2.5.1. Flux de carbone au niveau de l'arbre

Le carbone est l'une des composantes du dioxyde de carbone (CO₂). Ce gaz fait l'objet de nombreux échanges entre les divers constituants terrestres, atmosphériques et océaniques qui forment le cycle global du carbone. Le taux d'échange de carbone entre les réservoirs est appelé flux (**Ciesla, 1997**).

2.5.1.1. La photosynthèse : le captage du dioxyde de carbone par l'arbre

La photosynthèse est le processus par lequel la plante capte le CO₂ de l'atmosphère en présence de rayonnement solaire pour former des glucides (CH₂O)_n, qui sont la base de la structure végétale. Ainsi par le mécanisme de photosynthèse, les arbres constituent au fil des années un stock de carbone dans leur bois et dans l'écosystème. La réaction de la photosynthèse s'exprime comme suit :



Le taux de photosynthèse varie selon les espèces et les provenances, le moment de la journée et la saison de croissance. Ces variations dépendent des interactions entre les caractéristiques végétales comme l'âge, la structure et l'exposition des feuilles, le développement de la cime et les facteurs environnementaux comme l'intensité de la lumière (source d'énergie), la température (qui affecte l'ensemble des réactions biochimiques), la disponibilité de l'eau, la concentration atmosphérique de CO₂ (source de carbone) et des conditions du sol.

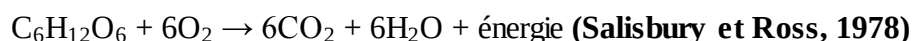
2.5.1.2. La respiration autotrophe Ra : l'émission de dioxyde de carbone par l'arbre

-Photorespiration

La photorespiration, qui se déroule simultanément à la photosynthèse, provoque la libération de CO₂ dans l'atmosphère à cause des propriétés de l'enzyme Rubisco. Cette enzyme, qui fixe le CO₂ atmosphérique lors de la photosynthèse, peut également fixer l'oxygène (O₂) (**Kozłowski et al., 1991**). Lorsque l'O₂ s'associe à l'enzyme au lieu du CO₂, le carbone préalablement fixé est dirigé vers le cycle d'oxydation du carbone de la photorespiration qui mène à la libération de CO₂. La photorespiration utilise de 30 % à 50 % du carbone fixé lors de la photosynthèse (**Kozłowski et al., 1991**).

-Respiration

La respiration suit les activités métaboliques diurnes et nocturnes de l'arbre et lui permet de libérer et d'utiliser l'énergie emmagasinée dans les glucides synthétisés durant la photosynthèse. L'équation de la respiration est :



Les arbres se caractérisent par deux types de respiration : la respiration de construction et la respiration de maintenance. La respiration est beaucoup plus intense dans les parties de l'arbre en croissance active que dans les tissus matures et elle est très lente dans les tissus en dormance (**Kozłowski et al., 1991**).

2.5.2. Bilan du carbone dans un peuplement forestier

Le bilan carbone d'une forêt est la petite différence entre deux grands flux opposés ; l'assimilation de carbone par photosynthèse et les pertes vers l'atmosphère par respiration (**Joffre et al., 2010**). Le captage, la séquestration et la libération de carbone par les forêts sont étroitement liés au dynamisme et à la vigueur de celles-ci. Les processus les plus importants

impliquant le carbone dans l'écosystème terrestre sont : la photosynthèse, la respiration, la translocation, l'allocation, l'entreposage, le renouvellement des racines fines, la décomposition, l'influence des herbivores et la chute des feuilles ou autres. Toutefois, la mesure de ces processus reste une tâche difficile. Selon **Kozłowski et al. (1991)**, les flux de carbone peuvent être estimés à partir des changements annuels de la biomasse des arbres. Les termes utilisés pour exprimer ces changements de biomasse sont :

- La production primaire brute (PPB) : est la masse totale des composés organiques produits par la photosynthèse (**Waring et Schlesinger, 1985**). C'est la quantité d'énergie fixée par l'écosystème.

- La production primaire nette (PPN) : La PPN est le paramètre utilisé pour quantifier le taux d'absorption net du carbone par les plantes vivantes. La PPN est la différence entre la photosynthèse et la respiration des plantes qui relâche dans l'atmosphère une partie du carbone absorbé.

- La production nette de l'écosystème (PNE) : est la PPB moins les respirations autotrophe et hétérotrophe. La notion de production nette de l'écosystème exclut les autres exportations de carbone de l'écosystème comme celles provoquées par les feux, l'exploitation forestière, l'érosion ou autres (**Waring et Schlesinger, 1985**). Ce terme (PNE) est fondamental pour savoir si un écosystème particulier absorbe ou rejette du carbone dans l'atmosphère. Ainsi, une PNE positive correspond à un stockage de carbone par l'écosystème.

La PPN mesure l'absorption du carbone par les plantes seulement, alors que la PNE inclut l'absorption de carbone par les plantes et le carbone relâché par les sols. En d'autres mots, la PPN est une composante du cycle du carbone, alors que la PNE est l'échange net, c.à.d. exclut toutes exportations de carbone de l'écosystème, de carbone entre l'écosystème et l'atmosphère

2.5.3. Séquestration du carbone par les sols forestiers

Les sols forestiers sont de gigantesques réservoirs de carbone (**Arrouays et al., 2002**). En effet, on estime qu'ils contiennent deux à trois fois plus de carbone, retenu dans la matière organique, que toute la végétation de la planète. En outre, des études antérieures ont montrés que le temps de résidence du carbone dans les sols est beaucoup plus important que dans la

végétation, cette particularité a fait de ce réservoir un outil fort pour séquestrer le carbone. Lorsque ce stock augmente, le sol devient un piège à carbone en absorbant le CO₂ atmosphérique, grâce à l'activité photosynthétique des végétaux. En effet, le sol récupère une bonne partie de la matière organique synthétisée par les végétaux, une fois ceux-ci morts. Cette matière organique s'accumule dans les premiers centimètres du sol où elle se transforme en humus sous l'action des microorganismes du sol. La séquestration du carbone organique dans le sol passe par trois processus à savoir : l'humification (conversion de la biomasse en humus), l'agrégation (formation de complexes organo-minéraux sous formes de particules secondaires) et la translocation dans le sous-sol (par les racines et la bioturbation).

La capacité du sol forestier à stocker le carbone varie en fonction des facteurs biotiques comme la composition des espèces d'arbres, l'âge du peuplement et de la végétation de sous-bois, qui modifient les apports de matière organique du sol (litière, biomasse racinaire et le biote du sol) (**Vesterdal et al., 2008**) et en fonction des facteurs abiotiques du site tels que le climat, la topographie et les propriétés du sol. Aussi, l'utilisation des terres ou le mode de gestion forestière modifie considérablement les taux d'accumulation du carbone dans le sol (**Evrendilek et al., 2004**).

Chapitre 3 : la Réserve de Biosphère d'Arganier (RBA)

3.1. Présentation générale du MAB et 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 améliorer les relations entre les habitants de la planète et leur environnement naturel au niveau mondial.

Le programme MAB combine l'application pratique des sciences naturelles et sociales, de l'économie et de l'éducation pour améliorer les conditions de vie des populations, répartir de façon plus équitable les bénéfices et préserver les écosystèmes naturels en promouvant des approches innovantes pour le développement économique qui soient adaptées d'un point de vue social et culturel et durables pour l'environnement. En pratique, le Programme MAB est mis en œuvre dans les Réserves de Biosphères (RB). Ces réserves englobent des écosystèmes terrestres, côtiers et/ou marins représentatifs de leur région biogéographique et jouant un rôle important dans la préservation de la biodiversité. Chaque réserve de biosphère privilégie les solutions qui réconcilient la préservation de la biodiversité à son utilisation durable en vue de favoriser le développement durable à l'échelle régionale.

Au début, les réserves de biosphère avaient essentiellement pour objet de conserver les ressources génétiques en développant les aspects scientifiques. Actuellement, les réserves de biosphère sont conçues pour répondre à l'une des questions les plus essentielles qui se posent au monde d'aujourd'hui : comment concilier la conservation de la diversité biologique, la quête vers le développement économique et social et le maintien des valeurs culturelles associées ?

Depuis la dernière décennie, le Maroc s'est officiellement engagé dans une politique de création de Réserves de Biosphère en transformant des espaces, déjà préalablement protégés selon diverses formules, en leur rajoutant le label de Réserves de Biosphère. En effet, le Maroc s'est doté, dans le cadre du programme MAB de l'UNESCO, de quatre réserves de

biosphère, 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) ; 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 Cadix et Malaga de l'Andalousie (Espagne) et La Réserve de Biosphère du Cèdre de l'Atlas (RBCA) créée en 2016 lors du 4ème congrès mondial des réserves de biosphère à Lima (Pérou).

3.2. La réserve de biosphère d'arganier

3.2.1. Historique de création de la RBA

Afin de réduire l'impact du fonctionnement socio-économique traditionnel local sur l'Arganeraie, l'Etat a mis en œuvre la reconnaissance de celle-ci en tant que Réserve de Biosphère Arganeraie (RBA) du programme Man and Biosphere (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 ».

3.2.2. Le zonage de la RBA

Pour remplir ses fonctions complémentaires de conservation et d'utilisation des ressources naturelles, la Réserve de Biosphère d'Arganier est constituée de trois zones interdépendantes : une aire centrale, une zone tampon et une aire de transition (figure 5):

❖ **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 zones centrales ont été individualisées au niveau de la RBA avec une superficie cumulée d'au moins 17.000 ha avec des superficies allant de 300 ha (Ait Er-Rkha) à 4200 ha (Parc National de Souss Massa) (DEF, 2020). 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 naturelle 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, pistes...).

❖ **Des zones tampon (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).

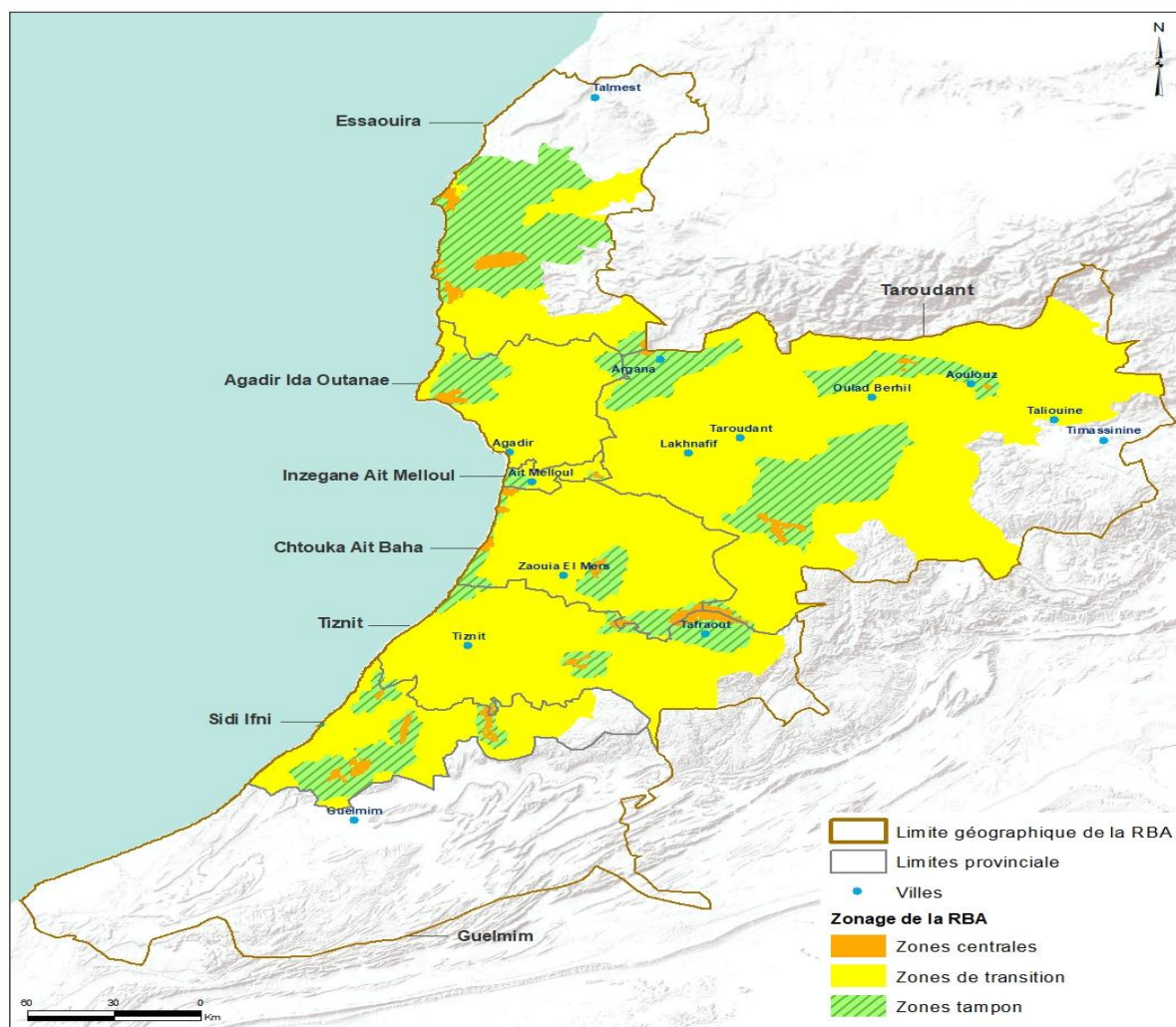


Figure 5: nouveau zonage de la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie
(Source : DEF/DREFLCD-SO)

3.3. Ecosystèmes à arganier

Située essentiellement sur la partie du sud-ouest marocain, l'Arganeraie se rencontre au Nord d'Essaouira (à l'embouchure de l'oued Tensift), s'étend sur la plaine du Souss, sur le versant sud du Haut Atlas et sur le versant nord de l'Anti-Atlas et se termine aux environs de l'oued Noun.

L'arganier (*Argania spinosa*) est une espèce endémique, à la fois forestière, fruitière et fourragère (Emberger, 1939). Cette espèce vieille de l'ère tertiaire est parfaitement adaptée à l'aridité du sud-ouest Marocain.

La zone est caractérisée par ces conditions climatiques et topographiques très différentes. Les plaines et les montagnes n'offrent pas les mêmes conditions de développement, avec des variations de taux d'humidité, d'exposition aux vents, de températures, de présence de certaines faunes et flores. Cela explique que les différentes zones de l'Arganeraie soient

inégales, offrant des peuplements d'arganiers plus ou moins denses à l'état pur ou en mélange avec d'autres espèces. Le plus grand intérêt de la zone est, bien entendu, sa biodiversité avec des espèces uniques. L'Arganeraie compte beaucoup plus pour les populations berbères (forte relation existant entre l'homme et la ressource) mais aussi pour tout le Maroc, en tant que patrimoine naturel unique mais aussi en raison du rôle essentiel qu'elle joue dans l'équilibre environnemental et de sa contribution à l'économie de la région. La forêt d'arganier comme l'ensemble des forêts du Maroc, est un bien privé de l'Etat (forêt domaniale délimitée). La gestion (surveillance, aménagement, exploitation, sylviculture, reforestation...) est confiée au département des Eaux et Forêt (DEF).

Depuis 1925, l'Arganeraie bénéficie d'une législation spéciale (Dahir du 4 mars 1925) qui reconnaît à la population locale les droits de jouissance trop étendus en accordant aux ayants droits : la cueillette du fruit, la culture sous l'arganier, le parcours, le ramassage du bois de feu, de service et des matériaux de construction. Cette gestion complexe des ressources reflète la relation étroite entre les deux composantes du système arganier (homme et environnement).

L'arganier constitue le pilier fondamental autour duquel s'articulent toutes les composantes du système y compris les structures et les pratiques sociales qui résultent des différentes phases de son exploitation. L'arganeraie ne doit Contexte de l'étude pas seulement sa réputation à ses arbres mais aussi à la civilisation agraire qu'elle a suscitée, résultat d'un long processus d'adaptation. Ce sont ces caractéristiques qui lui ont valu le label du patrimoine mondial de l'UNESCO et justifient la création de la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie **(El Fasskaoui, 2009)**.

Actuellement l'Arganeraie souffre de différentes perturbations de sur-usage provoquant une dégradation qualitative des attributs de l'écosystème. Les évolutions socioéconomiques dans la zone d'Arganeraie ont soulevé plusieurs questions sur les conditions susceptibles d'assurer un équilibre socio-écologique pour le maintien voire la restauration de l'Arganeraie. La multifonctionnalité de cet écosystème, longtemps considéré au centre des moyens de subsistance des populations locales, et la diversité des acteurs impliqués dans sa gestion sont actuellement au centre des enjeux du développement rural dans tout le sud-ouest marocain.

PARTIE 2 : MATERIELS ET METHODES

Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude

L'objectif de notre travail est de faire ressortir l'effet de la mise en réserve RBA sur le potentiel de la séquestration de carbone dans les écosystèmes de l'arganier selon les zones de la RBA particulièrement dans la région biogéographique Nord (Haut Atlas). Cependant, et compte tenu de la contrainte du temps et de l'immensité de la zone d'étude occupant plus de 900000 ha, nous avons limité le travail dans 2 zones centrales avec leurs zones tampon et transition correspondantes.

1.1. Situation biogéographique de la réserve de biosphère arganeraie (RBA)

La RBA, d'une superficie de 2.5 Million d'ha se situe au Sud-Ouest du Maroc, limitée dans sa partie Ouest par l'océan atlantique et au Sud par Oued Noun et Oued Seyad, tandis que l'Oued Tensift et Aoulouz marquent sa limite respectivement au Nord et à l'Est. La zone d'étude est caractérisée par une répartition hétérogène de l'arganier, elle s'étend sur un milieu physique vaste et complexe de point de vue géomorphologique (figure 6).

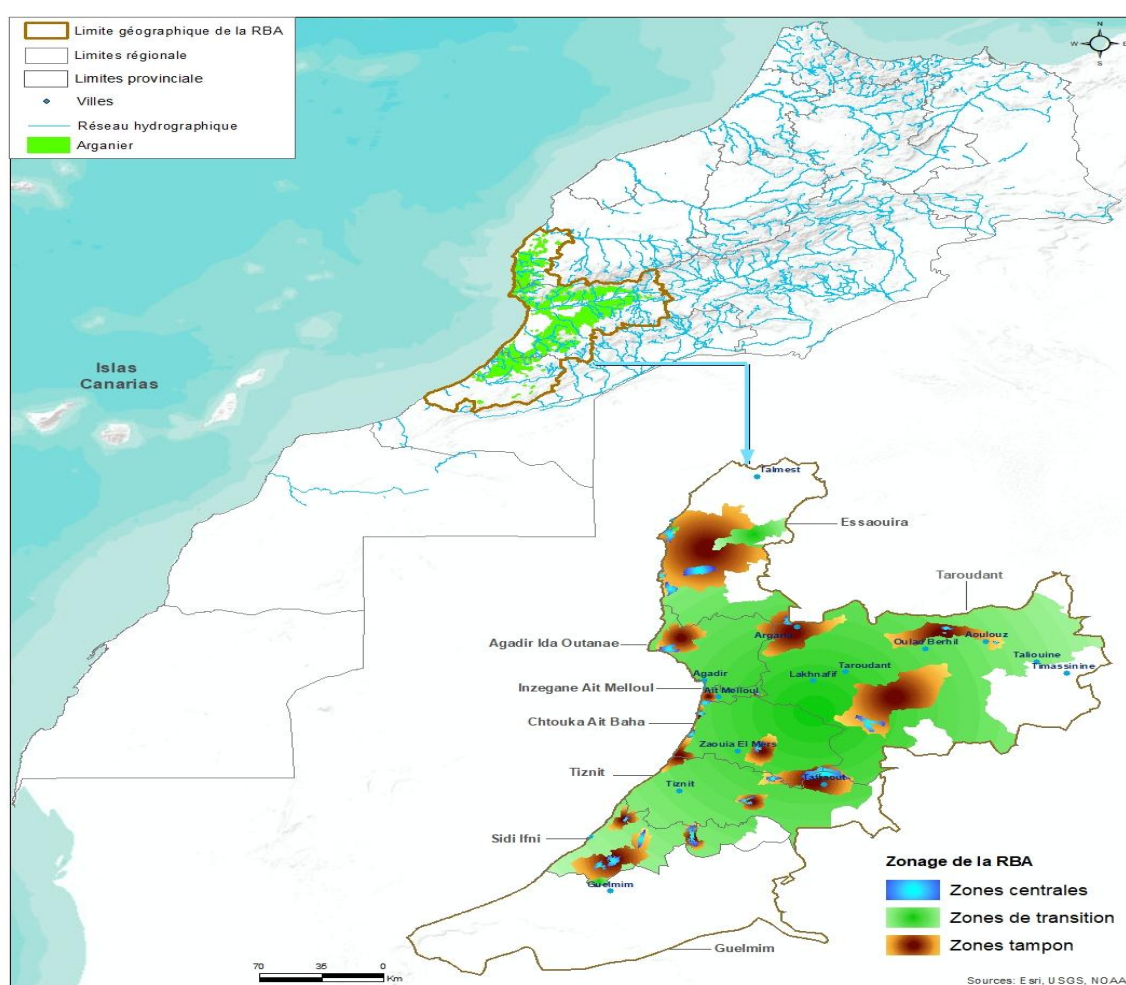


Figure 6: la situation géographique de la RBA (DREFLCD-SO, 2020)

La RBA contient une très grande diversité des milieux naturels (altitude, végétation, sols, climat, eaux superficielles et souterraines, faune...) dégageant ainsi trois grandes unités biogéographiques importantes (figure 7) à savoir :

- La zone Nord : Le Haut Atlas occidental, depuis le couloir d'Argana jusqu'au littoral le versant sud du Haut-Atlas de Marrakech et la plaine de Essaouira ;
- La zone centre : la plaine du Souss et Dir;
- La zone Sud : L'Anti-Atlas occidental et la zone de moyennes montagne de l'Anti Atlas ;

Ces unités affichent une alternance des montagnes, des croupes et des plateaux. Elles sont couvertes de forêts d'arganier qui jouent un rôle très important en terme écologique ainsi que socio-économique. Cependant, cette alternance constitue une contrainte topographique majeure pour toute utilisation de l'espace.

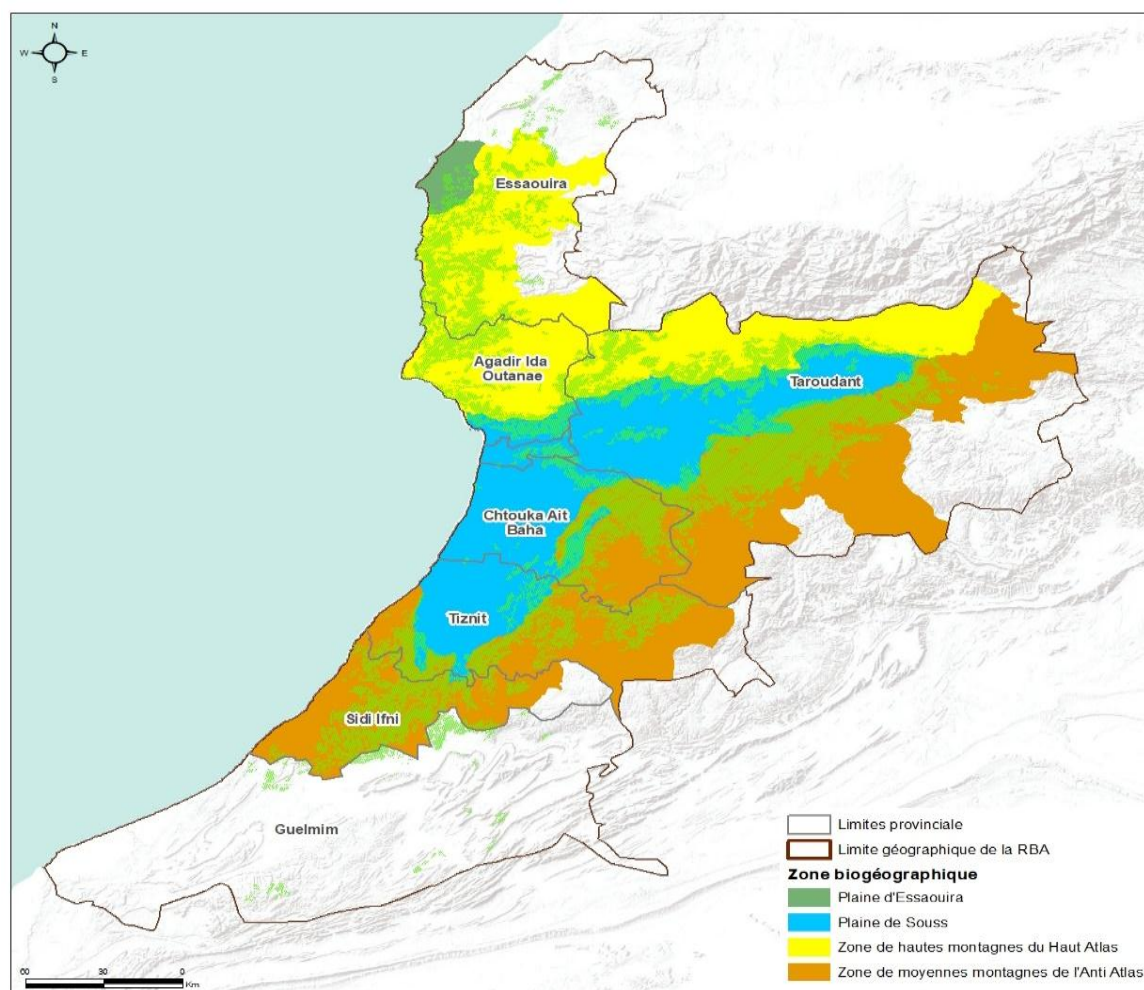


Figure 7: La carte des zones biogéographique de la RBA (DREFLCD-SO, 2020)

1.2. Le choix des sites

Nous nous sommes basés, pour le choix des zones centrales représentatives sur l'évaluation décennale de le RBA, effectuée par **(DEF, 2020)** qui ont classé les zones centrales sur la base des indicateurs à savoir :

➤ *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.

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. D'où le recours à l'utilisation d'indices avec 5 classes de valeurs pour chaque indicateur, qui sont proposés comme suit :

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

Le tableau 2 récapitule les résultats de ce classement.

Tableau 2:Classement des zones centrales du Haut Atlas

Nom de la zone centrale	Valeur attribuée	Commentaires
Aghroud	47	Le plus riche
Aïn Asmama	44	Site moyennement riche
Amsittene	42	Site moyennement riche
Tafingoult	38	Site moyennement riche
Amagour	31	Valeur moyenne

Source : DREFLCD-SO (2020)

D'après le tableau 2 nous avons retenu les 2 zones dites : Aghroud et Ain Asmama comme des zones représentatives, afin d'évaluer le potentiel de séquestration de carbone dans la zone Nord de la RBA. Le rapport de l'évaluation décennale de la RBA 2008-2017 et Elaboration du Nouveau Plan d'Action 2018 – 2027 (DEF/DREFLCD-SO, 2020) a établi une description des 2 zones :

➤ **Aghroud :**

Ce site a de bonnes valeurs paysagères, du fait d'un chaînon de montagne surplombant l'océan, et de gorges. L'endémisme végétal est assez élevé. L'état de conservation y est bon, du fait de la faible pression pastorale, et du maintien de Mouflon à manchettes. Ce site constitue une partie du SIBE de Tamri.

➤ **Ain asmama :**

Ce site a des caractéristiques paysagères spectaculaires, atténuées par les grands axes routiers et les infrastructures (lignes électriques). Les milieux y sont très variés, depuis l'arganeraie jusqu'à la tétraclinaie et la chênaie. L'état de conservation végétal et animal y est moyen. La pression pastorale y est modérée.

1.3. La situation géographique et administrative de la zone d'étude

La situation administrative de zone d'étude est illustrée dans le tableau 3:

Tableau 3: Situation administrative des zones centrales

La zone centrale	Région	Province	Commune	Superficie (ha)
Aghroud	Souss-Massa	Préfecture Agadir-Ida Ou Tanane	Tamri	3 797
Ain asmama	Souss-Massa	Taroudant	Argana	1 747
	Marrakech-Safi	Essaouira	Assais	

Source : DREFLCD-SO(2020)

La zone d'étude de ce présent travail englobe la province de Taroudant, Essaouira et la Préfecture d'Agadir-Ida Ou Tanane (figure8 et 9).

