

Agronomie
Gembloux



SENTIERS DE SUIVI DE LA CROISSANCE, DE LA MORTALITÉ ET DE LA PHÉNOLOGIE DES ARBRES TROPICAUX : GUIDE MÉTHODOLOGIQUE



Félicien Tosso, Kasso Daïnou, Bonaventure Sonké, Carolina Levicek,
Charles Bracke, Éric Forni, Benoît Jobbé-Duval, Gauthier Ligot, Valerie
Tchuanté Tite, Sylvie Gourlet-Fleury, Jean-Louis Doucet



Presses Universitaires de Liège

Agronomie
Gembloux



**SENTIERS DE SUIVI DE LA CROISSANCE,
DE LA MORTALITÉ ET DE LA PHÉNOLOGIE
DES ARBRES TROPICAUX : GUIDE MÉTHODOLOGIQUE**



Presses Universitaires de Liège

DANS LA MÊME COLLECTION

- Bogaert J., Halleux J.-M., 2015. *Territoires périurbains. Développement, enjeux et perspectives dans les pays du Sud (2015)*. 304 p.
- Bogaert J., Colinet G., Mahy G., 2018. *Anthropisation des paysages katangais*. 312 p.
- Boldrini S., Bracke C., Daïnou K., Vermeulen C., Fétiveau J., Ngoy Shutcha M., Doucet J.-L., 2017. *Guide Technique. Plantation agroforestière d'Acacia auriculiformis dans le Haut Katanga*. 53 p.
- Boudru M., 1989. *Forêt et sylviculture. Traitement des forêts*. 356 p.
- Boudru M., 1992. *Forêt et sylviculture. Boisements et reboisements artificiels*. 348 p.
- Bousson E., 2003. *Gestion forestière intégrée. Approche structurée basée sur l'analyse multicritère*. 303 p.
- Colson V., Granet A.-M., Vanwijnsberghe S., 2012. *Loisirs en forêt et gestion durable*. 304 p.
- Dagnelie P. et al., 1988. *Tables de production relatives à l'épicéa commun*. 124 p.
- Dagnelie P. et al., 2013. *Cubage des arbres et des peuplements forestiers : tables et équations*. 176 p.
- Daïnou K., Bracke C., Vermeulen C., Haurez B., De Vleeschouwer J.-Y., Fayolle A., Doucet J.-L. *Hautes Valeurs de Conservation (HVC) dans les Unités Forestières d'Aménagement du Cameroun : concepts, choix et pratiques*. 94 p.
- Delvingt W., 2001. *La forêt des hommes. Terroirs villageois en forêt tropicale africaine*. 288 p.
- Delvingt W., Vermeulen C., 2007. *Nazinga*. 312 p.
- Doucet J.-L. et al., 2012. *Regards croisés sur la foresterie communautaire. L'expérience camerounaise*. 216 p.
- Libois R., 2018. *Plumes d'azur. Histoire naturelle du martin-pêcheur d'Europe*. 176 p.
- Malaisse F., 1997. *Se nourrir en forêt claire africaine. Approche écologique et nutritionnelle*. 384 p.
- Malaisse F., 2010. *How to Live and Survive in Zambebian open Forest (Miombo Ecoregion)*. 424 p.
- Meunier Q., Moubogou C., Doucet J.-L., 2015. *Les arbres utiles du Gabon*. 340 p.
- Mignon J., Haubruge É., Francis F., 2016. *Clé d'identification des principales familles d'insectes d'Europe*. 87 p.
- Nanson A., 2004. *Génétique et amélioration des arbres forestiers*. 712 p.
- Rondeux J., Thibaut A., 1996. *Tables de production relatives au douglas*. 152 p.
- Rondeux J., 1997. *La forêt et les hommes. Arrêt sur images 1900–1930*. 94 p.
- Rondeux J., 1999. *La mesure des arbres et des peuplements forestiers*. 544 p.

**SENTIERS DE SUIVI DE LA CROISSANCE,
DE LA MORTALITÉ ET DE LA PHÉNOLOGIE
DES ARBRES TROPICAUX : GUIDE MÉTHODOLOGIQUE**

Félicien Tosso, Kasso Daïnou, Bonaventure Sonké, Carolina Levicek,
Charles Bracke, Éric Forni, Benoît Jobbé-Duval, Gauthier Ligot,
Valerie Tchuanté Tite, Sylvie Gourlet-Fleury, Jean-Louis Doucet

Photo de couverture : Kasso Dainou

2020



<http://hdl.handle.net/2268/246287>

2020, LES PRESSES AGRONOMIQUES DE GEMBOUX, A.S.B.L.

