

Production de semences améliorées d'*Acacia senegal*

Pierre SOLOVIEV^{1, 2}
Dominique JACQUES³
Guibien Cléophas ZERBO¹
Djingdia LOMPO¹

¹ Centre national de semences
forestières (Cnsf)
01 BP 2682, Ouagadougou 01
Burkina Faso

² Association pour la promotion
de l'éducation et de la formation
à l'étranger (Apefe)
01 BP 6625, Ouagadougou 01
Burkina Faso

³ Direction générale agriculture,
ressources naturelles et environnement
Avenue Prince de Liège, 15
5100 Jambes
Belgique



Photo 1.

Vue partielle d'une plantation artificielle d'*A. senegal* établie à Gasselpatté dans la région du Sahel (province du Soum, Burkina Faso).

Photo P. Soloviev.

RÉSUMÉ

PRODUCTION DE SEMENCES AMÉLIORÉES D'ACACIA SENEGAL

L'intérêt économique majeur de l'espèce *Acacia senegal* réside dans son aptitude à produire de la gomme arabique. Au Burkina Faso, la raréfaction des peuplements naturels d'*A. senegal* et la faible productivité en gomme arabique de certains d'entre eux ont conduit à développer un programme d'amélioration génétique. L'objectif principal est de produire du matériel forestier de reproduction apte à constituer des plantations productives en gomme. Les deux voies d'amélioration retenues sont la sélection de peuplements à graines et la création de vergers à graines d'« arbres plus ». La méthodologie a consisté à étudier la production moyenne de gomme arabique d'un ensemble d'arbres issus de huit peuplements naturels, 12 peuplements artificiels et trois essais de provenances locales ou étrangères, complétée par des critères de qualité de gomme, d'état sanitaire et de production ligneuse. Les résultats ont conduit à mettre notamment en évidence une variabilité importante du critère « production moyenne de gomme », tant au niveau inter-peuplement qu'intra-peuplement. Les travaux ont abouti à la sélection de trois peuplements fournissant du matériel forestier de reproduction de la catégorie « sélectionnée » selon les critères de l'Ocde, ainsi qu'à la création d'un verger à graines d'« arbres plus » destiné à fournir à moyen terme du matériel forestier de reproduction de la catégorie « qualifiée ». Les résultats obtenus ouvrent des perspectives d'échanges de semences améliorées et de développement d'un programme d'amélioration génétique au niveau sous-régional.

Mots-clés : *Acacia senegal*, semences, sélection, peuplement, arbre plus, verger à graines.

ABSTRACT

PRODUCTION OF IMPROVED ACACIA SENEGAL SEEDS

The main economic value of *Acacia senegal* lies in its capacity for producing gum arabic. In Burkina Faso, the decline of natural stands of *A. senegal* and the low gum arabic productivity in some cases have prompted the development of a genetic improvement programme. Its main objective is to produce reproductive plant material capable of creating productive gum plantations. The two improvement methods chosen are selection of seed-tree stands and the creation of seed orchards of "plus trees". The methodology involved studies of the average gum arabic production of trees in 8 natural stands, 12 plantations and 3 trials using local and foreign provenances, taking criteria into account for gum quality, tree health and production of woody material. The results showed, in particular, wide variability in the "average gum production" criterion, both between and within stands. Our studies led to the selection of three stands supplying reproductive forest material classified as "selection" material according to OECD criteria, and to the establishment of a seed orchard of "plus trees" to supply reproductive forest material in the medium term complying with the "qualified" category. The results obtained open up prospects for trade in improved seeds and development of a genetic improvement programme at sub-regional level.

Keywords: *Acacia senegal*, seeds, selection, stand, plus tree, seed orchard.

RESUMEN

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS MEJORADAS DE ACACIA SENEGAL

El principal interés económico de la especie *Acacia senegal* reside en su aptitud para producir goma arábica. En Burkina Faso, la reducción de los rodales naturales de *A. Senegal*, así como la poca productividad de goma arábica de algunos de ellos, llevaron a desarrollar un programa de mejoramiento genético. El principal objetivo es la producción de material forestal de reproducción capaz de constituir plantaciones productivas de goma. Los dos medios de mejoramiento elegidos fueron la selección de rodales semilleros y la creación de huertos semilleros de árboles plus. La metodología consiste en estudiar la producción promedio de goma arábica de un conjunto de árboles procedentes de ocho rodales naturales, doce rodales artificiales y tres ensayos de procedencias locales o extranjeras; se evalúa también la calidad de la goma, el estado sanitario y la producción maderable. Los resultados llevaron a evidenciar una importante variabilidad del criterio "producción promedio de goma", tanto entre los rodales como en el interior de los mismos. Los trabajos desembocaron en la selección de tres rodales que proporcionan material forestal de reproducción de categoría "seleccionada" según los criterios de la OCDE, así como en la creación de un huerto semillero de árboles plus destinado a proporcionar, a medio plazo, material forestal de reproducción de categoría "cualificada". Los resultados obtenidos abren expectativas de intercambios de semillas mejoradas y de desarrollo de un programa de mejoramiento genético a nivel subregional.

Palabras clave: *Acacia senegal*, semillas, selección, rodal, árbol plus, huerto semillero

Introduction

Acacia senegal (L.) Willd., de la famille des mimosacées, est une espèce dont l'aire naturelle couvre la majeure partie de l'Afrique sahélienne et subsahélienne. Cette essence est présente du Sénégal au Soudan mais elle se trouve également en Afrique australe et même dans le sous-continent indien (ARBONNIER, 2009).

C'est un arbre de petite taille, qui présente de multiples intérêts pour les régions sèches d'Afrique. Sur le plan écologique, son système racinaire particulièrement développé contribue à la fixation des sols et son couvert limite l'érosion tant hydrique qu'éolienne. Appartenant aux légumineuses, cette essence est capable de fixer l'azote atmosphérique, contribuant ainsi à enrichir les sols dans des régions où les restitutions en cet élément nutritif présentent souvent d'importants déficits (DEANS *et al.*, 1999). Sur le plan économique, *A. senegal* procure aux populations locales un bois très utilisé comme combustible ou pour la carbonisation (ARBONNIER, 2009) ; ses feuilles sont très appréciées par les petits ruminants domestiques, particulièrement à la fin de la saison sèche qui correspond au Sahel à une période d'important déficit fourrager ; les gousses sont également appréciées par les animaux (Ickowicz *et al.*, 2005). Toutefois, le principal enjeu économique de cette espèce réside dans son aptitude à produire un exsudat de haute qualité, la gomme arabique (JECFA, 1999), qui fait l'objet d'un intérêt constant dans le cadre du commerce mondial (MULLER, OKORO, 2004).

Au Burkina Faso, ce petit arbre figure parmi les essences les plus utilisées par les populations, faisant de lui une espèce menacée et justifiant l'attention particulière qui lui est portée depuis plus d'une dizaine d'années (SP/CONAGESE, 1999). Outre la mise en place de mesures incitatives pour l'exploitation des peuplements naturels en vue de la production de gomme arabique, les autorités natio-



Photo 2.
Attaque parasitaire et dépérissement de la branche
faisant suite à une saignée.
Photo P. Soloviev.

nales ont lancé des programmes de plantation de gomméraires artificielles (photo 1). Toutefois, force est de constater qu'à ce jour la production de gomme arabique n'a pas répondu aux attentes et s'est avérée assez faible au regard des efforts consentis.

Une étude menée par RAHIM *et al.* (2008) au Soudan a permis d'établir que le principal facteur de désaffectation des producteurs pour la gomme arabique résidait dans la faiblesse du revenu généré par cette activité. Toutefois, les avis restent partagés sur ses causes profondes, certains évoquant les prix peu incitatifs proposés aux producteurs, d'autres mettant en avant un déclin de la production (ELMQVIST *et al.*, 2005). Sur ce dernier point, des investigations menées au Burkina Faso ont mis en évidence la faible productivité de certains peuplements naturels, avoisinant en moyenne 35 g de gomme par arbre (BALIMA, 2000). Une étude plus récente a conduit à constater une raréfaction des peuplements naturels purs d'*A. senegal* dont l'estimation des superficies actuelles serait de moins de 500 ha (SOLOVIEV *et al.*, 2009). Dans ces conditions, la poursuite du dévelop-

pement d'une filière de production de gomme arabique ne peut s'envisager sans la création de nouvelles plantations, réalisées, dans la mesure de leur disponibilité, avec des plants aptes à assurer une production satisfaisante de gomme.

