

Élaboration de modèles allométriques d'*Acacia Sénégal* L. Willd pour l'analyse du carbone ligneux en milieu sahélien : cas de la zone sylvopastorale au Sénégal

Sakhoudia THIAM^{1*}, Bienvenu SAMBOU¹, Cheikh MBOW¹ et Aliou GUISSÉ²

¹ Institut des Sciences de l'Environnement (ISE), Faculté des Sciences et Techniques (FST),
Université Cheikh Anta Diop (UCAD), Dakar, Sénégal

² Observatoire Homme Milieu Tessékéré, (OHM), Dakar, Sénégal

* Correspondance, courriel : thiamsak@yahoo.fr

Résumé

La présente étude s'est appesantie sur l'élaboration de modèles allométriques d'une espèce soudano-sahélienne (*Acacia Sénégal*) dans le but d'asseoir une base de calcul des stocks de carbone. La recherche s'est effectuée en zone sylvopastorale, au nord du Sénégal. Au préalable, l'étude a tenté d'approfondir les connaissances sur la dendrométrie de *Acacia Sénégal*. Sur le terrain, les paramètres suivants ont été mesurés et fait l'objet d'analyses et interprétations : diamètre à la base, hauteur totale de l'arbre, longueur du tronc, diamètre à hauteur de poitrine, circonférence à hauteur de poitrine et largeur du houppier. La pesée des échantillons de chaque partie (tronc, branche, rameau) de l'échantillon d'arbres composés de 38 pieds d'*Acacia Sénégal* et leur séchage à l'étuve ont permis de connaître la biomasse sèche de chaque sujet. Ensuite, des modèles allométriques spécifiques (entre la biomasse sèche et les paramètres dendrométriques) ont été générés et les coefficients de corrélation déterminés. Les différentes analyses ont permis d'affirmer que le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) est la variable qui offre la meilleure corrélation avec la biomasse aérienne. Parmi les modèles, et par ordre décroissant, nous avons obtenu la relation polynomiale, logarithmique et de puissance. Les modèles retenus ont comme entrée le DBH. De ce fait, le modèle polynomiale ($y = 0,032DBH^3 - 1,016DBH^2 + 10,87DBH + 7,429$) présente la meilleure corrélation ($R^2 = 0,963$), suivi du modèle logarithmique ($y = 13,61\ln(DBH) + 17,89$) avec une corrélation $R^2 = 0,933$ et du modèle de puissance ($y = 22,23DBH^{0,357}$) pour une corrélation $R^2 = 0,909$. L'étude a confirmé l'hypothèse selon laquelle, au sein d'une même espèce, l'élaboration de modèle spécifique reflète plus la réalité et permet de faire une quantification des stocks de carbone plus proche de la réalité que le modèle générique.

Mots-clés : *modèle allométrique, grande muraille verte, Acacia Sénégal, séquestration de carbone.*

1. Introduction

1-1. Contexte

L'Afrique est le continent le plus vulnérable aux impacts du changement climatique. Très probablement, il faudra s'attendre à une variabilité des précipitations annuelles plus marquée, des événements climatiques plus sévères, y compris des inondations et des sécheresses plus accentuées, particulièrement, dans les pays souffrant déjà d'un niveau avancé de désertification et de dégradation des terres.

Les forêts jouent un rôle direct dans le cycle du dioxyde de carbone (CO₂) et par conséquent, interviennent dans la régulation du climat. Par la photosynthèse, les végétaux fixent le gaz carbonique qui repart dans l'atmosphère, par la respiration des plantes et lors de la décomposition ou la combustion du bois, après un temps de stockage (DIOP C., 2009) [7]. Ce recyclage du carbone dans le compartiment forestier est extrêmement important, puisque chaque année, 120 gigatonnes (Gt) de carbone sont échangées entre l'atmosphère terrestre et la végétation, à comparer aux 6 Gt de carbone émis par la combustion des sources fossiles (DUPOUEY et PIGNARD, 2001) [8]. Les techniques allométriques (ou biométriques) permettent d'estimer la biomasse des arbres à partir de leur circonférence (C) ou de leur diamètre à 1,30 m (DHP). Il existe en effet des équations qui relient les paramètres des arbres à leur biomasse aérienne ou totale (MAMOUDA M., 2004) [15].

1-2. Objectifs

Dans le cadre de cette recherche, il s'est agi d'élaborer un modèle allométrique qui pourrait permettre de prévoir et d'évaluer la quantité de carbone séquestrée par les peuplements d'*Acacia Sénégal* en zone sylvo-pastorale. C'est ainsi que l'étude s'est fixée deux objectifs spécifiques à atteindre :

- Améliorer la connaissance sur les mesures dendrométriques de *Acacia Sénégal* et déterminer le ratio entre les biomasses aérienne et racinaire.
- Elaborer un modèle allométrique de l'espèce *Acacia Sénégal*. Les modèles doivent être applicables pour un suivi et permettre une vérification rigoureuse indépendante.