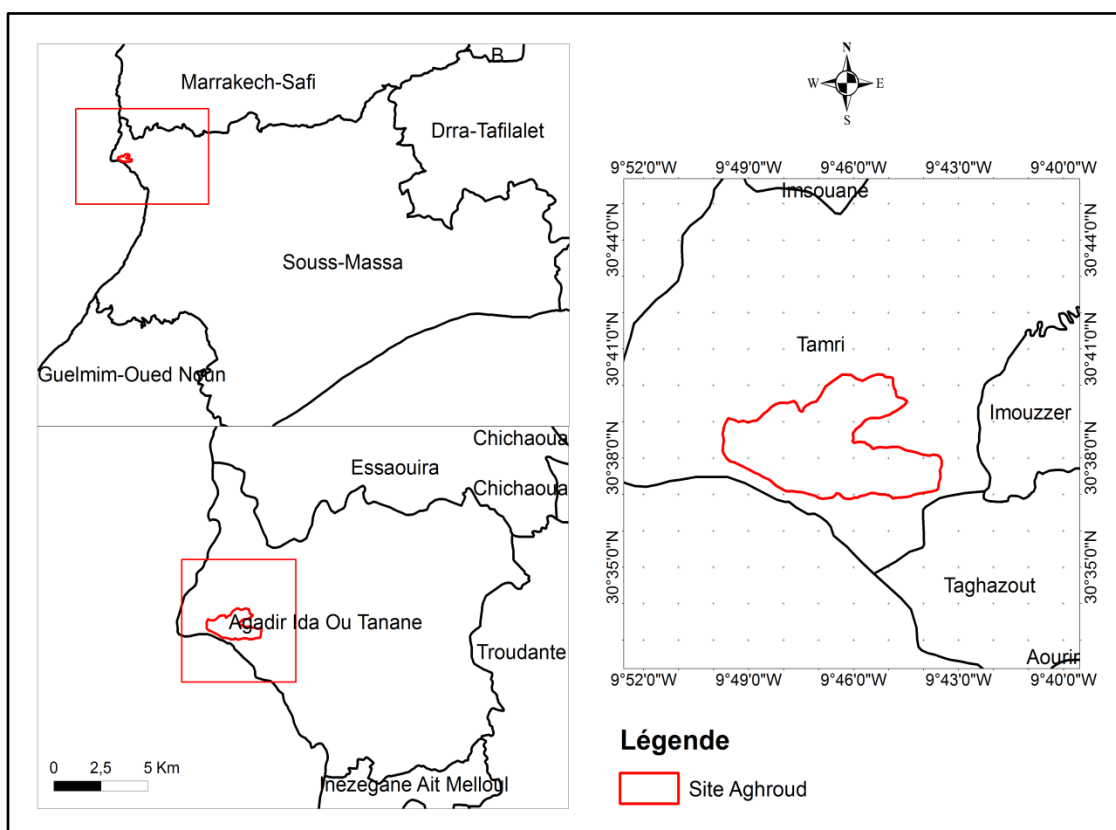


Figure 8: la carte de la localisation du site Aghroud

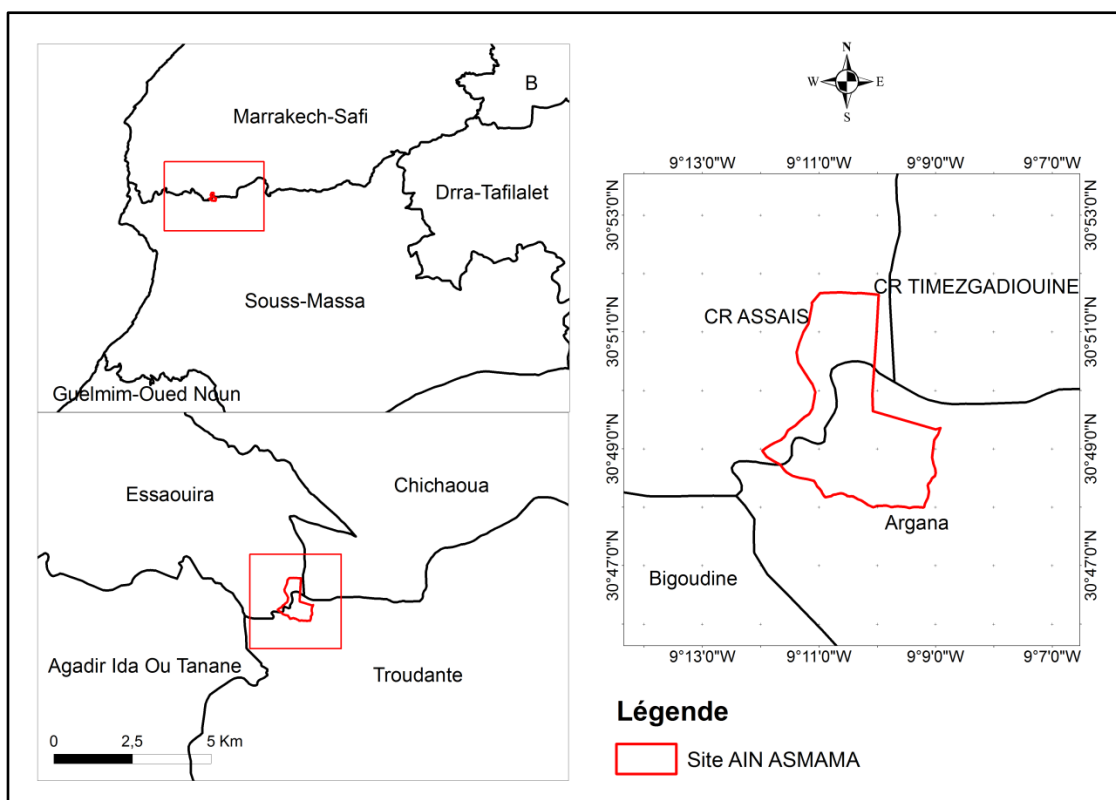
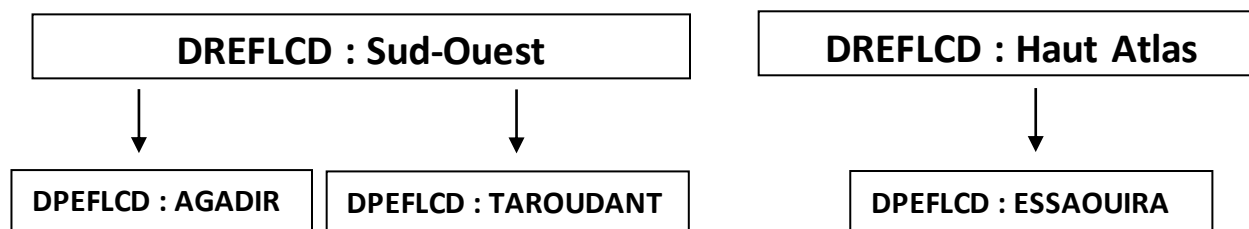


Figure 9: la carte de la localisation du site Ain Asmama

1.4. Situation forestière de la zone d'étude

De point de vue découpage forestier, la zone d'étude relève de la DREFLCD du Sud-Ouest et la DREFLCD du Haut Atlas comme suit :



1.5. Milieu physique

1.5.1. Géologie et pédologie

Le site Aghroud appartient au massif des Ida-Ou-Tanane, ensemble peu élevé, constituant la terminaison occidentale du Haut Atlas. Elle fait partie du domaine structural atlasique qui englobe toute la chaîne du Haut Atlas.

Du point de vue géologique, la majorité des faciès géologiques appartiennent au Secondaire, il s'agit de formations du jurassique et du crétacé. Ces formations sont constituées, essentiellement, soit de marnes ou d'argiles caractérisant le crétacé, soit de calcaires, propres pour l'essentiel, au jurassique **(Ambroggi, 1963; Adams et al, 1980)**.

Le site Ain Asmama se répartit sur une petite partie du massif ancien et en grande partie au niveau du couloir d'Argana. Il s'agit d'une dépression bien marquée entre le massif ancien du Haut Atlas et l'Atlas occidental. Elle se trouve sur un accident Nord/Sud qui abaisse de 1000 m à l'Ouest, les formations paléozoïques sous les sédiments du Trias.

D'une manière succincte, le Haut Atlas occidental présente les formations géologiques suivantes **(Benabid, 1976)** :

- formations dunaires anciennes du quaternaire tout le long du littoral.
- Assises calcaires tabulaires du crétacé supérieur et inférieur dominantes dans le Naha.
- assises calcaires du jurassique : Amsitène et Ida-Ou-Tanane.
- Assises d'argiles rouges et grès permo-triasique : vallée de l'Assif Ait Moussa (couloir d'Argana).

Les types de sols rencontrés sont les suivants :

- ✓ Les sols colluvions du piémont dont la richesse est fonction de la nature

minéralogique (superficiels ou profonds),

- ✓ Les sols alluviaux (vallées) profonds riches en éléments fins,
- ✓ Les sols de terrasse sur croûte calcaire,
- ✓ Les sols alluviaux sur horizons sableux. Ces croûtes apparaissent souvent sous forme de dalles conglomératiques.

1.5.2. Topographie

La RBA couvre une vaste plaine aux bordures montagneuses variablement ouverte à l'Ouest sur l'océan atlantique. 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. L'horizon est barré au Nord par la retombée méridionale du Haut Atlas Occidental. A l'Est, cette montagne est massive et élevée ; à l'Ouest, elle se transforme en système de chaînons séparés par des plateaux inclinés vers l'océan.

Du point de vue morphologique, le Haut Atlas Occidental est d'accès difficile et de pénétration pénible, il ne présente cependant pas l'aspect de hautes montagnes (**Combe, 1977**). Il est surtout constitué de plateaux étagés en gradins dont l'altitude diminue progressivement vers l'Ouest et vers le Nord. Ce massif renferme de vallées profondes et encaissées, des falaises abruptes et donnant un relief d'aspect mouvementé et pittoresque. **Weisrock (1980)** distingue 3 unités topographiques :

- les bas plateaux du nord: 300 à 600 m d'altitude;
- les plateaux intermédiaires: 600 à 900 m d'altitude;
- le domaine montagneux qui occupe la partie sud-est du bassin d'Agadir qui culmine à plus de 1500 m.

1.5.3. Conditions bioclimatiques

Le climat de la région, comme celui de tout le Maroc, est de type méditerranéen (**Emberger, 1955**). C'est un climat extra tropical à photopériodisme saisonnier et quotidien qui se caractérise par une concentration hivernale des précipitations, l'été étant sec (**Emberger, 1955; Daget, 1984**). En raison de sa latitude, le secteur est situé sur la marge méridionale de la zone de passage des perturbations du front polaire (**Delannoy, 1988**). Pendant la saison des pluies, le front polaire descend loin vers le sud, alors qu'en été, il est rejeté à une latitude plus septentrionale.

Trois éléments principaux déterminent le climat de la région:

- en hiver, les vents du nord et nord-ouest apportent précipitations et humidité;
- les vents du sud et du sud-est (chergui) apportent chaleur et sécheresse;
- l'océan atlantique exerce une action modératrice sur le climat et par conséquent, il influence la répartition de la végétation.

En outre, l'action de ces trois influences reste liée à un certain nombre de facteurs locaux tels que l'orographie, le degré de continentalité et l'exposition des versants.

La pluviométrie moyenne annuelle pour la zone est : 200 à 400 mm en montagne. Quant aux températures à Agadir, elles se présentent comme suit :

- Température moyenne du mois le plus chaud : 27°C
- Température moyenne du mois le plus froid : 7°C

1.5.3.1. Les précipitations

La répartition spatiale des précipitations au niveau de la zone d'étude, est variable et dépend essentiellement de l'altitude, de l'exposition et de l'éloignement par rapport à la côte atlantique. Les moyennes annuelles de la pluviométrie sont de l'ordre de 267 mm à la station de Tamri 2, 425mm au niveau de celle d'Ain Tamalokt, 220 mm à Argana et 548 mm à celle d'Ain asmama (tableau 4).

Tableau 4: Les précipitations moyennes mensuelles et annuelles des stations de la zone d'étude

Station	Durée d'observation (ans)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AN
Agadir	78	43	33	26	19	4	1	0	1	4	19	42	45	237
Ain Asmama	46	90	78	65	41	20	4	2	7	17	54	92	78	548
Ain Tamalokt	48	76	56	48	29	6	1	0	0	5	46	82	76	425
Argana	62	41	31	24	10	5	2	0	3	5	24	31	44	220
Essaouira	62	42	31	34	25	9	11	0	1	6	19	42	48	268
Imouzzzer Ida Ou Tanane	52	85	78	69	45	12	2	0	0	12	47	91	92	533
Imi Imikki	10	37	43	23	9	3	1	0	0	2	22	49	46	235
Tamanar	62	51	46	36	22	11	2	0	0	4	33	63	49	317
Tamri 1	14	41	39	33	13	7	1	0	0	2	28	64	37	265
Tamri 2	16	32	31	34	21	5	0,5	0	0	1,2	33	70	40	267,2
Tamri 3	9	33	46	31	14	3,3	0,9	0	0	1,3	12	52	16	210,0
Tamri 4	6	23	23	34	28	3	0	0	0	0,5	38	77	43	270,5

Source: DRH d'Agadir, DREF d'Agadir, O.R.M.V.A, CDF de Tamanar et d'Essaouira

L'analyse des moyennes mensuelles et annuelles des précipitations (Tableau 3) permet de dégager les points suivants:

- Les précipitations augmentent avec l'altitude; la station de Tamri, située à 36 m d'altitude, enregistre une moyenne annuelle de l'ordre de 265mm, Aïn Tamalokt (575m) et Aïn Asmama (1580 m) enregistrent respectivement 425 mm et 548 mm;
- Sur le littoral, les précipitations augmentent du sud vers le nord en relation avec le gradient latitudinal, ainsi Agadir enregistre une pluviométrie annuelle de 237 mm, Tamri située plus vers le nord enregistrent 265mm (figure 10);
- L'examen des moyennes des précipitations (Tableau 4) met en évidence une irrégularité intermensuelle et interannuelle.

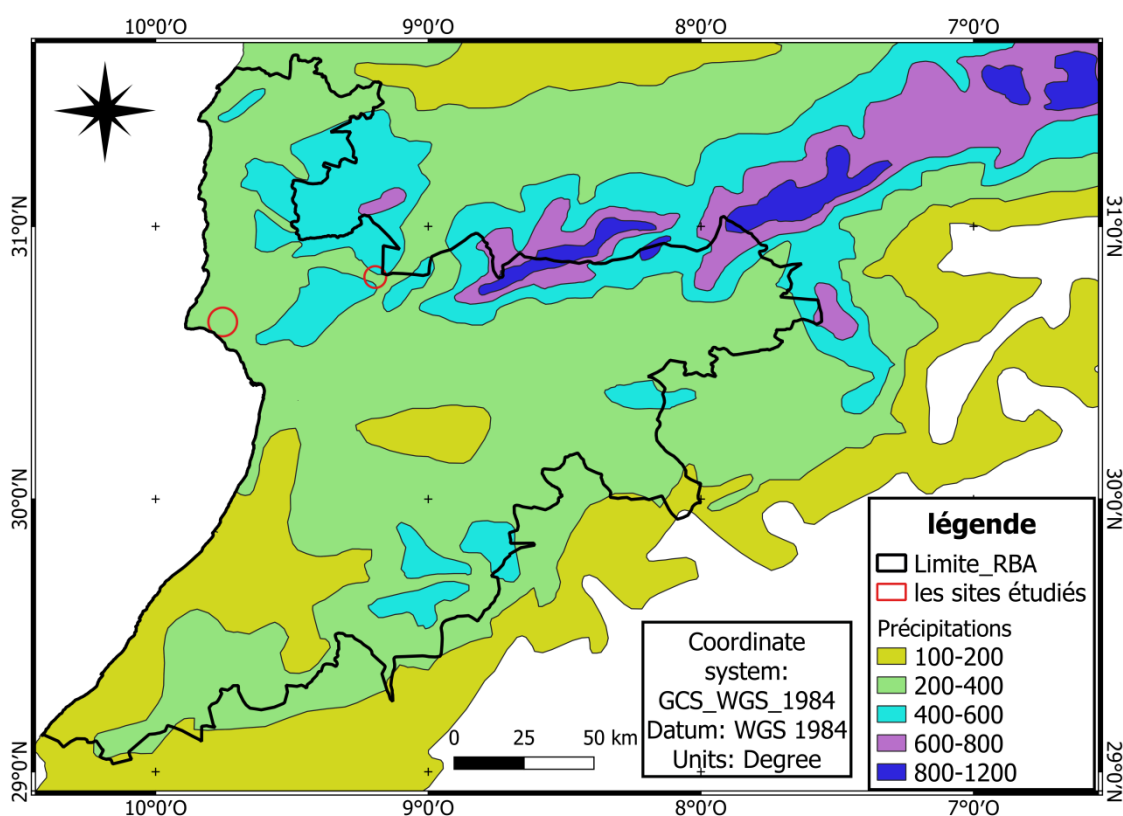


Figure 10:carte de la répartition des précipitations (mm)

1.5.3.2. Les températures

Les températures constituent un facteur déterminant qui régit la répartition et la croissance des espèces végétales. Le développement normal des végétaux s'effectue entre deux pôles thermiques: la moyenne des minima du mois le plus froid (m) et celle des maxima du mois le plus chaud (M) (**Emberger, 1930**).

En absence des données de températures de certaines stations utilisées, on se contente des données des stations d'Agadir, Ida-outanane et de Taroudant situées au sein de l'aire de répartition naturelle de l'arganier (tableau 5).

Tableau 5:Température maximales et minimales des stations de la zone d'étude

Station	T(C)	J	F	M	Av	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Moy. Ann
Agadir	Maxi	20,2	21,5	22,7	23,4	24,1	25	26,4	27	26,7	25,9	23,8	20,9	24
	Mini	7,3	8,7	10,7	12,6	14,5	16,5	17,8	18,1	17,2	15,1	12,1	8,6	13
Taroudant	Maxi	21,6	23,3	25,5	27,4	29	30,8	35,2	35,8	33,2	29,5	25,7	22,1	28,3
	Mini	5,5	7	8,9	10,5	12,2	14,1	16,3	15,9	15,1	13	10	6,4	11,3
Ida-Outanane	Maxi	14,3	15,9	19,1	20,9	22,8	28,7	33,8	31,8	27,4	21,7	17,6	15,9	22,5
	Mini	4,8	5,8	7,7	9,5	10,4	14,4	20,9	19,2	16,1	12	8,6	6,7	11,5

Source : (CNRF- Rabat, in HCEFLCD, 2006)

L'amplitude thermique reflète l'importance des influences océaniques, Plus l'amplitude thermique est élevée, plus la continentalité en est de même. L'écart thermique varie de 19,7°C à Agadir, 30,5°C à Taroudant et 29 à Ida-outanane (Tableau 6) :

Tableau 6:Synthèses bioclimatiques

Station	T°C Moy.annuelle	M	m	M-m	Type de climat Debrach	Q2	Type de climat Emberger
Agadir	18,7	27	7,3	19,7	Littoral modéré	35	Aride chaud
Troudant	19,8	35,8	5,5	30,3	Semi-continental	27	Aride
Ida-outanane	17	33,8	4,8	29	Semi-continental modéré	52,6	Semi-aride Tempéré

T : température moyenne annuelle ; M : Moyenne des maximas de températures du mois le plus chaud ; m : Moyenne des minimas de températures du mois le plus froid ; Q2 : Quotient pluviothermique d'Amberger. Source (CNRF- Rabat, in HCEFLCD, 2006)

1.5.3.3. Hygrométrie

L'humidité relative de l'air, lorsqu'elle est élevée, constitue un facteur du climat très important pour l'arganeraie et ce pour une multitude de raisons. En effet, l'hygrométrie élevée de l'air atténue les phénomènes d'évapotranspiration et peut, lorsque le point de rosée est atteint, engendrer des précipitations occultes sous forme de rosée ce qui est très bénéfique pour la végétation en général et l'arganier en particulier. L'hygrométrie de l'air importante, à

des degrés divers bien entendu, est un élément clé pour le maintien des arganeraies **(Emberger L, 1939)**.

En effet, l'hygrométrie élevée de l'air est d'autant plus importante qu'elle ait lieu plus particulièrement en période estivale (été), ce qui atténue considérablement les phénomènes d'évapotranspiration durant cette période chaude et sans pluie et donc sèche sur le plan hydrique.

Les moyennes annuelles de l'humidité relative de l'air telles qu'elles sont évaluées par **Bendaanoun (1991)** pour le littoral du Sud marocain et plus particulièrement à Agadir sont : 75% (valeurs correspondantes à des moyennes établies pour une longue période (1960-1988) et pour différents moments d'observations au cours de la journée (06h + 12h + 18h). Les données des stations internes sont rares. En se référant aux évaluations établies par **Peltier (1982)**, la moyenne annuelle de l'hygrométrie est de 64% (06h + 18h) pour Taroudant.

1.5.3.4. Le vent

La région du Sud-ouest marocain est relativement très ventée, les valeurs du vent fluctuent généralement entre 4 et 6 m/s. Le nombre de jours de vents violents (>16m/s) est compris entre 14 et 30 jours/an en moyenne. **(Bendaanoun, 1991)**. Des statistiques portant sur les vitesses et directions des vents à Agadir ont montré que les vents venant de l'Ouest représentent 36.7 %, ces vents sont marqués par leur fraîcheur qui atténue les températures maximales de 4°C et augmente l'humidité de 40%. Quant aux Chergui (Vent chaud et sec), il représente 12.3% avec des moyennes annuelles comprise entre 30 et 60 jours / an, ce sont des vents venant de l'Est et qui apportent des températures excessives pouvant dépasser 40 °C. Quant aux vents WSW et WNW ils représentent respectivement 10,5 et 9,2% de l'ensemble des directions des vents **(Bendaanoun, 1991)**.

1.5.3.5. la sécheresse

Au Maroc, 93 % de la superficie du territoire national, sous climat sec (aride à subhumide), se caractérise par une sensibilité à la désertification à des degrés différents **(Naggar, 2018)**. En effet, le processus de la désertification affecte de plus en plus de terres et demeure plus prononcé dans les écosystèmes à climat aride en l'occurrence l'arganeraie, avec des cycles de plus en plus longs de sécheresse. La sécheresse observée cette année au Maroc est exceptionnelle par son intensité, son ampleur et sa durée. Le pays connaît sa pire sécheresse

depuis trente ans, les précipitations ne représentent que 13% de la moyenne enregistrée en cette période. Le niveau du taux de remplissage des barrages n'a jamais été aussi bas.

Les conséquences de la sécheresse, surtout lorsque celle-ci est prolongée sur plusieurs années, s'expriment par des baisses considérables des productions des écosystèmes naturels. Le manque de précipitation accentue également la vulnérabilité du couvert végétal aux agressions d'origines anthropiques. L'écosystème de l'arganier dont fait partie la région Nord de la RBA, a connu une sécheresse inédite qui a influencé le couvert végétal, dû l'absence de la strate herbacée lors de la réalisation de ce travail.

1.6. Milieu naturel

1.6.1. Biodiversité floristique

La flore de la RBA se caractérise par son originalité, sa spécificité et sa diversité. En effet, sur le plan phytogéographique, cette partie méridionale du Maroc constitue un carrefour de flores d'origines diverses : méditerranéenne, tropicale, Macaronésienne et endémique.

L'arganier forme un véritable rempart vert contre le désert saharien et joue en plus de sa principale fonction écologique, un rôle essentiellement socio-économique aussi bien pour les populations riveraines à l'amont que pour toute la chaîne de valeur qui s'étend jusqu'au-delà de son territoire où ses ultimes ramifications prennent fin.

L'analyse globale de la végétation dans cette étendue de plus de 2.5 million d'ha, nécessite le croisement de plusieurs facteurs déterminants pour la végétation, notamment les caractéristiques morpho-structurales, les conditions climatologiques et les essences boisées majeurs. Cette classification a permis de distinguer les unités suivantes (DEF, 2020) :

1. Unité à arganier et thuya des plateaux atlantiques semi-arides d'Essaouira.
2. Unité à arganier des plateaux atlantiques et versants méridionaux de l'Atlas atlantique aride.
3. Unité thuya et chêne vert des versants méridionaux de l'Atlas atlantique semi-aride.
4. Unité à arganier des montagnes d'Atlas atlantique calcaire aride-semi-aride.
5. Unité à arganier du couloir Argana.
6. Unité à arganier de montagne avec thuya et chêne vert du massif ancien du Haut Atlas et les versants méridionaux d'Atlas atlantiques semi-aride.
7. Unité à arganier de la plaine du Souss aride.
8. Unité à arganier des plaines de Chtouka-Massa et de Tiznit aride.

9. Unité à arganier avec en altitude les steppes de l'Anti-Atlas occidental aride, semi-aride.
10. Unité à steppe de l'espace des boutonnières aride.
11. Unité à arganier de l'espace des boutonnières (Ifni) aride.

1.6.2. Biodiversité faunistique

La diversité écosystémique spécifique est très importante dans la zone de RBA, du fait de sa situation géographique entre l'océan atlantique à l'Ouest, le méditerranée au Nord et le Sahara au sud et aussi du fait des variations altitudinales et climatiques observées.

L'inventaire exhaustif de la faune a été basé sur l'analyse détaillée des données bibliographiques existantes (études des aires protégées, articles, mémoires, travaux de recherche...). Il a ressorti une biodiversité remarquable en termes de potentialités faunistiques avec un minimum de 66 espèces de mammifères, de 174 oiseaux, et de 63 amphibiens et reptiles.

Bien que nombres d'espèces de la grande faune qui faisait jadis la notoriété de la région notamment, la panthère, l'hyène rayée, le caracal, ainsi que les grands rapaces ont récemment disparu sous la pression anthropique croissante, le massif du Haut Atlas occidental, dont fait partie le site Aghroud et Ain asmama, héberge encore une diversité faunistique remarquable avec des minimum de 128 espèces d'oiseaux, de 40 mammifères, de 40 amphibiens et reptiles (DEF, 2016)

1.7. Milieu humain

1.7.1. Démographie et répartition de la population

L'étude a été basée sur les résultats des deux recensements, les plus proches de la période d'évaluation, notamment, ceux de 2004 et 2014. la population totale, au niveau des provinces concernées par la RBA, a évolué de 2,78 Millions d'habitants à plus de 3,12 Millions d'habitants, au cours de cette décennie, avec un taux moyen d'accroissement de 0,012, et le nombre de ménage s'est vu augmenter de 534 295 à 680 558 ménages, avec un taux d'accroissement de 0,025 soit le double de la vitesse d'accroissement des habitants.

L'émigration, à la fois interne et externe, est très bien marquée dans la zone, particulièrement en milieu rural. Les habitats sont répartis entre ceux en douar (axe routier Agadir –Essaouira) et en pisé (sur abords des pistes et routes). La majorité est construite avec des murs en pisés avec des toits en thuya.

La densité de la population reste cependant assez faible avec un taux de 0,75 habitant par hectare. Le tableau 7 qui suit illustre ces constats par province :

Tableau 7: Le recensement général de la population et de l'habitat de 2004 et 2014 par province

Province	2004		2014		Taux d'accroissement	
	Habitants	Ménage	Habitants	Ménage	Habitants	Ménage
Essaouira	452 979	84 750	450 527	94 107	-0 ,001	0,011
Agadir-Ida-Otanane	487 954	103 395	600 599	143 752	0,023	0,039
Taroudant	780 661	138 054	834 712	170 133	0,007	0,023

Source : (HCP, 2014)

1.7.2. Pressions et Menaces liées au milieu humain

La culture des céréales, pratiquée traditionnellement par la population locale ne posait pas de problèmes quant à l'avenir de la forêt d'arganier, et ce jusqu'en 1960. A partir de cette date, la culture maraîchère a pris de l'ampleur et commençait à se développer intensivement sous l'arganier. Cette situation aggravait le problème surtout à partir des années 1970 où nous avons assisté à l'abattage des sujets, au creusement de puits et à la pratique du système itinérant des cultures. Les exploitants abandonnent les anciennes parcelles dont le rendement chute après trois années environ pour aller chercher d'autres parcelles vierges.

Avec l'arrivée de l'intensification et la valorisation des cultures sous serres et en plein champs, particulièrement celles destinées aux marchés internationaux, la situation s'est aggravé encore vis-à-vis de l'arganeraie, qui se retrouve dans la difficulté de résister dans les plaines face à la propagation des exploitations agricoles de forte valeur économique. L'arrivée du plan Maroc vert a ajouté un coup de pouce à ce phénomène en encourageant et subventionnant l'intensification agricole, malgré l'adoption des systèmes à économie d'eau, mais la nappe déjà épuisée ne supporte plus assez et se voit en nette régression. La nappe s'enfouit partout et les arbres subissent une déshydratation progressive.

Parmi les autres pressions les plus prépondérantes sur les écosystèmes d'arganier, nous citons : la coupe de bois (bois de feu) et le surpâturage. Ces deux menaces universelles dans les forêts marocaines, sont considérées comme étant les locomotives de régression du couvert arganier (en plus de la sécheresse facteur N°1 par excellence).

Et dans ce cas particulier de la RBA, c'est le surpâturage qui pèse le plus. L'organisation de l'activité pastorale a été au cœur des départements étatiques en tutelle, qui ont tenté à plusieurs reprises des actions pour atténuer son impact négatif qui amplifie nettement le niveau de dégradation des ressources. Le HCEFLCD a analysé la problématique pastorale dans le cadre des aménagements des forêts, des aires protégées et des bassins versants à travers des cas d'amélioration sylvo-pastorale (ASP). L'ANDZOA a initié en 2013 une étude sur le pastoralisme dans l'arganier ayant dégagé les grandes orientations d'organisation de cette activité et de la transhumance dans cette aire géographique.

En plus de ces menaces, la régression de la forêt et le développement de l'urbanisme ont provoqué une très forte régression de la faune, en déstabilisant leurs habitats originels, surtout dans les plaines mais aussi dans les zones montagneuses. Certaines espèces sont déjà éteintes, un grand nombre d'autres est rare et menacé d'extinction.

Les changements du climat, quant à eux, sont nettement remarquables durant cette décennie. Des modifications dans le régime de chute de neige sur les hauts sommets de la RBA ont engendré des perturbations dans le régime des cours d'eau alimentant les barrages. Ceci a impacté la disponibilité et la capacité d'irrigation à partir de ces barrages et le renforcement de l'alimentation en eau potable.

Sans oublier un autre facteur de dégradation de ces écosystèmes, qui prend de l'ampleur dans le cas de la RBA, s'agissant de l'exploitation incontrôlée des plantes médicinales et aromatiques pour l'extraction des huiles essentielles, qui malgré toutes les tentatives des eaux et forêts, du département de l'agriculture, du ministère de l'environnement, de la société civile... reste un pilier faible qui n'est pas encore arrivé au stade de maturation et d'exploitation rationnelle et durable des ressources naturelles. La répartition spatiale de l'exploitation des PAM est également inégale, avec la surexploitation des zones adjacentes aux établissements humains et des sources d'eau et, plus généralement, des zones où l'accès est facile pour les travailleurs, ce qui limite encore la productivité globale et la durabilité des pratiques d'utilisation des PAM. Le problème est aggravé par la multiplicité des usagers et la diversité des intérêts des différentes parties prenantes (Etat, industrie, exportateurs, usagers locaux, etc.) ainsi que la mauvaise organisation des activités professionnelles.

Chapitre 2 : Approche méthodologique

2.1. Stratégie d'échantillonnage

2.1.1. 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 (2020). 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 sites Aghroud et Ain asmama sont subdivisées en strates ou unités homogènes selon type de zone (centrale, 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 ;
- Déterminer la taille de la placette ; pour ce faire, nous avons travaillé sur une aire minimale dont les caractéristiques sont développées dans la suite du texte.

2.1.2. 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 sites étudiées à savoir Aghroud et Ain Asmama.

De ce fait, nous avons identifiés 3 strates (les unités homogènes) pour chaque site à savoir zone centrale, tampon et de transition (figure 11 et 12).

