

Prédiction de la biomasse aérienne d'*Acacia cyanophylla* Lindl. (Syn. *A. saligna* (Labill.) H. Wendl) à partir de mensurations dimensionnelles

Abdelwahed Laamouri^{a,*}, Amine Chtourou^a et Hichem Ben Salem^b

^a Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts (INRGREF), rue Hédi Karray, B.P. 10, 2080 Ariana, Tunisie

^b Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie (INRAT), rue Hédi Karray, 2080 Ariana, Tunisie

(Reçu le 5 Février 2001 ; accepté le 4 Octobre 2001)

Résumé – Afin de prédire la production de biomasse aérienne d'*Acacia cyanophylla* Lindl. à partir de mensurations dimensionnelles, nous avons effectué des mesures et des coupes à 20 cm du sol, de 45 arbustes issus de trois plantations du Nord Ouest de la Tunisie situées aux endroits suivants : El Krib (semi-aride supérieur), El Hojjaj (semi-aride supérieur) et El Araïbia (humide). Ces plantations sont âgées de 4 ans et ayant une densité de 1100 pieds/ha. Pour la validation des modèles obtenus, un sous-ensemble de 5 arbustes (non inclus dans l'échantillon pris pour l'établissement des modèles de régression), soit 11 % de l'échantillon total a été choisi au hasard. Des régressions linéaires (simples et multiples) ont permis d'estimer la production de biomasse aérienne d'*Acacia cyanophylla* Lindl. de manière satisfaisante, connaissant son volume ou son diamètre basal ($R^2 = 0,76$ à $0,96$). Toutefois, la régression multiple incluant à la fois le volume et le diamètre basal a constitué un modèle plus précis ($R^2 = 0,90$ à $0,98$).

Acacia cyanophylla Lindl. / modèles de régression / prédiction de biomasse

Abstract – Above ground biomass prediction of *Acacia cyanophylla* Lindl. (Syn. *A. saligna* (Labill.) H. Wendl). Dimensional measurements were made on 45 four-year-old *Acacia cyanophylla* Lindl. shrubs which were cut at 20 cm above ground to predict biomass production. These shrubs planted at a density of 1100 plants/ha were located at the following sites: El Krib (high semi-arid), El Hojjaj (high semi-arid) and El Araïbia (humid) in the North West of Tunisia. In order to validate the regression models obtained, a subsample of 5 shrubs (not included in the total sample), representing 11% of the total sample was chosen at random. Linear regressions (simple and multiple) allowed to satisfactorily estimate the above ground biomass production of *Acacia cyanophylla* Lindl. using its volume or its basal diameter ($R^2 = 0.76$ to 0.96). However, the multiple regression involving simultaneously the volume and the basal diameter led to a better precision of the model ($R^2 = 0.90$ to 0.98).

Acacia cyanophylla Lindl / regression models / biomass prediction

* Correspondance et tirés-à-part

Tél. : +216 71 230039 ; Fax : +216 71 717951 ; e-mail : laamouri.abdelwahed@iresa.agrinet.tn

1. INTRODUCTION

Des plantations sylvopastorales à base d'*Acacia cyanophylla* Lindl. ont été réalisées depuis plusieurs années dans le Nord-Ouest de la Tunisie. L'ampleur que prend cette espèce dans les programmes d'amélioration des parcours en Tunisie s'explique par ses usages multiples (fourrage, bois de chauffage, fixation des dunes et lutte contre l'érosion), sa résistance à la sécheresse [10] et son adaptation aux zones arides et humides et à tous les types de sol, préférant toutefois les sols profonds [1, 12, 23]. Ces exigences édaphiques deviennent moins strictes au dessus de 350 à 400 mm de pluviosité moyenne annuelle [20]. *Acacia cyanophylla* Lindl. est une espèce qui peut produire une biomasse (ligneuse et feuillue) importante pouvant être utilisée comme engrais vert pour enrichir le sol, fourrage pour le bétail et énergie domestique [2, 11, 17, 24].