1-3. Présentation de la zone de l'étude

D'une superficie de 70 000 km² (soit plus d'un tiers du territoire du Sénégal), la zone sylvo-pastorale se trouve au sud du bassin du fleuve Sénégal et fait partie de la zone sahélienne. Les coordonnées géographiques centrales sont 15° 53' N 15° 15' W 15.88, -15.25, l'altitude est d'environ 25 m (CSE, 2008) [5]. Même si l'on parle de "vallée du Ferlo", le terrain reste relativement plat.

1-3-1. La population

La population s'est regroupée autour des points d'eau permanents que constituent les lieux de forages, suite à une politique d'hydraulique pastorale menée dans les années 1950. Ancienne zone de transhumance et de sécurité des bergers peuls, le Ferlo a subi d'importantes transformations (THIAM S., 1999) [19]. La densité est faible, les villages de cases sont rares et isolés. Avec un peu plus de 13 000 habitants, Linguère fait figure de grande ville dans cette zone.

1-3-2. Le climat

Le climat est de type tropical, semi-aride, monomodal à variante très chaude. Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 300 mm (CSE, 2009) [4]. L'harmattan y contribue à l'érosion des sols et à la désertification encore aggravée par des sécheresses cycliques comme celles des années 1973, 1983 et 1984.

1-3-3. La végétation

La végétation y est clairsemée. Les paysages sont ceux de la savane sèche, de la steppe, de la dune. Les épineux y survivent plus facilement que d'autres espèces. En saison des pluies, la région se couvre d'un fin tapis herbacé, mais le reste de l'année les sols sont nus et particulièrement vulnérables (**Tableau 1**). Les caprins disputent les pousses aux troupeaux de zébus menés par les bergers peuls (THIAM S., 1998) [20].

Tableau 1 : Principales espèces ligneuses et herbacées de la zone sylvopastorale du Sénégal

Strate ligneuse	Strate herbacée
<i>Balanites aegyptiaca</i>	<i>Cenchrus biflorus</i>
<i>Acacia nilotica adansonii</i>	<i>Brachiara hagerupii</i>
<i>Acacia raddiana</i>	<i>Zornia glochidiata</i>
<i>Acacia Senegal</i>	<i>Schoenefeldia gracilis</i>
<i>Acacia seyal</i>	<i>Leptadenia hastata</i>
<i>Ziziphus mauritiana</i>	<i>Andropogon pinguipes</i>
<i>Combretum glutinosum</i>	
<i>Adansonia digitata</i>	
<i>Faidherbia albida</i>	
<i>Grewia bicolor</i>	
<i>Guiera senegalensis</i>	
<i>Mitragina inermis</i>	

1-3-4. La faune

La faune est constituée par de nombreux d'oiseaux, de grands calaos, ainsi que des singes patas. Deux réserves naturelles ont été aménagées dans la région, de part et d'autre de Ranérou : la Réserve de Faune du Ferlo Nord (RFFN) et la Réserve de Faune du Ferlo Sud (RFFS).

1-3-5. Les ressources économiques

Les ressources économiques sont dominées par la pratique de l'élevage extensif. La cueillette et l'agriculture sont en régression, mais on cultive néanmoins du mil, du niébé, de l'arachide, des pastèques et des courges. La gomme arabique est produite à partir de l'exsudat d'acacias (*Acacia Sénégal*, *Acacia seyal*) (NDIAYE M., 2004) [17]. C'est une région assez démunie où les conditions de vie deviennent de plus en plus difficiles.

1-3-6. Principales contraintes de la zone

En plus des problèmes de désertification, la zone sylvopastorale se trouve confrontée à un problème global de gestion des ressources naturelles. En effet, cette région à vocation pastorale, se caractérise non seulement par une pluviométrie faible et irrégulière mais aussi et surtout par une rareté des points d'eau en saison sèche, ce qui provoque une fluctuation de l'espace pastoral d'une année à l'autre (GAYE C. S., 1984) [14]. Cette situation explique le caractère transhumant de l'élevage peulh.

Selon BARRY J.P. et al., (1983) [2], la gestion avant l'implantation des forages de l'espace pastoral consistait en une mobilité perpétuelle des hommes et des animaux entre le « walo » ou zone inondée (en saison sèche) et le « diéri » ou terre exondée (en hivernage). Cette transhumance est une stratégie de survie dans une zone à ressources limitées. Cette pratique est, de façon globale, une réponse à la grande variabilité des ressources pastorales (NDIAYE M., 2004), [17]. *Acacia Sénégal* donne une production importante de gomme arabique de bonne qualité mais est beaucoup utilisé pour l'alimentation des petits ruminants. A cet effet, les éleveurs, pratiquant l'émondage, ont sévèrement contribué à sa réduction en zone sylvopastorale (FAO/ANGMV, 2010) [9].