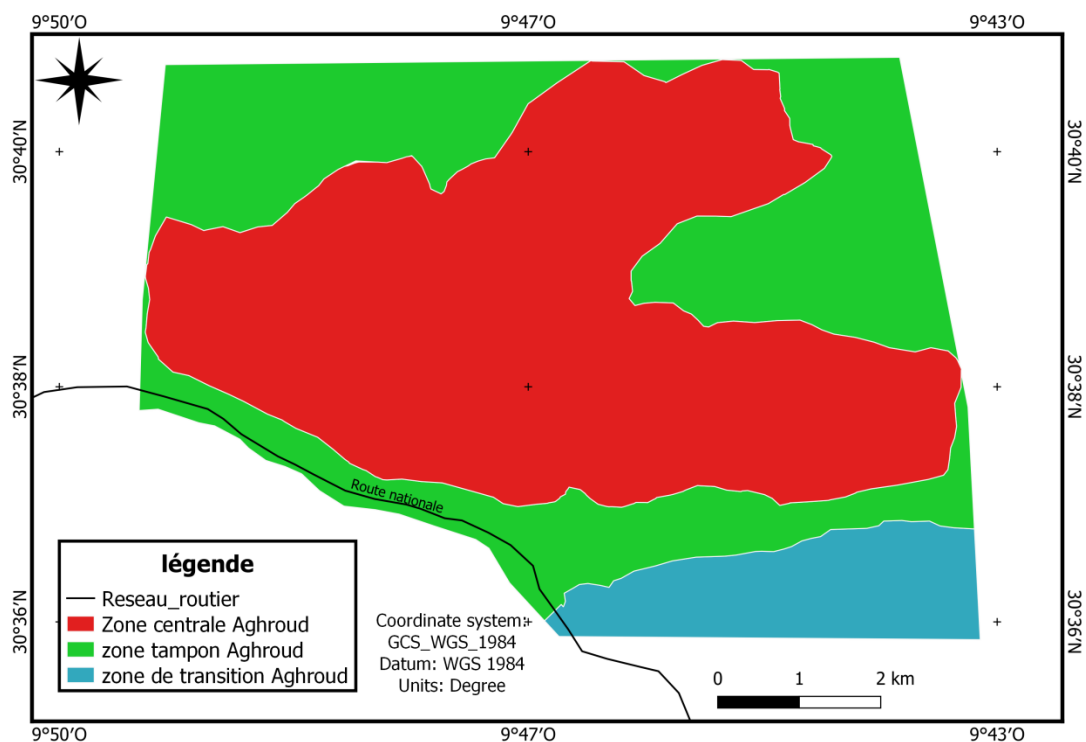


Figure 11: Carte des unités homogènes au niveau du site Aghroud

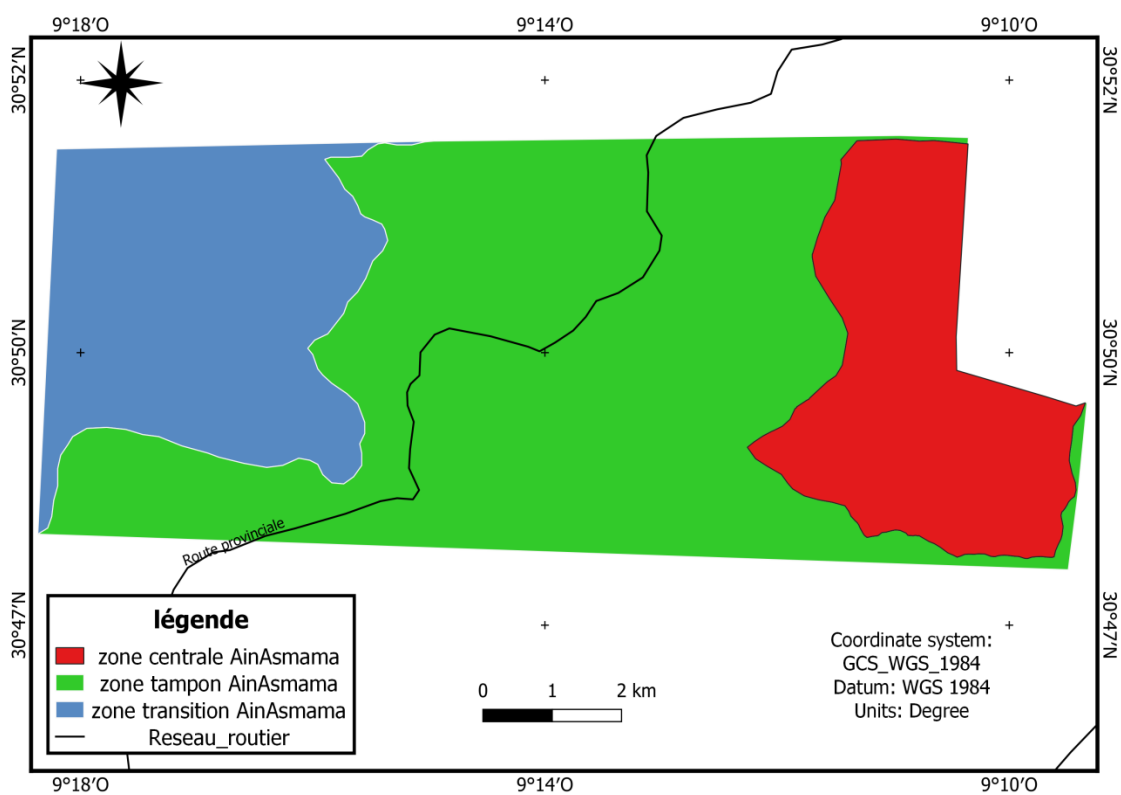


Figure 12: Carte des unités homogènes au niveau du site Ain Asmama

2.1.3. 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 in Belghazi T. 2013**), il propose un minimum de 10 relevés par strate et de 200 relevés pour l'ensemble de la superficie à échantillonner. Pour notre cas et compte tenu de l'immensité de la zone d'étude (900000 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.

2.1.4. Répartition des placettes sur le terrain

Selon (**Godron, 1971 ; 1976**) nous avons adopté une répartition équitable entre toutes les unités homogènes sans tenir compte de la taille ni du poids de la strate. Nous avons déterminé un minimum de 10 placettes pour chaque strate (le tableau 8 et les figure 13 et 14).

Tableau 8: répartition des placettes au niveau des strates étudiées pour les 2 sites

Zone d'étude	Strates	Nombre de placettes
Aghroud	Zone centrale	10
	Zone tampon	10
	Zone de transition	10
Ain asmama	Zone centrale	10
	Zone tampon	10
	Zone de transition	10

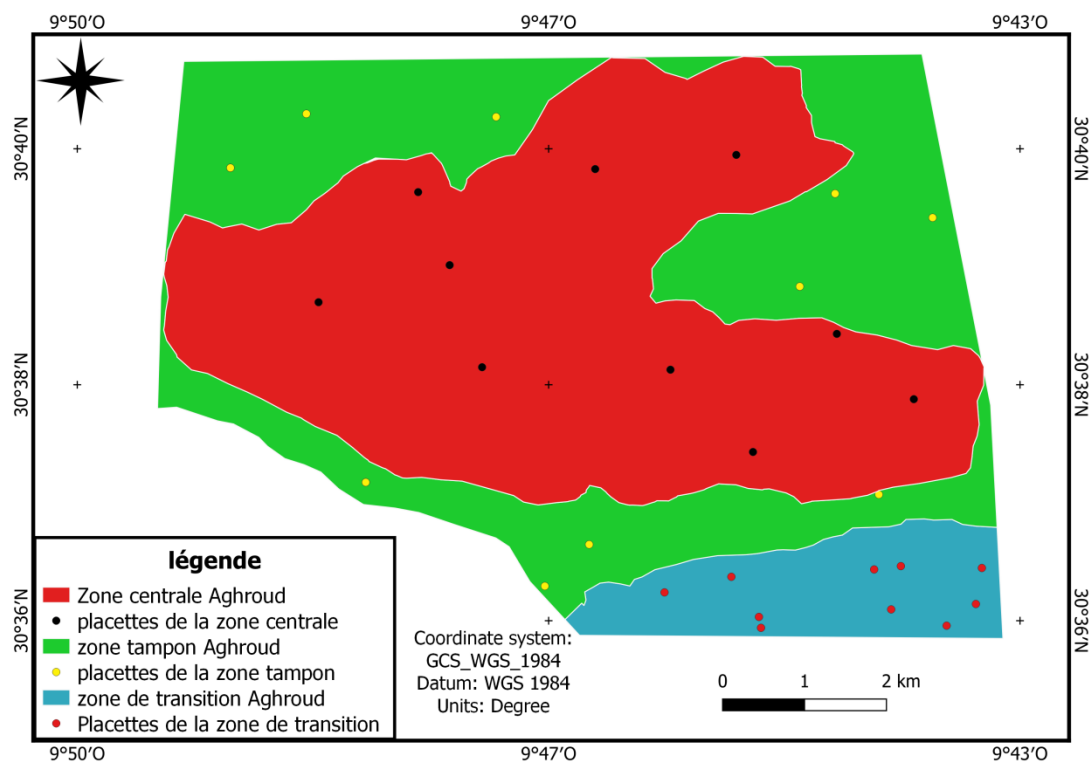


Figure 13: Carte de localisation des placettes au niveau du site Aghroud

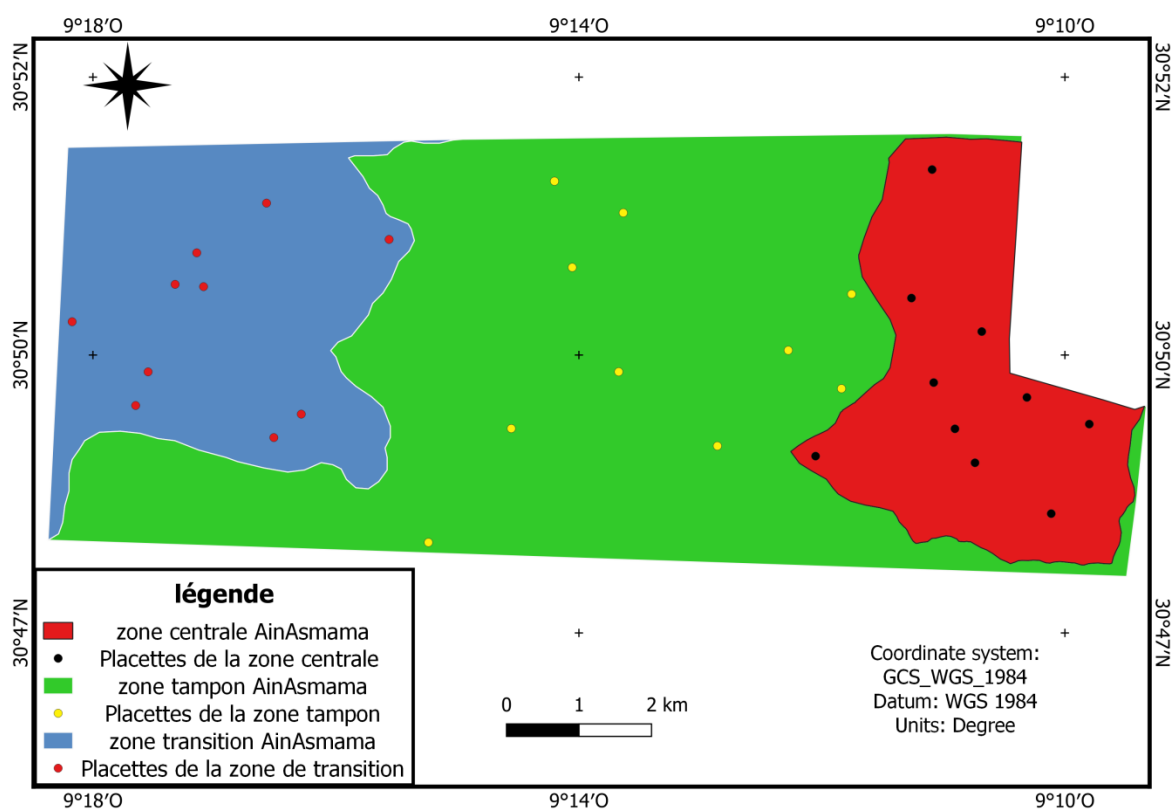


Figure 14: Carte de localisation des placettes au niveau du site Ain asmama

2.1.5. Taille et forme de la placette

La forme et la dimension de la placette constituent deux éléments importants et la finalité de l'échantillonnage dépend aussi du choix de ces deux éléments. En effet, pour une même intensité de sondage, il est avantageux d'avoir un nombre de placettes aussi élevé que possible, ce qui implique une diminution de leur surface unitaire. Cependant, si cette surface devient trop petite, la placette risque de ne plus être représentative **(Belghazi, 1990)**.

La placette peut épouser plusieurs formes: circulaire, carrée, rectangulaire etc... 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 Aghroud et Ain Asmama, nous avons retenu la forme circulaire de 12 m de rayon, soit une superficie de cinq ares. Cette aire minimale varie d'une formation végétale à une autre **(Ozenda 1982)**.

2.2. Méthodes d'estimation des stocks du C

Le choix de la méthodologie sera porté sur les équations de biomasse. Nous pouvons expliquer ce choix pour deux principales raisons.

- L'analyse bibliographique révèle que l'utilisation des équations de biomasse est la démarche la plus utilisée pour l'estimation du stock du carbone ;
- La législation forestière n'autorise pas l'abattage des arbres de l'arganier ;

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

La figure 15 illustre le cheminement général pour l'obtention de la quantité du carbone stockée par l'arganier à partir des données dendrométriques :

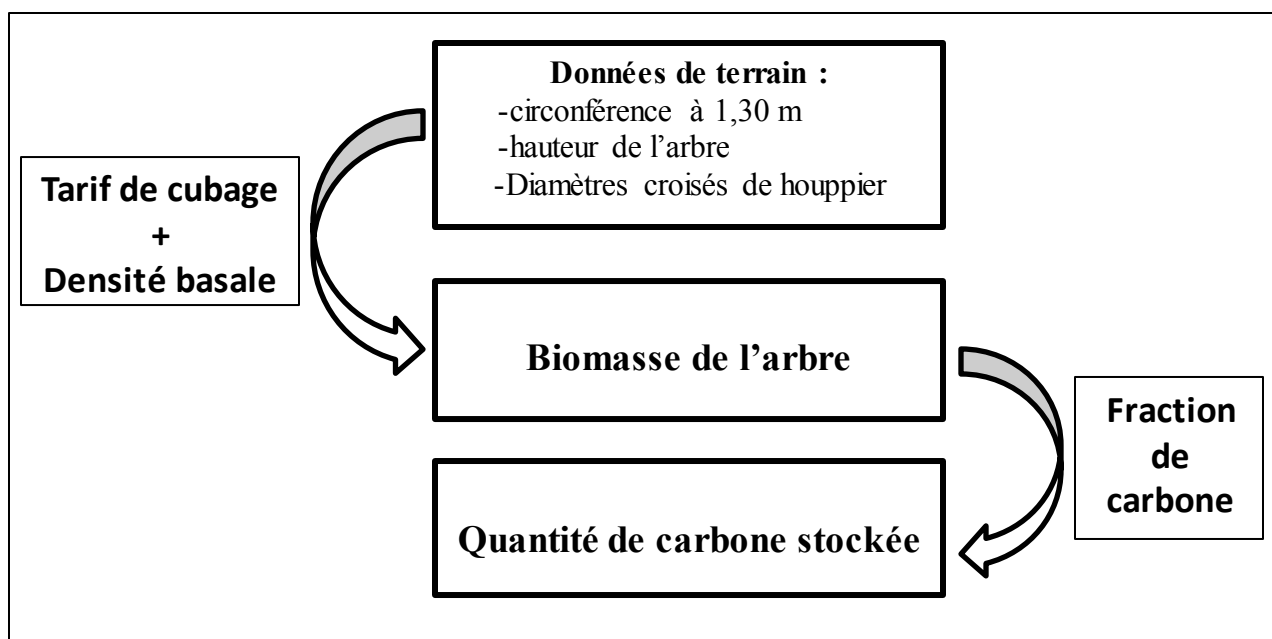


Figure 15: Démarche envisagée pour évaluer la quantité du carbone stockée par l'arganier

2.3. Réservoir 1 : la Biomasse Aérienne (BA)

2.3.1. Échantillonnage des arbres

A l'intérieur de chaque placette, Les circonférences de toutes les tiges ont été mesurées à 1,30 m à l'aide d'un ruban, aussi la hauteur totale de l'arbre (à l'aide d'un vertex) et les deux diamètres croisés de houppier. Ces mesures nous a permis de calculer le volume sur pieds de tous les arbres.

2.3.2. 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 bois construits récemment par le service des aménagements de la DREF du Sud-Ouest et nous avons obtenu 2 équations pour les 2 zones.

Tout d'abord les tarifs de cubages ont toujours été établis dans l'objectif de réaliser des estimations du bois des arbres sur pieds. Le principe est d'aboutir à un modèle expliqué, en l'occurrence le volume, et une ou plusieurs variables explicatives qui lui sont corrélées comme la circonférence. Généralement on adopte des formules de type polynomial ou allométrique. Les équations utilisées dans notre cas sont les suivantes (Tableau 9) :

Tableau 9: Tarifs de cubage utilisé dans le calcul des volumes

Le site	Tarif de cubage utilisé	Référence
Aghroud	$V = 0,02674 * C^{2,0744}$	(DEF/ DREF-SO, 2016)
Ain Asmama	$V = -3,667 + 0,026 * C^2$	(DEF/ DREF-SO, 2015)

Avec :

V : volume du bois du tronc (dm³),

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

2.3.3. 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 :

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

Avec :

Db : infradensité ou densité basale (g cm⁻³),

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

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

2.3.4. Estimation de la biomasse foliaire

Les travaux des auteurs Oudaha (2007) et Regragui (1999) affirment que le diamètre moyen de la couronne est un bon estimateur de la biomasse ligneuse et foliaire des jeunes cépées

respectivement dans des taillis d'arganier et de chêne vert. De même, on fait référence aux travaux de **Marouch (2013)** et **Aammou (2013)** qui 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 :

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

Avec :

PSF : Poids sec foliaire en Kg;

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

2.3.5. 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; Pearson et Brown, 2005**). Cependant, cette fraction varie selon l'espèce. Selon **Ouswati (2016)** le pourcentage en poids du carbone contenu dans la matière sèche pour l'arganier est de 48,5 %.

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

Avec :

StC_{BA} : stock du carbone en kg dans la biomasse aérienne d'un arbre individuel,

M : biomasse sèche en kg.

2.4. Réservoir 2 : Nécromasse (N)

2.4.1. Échantillonnage du bois mort et litière

Dans la placette circulaire, un quadrant de 1m x 1m a été placé près de l'arganier pour collecter le bois mort. A l'intérieur du quadrant, un semi-quadrat de 0.5 m x 0.5 m pour collecter la litière de l'arganier (figure 16). Le bois mort et la litière collectée sont renvoyés au laboratoire pour déterminer leurs masses sèches et stocks du carbone.



Figure 16: Échantillonnage du bois mort et de la litière

2.4.2. Estimation de la biomasse

Les échantillons de litière et du bois mort ont été séchés au four à 80°C jusqu'à la stabilisation du poids sec (figure 17).



Figure 17:préparation des échantillons du bois mort et litière pour séchage

2.4.3. Estimation du stock du carbone

A partir des échantillons de bois mort et de la litière prélevés sur le terrain, nous avons pu déterminer la teneur en carbone par calcination dans un four à moufle à 600 °C pendant 4 heures. Cette teneur est estimée à un pourcentage moyen de 48,5% de la biomasse sèche. Donc le stock du carbone dans 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 est calculé comme suit :

$$\text{StCL} = \text{MSL} \times 48,5\%$$

Avec :

StCL : stock du carbone dans la litière (Kg) ;

MSL : masse sèche de la litière (g).

2.5. Réservoir 3 : sol (S)

2.5.1. 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. 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. On s'est limité à 30 cm de profondeur. Car, les travaux historiques sur les dynamiques du Carbone ont majoritairement été consacrés à la couche de sol considérée par les scientifiques, soit « 0-30 cm ». La plupart des calculs faits dans les travaux antérieurs se réfèrent à cet horizon, qui est aussi l'horizon de référence des travaux du GIEC.

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

2.5.2. Analyse du sol

2.5.2.1. Densité apparente

La densité apparente d'un sol est définie comme étant le rapport entre la masse du sol sec et son volume frais. Les échantillons destinés à la mesure de la densité apparente sont séchés à l'étuve à 105°C pendant 24h, 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 (figure 18).

$$D_a = M_0/V$$

D_a : Densité apparente (g.cm^{-3})

M_0 : masse du sol sec (g)

V : Volume total du sol (cm^3)



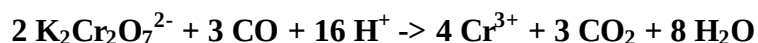
Figure 18: Séchage des échantillons du sol pour mesure de la densité apparente

2.5.2.2. Carbone organique du sol

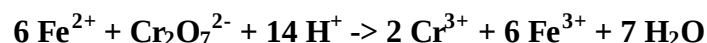
La quantification du C organique dans les échantillons du sol est réalisée par la méthode de **Walkley-Black (1934)** d'oxydation humide à l'acide chromique. Le carbone organique

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 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 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 65 °C pendant 48 heures et broyage 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 homogénéiser, 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 19 et 20).

Les mêmes étapes sont répétées pour le témoin et le calcul du C organique total contenu dans le sol s'est fait en appliquant la formule suivante :

$$C (\%) = 5,85 * \frac{(V_t - V_i)}{p * V_t}$$

Avec :

V_t : volume de la solution de sel de Mohr correspondant au titrage du témoin (ml) ;

V_i : volume de la solution de sel de Mohr correspondant au titrage de l'échantillon (ml) ;

p : poids de l'échantillon du sol pris (g).

La teneur en matière organique est donnée par la formule ci-dessous :

$$\% \text{ MO} = \% \text{ CO} \times 1,724$$



Figure 19 et 20: Dosage du carbone organique du sol

2.5.3. Estimation du stock du carbone du sol

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

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

2.6. 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 2016).

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel SPSS 25. 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%.

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

Pour étudier l'évolution de l'occupation du sol dans la RBA et dans la zone biogéographique de Haut Atlas et par la suite créer une Carte des changements d'occupation du sol et le stock de carbone, nous avons adopté une méthodologie qui se déroule en 3 étapes :

- Déterminer l'état de dégradation de la Couverture terrestre (Occupations des terres) dans la RBA en utilisant l'outil « Trends.Earth » sur le logiciel QGIS (datum WGS84) pour deux dates. On a opté pour la date de 1998 qui est caractérisé par la création de la RBA et 2021, date la plus récente;
- Evaluer l'état de dégradation de la Couverture terrestre (Occupations des terres) et le Stock du Carbone organique du sol(SCOS) dans la zone Nord de la RBA, en utilisant l'outil « Trends.Earth » entre 1998 et 2021 ;
- Caractériser les dynamiques spatiotemporelles des occupations de terres dans les zones centrales Aghroud et Ain Asmama à l'aide de logiciel « Google Earth Engine »

2.7.1. Données utilisées

Notre jeu de données des images satellitaires se compose de 2 images des années 1998 et 2021. 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.

Tableau 10: Caractéristiques des images satellitaires

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

2.7.2. Choix des classes

A partir de l'interprétation des images et à l'aide des sortie sur le terrain en plus de la bibliographie sur la RBA en général, et sur les zones centrales en particulier nous avons identifié 6 classes Dans cette étude. (Tableau 11) :

Tableau 11: 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).
Parcours	Il s'agit des pâturages et prairies naturelles, les zones à végétation clairsemée
Terrais cultivés (Agriculture)	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).
Etablissements humains	La classe regroupe les zones urbaines, les infrastructures et les zones connexes développées.
Terrain peu productif	Terres nues sans végétations (stériles), roches, dunes...
Eau	Regroupe les lacs d'eau naturels et artificiels. Rivières et oueds.

2.7.3. Détection et spatialisation des changements

L'outil trends.earth a permis d'analyser les occupations à l'échelle de la Réserve de Biosphère Arganeraie et la zone Nord entre 1998 et 2021 tandis que l'analyse diachronique des zones centrales entre 1998 et 2021 a été réalisée en combinant la télédétection et les SIGs.

PARTIE 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Chapitre 1 : Stock de carbone dans les différentes réservoirs de carbone

1.1. Introduction

Rappelons que l'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de la mise en réserve sur la séquestration du carbone. Nous avons comparé le stock du carbone dans les différentes zones centrales, tampons et transitions pour les deux sites Aghroud et Ain asmama. 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. La quantité de carbone dans ces différents réservoirs est influencée par la gestion et variée dans une zone à une autre. Les valeurs calculées incluent probablement des variations spatiales et temporelles (**Yanai et al., 2012**). La variation temporelle, tels que les différences écologiques entre les saisons ou entre les années pour certains paramètres fluctuants. À long terme, des événements tels que les coupes ou la croissance annuelle changeront légèrement la biomasse de peuplement, mais les données de la présente étude sont valables pour l'année de notre inventaire.

Il convient de signaler que durant la phase terrain de cette étude, nous avons intéressé à la biomasse de la strate arborée. En effet, au moment de l'inventaire, nous avons observé que dans les sites et aussi dans la zone Nord de la RBA, les arbustes et les herbacées ont été absents à cause d'une sécheresse commune et la rareté des précipitations en plus de la pression pastorale. Dans ce qui suit, le carbone sera estimé pour la biomasse de la strate arborée seulement.

1.2. Stock de carbone dans la biomasse aérienne

1.2.1. Estimation de la biomasse aérienne du peuplement d'arganier

La biomasse aérienne se définit comme étant la masse de la partie aérienne (tronc, écorce, branches, feuilles, rameaux) des arbres (vivants ou morts) à l'exclusion de la souche et des racines. Dans ce cas, elle est donc égale à la somme de la biomasse ligneuse et foliaire. Pour convertir le volume en biomasse nous avons utilisé la densité basale calculée à travers des échantillons prélevés sur le terrain, nous avons trouvé $Db=987 \text{ kg/m}^3$ pour la zone Nord.

La biomasse aérienne moyenne à l'échelle du peuplement pour les 2 sites étudiés varie de 3,23 à 7,54 t/ha (tableau 12). Pour le site Aghroud les moyennes globales étant de 4,08 t/ha dans la zone centrale(A), 7,54 t/ha pour la zone tampon(B) et 3,23 t/ha dans la zone transition(C).

Concernant le site Ain Asmama présente des valeurs de l'ordre de 4,98 t/ ha dans la zone A, 4,46 t/ ha pour la zone B et 4,19 t/ ha pour la zone C (tableau 12).

Tableau 12: Biomasse aérienne moyenne selon le zonage dans les 2 sites

Le site	la zone	biomasse ligneuse(t/ha)	biomasse foliaire(t/ha)	biomasse aérienne totale (t/ha)
Aghroud	centrale	3,963	0,117	4,08
	tampon	7,410	0,128	7,54
	transition	3,138	0,088	3,23
Ain asmama	centrale	4,884	0,096	4,98
	tampon	4,380	0,079	4,46
	transition	4,106	0,083	4,19

La biomasse ligneuse (tige principale) représente 97 % de la biomasse aérienne, alors que la biomasse foliaire représente uniquement 3% (Figure 21).

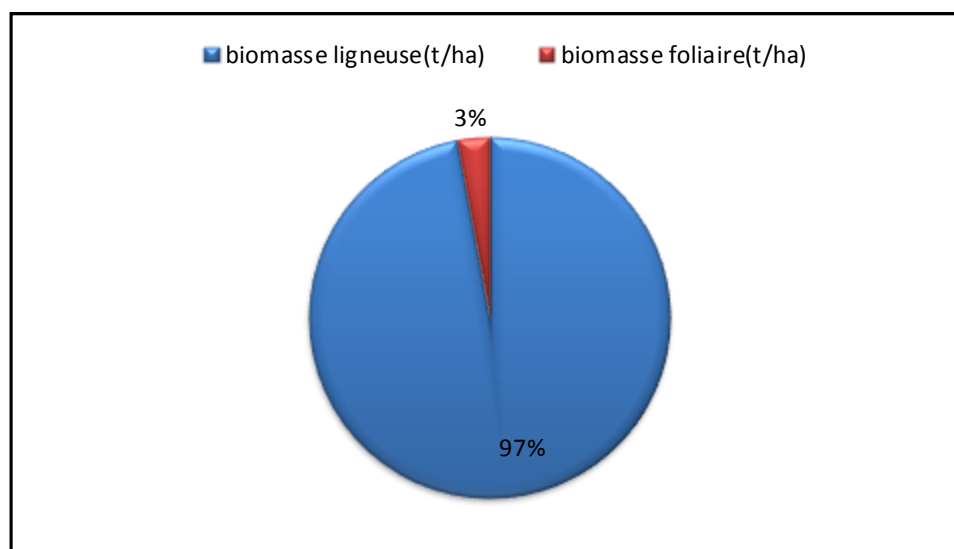


Figure 21: Contribution de la biomasse foliaire et ligneuse dans la biomasse aérienne

Dans les sites étudiés, les peuplements sont majoritairement des taillis de densité moyenne de 80 cépées/ha dans le site Ain Asmama et 120 cépées/ha dans le site Aghroud.

Les résultats obtenus concernant la biomasse aérienne moyenne ainsi que l'importance de la biomasse de la tige principale sont assez comparables à ceux enregistrés au niveau des peuplements d'arganier du plateau des Haha (la région d'Essaouira) rapportés par **Ouswati (2016)**, qui a estimé la biomasse ligneuse à 8,653 tonnes de matière sèche par hectare (MS/ha) et la biomasse foliaire à 0,886 kg MS/ha dans un peuplement de densité de 184 cépées/ha. De

même en comparant les résultats de notre étude et ceux de **Belghazi (2013)**, qui a estimé la biomasse ligneuse à 4,13 tMS/ha et foliaire à 0,37 tMS/ha dans le peuplement d'Imgrad avec une densité de 95 cépées/ha. Pour ce qui est des autres peuplements étudiés par le même auteur, à savoir Neknafa, Tamanar_sud, Iferkhess et Tissakatine la biomasse ligneuse est respectivement de 1,42 ; 3,86 ; 3,40 et 9,72 t MS/ha et la biomasse foliaire de 0,20 ; 0,23 ; 0,18 et 0,40 t MS/ha, ces valeurs sont très proches à nos résultats.

