

Variabilité inter-provenances de la production de gomme arabique par *Acacia senegal* (L.) Willd en relation avec la croissance des arbres et l'efficience d'utilisation de l'eau

Chimène Fanta ABIB^{1*}, Adamou IBRAHIMA², Mama NTOUPKA³, Jean-Marie TAPSOU³, Jean-Michel HARMAND⁴, Philippe THALER⁴, Régis PELTIER⁵ et Erwin DREYER^{6,7}

¹ Département des Sciences Biologiques, Faculté des Sciences, Université de Maroua, BP 46, Maroua, Cameroun

² Département des Sciences Biologiques, Faculté des Sciences, Université de Ngaoundéré, BP 454, Ngaoundéré, Cameroun

³ Institut de Recherche Agricole pour le Développement, IRAD, BP 33, Maroua, Cameroun

⁴ Cirad Umr Eco & Sols 2 place Viala, Bât. 12 34060 Montpellier, France

⁵ Cirad Upr Bsef Biens et Services des Ecosystèmes Forestiers Tropicaux, Campus de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 05, France

⁶ Inra, UMR 1137 "Ecologie et Ecophysiologie Forestières", F-54280 Champenoux, France

⁷ Université de Lorraine, UMR 1137 "Ecologie et Ecophysiologie Forestières", Faculté des Sciences, F 54500 Vandoeuvre

* Correspondance, courriel : chimeneabib@yahoo.fr

Résumé

Acacia senegal (L.) Willd. est une plante à usage multiple par excellence du Sahel. Elle est la principale productrice de la gomme arabique qui est l'un des rares produits agricoles d'exportation des zones semi-arides et arides africaines. Mais les déterminants physiologiques de la gommose demeurent mal connus. C'est pourquoi, cette étude vise à mettre en exergue la relation pouvant exister entre l'efficience intrinsèque d'utilisation d'eau (EUE_i) via $\Delta^{13}C$, la croissance des arbres avec la production de gomme arabique chez *A. senegal*. Cette étude a été menée *in situ* dans la localité de Balda, situé à environ 60 km de Maroua, sur 5 provenances dont une locale et 4 exotiques provenant du Soudan (1), du Sénégal (2) et de l'Inde (1). Les résultats de ce travail montrent que la provenance locale est en générale plus productive en gomme arabique que toutes les provenances introduites au Nord-Cameroun. De plus, les grands et gros arbres se sont révélés moins productifs. La mesure de la discrimination isotopique contre le $\Delta^{13}C$ lors de la photosynthèse dans les feuilles de lumière a révélé des différences significatives entre provenances, avec des valeurs plus faibles pour la provenance locale que celles des provenances introduites. Le $\Delta^{13}C$ et la teneur en azote des feuilles (% N) sont positivement corrélés. Cependant, ces deux variables sont négativement corrélées à la production de gomme. Les résultats ainsi obtenus montrent que les arbres les plus productifs en gomme arabique ont une EUE_i faible. Ces résultats peuvent permettre d'identifier des génotypes appropriés de *A. senegal* pour les programmes de reforestation, de réhabilitation des terres et de production de gomme.

Mots-clés : $\Delta^{13}C$, EUE_i , gomme arabique, *Acacia senegal*, stress hydrique.

Abstract

Inter- provenances variability of gum arabic yield by *Acacia senegal* (L.) Willd related to tree growth and water use efficiency

Acacia senegal (L.) Willd is an important multipurpose species in the Sahel. Gum Arabic is the principal product of this species and among the rare agricultural products exported in the arid and semi-arid zone of Africa. However, the physiological determinants of the gummosis remain unknown and reason why this study aims to determine the relation water use efficiency (WUE) by Carbon Isotope Discrimination $\Delta^{13}\text{C}$, tree growth and Gum Arabic production in *A. Senegal*. The experiment was conducted *in-situ* in the semi-arid zone at Balda. Results indicated that, the local provenance had highest production of gum arabic than those originating from other provenances. In addition, tall and large trees were less productive. In effect the measure of Carbon isotope discrimination against $\Delta^{13}\text{C}$ in the leaves during photosynthesis indicated the indirect efficient water use as significant effect was found among provenances with low value in local provenance than introduced provenances. $\Delta^{13}\text{C}$ and the nitrogen (N %) content in leave are positively correlated meanwhile, these two variables are negatively correlated to gum production indicating that trees with good efficiency in water use have good potential for gum production. The result obtained permits the identification of genotypes that can be used in reforestation, soil restoration and production of gum Arabic.

Keywords : $\Delta^{13}\text{C}$, WUE, gum Arabic, *Acacia senegal*, hydric stress.

1. Introduction

Acacia senegal (L.) Willd. est une espèce africaine à usage multiple très présente dans les systèmes agroforestiers, particulièrement des zones soudano-sahélienne et sahélienne de l'Afrique tropicale. C'est un arbre qui pousse sur une large gamme de sols, avec une préférence marquée pour les sols sableux des milieux arides ou semi-arides [1]. *A. senegal* est capable de fixer l'azote atmosphérique et de le restituer au sol tout en augmentant son taux de matière organique [2]. Elle contribue ainsi à la préservation et/ou à l'amélioration de la fertilité des sols. *A. senegal* est surtout connu comme étant la meilleure espèce productrice de gomme arabique. Cette gomme est très recherchée dans les secteurs alimentaire (qui consomme près de 70 % de la production totale), pharmaceutique, textile, etc. [1, 3, 4]. Les meilleurs producteurs de la gomme arabique aujourd'hui sont le Soudan, le Nigéria et le Tchad. Bien que le Cameroun ait les mêmes atouts de production que le Tchad, sa production est cependant sept fois moins. Ainsi, pour augmenter sa production de gomme, le gouvernement camerounais encourage la plantation de cette espèce en verger ou dans les programmes de reboisement forestier. La faible production de gomme au Nord Cameroun serait due à plusieurs facteurs dont la mauvaise maîtrise des techniques de production et surtout l'introduction de provenances mal adaptées au contexte soudano-sahélien. Or, Le rendement varie énormément d'un arbre à un autre et d'une année à une autre, à cause de la variation de la réponse physiologique d'un sujet à un autre et de la variation des conditions environnementaux surtout climatique [5]. En effet, l'activité physiologique de la plante est gouvernée par l'activité photosynthétique qui est elle-même dépendante des facteurs environnementaux tels que le climat, la pédologie et la fertilité du sol ceci dit, la plante puise la quasi-totalité des éléments dont elle a besoin pour son bon fonctionnement dans son environnement le plus proche. Le processus de la gommose et l'exsudation de la gomme sont des événements qui se produisent exclusivement en présence de stress hydrique or, la réponse des plantes à un déficit hydrique varie d'une espèce à une autre et d'un individu à un autre. En effet, l'aptitude d'une espèce à faire face aux événements extrêmes tels que la canicule ou la sécheresse dépend du phénotypique des individus et de la capacité d'adaptation des populations [6].

