

Evaluation du potentiel fourrager aérien du bassin laitier d'Agadez au Niger en Afrique de l'Ouest

M. Chaibou¹, B. Faye², M. Ali³ et G. Vias⁴

Résumé

La disponibilité alimentaire constitue dans les milieux arides tropicaux, l'un des facteurs qui rendent difficile l'élevage des animaux. Cependant, des espèces comme le dromadaire semblent s'adapter à ces milieux aux ressources rares. L'objectif de l'étude menée dans la zone d'Agadez au Niger est d'évaluer l'offre fourragère provenant des espèces ligneuses d'un parcours exploité par des camelins. Dans cette évaluation, des équations allométriques ont été utilisées et elles ont intégré certains traits caractéristiques des arbres comme la hauteur de la cime, la circonférence du tronc à 20 cm, le recouvrement au sol du houppier et la hauteur de la plus basse branche. L'estimation de la disponibilité fourragère a été de 37,49 kg de matière sèche (MS)/ha pour Ikirkiwi (site 1) et de 26,09 kg MS/ha pour Tassack n'talam (site 2). La productivité moyenne des parcours de $31,8 \pm 5,7$ kg MS/ha, était très appréciable comparativement à d'autres stations tropicales. Deux modèles de régression mis au point ont permis d'estimer la productivité de biomasse fourragère aérienne des deux espèces fourragères *Maerua crassifolia* et *Acacia ehrenbergiana* sans les abattre sur l'ensemble des sites échantillonnés. Cette méthode peut être facilement utilisée par les techniciens de services régionaux d'élevage afin de procéder à des évaluations rapides permettant de dresser un bilan fourrager. Cette méthode est un outil d'aide à la décision pour le Système d'Alerte Précoce et les Organisations Non Gouvernementales spécialisées dans la crise alimentaire.

Mots clés : Espèce ligneuse de parcours, disponibilité fourragère, biomasse fourragère aérienne, équation allométrique, camelins, Niger.

Assessment of aerial fodder potential of the dairy area of Agadez in Niger in West Africa

Abstract

The problems of livestock behaviour in tropical areas and especially in arid lands are the availability of fodder resources. In spite of this situation, some species like camel are adapted to the scarcity of forage resources. The study aims to evaluate the aerial fodder production of desert trees exploited by camels in area of Agadez in Niger. In this evaluation we used allometric equations including some tree physics parameters such as the height of the peak, the circumference of the trunk at 20 cm, the ground cover crown and the ground height of the lowest branch. This fodder production was estimated about 37.49 kg dry matter (DM)/ha for Ikirkiwi station (site 1) and about 26.09 kg DM/ha for Tassack n'talam station (site 2). Two regression models were established to assess the aerial fodder production of *Maerua crassifolia* and *Acacia ehrenbergiana* trees without destroying them. The average production of 31.8 ± 5.7 kg DM/ha, was very appreciable comparatively to other tropical stations. This assessment method of aerial fodder can be easily used by Technicians of the Regional Livestock Services to make every year the fodder balance. This assessment method is a stool which can be used by the Precocious Alert System and Non Governmental Organizations specialised in the food crisis management.

Key words: Woody species of course, forage availability, aerial forage biomass, allometric equation, camels, Niger.

¹ Dr Mahamadou CHAIBOU, Enseignant-chercheur, Département Production Animale, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey, BP 10960, Tél. : (+227) 96 55 30 97/94 05 36 16, Fax : (+227) 20 31 66 12, [E-mail: malamchaibou@yahoo.fr](mailto:malamchaibou@yahoo.fr), République du Niger

² Dr Bernard Faye, CIRAD-ES Campus international de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 1, Tél. : +33 (0) 4 67 59 39 27, E-mail : faye@cirad.fr France

³ Dr Mahamane Ali, Faculté des Sciences et techniques, Université de Maradi BP 465, Tél. : (+227) 20 41 01 32, E-mail : ali_mahamane@yahoo.fr, République du Niger

⁴ Dr Gilles Vias, ONG Karkara, BP 2045 Niamey, Tél. : (+227) 20 75 30 23, E-mail: vfilles@yahoo.fr, République du Niger

INTRODUCTION

L'Afrique vit sous un régime récurrent de sécheresse et de famine, toutes résultantes des conditions climatiques désastreuses dans certaines zones. Ces zones communément appelées "zones arides" représentent malheureusement une portion importante de la superficie globale du continent, soit 43% sans compter les déserts (Ekaya, 2007). Ces terres sont pour la plupart improductives et inexploitable. Les zones arides du Niger représentent 77% de la superficie globale du pays (Chaibou et Faye, 2005). L'élevage y est pourtant pratiqué depuis des temps immémoriaux en particulier celui du dromadaire (*Camelus dromedarius*). Cet animal valorise assez bien ces vastes espaces remarquables aux ressources médiocres et conditions climatiques très défavorables. La présente étude est réalisée dans la zone péri-urbaine d'Agadez, située en bordure sud du Sahara. En effet, cette zone abrite des pasteurs qui vivent de la spéculation laitière. Une petite unité de transformation de lait de chamelle soutenue par la coopération Française à Agadez entretient des relations commerciales avec ces éleveurs à qui elle achète l'ensemble de leur production laitière. Ces éleveurs fidèles à cette laiterie sont principalement installés dans deux sites de la zone péri-urbaine d'Agadez. Leurs animaux sont essentiellement alimentés à partir des pâturages naturels composés d'une strate herbacée et d'une strate ligneuse situées dans les environs.

L'objectif global de l'étude est d'estimer la productivité en biomasse des ligneux appréciés afin d'établir par la suite un bilan fourrager. Ceci permet de comprendre si les ressources alimentaires exploitées (arbres, arbustes, tapis herbacée) par les troupeaux camelins sont à même de satisfaire leurs besoins, de permettre d'éviter un départ en transhumance afin d'assurer une livraison régulière du lait à la laiterie. Les fourrages ligneux sont d'un apport alimentaire primordial pour les camelins, car ils représentent 89% des ressources exploitées pendant la saison sèche (Chaibou *et al.*, 2011). Cependant, l'évaluation de cet apport en terme de biomasse pose de nombreuses difficultés d'ordre technique et méthodologique. La première question est quelle est la méthode la plus efficace qui peut être utilisée, sans détruire l'arbre, pour estimer sa biomasse totale mais surtout sa biomasse foliaire accessible par l'animal. Certes, Bille (1980), Cissé (1980) et Cissé *et al.* (1980) ont mené diverses études à ce sujet. Cependant, la plupart de ces études étaient centrées sur l'inventaire (Touré et Gillet, 1989 ; Le Houerou, 1980), sur la production de biomasse totale (Hiernaux *et al.*, 1992 ; Poupon, 1980 ; Breman et De Ridder, 1991 ; Laporte *et al.*, 2010) ou sur la composition chimique et la digestibilité (Fall-Touré, 1991 ; Chaibou *et al.*, 2011). Ces méthodes sont pour certaines destructives donc longues et onéreuses, pour d'autres non destructives mais très sommaires utilisant un seul paramètre simple comme la hauteur de l'arbre ou la circonférence du tronc (Breman et de Ridder, 1991 ; Ngom *et al.*, 2008) et la méthode satellitale utilisant la densité des végétaux (Wylie *et al.*, 1991 ; Laporte *et al.*, 2011). Ces méthodes ne permettent en aucun cas de déterminer la proportion de la biomasse foliaire accessible pour les différentes espèces animales (ovins, caprins, bovins et camelins). D'une manière générale les données sur les fourrages ligneux en particulier sur la biomasse disponible et surtout la partie réellement accessible, qui varie d'ailleurs selon qu'on a affaire à un petit ou un grand ruminant, sont rares. Une des raisons principales est le manque de méthodologies normalisées pour évaluer cette production et sa consommation par rapport à ce qui est fait en la matière pour les pâturages herbacés. Ainsi, la présente étude est menée pour évaluer non seulement la biomasse potentielle des arbres fourragers, mais aussi et surtout la biomasse foliaire réellement accessible aux animaux en vue d'estimer l'offre alimentaire de la zone en question. De façon spécifique les objectifs étaient : (i) d'estimer la production en biomasse foliaire totale, disponible et accessible de quelques formations ligneuses de zone aride ; (ii) de mettre au point une méthode non destructive d'évaluation de production de biomasse, c'est à dire des modèles de régressions permettant d'estimer directement la production de sa biomasse sans détruire le végétal ; (iii) et d'évaluer la productivité des parcours en vue d'une meilleure gestion des ressources utilisées par le bétail.