Cette démarche, visant à accroître la production de gomme arabique par la mise en place de programmes d'amélioration génétique, a été suggérée de longue date par GIFFART (1975). Au Burkina Faso, le Centre national de semences forestières (Cnfs) a procédé dès 1988 à des essais comparatifs de provenances (DFSC, 1994), dans la perspective d'y mener des travaux de sélection basés notamment sur le critère de production de gomme. L'objectif est de proposer aux utilisateurs des semences d'*A. senegal* possédant une large base génétique, contrôlées sur le plan de la pureté spécifique et aptes à constituer des plantations productives en gomme arabique.

Cependant, développer un programme d'amélioration génétique visant à l'augmentation de la production en gomme arabique ne peut se justifier que si un gain est envisageable par sélection de peuplements ou d'individus. Deux conditions

Matériel et méthodes

essentielles sont donc nécessaires au développement d'un tel programme :

- il doit exister une variabilité importante entre les peuplements ou les arbres potentiellement sélectionnables ;
- une partie de cette variabilité doit être d'origine génétique, en d'autres termes, l'héritabilité de cette caractéristique doit être la plus élevée possible (NANSON, 2004).

Les données préliminaires disponibles à ce jour pour les peuplements naturels présents au Burkina Faso tendent à indiquer qu'il existe une variabilité importante de la production de gomme, tant au niveau inter-peuplement qu'intra-peuplement (BALIMA, 2000). Il n'existe par contre, à notre connaissance, que peu de références à ce jour mettant clairement en évidence le niveau d'héritabilité de cette caractéristique, hormis les travaux de KANANJI (1993) et de OUEDRAOGO (2001) qui permettent de justifier des travaux d'amélioration génétique.

Sur la base de ces hypothèses, deux voies ont été retenues pour assurer la production de semences améliorées d'*A. senegal* au Burkina Faso : la sélection de peuplements à graines évalués sur leur aptitude à la production de gomme arabique et la création de vergers à graines d'« arbres plus », multipliés par greffage.

Critères de sélection

Le coût élevé des activités de sélection de peuplements et d'« arbres plus », particulièrement dans le contexte d'un pays en développement, incite à réfléchir de manière approfondie au choix des critères de sélection à retenir, afin de s'assurer d'un maximum de retombées positives au niveau local.

Pour *A. senegal*, la volatilité des cours mondiaux de la gomme arabique et le développement de produits de substitution concurrents impliquent que le seul critère « poids moyen de gomme produite », même s'il est considéré de manière prioritaire, ne peut l'être de manière exclusive. Par ailleurs, les exigences des utilisateurs finaux quant aux aspects qualitatifs obligent à prendre en considération le critère « qualité de la gomme produite ». Outre les critères quantitatifs et qualitatifs liés à la gomme produite, le critère « état sanitaire de l'arbre » a également été pris en compte, tant lors du choix des peuplements et des candidats « arbres plus » que durant la phase de leur suivi (photo 2).

Malgré la controverse existant sur la relation entre les paramètres de croissance et la production de gomme, telle que rapportée par divers auteurs (VASSAL, 1991 ; OUEDRAOGO, 2001), il a également été envisagé de prendre en considération des critères de sélection liés à la production ligneuse. L'objectif visé était de mener une sélection d'« arbres plus » qui cumuleraient une production élevée de gomme durant la phase mature et une production abondante de bois à l'issue du cycle d'exploitation de l'arbre pour la gomme.

Matériel végétal

Sélection des peuplements

Pour la sélection des peuplements à graines, l'échantillon de départ a consisté à retenir huit des 18 peuplements naturels purs identifiés à l'issue d'un inventaire mené dans la zone de distribution naturelle d'*A. senegal* (SOLOVIEV *et al.*, 2009). L'échantillonnage de ces huit peuplements reposait sur les critères suivants :

- répartition sur les trois régions de provenance correspondant à l'aire de distribution naturelle de l'espèce au Burkina Faso (CNSF, 2008) ;
- vigueur et état sanitaire du peuplement.

Tableau I.
Localisation et caractéristiques des peuplements naturels.

| Site | Effectif | Province | Région de provenance | Latitude | Longitude | Altitude (m) | Pluviométrie moyenne* (mm) | Superficie (ha) |
|-------------|----------|------------|----------------------|-------------|-------------|--------------|----------------------------|-----------------|
| Bissiga | 50 | Ouhritenga | Nord-soudanienne | N 12°40'59" | W 01°09'52" | 275 | 710 | 124,8 |
| Doussoula | 50 | Sourou | Vallée du Sourou | N 13°02'34" | W 03°14'37" | 260 | 665 | 13,7 |
| Fènèguènè | 50 | Bam | Subsahélienne | N 13°16'16" | W 01°20'37" | 310 | 605 | 7,9 |
| Guitaté | 50 | Sourou | Vallée du Sourou | N 13°18'07" | W 02°41'36" | 301 | 620 | 5,8 |
| Konladé | 50 | Gnagna | Subsahélienne | N 13°32'09" | W 00°00'14" | 284 | 570 | 8,3 |
| Pacodé | 50 | Sanmatenga | Subsahélienne | N 13°36'51" | W 00°49'31" | 305 | 565 | 39,8 |
| Soumdiguidi | 50 | Zondoma | Subsahélienne | N 13°18'07" | W 02°24'30" | 321 | 615 | 7,3 |
| Yeimzuro | 50 | Loroum | Subsahélienne | N 13°36'25" | W 02°09'04" | 318 | 565 | 15,0 |

* Données de la Direction Météorologie nationale, moyennes pluviométriques 1971-2000.

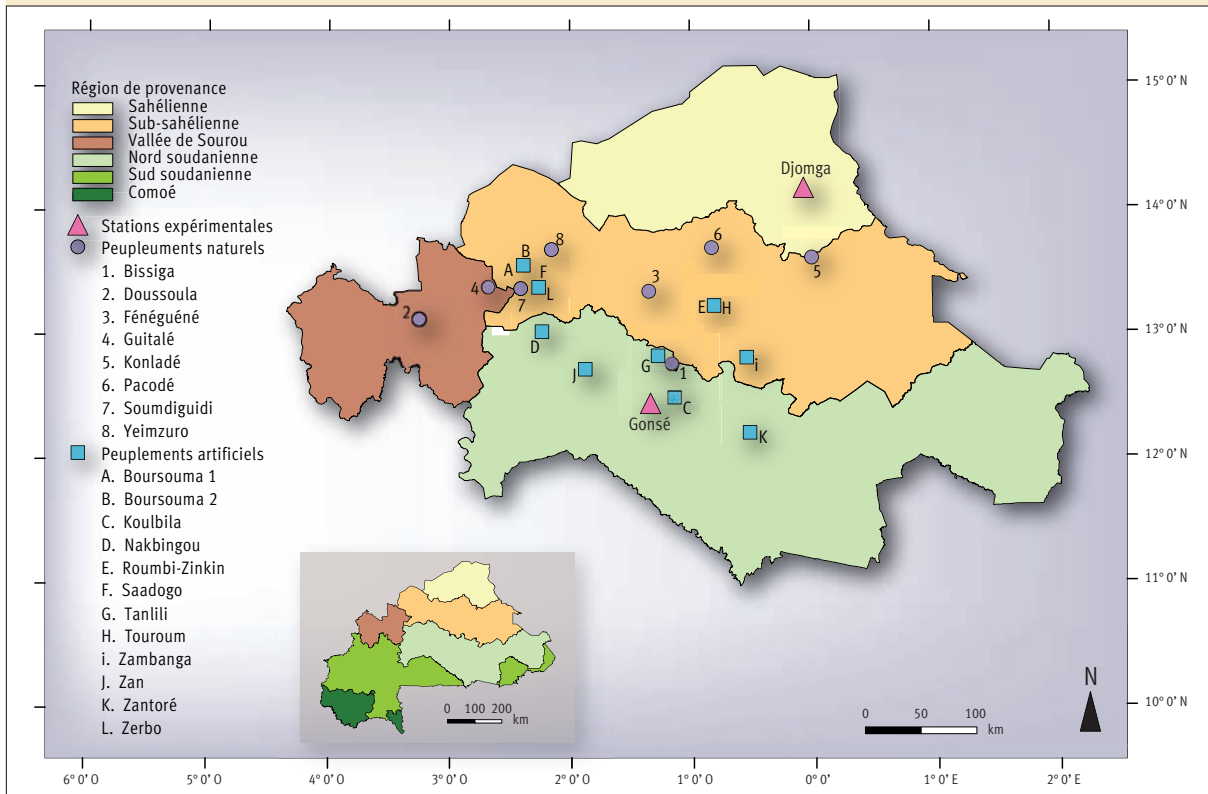


Figure 1.
Localisation des sites d'essais au Burkina Faso.