2. Matériel et méthodes

2-1. Echantillonnage

L'étude s'est déroulée sur des parcelles équiennes de la zone sylvo pastorale implantées par des structures étatiques et privées dans les Départements de Louga et Linguère, aire de prédilection du gommier. La recherche s'est effectuée sur les individus d'âges différents. Pour la biomasse aérienne, l'étude est conduite suivant l'âge des individus d'*Acacia Sénégal* : 5, 6, 7, 9, 12 et 15 ans et plus, pour un nombre total de 44 pieds (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Répartition de l'échantillon en fonction de l'âge des arbres

Année de plantation	Age (ans)	Nombre de sujets	%
1991	15	9	20,5
1999	12	3	6,8
2002	9	5	11,4
2004	7	9	20,5
2005	6	8	18,2
2006	5	4	9,1
2007	4	3	6,8
2009	2	3	6,8
Total		44	100,0

2-2. Mesures dendrométriques

Six paramètres ont été mesurés au niveau des arbres sur pied : Hauteur totale de l'arbre : HT en m ; Longueur du tronc : l en m ; Diamètre à la base : Db en cm ; Diamètre à Hauteur de Poitrine (1,3 m) : DHP en cm ; Circonférence au niveau du DHP : C en cm et Largeur du houppier : Lh en m

2-3. Mesures de biomasses

Il a été procédé à l'abattage des arbres à l'aide d'une tronçonneuse motorisée et il a effectué le débitage des différentes parties: tronc, branches et rameaux. Une balance d'une capacité de 100 kg a été utilisée pour procéder à la pesée des différentes parties de l'arbre. Un disque de tige, un échantillon de branches et de rameaux ont été prélevés sur l'arbre abattu. Une balance de précision est utilisée pour la pesée des échantillons de tiges, branches et rameaux.



Pour l'estimation de la biomasse racinaire, les investigations sont effectuées sur 6 sujets âgés 2 et 4 ans. Ainsi, il est procédé à la pesée de la partie aérienne et de celle racinaire. Pour l'âge de 2 ans, le plant est prélevé dans une pépinière de 2009 sur les résidus de reboisement. Pour les sujets reboisés en 2007, il est procédé au déterrement des plants en parcelle. Les échantillons prélevés sur le terrain sont séchés à l'étuve pour des températures croissantes jusqu'à constance du poids, ce qui a permis de connaître les taux d'humidité et de faire des extrapolations pour avoir le poids sec total des différentes parties, par conséquent celui des arbres pris individuellement. Le taux d'humidité est donné par la formule suivante:

$$Th = \frac{Ph - Ps}{Ph} \tag{1}$$

Avec Ps : poids sec de l'échantillon et Ph : poids humide de l'échantillon. Le calcul de la biomasse sèche de chaque partie est effectué en utilisant le taux d'humidité mesuré après séchage (Poids sec = Poids humide total x Taux d'humidité).

3. Résultats

3-1. Mesures dendrométriques

Les calculs effectués à partir des données font état à une moyenne générale de 3,1 m avec un Ecart-type de 1,2 (**Tableau 3**). Ceci montre que la dispersion autour de la moyenne est très serrée. Ainsi l'arbre croit au fur et à mesure jusqu'à l'âge de sénescence qui peut être situé à partir de 12 ans pour notre échantillon.

Tableau 3 : Hauteur en fonction de l'âge

Age	12	10	8	6	5	4	2
Hauteur moyenne	5	4,2	3,4	2,7	2,7	1,7	1,5

La longueur du tronc, prise entre la base et les premières ramifications, varie entre 0,2 et 1,7 m (**Figure 1**). La longueur du tronc n'a pas une grande variation, contrairement à la hauteur totale qui affiche une nette variation en fonction de l'âge.

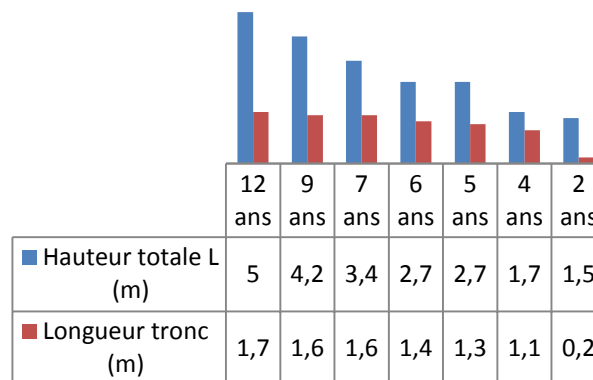


Figure 1 : Mesures de longueur des arbres

La largeur du houppier n'est pas un paramètre significatif en fonction de l'âge des individus, sa variation n'étant pas très marquée (**Figure 2**). Ceci laisse prévoir que ce paramètre n'est pas déterminant dans l'élaboration de modèles allométriques.