Bien que la connaissance des arbustes fourragers et leurs conditions d'utilisation soient considérablement améliorées depuis plusieurs années, il reste de nombreux points obscurs particulièrement les méthodes d'estimation de la production qui devraient être moins coûteuses et non destructives. Ce qui explique la rareté des évaluations tentées dans les comptes rendus des divers projets ou les travaux de recherche. En effet, ces méthodes d'évaluation constituent dans la plupart des cas un bon moyen de prédiction de la biomasse ligneuse et feuillue des arbres et arbustes [3, 4, 6, 13, 29].

L'objectif de cette étude est d'établir des modèles de régression permettant de prédire la biomasse aérienne d'*Acacia cyanophylla* Lindl. à partir de paramètres allométriques.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Après avoir pris connaissance de différents types de plantation d'*Acacia cyanophylla* Lindl. réalisées dans le Nord-Ouest de la Tunisie, il a été décidé, dans un premier temps de travailler sur des plantations âgées de 4 ans, situées à El Krib (semi aride supérieur), El Hojjaj (semi aride supérieur) et El Araïbia (humide). La densité de plantation est de 1100 pieds/ha. Le choix des acacias-échantillons a été réalisé en fonction de l'hétérogénéité des plantations. En effet, *Acacia cyanophylla* Lindl. est une espèce très polymorphe et présente une variation intraspécifique importante [15, 18, 20, 22]. Cela signifie que des arbustes de différentes tailles sont à identifier.

Afin de disposer d'un échantillon représentatif, nous avons sélectionné 45 arbustes dans les sites sus-indiqués. Pour valider les résultats obtenus [5], un sous-ensemble de 5 arbustes (non inclus dans l'échantillon pris pour l'établissement des modèles de régression), soit 11 % de l'échantillon total a été choisi au hasard.

Pour définir les paramètres dimensionnels, nous nous sommes largement inspirés des enseignements tirés de l'étude de Pieper [26] sur la productivité des parcours. On a également tenu compte du comportement du système végétatif aérien d'*Acacia cyanophylla* Lindl. qui permet de déterminer les véritables paramètres dimensionnels explicatifs de la production de l'arbuste [21]. Les mesures dimensionnelles de l'arbuste concernent la hauteur totale (Ht), la hauteur du houppier (Hh), le diamètre maximal du houppier (DM), le diamètre minimal du houppier (Dm) perpendiculaire à DM , le diamètre basal de la tige principale (DB) et le nombre de branches (NB). Un autre paramètre a été retenu : le produit $Ht \times DM \times Dm$. Ce dernier représente le volume (V) occupé par l'arbuste, assimilé à un parallélépipède régulier. La biomasse produite se rapporte au poids de la partie consommable (feuilles, gousses, tiges et tiges non lignifiées) et le poids des branches. Les mesures dimensionnelles et de production ont été réalisées pendant la période d'exploitation des périmètres d'*Acacia cyanophylla* (de Novembre à Février). Des régressions linéaires ($y = a + bx$ et $y = a + bx + cz$) liant la production totale, ligneuse et feuillue aux différentes grandeurs mesurées, ont été testées en utilisant le logiciel S.T.A.T.I.T.C.F. Le choix du modèle final a été basé sur différents critères : un meilleur coefficient de détermination (R^2), une signification biologique des variables explicatives de la production et enfin un modèle assez simple pour garantir son adoption ultérieure. Seuls les modèles de régressions déclarés significatifs ($P < 0,05$), ayant un coefficient de corrélation $r \geq 0,99$ (entre la biomasse mesurée et la biomasse attendue) et ayant un coefficient de détermination $R^2 > 0,7$ ont été retenus.

3. RÉSULTATS

Les mensurations effectuées sur les 40 arbustes échantillonnés ont abouti à des volumes compris entre 0,62 et 60,37 m³ et des diamètres basaux variant de 1,8 à 13 cm. La production de biomasse (en kg de matière verte par pied) varie de 0,65 à 35,75 (figure 1).