Par ailleurs, d'autres auteurs, **Marouch (2013)** et **Aammou (2013)** se sont intéressés à l'étude de la biomasse foliaire des peuplements adultes d'arganier dans la région d'Essaouira. Ces auteurs ont avancé des valeurs qui varient entre 1,17 et 1,25 tonne M.S/ha pour des peuplements de densité moyenne respectivement de 86 et 71 pieds/ha. Ces auteurs ont déterminé également une valeur énergétique moyenne qui varie entre 0,76 et 0,78 UF/kg de matière sèche du feuillage d'arganier. Ceci témoigne donc de l'importante réserve fourragère représentée par l'arganeraie dans la région.

La production en phytomasse foliaire des peuplements d'arganier représente une disponibilité fourragère qui se renouvelle constamment. En effet, les arganiers perdaient leur feuillage après une période de sécheresse prolongée (notamment cette année 2022) et le renouvelaient complètement suite à l'arrivée des premières pluies. Ceci montre donc la difficulté à estimer les accroissements en phytomasse foliaire au niveau de ces peuplements.

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, cette biomasse se subdivise en 1,65 tonne de feuilles, 38,13 tonnes de bois de branches et de 10,98 tonnes de bois de tronc. 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.

Pour l'étude menée par les premiers auteurs dans la région de Tamanar, on peut noter que ces peuplements sont des futaies adultes et non des taillis et apparaissent beaucoup plus denses que ceux que nous avons étudiés. Ceci pourrait donc expliquer cette biomasse très élevée. Quant à la deuxième étude, les estimations données pour des jeunes taillis de moins de 10 ans dans la région de Tamanar sont très proches des nôtres.

Par ailleurs, cette variabilité dans la biomasse aérienne est probablement associée à l'âge des arbres dans les différentes zones étudiées, à leurs distributions spatiales et à la densité en nombre de souches à l'hectare qui varie d'un site à un autre permet également d'expliquer cette différence.

La biomasse aérienne estimée par cette étude, peut être comparée également à celles d'autres espèces qui caractérisent les milieux arides ou semi-arides de la région. Ainsi, **Regragui (1999)** avance une biomasse moyenne de 6,99 tonnes M.S/ha dans un taillis de chêne vert au Maroc oriental. Pour **Makhloufi (1992)**, cette espèce produit 9 tonnes M.S/ha dans des taillis au Moyen Atlas central. Le tableau 13 récapitule la comparaison de la biomasse aérienne d'arganier avec d'autres biomasses quantifiées au Maroc.

Tableau 13: Comparaison de la biomasse aérienne d'arganier avec d'autres biomasses quantifiées au Maroc

Espèce	Situation	Densité (Pieds/ha)	Biomasse (t/ha)	Référence
<i>Argania spinosa</i>	Aghroud-Agadir, Maroc	120	4,94	Présente étude
<i>Argania spinosa</i>	Ain Asmama-Agadir, Maroc	80	4,53	Présente étude
<i>Argania spinosa</i>	Imgrad-Essaouira, Maroc	184	9,54	Ouswati, 2016
<i>Juniperus thurifera</i>	Oukaïmeden Maroc	201	250,7	Badri, 2003
<i>Tetraclinis articulata</i>	Maroc oriental	2800	13,2	Haloui, 1991
<i>Quercus ilex</i>	Maroc oriental	4057	43,7	Haloui, 1992
<i>Quercus ilex</i>	Tafachna- moyen Atlas central	5192	53,7	Boulmane et al., 2013
<i>Quercus ilex</i>	Reggada moyen Atlas central marocain	1584	48	Boulmane et al., 2013

1.2.2. Estimation du stock de carbone

L'étude de la biomasse d'un peuplement permet d'évaluer le stock de matière organique et donc le stock de réserve de carbone que représente ce peuplement. Dans ce cas, nous pouvons dire que l'estimation du stock de carbone dans la forêt dépend de la connaissance de la biomasse aérienne sèche. Ce stock est déterminé à partir de la biomasse en utilisant un facteur de conversion.

L'évaluation du carbone à partir de la matière organique au niveau des échantillons de bois prélevés sur le terrain montre une teneur moyenne de 48,5 % ce résultat concorde avec celle avancé par **Ouswati (2016)**.

Toutefois, il faut signaler que la fraction du carbone du bois présente certaines petites variations selon les espèces (**Zhang et al., 2009**). Le contenu en carbone d'échantillons de bois peut être obtenu en brûlant ces derniers et en dosant le dioxyde de carbone produit. L'auteur ajoute que le contenu en carbone de la biomasse sèche varie (entre 36 et 61 %) selon l'espèce et les parties de l'arbre, mais est généralement proche des 50 %. Notons aussi que le Groupe d'experts intergouvernemental de l'évolution du climat propose différentes valeurs de teneur en carbone de la biomasse, la valeur proposée par défaut étant de 0,47 tonnes de carbone/tonnes de matière sèche. Dans un contexte de changement climatique et de pression de plus en plus importante de la population notamment sur le bois énergie, il est fondamental de pouvoir mesurer et gérer l'évolution du stock de carbone des forêts.

L'application de facteur de conversion carbomasse retenu pour l'arganier nous a permis d'estimer le stock de carbone organique à l'hectare dans les peuplements étudiés au niveau de chaque zone. Les résultats de ce calcul sont récapitulés dans le tableau 14 et mis en évidence dans la figure 22.

Tableau 14: Stock du carbone dans la biomasse aérienne selon le zonage dans les 2 sites

Le site	la zone	Masse sèche (T/ha)	Stock de carbone (T/ha)
Aghroud	centrale	4,080	1,979
	tampon	7,538	3,656
	transition	3,225	1,564
Ain Asmama	centrale	4,980	2,415
	tampon	4,459	2,163
	transition	4,188	2,031

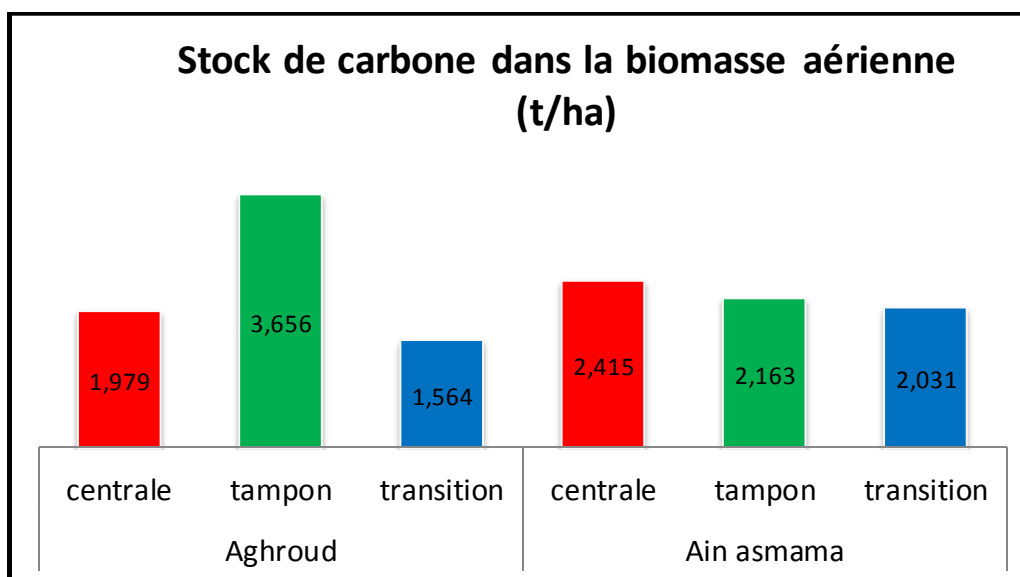


Figure 22: Stock du carbone aérien dans les différentes zones des 2 sites

Le tableau 14 montre que le stock de carbone aérien le plus élevé est enregistré dans la zone tampon du site Aghroud qui séquestre 3,656 t/ha et plus faible dans les deux zones centrale et transition de même site, stockent respectivement 1,979 et 1,564 t/ha. Au niveau de site Ain Asmama les teneurs en carbone sont presque les mêmes pour les différentes zones. En effet, la zone centrale séquestre 2,415 t/ha, la zone tampon stocke 2,163 t/ha et la zone de transition emmagasine environ 2 t/ha.

Nos résultats sont inférieurs à ceux présentés par **Ouswati (2016)** qui a avancé un chiffre de 4,63 t/ha de carbone aérien au niveau du peuplement d'Imgrad d'une densité de 184 cépées/ha. Cette supériorité en matière de stock de C d'un site à un autre pour la même essence peut s'expliquer par les caractéristiques dendrométriques caractérisant les potentialités importantes des peuplements composant ce site notamment la densité. Malheureusement, le manque de données sur le stock de carbone dans les peuplements d'arganier n'a permis que des comparaisons limitées.

L'utilisation du pourcentage de carbone (facteur de conversion) dans le travail de **Benzyane et Khatouri (1991)**, **Oudaha (2007)** et **Belghazi (2013)** nous permettra d'estimer la quantité de carbone contenue dans leurs biomasses. Ainsi pour les premiers auteurs, ils avaient estimé une biomasse aérienne de 52 t MS/ha ce qui correspond à 26,80 t C/ha. Le second auteur a travaillé sur des jeune taillis, et la biomasse aérienne estimée était de 4,7 t MS/ha, et donc équivalente à 2,42 t C/ha pour une densité de 51 cépées/ha. Ce dernier résultat est très proche du notre même si la densité au niveau de ces peuplements est différente. **Belghazi T. (2013)**

quant à lui il avait estimé la biomasse aérienne moyenne de cinq peuplements à 4,8 t MS/ha pour une densité de 95 cépées/ha. La quantité de carbone moyenne au niveau de ces peuplements correspond donc à 2,47 t C/ha, nos résultats vont donc dans le même sens que ceux de Belghazi T.

L'analyse de la variance à un seul critère de classification a montré une différence très hautement significative entre les moyennes des teneurs en carbone selon les différentes zones (centrale, tampon et transition) du site Aghroud (Tableau 15). Ceci s'explique en général par le fait que l'état de conservation dans le site Aghroud est bon du fait de la faible pression pastorale car le site est un chaînon de montagne accidenté (accès difficile), et aussi faisant intégralement partie du SIBE Tamri Cap Ghir, considérée comme aire d'intérêt majeur pour la biodiversité locale.

Tableau 15:ANOVA 1 stock de carbone aérien dans le site Aghroud

	Somme des carrés	ddl	Carré moyen	F	Sig
Facteur	0,061	2	0,031	12,559	0,000
Résidus	0,066	27	0,002		
Total	0,127	29			

ddl : degré de liberté ; **F** : Fisher ; **Sig** : signification

Afin de connaître les zones qui sont significativement différentes, une comparaison multiple des moyennes des teneurs en carbone a été réalisée. Celle-ci a montré 2 groupes homogènes. La zone centrale et transition ne sont pas significativement différentes (tableau 16).

Tableau 16: Test Tukey pour le stock du carbone aérien dans le site Aghroud

zone	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
transition	10	1,56	
centrale	10	1,98	
tampon	10		3,66

Le tableau 16 montre que la zone tampon est la zone qui stock la plus grande quantité de carbone dans la biomasse aérienne. Cette différence est due à l'état des arbres et leur taille, les individus sont en bonne état dans la zone tampon grâce à la proximité de la côte. Alors

que, les peuplements dans les deux zones centrales et transition sont généralement des organiers bas (hauteur <3m), ce qui donne moins de biomasse est donc moins de carbone.

Quant à la zone d'Ain asmama, l'analyse de la variance à un seul critère de classification a montré qu'il n'y a pas une différence entre les moyennes des teneurs en carbone selon les différentes zones (A, B et C) du site (Tableau 17). Ceci s'explique en général par la pression pastorale même au sien de la zone cœur (la présence de la population à l'intérieur de la zone centrale). D'autre part la conversion des forêts en terrains de parcours, d'après **Oukemmou (2020)** les Forêts ont perdues en faveur des terrains de parcours 570,15 ha et 91,44 ha en faveur des terrains peu productifs entre l'année 1998 et 2019 dans le site Ain Asmama.

Tableau 17: (ANOVA 1) stock de carbone aérien dans le site Ain Asmama

	Somme des carrés	ddl	Carré moyen	F	Sig
Facteur	0,002	2	0,001	0,138	0,872
Résidus	0,186	27	0,007		
Total	0,188	29			

ddl : degré de liberté ; **F** : Fisher ; **Sig** : signification

1.3. Stock de carbone dans la partie souterraine

Si la biomasse souterraine est considérée comme un réservoir de carbone important et très difficile à déterminer, il peut être calculé en utilisant le ratio racine-pousse, qui est le rapport de la biomasse souterraine à la biomasse aérienne. 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., 1999 ; Pansu, 2006**). Ainsi, La biomasse souterraine est estimée par **Mcghee et al., (2016)** à 25 % de la biomasse aérienne. En considérant un pourcentage moyen de 20 %, les zones étudiées séquestrent une quantité assez importante de carbone dans la partie souterraine comme présenté dans le tableau 18.

Tableau 18: Stock de carbone souterrain selon le zonage dans les sites étudiés

Le site	la zone	Stock de carbone souterrain(t/ha)	carbone total (aérien et souterrain) (t/ha)
Aghroud	centrale	0,396	2,375
	tampon	0,731	4,387
	transition	0,313	1,877
Ain asmama	centrale	0,483	2,898
	tampon	0,433	2,596
	transition	0,406	2,437

Le stock de carbone séquestré dans la biomasse racinaire peut être estimé entre 0,313 t/ha et 0,731 t/ha pour les deux sites Aghroud et Ain asmama. Ainsi, la carbomasse pour la partie épigée et racinaire dans les différentes zones est donc de l'ordre de 1,877 t /ha à 4,387 t /ha.

1.4. Stock de carbone dans la nécromasse

Dans la nécromasse, deux réservoirs de carbone sont à distinguer : le stock de carbone dans le bois mort et celui dans la litière. Les stocks de ces deux réservoirs ont été estimés au niveau de chaque site dans les trois zones.

1.4.1. Stock de carbone dans le bois mort

La rubrique bois mort est une entité représentée par le bois mort sur pied et le bois mort gisant sur le sol. Dans les placettes échantillonnées, nous n'avons pas trouvé de bois mort sur pied, les stocks de carbone présentés ici sont exclusivement ceux de bois mort gisant sur terre. Le tableau 19 donne les quantités de biomasse sèche et de carbone séquestré dans le bois mort par type de zone dans chaque site Aghroud et Ain Asmama. Ces résultats sont illustrés sur la figure 23.

Tableau 19:Quantité moyenne de carbone stockée dans le bois mort

Le site	la zone	biomasse sèche (T/ha)	Stock de carbone (T/ha)
Aghroud	centrale	0,297	0,144
	tampon	0,252	0,122
	transition	0,233	0,113
Ain asmama	centrale	0,318	0,154
	tampon	0,227	0,11
	transition	0,355	0,172

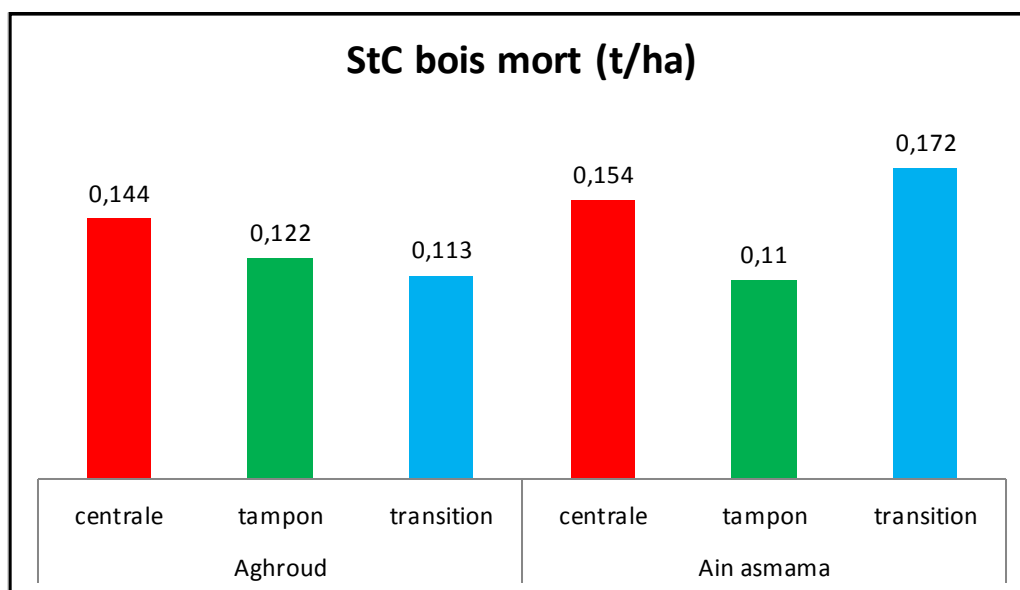


Figure 23: Stock du carbone dans le bois mort pour les différentes zones

Le bois mort gisant sur le sol dans les deux sites séquestre entre 0,11 et 0,17 t/ha dans les différentes zones. Il y a donc un apport de carbone sous forme de bois mort non négligeable dans les écosystèmes d'arganier. Au niveau du site Aghroud, la zone centrale séquestre plus de carbone avec 0,14 t/ha, en second lieu la zone tampon avec 0,12 t/ha, en dernier lieu la zone de transition avec 0,11 t/ha. Au niveau de site Ain asmama, la zone de transition avec 0,17 t/ha représente le stock le plus élevé, suivi par la zone centrale avec 0,15 t/ha et la zone tampon avec 0,11 t/ha.

Nos résultats peuvent être comparés avec d'autres écosystèmes, **Mahamane (2006)** qui a estimé le stock de carbone séquestré dans le bois mort à 0,97 T/ha dans la subéraie d'El Harcha et 0,3 T/ha pour le chêne vert de la forêt Ait Ichou dans la région d'Oulmès au Maroc. **Rhoufacha (2021)** a trouvé pour un peuplement de chêne liège supérieur à 120 ans dans la forêt de Maamora un stocke d'ordre de 0,112 tC/ha, une valeur très proche à celle de notre étude. Par ailleurs, **Hounzandji (2008)** avance une valeur de 0,30 tC/ha dans une cédraie dégradée de Moyen Atlas (forêt Azrou) et 0,23 t/ha dans l'ilicaie dégradée de la même forêt.

l'analyse de la variance à un seul critère de classification a montré qu'il n'y a pas une différence entre les moyennes des teneurs en carbone du bois mort selon les différentes zones (A, B et C) du site Aghroud (Tableau 20). Ceci s'explique en général par la faible pression d'origine anthropique.

Tableau 20: (ANOVA 1) Bois mort dans le site Aghroud

StC (t/ha)					
	Somme des carrés	ddl	Carré moyen	F	Sig.
Facteur	0,002	2	0,001	0,315	0,741
Résidus	0,015	6	0,002		
Total	0,016	8			

ddl : degré de liberté ; **F** : Fisher ; **Sig** : signification

Concernant le site Ain Asmama, ANOVA 1 a montré aussi qu'il n'y a pas une différence entre les stocks de carbone du bois mort dans les différentes zones (centrale, tampon et transition) du ce site (Tableau 21). Donc, le zonage n'a pas d'effet sur le carbone stocké dans le bois mort gisant.

Tableau 21:(ANOVA 1) Bois mort dans le site Ain Asmama

StC(t/ha)					
	Somme des carrés	ddl	Carré moyen	F	Sig.
Facteur	0,006	2	0,003	2,669	0,148
Résidus	0,007	6	0,001		
Total	0,013	8			

ddl : degré de liberté ; **F** : Fisher ; **Sig** : signification

1.4.2. Stock de carbone dans la litière

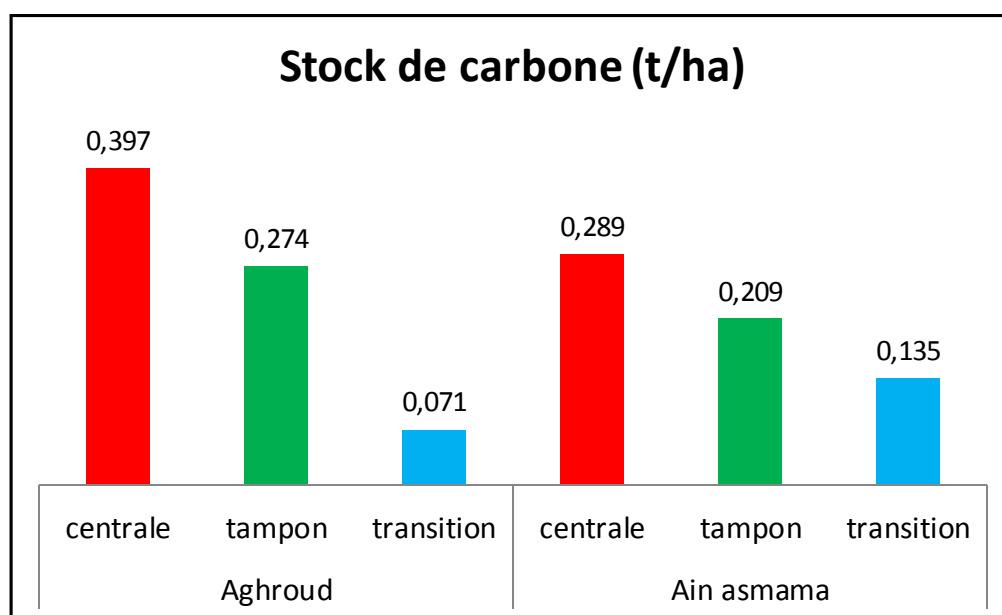
Avec le temps, les écosystèmes forestiers évoluent. Cette évolution influe sur la quantité de chutes de litière. Le retour de la matière organique sous forme de litière est très important dans l'enrichissement du sol en carbone. La litière est alors l'une des principales sources de carbone pour le sol (**Quenea, 2004**). La litière joue un rôle très important dans le cycle biogéochimique du carbone, car elle agit comme interface entre le carbone dans la végétation et dans le sol. Le pool de litière contient toute la litière plus les débris ligneux fins. Nous avons estimé le stock du carbone dans la litière pour chaque zone et les résultats sont présentés dans le tableau 22.

Tableau 22:Quantité moyenne de carbone stockée dans la litière

Le site	la zone	biomasse sèche (t/ha)	Stock de carbone (t/ha)
Aghroud	centrale	0,819	0,397
	tampon	0,565	0,274
	transition	0,146	0,071
Ain asmama	centrale	0,596	0,289
	tampon	0,431	0,209
	transition	0,278	0,135

La répartition du stock de carbone dans la litière au niveau du site Aghroud se fait comme suit: la zone centrale séquestre plus de carbone avec 0,39 t/ha, en second lieu la zone tampon avec 0,27 t/ha, en dernier lieu la zone de transition avec 0,07 t/ha. Au niveau de site Ain asmama, la zone centrale avec 0,28 t/ha représente le stock le plus élevé, suivi par la zone tampon avec 0,20 t/ha et la zone de transition avec 0,13 t/ha.

Le stock de carbone dans la litière diminue en passant de la zone centrale à la zone de transition quel que soit le site (figure 24).

**Figure 24:Stock du carbone dans la litière pour les différentes zones**

Les résultats de l'ANOVA1 (Tableau 23), montrent qu'il n'y a pas une différence entre les moyennes des teneurs en carbone de la litière selon les différentes zones (A, B et C) du site Aghroud ($p > 0.05$). Mais, la zone centrale reste celle qui a le stock le plus élevé (0,39 t/ha), suivi par la zone tampon (0,27 t/ha) et enfin la zone de transition (0,07 t/ha).

Tableau 23:(ANOVA 1) la litière dans le site Aghroud

stC(t/ha)					
	Somme des carrés	ddl	Carré moyen	F	Sig.
Facteur	,162	2	,081	5,100	,051
Résidus	,095	6	,016		
Total	,258	8			

ddl : degré de liberté ; **F** : Fisher ; **Sig** : signification

Quant au site d'Ain Asmama, l'analyse de la variance à un seul critère de classification a montré qu'il n'y a pas une différence entre les moyennes des teneurs en carbone de la litière selon les différentes zones (centrale, tampon et transition) du site (Tableau 24). En effet, le zonage de la RBA n'a pas un effet sur le stock du carbone dans la litière.

Tableau 24: (ANOVA 1) la litière dans le site Ain Asmama

stC(t/ha)					
	Somme des carrés	ddl	Carré moyen	F	Sig.
Facteur	,036	2	,018	2,234	,188
Résidus	,048	6	,008		
Total	,083	8			

ddl : degré de liberté ; **F** : Fisher ; **Sig** : signification

La différence des moyennes de stock du carbone organique dans la litière entre les sites pourrait être expliquée par la différence de densité des peuplements. En effet, la zone centrale Aghroud séquestre 0,39 t/ha pour une densité moyenne de 120 cépées/ha et la zone centrale Ain Asmama ne séquestre que 0,28 t/ha pour une densité moyenne de 80 cépées/ha. Ces résultats viennent corroborer ceux de **Boulmane et al., 2013**, qui a trouvé que dans un peuplement de chêne vert dans le Moyen Atlas une nette différence de stock de carbone en fonction de la densité du peuplement. Ce stock varie respectivement de 3,5 à 8,7 tC/ha pour les parcelles à 1584 et 5192 pieds/ha. Ces résultats confirment aussi ceux de **Sabir et al. (1995)** et de **Mahamane (2006)**, ces auteurs ont trouvé que la quantité de litière augmente avec le taux de recouvrement du sol. Ceci pourrait être expliqué par le fait qu'il y a plus d'apport en matière végétale en surface du sol sous couvert dense que clair.

En comparant nos résultats avec d'autres écosystèmes, le stock du carbone dans la litière dans notre zone d'étude pour l'écosystème de l'arganier reste très faible par rapport à celui des

forêts de chêne liège, le chêne vert et le cèdre. **Rhoufacha (2021)** a trouvé une valeur moyenne de 4,88 t/ha dans la forêt de Maamora (chêne liège), dans la même zone d'étude **Chakraoui (2020)** a avancé des valeurs d'ordre de 5,45 t/ha pour le chêne-liège témoin et 2,74 t/ha pour le chêne-liège pâturé. Aussi, d'autres résultats trouvés dans la cédraie de Moyen Atlas 3,45 t/ha pour la forêt pure et de 2,46 t/ha pour la forêt dégradée (**Hounzandji, 2008**). De même, une étude menée au Maroc dans les écosystèmes des iliaies du Moyen Atlas (chêne vert) rapporte des valeurs supérieures à celles de notre travail avec une moyenne du stock du carbone dans la litière de 8 t/ha (**Boulmane et al., 2013**). Cette variabilité pourrait s'expliquer par l'espèce elle-même (apport aérien), le climat, la structure du peuplement (la densité, l'âge...) et le type du sol.

1.5. Conversion du carbone en dioxyde de carbone

Jusqu'à ce point, le stock de carbone a été décrit en termes de biomasse et de carbone. Quand on parle de changement climatique on s'intéresse aux émissions provenant des changements des modes d'utilisation des terres en termes de dioxyde de carbone (CO₂). Pour convertir la quantité de carbone en dioxyde de carbone, on doit multiplier la quantité de carbone par 3,667 (le rapport des masses moléculaires de CO₂/C qui correspond au rapport : 44/12 ou 3,67 (**IPCC, 2006 ; Mcghee et al., 2016**)). En utilisant ce coefficient, la quantité séquestrée en CO₂ dans les zones étudiées est présentée dans le tableau 25.

Tableau 25: Quantité de CO₂ stockée dans les sites étudiés selon le zonage

le site	la zone	stock de CO ₂ (t/ha)	Moyen (t CO ₂ /ha)
Aghroud	centrale	10,693	11,92
	tampon	17,539	
	transition	7,558	
Ain Asmama	centrale	12,251	10,99
	tampon	10,689	
	transition	10,062	

1.6. Stock de carbone organique dans le sol (SCOS)

Les sols forestiers participent à environ 70 % des échanges de dioxyde de carbone entre la biosphère et l'atmosphère. Ces dernières sont principalement produites par la décomposition de la matière organique et la respiration des racines. Ces processus varient en fonction de plusieurs paramètres dont le climat, le type de végétation, les caractéristiques physico-chimiques des sols, ainsi que la fréquence des perturbations naturelles et les aménagements. Il

est donc difficile d'estimer de manière précise les stocks de carbone organique à l'échelle régionale et d'obtenir des données empiriques de qualité qui représentent bien cette hétérogénéité.

Le stock du carbone dans le sol a été calculé en tenant compte du pourcentage du carbone organique multiplié par la densité apparente et la profondeur du sol. Les résultats des SCOS dans les sols étudiés sont présentés dans le tableau 26 et mis en évidence dans la figure 25.

Tableau 26: Stock de carbone organique du sol (SCOS) dans les sites étudiés

Le site	la zone	densité apparente (g/cm ³)	Stock de carbone (t/ha/30 cm)	Matière organique (t/ha)
Aghroud	Centrale (A)	1,070	84,85	146,28
	Tampon (B)	0,924	53,21	91,73
	Transition (C)	1,028	24,87	42,88
Ain asmama	Centrale (A)	1,249	34,87	60,12
	Tampon (B)	1,220	59,33	102,28
	Transition (C)	1,155	57,27	98,74

Les teneurs en matière organique du sol et en carbone varient d'une zone à une autre, allant de 24,87 t/ha (Min) jusqu'à 84, 85 t/ha (Max). Elles sont de 34,87 t/ha pour la zone centrale ; de 59,33 t/ha pour la zone tampon et de 57,27 t/ha pour la zone de transition au niveau de site Ain asmama (tableau 26). Au niveau du site Aghroud, la zone A présente la teneur en carbone la plus élevée (84,85 t/ha), suivi de la zone B (53,21 t/ha), la zone C présente la teneur la plus faible (24,87 t/ha) (tableau 26). Les teneurs en carbone donc sont plus élevées dans la zone centrale du site Aghroud, mais sont faibles dans la même strate pour le site Ain asmama (figure 25).