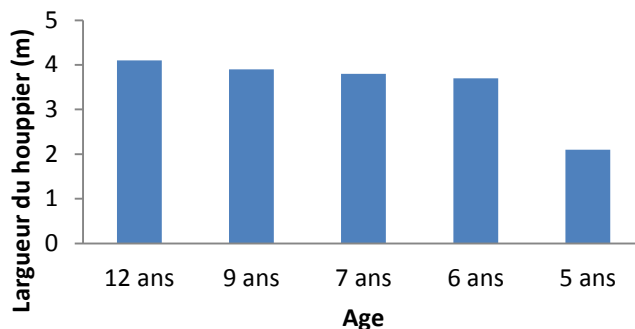


Figure 2 : *Largeur moyenne du houppier*

Les **Figures 3a et 3b** ci-dessous présentent respectivement l'évolution du Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP) et celui du Diamètre à la base (Db) en fonction de l'âge des arbres. Ces deux paramètres évoluent avec la croissance des arbres ; ce qui reste à conformer dans le prochain chapitre sur l'élaboration de modèles allométriques.

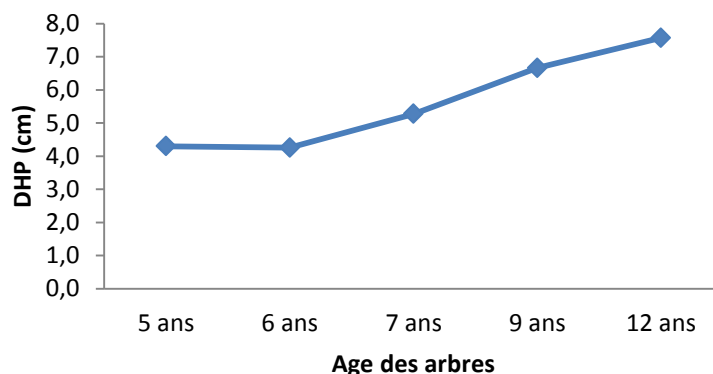


Figure 3a : *DHP en fonction de l'âge des arbres*

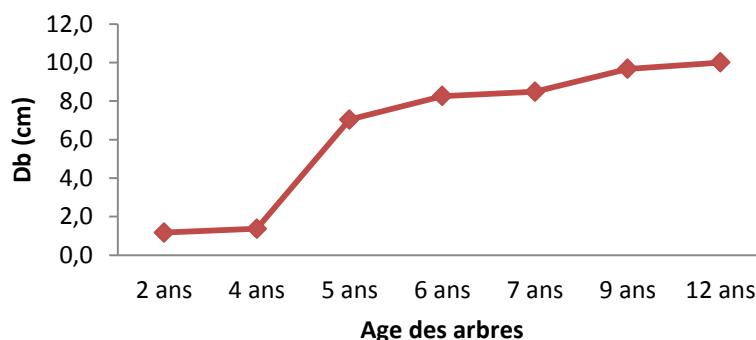


Figure 3b : *Db en fonction de l'âge des arbres*

Au même titre que le DHP, la circonférence évolue en fonction de l'âge des sujets mais elle est moins marquée que le premier paramètre (**Figure 4**). Cette remarque paraît évidente car les deux paramètres sont étroitement liés ; la différence se situe dans le fait que le contour du tronc n'est pas généralement régulier. La relation parfaite entre ces deux paramètres serait : $C=3,14 \cdot DHP$ (C : Circonférence, DHP : Diamètre à Hauteur de Poitrine).

