



Evaluation du stock de carbone de la partie aerienn e arbustive d'une association vegetale de la formation mixte de chene-liege et de pin maritime du nord-ouest de la Tunisie

Sayda Mbanna¹, Ali Khorchani¹, Foued Hasnaoui², Issam Touhami¹, Abdelmajid Hamrouni¹, Mohamed Tabar Elaieb¹

¹ University of Carthage. The National Research Institute of Rural Engineering, Water and Forestry. INRGREF. Laboratory of Management and Valorization of Forest Resources. Ariana. Tunisia,

² University of Jendouba. Institut Sylvo-Pastoral de Tabarke,

Résumé

L'estimation de la quantité de carbone stockée dans les forêts tunisiennes reste soumise à de larges incertitudes. Dans ce travail, nous tentons sous l'angle phytosociologique d'évaluer la quantité du carbone séquestré, de la partie aérienne arbustive d'une association végétale du maquis d'un matorral de la formation mixte de *Pinus Pinaster* et *Quercus Suber* caractérisant le nord-ouest de la Tunisie. Le prélèvement et le pesage des échantillons concernent tous les arbustes de l'association et de ses sous-unités. Le taux d'humidité et la densité de chaque espèce ont été mesurés sur des éprouvettes prélevées de la partie bois de chaque individu. La quantité totale moyenne de carbone séquestré est de l'ordre de 14260.28 kgC/ha. En moyenne la densité végétale arbustive était de 7936 pieds / ha. Sur la base de la méthode phytosociologie de Braun-Blanquet, vingt relevés floristiques ont été effectués dans trois parcelles, puis soumises à l'analyse factorielle des correspondances pour leur classification affine. Ils ont abouti à définir une association avec deux sous-associations, une variante et deux faciès, appartenant à la classe des *Quercetea ilicis*, ordre des *Pistacio-Rhamnetalia alaterni*.

Mots clés : carbone stockée, association végétale, chêne liège, pin

Evaluation of the carbon stock of the aboveground shrub part of a plant association in the mixed formation of cork oak and maritime pine in the northwest of Tunisia.

Abstract

Estimating the amount of carbon stored in Tunisian forests is still subject to considerable uncertainty. In this work, we attempt, from a phytosociological angle, to assess the quantity of carbon sequestered in the above-ground shrub part of a maquis plant association in a mixed *Pinus Pinaster* and *Quercus Suber* formation in north-western Tunisia. Samples were taken and weighed from all shrubs in the association and its sub-units. Moisture content and density of each species were measured on specimens taken from the wood part of each individual. The average total quantity of carbon sequestered was around 14260.28 kgC/ ha. The average shrub density was 7936 plants/ ha.

Key Words: stored carbon, plant association, cork oak, pine

¹ Corresponding author: Saydamhanna88@gmail.com

INTRODUCTION

Les formations ligneuses sont d'une grande importance dans la biophysique des écosystèmes méditerranéens à la fois pour leur importance dans la fonction et la dynamique des écosystèmes, et pour les grandes superficies des terres qu'elles couvrent. La diversité des conditions climatiques et écologiques du nord-ouest de la Tunisie ont fait un véritable carrefour floristique d'une diversité et d'une complexité incontestable. Sachant que les montagnes de Kroumirie sont composées d'un système complexe de paysage, ils constituent un potentiel important sur le plan de la biodiversité d'un écosystème naturel la question étant alors de développer les connaissances sur la syntaxonomie de la végétation de la Kroumirie, Néanmoins, la biomasse ou la phytomasse est une variable structurelle clé dans les recherches sur leur dynamique, En outre la définition et les caractéristiques des écosystèmes arbustifs sont légèrement plus complexes par rapport à la strate arborescente, quant à leur définition, leur physiologie et aussi leur classification écologique (Di Castri et al. 1981).