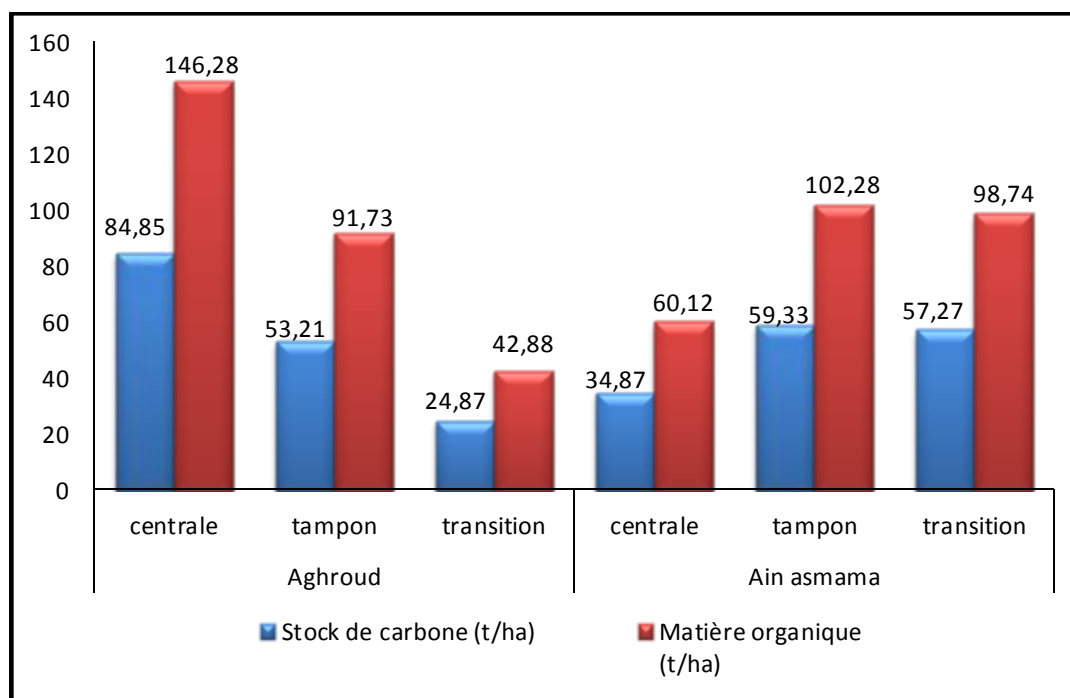


Figure 25: Stock de carbone et de matière organique pour les différentes zones

Les résultats de l'ANOVA1 (Tableau 27), génèrent une différence significative entre les zones du site Aghroud ($p = 0,02$) en matière de SCOS, d'où l'effet exercé par le zonage sur la variation du SCOS.

Tableau 27:(ANOVA 1) le carbone du sol dans le site Aghroud

stC(t/ha)					
	Somme des carrés	ddl	Carré moyen	F	Sig.
Facteur	1103,893	2	551,946	8,103	0,02
Résidus	408,688	6	68,115		
Total	1512,581	8			

ddl : degré de liberté ; **F** : Fisher ; **Sig** : signification

La comparaison multiple des moyennes des stocks du carbone dans le sol, a révélé la présence de deux groupes homogènes. La différence des moyennes du stock du carbone dans le sol entre la zone A et la zone C est significative (Tableau 28).

Tableau 28: Test Tukey pour SCOS dans le site Aghroud

zone	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
transition	3	24,88	
tampon	3	50,87	
centrale	3		84,90

Le test de comparaison des moyennes, montrant une différence significative des moyennes de SCOS entre la zone centrale et les deux autres zones (2 groupes homogènes). Ceci s'explique par le fait que l'état de conservation dans la zone A est bon du fait de la faible pression pastorale. En effet, la zone A est caractérisée par un accès difficile, et aussi faisant partie du SIBE Tamri Cap Ghir, considérée comme aire d'intérêt majeur pour la biodiversité locale. D'autre part, la zone A est caractérisée par un mélange des peuplements d'arganier et de thuya au contraire de la zone B et C. Cette mixité des peuplements a pu entraîner une variabilité dans la qualité de la litière et la chimie du sol, facteurs qui peuvent aussi influencer le stockage du carbone.

Par ailleurs, les résultats de l'ANOVA1 (Tableau 29), montrent que le stock du carbone dans les 30 premiers centimètres de sol n'est pas différent entre les zones du site Ain asmama ($p > 0.05$). Ce qui veut dire que le zonage n'a pas un effet sur la teneur en carbone de sol dans ce site.

Tableau 29:(ANOVA 1) le carbone du sol dans le site Ain Asmama

stC(t/ha)					
	Somme des carrés	ddl	Carré moyen	F	Sig.
Facteur	5401,813	2	2700,90	4,076	0,076
Résidus	3975,899	6	662,65		
Total	9377,712	8			

ddl : degré de liberté ; **F** : Fisher ; **Sig** : signification

La différence observée au niveau du site Aghroud, serait due au retour de la matière organique au sol qui est plus important dans la zone A. Ceci est confirmé par les résultats que nous avons trouvés pour les stocks de carbone dans la litière (0,39 T/ha, dans la zone centrale et 0,07 T/ha dans la zone de transition). Cette matière organique provient des résidus de la biomasse aérienne et souterraine qui peut entraîner une variabilité dans la quantité de la

litière. Ainsi, le zonage appliqué dans le site est bien respecté d'où l'absence du parcours (site à accès difficile). En effet, selon **Roose (1991)**, la forêt en zones méditerranéennes, apportent chaque année 3 à 10t/ha/an de matières organiques au sol sous forme de litière ou de racines. Ce qui explique les stocks plus élevés dans la zone A que les autres zones B et C. En plus de son rôle d'enrichissement du sol en matière organique et donc l'augmentation de la quantité de carbone séquestrée dans ce réservoir, la litière, apportée par la forêt, contribue à la protection des agrégats, qui à leur tour protègent le carbone organique du sol, limitant ainsi la minéralisation du carbone et la perte par érosion.

Au niveau du site Ain Asmama, la conversion des peuplements d'arganier en culture et les terrains du parcours (**Oukemmou, 2020**) a affecté significativement la teneur en carbone du sol. En plus, l'apport en matière organique dans ce site est faible par rapport au site Aghroud à cause du surpâturage et le défrichage des arbres.

Les résultats obtenus montrent que la quantité de carbone séquestrée dans le sol est plus importante dans la zone A du site Aghroud (84,85 t/ha), qui est nettement supérieur à celle enregistré au niveau du site Ain Asmama dans la même strate (34,87 t/ha). Ceci pourrait être dû à la différence de densité entre les sites. En effet, **Boulmane et al. (2013)** a montré qu'à profondeur identique, les teneurs en carbone organique diminuent avec le nombre de pieds par hectare dans les peuplements de chêne vert du Moyen Atlas central. La richesse du sol de la zone A d'Aghroud en carbone organique par rapport à celui d'Ain Asmama peut être expliquée par le retour de litière qui est important dans les zones les plus peuplées (cas d'Aghroud) et la minéralisation qui augmente avec la déforestation (cas d'Ain Asmama).

Dans une étude d'évaluation des stocks de carbone des sols du Maroc (**Sabir et al., 2020**), ont trouvé dans les zones arides (Arganeraie) des valeurs environ 20 à 25 t/ha (comme un ordre de grandeur). Ces valeurs sont faibles à celles de notre étude à cause de la faible densité des profils par rapport à la superficie. Par ailleurs, nos résultats sont comparables à ceux trouvés par **Boulmane et al. (2013)** sous des forêts de chênes verts dans le Moyen Atlas (80 à 56 t C/ha), **Rhoufacha (2021)** sous les peuplements de chêne liège d'âge entre 80 et 120 ans (95,25 t/ha). Elles sont cependant plus faibles que ceux trouvés par (**El Mderssa et al., 2019**), sont respectivement de 284, 303, 277 et 143 tC/ha sous des chênes verts, chênes zéens (zéenaies), cèdres et pins maritimes de montagne. La variabilité de ces valeurs pourrait être liée à la diversité des sols mais aussi à la diversité des forêts en termes d'âge, de gestion forestière (taillis ou futaies), de densité d'arbres, de type de formation végétale et de leur vigueur.

1.7. Stock total du carbone et sa répartition dans les réservoirs

Après le calcul des stocks du carbone dans les différents réservoirs (Biomasse aérienne, nécromasse et Sol), le stock total dans tout l'écosystème de l'arganier est fourni dans le tableau 30.

Tableau 30: Stock total du carbone dans les réservoirs

Le site	la zone	stock du carbone (t/ha)					
		BA (t/ha)	BS (t/ha)	BM (t/ha)	litière (t/ha)	sol (t/ha)	Total (t/ha)
Aghroud	centrale	1,979	0,396	0,144	0,397	84,851	87,77
	tampon	3,656	0,731	0,122	0,274	53,207	57,99
	transition	1,564	0,313	0,113	0,071	24,872	26,93
Ain asmama	centrale	2,415	0,483	0,154	0,289	34,875	38,22
	tampon	2,163	0,433	0,11	0,209	59,327	62,24
	transition	2,031	0,406	0,172	0,135	57,274	60,02

BA : Biomasse aérienne ; **BS** : Biomasse souterraine ; **BM**: Bois mort

Il ressort du tableau 32 que le stock total du carbone dans les peuplements d'arganier compris entre 26,93 t/ha et 87,76 t/ha dans les deux sites toute zone confondue (figure 26). Au niveau du site Aghroud, la zone centrale a stocké au total 87,76 t/ha, dont 2,70% dans la biomasse (2,25% dans la biomasse aérienne et 0,45% dans les racines), 0,61 % dans la nécromasse (0,16% dans le bois mort et 0,45 % dans la litière) et 96,6% du carbone sont stockés dans le sol. La zone tampon séquestre 57,99 t/ha, avec 7,56% dans la biomasse (6,30% dans la biomasse aérienne et 1,26 % dans la biomasse souterraine), 0,68 % dans la nécromasse (0,21 % dans le bois mort et 0,47 % dans la litière) et 91,75% dans le sol. La zone de transition emmagasine 26,93 t/ha, dont 6,96 % dans la biomasse (5,80% dans la biomasse aérienne et 1,16% dans les racines), 0,68% dans la nécromasse (0,26 % dans le bois mort et 0,41 % dans la litière) et 92,34% dans le sol (figure 27, 28 et 29).

Dans le site d'Ain asmama, la zone centrale emmagasine 38,21 t/ha, dont 7,58% dans la biomasse (6,31% dans la biomasse aérienne et 1,26% dans les racines), 1,15% dans la nécromasse (0,40% dans le bois mort et 0,75% dans la litière) et 91,25% du carbone sont stockés dans le sol. La zone tampon séquestre 62,24 t/ha, répartis en 4,17% dans la biomasse

(3,47% dans la biomasse aérienne et 0,69% dans les racines), 0,51% dans la nécromasse (0,17% dans le bois mort et 0,33% dans la litière) et 95,31% du carbone sont stockés dans le sol. La zone de transition stocke 60,01 t/ha, dont 4,06% dans la biomasse (3,38% dans la biomasse aérienne et 0,67% dans les racines), 0,51% dans la nécromasse (0,28% dans le bois mort et 0,22% dans la litière) et 95,42% du carbone sont stockés dans le sol (figure 30,31 et 32).

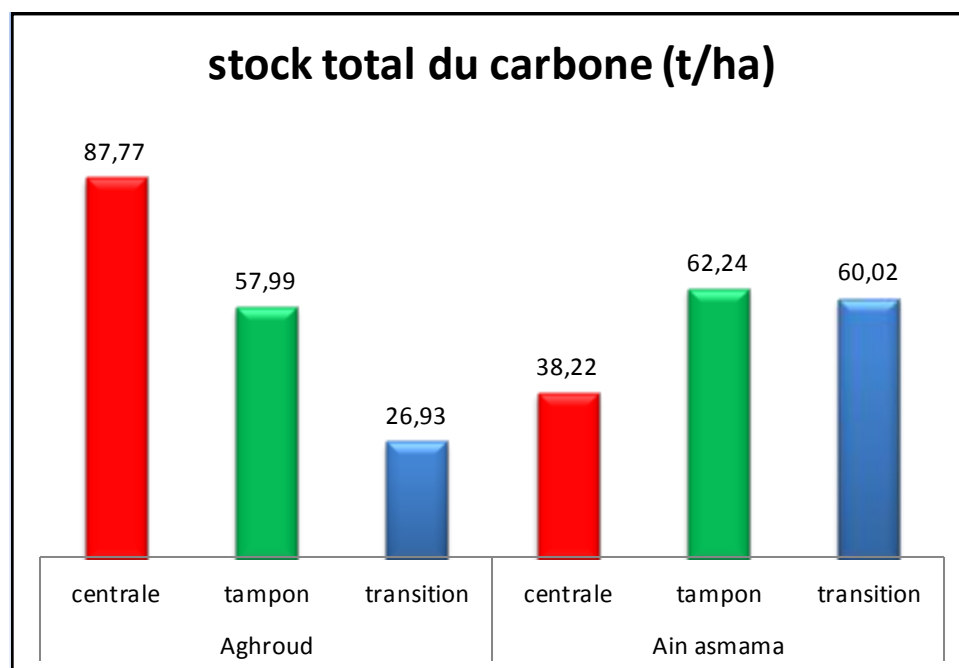


Figure 26: stock total du carbone par type de zone

Nous remarquons qu'en terme de stockage de carbone, le sol apparaît être le réservoir principal du carbone pour toutes les zones quel que soit le site. En effet, le sol détient environ 93 % du stock total du carbone organique dans ces écosystèmes d'arganier. Les stocks dans le sol sont de 91 à 96 % pour les zones centrales, ils varient de 91 à 95 % pour les zones tampons et de 92 à 95 % pour les zones de transitions. En général, le sol est un réservoir clé pour le carbone et peut contenir jusqu'à deux-tiers du total des stocks du carbone des écosystèmes (GIEC, 2014). Les stocks des sols se révèlent nettement supérieur à ceux des arbres, avec des rapports de carbone des arbres et des sols de 0,081 et 0,029. Ces résultats montrent l'importance du sol comme réservoir clé de carbone dans les écosystèmes d'arganier. Ces fortes potentialités des sols forestiers étudiés en matière de séquestration de carbone peuvent être expliquées par les quantités importantes de litière restituée au sol par les formations forestières existantes dans les sites étudiés. En effet, la biomasse foliaire des peuplements d'arganier se renouvelle constamment, les arganiers perdaient leur feuillage

après une période de sécheresse prolongée et le renouvelaient complètement suite à l'arrivée des premières pluies. Ce qui permet un apport permanent de la matière organique pour le sol.

La répartition du carbone au niveau des réservoirs dépend apparemment des écosystèmes. En effet, il a été rapporté que les forêts tropicales présentent 56 % du stock du carbone dans la biomasse et 32 % dans le sol, alors que les forêts boréales présentent seulement 20 % dans la biomasse et 60% dans le sol ; le carbone restant étant retenu dans le bois mort et la litière. Pour des forêts britanniques, **Eglin (2005)** estime que le stock de carbone cumulé dans les trente premiers centimètres représente entre 68 et 75% du stock total du carbone du sol. Dans notre contexte, les 30 premiers centimètres du sol, représentent le principal compartiment de stockage du carbone de cet écosystème avec environ 93,79 % des stocks totaux moyens du carbone organique. La biomasse aérienne de l'arganier, constitue la deuxième plus grande réserve du carbone avec 4,59 %, la biomasse souterraine vient en troisième avec 0,91 % et finalement la nécromasse dont sa contribution au stock total du carbone organique représente seulement 0,69%.

D'après ce qui précède, on peut conclure que le zonage a un effet significatif sur le stock total du carbone pour le site Aghroud. Cependant, pour le site Ain asmama le zonage n'a pas d'effet sur le stock du carbone, avec la nécessité de protéger à la fois le sol et la biomasse aérienne qui constituent de grands bassins de stockage du carbone dans les écosystèmes d'arganier.

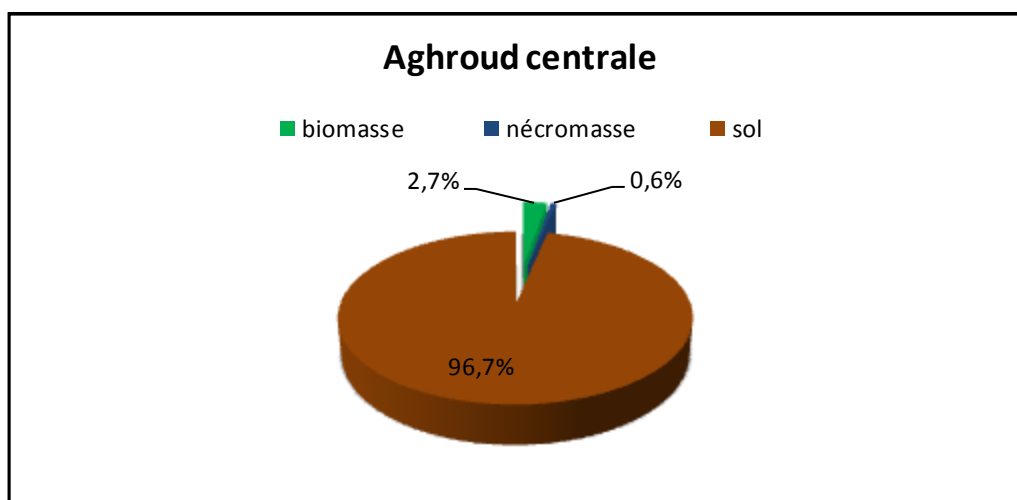


Figure 27: Répartition du carbone au niveau de la zone centrale Aghroud

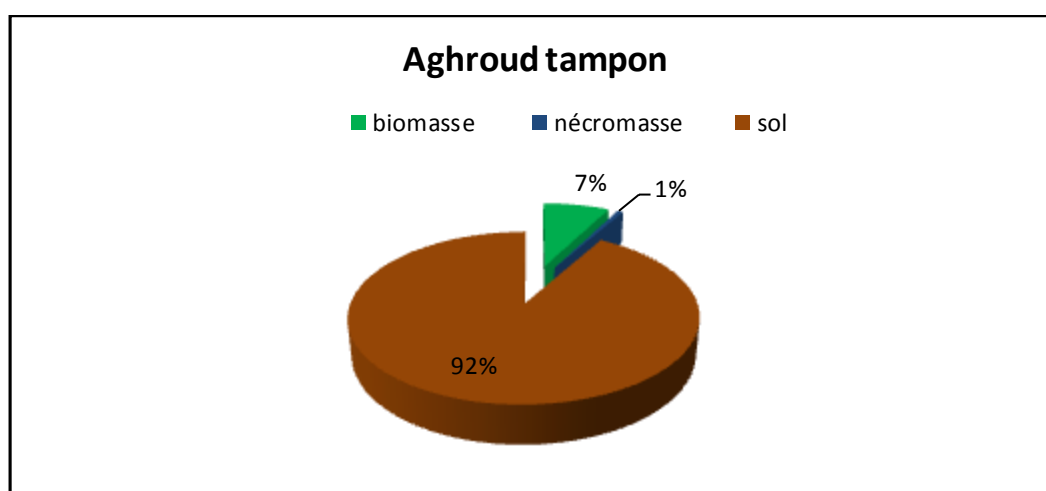


Figure 28: Répartition du carbone au niveau de la zone tampon Aghroud

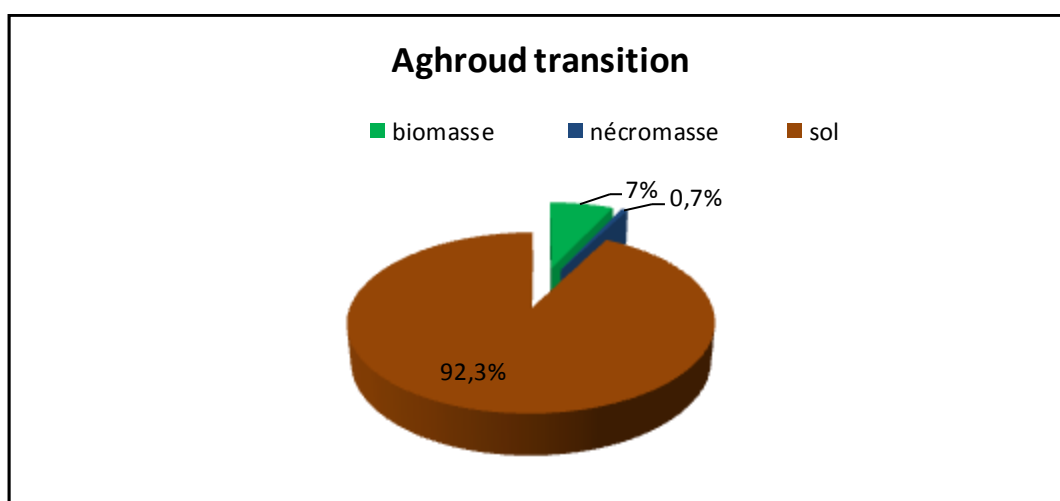


Figure 29: Répartition du carbone au niveau de la zone de transition Aghroud

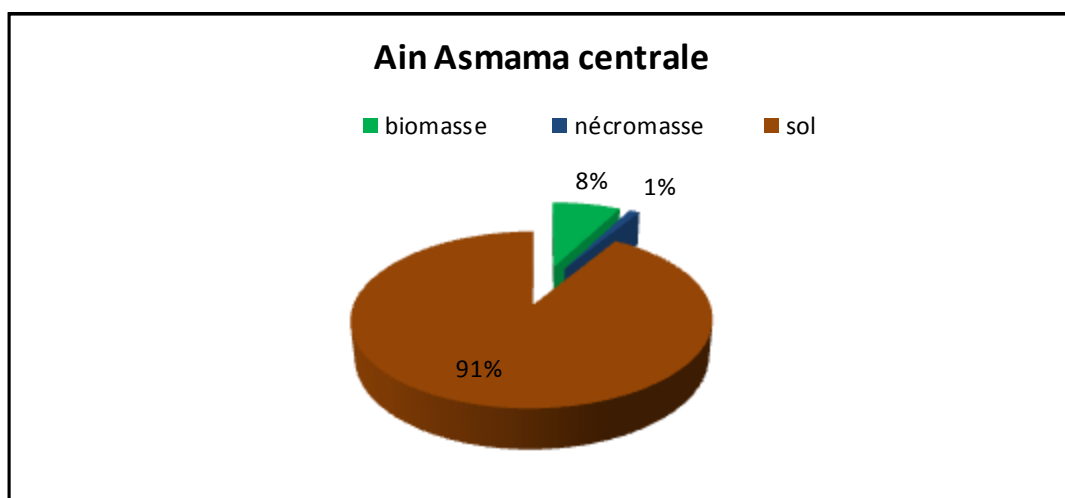


Figure 30: Répartition du carbone au niveau de la zone centrale Ain Asmama

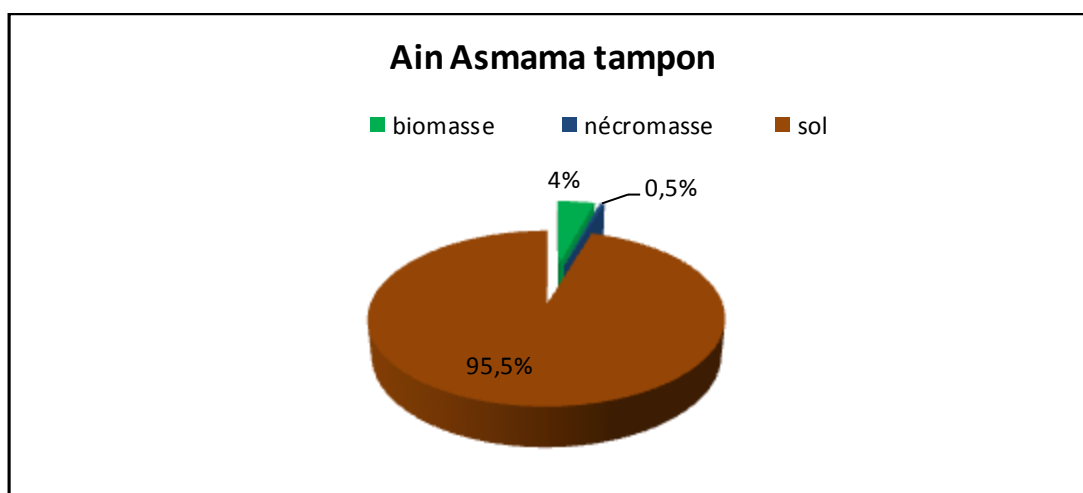


Figure 31: Répartition du carbone au niveau de la zone tampon Ain Asmama

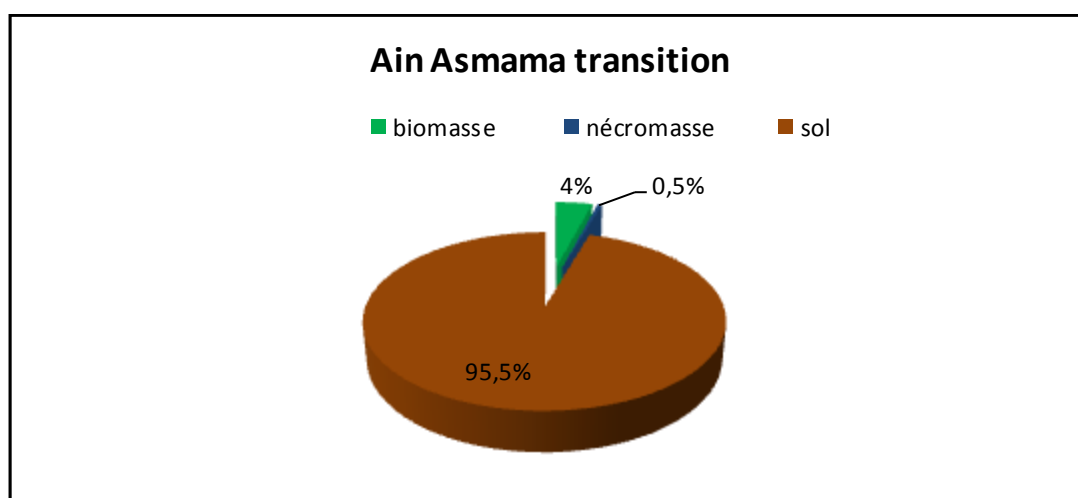


Figure 32: Répartition du carbone au niveau de la zone de transition Ain Asmama

Chapitre 2 : Etude diachronique de la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie et les zones centrales entre 1998 et 2021

Dans ce chapitre, l'objectif c'est de faire ressortir l'effet de la mise en réserve (la classification en réserve) sur l'évolution des occupations des terres au niveau de la RBA, au niveau de la zone biogéographique de Haut Atlas et au niveau de deux zones centrales (Aghroud et Ain Asmama) sur une période de 23 ans (1998-2021). Autrement dit, est ce que l'adoption du statut de réserve de biosphère pour l'Arganeraie (RBA) a permis de conserver les ressources naturelles, notamment dans les zones centrales Aghroud et Ain Asmama de la zone Nord de la RBA?

2.1. Evolution de l'occupation du sol dans la RBA entre 1998 et 2021

L'analyse des données (évolution de la couverture terrestre et la matrice de conversion des occupations des terres) indique que deux occupations des terres ont connu une évolution régressive en 23 ans, Parcours et Sol nu (Terres non viabilisées), avec respectivement -3,81% et -10,46% (tableau 31). Cela représente, respectivement, pour les deux occupations, un rythme annuel de l'ordre de -2236,12 ha, -1 396,39 ha. Les parcours ayant changé de destinées ont été convertis en sol nu (28 796 ha) et en agriculture (60,79 ha). Les terres non viabilisées (sol nu) ayant changé de classe ont été convertis en Parcours (1 546 ha) et en agriculture (1,28 ha). Même si le bilan des forêts et l'agriculture est positif, elles sont cédées respectivement 5 124 ha et 99 461 ha en faveur des parcours (tableau 32).

Tableau 31: Evolution de la couverture terrestre dans la RBA 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		

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

1998 \ 2021	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 et plans d'eau	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

Les tendances globales des occupations des terres dans la RBA entre 1998 et 2021 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 moins de 1% de la surface (0,42%) (Tableau 33).

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

- Les terres forestières transformées ont été converties vers des terres de parcours et terrains peu productif par l'abattage des arbres (arganiers) pour libérer l'espace à la mise en culture.
- Les terrains de parcours transformés ont été converties vers les sols nu et autres terres ;
- Le pâturage est le facteur de dégradation le plus important des terres forestières et des terres cultivées dans la RBA.

Tableau 33:Résumé des changements de la couverture terrestre, entre 1998 et 2021

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 figures 33,34 et 35 montrent les cartes d'occupations des sols dans la réserve de biosphère de l'arganeraie pour les dates de 1998 et 2021, ainsi que la carte de dégradation des terres entre 1998 et 2021.