MATERIEL ET METHODES

Milieu d'étude

La région d'Agadez est située à environ 950 km au nord-est de Niamey, entre 7°59' 00 E et 16°58' 00 N (figure 1). C'est une zone désertique (Monod et Durou 1988). La moyenne des précipitations enregistrées à la station météorologique d'Agadez de 1993 à 2002 était de 134 mm (<150 mm). En prenant la référence du climat désertique (P<150 mm), les années où les précipitations enregistrées étaient inférieures à 150 mm sont nombreuses. Ces pluviométries déficitaires caractérisant l'aridification de la zone d'Agadez ont augmenté au cours des années 1970 (figure 2). Agadez se trouvait en 1990 au delà de l'isohyète 150 mm (Breman et De Ridder, 1991). Au cours de la saison

des pluies qui a duré au maximum trois mois de juillet à septembre, les précipitations maximales ont été enregistrées en général en août. Le tapis herbacé a atteint son développement optimal en fin août et début septembre selon la date d'apparition des premières pluies utiles. La zone péri-urbaine d'Agadez est habitée principalement par des pasteurs touaregs possédant des troupeaux composites dominés par le dromadaire avec 41% des effectifs (Chaibou et Faye, 2005). Ces élevages étaient mobiles avec des déplacements selon le mode transhumant ou nomade. Pour cette étude, deux sites (Ikirkiwi et Tassack n'talam) de la zone péri-urbaine d'Agadez ont été échantillonnés en raison de leur production de lait entièrement vendue à une laiterie d'Agadez. Le premier se trouvait à 7 km de la ville d'Agadez et le deuxième à environ 50 km d'Agadez.