La densité de la biomasse arbustive varie considérablement en raison des conditions climatiques, édaphiques et topographiques, ainsi qu'avec l'histoire de l'utilisation des terres et des perturbations humaines, Bien que les estimations de la biomasse forestière soient indispensables pour évaluer les flux de carbone, la connaissance de la biomasse ou le réservoir de carbone dans les écosystèmes arbustifs méditerranéens, particulièrement en Tunisie, reste encore insuffisante malgré les travaux remarquables déjà réalisés localement voire ailleurs en méditerranée (B.Stiti et al.2012 ; S.Leonardi 2005 ; H.Saoudi, 1983). Notre travail consiste à évaluer par unité de surface, la phytomasse et le stock de carbone des arbustes faisant partie des espèces d'une association végétale d'un matorral issu par dégradation d'une forêt mixte de chêne liège et de pin maritime en Kroumirie Nord-occidentale.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Zone d'étude et leur Situation géographique et pédologique

La zone d'étude est située sur la côte nord de la Tunisie, à une courte distance de la frontière avec l'Algérie dans la forêt de Melloula appartenant à la région de Tabarka, plus exactement les parcelles n°31 et 34 de la 4^{ème} série faisant partie du triage d'Ain Baccouche.

2.2. Caractéristique Orographique

Deux chaînons principaux, parallèles orientés SSO-NNE, occupent la série, séparés par la vallée de Ain Baccouche (20 m d'altitude), dont le premier culmine à 335m et le second à 386m.

2.3. Climat

Le climat de Tabarka est Méditerranéen, avec des hivers doux et pluvieux et des étés chauds et ensoleillés. La moyenne annuelle pluviométrique à Tabarka, station de référence est de 1010 mm. Occasionnellement il peut neiger sur les collines avoisinantes. La température moyenne annuelle du mois le plus froid (janvier= 11,1 °C), celle du mois le plus chaud (juillet= 26,6°C).

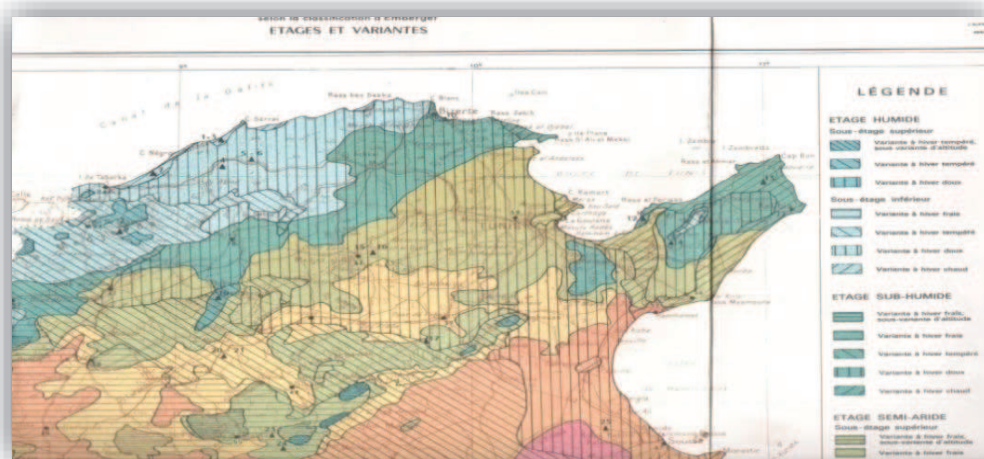


Figure 1 : Carte Bioclimatique De La Tunisie

2.4. Méthodologie

Après une appréciation qualitative visuelle de la végétation arbustive à l'intérieur de la forêt de Melloula, trois stations à maquis (dense, moyennement dense, peu dense). Ont été retenue.

Des relevés phytosociologique et une placette de détermination de la biomasse ont été effectués dans chaque station.

Dans chaque placette, deux transects perpendiculaires de 50 m de long ont été installés et divisés en 50 unités par transect (Navarro Cerrillo & Blanco Oyonarte, 2006 ; Stiti et al. 2012). Pour chaque unité (1 m de long), la distance entre l'origine de l'unité et l'arbuste i a été mesurée (di, m).