Passage des Déportés 2 — B-5030 Gembloux (Belgique)

Tél. : +32 (0) 81 62 22 42

E-mail : pressesagro.gembloux@uliege.be URL : www.pressesagro.be

D/2020/1665/171

ISBN 978-2-87016-171-5

Cette oeuvre est sous licence Creative Commons. Vous êtes libre de reproduire, de modifier, de distribuer et de communiquer cette création au public selon les conditions suivantes :

- *paternité (BY) : vous devez citer le nom de l'auteur original de la manière indiquée par l'auteur de l'oeuvre ou le titulaire des droits qui vous confère cette autorisation (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'ils vous soutiennent ou approuvent votre utilisation de l'oeuvre) ;*
- *pas d'utilisation commerciale (NC) : vous n'avez pas le droit d'utiliser cette création à des fins commerciales ;*
- *partage des conditions initiales à l'identique (SA) : si vous modifiez, transformez ou adaptez cette création, vous n'avez le droit de distribuer la création qui en résulte que sous un contrat identique à celui-ci.*

À chaque réutilisation ou distribution de cette création, vous devez faire apparaître clairement au public les conditions contractuelles de sa mise à disposition. Chacune de ces conditions peut être levée si vous obtenez l'autorisation du titulaire des droits sur cette oeuvre. Rien dans ce contrat ne diminue ou ne restreint le droit moral de l'auteur.

<http://creativecommons.org/licences/by-nc-sa/4.0/deed.fr>

Publié avec l'aide du Service public de Wallonie (Aides à la promotion de l'emploi)

COMITÉ DE RÉDACTION

Félicien Tosso, Kasso Dainou, Bonaventure Sonké, Carolina Levicek, Charles Bracke, Éric Forni, Benoît Jobbé-Duval, Gauthier Ligot, Valerie Tchanté Tite, Sylvie Gourlet-Fleury, Jean-Louis Doucet.

Dr F. Tosso est gestionnaire de projets au sein de l'asbl Nature+. Il s'est spécialisé dans diverses disciplines (cartographie forestière, sylviculture tropicale, aménagement forestier, écologie et génétique forestière). L'ensemble de ses travaux de recherche (appliquée et fondamentale) vise à fournir des solutions pour la gestion durable des écosystèmes forestiers tropicaux.

Dr K. Dainou est gestionnaire de projets au sein de l'asbl Nature+ et enseignant-chercheur à l'Université nationale d'Agriculture (Bénin). Il s'est spécialisé sur des approches scientifiques de gestion durable des forêts denses humides tropicales. Ses compétences, mêlant l'appliqué au fondamental, vont aussi bien des normes d'aménagement durable à des domaines très spécifiques comme la sylviculture tropicale ou encore la diversité génétique des populations d'arbres.

Prof. B. Sonké est chef du département des Sciences biologiques à l'École normale supérieure de l'Université de Yaoundé I (Cameroun). Il s'intéresse principalement à la biodiversité des forêts tropicales humides africaines. Taxonomiste des plantes, il a consacré une grande partie de ses recherches à la systématique des Rubiaceae et des Orchidaceae. Il a à son actif de nombreuses publications et a décrit plus de 60 nouvelles espèces pour la science.

Ir C. Levicek est bioingénieure de Gembloux Agro-Bio Tech (Université de Liège) et illustratrice indépendante. Elle met ses talents artistiques au service de la vulgarisation scientifique (illustration et facilitation graphique) auprès de différents organismes de recherche et associations.

Ir C. Bracke est directeur de l'asbl Nature+. Il dispose d'une solide expérience en aménagement durable des concessions forestières, gestion des forêts communautaires et certification. Actif depuis près de 15 ans en Afrique centrale, il gère de nombreux projets conciliant les intérêts des différents acteurs concernés par la gestion forestière. Il dispose d'une expérience avérée dans la mise en œuvre, le suivi et l'amélioration des plans d'aménagement des concessions forestières du bassin du Congo.