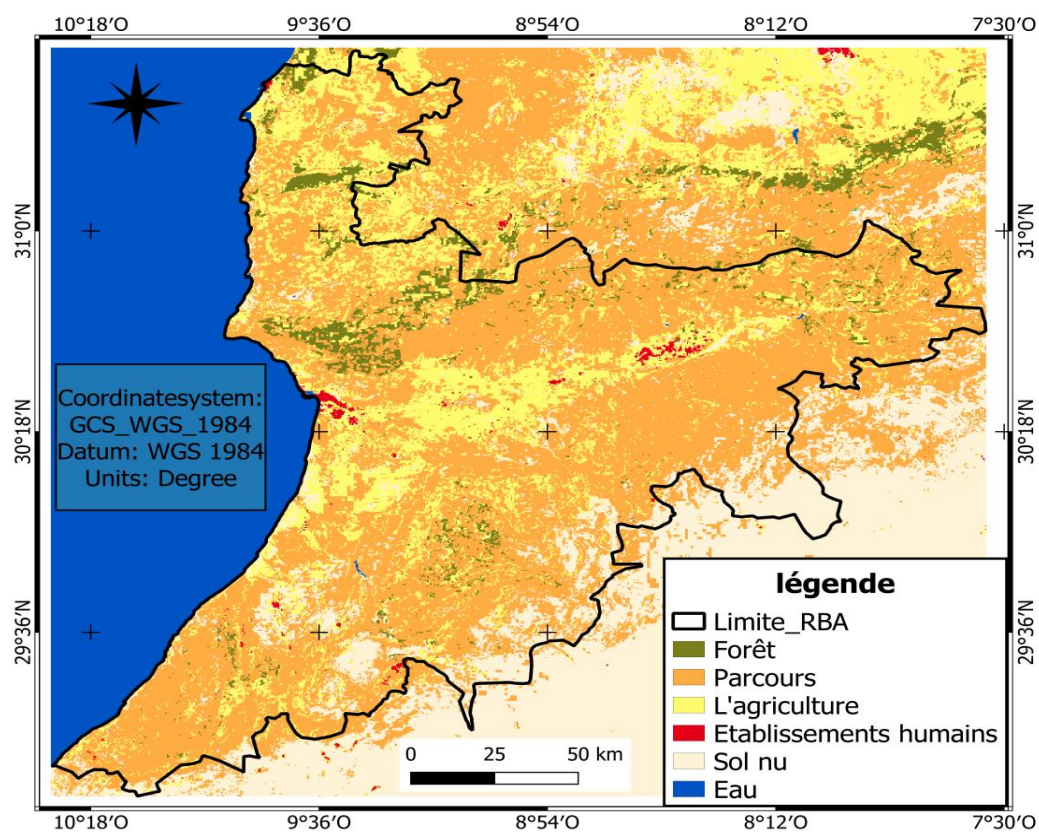


Figure 33: Carte d'occupation des terres dans la RBA en 1998

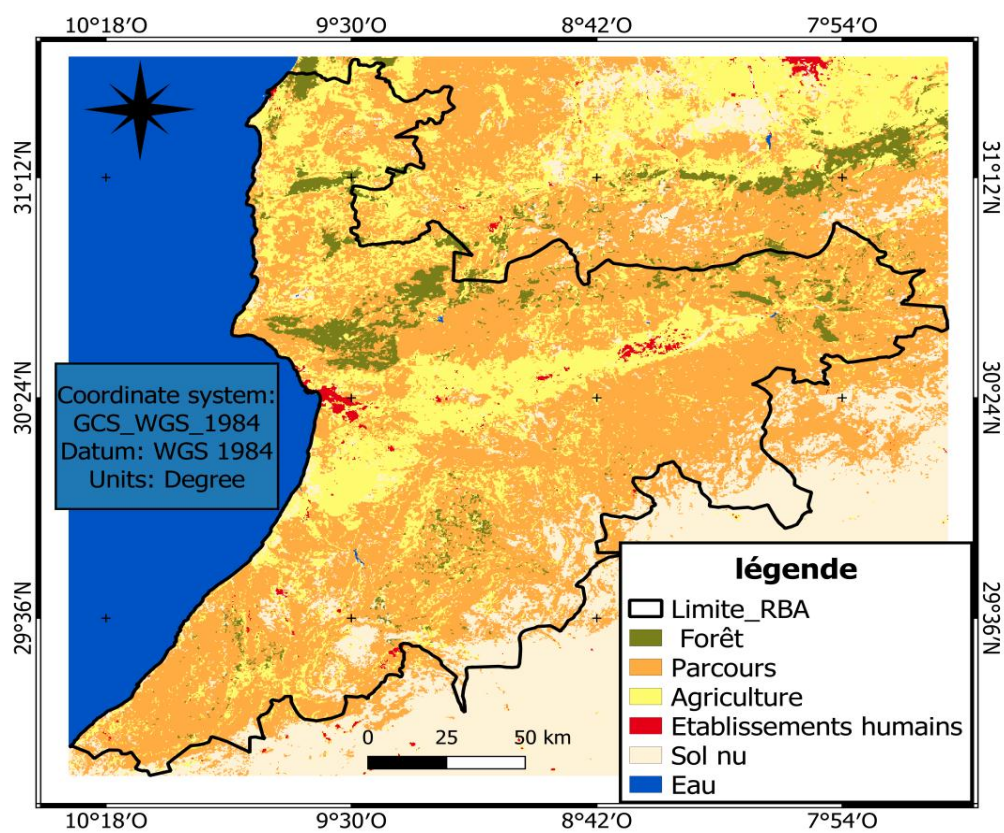


Figure 34: Carte d'occupation des terres dans la RBA en 2021

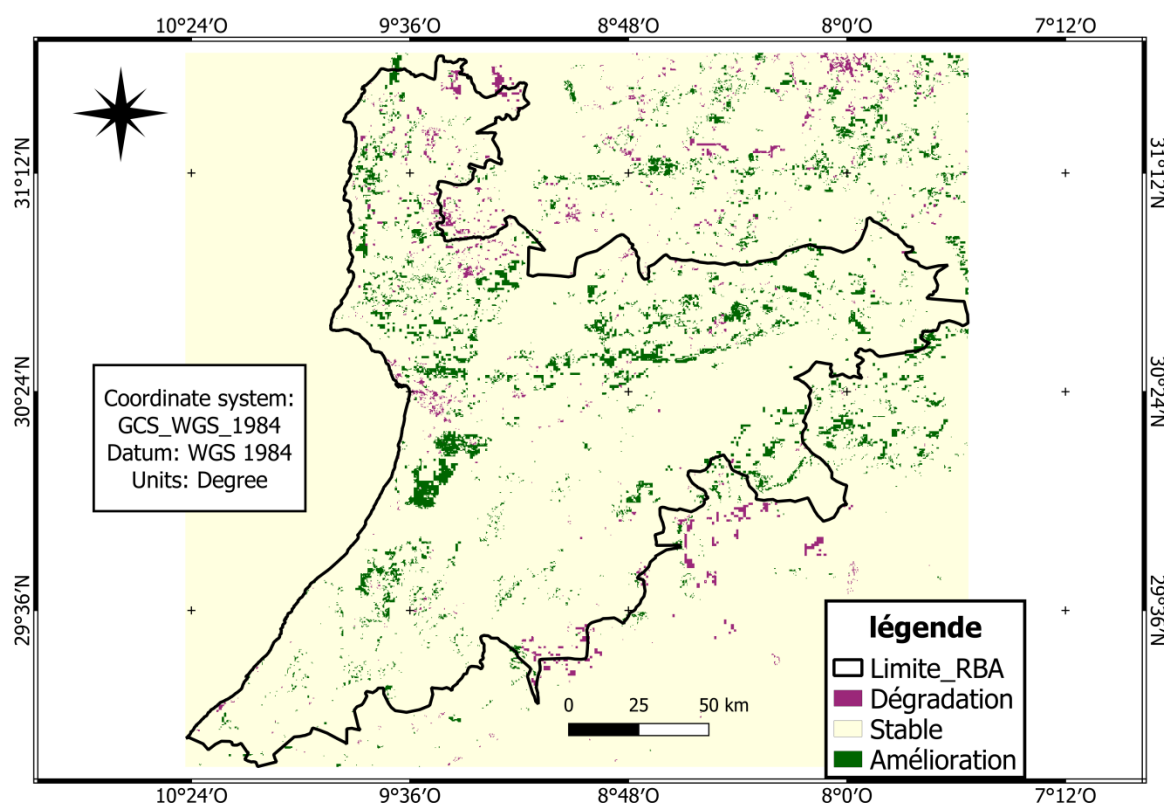


Figure 35: Dégradation des occupations des terres de la RBA entre 1998 et 2021

2.2. Evolution de l'occupation du sol dans la zone Nord de la RBA entre 1998 et 2021

Rappelons que la zone Nord de la RBA est représentée par le Haut Atlas occidental et le plateau de Haha. En analysant les données de l'évolution de la couverture terrestre dans cette zone biogéographique entre 1998 et 2021 (Tableaux 34, 35), nous pouvons constater que trois occupations des terres ont connu une évolution régressive. Parcours, Sol nu ainsi que les zones humides et plans d'eau, avec respectivement -6,29%, -4,47% et -23,18%. Les parcours ayant changé de destinées ont été convertis en agriculture (15257 ha) et en sol nu (406,4 ha). Les terres non viabilisées (sols nu) ayant changé de classe ont été convertis en Parcours (652,1 ha), en agriculture (266,6 ha) et en zones humides et plans d'eau (324,6 ha). Les zones humides et plans d'eau ayant changé de destinées ont été convertis en Parcours (128,6 ha), en sols nu (53,6 ha) et en agriculture (16 ha). Même si le bilan des terres forestières et les terres cultivées est positif, elles sont cédées respectivement 13 545 ha et 36136,8 ha en faveur des parcours. Le bilan de la classe des établissements humains est positif. Cette augmentation (46,36%) montre une réelle dynamique en faveur des terrains de l'habitation. Les établissements humains ont subi une extension aux dépens de l'agriculture et sol nu.

Tableau 34: Evolution de la couverture terrestre dans la zone Nord entre 1998 et 2021

Occupations des terres	Superficie en 1998 (ha)	Superficie en 2021 (ha)	Dynamique entre 1998 et 2021 (ha)	Pourcentage
La forêt	88 062	121 308	33 246	37,75%
Parcours	551 057	516 392	-34 665	-6,29%
Agriculture	243 670	246 065	2 396	0,98%
Les établissements humains	1 016	1 487	471	46,36%
Sol nu	19 177	18 319	-858	-4,47%
Zones humides et plans d'eau	2 544	1 954	-590	-23,18%
Total :	905 526	905 526		

Tableau 35: Matrice d'évolution (conversion) des occupations des terres (ha) dans la zone Nord entre 1998 et 2021

2021 1998	La forêt	Parcours	Agriculture	Etablissements humains	Sol nu	Zones humides	Total :
La forêt	88 046	0	16,1	0	0	0	88 062
Parcours	13 545	500595	36136,8	0	652,1	128,6	551 057
Agriculture	19 717	15257	208016	396,2	266,6	16,1	243 670
Etablissements humains	0	0	0	1016,2	0	0	1 016
Sol nu	0	406,4	1571,8	69,5	17075,4	53,6	19 177
Zones humides et plans d'eau	0	133,4	324,5	5,4	324,6	1756	2 544
Total :	121 308	516392	246065	1487,3	18318,7	1954,3	905 526

L'analyse du résumé des changements de la couverture terrestre entre 1998 et 2021 montre que les occupations des terres dans la zone Nord de la RBA en majorité ont été stables (90,26%). Les occupations améliorées en termes de couvertures représentent 7,90%. Alors que, les terres avec un couvert dégradé représentent environ de 1,84 % de la surface (tableau 36).

En se basant sur les conditions démographiques, écologiques et économiques de la région. Les grands traits de cette transformation régressive peuvent être annoncés comme suit :

-Les terres forestières transformées ont été converties vers des terres de parcours et des terrains cultivés, vu que la population est basé sur l'élevage (caprin), ainsi que la région est connue par l'agriculture intensive (maraîchage, agrumes) ;

-Les terrains de parcours transformés ont été convertis vers des sols nus et des terrains de culture qui connaissent une dynamique progressive remarquable;

-Les terres humides et plans d'eau transformées ont été convertis vers des terrains de parcours et des terrains peu productif à cause de la sécheresse qui a affecté les ressources hydriques, en plus de l'usage excessif des eaux de nappes.

Le pâturage est le facteur de dégradation le plus important des terres forestières dans la zone Nord de la RBA. En effet, le pâturage est aussi exacerbé par les mutations de la gestion des parcours. Celle-ci a connu des mutations profondes liées notamment à la rupture de la pratique de l'Agdal. En plus de la coupe de bois de feux et la collecte des noix d'argan.

Tableau 36: Résumé des changements de la couverture terrestre, entre 1998 et 2021

Type d'évolution de la couverture terrestre	Surface (ha)	Pourcentage (%)
Terres avec une amélioration du couvert	71 377	7,90%
Terres avec un couvert stable	815 536	90,26%
Terres avec un couvert dégradé	16 658	1,84%

Les figures 36,37 et 38 montrent les cartes d'occupations des sols dans la zone biogéographique de Haut Atlas de la RBA pour les dates de 1998 et 2021, ainsi que la carte de dégradation des terres entre 1998 et 2021.

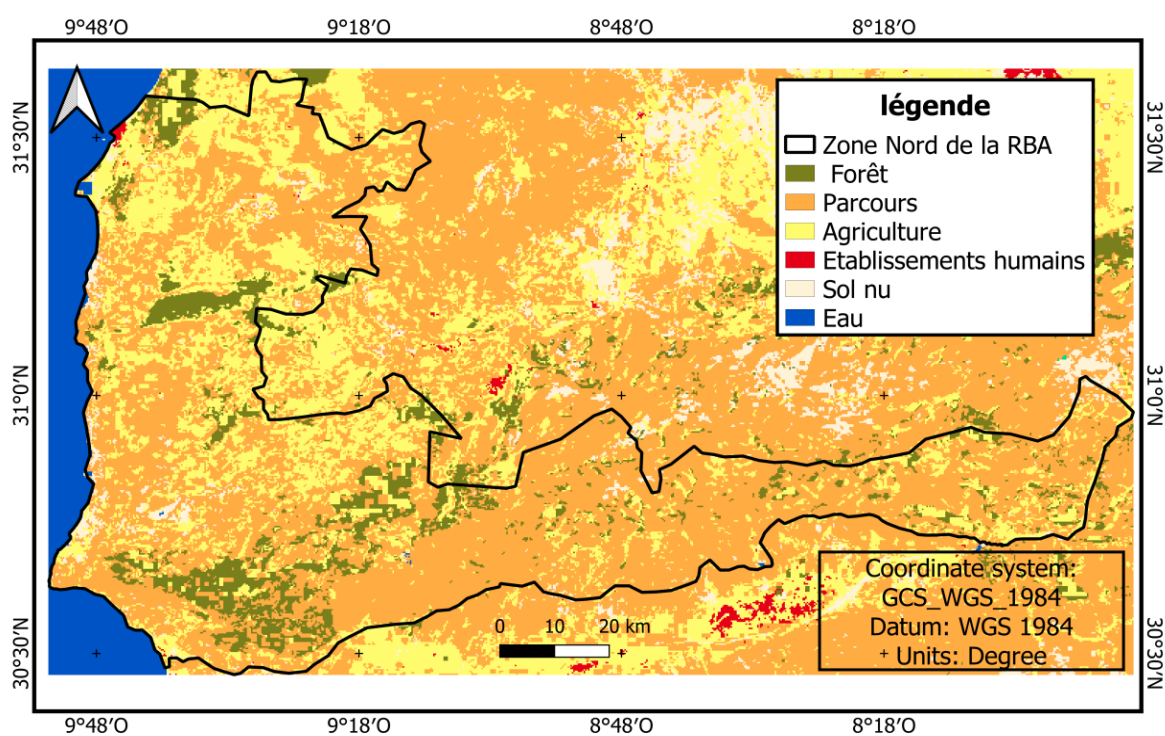


Figure 36: Carte d'occupation des terres dans la zone Nord de la RBA en 1998

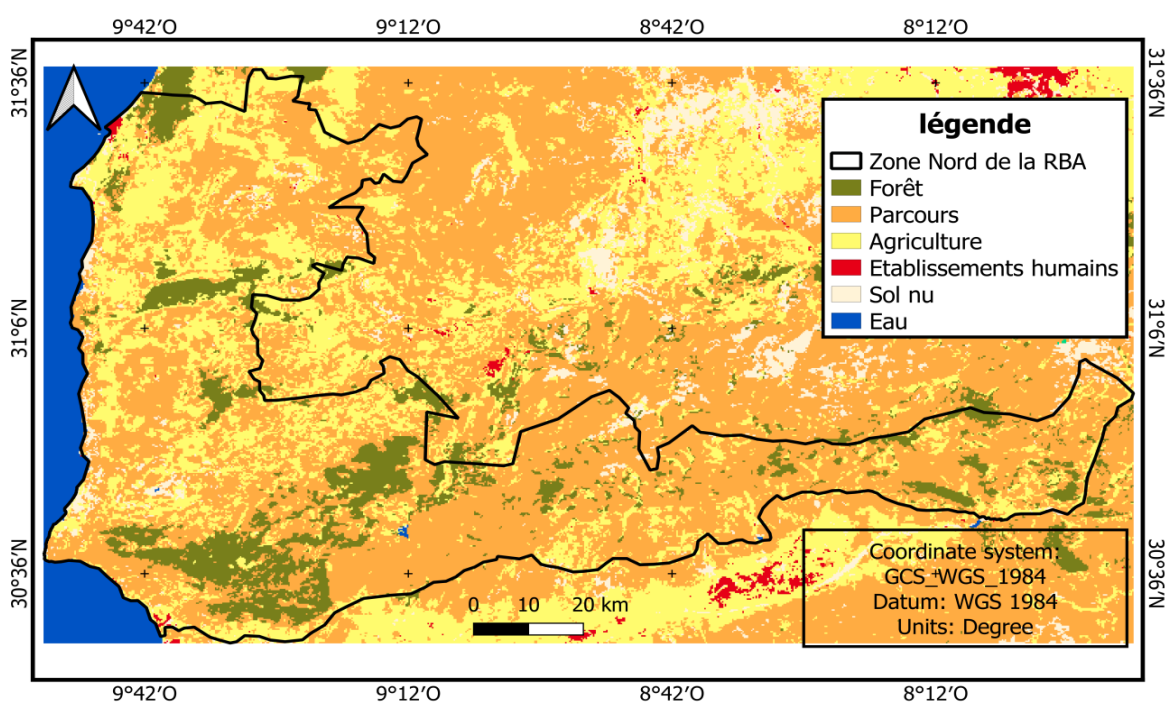


Figure 37: Carte d'occupation des terres dans la zone Nord de la RBA en 2021

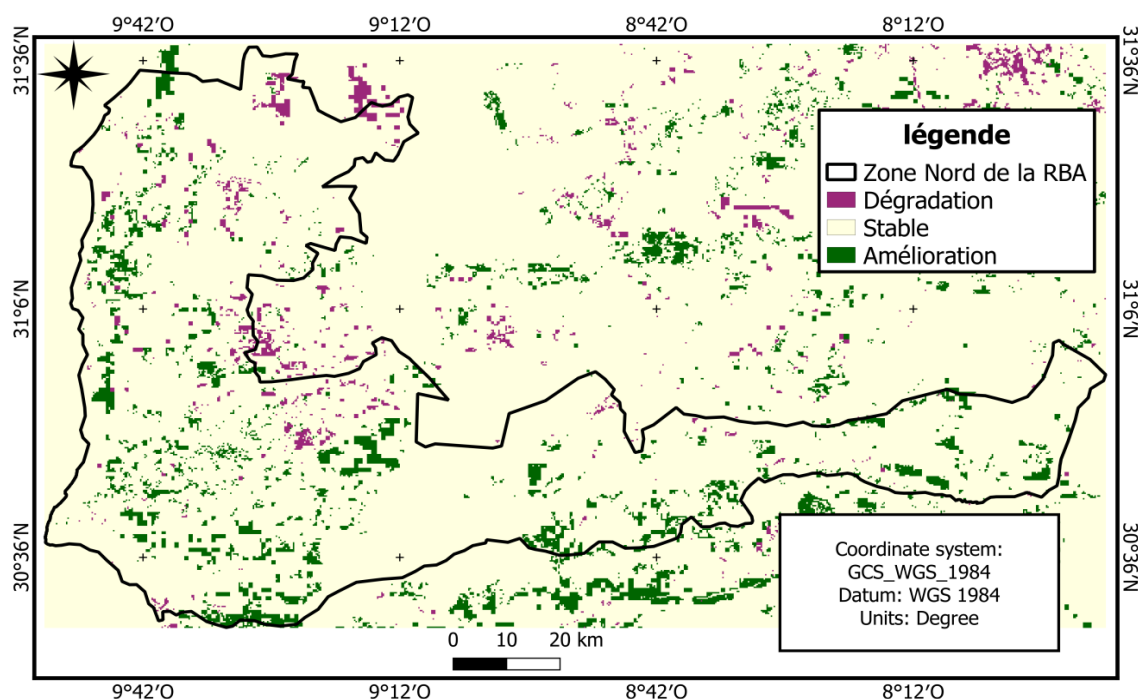


Figure 38: Carte de dégradation des occupations des terres de la zone Nord entre 1998 et 2021

2.3. Evolution du Stock du carbone organique du sol dans la zone Nord de la RBA entre 1998 et 2021

La quantification des changements du stock du carbone organique dans le sol se trouve difficile pour diverses raisons, dont la variabilité spatiale des propriétés du sol, le temps et le coût des études représentatives des sols.

Les résultats numériques du stock du carbone organique dans le sol (SCOS) entre l'année initiale 1998 et l'année finale 2021 (23 ans), montrent que les occupations des terrains de parcours et des terres non viabilisées enregistrent une perte nette dans le bilan du stock du COS, respectivement, de 6,75% et 2,90% (Tableau 37). Ceci est dû essentiellement aux pertes en surface qu'elles ont connues. En effet, les principales conversions ont concerné les terres de parcours et les terres non viabilisées. La chute du bilan du stock du COS durant cette période est due aussi, en moindre mesure, à la chute des taux de carbone par unité de surface (t/ha) entre l'année 1998 et l'année 2021. Pour les parcours le taux du carbone est passé de 41,90 t/ha à 41,70 t/ha. Pour les terres non viabilisées, il est passé de 41,45 t/ha en 1998 à 41,40 t/ha en 2021. Ceci pourrait être expliqué par les modifications dans leurs structures qu'ont connues les parcours et les terres non viabilisées et autres terres. A cet

égard, le surpâturage pourrait en être responsable dans les terrains de parcours et la mise en culture dans les terres non viabilisées.

L'augmentation enregistrée dans les Terres forestières (38,09%) est due à l'augmentation des cultures sous arganier. La nette augmentation du stock du COS dans les terres cultivées est due essentiellement à l'augmentation de la surface de cette occupation des terres. La même raison est avancée pour l'occupation établissements humains. L'augmentation de la surface des établissements humains est de 45,24% entre 1998 et 2021. La mise en culture et leur extension est le facteur principal qui influence les différents changements du stock de COS.

En général et à l'échelle de la surface totale la zone Nord de la RBA, la quasi-totalité des terrains ont gardé le même stock du carbone organique dans le sol avec un pourcentage de 98,07%. Les surfaces ayant connu une amélioration de leur stock de COS représenteraient 0,54% et celles ayant connu une dégradation sont de 1,38% (tableau 38).

Les figures 39,40 et 41 montrent les cartes du stock du carbone organique du sol dans la zone Nord de la réserve de biosphère de l'arganeraie pour les dates de 1998 et 2021, ainsi que la carte de l'évolution du stock du carbone organique du sol entre 1998 et 2021.

Les cartes indiquent des valeurs du stock du COS en 2021 allant de 43 à 87 t/ha dans toute la zone Nord, sont des valeurs qui vont dans le même sens que nos résultats trouvés sur le terrain qui varient entre 24 et 84 t/ha. Ce qui confirme que le sol est le principal réservoir de carbone dans l'arganeraie.

Tableau 37: Evolution du stock du carbone dans le sol (COS) par occupation des terres dans la zone Nord entre 1998 et 2021

Occupation des terres	Stock COS 1998 (t/ha)	Stock COS 2021 (t/ha)	Surface 2000 (ha)	Surface 2015 (ha)	Stock COS 1998 (tonnes)	Stock COS 2021 (tonnes)	Variation Stock COS (tonnes)	Variation Stock COS(%)
Terres forestières	58,34	58,48	88 062	121 308	5 137 464,51	7 094 185,98	1 956 721,48	38,09%
Parcours	41,90	41,70	550 929	516 259	23 083 539,20	21 525 593,90	-1 557 945,30	-6,75%
Terres cultivées	40,66	40,92	243 653	245 741	9 906 545,87	10 055 534,36	148 988,48	1,50%
Etablissements humains	60,22	59,97	1 016	1 482	61 192,41	88 878,87	27 686,46	45,24%
Terres non viabilisées (sols nu)	41,45	41,40	19 123	17 994	792 303,64	769 304,52	-22 999,12	-2,90%
		Total	902 784	902 784	38 981 045,63	39 533 497,63	552 452,00	

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

Evolution du stock du carbone	Surface (ha)	% de la surface totale
Surface des terres avec amélioration du COS	13 889	0,54%
Surface des terres avec un COS stable	2 510 147	98,07%
Surface des terres avec dégradation du COS	35 381	1,38%

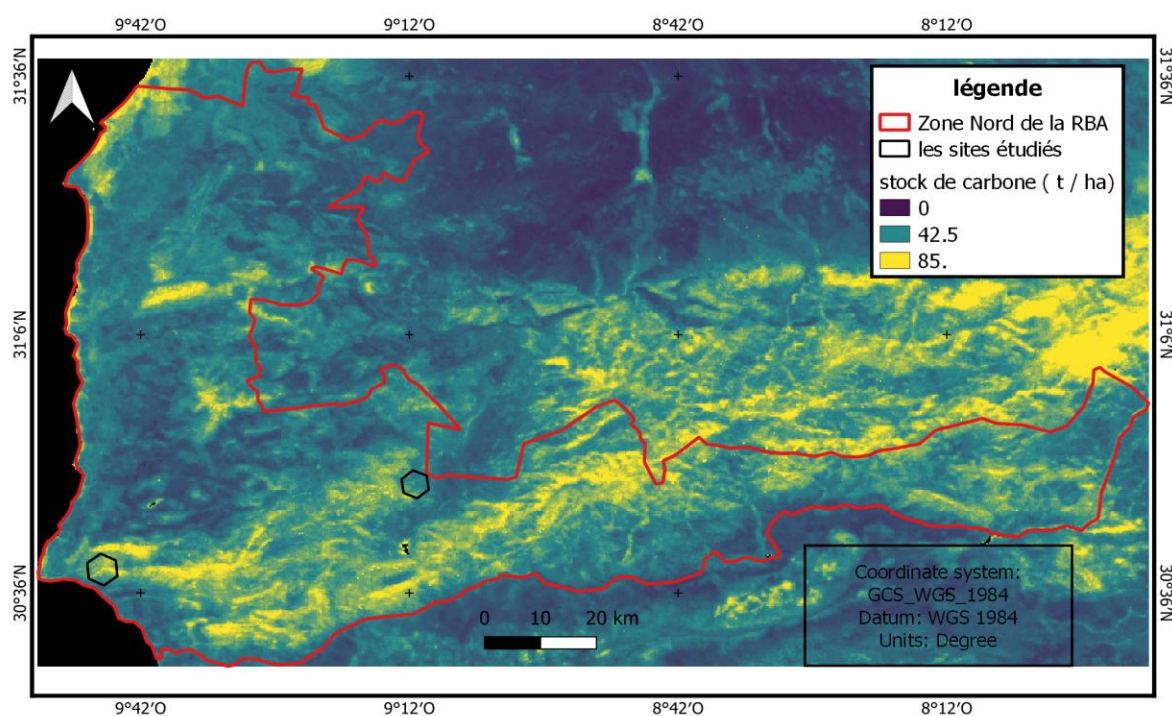


Figure 39: Le stock du carbone organique en 1998 dans la zone Nord de la RBA

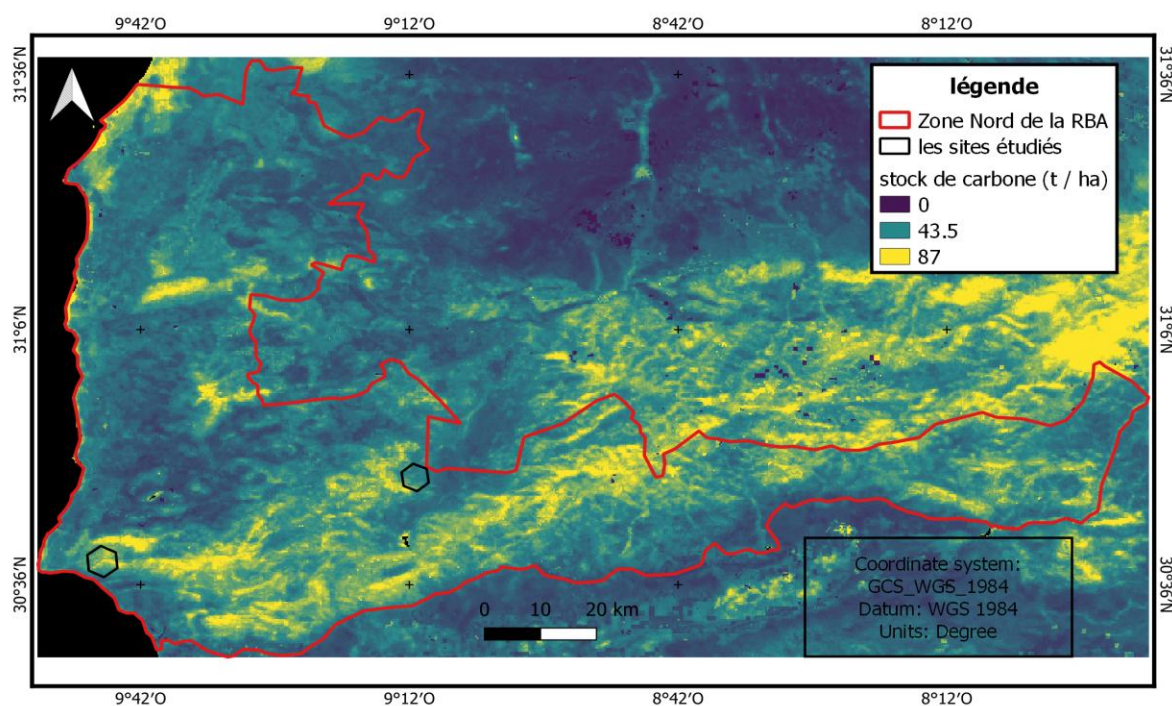


Figure 40: Le stock du carbone organique en 2021 dans la zone Nord de la RBA

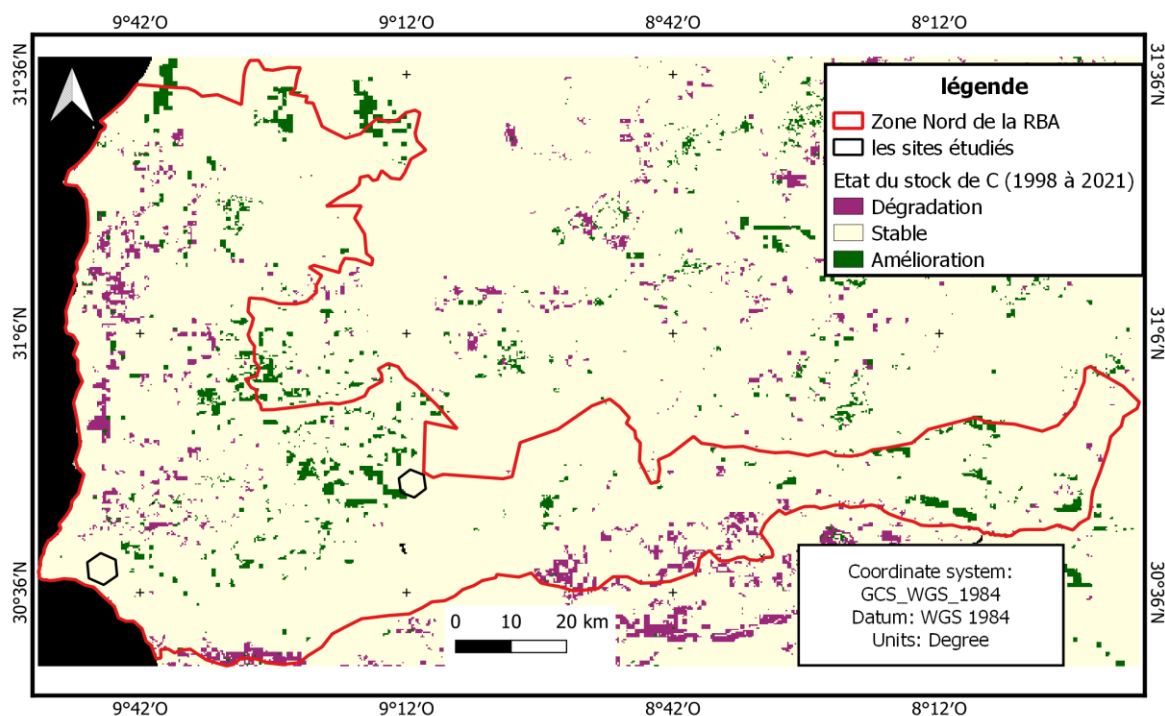


Figure 41: Evolution du SCOS entre 1998 et 2021 dans la zone Nord

2.4. La dynamique d'occupation des sols dans les zones centrales : Ain Asmama et Aghroud entre 1998 et 2021.

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

- La première a consisté à générer les cartes d'occupation de sol pour les dates 1998, et 2021 et présenter les superficies des classes d'occupation du sol ainsi, le taux de couverture de chaque classe pour chaque date.
- La seconde à faire la détection du changement enregistré entre les deux dates et présenter les résultats spatialement sur des cartes de changement pour les deux zones centrales.