La densité végétale (toutes espèces confondues) par unité de surface, D, a été calculée selon la formule suivante :

$$De = SF / (\delta + \bar{d})^2$$

Où SF est la surface estimée (10000m²), di la distance moyenne entre les plantes individuelles et points à l'origine, et & un facteur de correction dépendant de la méthode particulière utilisée et égal à 2, Pour le cas de la méthode individuelle la plus proche (Wharton et Griffith, 1993).

La densité de chaque espèce i (Despi) a été calculé en multipliant la densité des plantes (De) par le recouvrement des espèces. Vingt échantillons de chaque espèce à ont été coupé au ras du sol et séchés dans une étuve en 103 °c pendant 72 h jusqu'à poids constant, La masse sèche moyenne de chaque individu a été calculée selon la formule suivante :

$$MS_{moy}(kg/i) = \frac{MF_{moy}}{(H_{moy} + 1)}$$

Pour calculer la masse végétale moyenne de la partie aérienne de l'espèce, la masse sèche de chaque individu a été multiplié par leur densité de son bois. Les stocks du carbone des ligneux (C) sont liés à la phytomasse sèche, Ils sont estimés par la relation décrite par (Tsoumou et al, 2016) En multipliant par 0,5.

Notre approche phytosociologique est basée sur celle de Braun-Blanquet. Elle repose sur la relevée phytosociologique effectuée sur le terrain et leur classement par l'analyse factorielle des correspondances. On utilise le logiciel « SPSS 29 » Le résultat final et donnée par le tableau n°1 en annexe.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

La phytomasse sèche moyenne (kg/ha) et la quantité de carbone stocké moyenne (kg/ha) des espèces de la strate arbustive apparaisse comme suit :

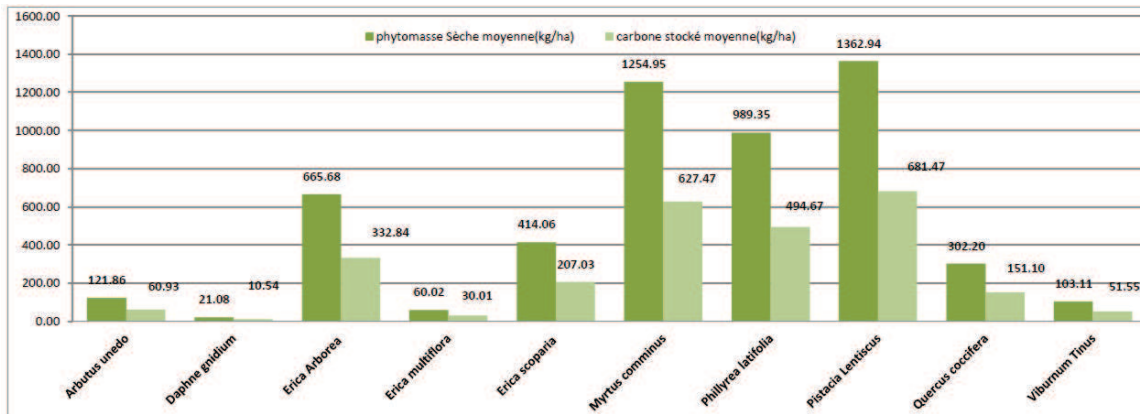


Figure 2 : La phytomasse sèche/ le carbone stocké moyenne de la partie aérienne du chaque espèce kg/ha/placette 1.