Ir É. Forni est ingénieur des Eaux et Forêts du Cirad, basé en République du Congo. Il travaille depuis 35 ans en Afrique centrale et s'est spécialisé dans la gestion durable des forêts de production. Par ses diverses activités - élaboration de plans d'aménagement sur plusieurs centaines de milliers d'hectares de forêt, propositions de règles de « bonne » gestion forestière, appui institutionnel aux administrations, expertise et conseil aux opérateurs privés et actuellement gestion de dispositifs permanents

d'étude de la dynamique forestière -, il s'est toujours efforcé à faire progresser et rendre effective la mise en œuvre des aménagements forestiers, tant par les États que par les concessionnaires forestiers.

Ir B. Jobbé-Duval est ingénieur de l'École supérieure d'Agronomie tropicale de Montpellier. Il est actuellement directeur général de l'Association Technique Internationale des Bois Tropicaux, organisation professionnelle qui défend la gestion durable des forêts tropicales.

Dr G. Ligot est premier assistant à Gembloux Agro-Bio Tech (Université de Liège) au sein de *Forest is life*. Ses recherches se concentrent sur le suivi et la modélisation de la dynamique de forêts tempérées et tropicales. Ses travaux témoignent d'une volonté d'établir des recommandations de gestion forestière à partir d'une meilleure compréhension des processus écologiques.

Ir V. Tchanté Tite est ingénieur des eaux et forêts et titulaire du diplôme d'études professionnelles approfondies en gestion de l'environnement. Spécialiste en suivi et évaluation, il travaille à la COMIFAC depuis 2007 et cumule plus de 21 ans d'expérience professionnelle dans la conservation et la gestion durable des écosystèmes forestiers. Il coordonne un projet régional sur le suivi des objectifs de développement durable.

Dr S. Gourlet-Fleury est chercheur en écologie forestière, ingénieur des Ponts, des Eaux et Forêts détachée au Cirad. Impliquée dans la conception de modèles de dynamique forestière tropicale intégrant les connaissances autécologiques sur les espèces d'arbres des forêts tropicales, elle s'intéresse particulièrement aux effets de l'exploitation forestière sur les populations d'arbres et ces forêts.

Prof. J.-L. Doucet est enseignant-chercheur à Gembloux Agro-Bio Tech (Université de Liège), à l'USTM (Gabon) et à l'ERAIFT (RDC). Proche du terrain et des acteurs impliqués dans la gestion des forêts d'Afrique centrale, il combine recherches fondamentales et appliquées. Animé d'une grande curiosité scientifique, il dirige une équipe de chercheurs travaillant sur des sujets variés allant de l'histoire de la végétation à la sylviculture.

REMERCIEMENTS

Le comité de rédaction remercie le Fonds français pour l'Environnement mondial (FFEM) qui a contribué au financement de cet ouvrage par l'intermédiaire des projets DynAffFor (Structure et dynamique des forêts d'Afrique centrale : vers des règles d'exploitation du bois intégrant le fonctionnement écologique des populations d'arbres et la variabilité des conditions environnementales) et P3FAC (Partenariat public privé pour gérer durablement les forêts d'Afrique centrale). Cet ouvrage est également l'aboutissement de nombreuses années de collaboration entre différents acteurs aux plans sous-régional et international : la COMIFAC (Commission des Forêts d'Afrique centrale) ; l'ATIBT (Association Technique Internationale des Bois Tropicaux) ; le Cirad (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) ; l'asbl Nature+ et Gembloux Agro-Bio Tech (Université de Liège). Plusieurs entreprises forestières d'Afrique centrale, soucieuses de la gestion forestière durable, ont accepté l'installation et le suivi des sentiers au sein de leurs concessions. L'expérience acquise via ces dispositifs a nourri profondément cet ouvrage. Nous remercions donc chaleureusement : CIB-OLAM, GRUMCAM, Mokabi, Pallisco, Precious Woods Gabon – CEB, Rougier Gabon, SCAD, SFID et Wijma. Enfin, les remerciements du comité de rédaction vont à l'endroit de l'équipe d'édition des Presses agronomiques de Gembloux, particulièrement à Eléonore Beckers et Dominique Verniers.

CITATION

Félicien Tosso, Kasso Daïnou, Bonaventure Sonké, Carolina Levicek, Charles Bracke, Éric Forni, Benoît Jobbé-Duval, Gauthier Ligot, Valerie Tchuanté Tite, Sylvie Gourlet-Fleury, Jean-Louis Doucet (2020). *Sentiers de suivi de la croissance, de la mortalité et de la phénologie des arbres tropicaux : Guide méthodologique*. Presses agronomiques de Gembloux, Belgique.