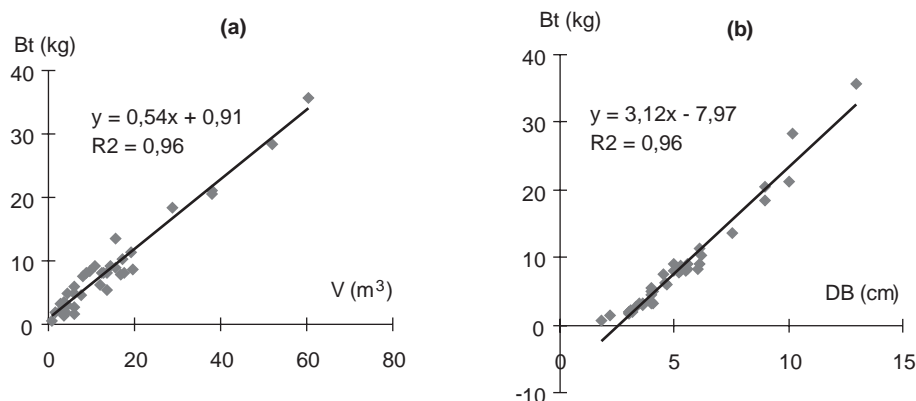


Figure 1. Relation entre la biomasse totale (Bt) d'*Acacia cyanophylla* Lindl. et le volume (V) (a) ou le diamètre basal (DB) (b).

La modélisation de la production d'*Acacia cyanophylla* Lindl. consiste à établir une relation entre la biomasse aérienne et les différents paramètres dimensionnels mesurés. Différentes régressions linéaires sont proposées (tableau I).

Il en ressort que le volume occupé par l'arbuste assimilé à un parallélépipède régulier est bien corrélé avec la biomasse aérienne. L'équation liant la biomasse au diamètre basal donne un bon coefficient de détermination. D'autre part, la régression multiple ($y = aV + bDB + c$) aboutit encore à une amélioration de la précision des estimations de la production de l'arbuste. Par ailleurs, les équations linéaires ont permis de prédire la production de biomasse de manière très satisfaisante (le coefficient de

corrélations r est supérieur ou égal à 0,99). Elles n'ont pas sur-estimé ou sous-estimé de façon systématique ou encore présenté des écarts de prévision importants (tableau II).

4. DISCUSSION

À l'instar des objets physiques, on peut admettre qu'un arbuste ou un arbre peut être caractérisé par sa masse volumique. En d'autres termes, on peut s'attendre à une forte corrélation entre la masse et le volume occupé par l'arbuste. En effet, la régression linéaire a été adoptée

Tableau I. Modèles de prédiction de la biomasse totale (Bt), feuillue (Bf) et ligneuse (Bl) à partir du volume (V) ou du diamètre basal (DB) ou V et DB .

| Variable explicative | Variable de production | Modèle de régression | R^2 | ETR |
|------------------------|------------------------|------------------------------|-------|-------|
| Volume (m^3) | Bt | $Bt = 0,54V + 0,91$ | 0,96 | 1,58 |
| | Bl | $Bl = 0,37V - 0,32$ | 0,92 | 1,42 |
| | Bf | $Bf = 0,17V + 1,23$ | 0,76 | 1,29 |
| Diamètre basal (cm) | Bt | $Bt = 3,12DB - 7,97$ | 0,96 | 1,49 |
| | Bl | $Bl = 2,1DB - 6,25$ | 0,9 | 1,59 |
| | Bf | $Bf = 1,02DB - 1,72$ | 0,81 | 1,16 |
| Volume (m^3) et | Bt | $Bt = 0,26V + 1,68DB - 4,05$ | 0,98 | 0,98 |
| | Bl | $Bl = 0,22V + 0,88DB - 2,92$ | 0,94 | 1,28 |
| Diamètre basal (cm) | Bf | $Bf = 0,04V + 0,8DB - 1,12$ | 0,90 | 1,16 |

Bt : Biomasse totale en kg, Bl : Biomasse ligneuse en kg, Bf : Biomasse feuillue en kg, R^2 : Coefficient de détermination, ETR : Ecart type résiduel.