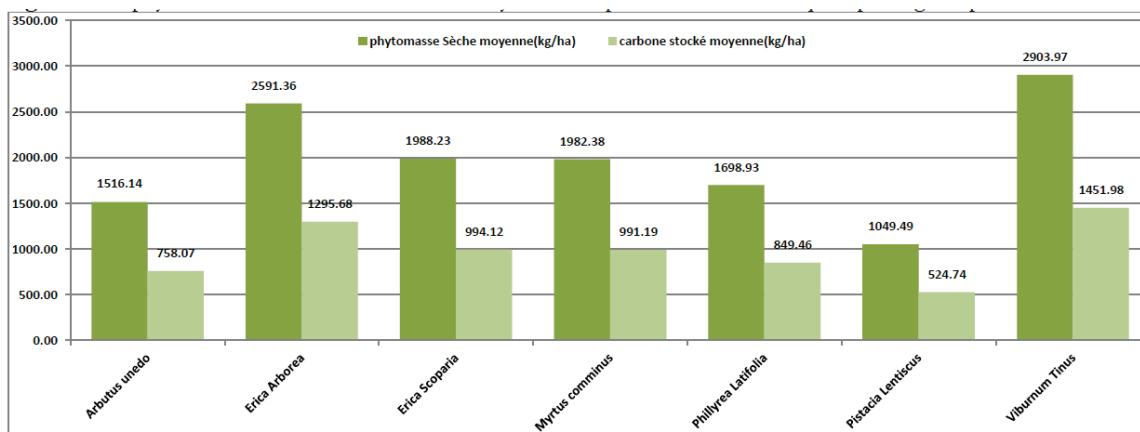


Figure 3 : La phytomasse sèche/ le carbone stockée moyenne de la partie aérienne du chaque espèce kg/ha/placette 2.

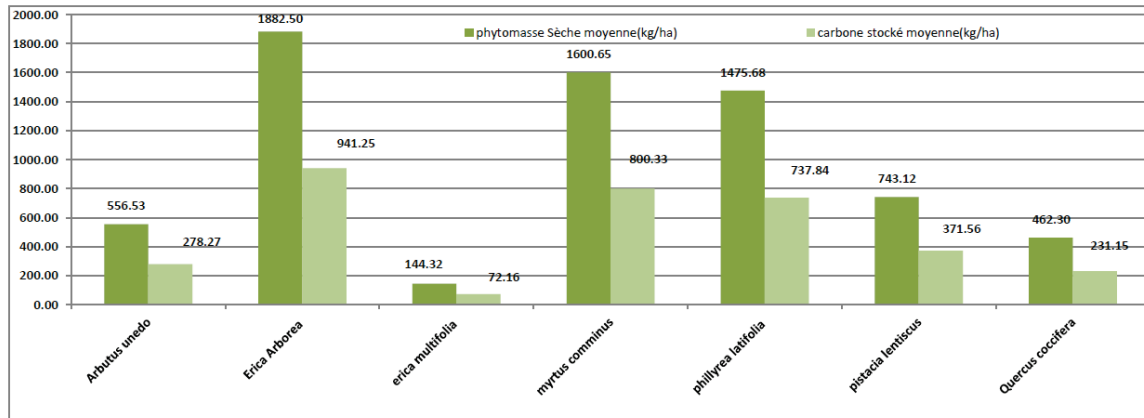


Figure 4 : la phytomasse sèche/ le carbone stockée moyenne de la partie aérienne du chaque espèce kg/ha/placette 3.

La phytomasse moyenne pour chaque espèce varie de 21,08 kg/ha à 1362,94 kg/ha Pour la première placette, 1049,49 kg/ha à 2903,97 kg/ha pour la seconde placette et entre 144,32 kg/ha et 1882,50 kg/ha pour la troisième.

La quantité de carbone stocké varie selon les espèces de 10.54 kg/ha à 681.47 kg/ha pour la première placette, 524.74 kg/ha à 1451.98 kg/ha pour la seconde et 72.16 kg/ha à 941.25 kg/ha de carbone stocké pour la troisième.

Les investigations du terrain et les analyses du laboratoire, nous ont permis de constater que la matière sèche des divers arbustes méditerranéens varie d'une espèce à l'autre vue de sa diversité végétale spécifique.

En s'appuyant sur 2 critères phytosociologique selon l'école de Braun-Blanquet (aire minimale et échelle d'abondance-dominance), Saoudi (1983) pour toutes les strates, El Hamrouni (1992) pour la strate arbustive, ont été intéressées en Kroumirie par la détermination de la biomasse pour d'autres objectifs, la séquestration du carbone n'était pas encore alors prise en compte. Les moyennes des résultats de la biomasse aérienne arbustive obtenues par Saoudi sont de 25T/ha de matière verte et 13T/ha de matière sèche.

