

# Un complexe d'espèces d'*Afzelia* des forêts africaines d'intérêt économique et écologique (synthèse bibliographique)

Armel S. L. Donkpegan <sup>(1)</sup>, Olivier J. Hardy <sup>(2)</sup>, Philippe Lejeune <sup>(1)</sup>, Madjidou Oumorou <sup>(3)</sup>, Kasso Daïnou <sup>(1)</sup>, Jean-Louis Doucet <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Univ. Liège - Gembloux Agro-Bio Tech. Unité de Gestion des Ressources forestières et des Milieux naturels. Laboratoire de Foresterie des Régions tropicales et subtropicales. Passage des Déportés, 2. B-5030 Gembloux (Belgique). E-mail : sdonkpegan@doct.ulg.ac.be

<sup>(2)</sup> Université Libre de Bruxelles. Faculté des Sciences. Évolution biologique et Écologie. CP 160/12. Av. F. D. Roosevelt, 50. B-1050 Bruxelles (Belgique).

<sup>(3)</sup> Université d'Abomey-Calavi. Laboratoire d'Écologie appliquée. 03 BP 3908. Cotonou (Bénin).

Reçu le 20 février 2013, accepté le 8 octobre 2013.

L'objectif de cette synthèse est d'établir un bilan actualisé des connaissances et une revue bibliographique du genre *Afzelia* qui comporte un complexe d'espèces exploitées pour leur bois d'œuvre. La distribution des espèces du genre *Afzelia* en Afrique suggère différentes adaptations vis-à-vis des gradients écologiques. Toutefois, sur base des seuls critères végétatifs, il est difficile de distinguer les espèces lors des inventaires forestiers, ce qui pourrait compromettre la gestion durable des populations promues par les pays d'Afrique centrale. Globalement, nous avons montré que le genre reste très peu étudié, bien que certaines de ces espèces soient considérées par l'IUCN comme menacées. Dès lors, des investigations écologiques et génétiques approfondies seraient des plus pertinentes.

**Mots-clés.** *Afzelia*, forêt tropicale, bois d'œuvre, écologie, ressource génétique forestière, arbre à buts multiples, Afrique.

**On a species complex, *Afzelia*, in African forests of economic and ecological interest. A review.** The purpose of this review is to provide a knowledge update and a comprehensive literature review of the genus *Afzelia*, a complex of sister species exploited for their timber in Central Africa. The distribution of *Afzelia* species in Africa suggests that the tree has made various adaptations due to ecological factors. However, on the basis of only vegetative criteria, it is difficult to distinguish species in forest inventory, and this could compromise the sustainable management approach promoted by the populations of Central African countries. We show that the genus remains generally understudied, although some of its species are considered by the IUCN as being under threat. Therefore, the ecological and genetic aspects of our investigations should prove relevant to the future cultivation of *Afzelia*.

**Keywords.** *Afzelia*, tropical forest, timber tree, ecology, forest genetic resource, multi-purpose trees, Africa.

## 1. INTRODUCTION

Le genre *Afzelia* Smith (Fabaceae, Caesalpinioideae) est un taxon paléotropical présent dans les principales formations végétales du continent africain (White, 1986). Il comporte sept espèces en Afrique dont deux se retrouvent dans les forêts claires de la région zambézienne (*A. quanzensis* Welw. et *A. peturei* De Wild.); quatre autres sont endémiques des forêts denses humides de la région guinéo-congolaise (*A. bella* Harms, *A. bipindensis* Harms, *A. pachyloba* Harms et *A. parviflora* [Vahl] Hepper) et la dernière se retrouve essentiellement dans les savanes soudaniennes

(*A. africana* Sm. ex Pers.). *Afzelia bella* présenterait trois variétés : *A. bella* var. *gracilior* Keay, *A. bella* var. *glabra* Aubrév. et *A. bella* var. *bella*. Quatre de ces espèces (*A. africana*, *A. bella*, *A. bipindensis* et *A. pachyloba*) sont très proches du point de vue morphologique et généralement commercialisées sous l'appellation « doussié », lequel est un bois d'œuvre très recherché par l'industrie forestière (ATIBT, 2010 ; Paradis et al., 2011). La distinction morphologique de ces espèces est difficile sur le terrain, créant des confusions lors des inventaires forestiers. Cette situation semble tacitement tolérée dans le commerce international des bois tropicaux (Normand, 1939 ; Mesel, 2002),

bien que des propriétés technologiques différentes soient régulièrement reportées par les professionnels (CTFT, 1980), notamment en termes de retrait du bois. Lors de l'élaboration des flores d'Afrique, plusieurs auteurs ont étudié le genre (Chevalier, 1940 ; Léonard, 1950 ; INEAC, 1952 ; Keay, 1954 ; Aubréville, 1959 ; de Saint Aubin, 1963 ; Aubréville, 1968 ; Aubréville, 1970 ; Satabié, 1994). Toutefois, à notre connaissance, la dernière révision complète du genre a été réalisée par Pennell en 1925.

Outre son intérêt économique, le genre *Afzelia* présente, en tant que complexe d'espèces, un intérêt indéniable pour tester différentes hypothèses évolutives et phylogéographiques (Dainou et al., 2010 ; Duminil et al., 2010). Par ailleurs, *A. africana*, *A. bipindensis* et *A. pachyloba* sont classées dans la catégorie « vulnérable » de la liste rouge IUCN (2012). Une confirmation de l'identité de ces espèces ne peut qu'être utile à une meilleure gestion et conservation des ressources spécifiques existantes.

Le présent article, outre la synthèse des connaissances qu'il propose sur les espèces africaines du genre *Afzelia*, vise aussi à relever les insuffisances de connaissances sur certaines espèces afin de suggérer des pistes pour des recherches futures. La recherche bibliographique a été réalisée en consultant :

- les bases de données accessibles *via* le site Internet de l'Université de Liège (Scopus, CAB Abstracts),
- la base de données de l'Institut de la Recherche pour le Développement (IRD),
- Google Scholar,
- les ressources documentaires disponibles au niveau de la bibliothèque centrale de Gembloux Agro-Bio Tech.

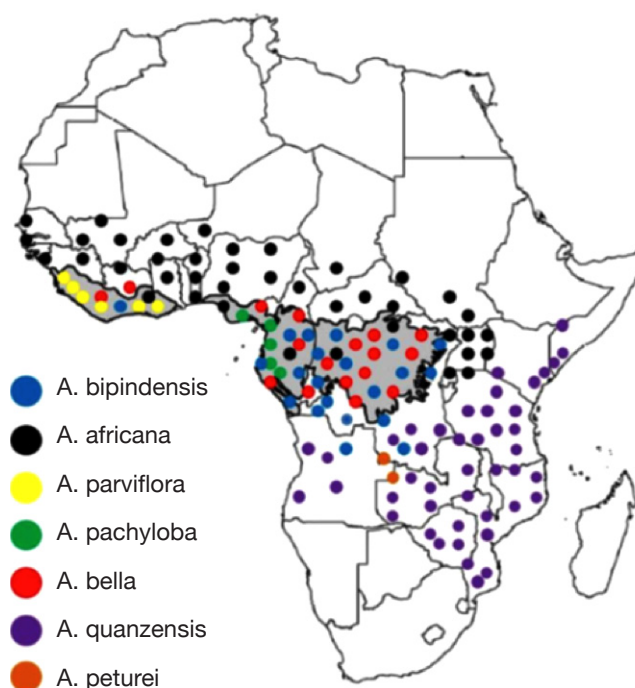
La combinaison des mots-clés suivants a été utilisée en français et en anglais : *Afzelia*, doussié, description, botanique, génétique, taxonomie, phylogénie moléculaire, écologie, gestion forestière, marché, commerce.

## 2. RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE

La distribution des sept espèces africaines du genre *Afzelia* sur le continent africain est reprise à la **figure 1**.

*Afzelia bipindensis* est une espèce des forêts denses humides sempervirentes et semi-sempervirentes distribuée de la Côte d'Ivoire jusqu'en Angola et en Zambie (Gérard et al., 2011c). Limitée aux forêts sempervirentes, *A. pachyloba* se rencontrerait du Nigéria jusqu'à la République démocratique du Congo (Gérard et al., 2011d). *Afzelia parviflora* est également signalée dans les forêts denses humides, mais exclusivement le long des côtes s'étendant de la Guinée à la Côte d'Ivoire (Burkill, 1995). Les

différentes variétés d'*A. bella* seraient chacune endémiques de sous-régions précises du centre guinéo-congolais. *Afzelia bella* var. *gracilior* serait une variété typique des forêts denses sempervirentes du sous-centre guinéen supérieur (Aubréville, 1968). Les deux autres variétés, *A. bella* var. *glabra* et var. *bella* seraient présentes uniquement dans le bassin du Congo (Aubréville, 1968). *Afzelia africana* est une espèce qui s'étend des savanes boisées aux forêts sèches, elle pénétrerait aussi dans les forêts denses humides semi-caducifoliées (Satabié, 1994). Elle est inféodée aux habitats plus secs et répandue depuis le Sénégal jusqu'en Tanzanie (Aubréville, 1968 ; Geerling, 1982). Enfin, relativement aux deux espèces du centre zambézien, la première, *A. quanzensis*, aurait une aire de répartition qui s'étendrait du sud de la Somalie au nord de l'Afrique du Sud (Brummitt et al., 2007). La deuxième, *A. peturei*, serait géographiquement limitée à la frontière de la RDC et de la Zambie (Brenan, 1967).