Les caractéristiques de ces peuplements naturels sont indiquées dans le tableau I et leur localisation apparaît sur la figure 1. Dans chacun de ces peuplements, une sélection de 50 sujets matures, vigoureux, de belle conformation et ne présentant pas de signes visibles de dépérissement ou d'attaques parasitaires et cryptogamiques a été conduite, en veillant à leur répartition uniforme au sein du peuplement (photo 3). Ces sujets ont été soumis durant deux saisons (2007/2008 et 2008/2009) ou trois saisons consécutives (2006/2007, 2007/2008 et 2008/2009) à des essais de production de gomme, des données dendrométriques ont été recueillies et une analyse qualitative des gommes exsudées a été réalisée pour les arbres dont la quantité de gomme produite était suffisante pour constituer un échantillon.

Sélection des « arbres plus »

Afin d'élargir au maximum la base génétique, la sélection des « arbres plus » a porté, outre les huit peuplements naturels retenus pour la sélection des peuplements à graines, sur un échantillon de 12 peuplements artificiels appartenant à des propriétaires privés (tableau II, figure 1), ainsi que sur trois essais de provenances établis au sein de stations expérimentales du Cnsf (tableau III, figure 1). En ce qui concerne les peuplements artificiels, les essais de production de gomme ont été conduits sur des arbres identifiés par les exploitants comme étant particulièrement productifs en gomme ; il a été retenu de soumettre à ces essais cinq à sept arbres par hectare de gommeriaie effectivement saignée.

Pour les essais de provenances, il s'agit de deux plantations installées dans la station expérimentale de Gonsé : la première, établie en 1988,

est un test comparatif comportant 10 provenances nationales ou étrangères dont seules huit ont été évaluées pour des raisons d'effectif ; la seconde, installée en 1997, est un essai d'adaptation renfermant une seule provenance originaire du Tchad ; une troisième plantation, créée en 1988 dans la station expérimentale de Djomga, est un test comparatif renfermant sept provenances nationales ou étrangères dont seules quatre ont été évaluées, dans ce cas également pour des raisons d'effectif.

Au total, 625 candidats « arbres plus » ont fait l'objet d'un suivi dans la perspective de sélectionner 80 « arbres plus » pour l'installation d'un verger à graines de clones, soit une intensité de sélection prévue de $\alpha = 0,13$.

Tableau II.
Localisation et caractéristiques des peuplements artificiels.

| Site | Effectif | Province | Région de provenance | Latitude | Longitude | Altitude (m) | Pluviométrie moyenne* (mm) | Superficie (ha) | Année de plantation |
|---------------|----------|------------|----------------------|-------------|-------------|--------------|----------------------------|-----------------|---------------------|
| Boursouma 1 | 9 | Yatenga | Subsahélienne | N 13°29'37" | W 02°22'28" | 323 | 590 | 0,97 | 2001 |
| Boursouma 2 | 7 | Yatenga | Subsahélienne | N 13°29'23" | W 02°22'21" | 323 | 590 | 0,41 | 2001 |
| Koulbila | 8 | Oubritenga | Nord-soudanienne | N 12°24'09" | W 01°07'15" | 282 | 740 | 1,32 | Non connue |
| Nakbingou | 6 | Passoré | Nord-soudanienne | N 12°56'15" | W 02°13'43" | 345 | 655 | 0,55 | 1996 |
| Roumbi-Zinkin | 5 | Sanmatenga | Subsahélienne | N 13°09'08" | W 00°48'16" | 314 | 630 | 0,50 | 1999 |
| Saadogo | 12 | Yatenga | Subsahélienne | N 13°29'55" | W 02°22'19" | 323 | 590 | 2,16 | 1996 |
| Tanlili | 6 | Oubritenga | Nord-soudanienne | N 12°44'43" | W 01°16'31" | 310 | 690 | 12,61 | 1997 |
| Touroum | 4 | Sanmatenga | Subsahélienne | N 13°08'34" | W 00°47'51" | 309 | 630 | 3,00 | 1999 |
| Zambanga | 3 | Namentenga | Subsahélienne | N 12°43'48" | W 00°32'21" | 315 | 690 | 1,64 | Non connue |
| Zan | 6 | Kourwéogo | Nord-soudanienne | N 12°38'29" | W 01°52'23" | 348 | 690 | 0,95 | Non connue |
| Zantoré | 7 | Ganzourgou | Nord-soudanienne | N 12°07'28" | W 00°30'36" | 275 | 760 | 0,43 | 1998 |
| Zerbo | 6 | Zondoma | Subsahélienne | N 13°18'17" | W 02°14'58" | 338 | 610 | 2,61 | 1997 |

* Données de la Direction Météorologie nationale, moyennes pluviométriques 1971-2000.

Tableau III.
Localisation et caractéristiques des essais de provenances en stations expérimentales.

| Site | Province | Région de provenance | Latitude | Longitude | A (m) | Pme (mm) | S (ha) | Ap | E | Origine des provenances | Pmo (mm) |
|--------|----------|----------------------|-------------|-------------|-------|----------|--------|------|----|-------------------------|----------|
| Djomga | Seno | Sahélienne | N 14°05'31" | W 00°02'24" | 280 | 510* | 0,34 | 1988 | 10 | Ranerou / Sénégal | 550** |
| | | | | | | | | | 9 | Guidich / Sénégal | 500** |
| | | | | | | | | | 7 | Diamenar / Sénégal | 400** |
| | | | | | | | | | 10 | Velingara / Sénégal | 550** |
| Gonsé | Kadiogo | Nord-soudanienne | N 12°21'31" | W 01°18'55" | 278 | 750* | 0,95 | 1988 | 10 | Thiarène / Sénégal | 300** |
| | | | | | | | | | 10 | Namarel / Sénégal | 332** |
| | | | | | | | | | 10 | Diaguely / Sénégal | 400** |
| | | | | | | | | | 10 | Gueye Kadar / Sénégal | 309** |
| | | | | | | | | | 10 | Windou / Sénégal | 350** |
| | | | | | | | | | 10 | Fallatu forest / Soudan | 365** |
| | | | | | | | | | 10 | Lac Dem / Burkina Faso | 750** |
| | | | | | | | | | 10 | Boron / Burkina Faso | 900** |
| Gonsé | Kadiogo | Nord-soudanienne | N 12°21'31" | W 01°18'55" | 278 | 750* | 1,11 | 1997 | 30 | Bou Loulou / Tchad | 500*** |

A : altitude ; Pme : pluviométrie moyenne du site d'étude ; Pmo : pluviométrie moyenne du site d'origine ; S : superficie ; Ap : année de plantation ; E : effectif.

* Données de la Direction Météorologie nationale, Burkina Faso, moyennes pluviométriques 1971-2000.

** Données des fournisseurs des semences.

*** Données du Centre national d'appui à la recherche, Tchad, moyennes pluviométriques 1961-2001.



Photo 3.

Candidat « arbre plus » sélectionné dans le peuplement naturel de Doussoula (province du Sourou, Burkina Faso).
Photo P. Soloviev.