Une estimation de la variabilité génétique pour des caractères adaptatifs comme la croissance est alors nécessaire. Ainsi, pour une bonne production de gomme, il faudrait miser sur des plantes plus sensibles au déficit hydrique puisqu'une étroite relation a été relevée entre exsudation de gomme et défoliation [7]. Actuellement, de telle sélection peut se faire grâce à la mesure de l'efficacité intrinsèque d'utilisation d'eau (EUE_i) car en général, les génotypes les plus efficaces sont également les plus sensibles à la sécheresse [8]. Pour les plantes en C_3 comme *A. senegal*, les processus foliaires élémentaires déterminant EUE_i sont également ceux régissant la discrimination isotopique du carbone 13 ($\Delta^{13}C$) lors de l'entrée du CO_2 dans les feuilles, de sorte que la mesure de $\Delta^{13}C$ peut être considérée comme une méthode d'évaluation indirecte de EUE_i [9-11]. En effet, $\Delta^{13}C$ est généralement considéré comme un estimateur rétrospectif de l' EUE_i , reflétant directement le niveau de compromis entre la quantité de matière produite à partir d'une quantité maximale de CO_2 assimilée et la minimisation des pertes associées à la transpiration [12]. Ce concept a permis de caractériser la diversité inter et intra spécifique de nombreux arbres. Il a été aussi utilisé comme critère de sélection des cultures, puisque $\Delta^{13}C$ est facilement estimable et possède une forte héritabilité [11]. Les informations disponibles relatives aux variations de $\Delta^{13}C$ et par conséquent de l'efficacité intrinsèque d'utilisation d'eau des arbres en Afrique et particulièrement sur celles des zones arides ou semi-arides, restent très limitées [12-14]. Ainsi, l'objectif de cette étude est de déterminer la relation existante entre l' EUE_i via la mesure de $\Delta^{13}C$, la croissance des arbres et la production de gomme arabique chez cinq provenances d'*A. senegal* donc 4 introduites au Nord-Cameroun. De ce fait, ce travail est basé sur deux hypothèses: la variation de la productivité en gomme arabique entre les provenances est liée à la croissance et ou à l'accumulation de la biomasse des arbres (1) et aussi que la variation de la productivité en gomme arabique entre les provenances est liée à la différence dans l'utilisation efficace d'eau comme indiqué par la différence de $\Delta^{13}C$ (2).

2. Méthodologie

2-1-Site d'étude

L'étude a été réalisée entre 2008 et 2011 dans la localité de Balda à 60 Km de la ville de Maroua, dans la Région de l'Extrême-Nord Cameroun ($10^{\circ}53'20$ N, $14^{\circ}38'00$ E, 330 m d'altitude) (**Figure 1**). Le climat de cette région est de type soudano-sahélien avec une courte saison de pluies (juin – septembre) et une longue saison sèche (octobre – mai). La pluviométrie moyenne annuelle est de 800 mm, la température moyenne annuelle est de $27,5^{\circ}C$. L'ETP varie entre 5 et 85 mm respectivement pour le mois le plus chaud (avril) et le mois le plus arrosé (août). Le sol est de type dunaire à sesquioxyde de fer. La formation végétale naturelle est une savane arbustive épineuse avec les espèces dominantes comme *Balanites aegyptiaca*, *Tamarindus indica*, *Ziziphus mauritiana*, *Acacia senegal*, *Cassia singuena*, *Annona senegalensis*, *Combretum spp*, *Daniellia oliveri*, *Strychnos innocua*, *Gardenia aqualla*, [15].

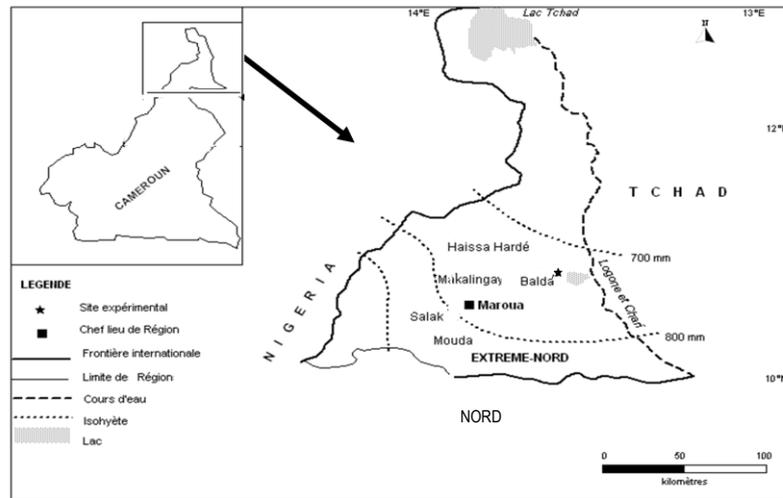


Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude

2-2. Matériel

Le matériel végétal utilisé est constitué de cinq provenances d'*A. senegal*/reparties de la manière suivante : 2 provenances sénégalaises des localités de Diarno (DIS) et de Loumbé Laobé (LOS), 01 d'origine indienne du Rajasthan (RAS) ; 01 d'origine soudanaise spécifiquement du Nil Bleu (NBS) et 01 d'origine camerounaise, de la localité de Laf situé à 30 km au sud de la ville de Maroua, à l'Extrême-Nord (LAC) considérée comme provenance locale. Les coordonnées géographiques, les caractéristiques climatiques et pédologiques de ces localités sont présentées dans le **Tableau 1**. Les provenances exotiques sont issues des milieux plus arides que Balda. En effet, en se basant sur l'indice d'aridité de Demartonne (I_M), la provenance RAI est issue d'un milieu hyperaride ($I_M = 5$), les provenances, NBS, DIS et LOS sont issues des milieux arides ($I_M < 20$) et la provenance LAC est issue d'un milieu semi-aride ($20 < I_M < 30$) comme le site de Balda ($I_M = 21,7$).

Tableau 1 : Description des zones d'origine des cinq provenances

Provenances :	DIS	LOS	NBS	RAS	LAC
Code semencier :	80-03249N	80-03244N	85-04787N	85-04785N	86-05908N
Longitude	15°18'E	15°10'E	34°4'E	72°5'E	14°14'E
Latitude	15°29'N	14°50'N	12°30'N	26°4'N	10°17'N
Altitude (m)	328	331	440	194	450
Tmoy (°C)	30	30	31	33	29
P (mm/an)	450	400	600	277	784
Type de sol	Sableux	Sableux	Sableux	Sableux	Sableux
Indice climatique (I_M)	< 20	< 20	< 20	5	20 - 30

Le code semencier représente la codification effectuée lors de la récolte des semences (source : IRAD-Maroua, Section Forêt et Bois). Température moyenne annuelle (Tmoy), précipitation annuelle totale (P). Diarno (DIS) et Loumbé Laobé (LOS) du Sénégal, Nil Bleu du Soudan (NBS), Rajasthan de l'Inde (RAI) et Laf du Cameroun (LAC).