2.4.1. Dynamique de l'occupation des sols dans la zone Ain Asmama entre 1998 et 2021

2.4.1.1. Situation de la zone centrale Ain Asmama en 1998

La classification a permis de distinguer 2 classes d'occupations des sols pour la zone en 1998: Forêt et Parcours.

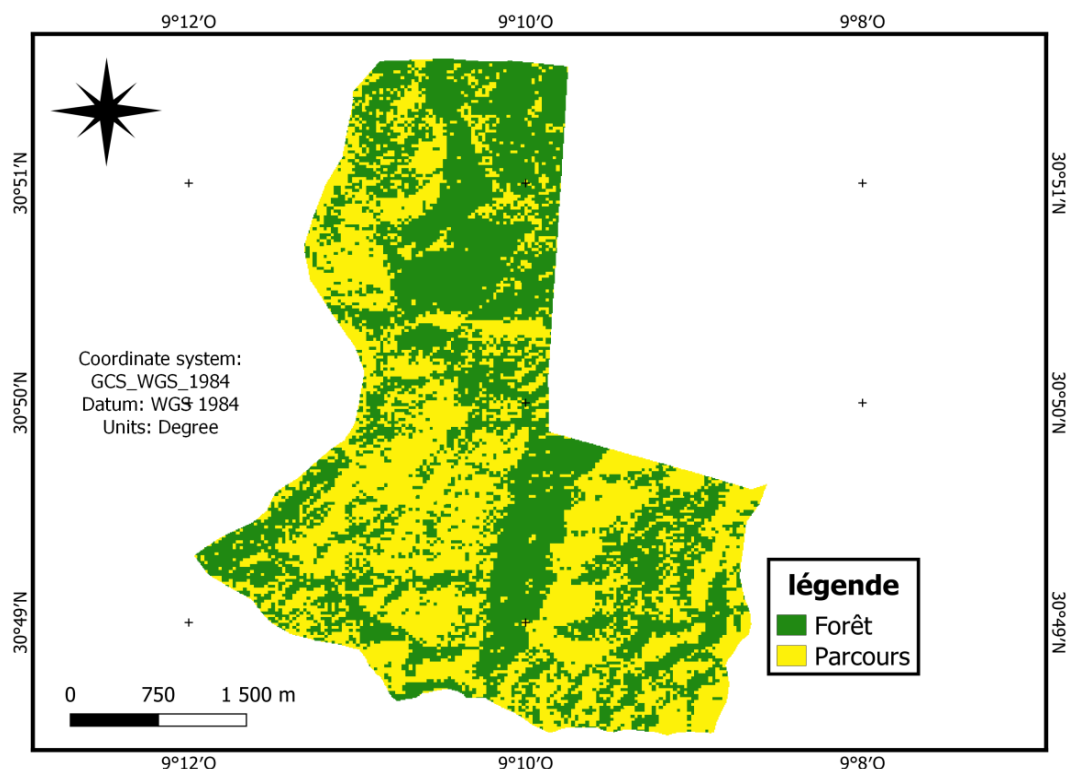


Figure 42: Carte d'occupation du sol de la zone centrale Ain Asmama en 1998

La situation de l'occupation du sol est donnée dans le tableau 39 et la figure 43. D'après les statistiques générées, la forêt occupe la plus grande superficie avec 909,30 ha suivi par et les parcours avec une superficie de 836,69 hectares. Il est à noter que dans cette année 1998 nous n'avons pu identifier que les deux classes, vu à la grande résolution des images. Le taux de couverture des parcours est de 47,92 %, ce qui confirme que l'activité principale de la population, dans les années quatre-vingt-dix, était basée sur l'élevage.

Tableau 39:Superficie et taux de couverture des classes d'occupation du sol

Classes	Superficie (ha)	taux de couverture(%)
foret	909,3	52,07
parcours	836,7	47,92
total	1746	100

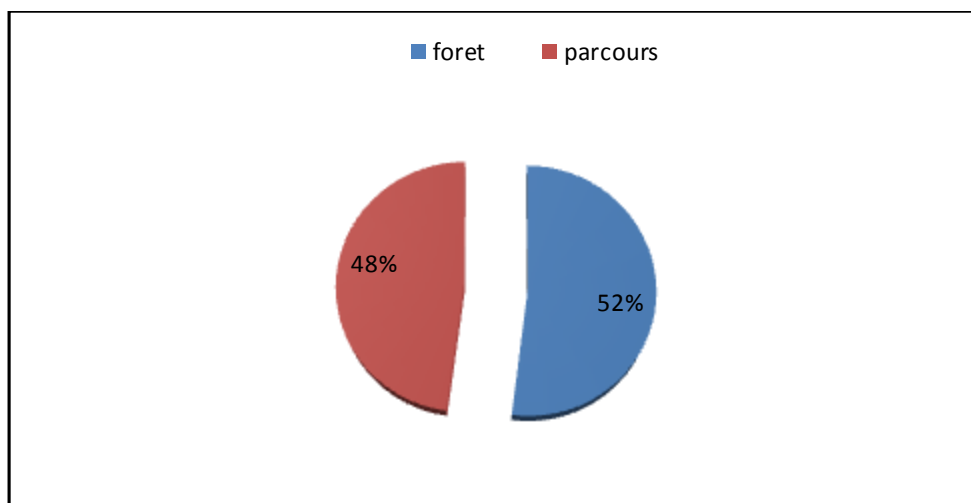


Figure 43: Classes d'occupation du sol dans Ain Asmama en 1998 en pourcentage

2.4.1.2. Etat de la zone centrale Ain Asmama en 2021

La situation d'Ain Asmama en 2021 est illustrée dans la figure 44 qui suit :

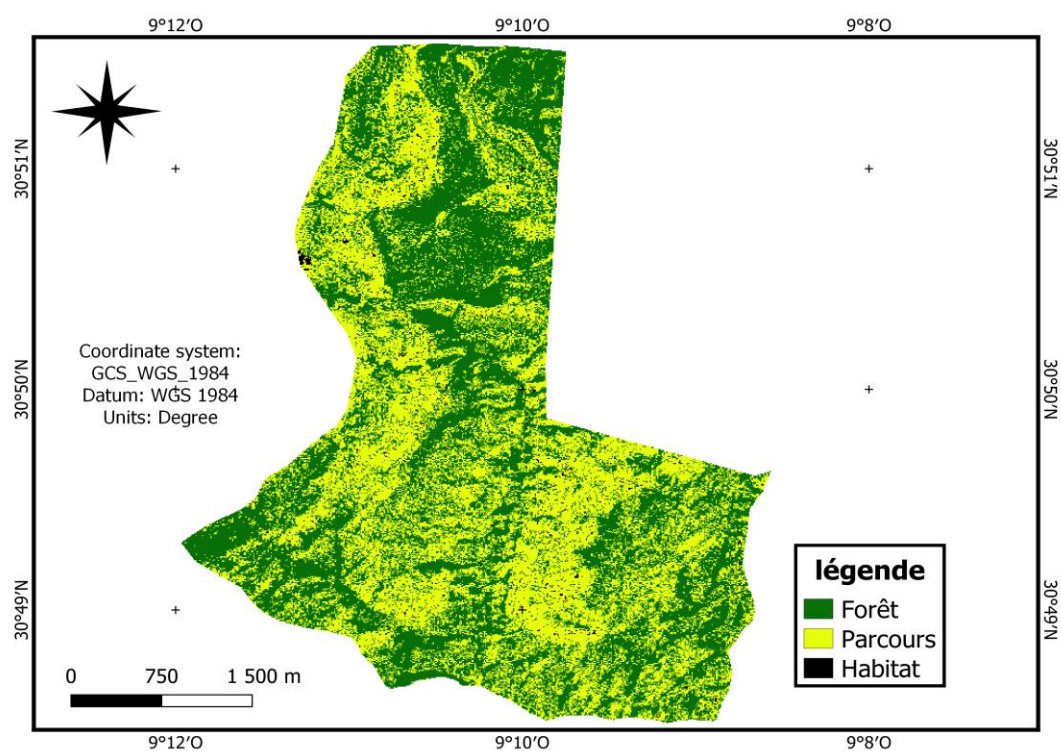


Figure 44: Carte d'occupation du sol de la zone centrale Ain Asmama en 2021

La classification a permis de distinguer 3 classes d'occupations des sols : Habitat, Forêt et Parcours.

La situation de l'occupation du sol est donnée dans le tableau 38 et la figure 45. D'après les statistiques générées, les grandes superficies sont occupées par les parcours et la forêt avec respectivement une superficie de 911,33 et 814,44 hectares. Il est à noter que le taux de couverture des parcours est 52,20 %. Cela confirme que jusqu'à nos jours l'élevage constitue toujours une activité principale pour la population. Le taux de couverture faible est représenté par les habitats qui sont de 1 %, une superficie de 20,3 ha. Cela est justifié par le fait que la zone centrale (la zone cœur) est un SIBE. Toutes fois, on note une augmentation des parcours et en parallèle une régression de la couverture des forêts.

Tableau 40:Superficie et taux de couverture des unités d'occupation du sol

Classes	Superficie (ha)	taux de couverture(%)
parcours	911,33	52,20
foret	814,44	46,65
habitat	20,23	1,16

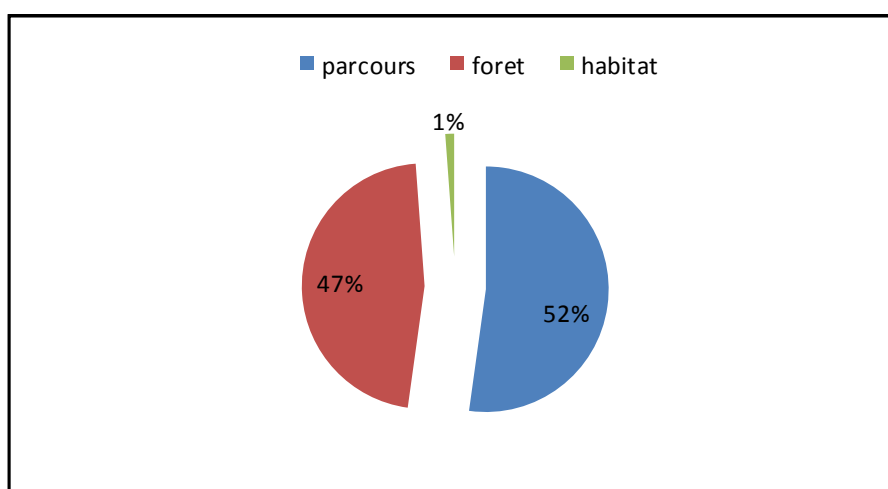


Figure 45:Classes d'occupation du sol dans Ain Asmama en 2021 en pourcentage

2.4.1.3. Détection et caractérisation des changements

L'analyse de la dynamique spatiale au niveau de la zone centrale est basée sur l'analyse de l'évolution des superficies des différentes occupations du sol durant une période de 23 ans (1998-2021). L'objectif de cette étude est de présenter l'évolution dans le temps des 3 classes, à savoir : Forêt, Parcours et Habitat.

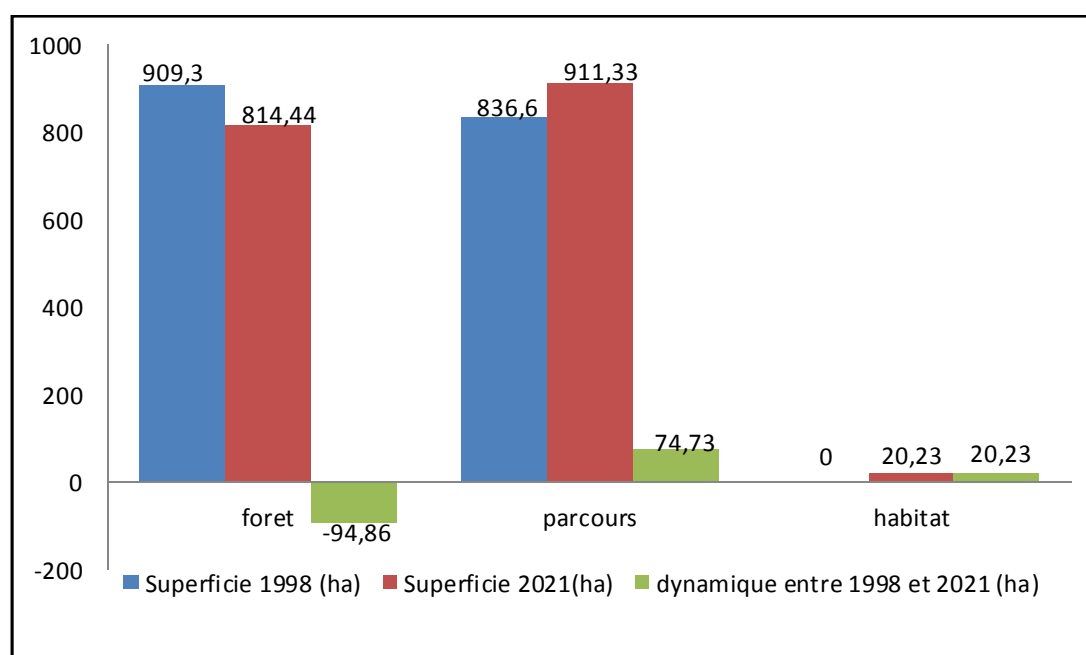
Tableau 41: Evolution des unités d'occupation du sol d'Ain Asmama entre 1998 et 2021

Classes	Superficie 1998 (ha)	Superficie 2021(ha)	dynamique entre 1998 et 2021 (ha)
foret	909,30	814,44	-94,87
parcours	836,69	911,33	74,64
habitat	0	20,23	20,23

L'analyse du tableau 41 montre les changements opérés dans la zone d'étude en termes de gain et de perte des superficies pour chaque occupation du sol pour la période 1998-2021. Le fait majeur qui ressort de l'analyse du tableau est l'évolution régressive de la superficie de la forêt et l'évolution progressive des strates Parcours et Habitat (figure 46) :

- La strate forêt a régressé par 94,87 ha ;
- La strate Parcours a progressé par 74,64 ha;
- La strate Habitat a progressé par 20,23 ha ;

Les différentes occupations ont beaucoup changé entre 1998 et 2021. La perte en superficie de la strate forêt a favorisé le gain en superficie pour les parcours et l'habitat, chose qui est accentué par la dynamique démographique de la population. Cette dernière ne cesse pas d'exercer une pression sur les ressources naturelles de la zone centrale.

**Figure 46: Evolution des occupations du sol dans la zone Ain Asmama entre 1998 et 2021**

A partir de la figure 46 nous constatons que les Forêts ont perdues en faveur des terrains de parcours 74,73 ha et 20,23 ha en faveur de la classe habitat. Le bilan des terrains de parcours est positif. Cette augmentation montre une réelle dynamique en faveur des parcours qui ont subi une extension au dépend de la forêt. Ainsi que, la classe habitat qui a progressé au dépend de la forêt. La figure 47 illustre ces changements.

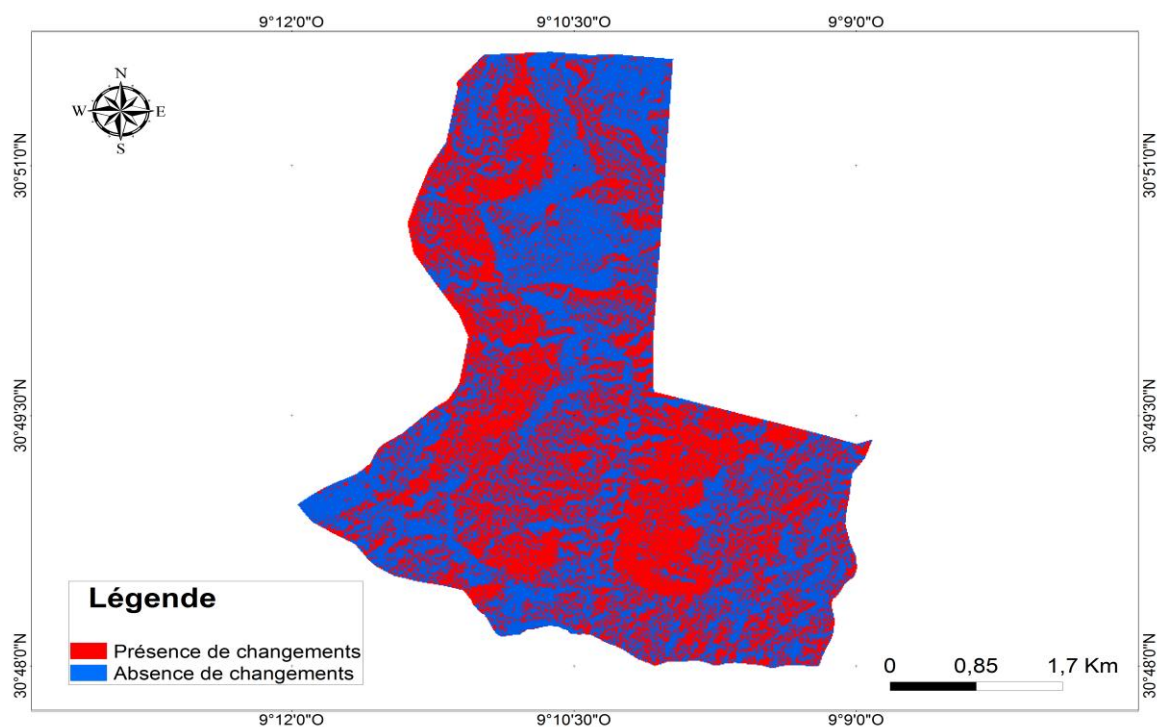


Figure 47: Carte des changements d'occupation du sol dans la zone centrale Ain Asmama entre 1998 et 2021

2.4.2. Dynamique de l'occupation des sols dans la zone Aghroud entre 1998 et 2019

2.4.2.1. Situation de la zone centrale Aghroud en 1998

La classification a permis de distinguer 2 classes (figure 48):

- Forêt,
- terrain peu productif.

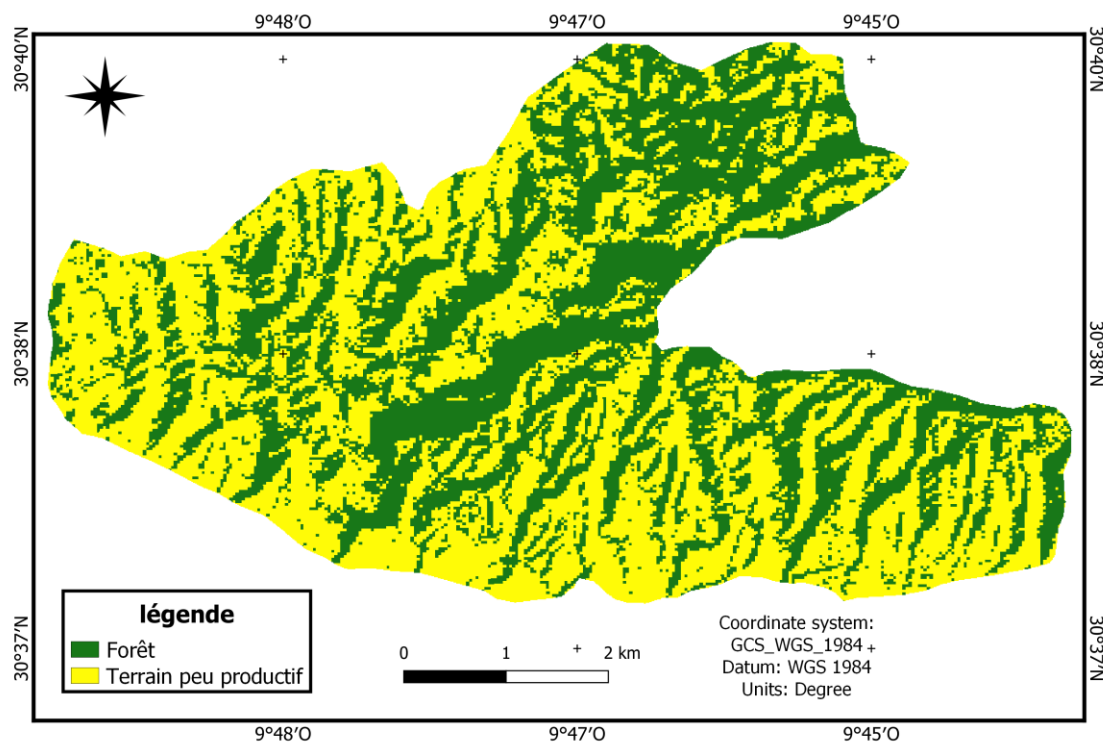


Figure 48: Carte d'occupation du sol de la zone centrale Aghroud en 1998

La situation de l'occupation du sol est donnée dans le tableau 42 et la figure 49. D'après les statistiques générées, la zone centrale d'Aghroud est partagée entre la forêt et les terrains peu productifs avec respectivement les superficies de 1733,20 et 2062,79 hectares. Il est à noter que la superficie occupée par la forêt représente 45,66 % de la superficie totale de la zone centrale tandis que le taux de couverture des terrains peu productifs est de 54,34 %, ce qui L'analyse des images satellitaires relatives à Aghroud dans cette période ont montré l'absence des habitats à l'intérieur de la zone.

Tableau 42: Superficie des unités d'occupation du sol de la zone Aghroud en 1998

classe	superficie (ha)	taux de couverture (%)
foret	1733,20	45,66
Terrain peu productif	2062,79	54,34
total	3796	100

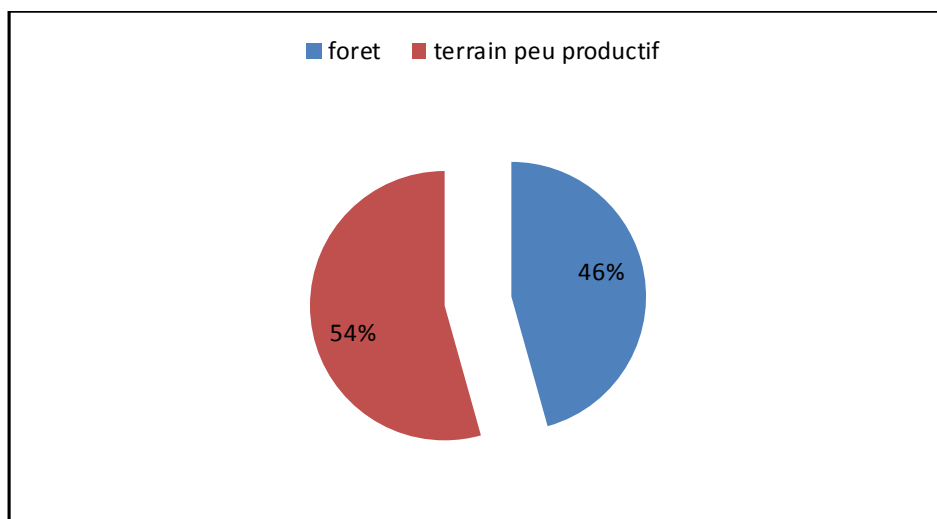


Figure 49: Classes d'occupation du sol dans la zone Aghroud en 1998 en pourcentage

2.4.2.2. Situation de la zone centrale Aghroud en 2021

La classification a permis de distinguer 2 classes : Forêt et terrain peu productif. La situation d'Aghroud est illustrée dans la figure qui suit (figure 50):

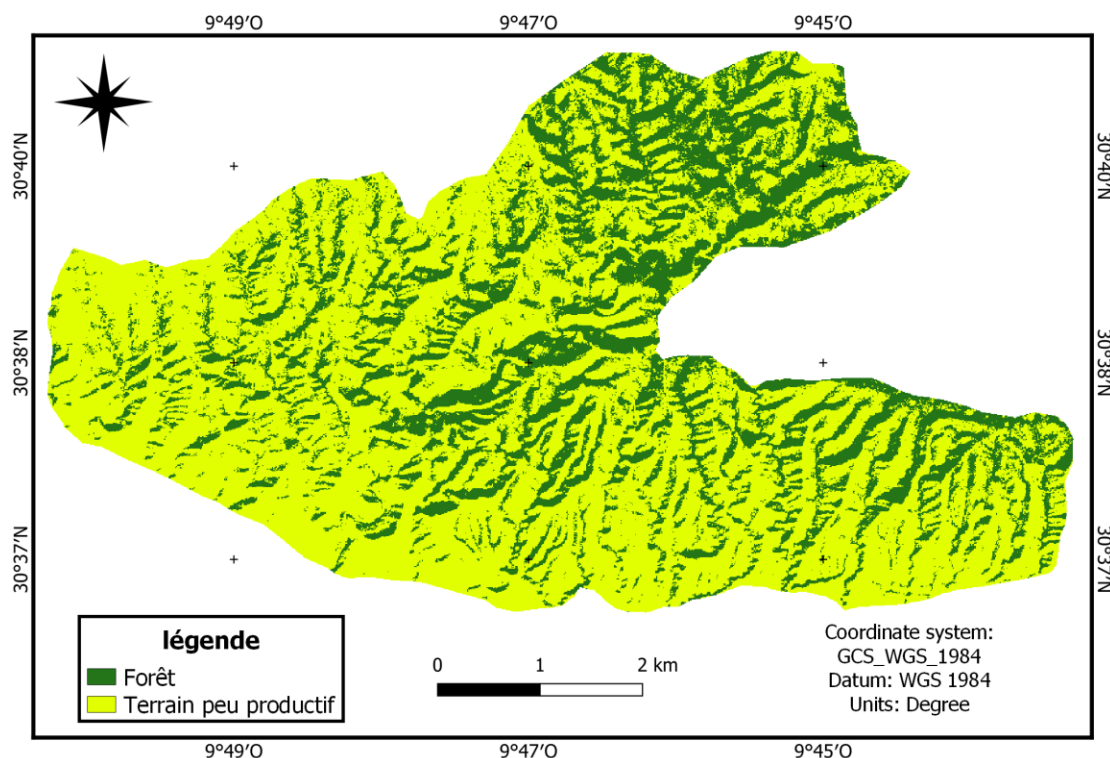


Figure 50: Carte d'occupation du sol de la zone centrale Aghroud en 2021

La situation de l'occupation du sol est donnée dans le tableau 43 et la figure 51. D'après les données générées, la zone centrale est toujours partagée entre la forêt et les terrains peu productifs avec respectivement une superficie de 1152,1 et 2643,8 hectares. Il est à noter que le taux de couverture de la forêt est 30,35 % tandis que le taux de couverture des terrains non viabilisés est 69,65 %. L'analyse de plusieurs images satellitaires a montré (à plusieurs reprises) l'absence des habitats et des terrains de l'agriculture jusqu'à nos jours. Ce qui montre le bon état de la conservation de site.