Essais de production de gomme

Dans chacun des sites, les candidats « arbres plus » ont été géoréférencés et numérotés à l'aide de peinture. La période optimale de saignée a été déterminée sur la base du référentiel établi par BALIMA (2000), qui la situe pour le Burkina Faso entre le 15 octobre et le 15 novembre. Sur chaque arbre, quatre branches de diamètre supérieur à 5 cm ont été sélectionnées et sur chaque branche une carre d'environ 3 cm de large sur 20 cm de long a été réalisée à l'aide d'une saignette. La récolte de la gomme a été effectuée de manière individuelle, selon une périodicité de quinze jours jusqu'à la fin du mois d'avril. La récolte a concerné aussi bien la gomme exsudant au niveau des carres que celle produite spontanément sur toute autre partie aérienne de l'arbre (photo 4). Une fois récoltée, elle a fait

l'objet d'un séchage à l'air libre dans un local ombragé et ventilé, puis elle a été conservée en sachets plastique jusqu'au moment de la pesée, effectuée en mai 2007, 2008 ou 2009. Les résultats ont été exprimés en grammes.

Analyse qualitative de la gomme

Après broyage séparé des différents lots de gomme et nettoyage complet du broyeur entre chaque lot, la poudre a été utilisée pour la détermination de deux critères de qualité (DJIRE *et al.*, 2002) :

- le pouvoir rotatoire spécifique (sa mesure a été effectuée à l'aide d'un polarimètre ; les résultats sont donnés en degrés angulaires) ;
- la teneur en azote total (elle a été déterminée selon la méthode Kjeldhal ; les résultats sont exprimés en pourcentage d'azote par rapport à la matière sèche).

Caractères dendrométriques

La production ligneuse a été évaluée sur la base de trois caractères dendrométriques, la surface terrière, la surface du houppier et la hauteur de l'arbre :

- la surface terrière a été déterminée par mesure du diamètre du tronc à 0,3 m de hauteur ; elle est exprimée en centimètres carrés ;
- la surface du houppier est obtenue par la projection verticale au sol de la surface du houppier ; elle est donnée en mètres carrés ;
- la hauteur de l'arbre a été établie à l'aide d'une perche télescopique graduée ; elle est exprimée en mètres.



Photo 4.

Exsudation de gomme au niveau des carres d'un candidat « arbre plus » sélectionné dans le peuplement artificiel de Zantoré (province du Ganzourgou, Burkina Faso). Photo P. Soloviev.

Analyses statistiques

Les tests de normalité ont démontré la nécessité de soumettre certaines variables à des transformations :

$\sqrt[3]{x}$ pour la « production de gomme », $\log(x)$ pour la « surface terrière », la « surface du houppier » et la « hauteur de l'arbre » ; les autres variables n'ont pas nécessité de transformation.

Étant donné que les répétitions de mesures sur un même sujet au cours du temps ne peuvent être supposées indépendantes, une Anova à mesures répétées et à structure de covariance autorégressive a été appliquée au traitement des données portant sur la production de gomme dans les différents sites au cours du temps (MILLIKEN, JOHNSON, 2002).

Pour les autres variables, « production de gomme pour une même année », « teneur en eau », « pouvoir rotatoire spécifique », « teneur en azote total », « surface terrière », « surface du houppier » et « hauteur de l'arbre », l'hypothèse d'égalité des moyennes a été testée par analyse de variance classique. Les moyennes significativement différentes ont été comparées par la méthode de Newman et Keuls au seuil $P < 5\%$.

Un modèle de régression linéaire simple a été appliqué pour déterminer la nature de la relation entre la production de gomme et les différents paramètres dendrométriques au sein de chaque peuplement.

L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé à l'aide du logiciel XLStat version 2009.3.02.

Résultats et discussion

Essais de production de gomme

Les résultats de l'Anova à mesures répétées pour les peuplements naturels indiquent que les variables « peuplement » et « année » expliquent de manière significative la variabilité de la production de gomme ($\chi^2 = 244,0$; $Pr > \chi^2$ inférieure à 0,0001), les effets « peuplement » et « année x peuplement » étant légèrement plus significatifs que l'effet « année » (tableau IV). L'analyse des résultats par année met en évidence des différences significatives entre les peuplements naturels pour chacune des années, ainsi que pour la moyenne sur les deux ou trois années (tableau V, figure 2). Les peuplements de Bissiga, Yeimzuro, Soumdiguidi et Konladé apparaissent comme étant les plus productifs en gomme. En termes quantitatifs, la production moyenne par arbre pour l'ensemble des huit peuplements atteint 117 g et varie de 45 g à 225 g selon le peuplement. Cette moyenne peut être rapprochée des observations de BALLAL *et al.* (2005) au Soudan, qui ont enregistré des productions moyennes de l'ordre de 100 g par arbre dans des peuplements naturels soumis à la saignée aux périodes optimales. De plus, la valeur élevée des écarts-types traduit la forte variabilité intra-peuplement de la production de gomme ; ainsi, sur le plan individuel, certains sujets ont produit des quantités de gomme appréciables, avec des productions annuelles proches de 1 300 g, tandis que 1 % d'entre eux n'ont pas exsudé la moindre quantité de gomme durant trois années consécutives.

Les expérimentations menées en peuplements artificiels conduisent sensiblement aux mêmes constatations que pour les peuplements naturels, avec de légères nuances. Le modèle d'Anova à mesures répétées est également significatif ($\chi^2 = 5,6$; $Pr > \chi^2 = 0,018$) et met une fois de plus

en évidence l'effet « peuplement » et « année », ainsi que leur interaction sur la production de gomme (tableau VI) ; l'analyse de variance classique a conduit à mettre au jour des différences significatives entre les peuplements

artificiels par année (tableau V, figure 3), avec des moyennes de production de gomme inférieures à celles des peuplements naturels, ainsi qu'une variabilité entre les individus au sein des peuplements tout aussi marquée.

Enfin, la production de gomme dans l'essai de provenances de Gonsé, âgé d'une vingtaine d'années, apparaît assez faible, avec une moyenne générale de 17 g par arbre, et une absence de différences significatives est observée entre les provenances (OUEDRAOGO, 2001). Mesurée une première fois en 1998-1999, la production de gomme de cet essai, bien que faible avec une moyenne générale de 27 g par arbre, présentait néanmoins des différences significatives entre les provenances (tableau V, figure 4). Mesurée une première fois en 1998-1999, la production de gomme de cet essai, bien que faible avec une moyenne générale de 27 g par arbre, présentait néanmoins des différences significatives entre les provenances (OUEDRAOGO, 2001). Ces observations sont à mettre en parallèle avec les résultats de l'essai de provenances de Djomga dont la production moyenne par arbre atteint environ 125 g et pour lequel des différences significatives entre les quatre prove-

Tableau IV.
Résultats de l'Anova à mesures répétées pour la production de gomme dans les peuplements naturels.

| Effets | Ddl | F | Pr > F |
|--------------------|-----|--------|----------|
| Année | 2 | 8,698 | 0,0002 |
| Peuplement | 7 | 15,589 | < 0,0001 |
| Année x peuplement | 10 | 5,97 | < 0,0001 |

Tableau V.
Résultats des analyses de variance pour les différentes variables étudiées.