2-3. Estimation de l'état phénologique

Nous avons exploité dans ce travail les différents stades de feuillaison. Nous appelons « stade de feuillaison », la période allant de la formation des bourgeons foliaires à la défeuillaison totale ou chute totale des feuilles. Elle est marquée par quelques stades clés tels que la pleine feuillaison où les arbres portent plus de 75 % du feuillage total [16]. Pour ce faire, l'état de feuillaison a été suivi tous les 15 jours jusqu'à la feuillaison totale. Chaque phénophase a été décomposée en 5 degrés codés de 1 à 5 [17]. Chaque degré correspond au pourcentage estimé de feuillage résiduel sur l'arbre, soit 1 pour 0 à 20 %, 2 pour 20 à 40 %, 3 pour 40 à 60 %, 4 pour 60 à 80 % et 5 pour 80 à 100 % de feuillaison.

2-4. Mesures dendrométriques

Les paramètres dendrométriques pris en compte dans cette étude sont la hauteur et la circonférence. Ainsi, la hauteur totale de l'arbre et la circonférence des branches maîtresses à hauteur de poitrine ont été mesurées (1,3 m). Cette dernière variable a été retenue plutôt que la circonférence du tronc, parce que le tronc est souvent absent du fait d'une ramification « en éventail » à la surface du sol. La hauteur des arbres a été mesurée à l'aide d'une perche graduée tenue verticalement et la circonférence a été mesurée à l'aide d'un mètre ruban. Le nombre total d'arbre mesuré était de 100 répartis comme suit : 5 provenances x 4 répétitions x 5 arbres.

2-5. Saignée

La saignée a été effectuée en octobre lorsque la provenance locale (LAC) a perdu près de 50 % de son feuillage. Dans ce travail, la surface saignée est de 250 cm², soit 50 cm de long et 5 cm de large. Ces dimensions ont été choisies pour se rapprocher de la méthodologie de saignée de *A. senegal* au Soudan, décrite par [18]. Cette saignée doit rester superficielle pour ne pas atteindre le cambium. En effet, le cambium constitue l'assise génératrice du phloème, sa lésion peut entraîner ou conduire à une absence de gommose. Après la blessure superficielle, la gomme s'exsude par intermittence, en formant des nodules avec une peau dure mais élastique. Lorsque la gomme s'exsude en quantité importante, la couche externe de la gomme s'étend ou se craquelle et le nodule augmente de volume pour atteindre une taille d'environ 3 à 5 cm de diamètre.

2-6. Récolte de gomme et de feuilles de lumière

Les collectes de gomme ont été réalisées sur les arbres saignés à des intervalles d'environ 2 semaines de la date de saignée jusqu'au début des pluies. Les « boules » de gomme sont récoltées manuellement sur les branches. La bêche est souvent utilisée si la branche est très haute. Pour empêcher que la gomme ne tombe au sol et ne soit contaminée, une bâche en plastique est étalée au sol, directement sous l'arbre. Signalons qu'une campagne gommère chevauche deux années civiles. Pour faciliter l'exploitation de nos résultats, nous avons considéré la 2^{ème} année comme année de production. Ainsi, les productions de gomme de 2009, 2010 et 2011 correspondent respectivement aux campagnes gommères de 2008-2009, 2009-2010 et 2010-2011. Les analyses isotopiques du carbone et de l'azote total ont été effectuées sur les feuilles de lumière (feuilles bien exposées au soleil donc l'activité photosynthétique est intense). La récolte des feuilles s'est faite en novembre 2010, à la fin de saison des pluies. Sur chaque arbre, 3 feuilles ont été récoltées à l'aide d'un sécateur, conditionnées dans des enveloppes en papier bien étiquetées, puis séchées à l'étuve à 65°C jusqu'à obtention d'une masse constante qui apparaît souvent après 72 heures.

2-7. Analyses chimiques

Elles ont été réalisées sur des poudres des feuilles séchées obtenues après broyage à l'aide d'un broyeur à anneau (Sodemi modèle CB 2200 France), pendant une minute. Toutes les analyses ont été effectuées à l'INRA de Nancy sur la Plateforme Technique d'Ecologie Fonctionnelle de l'UMR INRA-UL EEF à l'aide d'un analyseur élémentaire carbone-azote (Na 1500 Carlo Erba, Italie) couplé à un spectromètre de masse isotopique (Thermo Finnigan Delta S, Allemagne). Le rapport isotopique ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) est mesuré sur la matière sèche des feuilles après combustion dans un analyseur élémentaire en présence de l'oxygène dans une atmosphère d'hélium [19]. La précision de mesure est $\pm 0,2$ ‰. La composition isotopique du carbone ($\delta^{13}\text{C}$) de nos échantillons est exprimée par la différence de teneur relative en ^{13}C entre l'échantillon et le standard international ramené à la teneur relative en ^{13}C du standard international (calcaire fossile constitué d'un rostre de Bélemnite de Caroline du Sud (*Pee Dee Belemnite* dites « PDB »)). Le calcul du $\delta^{13}\text{C}$ est effectué par l'Equation (1):

$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = \frac{(R_{\text{échantillon}} - R_{\text{st}})}{R_{\text{st}}} \times 1000 \quad (1)$$

avec : $R = ^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (rapport isotopique) pour l'échantillon ($R_{\text{échantillon}}$) et le standard (R_{st}).

La discrimination isotopique du carbone de la plante est donnée par l'Equation (2):

$$\Delta (\text{‰}) = \frac{(\delta^{13}\text{C}_{\text{air}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{plante}})}{(1 + \delta^{13}\text{C}_{\text{plante}})} \quad (2)$$

$\delta^{13}\text{C}_{\text{air}}$ est la composition isotopique du carbone de l'air et est calculée selon [20] par l'Equation (3):

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{air}} = 3,3 + \delta^{13}\text{C}_{\text{millet}} \quad (3)$$

En effet, selon cet auteur, $\delta^{13}\text{C}$ du millet comme tout C_4 serait relativement stable avec les conditions environnementales (lumière, eau, azote), et varie linéairement avec la composition de l'air. Notons cependant que le millet a été cultivé entre les plants de *A. senegal*. Le millet a été semé dès l'arrivée des pluies en mai et ses feuilles ont été récoltées en août, lorsque les plants ont commencé à porter les épis.

Tableau 2 : Statistiques descriptives sur les données de $\delta^{13}\text{C}_{\text{millet}}$ et $\delta^{13}\text{C}_{\text{air}}$

Rapport isotopique	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation	Minimum	Maximum
$\delta^{13}\text{C}_{\text{millet}}$	5	-8,322	0,0216795	-0,260508%	-8,35	-8,28
$\delta^{13}\text{C}_{\text{air}}$	5	-11,622	0,0216795	-0,186538%	-11,63	-11,60

2-8- Analyse statistique

Toutes les données ont été testées pour la normalité et l'homogénéité des variances à l'aide du test de Levene avant les analyses de variance. Les analyses de variance à un facteur nous ont permis de comparer entre provenances, la circonférence et la hauteur des arbres, la production de gomme, $\Delta^{13}\text{C}$ et la teneur en azote total dans les feuilles.

Ces ANOVA ont été suivies par la comparaison des moyennes à l'aide du test de Newman-Keul à 5 % lorsque les différences entre les moyennes étaient significatives. Les coefficients de corrélation de Spearman nous ont permis d'estimer le lien entre la production de gomme, la vigueur des arbres et la variation du $\Delta^{13}\text{C}$ des arbres. L'analyse statistique des données a été faite à l'aide du logiciel *Statgraphic*.