**Figure 1.** Répartition géographique sur le continent africain des sept espèces africaines du genre *Afzelia* (carte adaptée d'après la base de données du Conservatoire des Jardins Botaniques de Genève [CJBG], consultée le 06/11/2012 et la carte de White, 1986) — *Natural range in Africa of the seven African species of the genus Afzelia (map adapted from the database of the Conservatory Botanical Gardens of Geneva [CJBG], accessed 06/11/2012 and White, 1986).*

### 3. SYSTÉMATIQUE DU GENRE *AFZELIA*

#### 3.1. Historique de la taxonomie

Le genre *Afzelia* fut proposé pour la première fois en 1792 par le botaniste Gmelin en se référant au spécimen type *A. cassioides* collecté par Adami Afzelii. Quelques années plus tard, Blake révisait le genre en excluant l'espèce *A. cassioides* qui était alors reconnue appartenir au genre *Seymeria* Purch. Ce n'est qu'en 1798 que Smith a rétabli le genre *Afzelia* en le décrivant sur la base de l'espèce type *A. africana* collectée dans les savanes du Sénégal, sans toutefois clairement l'assigner au rang d'espèce. Il faut attendre l'année 1805 pour que le mycologue Persoon, en réétudiant le spécimen de Smith, décrive complètement l'espèce *Afzelia africana*. Il mentionnait Smith dans son protologue en le citant comme l'auteur initial de cette espèce. Suite à cette première publication valide d'une espèce d'*Afzelia*, plusieurs autres seront décrites ultérieurement : *A. bracteata* par Vogel mais publié par Hooker (1848), *A. quanzensis* par Welwitsch (1859) et *A. microcarpa* par Chevallier (1909). Quatre autres espèces appartenant au même genre seront décrites par un même auteur, Harms (1913) : *A. zenkeri*, *A. bipindensis*, *A. pachyloba* et *A. bella*, toutes définies à partir de spécimens collectés dans les forêts denses humides du bassin du Congo. Enfin, les taxons *A. bequaertii* (De Wildeman, 1925), *A. caudata* (Hoyle, 1933), *A. brieyi* (De Wildeman, 1933), *A. peturei* (De Wildeman, 1935) et *A. parviflora* Vahl (Hepper, 1972) seront décrits à partir de collectes provenant des forêts denses humides du centre guinéo-congolais, à l'exception d'*A. peturei* collectée dans les forêts claires zambéziennes. Celle-ci est sans doute la moins documentée des *Afzelia*. Il n'existe quasiment aucune information sur cette espèce à distribution géographique extrêmement limitée (**Figure 1**) et pour laquelle très peu de spécimens d'herbiers sont

disponibles. Si Brummitt et al. (2007) ne remettent pas en cause la spécificité de ce taxon, ils le classent toutefois dans le groupe des « *Data deficient* », précisant qu'il n'existe pas d'information sur ses fleurs ni sur ses inflorescences et que des doutes subsistent sur la description des gousses associées à ce taxon. Léonard (1950) aurait différencié ce spécimen des autres *Afzelia* essentiellement sur la base des caractères foliaires (dimension des foliolules et certains traits des pétioles).

Le **tableau 1** présente les noms actuellement validés et/ou reclassés des espèces du genre présentes en Afrique tropicale.

#### 3.2. Caractérisation botanique

La synthèse des principales caractéristiques morphologiques des espèces africaines du genre *Afzelia* a été dressée sur la base des descriptions morphologiques de Smith (1798), Harms (1913), Chevalier (1940), Léonard (1950), INEAC (1952), Hutchinson et al. (1958), Aubréville (1959), de Saint Aubin (1963), Aubréville (1968), Aubréville (1970) et Satabié (1994). Les *Afzelia* sont tous de grands arbres. Les feuilles composées sont paripennées ou subimparipennées dans certains cas, avec la présence de stipules intrapétiolaires à parties supérieures libres, linéaires, aigües, caduques et à parties inférieures soudées, formant une pièce épaisse couvrant le bourgeon végétatif. Pourvues de pétioles courts et tordus, les feuilles possèdent généralement 3 à 9 paires de folioles opposées ou subopposées et un limbe entier dépourvu de ponctuations translucides. Ce sont des arbres hermaphrodites et les inflorescences sont en grappe ou en panicule, solitaires, terminales et axillaires de feuilles supérieures. Des bractéoles ovales ou concaves enveloppent les très jeunes boutons, rapidement caduques ou non. Avec un pédicelle concave, surmonté par un réceptacle long

**Tableau 1.** Liste des espèces du genre *Afzelia* présentes sur le continent africain — *List of species of the genus Afzelia present in Africa.*

Dénominations actuelles acceptées (www.ville-ge.ch/cjb, 07/11/2012)	Synonymes
<i>Afzelia africana</i> Sm. ex Pers.	
<i>Afzelia bella</i> Harms	<i>Afzelia microcarpa</i> A.Chev.
<i>Afzelia bipindensis</i> Harms	<i>Afzelia bequaertii</i> De Wild. <i>Afzelia caudata</i> Hoyle
<i>Afzelia pachyloba</i> Harms	<i>Afzelia brieyi</i> De Wild. <i>Afzelia zenkerii</i> Harms <i>Afzelia caudata</i> Hoyle
<i>Afzelia parviflora</i> (Vahl) Hepper	<i>Afzelia bracteata</i> Vogel ex Benth.
<i>Afzelia peturei</i> De Wild.	
<i>Afzelia quanzensis</i> Welw.	

ou très long incluant quatre sépales imbriqués, la fleur présente un grand pétale plus ou moins longuement onguiculé, à limbe légèrement circulaire, bilobé ou sub-entier. Il existe parfois d'autres pétales, mais ils sont alors rudimentaires. La fleur présente également des étamines fertiles (trois à huit), parfois soudées dans leur tiers inférieur, à longs filets. Les stipes ovariens sont soudés à la paroi du réceptacle et de nombreux ovules sont présents.

Les fruits sont des gousses droites ou réniformes, généralement épaisses, oblongues, s'ouvrant en deux valves ligneuses, lisses, bosselées, sans nervures saillantes, à face interne garnie d'un tissu spongieux dans lequel sont logées les graines. Les graines, de forme ovale ou oblongue et de couleur noire, sont

grandes, lisses, souvent épaisses, munies d'un arille charnu coloré basilaire.

La clef de la **figure 2** permet de distinguer les espèces. Elle est adaptée de la *Flore du Congo Belge* (INEAC, 1952).

### 3.3. Le cas particulier des *Afzelia* commerciaux

Généralement, quatre espèces d'*Afzelia* africains sont commercialisées et exportées pour leur bois d'œuvre sous le vocable de « doussié » ou « *Afzelia* » : *A. africana*, *A. bella*, *A. bipindensis* et *A. pachyloba* (Detienne et al., 1998 ; Paradis et al., 2011). À celles-ci s'ajoute occasionnellement *A. quanzensis* (plus souvent appelée « *chanfuta* » au Mozambique).