Tableau 43: Superficie des unités d'occupation du sol de la zone Aghroud en 2021

classe	superficie (ha)	taux de couverture(%)
foret	1152,1	30,35
terrain peu productif	2643,8	69,65
Total	3796	100

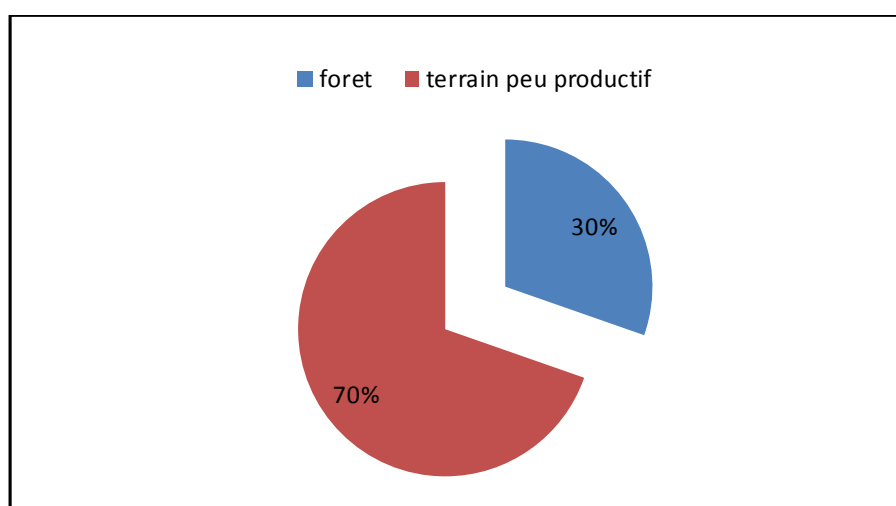


Figure 51 :Classes d'occupation du sol dans Aghroud en 2021 en pourcentage

2.4.2.3. Détection et caractérisation des changements

L'analyse de la dynamique spatiale au niveau de la zone centrale Aghroud est basée sur l'analyse de l'évolution des superficies des différentes occupations du sol durant une période de 23 ans (1998-2021). L'objectif est de présenter l'évolution dans le temps des 2 classes, à savoir : Forêt et les terrains peu productifs.

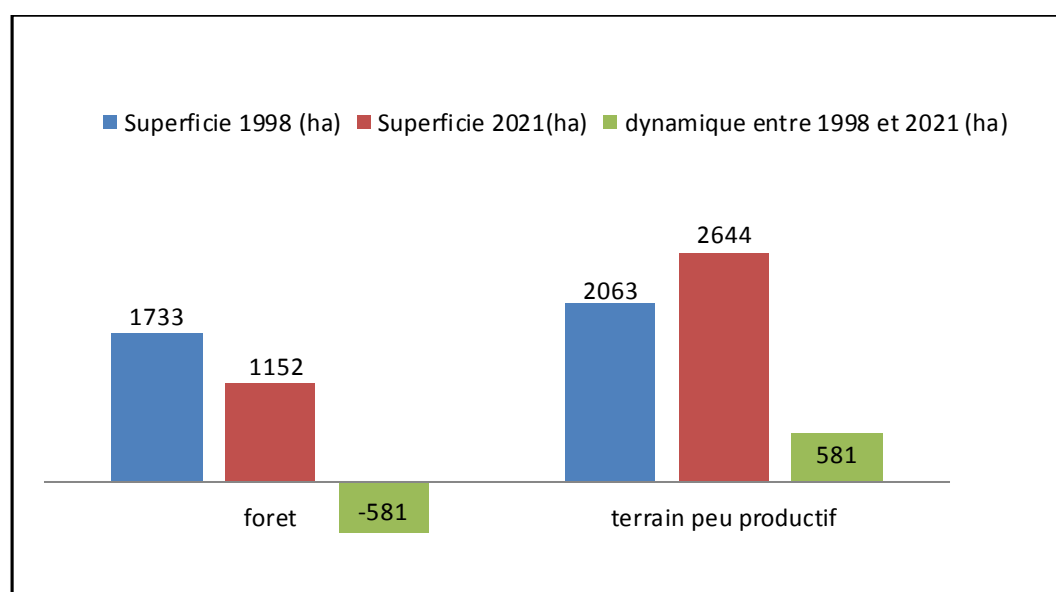
Tableau 44: Evolution des unités d'occupation du sol d'Aghroud entre 1998 et 2021

Classes	Superficie 1998 (ha)	Superficie 2021(ha)	dynamique entre 1998 et 2021 (ha)
foret	1733	1152	-581
terrain peu productif	2063	2644	581

Le fait majeur qui ressort de l'analyse du tableau 44 est l'évolution régressive de la superficie de la forêt et en faveur des terrains peu productifs qui commencent à prendre de l'envergure dans la zone centrale.

- La strate forêt a régressé avec un rythme moyen annuel de **-25,26** ha/an ;
- La strate Parcours a progressé avec un rythme moyen annuel de **25,26** ha/an ;

Les différentes occupations ont beaucoup changé. La perte en superficie de la strate forêt a favorisé le gain en superficie pour l'autre classe.

**Figure 52: Evolution des unités d'occupation du sol d'Aghroud entre 1998 et 2021**

L'analyse de la figure 52 montre l'évolution des unités d'occupation du sol dans la zone d'étude entre 1998 et 2021, représenté par la régression de la classe de de la forêt au profit des terrains peu productifs. Ce qui nous pousse à présumer que le couvert végétal dans sa globalité, semble exposé aux effets de la pression anthropique de plus en plus intensifié. La figure 53 illustre ces changements.

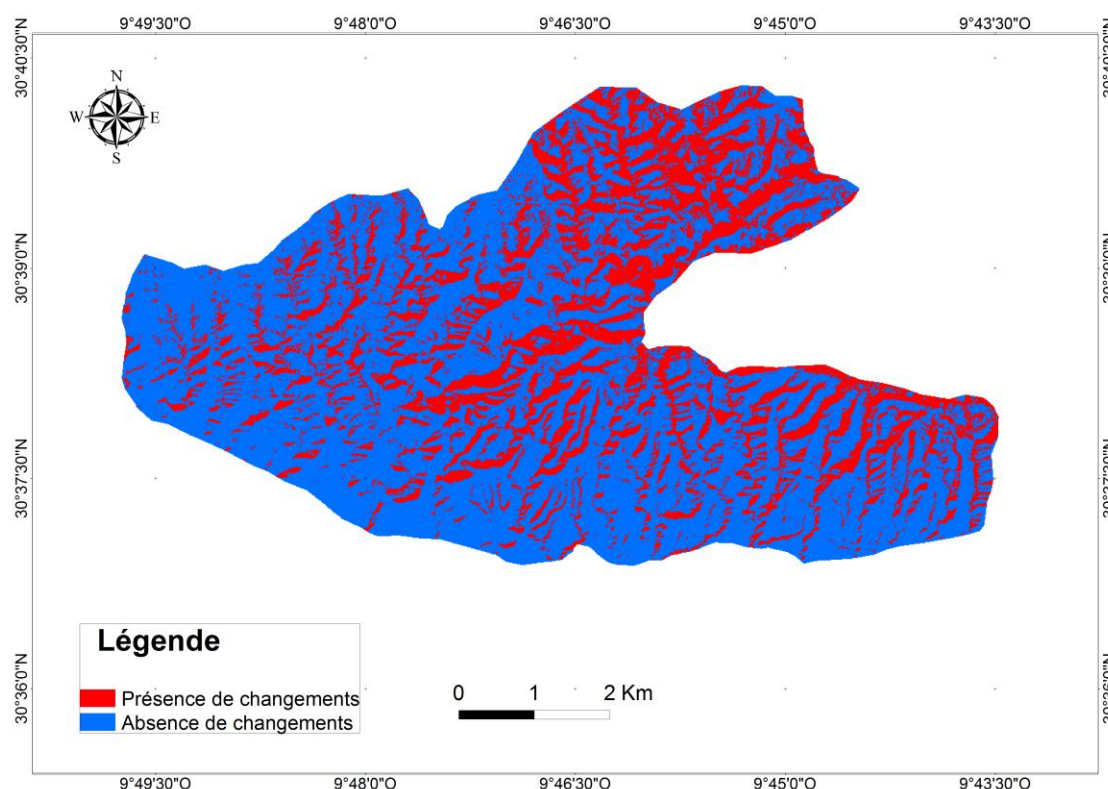


Figure 53: Carte des changements d'occupation du sol de la zone Aghroud entre 1998 et 2021

2.5. Conclusion

Les résultats de l'étude diachronique des images satellitaires 1998 et 2021 ont montré que les zones centrales de la RBA ont subi une dynamique spatiale remarquable. Le résultat de la détection de changement a montré que les deux principaux changements sont :

- Elargissement des terrains de parcours aux dépens de la forêt ;
- La régression de la forêt à cause de l'effet anthropique.

En effet L'analyse de la dynamique des occupations du sol entre 1998 et 2021, dans les deux zones centrales, a montré qu'au niveau d'Ain Asmama, la forêt a connu une dynamique régressive très importante en faveur des terrains de parcours et l'habitation, à cause du surpâturage et le prélèvement de bois de feu. Au niveau de la zone centrale Aghroud, la forêt a connu une perte de sa superficie en faveur des terrains peu productifs. L'analyse diachronique d'Aghroud entre 1998 et 2021 en plus des visites de terrain ont permis de conclure que la zone centrale est relativement conservée par rapport à Ain Asmama. Ces changements dans les zones centrales étudiées sont accentués par la pression anthropique due

au surpâturage, la mise en culture des terres vulnérables forestières et de parcours et les prélèvements excessifs en bois de feu. Ces pressions sont exacerbées par la dynamique démographique et les effets des changements climatiques (sécheresses récurrentes). Ceci est contradictoire avec les objectifs de la classification en réserve de biosphère d'arganier.



Figure 54: Dessèchement de l'arganier sous l'effet de la sécheresse prolongée



Figure 55: Prélèvement de bois dans la zone Ain Asmama

Conclusion générale

La réserve de biosphère de l'arganeraie qui s'étale sur une superficie de 2,5 millions hectares est d'une importance cruciale pour le Maroc. Elle a été déclarée par l'UNESCO première réserve de biosphère en 1998. Son zonage a permis de distinguer majoritairement 18 zones centrales ayant pour objectif de conserver la diversité biologique, de surveiller les écosystèmes les moins perturbés et de mener la recherche scientifique. Notre étude s'est fixée comme objectif, d'évaluer l'effet de la mise en réserve des forêts d'arganier (RBA) sur le potentiel du stockage du carbone dans les différents réservoirs (Biomasse aérienne, Nécromasse et Sol) dans la zone Nord de la RBA. Mais aussi, d'analyser la dynamique des occupations des sols dans la zone biogéographique du Haut Atlas en général et dans ses zones centrales en particulier. De ce fait, le travail a eu lieu dans deux sites Aghroud et Ain Asmama avec une stratification selon le zonage (centrales, tampons et transitions), et d'une manière aléatoire, nous avons pris 10 répétitions par strate soit 60 placettes au total. Grâce à les équations de biomasse nous avons pu estimer la biomasse aérienne (ligneuse et foliaire) et par conséquent le stock de carbone aérien. La conversion de la masse sèche nous a permis d'estimer le stock du carbone dans la litière et le bois mort. Finalement, 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'étude de l'effet de la mise en réserve sur la séquestration du carbone montre que :

- Le sol est le principal réservoir du carbone organique dans chaque zone, variant de 24 à 84 tC/ha. En effet, le sol détient environ 93 % du stock total du carbone organique dans ces écosystèmes. Le stock le plus élevé est constaté dans la zone centrale d'Aghroud (84,85 tC/ha) ;

- La biomasse aérienne constitue le deuxième réservoir du carbone (4,59 % du carbone total) variant de 1,56 à 3,65 tC/ha, la contribution de la biomasse ligneuse dans le stock du carbone aérien est de 97 %, tandis que la biomasse foliaire contribue avec 3% à ce stock du carbone. Cette faible contribution peut être expliquée par la pression exercée d'une manière continue par les usagers sur cet espace depuis très longtemps, et par la chute du feuillage sous l'influence des conditions climatiques (sécheresse) ;

- La biomasse souterraine (racines) constitue le troisième réservoir du carbone (0,91% du carbone total), elle varie de 0,31 à 0,73 tC/ha dans la strate arborée ;

-La nécromasse vient en dernier lieu (0, 69% du carbone total), variant de 0,51 à 1,16 tC/ha, la litière contient entre 0,07 et 0,39 tC/ha du carbone organique, avec une contribution de 68 % au stock total de nécromasse. Quant au bois mort, il stocke 0,11 à 0,17 tC/ha, et contribue avec 32 %. Ces valeurs peuvent être expliquées aussi par la pression à laquelle l'écosystème est soumis, y compris le surpâturage et la collecte du bois mort (branches) et du bois de feu par la population locale, plus particulièrement dans le site Ain Asmama.

Il ressort aussi des résultats de la présente étude, que la différence n'est pas significative entre les trois zones: centrale, tampon et transition, dans le site Ain Asmama, le parcours intensif et la pression anthropique ont affecté significativement le stock du carbone. Cependant, elle est significative dans le site Aghroud entre les trois strates (centrale, tampon et transition). Donc, le zonage a un effet sur le stock du carbone, la zone centrale de ce site est bien conservée, avec le stock le plus élevé du carbone total (87,77 tC/ha).

Dans un second lieu, ce travail a étudié la dynamique des occupations des sols des zones centrales Ain Asmama et Aghroud entre 1998 et 2021. La classification supervisée (à l'aide du Google Earth Engine) a permis de distinguer les classes : Habitat, Forêt, Parcours, et Terrain peu productif. L'analyse diachronique a permis de mettre en évidence les différents changements en matière d'occupations du sol. Au niveau d'Ain Asmama, la forêt a connu une dynamique régressive très importante en faveur des terrains de parcours et l'habitation à cause du surpâturage en particulier et de la pression anthropique en général (prélèvements, construction d'habitats à l'intérieur de la zone). Au niveau de la zone centrale Aghroud la forêt a connu une légère perte de sa superficie en faveur des terrains peu productifs ce qui la rend conservée par rapport à la zone Ain Asmama.

Dans le contexte du changement climatique, les forêts méditerranéennes sont considérées comme vulnérables au risque de perte de la biodiversité et de la diminution de la fonction de la séquestration du carbone. Dans ce contexte et en tenant compte des résultats de cette étude et dans le but d'améliorer la capacité de stockage de carbone dans ces écosystèmes, il est nécessaire d'encourager des stratégies de gestion favorisant la restauration des peuplements naturels. A cette fin, nous proposons, l'intensification des programmes de régénération à base de l'arganier tout en augmentant sa densités par plantation artificielle au sein des peuplements clairiérés et clairsemés afin de contribuer à la diminution des taux de GES dans l'atmosphère par absorption du CO₂.

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

- L'adoption d'une approche participative pour aboutir à un consensus entre les nomades, les usagers et la population sédentaire dans les zones centrales ;
- Prendre en considération de la composante « Séquestration de carbone » dans le cadre des propositions d'aménagement futures ;
- Compléter l'estimation du stock de carbone dans le reste des zones centrales de la RBA.
- Mener d'autres études comparatives portant sur la biodiversité dans des zones centrales tampons et transitions, ainsi que des études sur la dynamique paysagère ;
- Faire le suivi de la biomasse et des stocks du carbone forestier, en intégrant l'ensemble des réservoirs du carbone. Ce suivi permettra de calculer le bilan carbone au fur et à mesure des années d'observation et de mesure ;
- Estimer le stock de carbone dans d'autres écosystèmes forestiers marocains (sapinière, tetracinaie et essences introduites,...).

Références bibliographiques

- Aafi A. (2015).** Les ressources naturelles face aux changements climatiques. Mars 2015. Tanger. Maroc.
- 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.
- Adams, A.E., Ager, D.V., et Harding, A.G., 1980** - Géologie de la région d'Imouzer des Ida-Ou-Tanane (Haut Atlas occidental). *Notes et M. Serv. Géol. Maroc*, T.41,n° 285, pp 59-80.
- Ambroggi R., 1963.** Etude géologique du versant méridional du Haut Atlas occidental et de la plaine du Souss. Notes et Mémoires. Serv. géol. Maroc, 157, 322 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.
- Aziki S., 2006.** Eléments pour un débat autour de la réserve de biosphère arganeraie : Essai de synthèse. Réseau des associations de la réserve de biosphère arganeraie, 51 p.
- Badri W., 2003.** Structure, Dynamique et Fonctionnement des peuplements à Genévrier thurifère dans les Atlas marocains. Docteur d'État Es-Sciences, Université Hassan II de Casablanca, Maroc, 274 p.
- Batjes N.H. (1996).** Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*. 47: 151-163.
- Belghazi B., 1990.** Etude de l'écologie et la productivité du pin maritime (*Pinus pinaster* var. *Maghrebiana*) en peuplements 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 de Doctorat, Université Catholique de Louvain (UCL), Belgique.
- Bellefontaine R., 2010.** De la domestication à l'amélioration végétale de l'arganier (*Argania spinosa*), *Revue Sécheresse*, 21 (1) : 42-53 p, Montpellier, France.
- Benabid, A., 1976.** Etude écologique, phytosociologique et sylvopastorale de la tetracinaie d'Amsittène. Thèse de 3ème cycle, Univ. Aix-Marseille III, 155p.
- Benckroun et Buttoud, 1989.** L' arganeraie dans l' économie rurale du sud-ouest marocain. 2,1989, forêt méditerranéenne, Vol. XI. 10 p.
- Bendaanoun M., 1991.** Etude écologique de la végétation halophile, halohygrophile et hygrophile des estuaires, lagunes, deltas, Sebkhass du littoral atlantique et méditerranéen du Maroc. Analyses climatique, pédologique et chimique, phytoécologique, phytogéographique et phytosociologique. Perspectives de gestion, d'aménagement et de développement. Thèse de Doctorat d'Etat ES-580.

- Benzyane M. et Khatouri M., 1991.** Estimation de la biomasse des Peuplements d'arganier (*argania-spinosa* (L.).*skeels*) dans le plateau de Haha (Essaouirra-maroc). *Ann. Rech. For. Maroc*(25), 128-140 pp.
- Bernoux M., Chevallier T. (2013).** Le carbone dans les sols des zones sèches. Des fonctions multiples indispensables. Les dossiers thématiques du Comité Scientifique Français de la Désertification, N°10. CSFD/Agropolis International. Montpellier. France.
- Boulmane M., Halim M., Khia A., Oubrahim H., Abbassi H. et Amrani A., 2013.** Biomasse, minéralomasse et éléments nutritifs retournant au sol dans le *Quercus Ilex* du Moyen Atlas Central Marocain. *Nature et Technologie*. 41-53 pp.
- Boulmane M. Makhoulfi M., Bouillet J., Saint-André L., Satrani B., Halim M. & Elantry-Tazi S., 2013.** Estimation du stock de carbone organique dans la chênaie verte du Moyen Atlas marocain, *Acta Botanica Gallica*, (<https://www.tandfonline.com/loi/tabg20>).
- Bourque P.A., 2004.** Dynamique externe de la terre. (en ligne) sur http://www.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/into.pt/planete_terre.html.
- Chakraoui O., 2020.** Contribution à l'évaluation des effets des transformations des écosystèmes naturels de la Maâmora sur les stocks de carbone organique, Mémoire de 3ème cycle, ENFI, Salé, 138 p.
- Ciesla W. M. (1997).** Le changement climatique, les forêts et l'aménagement forestier. Rome, FAO, Etude FAO Forêt n° 126. 139p
- C.N.I. (2001).** Communication National Initiale à la CCNUCC. Royaume du Maroc. 101p.
- Combe, M., 1977.** Ressources en eau du Maroc Tome 3 : Domaine Atlasique et Sud Atlasique. *Notes et M. Serv. Géol. Maroc*, n°231, pp 85-99.
- Daget, P., 1984** – Introduction à une théorie générale de la méditerranéité. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 131, *Actual. Bot.*, (2 /3/4), 31-36.
- Delannoy, H., 1988** - Précipitations saisonnières du Maroc cisatlasique et téléconnection dans la circulation atmosphérique. *Bull. Assoc. Géogr. Franç.* Paris, 5,393-406.
- DREFLCD-SO (2020).** Evaluation décennale de la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie 2008-2017 et l'élaboration du nouveau Plan d'Action 2018 – 2027.
- DREFLCD-SO (2016).** Etude pour l'Elaboration d'un Plan d'Aménagement et de Gestion Concerté du Site Tamri Cap Ghir, Préfecture d'Agadir Ida Outanane,
- DREFLCD-SO (2015).** Etude d'aménagement de la forêt d'Ida Ouzal. Volume1 : Procès-Verbal d'aménagement.
- DREFLCD-SO (2002).** Etude d'aménagement de la forêt d'Ain Tamaloukt. Volume 1: Procès-verbal d'aménagement.
- Eglin T. (2005).** Impact de l'hydromorphie et la topographie sur la variabilité spatiale des stocks de carbone en forêt de Fougères (Ille-et-Vilaine). Thèse Institut National Agronomique. Paris-Grignon-France. 50p.

- El Fasskaoui B., 2009.** Fonctions, défis et enjeux de la gestion et du développement durable dans la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie (Maroc).
- El Mderssa M., 2019.** Evaluation de la capacité de stockage de carbone dans différentes écosystèmes (sol et biomasse) forestiers du Moyens Atlas Central Thèse de doctorat, université Moulay Ismail, Meknès, 98-125.
- Emberger, L., 1930.** La végétation de la région méditerranéenne, essai d'une classification des groupements végétaux. *Revue gén. Bot.*, 42 :641-662 et 705-721.
- Emberger. L. (1939).** Aperçu général sur la végétation du Maroc. Edition Hans Huber Berne.
- Emberger. L. (1955).** Une classification biogéographique des climats. Recueil, travaux de laboratoire géolo-zoologique, Faculté des sciences. Service botanique, Montpellier, 7, pp : 3-43.
- Evrendilek F., Celik I., Kilic S., 2004.** Changes in soil organic carbon and other physical soil properties along adjacent Mediterranean forest, grassland, and cropland ecosystems in Turkey. *J. Arid. Environ.* 59(4), 743–752.
- FAO (2005).** Situation des forêts du monde : Gestion, conservation et valorisation des forêts
- FAO (2013).** Etat des forêts méditerranéennes 2013. 205 pp.
- GIEC (2007).** Changements climatiques : Bilan des changements climatiques : Rapport de synthèse. Publié à l'intention des décideurs. 114 p.
- GIEC (2014)** - 5ème rapport du GIEC sur les changements climatiques et leurs évolutions Futures. Partie 2 : Impact, adaptation et vulnérabilité. Partie 3 : atténuation des changements climatiques.
- GIZ (2013).** Adaptation au Changement climatique basée sur les Écosystèmes forestiers. Semaine forestière méditerranéenne (III SFM), du 17 au 21 mars, Tlemcen, Algérie.
- Godron M., 1976.** Les échantillonnages phytoécologiques. Note n° 8, CNRS- CEPE Louis Emberger, 23 p.
- Godron M., 1971.** Essai sur une approche probabiliste de l'écologie des végétaux. Thèse Doct. ès Sc. Nat., USTL, Montpellier, 247 p.
- 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.
- Haloui B., 1992.** Phytomasse, minéralomasse et productivité des principaux écosystèmes forestiers du Maroc oriental. Actes des Premières Journées de l'Arbre, Fac. Sci. Semlalia,: 91-93 pp.
- Haut-Commissariat au plan (HCP) (2014).** Résultat du Recensement général de la population.([http ://www.hcp.ma/downloads/RGPH_2014_t17441.html](http://www.hcp.ma/downloads/RGPH_2014_t17441.html))
- Hounzandji Paul-Igor Ablo, 2008.** Effet des transformations des écosystèmes naturels (cedrus atlantica, quercus rotundifolia) sur la séquestration du carbone dans le Moyen (Foret d'Azrou) .Mémoire de 3ème cycle, ENFI, Salé, Maroc.

- I.F.N., 1999.** Inventaire Forestier National marocain. Rapport de synthèse, Direction de développement forestier, Rabat, 45 p.
- IPCC. (2001).** Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Joffre R., Ourcival J.M. et Rambal S. (2010).** Bilan de carbone des écosystèmes forestiers méditerranéens. Equipe DREAM. CEFE-CNRS. 42p
- Kozlowski T.T., Kramer P.J. et Pallardy S.G. (1991).** The Physiological Ecology of Woody Plants. San Diego. California. Academic Press. inc. 657p
- Krichi H., 2017.**Gouvernance locale et résilience : Cas de l'arganeraie au Maroc.
- Liski J., et Westman C.J., 1997.** Carbon storage in forest soil of Finland. 1. Effect of thermoclimate. Biogeochemistry 36. pp239-260.
- Mahamane I., 2006.** Etude de l'impact des transformations des écosystèmes forestiers sur le stockage de carbone dans la biomasse et dans le sol (cas du BV du bouregreg; région d'oulmès). Mémoire de 3ème cycle, ENFI, Salé, Maroc.
- Makhloufi M., 1992.** Approche méthodologique pour évaluer la phytomasse des taillis de chêne vert dans le Moyen Atlas central (Forêt de Jbel Aoua). Mémoire de 3ème cycle, ENFI, Salé, Maroc, 97 p.
- 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.
- M.M.E.M.E.E.E. (2014).** Ministère délégué auprès du Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Environnement. Politique du Changement Climatique au Maroc. 40p.
- MacDicken K. 1997.** A guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Forest Carbon Monitoring Program. Winrock International Institute for Agricultural Development, 92 p.
- Mcghee et al. (2016).** Méthodes de calcul de la biomasse et du carbone des arbres en Afrique de l'ouest. Annales des Sciences Agronomiques 20 - spécial Projet Undesert-UE, pp : 79-98.
- Naggar M., 2018.** La gestion durable de l'arganeraie et les enjeux de lutte contre la désertification, 84 p.
- Oubrahim H., 2015.** Estimation et cartographie du stock de carbone dans l'écosystème de quercus suber de la Mamora occidentale (cantons a et b) et estimation de son stock d'éléments nutritifs. Thèse de doctorat, Université Mohammed v, faculté des sciences, Rabat.
- 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.

- Oukemmou Y., 2020.** Contribution à l'évaluation de la dynamique des occupations des terres dans les zones centrales de la réserve de biosphère arganaie (RBA). Mémoire de 3ème cycle, ENFI, Salé, Maroc, pp : 80-100.
- Ouswati Said Ali, 2016.** Estimation de la biomasse et de la quantité de carbone dans un jeune peuplement d'Arganier dans la commune rurale d'Imgrad (Province d'Essaouira). Mémoire de fin d'étude, Faculté des Sciences Semlalia, pp : 26-30.
- Ozenda P., 1982.** Les végétaux de la biosphère. Ed. Doin, Paris, 430 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 classées 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.
- Peltier, J.P., 1982.** La végétation du bassin versant de l'oued Souss (Maroc). Thèse Doct. *Es sciences, Univ. Scient. Méd. Grenoble.*
- PNLCRC. (2009).** Plan National de lutte contre le Réchauffement Climatique- DEPP/SEEE.
- PNUD-FEM. (2000).** Etudes de vulnérabilité de trois pays du Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie) face aux changements climatiques réalisées dans le cadre du projet PNUDFEM RAB94G31 : 2000–2001.
- Quenea K., 2004.** Etude structurale et dynamique des fractions lipidiques et organique réfractaires de sols d'une chronoséquence forêt/Mais (CESTAS, Sud ouest de la France). Thèse de doctorat, Université Paris VI, France. p191.
- Regragui A., 1999.** Prédiction de la phytomasse aérienne des taillis de chêne vert du massif forestier d'El Ayat (Maroc Oriental). Actes Inst. Agro. Vet. Hassan II (Maroc), Vol. 19 (4) : 211-217 p.
- Renaudat J. (2005).** Le cycle du carbone. Une clé pour l'environnement. Mémoire de fin de formation à la Haute Qualité Environnementale. Ecole d'Architecture de Lyon. 38p
- René H., Robert E., Claude L. (1998).** Physiologie végétale 1. Nutrition, 6ème édition de l'Abrégé DUNOD. Paris. 323 p
- 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, ENFI, Salé, Maroc.
- Robert M.D. (2002).** Contribution des écosystèmes continentaux à la séquestration du carbone. Comptes Rendus geosciences 355 (6 – 7), pp : 577 – 595.
- Roose E., 1991.** Conservation des sols en zones méditerranéennes. Synthèse et proposition d'une nouvelle stratégie de lutte antiérosive : la GCES. Cah. Orstom, sér. Pédol., Vol. XXVI, n° 2. Pp : 145-181.
- Sabir M., Sagno R., Tchintchin Q., Zaher H., Benjelloun H., 2020.** Evaluation des stocks de carbone organique dans les sols au Maroc, 71p.

- Salisbury F.B. et Ross C.W., 1978.** *Plant Physiology 2nd ed.*, Belmont, California, Wadsworth Publ. Co. 657p.
- Schlesinger W.H. (1997).** Biogeochemistry : An analysis of global change. 2ème édition. Academic Press. San Diego.
- T.C.N. (2014).** Troisième Communication Nationale à la CCNUCC. Inventaire national des gaz à effet de serre. Rapport provisoire.133p.
- Vesterdal L., Schmidt I.K., Callesen I., Nilsson L.O., Gundersen P. (2008).** Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species. *For. Ecol. Manage.* 255(1):35–48.
- Walkley A., et Black I.A. (1934).** An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), pp: 29-38.
- Yanai R.D., Levine C.R., Green M.B., Campbell J.L. (2012).** Quantifying uncertainty in forest nutrient budgets. *Journal of Forestry*. 110 (8): 448-456.
- Waring R.H. & Schlesinger W.H. (1985).** *Forest Ecosystems: Concepts and Management*. Academic Press. Orlando-Florida. 340p.
- Weisrock, L.E., 1980.** Géomorphologie et paléoenvironnement de l'Atlas atlantique (Maroc). Thèse d'état, Univ.de Paris I (Panthéon-Sorbone), t 1, 318 p.
- Zhang Q.Z., Wang C.K., Wang X.C et Quan X.K., 2009.** Carbon concentration variability of 10 Chinese temperate tree species. *Forest Ecology and Management*, 258 (5), 722-727 pp.

Annexes

Annexe 1: Fiche d'inventaire par placette et par zone

1. Mesures dendrométriques :

PLACETTE N° :		ZONE :				
Coordonnées :			X=		Y=	
Arbre n°	Régime	C 1,30 (cm)	H (m)	Nombre de brins/ cépée	Diamètres de la couronne	
					D1	D2

2. Mesures de la matière sèche dans la nécromasse

ZONE :			
Coordonnées :		X=	Y=
Strate	Poids frais (g)		Poids sec (g)
Litière			
Bois mort			

Annexe 2: mesure dendrométrique sur le terrain (hauteur)



Annexe 3:prélèvement de la densité apparente



Annexe 4: la pression anthropique dans le site Ain Asmama