3. Résultats

3-1. Phénologie

La dynamique de la défoliation des arbres varie entre les années et les provenances (*Figure 2*). La chute maximale des feuilles se fait dans l'ensemble entre février et avril pour les années 2009 et 2011, et entre mars et mai pour l'année 2010. Alors que la feuillaison maximale se fait généralement entre juillet et août pour les années 2009 et 2010, et entre août et novembre pour 2011. La tendance de la dynamique foliaire est la même chaque année. La durée de feuillaison maximale (pics maximaux de feuilles) et de défeuillaison maximale (pics minimums des feuilles) varient entre provenances. En effet, la provenance LAC perd très tôt ses feuilles. Dès le mois d'octobre, elle a déjà perdu près de 25 % de son feuillage et 50 % en décembre contrairement aux autres provenances (RAI, DIS, LOS et NBS) qui les perdent tardivement, avec un décalage d'environ un mois.

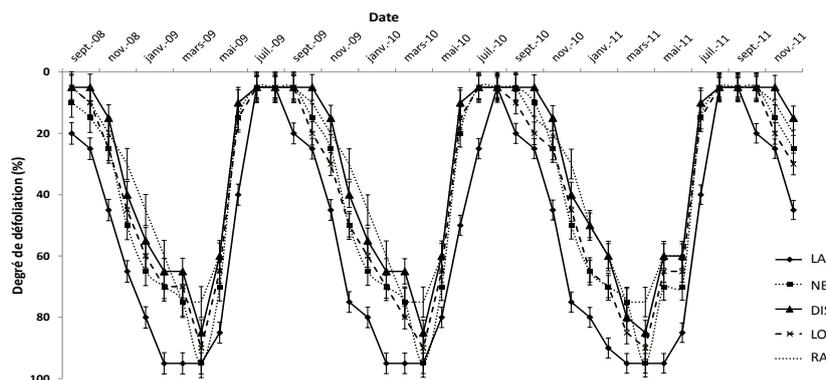


Figure 2 : Evolution saisonnière du degré de défoliation des arbres d'*A. senegal* des cinq provenances Provenances locale Laf (LAC) du Cameroun, Diarno (DIS) et Loumbé laobé du Sénégal (LOS), Rajasthan d'Inde (RAI) et Nil Bleu du Soudan (NBS)

3-2. Variation des paramètres dendrométriques, de $\Delta^{13}\text{C}$, de la teneur en azote et de la production de gomme en fonction des provenances

En générale, ces variables varient significativement en fonction des provenances (*Tableau 3*). Les résultats obtenus des mesures dendrométriques montrent que les provenances exotiques (NBS, RAI, LOS et DIS) croissent plus que la provenance locale (LAC). En effet, cette dernière a présenté les plus petites valeurs dendrométriques, soit 5 m pour la hauteur et 46,8 cm pour la circonférence. Ces valeurs sont respectivement multipliées par 2,5 et 2,4 pour la provenance indienne (RAI), 2 et 1,9 pour la provenance DIS, 1,8 et 1,6 pour la provenance LOS (tous deux du Sénégal) et enfin par 1,4 et 1,5 pour la provenance soudanaise (NBS). De même, Le $\Delta^{13}\text{C}$ de la provenance locale (LAC) est la plus faible (19,5 ‰), celui de la provenance indienne (RAI) est la plus élevée (25,2 ‰) et les autres sont intermédiaires.

Quant à la variation de la teneur en azote dans les feuilles de lumière, elle varie de 2,28 à 3,41 %. Les valeurs les plus faibles sont obtenues sur les feuilles des arbres de la provenance LAC. Par contre les valeurs les plus élevées sont trouvées dans les provenances exotiques avec la plus grande valeur chez la provenance indienne (RAI). Contrairement aux autres paramètres, la provenance locale (LAC) a présenté la production en gomme la plus élevée, soit 181,99 kg/arbre, celui de la provenance indienne (RAI) a été la plus faible (45,86 kg/arbre) et la production des autres provenances ont été intermédiaires.

Tableau 3 : Récapitulatif de la variation des différents paramètres mesurés en fonction des provenances

Variables	Provenances					F	Pr
	DIS	LAC	LOS	NBS	RAI		
Hauteurs (m)	10,04 ^d (0,40)	5,05 ^a (0,48)	8,85 ^c (0,33)	6,84 ^b (0,75)	12,34 ^e (0,37)	659,38	<0,0001
Diamètres (cm)	90,23 ^d (4,77)	46,47 ^a (3,63)	75,22 ^c (3,87)	69,55 ^b (3,05)	110,29 ^e (8,48)	428,07	<0,0001
N (%)	3,14 ^c (0,41)	2,32 ^a (0,11)	2,82 ^b (0,10)	2,79 ^b (0,12)	3,42 ^d (0,16)	74,69	<0,0001
$\Delta^{13}C$ (‰)	22,38 ^c (0,09)	19,54 ^a (0,03)	22,30 ^c (0,39)	20,69 ^b (0,12)	25,22 ^d (0,30)	1759,08	<0,0001
Production de gomme (g/arbre)	77,41 ^{bc} (11,02)	181,99 ^d (18,39)	72,07 ^b (13,40)	81,64 ^c (7,78)	45,86 ^a (5,85)	371,25	<0,0001

Provenances locale Laf (LAC) du Cameroun, Diarno (DIS) et Loumbé laobé du Sénégal (LOS), Rajasthan d'Inde (RAI) et Nil Bleu du Soudan (NBS), Teneur en azote (N (%)), Discrimination isotopique du carbone 13 ($\Delta^{13}C$ (‰)), F : coefficient de Fischer ; P : valeur de la probabilité dans le tableau de l'ANOVA, les différentes lettres arabes (a, b, c...) dans une ligne indiquent que les moyennes sont statistiquement différentes et les chiffres entre parenthèses sont les écart-types.

3-3. Dynamique de production de gomme par arbre

La dynamique de production de gomme est en général la même pour toutes les provenances et toutes les années (**Figure 3**). En effet, la production de gomme débute en octobre, atteint son maximum en début février, à l'exception de celle de la provenance indienne (RAI) qui atteint son maximum en mars ainsi que NBS en 2011. Le pic de production de gomme de la provenance locale (LAC) est largement supérieur (1600 g) à ceux des autres provenances (250 à 500 g). La production de gomme de toutes les provenances s'arrête en mai.