A. Folioles de 2-6,2 cm de long et de 0,9-2,5 cm de large ; pétioles de 2-4 mm de long ; gousses réniformes :	
I. Ramilles et feuilles pubescentes ; 7-10 paires de folioles ; gousses de 13-20 cm de long et de 9-13 cm de larges ; graines de 3-4,5 (5,5) cm de long, munies d'un arille jaune citron, cupuliforme à ± bilobé, qui enveloppe la graine du 1/4 de sa longueur.....	<i>A. pachyloba</i>
II. Ramilles et feuilles glabres ; 4-7 paires de folioles ; gousses de 9-14 cm de long et de 3,5-7,5 cm de large ; graines de 2-2,6 cm de long ; munies d'un arille orange, profondément bilobé.....	<i>A. peturei</i>
B. Folioles de (3,2) 6-16 cm de long et de (1,2) 2,5-8,5 cm de large ; pétioles de 3-10 mm de long ; gousses droites ou réniformes :	
I. Folioles arrondies, tronquées ou émarginées au sommet ; pétale de 2-4 cm de long ; ovaire à stipe de 8-10 cm de long ; gousses droites ; arille cupuliforme.....	<i>A. quanzensis</i>
II. Folioles ± acuminées parfois obtuses à arrondies au sommet ; ovaire à stipe de 2-4 mm de long ; gousses réniformes ou droites ; arille profondément bilobé ou cupuliforme :	
a. Réceptacle de 0,5-0,6 cm de long ; 3-5 paires de folioles ; pétale de 1,3-1,5 cm de long ; pédicelle de 1,1-1,3 cm de long ; gousses droites ; arille cupuliforme couvrant la graine sur le 1/3 de sa longueur.....	<i>A. africana</i>
b. Réceptacle de 1-2,5 cm de long ; pétale de 3-6,5 cm de long ; gousses réniformes ; arille profondément bilobé :	
1. Arbres ; (4) 5-8 paires de folioles ; pétale de 3-4,5 cm de long et de 2-2,5 cm de large, glabre à la face externe ; gousses de (8) 11-19,5 cm de long et de 5,5-8 cm de large ; graines de 2,5-4,5 cm de long.....	<i>A. bipindensis</i>
2. Arbres ; 3-5 paires de folioles ; pétale de 3-4 cm de long, rouge, rachis de 5,5-15 cm de long ; gousse mesurant de 7-10 cm de long et 4-4,5 cm de large ; graines de 1,5-2,5 cm de long.....	<i>A. parviflora</i>
3. Généralement arbuste ; 3-6 paires de folioles ; pétale de 4-6,5 cm de long et de 2,5-4 cm de large, glabre à la face externe ; gousses de (6) 9-14 (15) cm de long et de 3-6 cm de large ; graines de 2-3,1 cm de long.....	<i>A. bella</i>

**Figure 2.** Clef d'identification des sept espèces africaines du genre *Afzelia* (adapté d'après INEAC, 1952) — *Identification key of the seven African species of the genus Afzelia (adapted from INEAC, 1952).*

« *Lingue* », « *apa* » ou encore « *papao* » sont d'autres termes fréquemment utilisés en Afrique de l'Ouest pour désigner les doussiés (Paradis et al., 2011). Dans les paragraphes suivants, nous avons compilé l'ensemble de l'information susceptible de contribuer à la délimitation morphologique des quatre espèces principalement exploitées pour leur bois d'œuvre.

*Afzelia africana* et *A. bipindensis* sont de grands arbres munis à la base de plusieurs contreforts inégaux, assez épais, à profil légèrement concave. La hauteur moyenne de ces contreforts varie de 1 à 1,50 m et ils ne s'étendent guère à plus de 1 ou 2 m de l'arbre (Aubréville, 1968). Le fût est assez droit, de longueur variable de 15 à 20 m avec un diamètre moyen à hauteur de poitrine allant de 100 à 180 cm au-dessus des contreforts (de Saint Aubin, 1963). Les deux espèces se différencient principalement par les folioles (plus larges chez *A. africana*) et par l'arille recouvrant les graines (jaune-orangé chez *A. africana* et rouge chez *A. bipindensis*). *Afzelia bella* et *A. pachyloba* seraient un peu moins grands et leur diamètre n'excéderait pas 80 cm. Néanmoins, Gérard et al. (2011b) rapportent qu'en Afrique de l'Ouest, *A. bella* pourrait atteindre des dimensions similaires à celles de *A. bipindensis*. Selon Aubréville (1968) et Gérard et al. (2011b), cela s'expliquerait par les fortes variabilités intra-spécifiques liées à l'existence des trois variétés susmentionnées chez *A. bella* et dont les gammes de valeurs des traits quantitatifs les distinguant ne sont pas précisées.

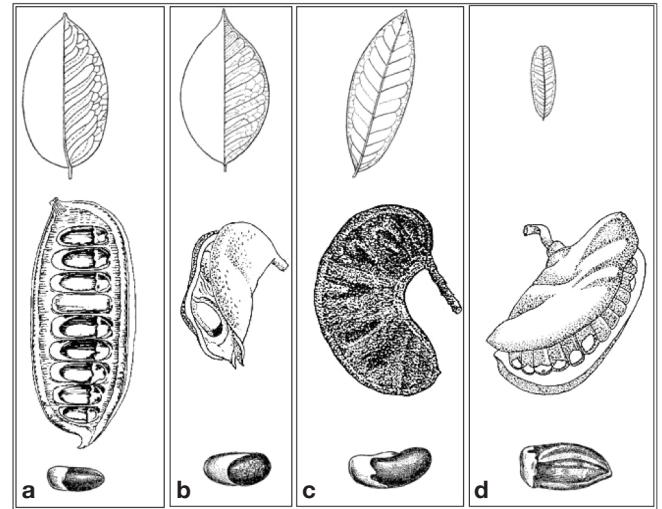
Le **tableau 2** (voir page suivante) synthétise les caractères pouvant servir à déterminer les quatre principales espèces de doussié. L'analyse de ce tableau démontre clairement qu'il est difficile de différencier sur le terrain, sur base de caractéristiques végétales, la plupart des espèces de doussié : les valeurs des traits quantitatifs se recouvrent généralement (folioles, fruits).

La **figure 3** présente les folioles, gousses et graines.

Pour compléter les descriptions botaniques et valider la taxonomie du genre, l'utilisation de marqueurs moléculaires pourrait être particulièrement indiquée (Duminil et al., 2006 ; Daïnou et al., 2010 ; Koffi et al., 2010).

#### 4. POINT SUR LA PHYLOGÉNIE DU GENRE AFZELIA

Un certain nombre d'études phylogénétiques ont été menées au niveau des sous-familles, des tribus et des genres des Fabaceae (Breteler, 1995 ; Breteler et al., 1999 ; Doyle et al., 2000 ; Bruneau et al., 2001 ; Sulaiman et al., 2003). Par exemple, les travaux de Bruneau et al. (2001) ont permis une meilleure définition des relations phylogénétiques entre les



**Figure 3.** Morphologie des folioles des gousses et des graines du doussié (adapté de Aubréville, 1959 ; Gérard et al., 2011a ; Gérard et al., 2011b ; Gérard et al., 2011c ; Gérard et al., 2011d) — *Morphology of leaflets, pods and seeds of doussié species* (adapted from Aubréville, 1959 ; Gérard et al., 2011a ; Gérard et al., 2011b ; Gérard et al., 2011c ; Gérard et al., 2011d).

a. *Afzelia africana* ; b. *Afzelia bella* ; c. *Afzelia bipindensis* ; d. *Afzelia pachyloba*.

genres de la plus grande tribu des Fabaceae, celle des Detarieae à laquelle appartient le genre *Afzelia*. On retiendra notamment que le genre *Intsia* paraît être le plus proche voisin du genre *Afzelia*.

Sur le continent asiatique, des études ont été conduites sur la diversité génétique et les flux de gènes au sein et entre espèces du genre *Afzelia*. Le développement de marqueurs microsatellites nucléaires sur *A. xylocarpa* (Pakkad et al., 2009) et l'existence des marqueurs chloroplastiques polymorphes (Thanh et al., 2012) ont contribué à l'étude de la diversité génétique de cette espèce. Par contre, aucune étude n'a été menée sur les niveaux de différenciation moléculaire au sein du genre.

#### 5. ORIGINE ET SOURCE DE DIVERSIFICATION PROBABLE DU GENRE AFZELIA

Plusieurs études polliniques et paléobotaniques (Lezine, 2007) ont montré le rôle des changements climatiques passés dans la composition floristique, la structure et la répartition géographique actuelle des forêts tropicales (Vincens et al., 1999 ; Lezine, 2007). Ces perturbations climatiques ont sans doute eu des impacts bien caractérisés sur les forêts denses humides tropicales (Daïnou et al., 2010). En observant la distribution

**Tableau 2.** Caractères de différenciation botanique des espèces de doussié sur la base de la littérature existante — *Morphological traits that differentiate doussié species according to the available literature.*