Bassin Laitier d'Agadez

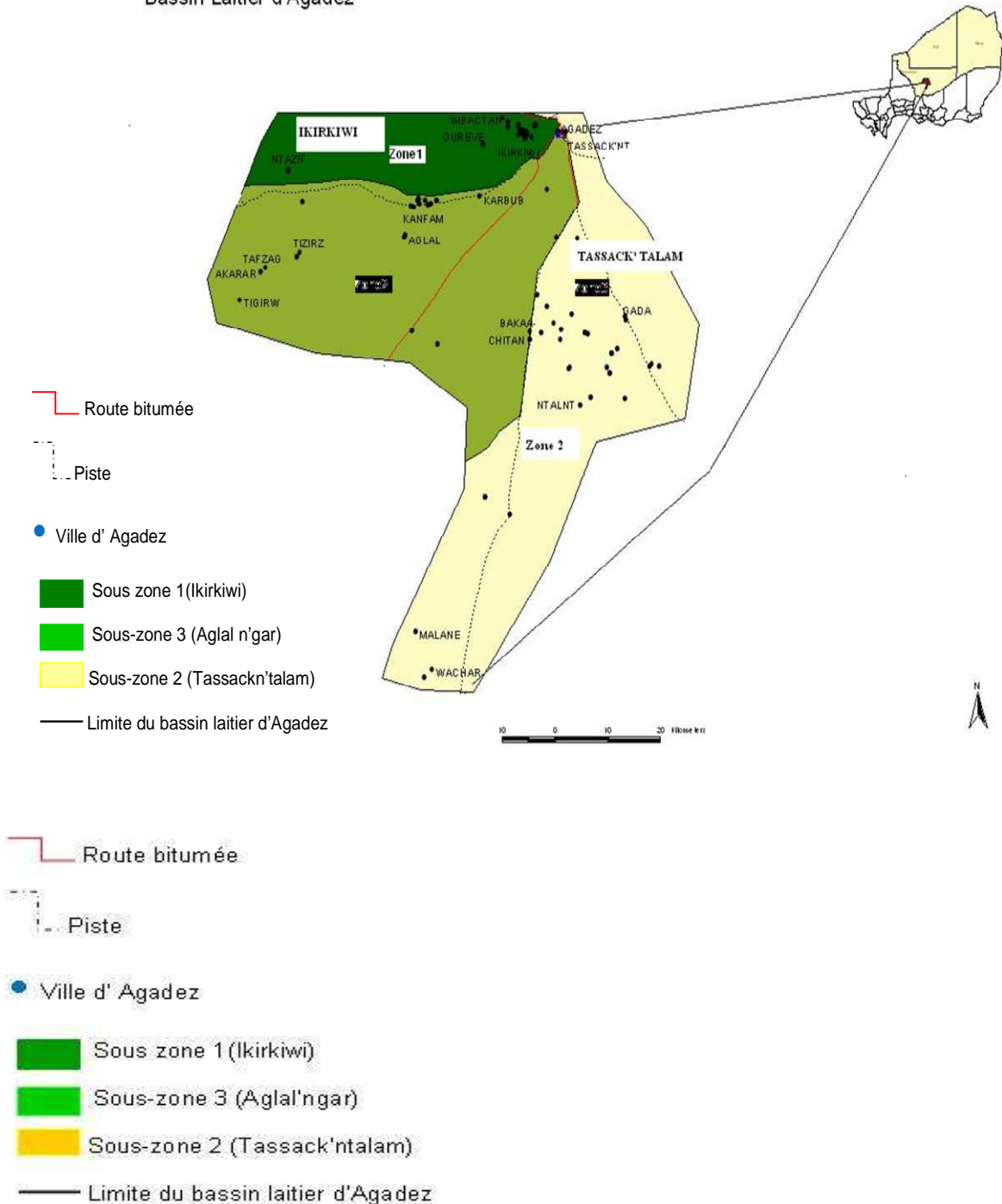


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

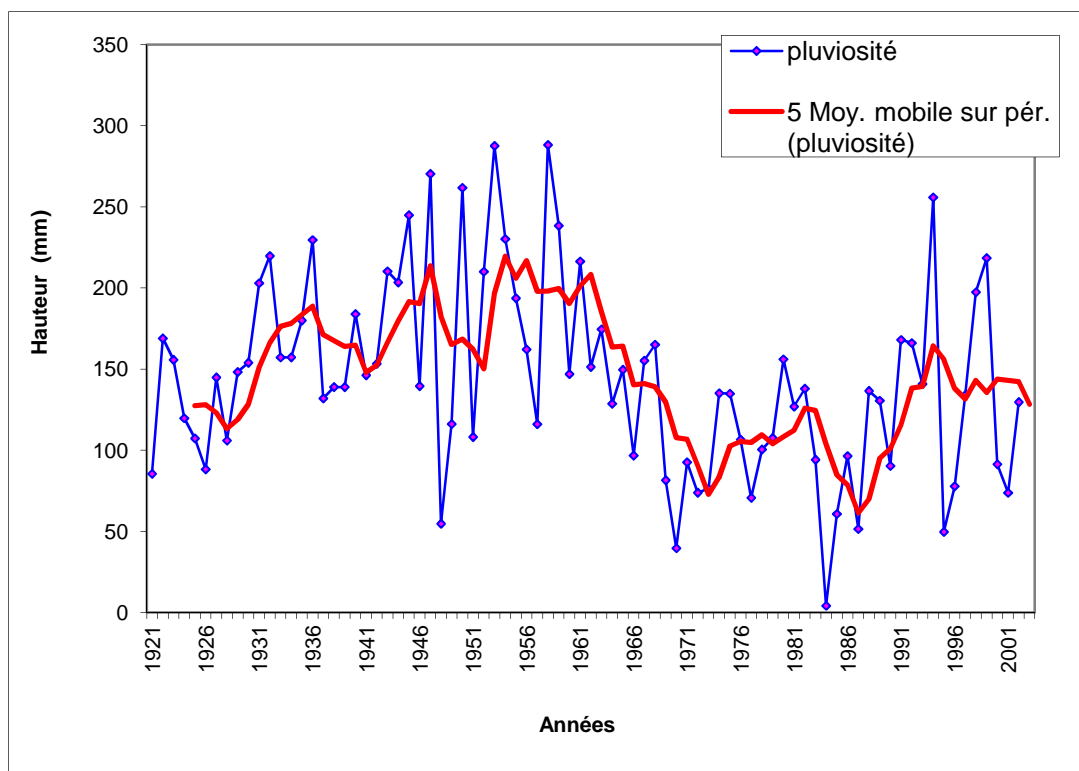


Figure 2. Evolution de la pluviosité enregistrée à la station météorologique d'Agadez sur 80 ans

- Site 1 (Ikirkwi) : C'est la zone de ruissellement du "Kori" Teloua. D'autres réseaux de ruissellement venant des pentes voisines de l'Air confluaient et formaient des mares temporaires en forme de chapelet. Les sols étaient argileux compacts dans les dépressions et sablonneux par endroit du fait de l'accumulation d'éléments fins venus des zones d'altitude. Cette zone est comprise entre la route Agadez-Arlit et la route latéritique Agadez-Ingall. La végétation du type steppique, est clairsemée, constituée essentiellement d'arbustes et d'arbres dont *Acacia raddiana*, *Acacia ehrenbergiana*, *Acacia nilotica*, *Salvadora persica*, *Balanites aegyptiaca*, *Boscia senegalensis* et *Maerua crassifolia*. Dans cette partie de la zone péri-urbaine, les éleveurs camelins s'y étaient fixés. Certains d'entre eux ont construit des habitations en banco et ne se déplaçaient plus. Leur grande proximité de la ville (7 km) leur permettait d'accéder rapidement aux intrants.
- Site 2 (Tassack n'talam) : Cette zone s'étendant jusqu'aux falaises de Tiguidit est traversée essentiellement par trois grandes vallées fossiles (Tassack n'talam, Adrar zaggren, et Tchiffaye n'jen) avec de nombreuses surfaces occasionnellement humides, des lits d'oueds, de grandes étendues de sables parsemées des affleurements caillouteux. C'est la zone localisée de part et d'autre de la route Agadez-Zinder (Giazzi, 1996). La strate arbustive, en dehors des alentours de la mare de Tassack n'talam, était quasi inexistante. Quelques individus de *Boscia senegalensis* et *Maerua crassifolia* étaient rencontrés.

Quantification de la biomasse aérienne des ligneux

La biomasse foliaire aérienne des ligneux, représentait dans cette zone l'essentiel du fourrage consommé par les animaux en saison sèche. L'évaluation de cette biomasse a été faite en début de la saison sèche (octobre). Pour chaque site, la biomasse foliaire "maximale" offerte, la biomasse foliaire "disponible" et la biomasse foliaire "accessible" pour le dromadaire ont été déterminées. Pour l'évaluation de cette biomasse foliaire produite par les formations végétales exploitées par le dromadaire il a été utilisé des équations d'allométrie. Ces équations permettaient de calculer la biomasse foliaire maximale à partir des dimensions physiques des arbres. La méthode a consisté à disposer deux placeaux de 100 m x 100 m (soit 1 ha) chacun et distants de 500 m au niveau de chaque site. A l'intérieur de chaque placeau, après un comptage total des arbres, des paramètres dendrométriques ont été mesurés sur chaque individu de chaque espèce recensée. Les paramètres mesurés sont : la circonférence du tronc à 20 cm du sol (C), la hauteur de la cime (H), le

recouvrement au sol du houppier (en mesurant le grand diamètre D_1 et le petit diamètre D_2), la hauteur au sol de la branche la plus basse (HBB). Au Sahel les quelques espèces étudiées par Cissé (1980), Piot *et al.* (1981), Poupon (1980) et Ickowicz (1995) ont permis l'établissement des régressions linéaires entre la biomasse foliaire (B) d'un individu et certaines de ses dimensions (tableau 1).