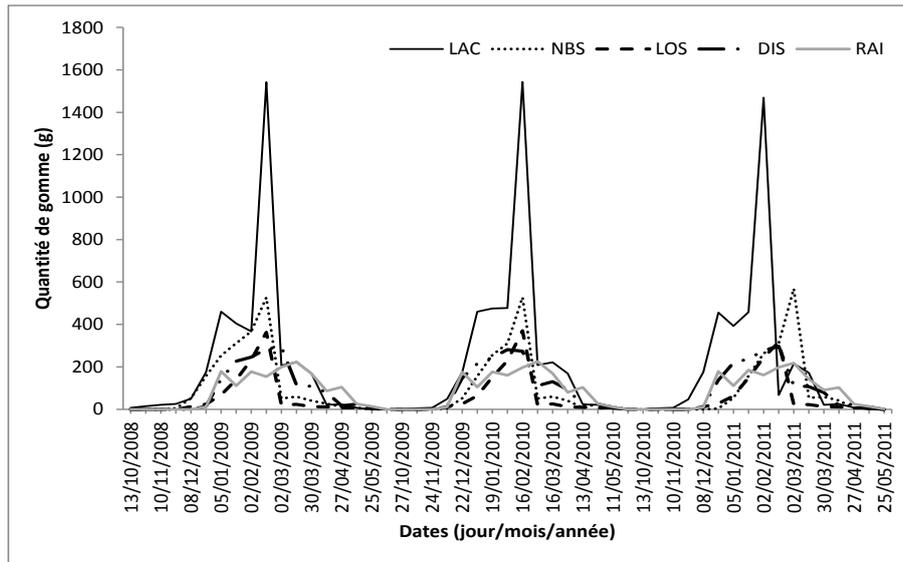


Figure 3 : Rythme moyen de production de gomme des trois années (2009-2011) en fonction des provenances. Provenances locale Laf (LAC) du Cameroun, Diarno (DIS) et Loumbé laobé du Sénégal (LOS), Rajasthan d'Inde (RAI) et Nil Bleu du Soudan (NBS),

3-6. Corrélation entre les différents paramètres étudiés

Une corrélation significative a été trouvée entre la hauteur (m) et la circonférence (cm) des arbres, toutes provenances confondues (**Tableau 4**). Ces paramètres dendrométriques sont hautement corrélés positivement à la teneur en azote total et au $\Delta^{13}C$ (‰). Par contre, la production de gomme est corrélée négativement de façon significative avec la hauteur et la circonférence des arbres saignés. C'est dire que les arbres les plus vigoureux (grands et gros) produisent moins de gomme. La teneur en azote total et le $\Delta^{13}C$ (‰) sont positivement et significativement corrélés, avec un coefficient de corrélation hautement significatif (0,82). Ainsi, les arbres dont les feuilles ont un $\Delta^{13}C$ élevé ont aussi une teneur élevée en azote. Mais, la production de gomme et les deux paramètres précédents ($\Delta^{13}C$ et N ‰) sont corrélés significativement et négativement. Ceci signifie que, les arbres qui ont une teneur en azote et un $\Delta^{13}C$ élevés produisent moins de gomme, ceci se vérifie avec les moyennes de récoltes obtenues sur les trois années d'étude, car les plus grandes productions ont été observées sur la provenance LAC.

La phénologie et la production de gomme sont en générale négativement corrélées. En effet, malgré les faibles coefficients de corrélation obtenus, les valeurs de la probabilité (P) dans le tableau de l'ANOVA sont inférieures à 0,05, il y a donc une relation statistiquement significative entre la phénologie et la production de gomme au niveau de confiance de 95,0 %, excepté chez les provenances LOS et DIS (**Tableau 5**).

Tableau 4 : Corrélation entre les différents paramètres étudiés

	Hauteur (m)	Diamètre (cm)	Production (g)	N%
Diamètre (cm)	0,97 (100) 0,0000			
Production (g)	-0,66 (100) 0,0000	-0,65 (100) 0,0000		
N%	0,84 (100) 0,0000	0,85 (100) 0,0000	-0,61 (100) 0,0000	
$\Delta^{13}\text{C}$ (‰)	0,95 (100) 0,0000	0,92 (100) 0,0000	-0,63 (100) 0,0000	0,82 (100) 0,0000

Les premiers nombres indiquent les coefficients de corrélation de Pearson (r), qui mesurent la force de la relation linéaire entre les variables. Entre parenthèses sont indiqués les nombres de paires de données utilisées pour calculer ces coefficients. Le troisième nombre dans chaque case du tableau est la valeur de la probabilité qui teste la signification statistique des corrélations estimées.

Tableau 5 : Eléments de la régression linéaire entre la phénologie (degré de défeuillaison (%)) et la production de gomme (g/arbre)

Provenances	Eléments de la régression		
	r	F	P
LAC	-0,33	9,36	0,0031
NBS	-0,50	25,06	0,0000
DIS	-0,17	2,19	0,1434
LOS	-0,06	0,31	0,5763
RAI	-0,49	24,65	0,0000

r : Coefficient de corrélation ; F : coefficient de Fischer ; P : valeur de la probabilité dans le tableau de l'ANOVA ; Provenances locale Laf (LAC) du Cameroun, Diarno (DIS) et Loumbé laobé (LOS) du Sénégal, Rajasthan d'Inde (RAI) et Nil Bleu du Soudan (NBS).

Lorsque que nous nous attardons sur le cas de la provenance locale (LAC), meilleure productrice, il ressort clairement que plus les arbres perdent leur feuille, plus la production en gomme est importante ceci jusqu'à un seuil (environ 75 % de défeuillaison). Après ce seuil, donc au-delà de 75 % de défeuillaison, la production commence à chuter jusqu'à s'annuler totalement lorsque les arbres commencent à porter des feuilles (**Figure 4**). Cette dynamique peut être subdivisée en 3 phases : la première qui va d'octobre à février où, il y a une perte exponentielle de feuille et une production exponentielle de gomme ; la deuxième se situe entre février et avril où la production de gomme baisse malgré la continuité de la chute des feuilles et en fin la troisième phase qui va de mai à septembre. Ici, la production de gomme est totalement arrêtée avec une reprise de la feuillaison.

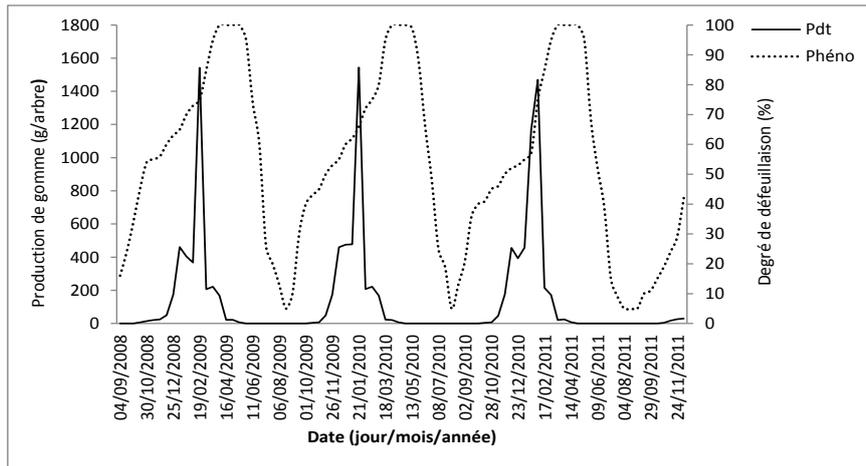


Figure 4 : Rythme de défeuillaison et de la production de gomme : cas de la provenance LAC

La courbe en pointillé indique le rythme de défeuillaison des arbres en % (phéno) et la courbe en ligne pleine indique le rythme de production (g/arbres) de gomme (pdt).