Tableau II. Validation des modèles de régressions.

| V mesuré (m ³) | Valeur mesurée | | Valeur prédite (Bt) (kg) | | |
|----------------------------|----------------|-----------------|--------------------------|--------------|--------------|
| | DB mesuré (cm) | Bt mesurée (kg) | M1 | M2 | M3 |
| 1,06 | 2,9 | 1,1 | 1,48 | 1,11 | 1,09 |
| 4,20 | 3,5 | 3 | 3,18 | 2,98 | 2,92 |
| 10,81 | 5 | 6,7 | 6,75 | 7,66 | 7,16 |
| 44,44 | 10 | 25,2 | 24,91 | 23,26 | 24,30 |
| 21,30 | 7 | 12,5 | 12,41 | 13,9 | 13,24 |
| r | – | – | 0,995 | 0,990 | 0,995 |

r : coefficient de corrélation entre Bt mesurée et Bt prédite.

M1 : $Bt = 0,54V + 0,91$; M2 : $Bt = 3,12DB - 7,97$; M3 : $Bt = 0,26V + 1,68DB - 4,05$.

par plusieurs travaux de recherche visant l'établissement d'un modèle qui permet la prédiction de la biomasse des arbustes fourragers [8, 9, 19, 27]. Pieper [26] note que la plupart des régressions tentées entre la biomasse et le volume de l'arbuste ont donné des coefficients de détermination qui varient de 0,89 à 0,99. Le modèle Biomasse = a (Volume) + b, assimilé à un parallélépipède régulier, utilisé dans ce travail, a abouti à des coefficients de détermination élevés (R^2 variant de 0,76 à 0,96). Ce modèle n'est pas affecté significativement par cette approximation étant donné que la masse la plus importante est celle de l'arbuste (la masse des zones vides du parallélépipède est sans doute négligeable par rapport à la masse de l'arbuste). Ainsi faut-il souligner que l'adoption d'autres formes géométriques (ellipsoïde, sphère plein ou conique) aboutit aux mêmes estimations de la biomasse étant donné que les volumes de ces formes géométriques sont approximativement proportionnels. Cependant, en dépit de la bonne corrélation entre la biomasse d'*Acacia cyanophylla* Lindl. et son volume, cette équation implique une mesure précise des paramètres volumiques. En effet, pour des imprécisions de l'ordre de 5 cm de la hauteur totale, du diamètre maximal de la couronne et du diamètre perpendiculaire au premier, on peut avoir une surestimation ou sous-estimation de la biomasse produite de l'ordre de 500 g.

Pour réduire les fluctuations de variance et afin de maximiser le coefficient de détermination (R^2), des transformations logarithmiques, exponentielles ou des régressions multiples des valeurs initiales des variables ont été utilisées dans plusieurs travaux de recherche. Par exemple, des transformations logarithmiques ont été faites pour *Artemisia tridentata* [14], *Sesbania sesban* [16] et pour différents arbustes au Texas [8]. D'après Thomson [28] des transformations exponentielles de la hauteur d'*Atriplex canescens* ont augmenté le coefficient de

détermination (0,90 contre 0,79). Porté et al. [25] ont trouvé que la biomasse de *Pinus pinaster* est fonction de la puissance du diamètre de l'arbre.

Travaillant sur plusieurs arbustes fourragers, Brown [7] précise que le diamètre basal est une bonne variable explicative de la production des arbustes. Dans notre cas, la connaissance du diamètre basal uniquement suffit pour établir un modèle linéaire significatif pour prédire la production de biomasse d'*Acacia cyanophylla* Lindl. ($R^2 = 0,81$ à 0,96).