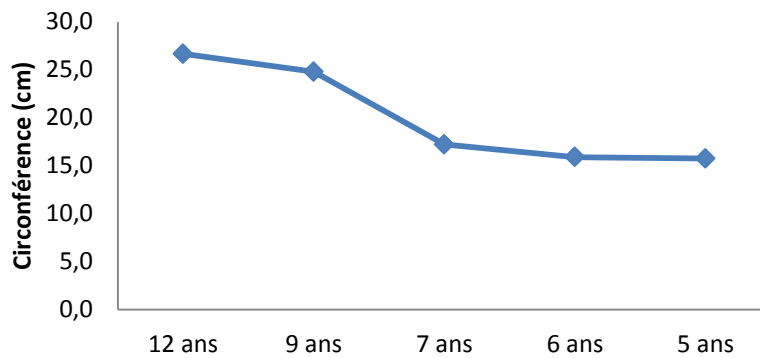


Figure 4 : *Circonférence moyenne à 1,3 m*

3-2. Modèles allométriques

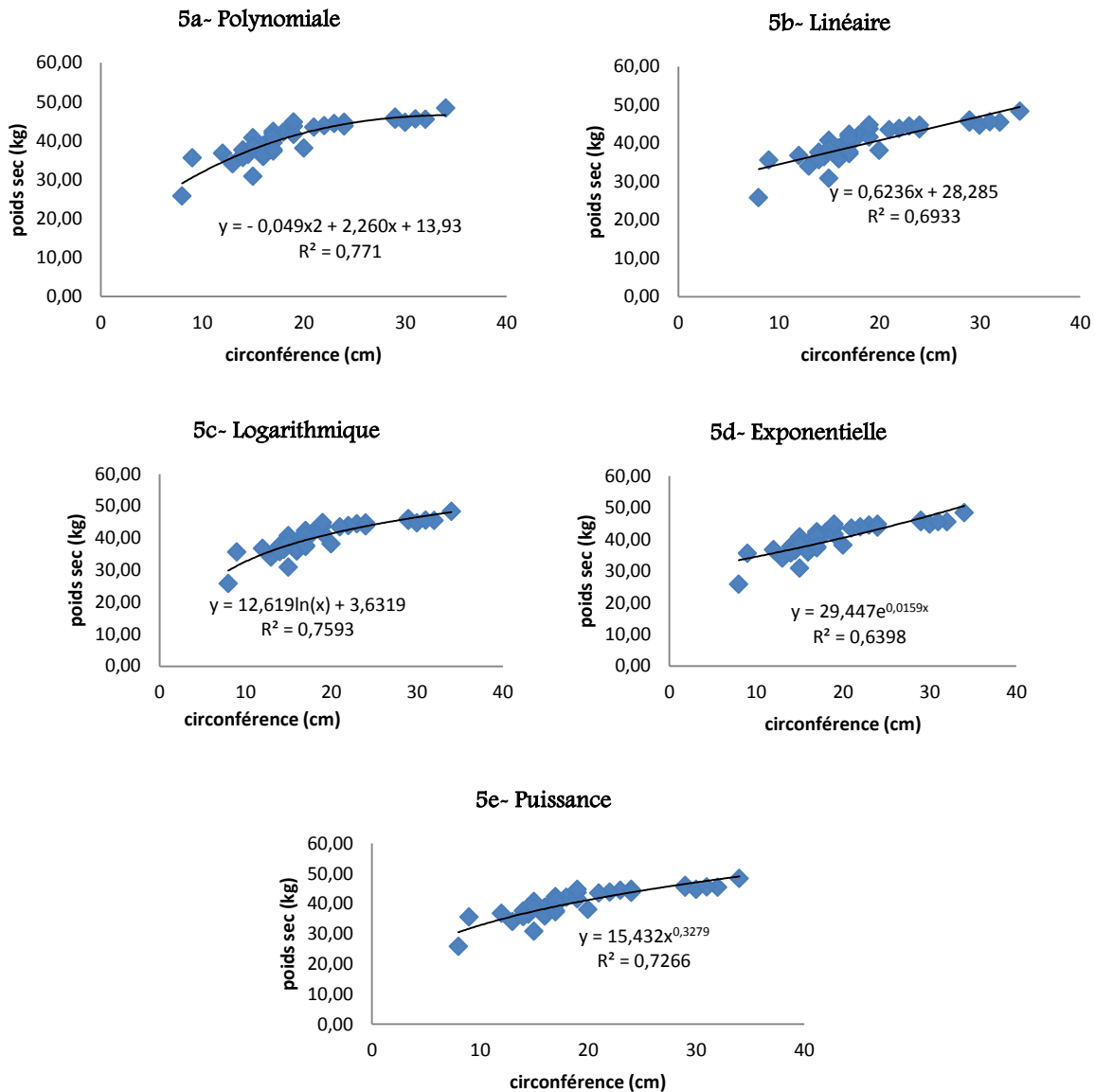
Le taux d'humidité est respectivement plus élevé dans les rameaux, les branches et les tiges (**Tableau 4**). Ainsi, la lignification est plus importante dans les tiges que les autres parties de l'arbre.

Tableau 4 : *Répartition du poids sur l'arbre*

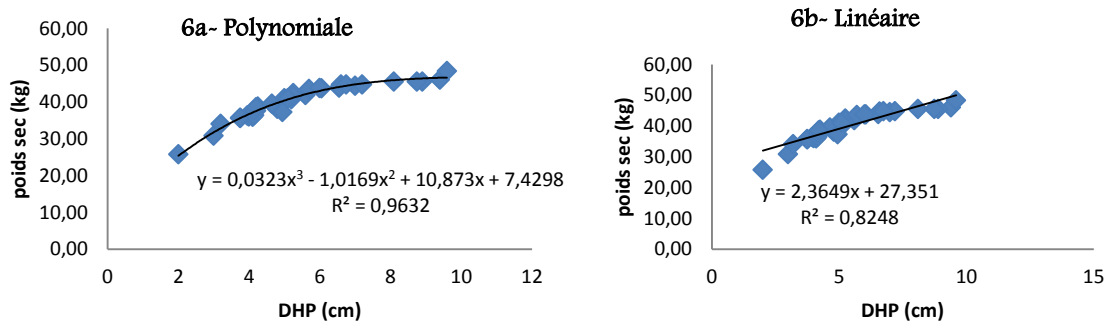
Variables	Poids de matière sèche			
	Tiges (kg)	Branches (kg)	Rameaux (kg)	BS totale (kg)
Minimum	0,03	0,02	0,03	0,04
Maximum	18,19	22,57	18,19	77,21
Moyenne	7,35	7,30	7,35	25,30