4. Discussion

4-1. Variation inter-provenance de $\Delta^{13}\text{C}$, teneur en azote (%) et production de gomme

Les provenances exotiques issues des milieux plus secs que l'Extrême-Nord Cameroun ont présenté des $\Delta^{13}\text{C}$ élevés. Les valeurs de $\Delta^{13}\text{C}$ trouvées sont semblables à celles de [14] sur plusieurs espèces d'Acacia. Nos résultats sont aussi similaires à ceux de [21] qui ont montré, au Soudan sur 8 provenances de *A. senegal*, que les provenances issues des milieux moins arides présentaient des valeurs de $\Delta^{13}\text{C}$ plus élevés que celles issues des milieux plus arides dans un environnement semi-aride. Vu que la disponibilité en eau du sol [22-26], la température [27] et l'humidité relative [28], sont des facteurs environnementaux susceptibles d'influencer EUE_i et $\Delta^{13}\text{C}$, il en résulte donc que le stress hydrique induirait une diminution du $\Delta^{13}\text{C}$ chez *A. senegal*. C'est dire donc que, la provenance locale serait plus stressée que les provenances exotiques si l'on s'en tient à la composante génétique de l' EUE_i . En effet, l' EUE_i a une composante génétique mis en évidence ici en comparant des provenances et une composante phénotypique que notre dispositif minimise en faisant pousser les arbres dans des conditions identiques. Ceci se vérifie bien par les résultats de la production de gomme obtenus. En effet, une relation linéaire négative a été mis en évidence entre la production de gomme et $\Delta^{13}\text{C}$ ($r = -0,63$). Ce résultat a aussi été obtenu par [21] chez les provenances *A. senegal* au Soudan. Cette corrélation négative résulterait d'une diminution de la conductance stomatique. Puisque, lors d'une contrainte hydrique, période favorable à l'exsudation de gomme, une proportion importante des stomates se ferment et la discrimination globale diminue ainsi que la concentration interne de CO_2 des feuilles [29]. A l'inverse, dans les conditions normales, les stomates sont ouverts et la concentration en CO_2 interne des feuilles s'élève. En conséquence, les plantes sous contraintes hydriques ne pouvant choisir entre les deux isotopes, présentent alors un rapport isotopique pour le carbone moins négatif, c'est-à-dire une valeur se rapprochant de celle de la diffusion d'où $\Delta^{13}\text{C}$ faible pour les plantes plus stressées et plus productrices de gomme.

Les résultats obtenus ont aussi montré que $\Delta^{13}\text{C}$ et la teneur en Azote sont positivement corrélés ($r = 0,82$). Par transposition, la teneur en Azote est négativement liée à l'EUE_i. Par conséquent, la teneur en Azote est aussi négativement liée à la production de gomme. Ces résultats sont similaires à ceux de la littérature qui classent la teneur en azote parmi les facteurs environnementaux susceptibles d'influencer EUE_i et $\Delta^{13}\text{C}$ [30-33]. En effet, ces auteurs ont montré que le stress azoté se combine au stress hydrique. Dans la même lancée, [34] ont montré que les légumineuses comme *A. senegal*, qui fixe l'azote de l'air, présentent une faible capacité d'assimilation de CO₂ lorsque le milieu est pauvre en azote. En effet, la chlorophylle et les enzymes photosynthétiques telle que la Rubisco, sont des éléments incontournables de l'assimilation du CO₂, donc la faible teneur en azote entraînerait leur inactivation et de ce fait une faible voir une absence d'assimilation de carbone et par conséquent un $\Delta^{13}\text{C}$ faible et une EUE_i élevée [35-37].

4-2. Comportement biologique des arbres et production de gomme

Les résultats du suivi phénologique et de la dendrométrie viennent confirmer ceux obtenus sur la relation entre $\Delta^{13}\text{C}$ et la production de gomme. En effet, les provenances exotiques sont les plus vigoureux avec une phénologie décalée (chute tardive des feuilles) de celle de la provenance locale. Les provenances exotiques perdent énormément d'eau par le biais de la transpiration puisqu'elles gardent plus longtemps leur feuillage que la provenance locale. Les résultats ainsi trouvés sont en accord avec ceux de [38] sur *Quercus petraea*, [39] sur *Pisumsativum* et de [40] sur les Conifères de la Méditerranée. La conséquence immédiate de la moindre sensibilité à la sécheresse des provenances exotiques est la faible performance en production de gomme. Pour ce qui est de la relation entre les paramètres dendrométriques (hauteurs et circonférences) et la production de gomme, nos résultats sont contraires à ceux de [41] qui n'a trouvé aucun lien direct entre la vigueur de l'arbre et l'exsudation chez *A. senegal*. Cependant [42] a trouvé une relation positive entre diamètre du tronc et masse de gomme exsudée. [13] quant à lui n'a pas pu mettre en évidence une relation entre les paramètres dendrométriques et la production de gomme puisque, lors de ses études, les productions variaient énormément d'une année à une autre. Nos résultats ont été par contre constants d'une année à une autre, confirmant ainsi ceux de [43], qui a montré que les sujets chétifs des sommets et replats dunaires sont en moyenne plus producteurs que les arbres vigoureux. En effet, les arbres les plus vigoureux résisteraient plus à la sécheresse à cause de leur système racinaire bien développé, raison pour laquelle, ils sont moins productifs.

4-3. Rythme de défoliation et intensité d'exsudation de gomme

L'existence d'un parallélisme entre l'intensité de production de gomme et la perte progressive du feuillage est depuis longtemps reconnue. Mais nos travaux ont permis de montrer que le maximum de production est atteint lorsque les arbres ont perdu près de 75 % de leur feuillage et non la totalité comme l'ont souligné [44]. Nos résultats ont par contre montré que la production de gomme commence à chuter lorsque les arbres sont totalement défeuillés. Néanmoins, nous sommes en accord avec [17, 45], sur le fait que la perte précoce de feuilles est un gage de bonne récolte. En effet, selon ces auteurs, une perte de feuillage étalée dans le temps à maximum tardif n'est pas favorable à une bonne production de gomme puisque, la plante garderait toujours sa capacité photosynthétique et par conséquent reconstituerait ses cellules détruites par la saignée.

5. Conclusion

Il ressort de cette étude de façon globale, que le maximum de défoliation apparaît entre le mois de février et mai et le maximum de feuillaison entre le mois de juillet et août. Spécifiquement, la provenance locale (LAC) reste totalement defeuillée sur 3 mois contre 1 pour les provenances exotiques. Le suivie de la phénologie révèle aussi que la défoliation de la provenance locale (LAC) est plus rapide que celle des provenances exotiques. Par ailleurs, la provenance locale est la plus courte et chétive que les provenances exotiques et la plus longue et robuste est la provenance indienne (RAI), les autres ont des valeurs intermédiaires. Quant à la production de gomme, elle débute pour toutes les provenances au mois d'octobre, atteint son maximum (pic de production) en début février et prend fin en mai. La production de gomme est plus élevée chez la provenance locale (LAC) et plus faible pour la provenance indienne (RAI). Ainsi l'hypothèse (1) selon laquelle la variation de la productivité en gomme arabique entre les provenances est liée à la croissance et ou à l'accumulation de la biomasse des arbres est acceptée mais de façon négative car nos résultats ont montré que les arbres robustes produisent moins de gomme. De plus, les arbres produisent plus de gomme lorsqu'ils perdent précocement leur feuillage et n'en produisent pas lorsque la biomasse foliaire est élevée.