| Variable | Type de site | Année | Np | Ep | F | Pr > F |
|--|---------------------------------|----------------|----|------------|--------|----------|
| Production de gomme | Peuplements naturels | 2006-2007 | 4 | 50 | 26,82 | < 0,0001 |
| | | 2007-2008 | 8 | 50 | 8,25 | < 0,0001 |
| | | 2008-2009 | 8 | 50 | 13,24 | < 0,0001 |
| | | Moyenne années | 8 | 50 | 15,09 | < 0,0001 |
| | Peuplements artificiels | 2007-2008 | 10 | De 3 à 12 | 3,602 | 0,001 |
| | | 2008-2009 | 11 | De 3 à 12 | 4,7 | < 0,0001 |
| | | Moyenne années | 11 | De 3 à 12 | 4,013 | 0,0002 |
| | Essai de provenances Gonsé 1988 | 2007-2008 | 1 | 80 | 0,421 | 0,886 |
| | | 2008-2009 | 1 | 80 | 1,081 | 0,384 |
| | | Moyenne années | 1 | 80 | 1,217 | 0,305 |
| Essai de provenances Djomga 1988 | 2008-2009 | 1 | 36 | 9,239 | 0,0002 | |
| Pouvoir rotatoire spécifique | Peuplements naturels | 2006-2007 | 4 | De 21 à 50 | 12,5 | < 0,0001 |
| | | 2007-2008 | 8 | De 6 à 18 | 2,3 | 0,036 |
| Teneur en azote total | Peuplements naturels | 2006-2007 | 4 | De 20 à 50 | 2,95 | 0,035 |
| | | 2007-2008 | 8 | De 6 à 18 | 1,81 | 0,101 |
| Surface terrière | Peuplements naturels | 2008 | 8 | 50 | 31,068 | < 0,0001 |
| Surface du houppier | Peuplements naturels | 2008 | 8 | 50 | 14,55 | < 0,0001 |
| Hauteur de l'arbre | Peuplements naturels | 2008 | 8 | 50 | 15,81 | < 0,0001 |
| Np : nombre de peuplements ; Ep : effectif par peuplement. | | | | | | |

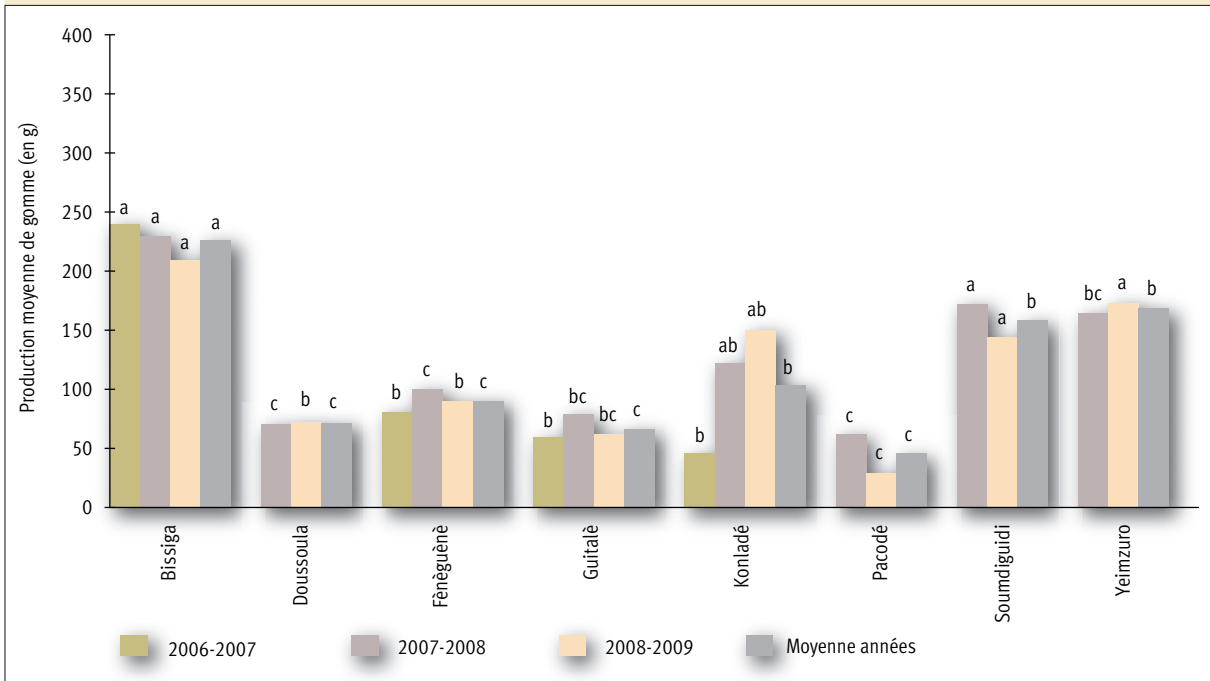


Figure 2.

Résultats des essais de production de gomme dans les peuplements naturels. Par année, les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes au seuil $P < 5\%$ (méthode Newman-Keuls).

Tableau VI.
Résultats de l'Anova à mesures répétées pour la production de gomme dans les peuplements artificiels.

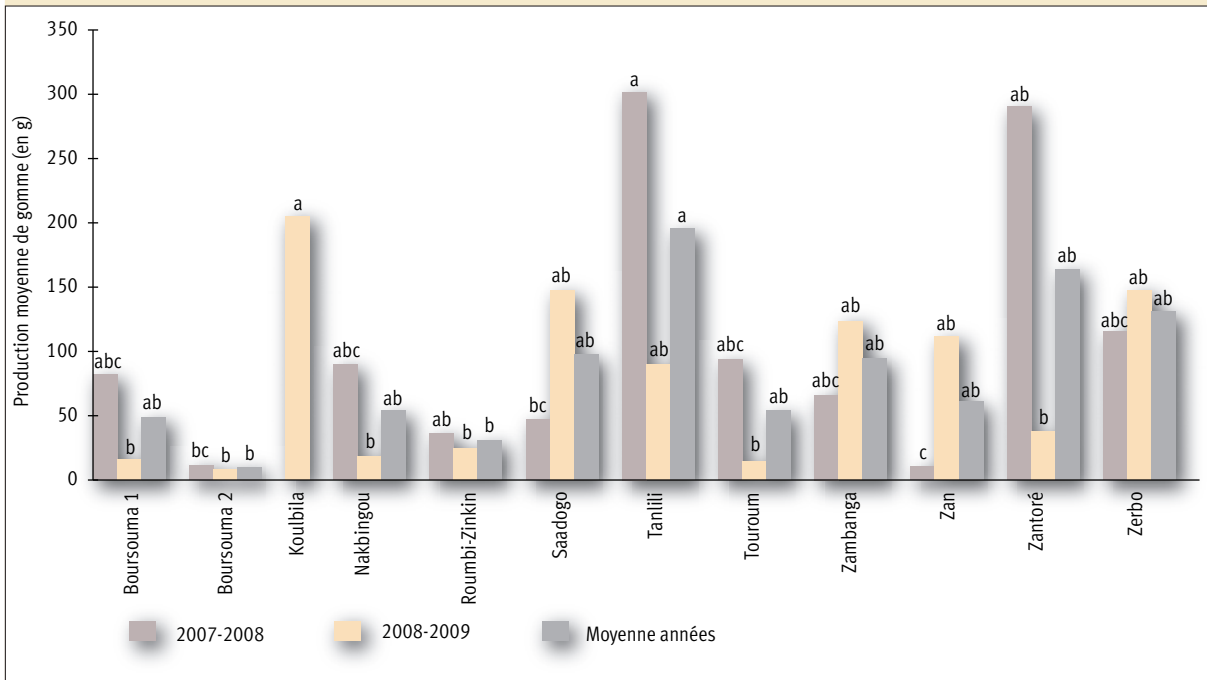
| Effets | Ddl | F | Pr > F |
|--------------------|-----|-------|----------|
| Année | 1 | 4,61 | 0,034 |
| Peuplement | 10 | 1,966 | 0,043 |
| Année x peuplement | 10 | 5,940 | < 0,0001 |

nances d'origine sénégalaise se manifestent (figure 5). Dans ces deux essais, mis en place en 1988 mais dans des conditions pédoclimatiques contrastées, il apparaît que les provenances d'origine sénégalaise, qui diffèrent d'un essai à l'autre, se comportent différemment quant à la production en gomme. Le bon niveau de production en gomme constaté dans l'essai de provenances de Djomga pourrait résulter d'une proximité plus grande entre la pluviométrie annuelle