Les résultats de l'analyse factorielle de la correspondance à laquelle étaient soumis les 20 relevés réalisés dans les trois stations choisies, sont l'objet du tableau n° 1 suivant :

Tableau 1: valeurs propre et pourcentages d'inertie des premiers axes factoriels.

AXES	Valeurs propres	% d'inertie	% d'inertie cumulés
1	12,001	60,007	60,007
2	2,544	12,719	72,726
3	1,698	8,488	81,214

L'examen de ce tableau montre que le nuage de points relevés est bien structuré le long de l'axe 1, à valeur propre fortement supérieure à celles des deux autres. La faible valeur de l'axe 3 nous conduit à ne considérer dans notre analyse que le plan factoriel (1x2).

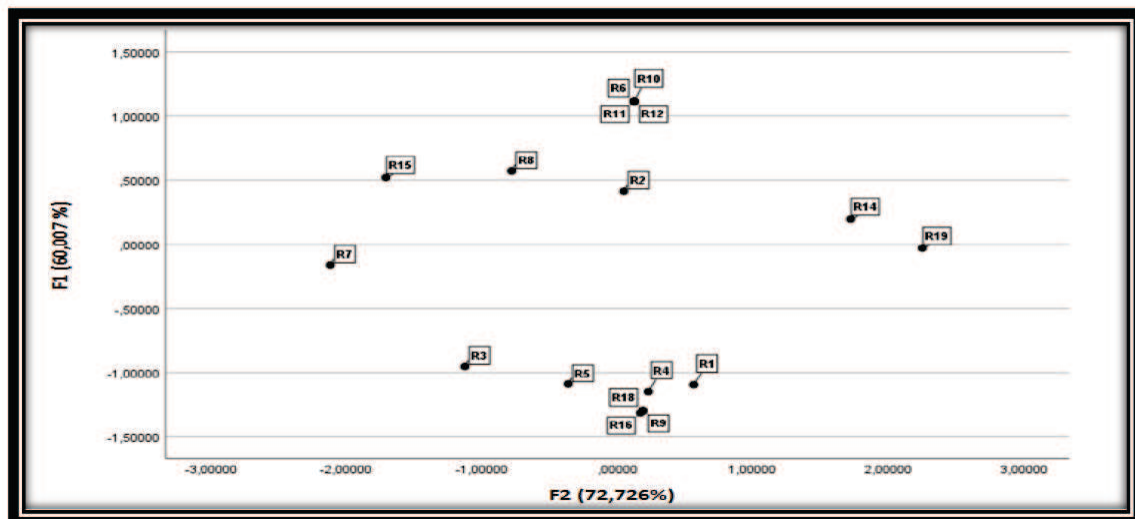


Figure 5 : Analyse globale : carte des relevés dans le plan factoriel 1-2

La signification écologique des axes peut être obtenue par l'intermédiaire des relevés qui ont une forte contribution relative à chacun des axes : plus celle-ci est élevée, plus ce relevé participe à la définition de l'axe. Notons qu'aux relevés à forte contribution relative correspondent des conditions stationnelles privilégiées.

Parmi les 20 relevés représentés, ceux numérotés (R9,R10,R11,R12,R13,R14,R16) se trouvant dans la partie négative de l'axe 1 sont sur sol calcaire, ceux portant les numéros (R8,R15,R17,R19,R20) situés dans sa partie positive sont sur flysch numidien. L'ensemble de ces relevés à forte contribution donnent une signification édaphique à cet axe.

D'un autre côté les relevés (R8,R10,R11,R12,R13,R14,R15,R20) se rapportant également à la partie positive de l'axe 2 et les relevés (R9,R16,R19) à sa partie négative, où le chêne-liège et le viorne laurier-tin qui supportent une fraîcheur relative auxquels s'ajoute l'arbusier et la bruyère multifleurs plutôt méso-thermes donnent à cet axe une signification climatique. Ceci montre que certains de nos relevés recèlent des espèces supportant une variante hivernale relativement fraîche (*Viburnum tinus*, *Quercus suber*, *Pistacia lentiscus*, *Erica multiflora*) à chaude (*Quercus coccifera*, *Arbutus unedo*), c'est-à-dire entre la moyenne minimale du mois le plus froid de 3°C à Aïn Drahem et celle de 11,1°C à Tabarka.