Caractères	<i>Afzelia africana</i>	<i>Afzelia bella</i>	<i>Afzelia bipindensis</i>	<i>Afzelia pachyloba</i>	Références
<b>Fût</b>					
Écorce (aspect)	Gris-roussâtre, épaisse	Brun-clair, lisse ou peu écailleuse	Brun-jaunâtre ou gris rougeâtre	Brune finement craquelée	Harms, 1913 ; INEAC, 1952 ; Aubréville, 1959 ; de Saint Aubin, 1963 ; Sallenave, 1964 ; Aubréville, 1968 ; Sallenave, 1971 ; Gérard et al., 1998 ; Wilks et al., 2000 ; Vivien et al., 2011
Rhytidome	Tranche rose, s'exfolie en plaques arrondies	Tranche jaunâtre granuleuse, superficiellement fendillé	Beige, écailleux, s'exfoliant en plaques irrégulières	S'exfoliant en laissant des dépressions sinueuses	
Bois	Aubier blanc clair, bois de cœur orange-brun à brun doré	Bois de cœur orange-brun à brun doré	Aubier brun jaunâtre, le bois de cœur est rouge et plus foncé	Aubier blanc jaunâtre, le bois est brun-rouge	
<b>Feuilles</b>					
Folioles	3-5 paires	3-6 paires	5-6 paires	<b>7-10 paires</b>	Harms, 1913 ; Chevalier, 1940 ; INEAC, 1952 ; Aubréville, 1959 ;
Dimensions (limbe)	6-15 x 3,5-8,5 cm	6-16 x 2,5-7 cm	7-13 x 4,5 cm	<b>2-6 x 1-2 cm</b>	Aubréville, 1968 ; Wilks et al., 2000 ; Kadiri et al., 2008 ; Vivien et al., 2011
Aspect et forme du limbe	Glabe largement elliptique ± acuminé	Glabe, oblong ou oblong-elliptique pointu ou acuminé	Glabe, coriace, oblong elliptique ou ovale obtus	<b>Pubescent</b> dessous, oblong ou oblong lancéolé	
Nervures secondaires	7 à 9 paires	7 à 13 paires	Jusqu'à 15 paires	10 à 13 paires	
Longueur du pétiole (mm)	4-10 mm	3-6 mm	3-7 mm	± 2 mm	
<b>Fleur</b>					
Pédicelle (mm)	<b>1,1-1,3 cm</b>	4-12 mm	5-12 mm	6-9 mm	Harms, 1913 ; INEAC, 1952 ; Aubréville, 1959 ; Aubréville, 1968
Réceptacle	Tubiné, <b>5-6 mm</b> de long	Cylindrique, 1-2,7 cm de long	Cylindrique, 1-2,5 cm de long	Cylindrique, 1,5-2 cm de long	
Staminodes (2)	5-6 mm de long	6-15 mm de long	3-21 mm de long	± 10 mm de long	
Pétale (aspect et dimensions)	Blanc avec une tâche purpurine au centre, 0,8-1,2 x 1,3-1,5 cm	Blanc avec une grosse tâche rouge, 2,5-4 x 4-6,5 cm	<b>Rouge avec une bordure blanche</b> , 2-2,5 x 3-4,5 cm	Blanc taché de rouge, 2-2,5 x 3-4 cm	
<b>Fruit</b>					
Gousse (forme et dimensions)	<b>Droite</b> ou à peine courbée, <b>valves lisses</b> , 5-8 x 12-17 cm	Épaisse, réniforme, valves bosselées, 4-5 x 10-12 cm	Incurvée, valves bosselées, 5-9 x 10-15 cm	Incurvée, valves bosselées, 9-13 x 13-20 cm	Harms, 1913 ; INEAC, 1952 ; Aubréville, 1959 ; Aubréville, 1968
Arille de la graine	Orangé, lobulé, enveloppe de la graine sur <b>1/3</b> de sa longueur	Rouge orangé, bilobé, enveloppe la graine sur <b>2/3</b> de sa longueur	Orangé avec deux lobes inégaux, enveloppe la graine sur <b>4/5</b> de sa longueur	Jaune, lobé sur les bords, enveloppe la graine sur <b>1/4</b> de sa longueur	

Les caractères les plus discriminants sont en gras — *The characters most discriminant are in bold.*

actuelle des espèces d'*Afzelia* qui se trouvent dans des écosystèmes relativement distincts (**Figure 1**), on se rend compte que leurs aires se chevauchent en général. La forte similitude morphologique de ces espèces pourrait être liée à une origine relativement récente (Dainou et al., 2011 ; Biwolé et al., 2012). Toutefois, il est peu probable que ce soit effectivement le cas, Pan et al. (2010) estimant que le genre serait apparu lors de l'Oligocène, vers 27.23 Ma.

Un concept largement débattu dans l'évolution des espèces est celui de « zones de refuges », c'est-à-dire de régions où une espèce a pu se maintenir durant les périodes climatiques qui lui étaient défavorables. Pour les espèces des forêts d'Afrique équatoriale, de tels refuges durant les maximums glaciaires du Pléistocène ont été initialement proposés par Maley (1996). Ces refuges ont dû avoir un impact majeur sur l'organisation de la diversité génétique des espèces, voire sur leur spéciation allopatrique, pour autant que les tailles de population aient été fort réduites et que la période inhérente à l'apparition des zones refuges ait été suffisamment longue. Cependant, d'autres processus de différenciation et spéciation, notamment en réponse à des pressions de sélection différentielles le long de gradients écologiques, mériteraient d'être testés (Rieseberg et al., 2007).

## 6. ÉCOLOGIE DE REPRODUCTION DES AFZELIA : CAS PARTICULIER DES DOUSSIÉS

Avant d'aborder le cas spécifique des doussiés, il est important de souligner que c'est l'espèce zambézienne *A. quanzensis* qui a été la mieux étudiée, probablement en raison de sa distribution dans des pays où la dynamique de recherche scientifique est plus importante (du Kenya à l'Afrique du Sud). Une abondante littérature décrit les traits reproductifs de l'espèce (par exemple : Chidumayo, 1992 ; Gerhardt et al., 2009). Parmi les quatre espèces de doussié, c'est *A. africana* qui a fait l'objet de la plupart des recherches, vraisemblablement suite à une aire de répartition très large (**Figure 1**).

### 6.1. Exigences abiotiques globales

Les quatre espèces de doussié semblent avoir des tolérances écologiques assez distinctes, malgré le fait que certaines soient distribuées en sympatrie. *Afzelia africana* serait caractéristique de la zone de transition entre les régions soudanaises et guinéo-congolaises (Ahouangonou et al., 1995 ; Gérard et al., 2011a). C'est une espèce qui présente une grande adaptation aux conditions climatiques, mais elle préfère les zones où la pluviométrie est supérieure à 900 mm. Elle serait présente jusqu'à 1400 m d'altitude en

Afrique centrale. Dans les régions plus sèches, elle a la réputation d'être assez résistante aux feux (Onana, 1998 ; Gérard et al., 2011a). On la trouve dans les savanes boisées soudanaises, aussi bien en terrain sec que dans les galeries forestières (Aubréville, 1959). Elle se retrouverait aussi dans certaines forêts denses, mais en très faible densité, probablement au sein de peuplements résultant de colonisations de savane.

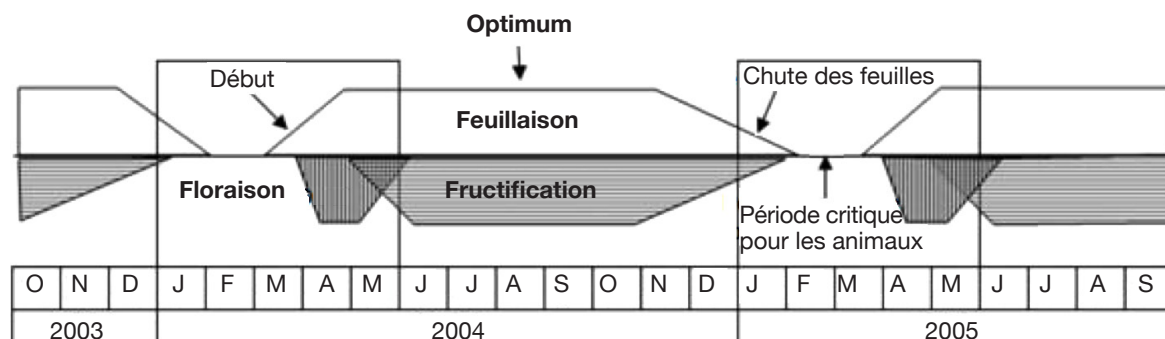
*Afzelia bipindensis* se rencontrerait en forêts denses humides sempervirentes et semi-sempervirentes jusqu'à 900 m d'altitude. *Afzelia pachyloba* serait par contre inféodée aux seules forêts sempervirentes et ne dépasserait pas 200 m d'altitude. Toutes deux se développeraient dans des forêts plus ou moins secondarisées, essentiellement sur des sols bien drainés (Léonard, 1950 ; Letouzey, 1968 ; Gérard et al., 2011c ; Gérard et al., 2011d). *Afzelia bella*, quant à elle, serait habituellement inféodée aux forêts humides sempervirentes et semi-décidues sur des sols argileux, mais aussi en bordure de rivière, à la limite de la mangrove et dans les endroits légèrement marécageux (Satabié, 1994 ; Hawthorne et al., 2006).