3.3. Elaboration de modèles allométriques

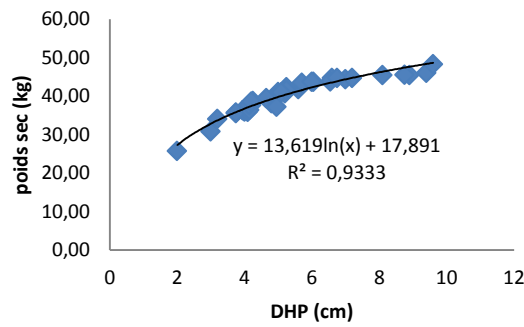
En fonction de la circonférence, le coefficient de corrélation est inférieur à 0,8 pour tous les types de régression. La meilleure des régressions est obtenue avec le type polynomial pour un coefficient de 0,771 (**Figures 5a, 5b, 5c, 5d et 5e**).



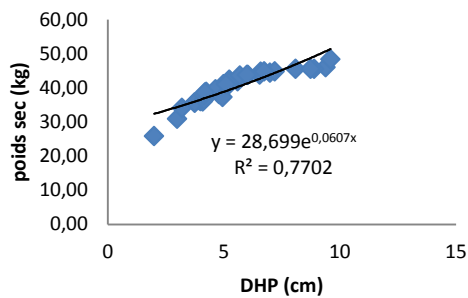
On obtient de meilleures corrélations avec l'utilisation du diamètre à hauteur de poitrine. Ainsi le coefficient de détermination est supérieur à 0,9 pour la relation polynomiale, logarithmique et de puissance. Comparée à la régression par la circonférence, la régression par le DHP présente les meilleurs coefficients de corrélation avec les modèles polynôme, logarithme et puissance (*Figures 6a, 6b, 6c, 6d, 6e*).



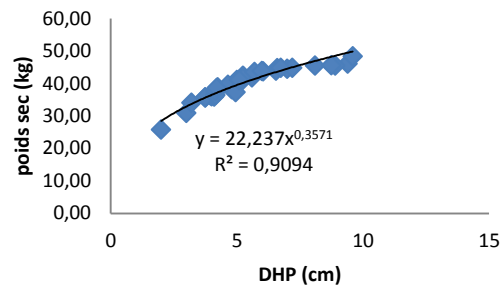
6c - Logarithmique



6d- Exponentielle



6e- Puissance



L'analyse des deux paramètres montre que le DHP a les meilleures corrélations. En effet, la circonférence n'est pas homogène, ainsi la formule de calcul $C = 3,14DHP$ n'est pas juste du fait des irrégularités du tronc. Les modèles retenus dans le cadre de cette étude auront comme entrée le DBH. Ainsi, le modèle polynomial ($y = 0,032DHP^3 - 1,016DHP^2 + 10,87DHP + 7,429$) présente la meilleure corrélation $R^2 = 0,963$, suivi du modèle logarithmique ($y = 13,61\ln(DHP) + 17,89$) avec une corrélation $R^2 = 0,933$ et du modèle de puissance ($y = 22,23DHP^{0,357}$) pour une corrélation $R^2 = 0,909$.

L'ensemble des poids secs des individus de l'échantillon donne le poids sec total qui est de 1522,86 kg. La différence entre ces deux poids nous donne le résidu permettant de connaître le poids qui s'approche mieux de la réalité de terrain. L'ensemble des régressions donne un poids proche de la réalité mais celles polynomiale, de puissance et exponentielle sont les meilleures car elles sous estiment légèrement la biomasse. Tenant compte de R^2 , l'ordre de précision des régressions est le suivant : polynomiale, logarithmique, puissance, linéaire et exponentielle (**Tableau 5**).

Tableau 5 : Comparaison des différents modèles ($x=DHP$)

Modèle	Polynomiale	Logarithmique	Puissance	Linéaire	Exponentielle
Formule	$y = 0,032x^3 - 1,016x^2 + 10,87x + 7,429$	$y = 13,61\ln(x) + 17,89$	$y = 22,23x^{0,357}$	$y = 2,364x + 27,35$	$y = 28,69e^{0,060x}$
R ²	0,963	0,933	0,909	0,824	0,770
Rang	1 ^{er}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}
Poids calculé	1521,09	1522,25	1521,51	1522,62	1514,53
Résidus total	-1,77	1,15	-1,35	1,11	-8,09

Pour l'estimation du carbone de l'échantillon d'*Acacia Sénégal*, il a été considéré que 50% de la biomasse sèche est constitué de carbone dans la végétation ligneuse (TOURE A., 2002) [21]. Ainsi les 1522,86 kg de matière sèche contiennent 861,43 kg de carbone, soit 0,86 T. Ce chiffre constitue la quantité de carbone stockée avant abattage par notre population végétale de 44 individus.