Tableau 1. Equations établies et utilisées pour calculer les biomasses foliaires des espèces ligneuses présentes dans les sites 1 et 2

Espèces	k	Equations	R ²	Critère de validité	Références
<i>Acacia raddiana</i>	7	$B_{ft} = 52,5.d - 44,64$	0,97	$0 < d < 30$	Piot <i>et al.</i> (1981)
<i>Acacia ehrenbergiana</i>	15	$\text{Log}(B_{ft}) = 0,38.\text{Log}(D_1) + 0,49.\text{Log}(D_2) - 1,47.\text{Log}(C) + 0,65$	0,96	$17 < C < 38$	Présente étude
<i>Balanites aegyptiaca</i>	48	$\text{Ln}(B_{ft}) = 1,06.\text{Ln}(C) + 1,34.\text{Ln}(H) - 4,34$	0,89	$52 < C < 250$	Cissé (1980).
<i>Boscia senegalensis</i>	30	$\text{Ln}(B_{ft}) = 0,47.\text{Ln}(R) + 0,77.\text{Ln}(N) + 0,91.\text{Ln}(H) - 4,85$	0,81	$10^4 < R < 99.10^4$	Cissé (1980)
<i>Maerua crassifolia</i>	15	$B_{ft} = 2,73 + 4,65.D_1 - 1,12.D_2 - 1,25.H$	0,98	$98 < H < 179$	Présente étude
<i>Calotropis procera</i>	9	$\text{Log}(B_{ft}) = 0,64.\text{Log}(R) + 0,24.\text{Log}(N) - 0,46$	0,93	$174 < R < 42.10^4$	Ickowicz (1995)

k : Effectif ; **Ln** : logarithme népérien ; **R** : recouvrement au sol du houppier (cm²) ; **Log** : logarithme décimal ; **d** : diamètre à la base du tronc (cm) ; **Bft** : biomasse foliaire totale (g MS) ; **N** : nombre de cépées ; **C** : circonférence à 20 cm du sol (cm) ; **H** : hauteur (cm).

Les paramètres dendrométriques utilisés dans ces régressions diffèrent selon l'espèce considérée. Les régressions suivantes établies étaient soit linéaire, soit *log* linéaire, simple ou multiple :

- régression linéaire (Piot *et al.*, 1981) : $B = a * x + b$ (1) ;

- régression *log* linéaire, simple ou multiple (Cissé, 1980 ; Poupon, 1980) :

$$\text{Log } B = a * \text{log } x + b * \text{log } x' + c \quad (2)$$

Ces modèles permettaient d'estimer la production de biomasse foliaire maximale d'un individu végétal. Cependant, dans le cas de notre étude il s'agissait de connaître plutôt la biomasse accessible (Bfa) pour le végétal concerné, c'est-à-dire celle qui était susceptible d'être réellement consommée par l'animal (étant donné que certaines parties du houppier étaient inaccessibles à l'animal, même si le feuillage était totalement disponible). Connaissant pour chaque espèce la biomasse foliaire totale ("biomasse maximale") produite (Bft), la fraction de celle-ci réellement accessible aux animaux, en faisant l'hypothèse que la biomasse foliaire totale est uniformément répartie dans l'ensemble du houppier, a été calculée sur la base de la relation suivante :

- $Bfa = (Bft).(Va).(Vt)^{-1}$, avec : (3)

Vt : volume total du houppier (m³) ; Va : volume du houppier accessible (m³) ; Bft : biomasse foliaire totale (kg MS) ; Bfa : biomasse foliaire accessible (kg MS).

Cependant, l'accessibilité des éléments fourragers comme les feuilles, les folioles... considérée, dépendait des deux facteurs essentiels suivants :

- la hauteur du houppier (cime) qui détermine ce qui a été appelé arbitrairement "*la disponibilité*" des feuilles. Elle a permis de calculer la biomasse foliaire disponible (Bfd). Ce concept dépend de l'espèce animale considérée et plus précisément de sa hauteur de prise alimentaire ;
- la pénétrabilité du houppier qui détermine l'accès aux feuilles "*disponibles*" qui a permis de calculer ce qui a été qualifié de « biomasse foliaire accessible » (Bfa). C'est un concept qui est liée à l'espèce végétale ligneuse, c'est-à-dire à sa forme et aux caractéristiques de son houppier (présence d'épines, rameaux rigides et serrés, houppier ouvert...).

❖ Pour la hauteur

La hauteur seuil (maximale) a été déterminée à 3 m pour les camelins, comme hauteur au delà de laquelle les feuilles ne sont plus "disponibles" pour lui. Elle a été déterminée sur le terrain après avoir effectué cinq fois de suite les mesures de la hauteur entre le sol et la branche la plus haute broutée par l'animal, sur des arbres différents. Le volume du houppier disponible (Vd) considéré a été alors celui situé entre cette hauteur (3 m) et la plus basse branche de l'arbre (HBB), paramètre relevé pour chaque espèce végétale recensée dans les placeaux. Pour calculer le volume total du houppier (Vt), une forme géométrique a été attribuée à chaque espèce (cône, sphère,...) reflétant au mieux la forme générale de son houppier (Montes *et al.*, 2000). Par exemple si le houppier a une forme sphérique, le volume total (Vt) a été exprimé sous la forme suivante :

$$\blacksquare Vt = 4/3 * (\pi * r^3) \quad (4)$$

Pour l'ensemble des espèces rencontrées dans les sites d'étude, trois formes géométriques différentes ont été décrites (figure 3) pour lesquelles les volumes sont exprimés comme suit :

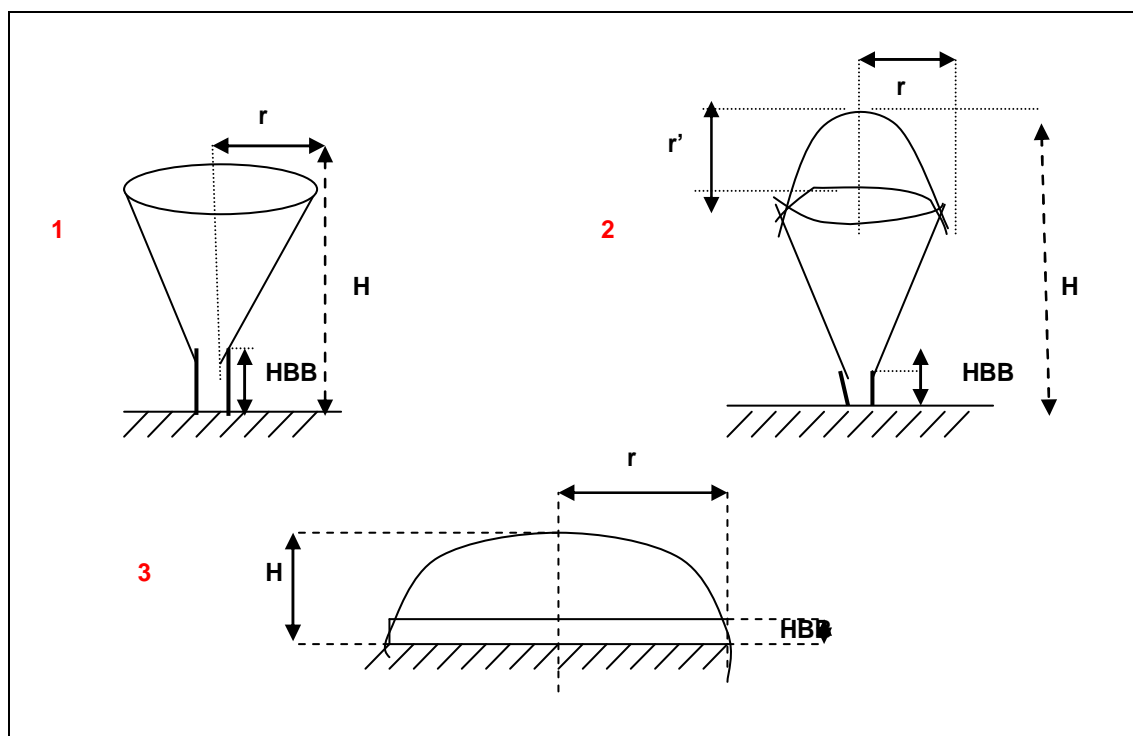
$$\blacksquare \text{Cône} + \frac{1}{2} \text{ sphère} : Vt = 1/3 * (\pi * r^2 * h) + 4/6 * (\pi * r^3) \quad (5)$$

$$\blacksquare \text{Cône} : Vt = 1/3 * (\pi * r^2 * h) \quad (6)$$

$$\blacksquare \text{Calotte sphérique} : Vt = 1/3 * [\pi * h^2 * (3r - h)], \text{ avec :} \quad (7)$$

h = hauteur et r = rayon

La portion du volume total (Vt) comprise entre 3 m et la plus basse branche (HBB) correspondait au volume disponible (Vd) dans le cas du dromadaire.