Le classement des relevés en présence/absence a donné un tableau mettant en évidence une association à la quelle se rattachent deux sous-associations, une variante et deux faciès.

L'association est par deux espèces ; *Quercus coccifera* et *Viburnum tinus*, qui permettent de lui donner le nom de *Viburno (tini)-Quercetum cocciferae*.

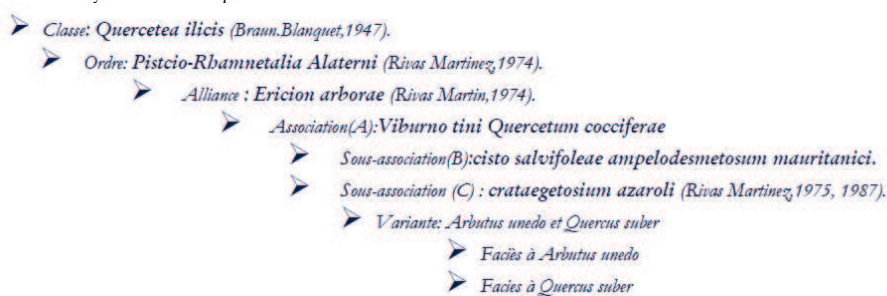
A cette association se rattachent deux sous-associations. Dans ce qui suit, nous désignons l'association par A la première sous-association par B et la seconde par C.

- La sous-association (B) ou *Cisto salvifoliae ampelodesmetosum mauritanici* est constituée par les relevés (R4, R18, R16, R3, R1, R15, R17, R9, R2). Elle est différenciée par *Cistus salvifolius*, arbrisseau méditerranéen, sur sol siliceux et par *Ampelodesmos mauritanicum*, espèce de la méditerranée occidentale, liée aux marnes, qui se retrouve aussi en Libye et en Dalmatie. Le relevé type de l'association(A) et de la sous-association (B) est le R2.

- La sous-association (C) ou *crataegetosum azaroli*, formée par les relevés R5 et R14, reliés par la différentielle *Crataegus azarolus*. Le relevé type de cette sous-association c'est le R14.

Par ailleurs, *Arbutus unedo*, *Phillyrea latifolia*, *Pistacia lentiscus*, *Smilax aspera* et *Teucrium fruticans*, parmi les caractéristiques de la classe.

Myrtus communis, *Daphne gnidium*, parmi celles de l'ordre et *Erica arborea* parmi celles de l'alliance, nous permettent de classer nos unités dans le schéma syntaxonomiques suivant:



L'affinité des relevés est telle qu'apparaissent au niveau de l'association, comme cité précédemment, une variante et deux faciès. La variante est représentée par les deux espèces *Arbutus unedo* et *Quercus suber* qui contribuent à la réunion des relevés (R15, R17, R9, R2, R19, R6, R7, R12 et R13) occupant le centre du tableau phytosociologique.

Le premier faciès donné par les 5 relevés affines (R4, R18, R16, R3, R1), situés dans la partie gauche du tableau est à Chêne-liège. Le second faciès ou faciès à Arbusier est fourni par les relevés (R10, R11, R20, R8, R5, R14). Cela indique que la phytocénose étudiée est une zone de transition entre la subéraie et la pinède maritime dont la physionomie est marquée par le Pin maritime, le Chêne-liège et l'arbusier.

Le faciès à *Quercus suber* montre qu'elle est encore sylvatiques, celui à *Arbutus unedo* indique une dynamique régressive la menant par dégradation au maquis à Ericacées de Debazac ou d'El Afsa, déjà cités.