TABLE DES MATIÈRES

COMITÉ DE RÉDACTION	7
REMERCIEMENTS	9
SIGLES ET ABRÉVIATIONS	13
AVANT-PROPOS	15
1. VERS UN AMÉNAGEMENT FORESTIER DURABLE DES FORÊTS D'AFRIQUE CENTRALE	17
1.1. Plan d'aménagement forestier : clé de voûte de la gestion forestière durable	19
1.2. Taux de reconstitution : paramètre clé de l'aménagement forestier	19
1.3. Dynamique démographique des arbres : paramètres utiles au calcul du taux de reconstitution	22
1.4. Phénologie	23
2. DISPOSITIFS D'ÉTUDE DE LA DYNAMIQUE DÉMOGRAPHIQUE	27
2.1. Parcelles	29
2.2. Sentiers	29
2.3. Avantages et inconvénients des parcelles et des sentiers	29
3. CARACTÉRISTIQUES D'UN SENTIER DE SUIVI DE LA CROISSANCE, DE LA MORTALITÉ ET DE LA PHÉNOLOGIE	31
3.1. Caractéristiques d'un sentier	33
3.2. Types de sentier	33
3.2.1. Sentier unique	33
3.2.2. Sentier double	33
4. MODALITÉS D'INSTALLATION ET DE SUIVI D'UN SENTIER	37
4.1. Choix des espèces	39
4.1.1. Importance commerciale pour l'entreprise	39
4.1.2. Densité de population	39
4.1.3. Disponibilité des données démographiques	39
4.1.4. Vulnérabilité de l'espèce	39
4.2. Choix des sites potentiels	45
4.3. Prospection et sélection du site définitif	46
4.4. Inventaire des arbres du sentier	47
4.4.1. Approche exhaustive	47

4.4.2. Approche pragmatique.....	51
4.5. Marquage et caractérisation des arbres.....	52
4.5.1. Informations générales.....	52
4.5.2. Informations collectées sur l'arbre	53
4.5.3. Mesures initiales.....	75
4.6. Suivi périodique de la croissance, de la mortalité et de la phénologie des arbres	76
4.6.1. Suivi périodique de la croissance et de la mortalité des arbres.....	76
4.6.2. Suivi périodique de la phénologie des arbres	80
4.7. Matériel nécessaire.....	81
5. ENCODAGE, VÉRIFICATION ET CALCUL DE QUELQUES PARAMÈTRES DE DYNAMIQUE FORESTIÈRE	85
5.1. Encodage et vérification des données d'un sentier	87
5.1.1. Contrôle des informations générales.....	87
5.1.2. Contrôle des variables calculées à partir des données de terrain	88
5.1.3. Contrôle des données de phénologie	89
5.2. Calcul de quelques variables de dynamique forestière	89
5.2.1. Accroissement en diamètre.....	89
5.2.2. Taux de mortalité.....	92
5.2.3. Diamètre de fructification régulière	94
6. ESTIMATION DU COÛT D'INSTALLATION ET DE SUIVI D'UN SENTIER	99
6.1. Coûts des ressources humaines nécessaires	101
6.1.1. Sentier installé par l'approche exhaustive.....	101
6.1.2. Sentier installé par l'approche pragmatique	101
6.2. Autres coûts.....	106
7. GLOSSAIRE	107
8. ANNEXES.....	113

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AAC :	Assiette annuelle de coupe
AAM :	Accroissement diamétrique annuel moyen
ASBL :	Association sans but lucratif
ACNP :	Avis de commerce non préjudiciable (de la CITES)
ATIBT :	Association Technique Internationale des Bois Tropicaux
CEB :	Compagnie Équatoriale des Bois
CIB-OLAM :	Congolaise Industrielle des Bois (du groupe OLAM)
Cirad :	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CITES :	Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction
COMIFAC :	Commission des Forêts d'Afrique centrale
DYNAFAC :	Dynamique des forêts d'Afrique centrale
DFR :	Diamètre de fructification régulière
DHP :	Diamètre à hauteur de poitrine
DME :	Diamètre minimum d'exploitabilité
DMA :	Diamètre minimum d'aménagement
DynAfFor :	Structure et dynamique des forêts d'Afrique centrale : vers des règles d'exploitation du bois intégrant le fonctionnement écologique des populations d'arbres et la variabilité des conditions environnementales
EPI :	Équipement de protection individuelle
ERAIFT :	École Régionale Postuniversitaire d'Aménagement et de Gestion intégrés des Forêts et Territoires tropicaux
FAO :	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FFEM :	Fonds français pour l'Environnement mondial
GBIF :	<i>Global Biodiversity Information Facility</i>
GRUMCAM :	Société des grumes du Cameroun
P3FAC :	Partenariat public privé pour gérer durablement les forêts d'Afrique centrale