1 : Cône ; **2** : Cône + ½ sphère ; **3** : Calotte sphérique ; H : Hauteur ; HBB : hauteur de la plus basse branche ; D₁ & D₂ : diamètres (grand et petit) au sol du houppier ; R : rayon du houppier

Figure 3. Formes géométriques attribués aux houppiers des espèces végétales

❖ Pour la pénétrabilité

La pénétrabilité est la profondeur atteinte par l'animal dans le houppier. Pour l'évaluer, il a fallu déterminer d'abord par observations et par mesure *in situ* pour chaque espèce ligneuse, la profondeur (dans le houppier) approximative moyenne pour laquelle les rameaux et feuilles étaient atteints par

l'animal. Puis après, le volume accessible (V_a) a été estimé selon la forme du houppier. La biomasse foliaire accessible (B_a) était estimée suivant l'équation (3) $B_a = (B_{ft}) \cdot (V_a) \cdot (V_t)^{-1}$.

Les houppiers de *Balanites aegyptiaca* et de *Boscia senegalensis* avaient la forme de « cône + 1/2 sphère », tandis que ceux de *Acacia raddiana*, *Calotropis procera* et *Maerua crassifolia* étaient plutôt « cônique ». La « calotte sphérique » a été attribuée au houppier de *Salvadora persica*. Pour le calcul du volume disponible qui fait intervenir la hauteur maximale des branches atteinte par le dromadaire, les observations ont permis de considérer 3 m comme hauteur maximale. Quant au volume accessible qui fait intervenir la profondeur maximale du houppier atteinte par la bouche de l'animal, il a été considéré, compte tenu de la taille et de la forme des houppiers des individus ligneux présents dans les placeaux (dont la plupart étaient des arbustes), que le volume disponible était entièrement accessible ($V_d = V_a$) pour tous sauf pour les individus de *Salvadora persica*, présentant un houppier très large en calotte sphérique avec les deux diamètres très grands (7 m à 10 m). En effet, cette plante avait une forme élargie latéralement avec de très longues branches renfermées sur elles mêmes, engendrant de très grandes surfaces couvertes. Par conséquent la pénétrabilité pour ce type de houppier n'était pas totale. Le rayon maximal du houppier de *Salvadora persica* sur ces sites était de 3,5 m. Les observations de terrain menées, complétées avec une dizaine d'essais de mesures des profondeurs atteintes par les bouches des dromadaires, ont permis de retenir un mètre (1 m) comme profondeur atteinte dans le houppier de l'arbre par la bouche de l'animal.

Cette évaluation de la biomasse de la strate ligneuse a été effectuée au niveau des deux sites localisés dans la zone pastorale péri-urbaine d'Agadez à savoir Ikirkiwi (site 1) et Tassack n'talam (site 2). Les méthodes décrites précédemment ont permis de déterminer pour chaque individu échantillonné, le volume total du houppier, le volume disponible et le volume accessible, ainsi que les biomasses foliaires totale, disponible et accessible. Ces valeurs ont été additionnées selon l'effectif de chaque ligneux dans les deux sites. Ceci a permis d'obtenir, par l'utilisation des équations d'allométrie, les biomasses foliaires totale (B_{ft}) et accessible (B_a) au dromadaire par hectare. Cependant, des modèles de régression pour estimer la biomasse maximale produite par *Maerua crassifolia* et *Acacia ehrenbergiana* n'ont presque pas été documentés. Pour ces espèces, nous avons procédé à la destruction de 15 individus de chaque espèce, choisis au hasard et sur lesquels les paramètres dendrométriques (Diamètres D_1 et D_2 du houppier, hauteur (H), circonférence du tronc à 20 cm (C), hauteur au sol de la plus basse branche (HBB), nombre de cépées (N) ont été mesurés au préalable.

Ces arbustes abattus ont été effeuillés totalement et la biomasse foliaire totale pesée, ce qui a permis d'établir une régression linéaire entre cette biomasse foliaire et les paramètres physiques mesurés. Avant d'établir les régressions, une Analyse en Composante Principale décrivant les corrélations entre la biomasse foliaire totale et les valeurs des différentes dimensions physiques de l'arbre a été effectuée. Les équations de régression ont été établies grâce au logiciel XLstat avec les paramètres les plus corrélés à la biomasse foliaire totale.

RESULTATS

L'objectif de l'étude est d'évaluer le potentiel des ressources fourragères d'origine ligneuse du milieu comme base alimentaire afin de circonscrire l'ensemble des ressources disponibles et accessibles au cheptel à un temps donné.

Modèles de régression

L'analyse en composante principale (ACP) effectuée sur les valeurs de la biomasse foliaire totale et les valeurs des autres paramètres physiques de l'arbre a généré un cercle de corrélation qui a mis en relation ces différents paramètres de l'arbre dans un plan factoriel F1-F2. Ce plan F1-F2 qui expliquait le maximum d'informations, soit 87,01% d'informations pour *Acacia ehrenbergiana* (figure 4) et 86,92% pour *Maerua crassifolia* (figure 5), reflétait la parfaite corrélation entre les différents paramètres. Ainsi, la biomasse foliaire était bien corrélée principalement avec D_1 , D_2 et H et secondairement avec HBB pour *Maerua crassifolia*. Pour cette espèce, la régression linéaire a montré un coefficient de corrélation $R^2 > 98\%$ (tableau 1). *Acacia ehrenbergiana* a montré 87,01% de la variance expliquée sur le plan factoriel F1-F2 (figure 4) et qui traduisait une parfaite relation entre la circonférence (C), les diamètres (D_1 et D_2) du houppier et la biomasse foliaire totale (B_{ft}). La régression établie avec ces paramètres a montré un coefficient de corrélation R^2 de 96%. Le meilleur coefficient de corrélation était obtenu avec la circonférence du tronc (C) et les diamètres du houppier (D_1 et D_2). Pour *Maerua crassifolia*, la meilleure régression (coefficient de corrélation élevé, $R^2 = 98\%$) était obtenue avec les 2 diamètres (D_1 et D_2) et la hauteur (H). Dans le cas de *Acacia ehrenbergiana*,

une transformation logarithmique (logarithme décimal) a simplifié ces équations allométriques uniformisant les données et stabilisant la variance pour leur meilleure représentation sous forme de nuage de points. Les biomasses foliaires totales ont été calculées à partir des équations ainsi établies (tableau 1).