Quel que soit le faciès, avec ou sans *Arbutus unedo*, la formation qui nous intéresse, avec une strate arbustive où abondent les espèces du sous-bois (bruyères, myrte et arbusier), et une strate arborée peu fournie, n'est qu'un matorral assez bas, très dense mais faiblement arboré.

Selon les données de la station météorologique de Tabarka (P = 1010 mm, T° = 26,6 °C du mois le plus chaud) et les unités dégagées se trouveraient concernées par l'ambiance humide à variante chaude.

Du point de vue écologique, bien que la présence d'*Erica scoparia* et *Genista ulicina* indique déjà un lessivage, celle de *Viburnum tinus*, *Myrtus communis*, *Rubus ulmifolius* et *Smilax aspera* montre que le groupement décrit se développe sur un sol riche en humus. En ambiance humide inférieure, la notice de la carte phytoécologique de la Tunisie septentrionale (feuille III) ne mentionne dans la série du Pin maritime qu'un seul groupement, celui à *Pinus pinaster* subsp. *Renouii*, *Erica arborea*, *Halimium halimifolium*. A caractère édaphique psammophile, ce dernier taxon ne poussant pas dans notre zone d'étude ne figure donc pas dans nos relevés. Notre association ne lui ressemble pas à ce groupement.

Toute fois, dans le même bioclimat, Shenonberger ; floret ; solaire 1967 ; décrivent un groupement sur sol fraie et profond, le groupement à *Quercus suber*, *Pistacia*, et *Viburnum tinus*, procèdent un faciès à *Viburnum tinus* avec *smilax aspera*, *Myrtus communis*, *rubus ulmifolius* espèces figurant dans la liste de notre tableau phytosociologique.

Cependant compte tenu du fait que les caractéristiques de l'association sont *Viburnum tinus*, espèce aimant la fraîcheur et *Erica multiflora* plutôt thermophile, se retrouvant toutes deux dans une zone de transition, soit donc à plus ou moins 400 mètres

d'altitude, les unités que nous avons identifiées se rapprochent par la première espèce à la subéraie fraîche et par la seconde à la subéraie chaudes indiquées par les deux sous-associations avec ou sans Myrte, *Arbutus unedo* El Afsa(1978) rattache au *Cytisotriflori-Quercetum suberis*.

Commune à la série du Chêne-liège et à celle du Pin maritime, l'association décrite est entre les variantes hivernales douce et fraîche et à cheval entre les étages de végétation thermo méditerranéen et méso méditerranéen d'Ozenda (1975).

En s'appuyant sur 2 critères, l'un dendrométrique (hauteur), l'autre phytosociologiques (abondance-dominance) selon l'école de Braun-Blanquet, Saoudi (1983) travaillant en Kroumirie a établi trois tarifs de biomasse moyenne sut pied, en prenant en compte soit la hauteur, soit l'abondance-dominance, soit les deux à la fois.

La hauteur moyenne entre deux et quatre mètres (4-7m) et la biomasse verte moyenne de 14100T/ha de nos arbustes, La comparaison de nos résultats à ceux du troisième tarif de biomasse de Saoudi (donné ci-dessous) les place pour la même hauteur dans la colonne de l'indice 2 d'abondance-dominance

Ainsi en utilisant la hauteur moyenne des strates dans une formation forestière et les classes d'abondance -dominance de ses espèces, il est possible de déterminer sa biomasse fraîche sans procéder à des prélèvements.

Abondance-dominance	+	1	2	3	4	5
Hauteur						
0-25 cm	1	1,5	2,5	6		
25 cm-50 cm	1,1	1,7	3,3	7		
50 cm-1m	1,3	1,9	4	10,8		
1 m-2 m		2,8	7,6	20	16	
2m-4m		4,7	9,2	25	30	
4m-7m			13		40	
7m-11m						
Sup. à 11m						

4. CONCLUSION

En conclusion, cette étude phytosociologique visant à évaluer la quantité de carbone séquestré dans la partie aérienne arbustive d'une association végétale du maquis d'un matorrail de la formation mixte de *Pinus Pinaster* et *Quercus Suber* dans le nord-ouest de la Tunisie a permis d'obtenir des résultats significatifs

Les prélèvements et mesures effectués sur l'ensemble des arbustes de l'association et de ses sous-unités ont conduit à une estimation moyenne de 14260.28 kgC/ha de carbone séquestré. La démarche phytosociologique, soutenue par vingt relevés floristiques et une analyse factorielle des correspondances, a permis de classifier l'association en question, identifiant deux sous-associations, une variante et deux faciès appartenant à la classe des *Quercetea ilicis*, ordre des *Pistacio-Rhanetalea alaterni*.