### 6.2. Phénologie, croissance et régénération naturelle

Les espèces de doussié, en général, seraient fertiles dès 20 cm de diamètre à hauteur de poitrine (Doucet, comm. pers.). Compte tenu des caractéristiques des fleurs (typique des Caesalpinoideae) et des graines (présence d'un arille), le genre est probablement entomophile et zoochore (Gautier-Hion et al., 1985 ; Bationo et al., 2001).

Les arbres d'*A. africana* fleurissent normalement en petite saison pluvieuse, de mars à avril au Bénin (Ahouangonou et al., 1995) et les chauves-souris consomment parfois les fleurs. La période de fructification dure six à huit mois (**Figure 4**) et les fruits peuvent subsister sur l'arbre pendant les six mois suivants (Bationo et al., 2001 ; Ouédraogo-Koné et al., 2008). La germination est épigée (Onana et al., 2002). La régénération naturelle de l'espèce semble plus abondante en zone soudanaise (Ouédraogo et al., 2006) qu'en zone guinéenne (Bonou et al., 2009). Ce sont les oiseaux, principalement les calaos, et les rongeurs (*Proechimys* spp.) qui dissémineraient les graines d'*A. africana* (Bationo et al., 2001 ; Gérard et al., 2011a).

L'écologie de reproduction des *Afzelia* de forêts denses humides demeure très peu étudiée. Seules des informations très ponctuelles concernant les phénophases de ces espèces sont disponibles. Au Ghana, *A. bella* fleurirait en début de saison sèche (novembre), avant la défeuillaison et les fruits mûriraient vers la fin de la saison sèche (Hawthorne et al., 2006). Au Gabon, la floraison et la fructification d'*A. pachyloba* auraient



**Figure 4.** Phénologie d'*Azelia africana* au sud du Burkina Faso (adapté d'après Ouédraogo-Koné et al., 2008) — *Phenological diagram of Azelia africana in southern Burkina Faso (adapted from Ouédraogo-Koné et al., 2008).*

lieu en saison sèche ; les fleurs s'épanouiraient en décembre-janvier et les gousses mûriraient en janvier-février. C'est pendant cette période que les arbres perdent en partie leurs feuilles (Chevalier, 1940). *Azelia bipindensis* serait plutôt relativement tolérante à l'ombrage, l'espèce ne présentant pas de déficit de régénération en forêt naturelle.

## 7. VALEUR SOCIALE ET ÉCONOMIQUE DES AFZELIA : CAS SPÉCIFIQUE DES DOUSSIÉS

### 7.1. Importance sociale

Outre la bonne qualité de son bois, le doussié présente également d'intéressantes propriétés médicinales et agroforestières, tout en jouant un rôle culturel et mystique non négligeable. Le **tableau 3** montre une synthèse des différents usages des espèces de doussié.

### 7.2. Importance industrielle et commerce international du bois

Le doussié est un bois très stable, caractérisé par de faibles retraits linéaires de séchage (retrait radial et retrait tangentiel), un faible point de saturation des fibres et une faible sensibilité aux variations de l'état hygrométrique (Normand, 1950 ; Normand et al., 1976 ; Paradis et al., 2011). Cette très bonne stabilité couplée à de bonnes propriétés mécaniques font apprécier cette essence pour de nombreux emplois, entre autres pour la construction de charpentes, ponts, portes d'entrée, fermetures extérieures, fenêtres, portes-fenêtres, portes intérieures, escaliers, parquets, portes coupe feu et aménagements intérieurs. Sa très bonne durabilité naturelle vis-à-vis des champignons de pourriture, des insectes de bois sec et des termites place le doussié parmi les meilleures essences pour des emplois extérieurs exposés, au même titre que l'ipé (*Handroanthus* spp.), le merbau (*Intsia bijuga*) ou le teck (*Tectona grandis*). Il est également très apprécié

et a souvent été utilisé de façon préférentielle pour la construction de pistes de vélodrome (CTFT, 1963 ; CTFT, 1980). Une étude réalisée sur les caractéristiques physiques et mécaniques du bois des doussiés (CTFT, 1980) a révélé que les principales espèces d'*Azelia* ont des bois aux propriétés voisines qui les rendent adaptés à une très large gamme d'emplois. À une humidité de 12 %, la masse volumique moyenne des bois est proche de 800 kg·m<sup>-3</sup>, ce qui les classe à la limite des bois mi-lourds et lourds. Quelques différences ont toutefois été notées entre les espèces (**Tableau 4** ; CTFT, 1980). En général, le bois est dur et légèrement abrasif, nécessitant un matériel particulièrement puissant pour son sciage. Pour les travaux de rabotage, moulurage, tenonnage, mortaisage, perçage et ponçage, le bois se travaille très bien en raison d'une teneur en silice négligeable.

Actuellement, dans le commerce international du bois, seules les espèces *A. bipindensis* et *A. pachyloba* sont officiellement mentionnées. Le doussié est exporté essentiellement sous forme de sciages et de parquet, dont la production au Cameroun est présentée à la **figure 5**. Il ressort de l'analyse de la **figure 5** que la production de sciage a fortement diminué ces dernières années, passant de 47 745 m<sup>3</sup> par an en 2005 à 11 309 m<sup>3</sup> par an en 2011. Cette diminution pourrait s'expliquer par une raréfaction de la ressource. Des études plus poussées sont toutefois nécessaires afin de mieux comprendre cette tendance.

## 8. CONSERVATION ET GESTION DES POPULATIONS DU DOUSSIÉ

### 8.1. Pressions anthropiques sur les populations du doussié

*Azelia africana* subit une forte pression pour la production de fourrage dans de nombreux pays (Sinsin et al., 2004 ; Ouédraogo et al., 2006). Elle est jugée comme une ressource menacée au Mali, au



**Tableau 3.** Importance sociale locale du « doussié » en Afrique tropicale — *Social uses of “doussié” species in tropical Africa.*

Parties utilisées de l'arbre	Usages			
	<i>Afzelia africana</i>	<i>Afzelia bella</i>	<i>Afzelia pachyloba</i> (doussié blanc)	<i>Afzelia bipindensis</i> (doussié rouge)
Arbre	Utilisés dans les systèmes agroforestiers, arbre fétiche	-	-	-
Bois	Fabrication de pirogues, ustensiles de cuisines, mortiers, tambours, bois de feu, charbon de bois, brosses à dent	Objets d'art et de musique, outils agricoles, manches d'outils, charbon de bois	Objets d'art et de musique, outils agricoles, manches d'outils, bois de feu	Objets d'art et de musique, outils agricoles, manches d'outils, bois de feu, charbon de bois
Sève (gomme)	Galactogène	-	-	-
Écorce	Constipation, fièvre, vomissements, œdèmes, tachycardie, hypertension, bronchite, affections pulmonaires, antalgique, diurétique, galactogène et aphrodisiaque	Maladies de la peau, parasites intestinaux, diarrhée, troubles de menstruation, hémorroïdes, rhumatismes. Utilisé aussi comme tonique	-	Maux d'estomac
Feuilles	Légumes, fourrages	-	-	-
Fleurs	Condiments	-	-	-
Fruits	Castagnettes, aphrodisiaque, lèpre	-	-	-
Graines	Production d'huile, collier, parures ornementales et religieuses	-	Production d'huile qui sert à la cuisine et production de savon	-
Tourteaux de graines	-	-	Nourriture du bétail	-
Arille (graine)	Comestible car sucré	Comestible car sucré	Comestible et serait sucré, appliqué sur la peau gercée	Lèvres gercées
Racine	Douleurs d'estomac, convulsions, trypanosomes, hernie et sert d'antidote, poison de flèche	-	Application externe pour les douleurs rénales	-
Références	Katende et al., 1995 ; Onweluzo et al., 1995 ; Gérard et al., 2011a ; Houehanou et al., 2011 ; Igwenyi et al., 2011	Assi et al., 1985 ; Neuwinger, 2000 ; Oteng-Amoako, 2006 ; Gérard et al., 2011b	Neuwinger, 2000 ; Gérard et al., 2011d	Gérard et al., 2011c

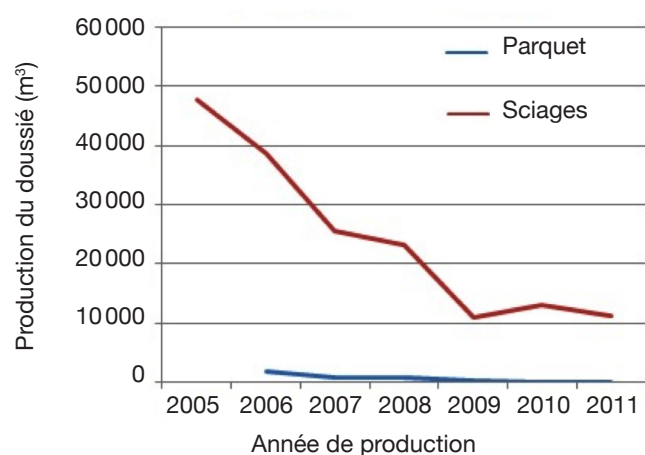
- : pas d'informations — *no information.*

Burkina Faso, au Nigéria, au Cameroun (Gérard et al., 2011a) et particulièrement au Bénin où elle se fait de plus en plus rare (Sinsin et al., 2004 ; Bonou et al., 2009). *Afzelia bipindensis*, *A. pachyloba* et *A. bella*

sont exploités industriellement dans le Bassin du Congo (ATIBT, 2010), mais aucune donnée n'existe sur l'impact de cette exploitation sur l'état des ressources génétiques.