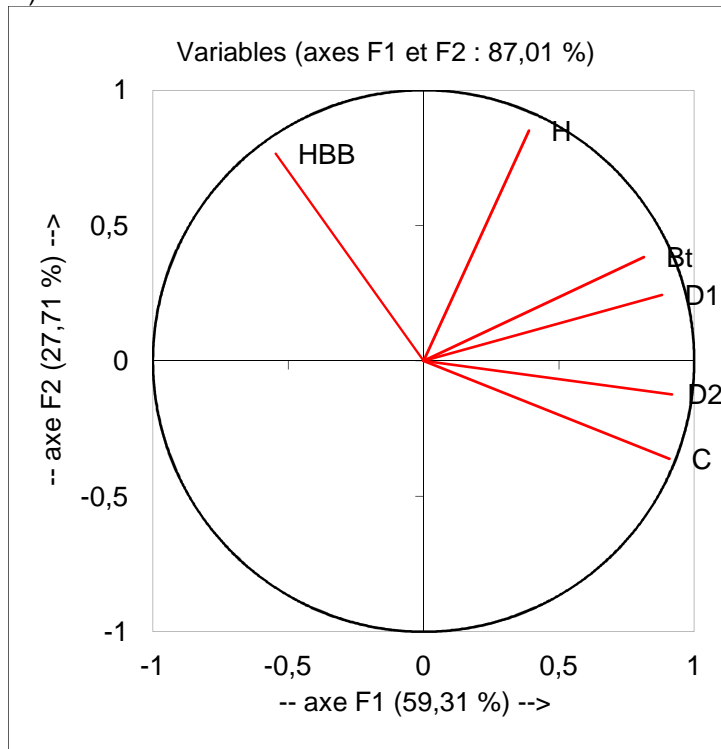


Figure 4. Corrélation entre la biomasse foliaire totale et les traits physiques de *Acacia ehrenbergiana*

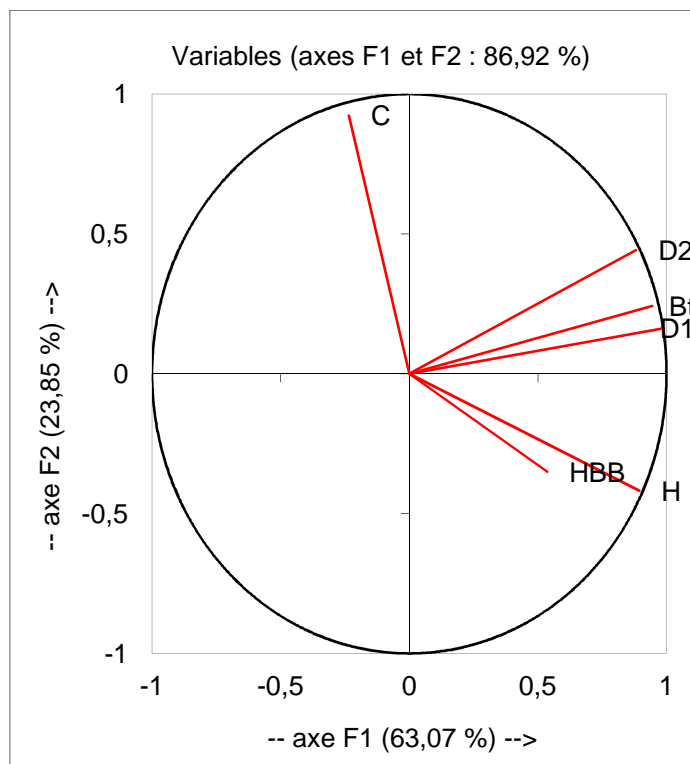


Figure 5. Corrélation entre la biomasse foliaire totale et les traits physiques de *Maerua crassifolia*
Productivité foliaire des arbres

Les modèles de régressions établies ont été utilisés pour déterminer les biomasses foliaires disponibles et accessibles. A Ikirkiwi (site 1) des espèces comme *Acacia raddiana*, *Salvadora persica* avaient un recouvrement important (respectivement 175,59 m².ha⁻¹ et 199,35 m².ha⁻¹), mais avec un apport de biomasse accessible très faible (9,51 kg MS.ha⁻¹ et 6,68 kg MS.ha⁻¹). D'autres espèces ayant un faible recouvrement (notamment, *Maerua crassifolia*, *Boscia senegalensis*...) mais contribuaient de façon significative à la biomasse foliaire accessible. Cette particularité peut être liée au type de port, soit élevé, soit buissonnant. Le site de Ikirkiwi offrait une disponibilité fourragère relativement importante (31,35 kg MS.ha⁻¹) en raison de la densité moyenne importante à l'hectare (23 pieds.ha⁻¹) des individus mais aussi des espèces qui présentaient des recouvrements importants à l'hectare (cas de *Salvadora persica* et *Maerua crassifolia*) (tableau 2).

Au niveau du site 2 (Tassack'n talam), ce sont *Acacia ehrenbergiana* et *Maerua crassifolia* qui apportaient beaucoup plus de biomasse foliaire accessible (25,62 kgMS.ha⁻¹ et 14,29 kg MS.ha⁻¹). Si le recouvrement était important pour la première espèce, il était moindre pour la seconde (tableau 3). L'importance de sa production de biomasse a été lié au type de port qui était buissonnant. Par ailleurs la densité des individus à l'hectare et le type de port végétal avaient joué un rôle important dans l'offre de biomasse foliaire totale. Pour les deux zones la moyenne de la biomasse foliaire totale (Bft) produite était de 31,8 ± 5,7 kg MS.ha⁻¹, tandis que la biomasse foliaire accessible (Bfa) pour le dromadaire était en moyenne de 27,7 ± 2,9 kg MS. ha⁻¹. Quant à la surface recouverte par les arbres et arbustes, elle était de 348,82 m² sur un hectare, ce qui représentait un recouvrement ligneux au sol d'environ 3,5 % pour l'ensemble des sites (tableaux 2 et 3).