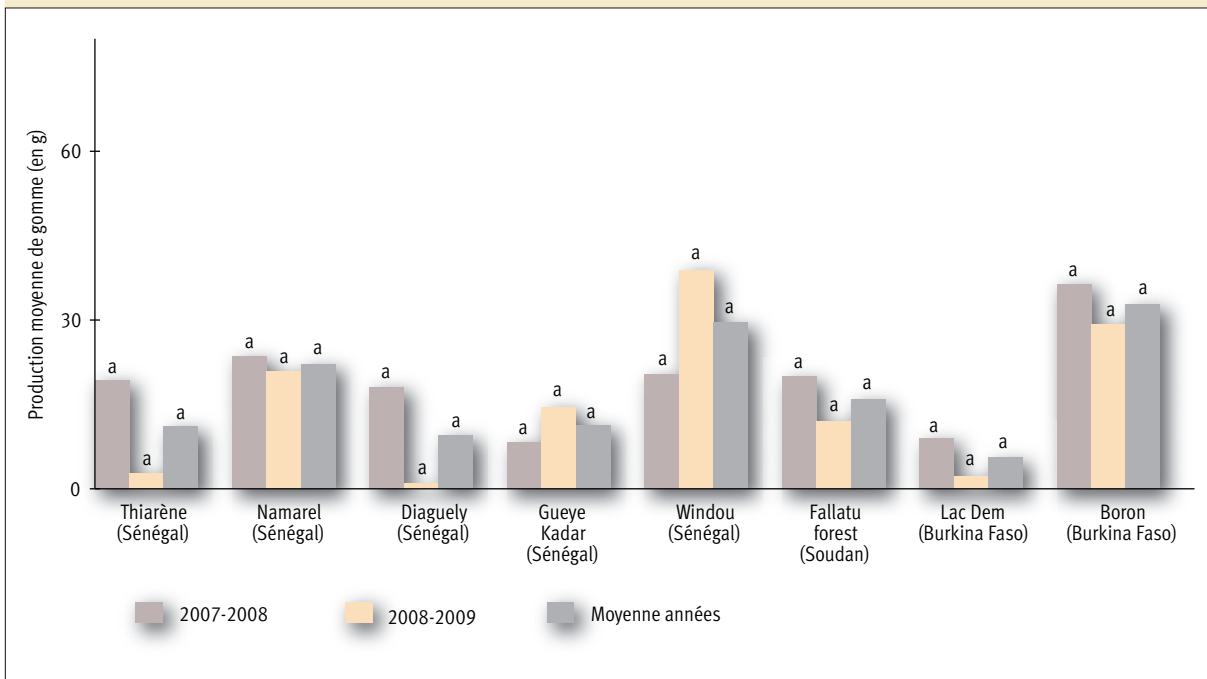
moyenne de cette station expérimentale (510 mm) et la pluviométrie annuelle moyenne des sites d'origine des quatre provenances sénégalaises, qui s'établit dans une fourchette de 400 à 550 mm. Par contre, la pluviométrie annuelle moyenne de la station de Gonsé, qui avoisine les 750 mm, apparaît nettement éloignée de la pluviométrie annuelle moyenne des sites d'origine des cinq provenances sénégalaises, qui s'échelonne de 300 à 400 mm.

Cependant, la production en gomme des deux provenances burkinabé de l'essai installé à Gonsé, dont la pluviométrie des sites d'origine est proche de celle de la station, est faible et n'est pas significativement différente des autres provenances. Enfin, il faut souligner le bon niveau de production enregistré dans les conditions nord-soudaniennes par la provenance tchadienne, de l'ordre de 110 g par arbre en moyenne.

Ces observations ne nous permettent pas de tirer de conclusions quant à l'impact de la pluviométrie sur la production de gomme, mais nous conduisent à rappeler qu'il pourrait exister un risque lié au transfert de provenances dans des sites dont la pluviométrie diffère sensiblement de celle du site d'origine. La mise en place de tests de provenances préalablement à toute introduction à large échelle de matériel forestier de reproduction provenant de régions soumises à des niveaux de précipitations très différents de ceux rencontrés dans la zone de plantation apparaît donc comme une recommandation pertinente.

**Figure 3.**

Résultats des essais de production de gomme dans les peuplements artificiels. Par année, les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes au seuil $P < 5\%$ (méthode Newman-Keuls).

**Figure 4.**

Résultats des essais de production de gomme dans l'essai de provenances de Gonsé 1988. Par année, les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes au seuil $P < 5\%$ (méthode Newman-Keuls).

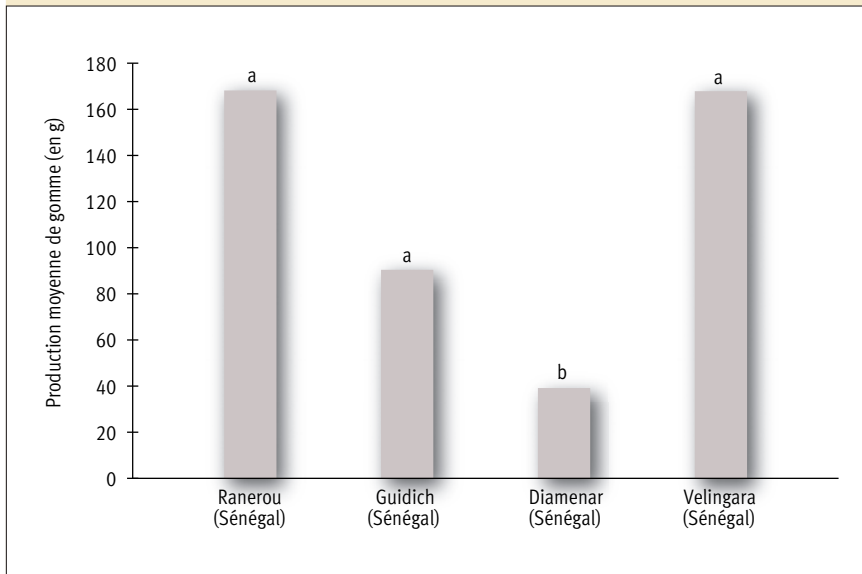


Figure 5. Résultats des essais de production de gomme en 2008-2009 dans l'essai de provenances de Djomga 1988. Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes au seuil $P < 5\%$ (méthode Newman-Keuls).

Analyse qualitative de la gomme

L'analyse des données relatives au pouvoir rotatoire spécifique des lots de gomme indique l'existence de différences significatives entre les peuplements naturels, avec toutefois des valeurs moyennes comprises globalement dans la fourchette de -26° à -34° utilisée précédemment par le JECFA (1990) pour la définition de la gomme d'*A. senegal* (tableau V, figure 6).

Pour la teneur en azote total, peu de différences apparaissent entre les peuplements naturels (tableau V, figure 6) ; il ressort cependant que certains lots de gomme étudiés sont relativement pauvres en azote, en particulier en 2007-2008, avec des teneurs fréquemment inférieures au seuil de $0,27\%$ défini par les anciennes spécifications du JECFA (1990), le seuil supérieur étant lui fixé à $0,39\%$.

Autant pour le pouvoir rotatoire spécifique que pour la teneur en azote total, les valeurs des écarts-types indiquent une faible variabilité entre les lots de gomme analysés.