**Tableau 4.** Caractères distinctifs du bois des différentes espèces de doussié — *Distinctive characteristics of wood of different doussié species* (CTFT, 1980).

Caractères	<i>Afzelia bipindensis</i>	<i>Afzelia africana</i>	<i>Afzelia pachyloba</i>	<i>Afzelia bella</i>
Masse volumique à 12 % d'humidité du bois (kg.m <sup>-3</sup> )	840	790	750	700
Retrait volumique total (%)	7,7	8,2	9,2	7
Résistance du bois à la rupture en flexion dynamique	Moyenne	Moyenne	Peu résistante	Peu résistante
Taux d'extrait aux solvants du bois	12 à 23 %	7,5 à 12 %	7,5 à 12 %	7,5 à 12 %

**Figure 5.** Évolution de la production de sciages et de parquets du « doussié » au Cameroun de 2005 à 2011 — *Evolution of sawing and parquet production from “doussié” timber in Cameroon from 2005 to 2011* (ATIBT, 2006 ; ATIBT, 2007 ; ATIBT, 2008 ; ATIBT, 2009 ; ATIBT, 2010 ; ATIBT, 2012).

## 8.2. Mesures légales en matière d'aménagement et de gestion des ressources forestières

L'exploitation forestière en Afrique centrale étant soumise à une législation stricte, les espèces ne peuvent être exploitées qu'au-delà d'un certain diamètre et des mesures doivent être prises pour assurer le renouvellement de la ressource (Fargeot et al., 2004). En effet, les plans d'aménagement des forêts tropicales humides nécessitent de déterminer un diamètre minimum d'exploitation (DME) assurant un taux de renouvellement minimal au terme d'une période de rotation (durée entre deux coupes sur une même parcelle) déterminée, le taux de reconstitution minimal (40-50 % suivant les pays) ainsi que la durée de rotation, étant imposés par la législation forestière (Durrieu de Madron et al., 1997).

Au Cameroun, d'après la législation forestière de 1994, le DME d'*A. bipindensis*, d'*A. pachyloba* et d'*A. africana* est de 80 cm, tandis qu'il est de 50 cm pour *A. bella*. L'adéquation de telles mesures avec le

maintien des niveaux actuels de diversité ne peut être évaluée qu'en connaissant l'écologie reproductive des espèces de doussié. En particulier, le DME devrait être confronté au diamètre de fructification de l'espèce afin de mesurer l'impact de l'exploitation sur la population reproductive et donc sur la régénération de l'espèce. Or, de telles données demeurent quasi inexistantes pour le doussié. Les densités de populations de doussié sont relativement faibles en zone de forêt semi-sempervirente camerounaise (0,3 tige par ha, selon Fétéké et al., 2008 pour des tiges de diamètre  $\geq 20$  cm). Cette caractéristique pourrait laisser présager des distances de flux de gènes importantes. Si ces taxons subissent actuellement une importante exploitation forestière, l'impact de celle-ci sur la diversité génétique et la survie à long terme des populations pourrait s'avérer importante. La connaissance de l'étendue réelle des flux de gènes pour un tel scénario est donc primordiale.

## 9. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

De cette synthèse bibliographique, il ressort globalement que le genre *Afzelia* reste peu étudié, surtout en Afrique centrale. Si la description morphologique des espèces associée à l'utilisation des clés de détermination systématique permettent une ordination et une identification de ces espèces, des études génétiques (sur base de marqueurs moléculaires) restent cependant indispensables pour vérifier si ces espèces répondent au concept biologique de l'espèce (entité reproductive isolée), caractériser les éventuels hybrides et inférer l'impact de l'exploitation sur les niveaux de diversité des populations.

Alors que des efforts de recherche ont été menés en zones soudanienne et zambézienne respectivement sur *A. africana* et *A. quanzensis*, les espèces de la zone guinéo-congolaise demeurent peu étudiées, bien qu'elles soient intensivement exploitées comme bois d'œuvre (*A. bipindensis*, *A. pachyloba* et *A. bella*). Notre analyse fait ressortir la nécessité d'approfondir les connaissances relatives à :

- la différenciation du genre *Afzelia* tant au niveau interspécifique (phylogénie) qu'au niveau intraspécifique (phylogéographie), via des outils morphologiques et génétiques ;
- l'autécologie et les traits d'histoire de vie des espèces de forêts denses humides d'Afrique centrale ;
- l'influence de l'exploitation forestière et des traits de vie sur la diversité génétique des populations de ces espèces.

### Remerciements

Les auteurs du manuscrit remercient le F.R.S-FNRS pour la bourse de doctorat FRIA accordée à Armel S. L. Donkpegan et pour le financement du projet FRFC-n°24.577.0. Leurs remerciements s'adressent également à l'ASBL Nature+ et aux sociétés Pallisco et Wijma. Nous adressons aussi toute notre reconnaissance à Cédric Vermeulen, Michèle Federspiel, Jean-Yves de Vleeschouwer, Nils Bourland, Jean-François Gillet, Christian Moupela, Achille Biwolé, Julie Morin-Rivat, Richard Feteke et Barbara Haurez pour leurs diverses contributions.

### Bibliographie

- Ahouangonou S. & Bris B., 1995. *Afzelia africana* Sm. *Flamboyant*, **42**, 7-10.
- Assi A.L. et al., 1985. *Médecine traditionnelle et pharmacopée. Contribution aux études ethnobotaniques et floristiques en République centrafricaine*. Paris : Agence de Coopération Culturelle et Technique.
- ATIBT (Association Technique Internationale des Bois Tropicaux), 2006. *La lettre de l'ATIBT n°24 : statistiques 2005*. Paris : ATIBT.
- ATIBT (Association Technique Internationale des Bois Tropicaux), 2007. *La lettre de l'ATIBT n°26 : statistiques 2006*. Paris : ATIBT.
- ATIBT (Association Technique Internationale des Bois Tropicaux), 2008. *La lettre de l'ATIBT n°28 : statistiques 2007*. Paris : ATIBT.
- ATIBT (Association Technique Internationale des Bois Tropicaux), 2009. *La lettre de l'ATIBT n°30 : statistiques 2008*. Paris : ATIBT.
- ATIBT (Association Technique Internationale des Bois Tropicaux), 2010. *La lettre de l'ATIBT n°32 : statistiques 2009*. Paris : ATIBT.
- ATIBT (Association Technique Internationale des Bois Tropicaux), 2012. *La lettre de l'ATIBT n°34 : statistiques 2010*. Paris : ATIBT.
- Aubréville A., 1959. *La flore forestière de la Côte d'Ivoire. Vol. I. 2<sup>e</sup> éd. révisée*. Publication n°15. Nogent-sur-Marne, France : Centre Technique Forestier Tropical.
- Aubréville A., 1968. *Légumineuses. Césalpinioïdées. Flore du Gabon*. Vol. 15. Paris : Museum National d'Histoire Naturelle, 111-118.
- Aubréville A., 1970. *Légumineuses. Césalpinioïdées. Flore du Cameroun*. Vol. 9. Paris : Museum National d'Histoire Naturelle.
- Bationo B.A., Ouédraogo S.J. & Guinko S., 2001. Longévité des graines et contraintes à la survie des plantules d'*Afzelia africana* Sm. ex Pers. dans une savane boisée du Burkina Faso. *Ann. For. Sci.*, **58**(1), 69-75.
- Biwolé A.B., Bourland N., Dainou K. & Doucet J.-L., 2012. Définition du profil écologique de l'azobé, *Lophira alata*, une espèce ligneuse africaine de grande importance : synthèse bibliographique et perspectives pour des recherches futures. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **16**(2), 217-228.
- Blake S.F., 1915. Some neglected names in Walter's flora caroliniana. *Rhodora N. Engl. J. Bot. Club*, **17**(199), 129-137.
- Bonou W. et al., 2009. Characterisation of *Afzelia africana* Sm. habitat in the Lama forest reserve of Benin. *For. Ecol. Manage.*, **258**, 1084-1092.
- Brenan J.P.M., 1967. Leguminosae, subfamily Caesalpinioideae. In: Milne-Redhead E. & Polhill R.M., eds. *Flora of tropical East Africa*. London: Crown Agents for Overseas Governments and Administrations.
- Breteler F.J., 1995. The boundary between Amherstieae and Detarieae (Caesalpinioideae). In: Crisp M.D. & Doyle J.J., eds. *Advances in legume systematics*. Part 7. Kew, UK: Royal Botanical Gardens, 53-62.
- Breteler F.J. & Wieringa J.J., 1999. Generic delimitation in Caesalpinioideae. In: *Proceedings of the 16<sup>th</sup> International Botanical Congress, 1-7 August, 1999, St. Louis, Missouri, USA*.
- Brummitt R.K., Chikuni A.C., Lock J.M. & Polhill R.M., 2007. Leguminosae, subfamily Caesalpinioideae. In: Timberlake J.R., Pope G.V., Polhill R.M. & Martins E.S., eds. *Flora Zambesiaca*. Volume 3, part 2. Kew, UK: Royal Botanic Gardens, 1-228.
- Bruneau A. et al., 2001. Phylogenetic relationships in the Caesalpinioideae (Leguminosae) as inferred from chloroplast trnL intron sequences. *Syst. Bot.*, **26**, 487-514.
- Burkill H.M., 1995. *The useful plants of West Tropical Africa. Families J-L*. Vol. 3. 2<sup>nd</sup> ed. Kew, UK: Royal Botanic Gardens.
- Chevalier A., 1909. *Végétaux utiles de l'Afrique tropicale française : études scientifiques et agronomiques. Première étude sur les bois de la Côte d'Ivoire*. Vol. 5. Paris : A. Challamel.
- Chevalier A., 1940. Sur un arbre du Cameroun et du Gabon à bois utilisable (*Afzelia pachyloba* Harms). *Rev. Bot. Appl. Agric. Trop.*, **19**, 484-488.
- Chidumayo E.N., 1992. Effects of shoot mortality on the early development of *Afzelia quanzensis* seedlings. *J. Appl. Ecol.*, **29**, 14-20.
- CTFT (Centre Technique Forestier Tropical), 1963. Résultats des observations et des essais effectués au