Tableau 2. Estimations ramenées à l'hectare des principaux paramètres physiques et la biomasse des populations ligneuses à Ikirkiwi

Ikirkiwi	eff	R (m ²)	Vt (m ³)	Vd (m ³)	Va (m ³)	Bft (kgMS)	Bfd (kg MS)	Bfa (kg MS)
Espèces								
<i>Boscia senegalensis</i>	19	108,03	166,85	157,46	157,46	15,73	15,03	15,03
<i>Acacia raddiana</i>	14	175,59	262,92	187,57	187,57	13,41	9,51	9,51
<i>Maerua crassifolia</i>	11	79,81	101,53	63,07	78,54	55,08	44,67	44,67
<i>Salvadora persica</i>	13	199,35	372,33	361,93	280,41	8,70	8,50	6,68
Total	57	562,78	903,63	770,03	703,99	92,92	77,71	75,89
Biomasse (kg MS ha⁻¹)						37,49	31,35	30,62

Tableau 3. Estimations ramenées à l'hectare des principaux paramètres physiques et la biomasse des populations ligneuses à Tassack n'talam

Tassack n'talam	eff	R (m ²)	Vt (m ³)	Vd (m ³)	Va (m ³)	Bft (kgMS)	Bfd (kg MS)	Bfa (kg MS)
Espèces								
<i>Boscia senegalensis</i>	6	5,76	7,32	6,86	6,86	10,46	10,01	10,01
<i>Acacia raddiana</i>	11	34,94	40,81	35,86	35,86	7,60	6,58	6,58
<i>Maerua crassifolia</i>	4	14,59	15,13	14,89	14,89	14,51	14,29	14,29
<i>Acacia ehrenbergiana</i>	16	49,89	68,31	58,10	58,10	27,26	25,62	25,62
<i>Balanites aegyptiaca</i>	3	22,85	23,20	22,27	22,27	9,98	9,56	9,56
<i>Calotropis procera</i>	5	6,81	6,69	6,55	6,55	3,57	3,50	3,50
Total	45	134,85	161,47	144,53	144,53	73,39	69,56	69,56
Biomasse (kg MS ha⁻¹)						26,09	24,73	24,73

R : recouvrement (m²) ; Vt : volume total du houppier (m³) ; Vd : volume disponible (m³) ; Va : volume du houppier accessible au dromadaire (m³) ; Bft : biomasse foliaire totale (kg MS) ; Bfd : biomasse foliaire disponible (kg MS) ; Bfa : biomasse foliaire accessible (kg MS)

DISCUSSION

L'évaluation de la biomasse maximale produite par les ligneux, pose toujours de problèmes et reste encore fastidieuse et très coûteuse en temps. En effet, très peu de travaux sur la biomasse ligneuse utilisée comme fourrages sont réalisés en zone tropicale, plus particulièrement les zones arides. Peu de travaux scientifiques ont fourni des données quantitatives sur la productivité de la biomasse foliaire de quelques espèces végétales au Sahel (Cissé, 1980 ; Piot *et al.*, 1981 ; Hiernaux, 1980 ; Ickowicz, 1995). Leurs résultats ont néanmoins produit des modèles allométriques permettant le calcul de biomasse foliaire maximale en fonction des paramètres physiques de l'arbre. Certaines équations relevées dans la littérature (Ickowicz, 1995 ; Piot *et al.* 1981 ; Cissé 1980) permettent, pour la plupart des espèces évoquées dans la présente étude, d'estimer leur production maximale en biomasse foliaire, car ces régressions sont considérées comme applicables aux mêmes espèces relevées sur nos sites étudiés. Cependant, *Acacia raddiana* à recouvrement assez important (175,59 m².ha⁻¹), présente un apport en biomasse foliaire accessible très faible (9,51 kg MS). En revanche d'autres espèces à faible recouvrement comme *Maerua crassifolia* (55,08 kgMS. ha⁻¹) et *Boscia senegalensis* (15,73 kg MS.ha⁻¹) contribuent significativement à la fourniture de biomasse foliaire accessible aux camelins installés dans cette zone péri-urbaine. Cette particularité peut être liée au type de port, élevé, buissonnant et épineux. Le site1 (Ikirkiwi) offre une disponibilité fourragère plus importante en raison de la densité des arbres plus importante (23 pieds.ha⁻¹) et des individus qui présentent des recouvrements relativement importants à l'hectare (cas de *Salvadora persica* et *Maerua crassifolia*).

La strate ligneuse se caractérise par une productivité spatiale très variable en liaison avec le substrat et la composition des peuplements (Bremner et De Ridder, 1991). Au Mali, des estimations de production foliaire annuelle dans le ranch de Niono ont donné des quantités allant de 3,5 t MS.ha⁻¹ à 21 kg MS.ha⁻¹ (Hiernaux, 1980). Mais cette production correspond à la biomasse foliaire produite au maximum de végétation, c'est-à-dire au mois d'octobre dans le cas de cette zone. Dans le Ferlo au sahel sénégalais Ngom *et al.* (2009) étudiant certaines espèces ont obtenu une production globale de 50 kg MS.ha⁻¹, ce qui est largement au delà de la productivité trouvée dans notre zone d'étude (37,49 kg MS.ha⁻¹ pour le site 1 et 26,09 kg MS.ha⁻¹ pour le site 2). A Fété Olé, au Sénégal, des formations sur dunes donnent une production de biomasse foliaire maximale de 18 kg MS.ha⁻¹ et dans les dépressions 864 kg MS.ha⁻¹ (Poupon, 1980). Ces variations spatiales sont essentiellement dues aux conditions climatiques, à une grande diversité et une forte densité variable des espèces végétales selon le type de formation. Certains pâturages abritent beaucoup d'espèces sempervirentes, ce qui peut influencer la disponibilité globale en biomasse consommable d'un site pendant une période donnée. En revanche, selon Hiernaux *et al.* (1992), la présence massive sur un pâturage des espèces caducifoliées dépourvues de feuilles explique les productivités faibles en biomasse foliaire particulièrement au cours de la saison sèche. Globalement, les valeurs trouvées sur les deux sites de la zone péri-urbaine d'Agadez sont comparables à celles obtenues par Piot *et al.* (1981) sur des pâturages autour de la mare d'Oursi (Sahel burkinabé) pour des formations sur sable et glaciés et estimées respectivement à 30 et 40 kg MS.ha⁻¹. Toutefois, l'évaluation des biomasses des formations ligneuses par la méthode destructive, quoique fastidieuse, donne des estimations plus satisfaisantes. L'utilisation des régressions permet d'estimer directement la production de biomasse foliaire des individus d'une espèce végétale bien déterminée et d'éviter la destruction du végétal. Ceci n'est possible qu'après avoir attribué au houppier de chaque espèce une forme géométrique permettant d'évaluer son volume (Montes *et al.*, 2000). Toutefois, la meilleure corrélation entre la biomasse foliaire totale et les paramètres dendrométriques s'obtient avec la surface au sol du houppier et la hauteur de l'arbre. Le principal avantage de l'utilisation de ces deux paramètres étant la fiabilité de l'estimation de la biomasse totale potentielle. La biomasse foliaire accessible pour les troupeaux camelins de cette zone étant estimée à partir de la biomasse foliaire totale individuelle, pour l'ensemble des sites étudiés, l'offre fourragère de saison sèche est estimée à 346,6 kg MS.ha⁻¹. Cette biomasse accessible est variable selon qu'il s'agisse d'une chèvre ou d'un dromadaire qui prélève le végétal. Les équations allométriques varient en fonction de l'âge, de la phénologie des plantes et de la pression du pâturage (Ngom *et al.*, 2009). Ainsi cette production fourragère, peut constituer dans un milieu à vocation pastorale un bon indicateur pour appréhender les fonctions de production des écosystèmes pâturés. Cependant toute extrapolation des modèles de calcul de la productivité de biomasse foliaire à une plus grande échelle en particulier si les conditions écologiques, climatiques, édaphiques sont différentes, reste aléatoire.