4. Discussion

L'âge de croissance maximale se situe à 12 ans, aussi bien pour le tronc que pour la hauteur totale. On note également une croissance accélérée dès le jeune âge (entre 2 et 4 ans) au niveau de la tige. La plus grande circonférence est obtenue sur les arbres âgés de 12 ans. Au-delà de cet âge, la circonférence décroît du fait de la baisse du taux d'humidité et de la diminution de l'épaisseur de l'écorce qui se lignifie de plus en plus. Il y a un ralentissement de la croissance de l'individu à partir de 9 ans d'âge. Ceci peut être expliqué par la sénescence des individus, la lignification et surtout la pression anthropique (émondage, extraction de gomme). L'étude de HIERNAUXP et al (1994) [12] a démontré que *Acacia Sénégal* a une production foliaire réduite, plus faible que celles des autres espèces sahéliennes, tant en terme de biomasse produite annuellement que de disponibilité saisonnière. La comparaison de la production de feuilles en fonction du développement des arbres, effectuée par ICKOWICZ A., (1995), [13], montre que la production d'*Acacia Sénégal* apparaît nettement inférieure à celle des espèces ligneuses fourragères les plus fréquentes. A cet effet, la contribution des feuilles à la séquestration du carbone est minime (BILLE J.C., 1977) [3] (l'arbre produit peu de feuillage par rapport à ses autres parties). Suivant la toposéquence, les arbres dans les dépressions sont plus longs que ceux au sommet des dunes. Ceci est dû, comme le confirme GAYE C. S., (1984), [11] à la disponibilité de la nappe phréatique et au développement racinaire pivotant très important chez l'espèce. La longueur du tronc est un paramètre important qui permet d'avoir un premier aperçu sur le fût de l'arbre. En effet, le tronc renferme la biomasse la plus importante comparé aux branches et aux rameaux (DIOUF A., 2010) [6].

L'analyse des différents résidus a permis de connaître la manière dont les régressions se rapprochent de la réalité. On constate que le modèle exponentiel est plus excentré en termes de poids que les autres. Les modèles polynomial et de puissance ont des résidus négatifs, c'est dire le poids obtenus à partir de ces deux régressions est en deçà du poids réel. Enfin, les modèles logarithmique et linéaire ont généré des poids légèrement supérieurs à la réalité. Les quatre modèles allométriques élaborés par la FAO, (2007) [10] sont utilisés pour calculer le poids sec de notre échantillon. L'utilisation de ces modèles a donné des résultats très en deçà de la réalité. En effet, les chiffres trouvés sont inférieurs de 35% de la valeur réelle. L'explication peut relever du fait que ces modèles ont été générés sur de grands arbres et dans des conditions différentes de celles de la zone sylvo-pastorale, mais aussi pour des espèces différentes de *Acacia Sénégal*. Cette observation confirme la pertinence de l'élaboration de modèle spécifique à une espèce et dans des conditions écologiques précises. La même observation faite plus haut est aussi valable pour les modèles élaborés par MBOW C., (2009), [16]. Les chiffres sont très inférieurs à ceux de notre échantillon d'étude. MBOW a travaillé sur des espèces différentes et de grande taille.

5. Conclusion

Pour évaluer la séquestration de carbone, beaucoup de modèles allométriques ont été développés pour prendre en compte la dimension carbone dans les écosystèmes forestiers. Malgré ces efforts, peu d'études ont fait référence au milieu sahélien aride et semi-aride d'Afrique.

L'estimation de la quantité de carbone séquestrée par la végétation ligneuse nécessite la mise en place d'une base de calcul cohérente et précise. L'élaboration d'un modèle spécifique se justifie à plus d'un titre. En effet, beaucoup de modèles allométriques utilisés jusqu'à présent ne tiennent pas compte des spécificités de l'espèce. Pour l'estimation du carbone d'un peuplement d'*Acacia senegal*, nous considérons que 50% de la biomasse sèche est constitué de carbone dans la végétation ligneuse. Ainsi les 1522,86 kg de matière sèche contiennent 861,43 kg de carbone, soit 0,86 T. Ce chiffre constitue la quantité de carbone stockée avant abattage par notre population végétale de 44 individus. Les principales espèces végétales ligneuses rencontrées en zone sylvopastorale devrait faire l'objet d'élaboration de modèle allométrique spécifique afin d'aboutir à une base de données pour asseoir un système de suivi de la dynamique des stocks de carbone.

Les recherches effectuées par MBOW C., (2009), [16] ont déjà balisé le chemin en générant des modèles pour des espèces en zone soudano-guinéennes. Les modèles peuvent prendre en charge toute la biomasse (aérienne et racinaire) si on s'accorde sur le ratio de 40% de biomasse racinaire par rapport à la biomasse totale de l'espèce (POUPON H., 1984), [18]. Ceci est important pour la détermination d'une situation de référence ou ligne de base dans le cadre des programmes et projets de développement dans la zone de l'étude. Pour le cas de cette étude, la meilleure relation permettant de quantifier le carbone de la végétation est un modèle polynomial d'ordre 3 liée au Diamètre à hauteur de Poitrine (DHP). Le modèle allométrique élaboré à partir du diamètre à hauteur de poitrine (DHP) donne de meilleurs résultats sur l'espèce étudiée.