La discrimination isotopique du carbone 13 ($\Delta^{13}\text{C}$) et la teneur en azote (% N) dans les feuilles de lumières sont plus élevés chez la provenance indienne (RAI) et plus faible chez la locale (LAC), les autres ont des valeurs intermédiaires. En fin, la corrélation entre ces paramètres (dendrométrie, discrimination isotopique du carbone 13, teneur en azote et production de gomme) révèle que les grands et gros arbres ont un $\Delta^{13}\text{C}$ et une teneur en azote plus élevés avec une faible production de gomme. Vu la relation existante entre $\Delta^{13}\text{C}$ et l'efficacité d'utilisation d'eau, ce résultat nous a permis de dire que les provenances exotiques ne sont pas efficaces en ce qui concerne l'utilisation d'eau, et c'est l'une des raisons pour laquelle elles sont moins productives en gomme mais avec des performances sylvicoles remarquables. De ce fait, l'hypothèse (2) selon laquelle la variation de la productivité en gomme arabique entre les provenances est liée à la différence dans l'utilisation efficace d'eau comme indiqué par la différence de $\Delta^{13}\text{C}$. Cette méthode de détermination de l'EUE via le $\Delta^{13}\text{C}$ est un atout pour l'évaluation de l'efficacité d'utilisation d'eau de cette espèce pour pouvoir identifier les géotypes appropriés pouvant être utilisés dans les programmes de reforestation, de réhabilitation des terres et la production de gomme.

Remerciements

Ce travail a été financé par le projet ACACIAGUM (EC FP6 Contract 032233, <http://inco-acacia.gum.cirad.fr/>). A la plateforme régionale de PRASAC (N'djamena, Tchad, pour le support logistique. Au staff de l'IRAD Forêt de Maroua pour la parcelle expérimentale. A la Plateforme Technique d'Ecologie Fonctionnelle OC n°081, Pôle isotopie de l'Unité Ecologie et Ecophysiologie Forestières pour les analyses isotopiques.

Références

- [1] - E. BODIL, O. LENNART, M.E. ELTIGHANI et A. WARREN, A traditional agroforestry system under threat : an analysis of the gum arabic market and cultivation in the Sudan. *Agro. Syst.* 64 (2005) 211-218.
- [2] - M. E. BALLAL, *Acacia Senegal* : a multi-purpose tree species for arid and semi-arid tropics. M.Sc University of Wales, UK. (1991) 103p.
- [3] - R. G. G. ANDERSON, Caveolae : where incoming and outgoing messengers meet. *Proc Nat/Sci.* 90 (1993) 10909-10913.

- [4] - B. N. CHIKAMAI, A Review of Production, Markets and Quality Control of gum arabic, Technical co-operation programm (projet no. TCP/RAF/4557). Food and Agricultural Organization, Rome, Italy, (1996) 169 p.
- [5] - C. F. ABIB, M. NTOUPKA, R. PELTIER, J-M. HARMAND, P. THALER, Ethephon : a tool to boost gum arabic production from *Acacia senegal* and to enhance gummosis processes. *Agroforest Syst.* 87 (2) (2013) 427-438.
- [6] - J. TOILLON, R. FICHOT, E. DALLE, A. BERTHELOT, F. BRIGNOLAS et N MARRON, Planting density affects growth and water-use efficiency depending on site in *Populus deltoides* x *P. nigra*. *Forest Ecology and Management* 304 (2013) 345-354.
- [7] - L. N. HARSH, J. C. TEWARI, H. A. KHAN ET MOOLA RAM, Ethephon-induced gum Arabic exudation technique and its sustainability in arid and semi-arid regions of India, *Forests, Trees and Livelihoods*, 22:3, (2013) 204-211, DOI: 10.1080/14728028.2013.818514
- [8] - J. R. COWAN, Economic of carbon fixation in higher plant. In : *On the Economy of plant form and Function* (ed T.J. Givnish). Cambridge (1986) 133-170.
- [9] - G. D. FARQUHAR, J. R. EHLERINGER et K. T. HUBICK, Carbon Isotope Discrimination and Photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 40 (1989) 503-537.
- [10] - J. R. EHLERINGER, J. W. WHITE, D. A. JOHNSON et M. BRICK, Carbon isotope discrimination, photosynthetic gas exchange, and transpiration efficiency in beans and range grasses. *Acta Oecologia* 11 (1990) 611-625.
- [11] - J. M. GUEHL, A. NGUYEN-QUEYRENS, D. LOUSTAU et A. FERHI, Genetic and environmental determinants of water-use efficiency and carbon isotope discrimination in forest trees. In Sandermann H.J., B-M M., eds, EURO SILVA Contribution to *Forest Tree Physiology*. INRA, Versailles. (1994) 297-321.
- [12] - A. G. CONDON, R. A. RICHARDS, G. J. REBETZKE ET G. D. FARQUHAR, Improving intrinsic water-use efficiency and crop yield. *Crop Science* 42 (2002) 122-131.
- [13] - O. ROUPSARD, Écophysiologie et Diversité Génétique de *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. (syn. *Acacia albida* Del.), un Arbre à Usages Multiples d'Afrique Semi-Aride : Fonctionnement hydrique et efficence d'utilisation de l'eau d'arbres adultes en parc agroforestier et de juvéniles en conditions semi-contrôlées. Thèse de Doctorat sur Publications Spécialité : Écophysiologie Forestière de l'Universitb H. Poincarck de Nancy 1 (1997) 207p.
- [14] - E. Y. RADDAD, Tropical dryland agroforestry on clay soils : Analysis of systems based on *Acacia senegal* in the Blue Nile region, Sudan Academic dissertation To be presented, with the permission of the Faculty of Agriculture and Forestry of the University of Helsinki, for public discussion in Auditorium II of the Infocentre (2006) 98p.
- [15] - N. M. KONATE, Diversité interspécifique d'efficence d'utilisation de l'eau des acacias sahéliens et australiens. Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy-I en Biologie Forestière (2010) 122p.
- [16] - C. SEIGNOBOS, Végétations anthropiques dans la zone soudano-sahélienne : la problématique des parcs. *Revue de géographie du Cameroun* 3 (1) (1982) 1-23.
- [17] - A. M. KOUYATE, Aspects ethnobotaniques et étude de la variabilité morphologique, biochimique et phénonologique de *Detarium microcarpum* Gill. & Perr. au Mali, Thèse de doctorat (PhD), Université de Ghent, Belgique, (2005) 207 p.
- [18] - M. DIONE, Recherches expérimentales sur le gommier *Acacia senegal* dans le Ferlo sénégalais. Thèse Doctorat. Université Toulouse (1996) 150p.
- [19] - J. C. FENYO, S. SERVANT-DUVALLET et M-C. VANDELDE, Identification chimique et physico-chimique des exsudats d'acacias : constances et variabilité ; chimiotaonomie. In *L'Acacia au Sénégal*. Campa C., Grignon C., Guenye M., Hamons S. (Eds) (1998) 123-134.