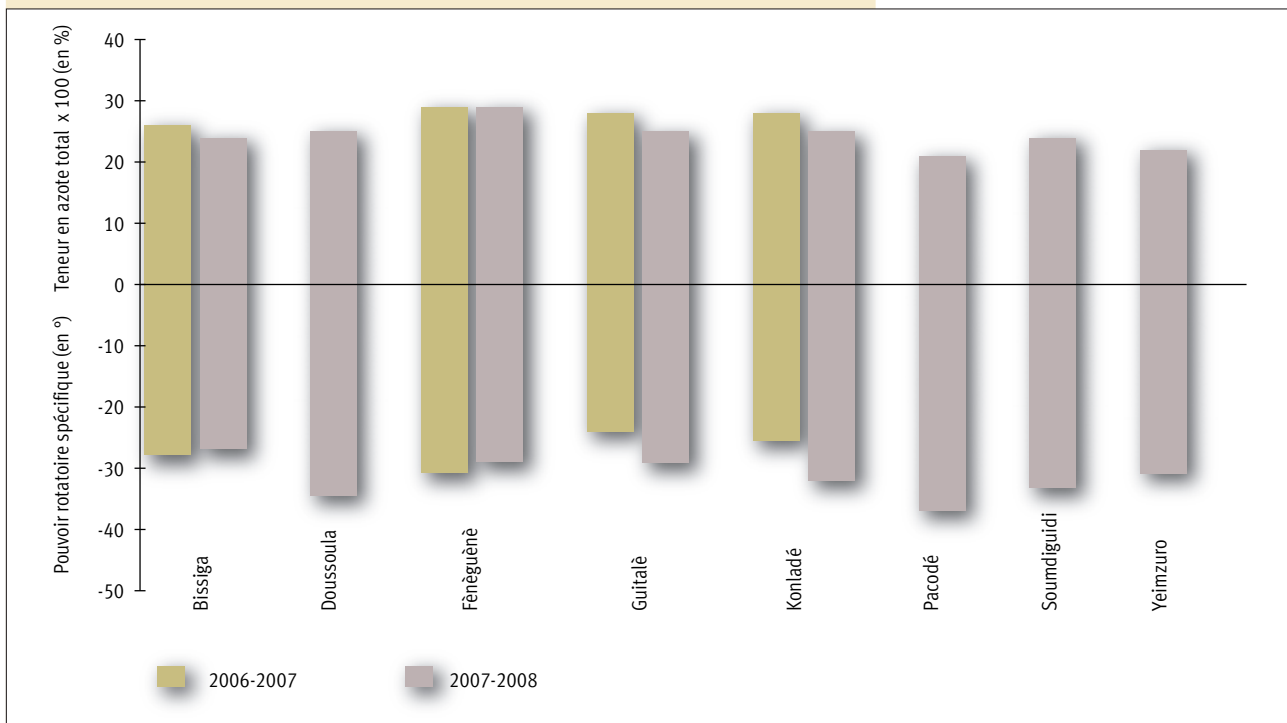


Figure 6. Résultats des analyses qualitatives de la gomme des peuplements naturels.

Tableau VII.
Résultats des régressions linéaires de la production de gomme avec les variables dendrométriques pour les peuplements naturels.

| Variables explicatives | Paramètre statistique | Peuplements naturels | | | | | | | |
|---|-----------------------|----------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|-------------|----------|
| | | Bissiga | Doussoula | Fènèguènè | Guitalé | Konladé | Pacodé | Soumdiguidi | Yeimzuro |
| Surface terrière | R ² | 0,002 NS | 0,011 NS | 0,040 NS | 0,014 NS | 0,159 S | 0,136 S | 0 NS | 0,013 NS |
| Surface du houppier | R ² | 0,035 NS | 0,080 S | 0,105 S | 0,012 NS | 0,102 S | 0,018 NS | 0,006 NS | 0,003 NS |
| Hauteur de l'arbre | R ² | 0,006 NS | 0,087 S | 0 NS | 0,001 NS | 0,072 NS | 0,001 NS | 0,018 NS | 0,049 NS |
| Au seuil P < 0,05 : NS : non significatif ; S : significatif. | | | | | | | | | |

Caractères dendrométriques

Pour l'ensemble des caractères dendrométriques retenus, des différences significatives sont apparues entre les peuplements naturels ayant fait l'objet de mensurations (tableau V). Par contre, les régressions linéaires intra-peuplements de la production de gomme avec les variables dendrométriques font ressortir des coefficients de détermination aux valeurs faibles, le plus souvent non significatives (tableau VII). Cela traduit le fait que les variables dendrométriques étudiées ne sont pas en mesure d'expliquer de manière générale la variabilité de la production de gomme. Sans exclure l'existence possible d'une corrélation génétique entre la production ligneuse et celle de gomme, les résultats actuels conduisent à établir que les caractères dendrométriques ne peuvent être utilisés efficacement comme critères de sélection indirects pour la production de gomme dans les peuplements étudiés. Ces résultats ne vont toutefois pas dans le sens des observations de RADDAD et LUUKKANEN (2006), qui ont mis en évidence une corrélation positive entre les paramètres de la croissance et la production de gomme.

Sélection des peuplements

Les données collectées ont conduit à procéder, conformément au Système de l'OCDE (2007), à la sélection de trois peuplements fournissant du matériel forestier de reproduction de la catégorie « sélectionnée », sur la base du critère principal « production moyenne de gomme » et secondairement sur le critère « état sanitaire » (photo 5). Les analyses qualitatives n'ont été considérées que pour constater la conformité des lots de gomme aux anciens critères du JECFA (1990), du fait de leur importance pour les utilisateurs finaux, tout en sachant que les critères en vigueur actuellement ne portent plus sur la teneur en azote total et imposent juste, pour le pouvoir rotatoire spécifique, que celui-ci soit lévogyre (JECFA, 1999). Ces trois peuplements ont fait l'objet d'une inscription au catalogue national des variétés et des matériels forestiers de base du Burkina Faso. Les trois peuplements en question sont celui de Bissiga, situé dans la région de provenance nord-soudanienne, ainsi que ceux de Soumdiguidi et de Yeimzuro, tous deux situés dans la région de provenance subsaharienne. Pour cette dernière région de provenance, la moyenne de production de gomme des peuplements sélectionnés s'élève à 163 g par arbre, pour une moyenne de production, pour l'ensemble des peuplements testés dans cette région de provenance, de 113 g par arbre, soit une différentielle de sélection de 50 g de gomme par arbre en moyenne.

Le peuplement de Konladé, dont la production en gomme n'est pas significativement différente des deux derniers, n'a pas été retenu pour inscription au catalogue national au titre de peuplement fournissant du matériel forestier de reproduction de la catégorie « sélectionnée », du fait de son état sanitaire laissant à désirer.

Aucun des deux peuplements naturels situés dans la région de provenance de la vallée du Sourou n'a été inscrit au titre de peuplement fournissant du matériel forestier de reproduction de la catégorie « sélectionnée », du fait de leur faible production en gomme.

Ces trois derniers peuplements, ainsi que ceux de Fènèguènè et Pacodé, ont fait l'objet d'une inscription au catalogue national comme peuplements fournissant du matériel de reproduction de la catégorie « identifiée » selon les critères de l'OCDE. Dans ceux-ci, des récoltes de matériel forestier de reproduction sont réalisées sur les meilleurs producteurs en gomme, fournissant des semences de catégorie « identifiée » bien que ce matériel soit partiellement amélioré.

Dans l'ensemble des peuplements, des éclaircies sélectives destinées à supprimer les individus les moins productifs sont envisagées, mais elles doivent être entreprises avec précaution, afin qu'elles soient correctement perçues par les populations locales avoisinantes.

Sélection des « arbres plus »

Une intensité de sélection globale de l'ordre de $\alpha = 0,15$, légèrement supérieure à l'intensité de sélection prévue, a été appliquée du fait que l'essai de provenances installé à Gonsé en 1988 n'a pas été pris en considération lors de la sélection, en relation avec ses faibles performances pour la production de gomme. Afin de garantir une large base génétique au futur verger à graines, la même intensité de sélection a été appliquée aux trois groupes distincts que constituent les peuplements naturels, les peuplements artificiels et les essais en stations retenus. L'objectif prioritaire étant de produire une variété synthétique à haute production en gomme, l'intensité de sélection dans les peuplements naturels a été modulée de $\alpha = 0,10$ pour les moins productifs à $\alpha = 0,20$ voire $0,30$ pour les plus productifs. De ce fait, les « arbres plus » issus des peuplements naturels de Bisiga, Soumdiguïdi et Yeimzuro sont sur-représentés par rapport à ceux des autres peuplements naturels. Dans le cas des peuplements artificiels, l'absence d'informations sur l'origine génétique du matériel végétal nous a amenés à appliquer une sélection strictement individuelle sur l'ensemble des candidats « arbres plus », indépendamment du peuplement dont ils sont issus.

La moyenne de production de gomme des « arbres plus » sélectionnés s'élève à 330 g, valeur à comparer avec la moyenne de 114 g pour l'ensemble de la population observée, ce qui donne une différentielle de sélection de 216 g.

Les « arbres plus » issus de la sélection ont été multipliés par greffage et ont conduit à l'installation d'un verger à graines en 2009 (photo 6). Du fait de la faible amplitude des conditions pluviométriques entre les sites dans lesquels a été réalisée la sélection, il a été décidé d'installer un seul verger constitué des clones d'« arbres plus » issus des trois régions de provenance.