CONCLUSION

En milieux arides, la production de la biomasse herbacée est faible et peu adéquate à l'affouragement du bétail, sauf en saison pluvieuse. L'essentiel de l'offre alimentaire relève de la strate ligneuse essentiellement arbustive et traduite par la biomasse des formations exploitées par des camélins. L'étude permet d'estimer à l'aide des modèles allométriques mis au point la production en biomasse foliaire de quelques formations ligneuses de zone aride. Ainsi, à partir des régressions intégrant des caractéristiques physiques de l'arbre l'évaluation de la production de biomasse est faite sans détruire le végétal. Mieux, cet outil permet d'évaluer la productivité des parcours pour une meilleure gestion des ressources utilisées par le bétail et dans le cas d'espèce par les camélins. Toutefois, l'évaluation de la biomasse fourragère aérienne ligneuse reste encore complexe en raison de la diversité des strates et physiologies des individus constitutifs. Sa nature et sa variabilité spatiale et temporelle sont également accusées dans le développement tardif des méthodes permettant sa quantification. L'étude met en évidence toutes les difficultés inhérentes aux travaux de recherche relatifs aux fourrages ligneux en zone aride. Pourtant, ces méthodes sont utiles dans le cadre d'évaluation de la production des pâturages pour préserver et sécuriser le faible disponible fourrager des milieux à risques. Par conséquent, d'autres études sont indispensables afin de standardiser de tels modèles pour des espèces de diverses familles botaniques dans différentes zones agro-écologiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bille, J.C., 1980: Mesure de la production primaire appétée des ligneux: 123-184. *In* : LE HOUEROU H.U.(éd.) Les fourrages ligneux en Afrique : Etat actuel de connaissances. CIPEA éditions, Addis-Abeba, Ethiopie.
- Bognounou, F., M. Savadogo, I. J. Boussim, S. Guinko, 2008 : Foliage biomass production equations of five Sudanian woody species of Burkina Faso. *Sécheresse*, 3 (19) : 201-205.
- Breman, H., De Ridder, N., 1991 : Manuel sur les pâturages des pays sahéliens, Karthala et CTA, Wageningen, Netherlands.
- Chaibou M., 2005 : Productivité zootechnique du désert : le cas du bassin laitier d'Agadez au Niger. Thèse de Doctorat ès Sciences. Université de Montpellier II, Montpellier, France, 369 p.
- Chaibou, M., Faye, B., 2005 : Fonctionnement des élevages camélins de la zone péri-urbaine d'Agadez au Niger : enquête typologique. *Revue Elev. Méd. Vét. Pays trop*, 58 (4) : 273-283.
- Chaibou, M., B. Faye, G. Vias, 2011 : Composition botanique du régime des dromadaires et valeurs alimentaires des plantes ingérées sur un parcours aride du Niger. *Bull. Anim. Hlth. Prod. Afr.*, 2 (59) : 259-273.
- Cisse, M.I., 1980 : Production fourragère de quelques arbres sahéliens : relation entre biomasse foliaire maximale et divers paramètres physiques : 209-212. *In* : LE HOUEROU H.N. (ed), Les fourrages ligneux en Afrique : Etat actuel de connaissances. CIPEA éditions, Addis-Abeba, Ethiopie.
- Ekaya, N. W., 2007 : Stratégies de développement de l'agriculture en zone aride : le rôle du savoir. <http://knowledge.cta>, consulté le 10/04/2012 à 09 h.
- Fall-Toure, S., 1993 : Valeur nutritive des fourrages ligneux, leur rôle dans la complémentation des fourrages pauvres des milieux tropicaux. Thèse de Doctorat ENSAM, Montpellier, France, 139 p.
- Giazi, F., 1996 : La réserve naturelle nationale de l'Aïr et du Ténéré. (Niger). UICN, Gland, Suisse.
- Hiernaux, P., 1980 : L'inventaire du potentiel fourrager des arbres et arbustes d'une région du sahel Malien. Méthodes et premiers résultats : 95-202 *In* : Le Houerou H.U. (éd.), Les fourrages ligneux en Afrique : Etat actuel de connaissances. CIPEA éditions, Addis-Abeba, Ethiopie.
- Hiernaux, P., M.I. Cisse, L. Diarra, P.U. Leeuw, 1992: Fluctuations saisonnières de la feuillaison des arbres et des buissons sahéliens. Amélioration de l'évaluation des ressources fourragères des parcours sahéliens. CIPEA éditions, Bamako, Mali.
- Ickowicz, A., 1995 : Approche dynamique du bilan fourrager appliquée à des formations pastorales du Sahel Tchadien. Thèse de Doctorat d'université, Université Paris XII Val de Marne, Créteil, France, 472 p.
- Laporte, N., A. Baccini, S. Goetz, P. Mekui, A. Bausch, 2010 : Une première estimation de la biomasse ligneuse aérienne d'Afrique sur la base d'images satellites et d'inventaires forestiers. *Proceeding of the Conference on Carbon stock and Fluxes*, COMIFAC, Brazzaville, 58-65.
- Le Houerou, H. N., 1980 : Fourrages ligneux en Afrique : Etat actuel de connaissances. CIPEA éditions, Addis-Abeba, Ethiopie.
- Monod, T., Durou J.M., 1988: Déserts. éd. AGEP, Marseille, France.
- Montes, N., T. Gauquelin, W. Badri, V. Bertaudiere, E. H. Zaouri, 2000: A non-destructive method of estimating above ground forest biomass in the threatened woodlands. *For Ecol Manage*, 130: 37-46.

Ngom, D., S. Diatta, L. E. Akpo, 2009: Estimation de la production fourragère de deux ligneux sahéliens (*Pterocarpus lucens* Lepr. Ex Guill. & Perrot et *Grewia bicolor* Juss) au Ferlo (Nord Sénégal). [*Livestock Research for Rural Development*, 21 \(8\) 2009](#). <http://www.lrrd.org/lrrd>, consulté le 16/04/2012 à 20h10.

Piot, J., J.P. Nebout, B. Toutain, 1981 : Utilisation des ligneux sahéliens par les herbivores domestiques. *Étude quantitative dans la zone sud de la mare d'Oursi*. GERDAT/CTFT-IEMVT, Paris, France.

Poupon, J., 1980 : Structure dynamique de la strate ligneuse d'une steppe sahélienne au nord du Sénégal. ORSTOM, Paris, France.

Toure, I., Gillet, H., 1989 : Technique d'inventaire des ligneux et d'estimation de la biomasse ligneuse appréciée : 695-726. *In* : Séminaire régional sur les fourrages et l'alimentation des ruminants, N'Gaoundéré, Cameroun.

Wylie, B. K., J. A. Harrington, S. D. Prince, I. Denda, 1991: Satellite and ground based pasture production assessment in Niger. *Int. J. Remote sensing*, 12 (6):1281-1300.