Au terme de cette étude, il ressort que l'élaboration de modèle spécifique pour une espèce donnée offre plusieurs atouts qui sont entre autres, la prise en compte des conditions du milieu dans la séquestration du carbone et l'estimation réelle des flux de carbone dans les écosystèmes forestiers. La comparaison des modèles précédemment élaborés par la FAO (1997), ainsi que par MBOW (2009), ont montré que les résultats peuvent être très différents suivant les zones ecogéographiques et les espèces étudiées. C'est ainsi que les espèces de grande taille n'ont pas la même régression que les espèces de petite taille comme *Acacia Sénégal*.

Références

- [1] - ANGMV, 2007 : Rapport de présentation de la Grande Muraille Verte (GMV) 60 pages
- [2] - BARRY J.P. et al., 1983 : Etude des potentialités pastorales et de leur évolution en milieu sahélien au Mali. ACC -GRIZA- LAT, Groupe de Recherches Interdisciplinaires en Zones Arides, ORSTOM, Paris, 116 p
- [3] - BILLE J.C., 1977 : Etude de la production primaire nette d'un écosystème sahélien. 235 pages
- [4] - CSE, 2009 : Gouvernance locale et gestion décentralisée des ressources naturelles, 317 p.
- [5] - CSE, 2008 : Annuaire de l'Environnement 321 pages
- [6] - DIOUF A., 2010 Estimation et suivi de la séquestration du carbone dans le système sol et végétation ligneuse des sites du PROGERT dans la région de Diourbel Mémoire ISFAR 53 pages
- [7] - DIOP C., 2009 : Cours de Chimie de l'environnement, ISE/FST/UCAD 32 pages
- [8] - DUPOUEY J.L., PIGNARD G., 2001 : Quelques problèmes posés par l'évaluation des stocks et flux de carbone forestiers au niveau national, Revue forestière française, 53 (3-4), NS Les 40 ans de l'IFN, 294-300.
- [9] - FAO/ANGMV, 2010 : Actes de séminaire sur les bonnes pratiques de gestion des forêts en zone aride et semi-arides d'Afrique sub-saharienne Dakar Ngor Diarama

- [10] - FAO, 2007 : Etat des forêts du monde 2007. 150p
- [11] - GAYE C. S., 1984 : Comportement de *Acacia Sénégal* en plantation et dans la nature au Sahel sénégalais et perspectives des reboisements gommiers. Actes du troisième symposium sous-régional sur le gommier et la gomme arabique, SYGGA III. (Saint-Louis du Sénégal), 25 - 28 octobre 1988.
- [12] - HIERNAUX P., CISSE M. I., DIARRA L., DE LEEUW P. N., 1994 : Fluctuations saisonnières de la feuillaison des arbres et des buissons sahéliens. Conséquences pour la quantification des ressources fourragères-Revue Elev. Méd. Vét. Pays trop.,
- [13] - ICKOWICZ A., 1995 : Approche dynamique du bilan fourrager appliquée à des formations pastorales du Sahel Tchadien. Thèse, Université Paris XII-Créteil, France 451p
- [14] - JOUVE P., 1997 : Etude des systèmes agraires, Cours du CRESA mai 1997. 36 pages
- [15] - MAMOUDA M., 2004 : Justification et critères de durabilité des projets de séquestration de carbone dans la lutte contre les changements climatiques : cas des systèmes agroforestières de Sébikotane Mémoire de D.E.A 102p UCAD Dakar
- [16] - MBOW C., 2009 : Potentiel et dynamique des stocks de carbone des savanes soudanaises et soudano-guinéennes du Sénégal. Thèse de doctorat d'Etat es sciences UCAD, 319 pages. 2009
- [17] - NDIAYE M., 2004 : Le Gommier (*Acacia Sénégal* (L.) Willd.) et la Gomme arabique de A à Z, 124 pages
- [18] - POUPON H., 1984. Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe sahélienne au nord du Sénégal. Thèse Sciences Naturelles, Université de Paris Sud, ORSAY. Travaux et Document de l'ORSTOM, 351p.
- [19] - THIAM S., 1999 : Gestion des conflits liés à l'utilisation des ressources naturelles dans la forêt classée de Pata, PGCRN-MEPN
- [20] - THIAM S., 1998 : Contraintes liées aux pratiques de gestion des ressources naturelles au Sénégal, PGCRN-Université Abdou MOUMOUNI (UAM) de Niamey
- [21] - TOURE A., 2002. Contribution à l'étude de l'évolution des réservoirs de carbone en zone nord-soudanaise au Sénégal., Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), 158 p.