Suite aux résultats précédents, nous avons testé une autre expression mathématique (régression multiple) en liant la biomasse d'*Acacia cyanophylla* Lindl. à son diamètre basal et son volume. Il en ressort que cette équation constitue un moyen plus précis (R^2 variant de 0,90 à 0,98) que les autres équations discutées précédemment pour la prédiction de la biomasse d'*Acacia cyanophylla* Lindl. Schuster [27] a obtenu les meilleurs coefficients de détermination avec des régressions multiples. En outre, le test de validation des modèles de régressions retenus a donné des résultats concluants ($r \geq 0,99$). Pour toutes ces raisons, nous l'utiliserons pour l'évaluation de la biomasse de l'arbuste dans les plantations d'*Acacia cyanophylla* Lindl. à El Krib, El Hojjaj et El Araïbia.

5. CONCLUSION

La modélisation de la biomasse d'*Acacia cyanophylla* Lindl. en se basant à la fois sur le diamètre basal et le volume occupé par l'arbuste semble la plus précise. Néanmoins, l'efficacité de ce modèle dépend de la précision des mesures de terrain, car les variations des mesures volumiques prises pour l'estimation de la biomasse peuvent

plus au moins affecter les résultats. Les relations de prédictions faisant intervenir seulement le diamètre basal sont donc plus pratiques.

A priori, le domaine de validation des modèles de régressions retenus est limité. Les relations n'auraient pas nécessairement la même rigueur d'application pour d'autres plantations d'*Acacia cyanophylla* Lindl sous d'autres conditions édapho-climatiques.

Remerciements : Nous tenons à remercier Dr. Nahdi Hsan (chercheur à l'INRAT) et Dr. Sghair Taher (chercheur à l'INRGREF) pour leur précieux conseils dans l'analyse statistique des données et l'élaboration de la méthodologie.