Conclusion et perspectives

Au Burkina Faso, la raréfaction des peuplements naturels d'*A. senegal* ainsi que la faible productivité en gomme de certains d'entre eux constituent une entrave à l'accroissement de la production de gomme arabique. Le développement d'une filière de gomme arabique ne peut donc s'envisager sans la création de nouvelles plantations. Toutefois, pour garantir leur durabilité économique, en tenant compte de l'importante variabilité de la production de gomme tant au niveau des peuplements qu'au niveau individuel, l'utilisation de plants aptes à assurer une production élevée en gomme devrait être encouragée. Cet objectif passe, en outre, par le développement d'un programme d'amélioration génétique d'*A. senegal* permettant la production de semences améliorées. Les deux voies de production de semences améliorées retenues sont la sélection de peuplements à graines évalués sur leur aptitude à la production de gomme et la création de vergers à graines d'« arbres plus ». Les essais de production de gomme ont mis en évidence les potentialités du matériel végétal local aussi bien qu'étranger pour alimenter ce programme d'amélioration génétique, sous réserve que le caractère de sélection « production de gomme » possède une héritabilité significative.

Le programme d'amélioration en cours a dès à présent abouti à la sélection de trois peuplements répondant aux critères de l'OCDE ainsi qu'aux premières récoltes de matériel forestier de reproduction de la catégorie « sélectionnée ». Il a également conduit à la mise en place d'un verger à graines d'« arbres plus », apte à fournir des semences de la catégorie « matériel qualifié » dès lors que l'OCDE aura étendu son système à cette catégorie (OCDE, 2007). Les semences issues de ce verger, dont le gain génétique en production de gomme pourrait être important, ne devraient cependant pas être disponibles avant au minimum cinq ans.

Le bon comportement des provenances originaires du Sénégal ainsi que celle du Tchad ouvre des perspectives d'échanges de semences sélectionnées entre les comptoirs à graines de ces différents pays, ainsi que des possibilités de coopération à l'échelle régionale pour la création de nouveaux matériels de base de haute valeur génétique au sens de l'OCDE.

Remerciements

Cette étude a été conduite dans le cadre du projet « Renforcement structurel du Cnsf en vue de développer la filière gomme arabique à travers la production de matériels forestiers de reproduction de qualité et la formation des producteurs » appuyé par l'Association pour la promotion de l'éducation et de la formation à l'étranger (Apefe), ainsi que du projet « Valorisation de la gomme arabique – De la semence au produit transformé (phase finale) » soutenu par la Région wallonne de Belgique. Un remerciement particulier est adressé au Centre national de la recherche scientifique et technologique (Cnrst) / Institut de recherche en sciences appliquées et technologies (Irsat) / Département de technologie alimentaire (Dta) pour les analyses qualitatives des lots de gomme.



Photo 5.
Récolte de semences de
la catégorie « sélectionnée »
dans le peuplement naturel
de Soumdiguidi (province
du Zondoma, Burkina Faso).
Photo P. Soloviev.



Photo 6.
Ramet d'« arbre plus » obtenu
par greffage.
Photo P. Soloviev.

Références bibliographiques

- ARBONNIER M., 2009. Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. Versailles, France, Éditions Quæ, 574 p.
- BALIMA R., 2000. Essai de production de gomme arabique dans les peuplements naturels de *Acacia* spp. Ouagadougou, Burkina Faso, Centre national de semences forestières, Rapport technique n° 31, 43 p.
- BALLAL M. E., EL SIDDIQ E. A., ELFADL M. A., LUUKKANEN O., 2005. Gum arabic yield in differently managed *Acacia senegal* stands in western Sudan. *Agroforestry Systems*, 63 : 237-245.
- CNSF, 2008. Régions de provenance des espèces forestières et agroforestières du Burkina Faso. Ouagadougou, Burkina Faso, ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, Secrétariat général, Centre national de semences forestières, 19 p.
- DEANS J. D., DIAGNE O., LINDLEY D. K., DIONE M., PARKINSON J. A., 1999. Nutrient and organic-matter accumulation in *Acacia senegal* fallows over 18 years. *Forest Ecology and Management*, 124 : 153-167.
- DFSC, 1994. Preliminary assessment reports – Trials nos. 1-26. Humlebaek, Danemark, Danida Forest Seed Centre.
- DJIRE O., NTEMA P. K., ZGOULLI S., DIAWARA B., THONART P., KAMBOU S., WATHELET B., PAQUOT M., 2002. Caractérisation physico-chimique de gommés végétales exsudées par quelques acacias du Burkina Faso. *Science et Technique, Sciences de la Santé, Cnrst/Irsat*, 25 (2) : 37-46.
- ELMQVIST B., OLSSON L., ELAMIN E. M., WARREN A., 2005. A traditional agroforestry system under threat : an analysis of the gum arabic market and cultivation in the Sudan. *Agroforestry Systems*, 64 : 211-218.
- GIFFART P.-L., 1975. Les gommiers, essences de reboisement pour les régions sahéliennes. *Bois et Forêts des Tropiques*, 161 : 3-21.
- ICKOWICZ A., FRIOT D., GUERIN H., 2005. *Acacia senegal*, arbre fourrager sahélien ? *Bois et Forêts des Tropiques*, 284 : 59-68.
- JECFA (FAO/WHO Joint Expert Committee on Food Additives), 1990. The definition and characterization of gum arabic. *Food and Nutrition Paper*, 49 : 23-25.
- JECFA (FAO/WHO Joint Expert Committee on Food Additives), 1999. Compendium of food additive specifications. appendix 7, Joint JECFA 53rd session, Rome. 1-10 June 1999. Rome, Italie, 49.
- KANANJI B., 1993. Variation in gum arabic production of six Sudanese *Acacia senegal* seed sources. *In* : Some L. M., Kam M. de (éd.). *Tree Seed problems with special reference to Africa. Proceedings of the IUFRO Symposium, Ouagadougou, Burkina Faso, 23-28 November 1993*. Leiden, Pays-Bas, Backhuys, 118-127.
- MILLIKEN G. A., JOHNSON D. E., 2002. *Analysis of Messy Data. Volume 3 : Analysis of Covariance*. New York, USA, Chapman and Hall/CRC, 626 p.
- MULLER D., OKORO C., 2004. Production and marketing of gum arabic. *Network for natural gums and resins in Africa*. Nairobi, Kenya, NGARA Publication Series 2, 83 p.
- NANSON A., 2004. Génétique et amélioration des arbres forestiers. *Les Presses Agronomiques de Gembloux, Belgique*, 712 p.
- OCDE, 2007. *Système de l'OCDE pour la certification des matériels forestiers de reproduction destinés au commerce international*. Paris, France, OCDE, 26 p.
- OUEDRAOGO M., 2001. Analyse statistique dans le cadre de l'amélioration génétique forestière en zone soudano-sahélienne : cas d'un essai de provenances d'*Acacia senegal*. *Mémoire de fin d'études (Dea)*, Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux, Belgique, 97 p.
- RADDAD E. A. Y., LUUKKANEN O., 2006. 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 : 219-229.
- RAHIM A. H., RUBEN R., VAN IERLAND E. C., 2008. Examining disadoption of gum arabic production in Sudan. *Agroforestry Systems*, 73 : 115-126.
- SOLOVIEV P., ZERBO G. C., LOMPO D., YODA L. B., JACQUES D., DIALLO A., 2009. *Acacia senegal* au Burkina Faso : état de la ressource et potentiel productif. *Bois et forêts des tropiques*, 300 : 17-27.
- SP/CONAGESE, 1999. *Monographie nationale sur la diversité biologique du Burkina Faso*. Ouagadougou, Burkina Faso, ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, Secrétariat permanent du Conseil national pour la gestion de l'environnement, 90 p.
- VASSAL J., 1991. État des connaissances sur l'induction de gommose chez *Acacia senegal*. *In* : *Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides*. Paris, France, Groupe d'étude de l'arbre, 271-276.