- Centre Technique Forestier Tropical sur le doussié : *Azelia* spp., *A. bipindensis*, *A. pachyloba*, *A. africana*. Information technique n°184. Nogent-sur-Marne, France : CTFT.
- CTFT (Centre Technique Forestier Tropical), 1980. « Doussié ». *Bois For. Tropiques*, **189**, 37-54.
- Dainou K. et al., 2010. Forest refugia revisited: nSSRs and cpDNA sequences support historical isolation in a wide-spread African tree with high colonization capacity, *Milicia excelsa* (Moraceae). *Mol. Ecol.*, **19**, 4462-4477.
- Dainou K., Doucet J.-L., Sinsin B. & Mahy G., 2011. Identité et écologie des espèces forestières commerciales d'Afrique centrale : le cas de *Milicia* spp. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **16**(2), 229-241.
- de Saint Aubin G., 1963. *La forêt du Gabon*. Nogent-sur-Marne, France : Centre Technique Forestier Tropical.
- De Wildeman E.A., 1925. *Plantae Bequaertianae. Études sur les récoltes botaniques du Dr. J. Bequaert chargé de missions au Congo Belge (1913-1915)*. Vol. 3. Paris : J. Lechevalier ; Gand : A. Buyens.
- De Wildeman E.A., 1933. *Azelia brieiyi*. *Bull. Misc. Inform. Kew*, **170**.
- De Wildeman E.A., 1935. Considérations sur des espèces du genre *Azelia* Smith. *Bull. Séances Inst. R. Colon. Belg.*, **6**, 182-210.
- Detienne P. et al., 1998. *L'analyse de cernes : application aux études de croissance de quelques essences en peuplements naturels de forêt dense humide africaine*. Projet Forafri, document n°15. Montpellier, France : Cirad-forêt.
- Doyle J.J., Chapill J.A., Bailey C.D. & Kajita T., 2000. Towards a comprehensive phylogeny of legumes : evidence from rbcL sequences and non-molecular data. In: Herendeen P.S. & Bruneau A., eds. *Advances in legume systematics*. Part 9. Kew, UK: Royal Botanical Gardens, 1-20.
- Duminil J. et al., 2006. Blind population genetics survey of tropical rainforest trees. *Mol. Ecol.*, **15**, 3505-3513.
- Duminil J. et al., 2010. CpDNA-based species identification and phylogeography: application to African tropical tree species. *Mol. Ecol.*, **19**, 5469-5483.
- Durrieu de Madron L. & Forni E., 1997. Aménagement forestier dans l'est du Cameroun : structure du peuplement et périodicité d'exploitation. *Bois For. Tropiques*, **254**(4), 39-50.
- Fargeot C., Forni E. & Nasser R., 2004. Réflexions sur l'aménagement des forêts de production dans le bassin du Congo. *Bois For. Tropiques*, **281**(3), 19-34.
- Fétéké F. & Philippart J., 2008. *Plan d'aménagement des unités forestières d'aménagement n°10030 et 10031 regroupées*. Gembloux, Belgique : Cellule d'aménagement Pallisco, Nature+.
- Gautier-Hion A. et al., 1985. Fruit characters as a basis of fruit choice and seed dispersal in a tropical forest vertebrate community. *Oecologia*, **65**, 324-337.
- Geerling C., 1982. Guide de terrain des ligneux sahéliens et soudano-guinéens. *Meded. Landbouwhogeschool Wageningen*, **82**(3), 340.
- Gérard J. et al., 1998. *Synthèse sur les caractéristiques technologiques des principaux bois commerciaux africains*. Document Forafri 11. Montpellier, France : Cirad.
- Gérard J. & Louppe D., 2011a. *Azelia africana* Sm. ex Pers. In : Lemmens R.H.M.J., Louppe D. & Oteng-Amoako A.A., eds. *Record from PROTA4U*. Wageningen, The Netherlands: PROTA (Plant Resources of Tropical Africa), <http://www.prota4u.org/search.asp>, (09.04.14).
- Gérard J. & Louppe D., 2011b. *Azelia bella* Harms. In : Lemmens R.H.M.J., Louppe D. & Oteng-Amoako A.A., eds. *Record from PROTA4U*. Wageningen, The Netherlands: PROTA (Plant Resources of Tropical Africa), <http://www.prota4u.org/search.asp>, (09.04.14).
- Gérard J. & Louppe D., 2011c. *Azelia bipindensis* Harms. In : Lemmens R.H.M.J., Louppe D. & Oteng-Amoako A.A., eds. *Record from PROTA4U*. Wageningen, The Netherlands: PROTA (Plant Resources of Tropical Africa), <http://www.prota4u.org/search.asp>, (09.04.14).
- Gérard J. & Louppe D., 2011d. *Azelia pachyloba* Harms. In : Lemmens R.H.M.J., Louppe D. & Oteng-Amoako A.A., eds. *Record from PROTA4U*. Wageningen, The Netherlands: PROTA (Plant Resources of Tropical Africa), <http://www.prota4u.org/search.asp>, (09.04.14).
- Gerhardt K. & Todd C., 2009. Natural regeneration and population dynamics of the tree *Azelia quanzensis* in woodlands in Southern Africa. *Afr. J. Ecol.*, **47**, 583-591.
- Gmelin J.F., 1792. *Systema Naturae. Editio decima tertia reformatum*. Vol. **2**(2), 927.
- Harms H., 1913. Leguminosae africanae. VI. Elephantorrhiza. *Bot. Jahrb.*, **49**, 420.
- Hawthorne W. & Jongkind C., 2006. *Woody plants of western African forests: a guide to the forest trees, shrubs and lianes from Senegal to Ghana*. Kew, UK: Royal Botanic Gardens.
- Hepper F.N., 1972. Numerical analysis of the "Flora of West Tropical Africa". II: angiosperms (monocotyledons). *Kew Bull.*, **27**(2), 565.
- Hooker W.J., 1848. *Icones plantarum ; or figures, with brief descriptive characters and remarks, of new or rare plants, selected from the author's herbarium*. Vol. 4, new series. London: Hippolyte Baillièrre; Paris: J.B. Baillièrre, pl. 790.
- Houehanou T.D. et al., 2011. Valuation of local preferred uses and traditional ecological knowledge in relation to three multipurpose tree species in Benin (West Africa). *For. Policy Economics*, **13**, 554-562.
- Hoyle A.C., 1933. New trees and shrubs from tropical Africa: II. *Bull. Miscellaneous Inf.*, **4**, 170-174.
- Hutchinson L.J. & Dalziel J.M., 1958. *Flora of west Tropical Africa*. Vol. 1, Part 2. 2<sup>nd</sup> ed. London: White Friars Press.