Nos remerciements vont également aux cadres de l'Office de Développement Sylvo-Pastoral du Nord Ouest en particulier Mrs. Jemaai Abdelmajid et Ouled Saad Fathi pour leur appui logistique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Albouchi A., Chatty Y., Benzarti J., Des arbres et arbustes à usages multiples pour réaliser des brise-vent en Tunisie. Projet brise-vent (phase II), Coop. Tunisie-CRDI, Ministère de l'Agriculture, Tunisie, 1989.
- [2] Ammari Y., Contribution à l'étude des réponses allométrique et écologique de *Acacia cyanophylla* Lindl. aux techniques d'exploitation dans un but de valorisation, gestion et aménagement sylvopastoral, Domaine pastoral Ennaser Gouvernorat de Kairouan, Tunisie, Mémoire de troisième cycle, ENFI, Maroc, 1995.
- [3] Araújo C., Pereira J.S., Leal L., Tomé M., Flower E.J., Ericsson T., Aboveground biomass production in an irrigation and fertilisation field experiment with *Eucalyptus globulus*, Ann. Sci. For. 64 (1989) 526–528.
- [4] Baldwin Jr. V.C., Peterson K.D., Burkhart H.E., Ametis R.I., Dougherty P.M., Equations for estimating loblolly pine branch and foliage weight and surface area distributions, Can. J. For. Res. 27 (1997) 918–927.
- [5] Baillargeon G., Probabilités statistique et techniques de régression, Les éditions SMG, Trois-rivières, Québec, 1989, p. 481.
- [6] Bartelink H.H., A model of dry matter partitioning in trees, Tree. Physiol. 18 (1998) 91–101.
- [7] Brown J.K., Estimating shrub biomass from basal stem diameters, Can J. For. Res. 6 (1976) 153–158.
- [8] Bryant F.C., Kothmann M.M., Variability in predicting edible browse from crown volume, J. Range Manag. 32 (1979) 144–146.
- [9] Dean S.A., Burkhart J.W., Meeuwig R.O., Estimating of twig and foliage biomass of sagebrush, bitterbrush and rabbitbrush in the Great basin, Journal of Range management 34 (1981) 224–227.
- [10] De Kock G.C., Culture d'arbustes fourragers résistant à la sécheresse, in : Le Houérou H.N., Les fourrages ligneux en Afrique, Addis Abéba, Centre international pour l'élevage en Afrique, 1980, p. 387–398.
- [11] Dommergues Y.R., Galiana A., Chaumont J., Diem A., Nitrogen fixing potential of *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis* seed lings inoculated with *Bradyrhizobium* and *Rhizobium* ssp., 1989.
- [12] El Hamrouni A., Rapport annuel d'activités de l'I.N.R.F., Tunisie, p. 6–7.
- [13] Fownes J.H., Harrington R.A., Modelling growth and optimal rotations of tropical multipurpose trees using leaf rate and leaf area index, J. Appl. Ecol. 27 (1982) 886–896.
- [14] Hutchings S.S., Mason L.R., Estimating yields of Gambel oak from foliage cover and basal area, J. Range Manage. 23 (1970) 430–434.
- [15] Hopper S.D., Maslin B.R., Phytogeography of Acacia in Western Australia, Melbourne, Austr. J. Bot. 26 (1978) p. 63–78.
- [16] Jackson N.A., Griffiths H., Zeroni M., Above-ground biomass of seedling and semi-mature *Sesbania sesban*, a multipurpose tree species, estimated using allometric regressions, Agroforestry Systems 29 (1995) 103–112.
- [17] Laamouri A., El Felah M., Kebaili A., Chtourou A., Premiers renseignements de l'étude de deux modèles agro-pastoraux en milieux semi-arides de la Tunisie, Séminaire sur les journées scientifiques de l'INRGREF, 24-26 Novembre 1999, 15 p.
- [18] Laamouri A., Sghaier T., Performances en croissance et biomasse de trois légumineuses arbustives fourragères en milieu semi-aride de la Tunisie, Ann. Rech. For. Maroc. T 31 (1999) 40–50.
- [19] Le Houérou H.N., Forage halophytes in the Mediterranean basin, in : Choukr-Allah R., Malcolm C.V., Hamdy A. (Eds.), Halophytes and biosaline agriculture, Marcel Dekker, Inc., New York, 1995, p. 115–136.
- [20] Le Houérou H.N., Pontanier R., Les plantations sylvopastorales dans la zone aride de Tunisie, Notes techniques du MAB 18 (1987), Unesco, p. 30–31.
- [21] Marion J., Poupon J., Manuel pratique de reboisement, Institut de reboisement, Tunisie, 1974, p. 181–185.
- [22] Maslin B.R., Studies in the genus Acacia, the taxonomy of *Acacia saligna* (Labill) H. Wendl Nuystia 45 (1974) 332–340.
- [23] National Academy of Science (N.A.S.), *Acacia saligna* (Labill) H. Wendl. in tropical legumes ressources for the future, Washington DC, 1979, p. 100–101.
- [24] Nasr H., Abassi M., El Felah M., Alley farming *Acacia cyanophylla*-*Hordeum vulgare* en milieu semi-aride : Résultats

préliminaires, Séminaire Maghrébin d'Agroforesterie Jebel Oust : 23-27 Octobre 1989, Ministère de l'Agriculture, Tunisie.

[25] Porté A., Bosc A., Champion I., Loustau D., Estimating the foliage area of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) branches and crowns with application to modelling the foliage area distribution in the crown, *Ann. For. Sci.* 57 (2000) 73–86.

[26] Pieper R.D., Rangeland vegetation productivity and biomass, *Vegetation science applications for rangeland analysis and management*, 1988, p. 450–467.

[27] Schuster J.L., Estimating browse from twig and stem measurements, *J. Range Manage.* 18 (1965) 220–223.

[28] Thomson E.F., Mirza S.N., Afzal J., Predicting the components of aerial biomass of fourwing saltbush from shrub height and volume, *Technical Note, J. Range Manage.* 51 (1998) 323–325.

[29] Wang Y.P., Jarvis P.G., Benson M.L., Two-dimensional needle-area density distribution within the crowns of *Pinus radiata*, *For. Ecol. Man.* 32 (1990) 217–237.