- [20] - E. DELEENS, J. F. MOROT-GAUDRY, F. MARTIN, A. THOREUX et A. GOJON, Dans Assimilation de l'azote chez les plantes : Aspects physiologique, biochimique et moléculaire, J.F. Morot-Gaudry (ed) Edition INRA (1997) 265-280.
- [21] - B. D. MARINO et M. B. MCELROY, Isotopic composition of atmospheric CO₂ inferred from carbon in C₄ plant cellulose. *Nature* 349 (1991) 127-131.
- [22] - E. Y. RADDAD et O. LUUKKANEN, Adaptive genetic variation in water-use efficiency and gum yield in *Acacia Senegal* provenances grown on clay soil in the Blue Nile region, Sudan. *Forest Ecology and Management* 226 (2006) 219-229.
- [23] - G. D. FARQUHAR et R. A. RICHARDS, Isotopic composition of plant carbon correlates with water-use efficiency of wheat genotypes. *Aust J Plant Physiol* 11 (1984) 539-552.
- [24] - X. ZHANG, R. ZANG et C. LI, Population differences in physiological and morphological adaptations of *Populus davidiana* seedlings in response to progressive drought stress. *Plant Sci* 166 (2004) 791-797.
- [25] - R. MONCLUS, E. DREYER, F. M. DELMOTTE, M. VILLAR, D. DELAY, J-M. PETIT, C. BARBAROUX, D. LE THIEC, C. BRECHET et F. BRIGNOLAS, Impact of drought on productivity and water use efficiency in 29 genotypes *Populus deltoides* × *Populus nigra*. *New Phytol* 169 (2006) 765-777.
- [26] - L. BONHOMME, C. BARBAROUX, R. MONCLUS, D. MORABITO, A. BERTHELOT, M. VILLAR, E. DREYER et F. BRIGNOLAS, Genetic variation in productivity, leaf traits and carbon isotope discrimination in hybrid poplars cultivated on contrasting sites. *Ann For Sci* 65 (2008) 1-9.
- [27] - G. D. FARQUHAR et L. A. CERNUSAK, Ternary effects on the gas exchange of isotopologues of carbon dioxide. *Plant, Cell & Environment* 35 (2012) 1221-1231.
- [28] - S. MADHAVAN, I. TREICHEL et M. H. O'LEARY, Effects of relative humidity on carbon isotope fractionation in plants. *Bot Acta* 104 (1991) 292-294.
- [29] - X. ZHANG, N. WU et C. LI, Physiological and growth responses of *Populus davidiana* ecotypes to different soil water contents. *Journal of Arid Environments* 60 (2005) 567-579.
- [30] - F. RIPULLONE, M. LAUTERI, G. GRASSI, M. AMATO et M. BORGHETTI, Variation in nitrogen supply changes water-use efficiency of *Pseudotsuga menziesii* and *Populus euroamericana*; a comparison of three approaches to determine water-use efficiency. *Tree Physiol* 24 (2004) 671-679.
- [31] - J. J. JAMES et J. H. RICHARD, Plant N capture from pulses: effects of pulse size, growth rate, and other soil resources. *Oecologia*, 145 (2005) 113-122.
- [32] - V. O. SADRAS, A quantitative top-down view of interaction between stresses: theory and analysis of nitrogen-water co-limitation in Mediterranean agro-ecosystems. *J. Agric Sci.* 56 (2005) 1151-1157.
- [33] - M. V. GONZALEZ DUGO, Effet du déficit hydrique sur l'état de nutrition azotée chez les graminées fourragères. Thèse de doctorat, L'Université de Poitiers (2006) 179 p.
- [34] - J. L. DURAND, J. E SHEEHY et F. R. MINCHIN, Nitrogenase activity, photosynthesis and nodule water potential of soybean plants experiencing water deprivation. *J. Exp. Bot.*, 38 (1987) 311-321.
- [35] - E. A. GARWOOD et T. E. WILLIAMS, Growth, water use and nutrient uptake from the subsoil by grass swards. *J. Agric. Sci., Cambridge*, 69 (1967) 125-130.
- [36] - X. CAO, J. B. JIA, H. LI, M. C. LI, J. LUO, Z. S. LIANG, LIU TX, W. G. LIU, PENG CH, Z. B. LUO, Photosynthesis, water use efficiency and stable carbon isotope composition are associated with anatomical properties of leaf and xylem in six poplar species. *Plant Biology* 14 (2012) 612-620.
- [37] - G. LEMAIRE et A. DENOIX, Croissance estivale en matière sèche de peuplement de fétuque élevée et de dactyle dans l'Ouest de la France : Interaction entre les niveaux d'alimentation hydrique et de nutrition azotée. *Agronomie* 7 (1987) 381-389.
- [38] - C. PICON, J. M. GUEHLAND et A. FERHI, Isotope composition responses to drought in a drought avoiding *Pinus pinaster* and a drought tolerant *Quercus petraea* species under present and elevated atmospheric CO₂ concentrations. *Plant Cell Environ.* 19 (1996) 182-190.

- [39] - J. D. KNIGHT, N. J. LIVINGSTON et C. VANKESEL, Carbon isotope discrimination and water-use efficiency of six crops grown under wet and dryland conditions. *Plant, Cell and Environment*. 17 (1994) 173-179.
- [40] - F. FROUX, R. HUC, M. DUCREY et D. ERWIN, Xylem hydraulic efficiency versus vulnerability in seedlings of four contrasting Mediterranean tree species (*Cedrus atlantica*, *Cupressus sempervirens*, *Pinus halepensis* and *Pinus nigra*). *Ann. For. Sci.* 59 (2002) 409-418.
- [41] - C. SYLLA-GAYE, Comportement d'*Acacia senegal* en plantation et dans la nature du Sahel sénégalais. Perspectives d'avenir des reboisements gommiers. In *Le gommier et la gomme arabique*. Actes du 3ème symposium sous-régional sur le gommier et la gomme arabique (SYGGA III), Saint-Louis, Sénégal, 25-28 octobre 1988. (2002) 139-169.
- [42] - M. DIONE, Période de saignée et potentialités en gomme arabique de quelques localités de la zone gommère du Sénégal. In *Le gommier et la gomme arabique*, actes du 3ème symposium sous-régional sur le gommier et la gomme arabique (SYGGA III), Saint-Louis, Sénégal, 25-28 octobre 1988 (1989) 117-126.
- [43] - A. SENE, Recherches sur la productivité gommère d'*Acacia senegal* dans le Nord-Ferlo (Sénégal). Thèse Univ. P. Sabatier, Toulouse, (1988) 243 p.
- [44] - M. DIONE et J. VASSAL, Gommose et rythme de production gommère chez *Acacia senegal* (L.) Willd. In *L'acacia au Sénégal*. Campa C., Grignon C., Guenye M., Hamons S. (Eds) (1998) 123-134.
- [45] - J. M. HARMAND, M. NTOUPKA, B. MATHIEU, C. NJITI, C. FORKONG J. C. TAPSOU, J. BOIS, P. THALER, et R. PELTIER, Gum arabic production in *Acacia senegal* plantations in the Sudanian zone of Cameroon : effects of climate, soil, tapping date and tree provenance. *Bois For. Trop.* 66 (311) (2012) 21-33.