Ces résultats contribuent à une meilleure compréhension de la capacité de séquestration de carbone des écosystèmes forestiers tunisiens, tout en soulignant l'importance de méthodologies phytosociologiques dans l'évaluation précise de la biomasse végétale et du carbone stocké. Cette approche offre ainsi des perspectives utiles pour la gestion durable des ressources forestières et la prise de décisions éclairées en matière de conservation de la biodiversité et de lutte contre le changement climatique.

Références

- Boutheina Stiti, Yaussra Mannai, Abdelhamid Khaldi, Belgacem Henchi, 2012, Richesse Spécifique Et Distribution Spatiale De La Strate Arbustive De La Subéraie De Ain Snoussi Tunisie.
- Boutheina Stiti, Yaussra Mannai, Abdelhamid Khaldi, Belgacem Henchi, 2012, Richesse spécifique et distribution spatiale de la strate arbustive de la subéraie d'AinSnoussi, Tunisie.
- Braun-blancquet, G, 1947, les groupements végétaux supérieurs de la France. In : J. Braun-blancquet, L. Emberger et T. Molinier(eds). Instructions pour l'établissement de la carte des groupements végétaux C.N.R.S., Montpellier.
- Chaabane Abdilaziz, 1993, Etude De La Végétation Du Littoral Septentrional De Tunisie; Typologie, Syntaxonomie Et Eléments D'aménagement
- Coomes, David A. et al. 2017. « Area-Based vs Tree-Centric Approaches to Mapping Forest Carbon in Southeast Asian Forests from Airborne Laser Scanning Data ». *Remote Sensing of Environment*.
- Debazac, 1959, La Végétation Forêtier De La Kroumirie Annales De L'école Nationale Des Eaux Et Forêts.
- Di Castri, M Hadley, J Damlamian –Ambio, 1981, The Man and The Biosphere Program As An Evolving System.
- El Afsa M., 1978. *Écologie, phytosociologie, régénération et production des subéraiestunisiennes*. Fac. Sci et Tech. St Jérôme. Aix Marseille-III,(Thèse de Doctorat 3ème cycle),pp 123.
- Jean-Marie Géhu, 2010, Le Centenaire D'une Science D'actualité, La Phytosociologie Moderne, Et Quelques Jalons Historiques De Son Développement .Le Journal De Botanique De La Société Botanique De France, 50:33-57.
- joseph Armathé Amougou, Lucas Dominique Bembong Ebokona, Romain Armand Soleil Batha, Armand William Mala, Hortense Ngono, 2016, Estimation Du Stock De Carbone Dans Deux Unités De Terre En Zone De Savane Du Cameroun
- Navarro Cerrillo, Blanco Oyonarte, 2006, Estimation of Above-Ground Biomass InShrublandEcosystemsOf Southern Spain.
- Rivas Martinez, 1974, Ensayo sintaxonomico sobre la clase *Quercetea ilicis* Br-BI. 1947. *Anal. Inst.bot. cavanilles*, 31 : 205-259.
- Tsoumou, Lumandé, j. Kampé et Nzila, 2016, Estimation de la quantité de carbone séquestré par la Forêt Modèle de Dimonika (Sud-ouest de la République du Congo), *Revue Scientifique et Technique Forêt & Environnement du Bassin du Congo*, 6,pp. 39-4
- Wharton and Griffith, 1993, Methods To Estimate Total Forest Biomass For Extensive Inventories: Applications In The North eastern U.S.U.S.D.A. Forest Service Research Paper NE-681. 161 Pp