- Igwenyi I.O. et al., 2011. Potentials of *Afzelia africana* vegetable oil in biodiesel production. *Prog. Renewable Energy*, **1**, 8-14.
- INEAC (Institut National pour l'Étude Agronomique du Congo belge), 1952. *Spermatophytes. Flore du Congo Belge et du Ruanda-Urundi*. Vol. 3. Bruxelles :INEAC.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources), 2012. *IUCN Red list of threatened species*, www.iucnredlist.org., (08/01/2012).
- Kadiri A.B. & Olowokudejo J.D., 2008. Comparative foliar epidermal morphology of the West African species of the genus *Afzelia* Smith (Leguminosae: Caesalpinioideae). *Gayana Bot.*, **65**, 84-92.
- Katende A.B., Birnie A. & Tengnas B., 1995. *Useful trees and shrubs for Uganda: identification, propagation and management for agricultural and pastoral communities*. Technical handbook No. 10. Nairobi: Regional Soil Conservation Unit (RSCU/ SIDA).
- Keay R.W.J., 1954. Revision of the "Flora of West Tropical Africa": VI. *Kew Bull.*, **9**(2), 263-275
- Koffi K.G. et al., 2010. A combined analysis of morphological traits, chloroplast and nuclear DNA sequences within *Santiria trimera* (Burseraceae) suggests several species following the biological species concept. *Plant Ecol. Evol.*, **143**(2), 160-169.
- Léonard J.J.G., 1950. Notes sur les genres paléotropicaux *Afzelia*, *Intsia* et *Pahudia* (Legum. Caesalp.). *Reinwardtia*, **1**(1), 61-66.
- Letouzey R., 1968. *Étude phytogéographique du Cameroun*. Paris : Lechevalier.
- Lezine A.-M., 2007. Postglacial pollen records of Africa. In: Scott A.E., ed. *Encyclopaedia of quaternary sciences*. Elsevier, 2681-2699.
- Maley J., 1996. The African rain forest – main characteristics of changes in vegetation and climate from the Upper Cretaceous to the Quaternary. In: Alexander I., Swaine M.D. & Watling R., eds. *Essays on the ecology of the Guinea-Congo rain forest*. The Royal Society of Edinburgh, Proceedings Section B, 104, 31-73. Edinburgh: The Royal Society of Edinburgh.
- Mesel K., 2002. Les *Afzelias*. Un seul nom, plusieurs espèces. *Courrier Bois*, **42**(136), 13-16.
- Neuwinger H.D., 2000. *African traditional medicine: a dictionary of plant use and applications*. Stuttgart, Germany: Medpharm Scientific.
- Normand D., 1939. Identification et emplois des bois d'*Afzelia*. *Rev. Bot. Appl.*, **19**, 488-494.
- Normand D., 1950. *Atlas des bois de la Côte d'Ivoire*. Vol. 1. Nogent-sur-Marne, France : Centre Technique Forestier Tropical.
- Normand D. & Paquis J., 1976. *Manuel d'identification des bois commerciaux. Vol. 2. Afrique guinéo-congolaise*. Nogent-sur-Marne, France : Centre Technique Forestier Tropical.
- Onana J., 1998. L'arbre à palabres sur l'utilisation et la régénération naturelle de *Afzelia africana* Sm. *Flamboyant*, **46**, 21-33.
- Onana J. & Devineau J.-L., 2002. *Afzelia africana* Smith ex Persoon dans le Nord-Cameroun. État actuel des peuplements et utilisation pastorale. *Élevage Méd. Vét. Pays Trop.*, **55**(1), 39-45.
- Onweluzo J.C., Onuoha K.C. & Obanu Z.A., 1995. Certain functional properties of gums derived from some lesser known tropical legumes (*Afzelia africana*, *Detarium microcarpum* and *Mucuna flagellipes*). *Plant Foods Human Nutr.*, **48**, 55-63.
- Oteng-Amoako A.A., 2006. *100 tropical African timber trees from Ghana: tree description and wood identification with notes on distribution, ecology, silviculture, ethnobotany and wood uses*. Accra: Graphic Packaging.
- Ouédraogo A., Thiombiano A., Hahn-Hadjali K. & Guinko S., 2006. Diagnostic de l'état de dégradation des peuplements de quatre espèces ligneuses en zone soudanienne du Burkina Faso. *Sécheresse*, **17**, 485-491.
- Ouédraogo-Koné S., Kaboré-Zoungrana C.Y. & Ledin I., 2008. Important characteristics of some browse species in an agrosilvopastoral system in West Africa. *Agroforestry Syst.*, **74**, 213-221.
- Pakkad G., Ueno S. & Yoshimaru H., 2009. Isolation and characterization of microsatellite loci in an endangered tree species, *Afzelia xylocarpa* (Kurz) Craib (Caesalpinioideae). *Mol. Ecol. Resour.*, **9**(3), 880-882.
- Pan A.D., Jacobs B.F. & Herendeen P.S., 2010. *Detarieae sensu lato* (Fabaceae) from the Late Oligocene (27.23 Ma) Guang River flora of north-western Ethiopia. *Bot. J. Linn. Soc.*, **163**, 44-54.
- Paradis S. et al., 2011. *Tropix 7.0. Caractéristiques technologiques de 245 essences tropicales et tempérées*. Montpellier, France : Cirad.
- Pennell F.W., 1925. The genus *Afzelia*: a taxonomic study in evolution. *Proc. Acad. Nat. Sci. Philadelphia*, **77**, 335-373.
- Persoon C.H., 1805. *Synopsis Plantarum, seu Enchiridium botanicum, complectens enumerationem systematicam specierum hucusque cognitarum*. Parisiis Lutetiorum: C.T. Cramerum.
- Rieseberg L.H. & Willis J.H., 2007. Plant speciation. *Science*, **317**, 910-914.
- Sallenave P., 1964. *Propriétés physiques et mécaniques des bois tropicaux. Premier supplément*. Nogent-sur-Marne, France : Centre Technique Forestier Tropical.
- Sallenave P., 1971. *Propriétés physiques et mécaniques des bois tropicaux. Deuxième supplément*. Nogent-sur-Marne, France : Centre Technique Forestier Tropical.
- Satabié B., 1994. Biosystématique et vicariance dans la flore camerounaise. *Bull. Jardin Bot. Nat. Belg.*, **63**, 125-170.
- Sinsin B. et al., 2004. Dendrometric characteristics as indicators of pressure of *Afzelia africana* Sm. trees dynamics in different climatic zones of Benin. *Biodivers. Conserv.*, **13**(8), 1555-1570.
- Smith J.E., 1798. The characters of twenty new genera of plants. *Trans. Linn. Soc. London*, **4**, 213-223.

- Sulaiman S.F., Culham A. & Harborne J.B., 2003. Molecular phylogeny of Fabaceae based on rbcL sequence data: with special emphasis on the tribe Mimoseae (Mimosoideae). *Asia-Pac. J. Mol. Biol. Biotechnol.*, **11**(1), 9-35.
- Thanh N.D., Thuy T.B. & Nghia N.H., 2012. Genetic diversity of *Azelia xylocarpa* (Kurz) Craib in Vietnam based on analyses of chloroplast markers and random amplified polymorphic DNA (RAPD). *Afr. J. Biotechnol.*, **11**(80), 14529-14535.
- Vincens A. et al., 1999. Forest response to climate changes in Atlantic Equatorial Africa during the last 4,000 years BP and inheritance on the modern landscapes. *J. Biogeogr.*, **26**, 879-885.
- Vivien J. & Faure J.J., 2011. *Fruitiers sauvages d'Afrique : espèces du Cameroun*. Clohars Carnoet, France : Éditions Nguila-Kerou.
- Welwitsch F., 1859. Apontamentos phyto-geographicos sobre a flora da provincia Angola na Africa equinocial servindo de relatorio preliminar acerca da exploracao botanica da mesma provincia. *Ann. Conselho Ultramarino*, **1**, 527-592.
- White F., 1986. *La végétation de l'Afrique. Mémoire accompagnant la carte de végétation de l'Afrique Unesco/AETFAT/UNSO*. Paris : Orstom et Unesco.
- Wilks C. & Issembé Y., 2000. *Les arbres de la Guinée équatoriale, région continentale. Guide pratique d'identification*. Bata, Guinée équatoriale : CUREF.

(95 réf.)