- SCAD** : Société centrafricaine de déroulage
- SFID** : Société forestière et industrielle de la Doumé
- UFA** : Unité forestière d'aménagement
- UICN** : Union internationale pour la conservation de la nature
- USTM** : Université des Sciences et Techniques de Masuku
- UTM** : *Universal Transverse Mercator*
- WGS** : Système géodésique mondial

AVANT-PROPOS

Depuis le sommet de la Terre de Rio de Janeiro en 1992, les États d'Afrique centrale ont progressivement contraint les sociétés forestières à réaliser des plans d'aménagement. Aujourd'hui, environ 26 millions d'hectares de forêts sont dotés de tels plans. Ces plans d'aménagement tels que pensés initialement étaient supposés garantir la durabilité de l'exploitation forestière. Malheureusement, les simulations relatives à la reconstitution de la ressource reposent souvent sur des données de dynamique forestière imprécises et/ou inadaptées au contexte local.

C'est fort de ce constat que le collectif DYNAFAC (Encadré 1) mène, sous l'égide de la COMIFAC (Commission des Forêts d'Afrique centrale), des recherches scientifiques sur l'écologie et la biologie des espèces exploitées d'Afrique. Ces efforts sont notamment matérialisés par l'installation de plusieurs dispositifs permanents (*parcelles* et sentiers) destinés à étudier la *dynamique démographique* des arbres : *croissance diamétrique*, *recrutement* et *mortalité* (Figure 1). Ces dispositifs permettent (i) d'affiner les paramètres d'aménagement pour chacune des espèces exploitées et (ii) d'analyser *in fine*, sur des bases scientifiques rigoureuses, la dynamique et l'évolution de la structure des forêts d'Afrique centrale. L'objectif est de formuler des recommandations robustes et adaptées aux contextes locaux, pouvant permettre l'amélioration des règles existantes d'exploitation du bois.

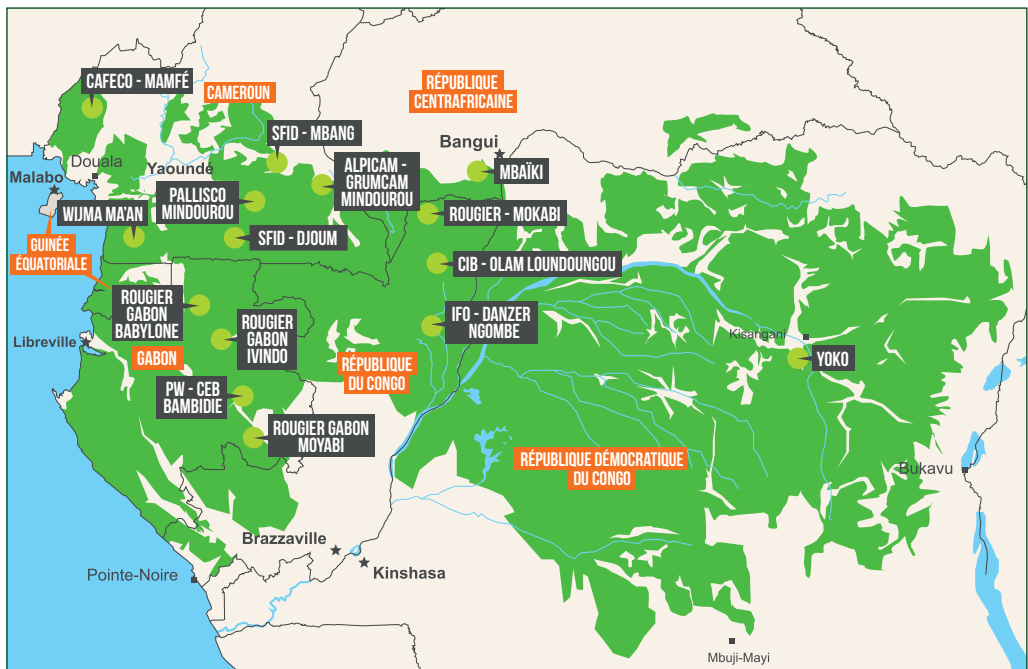


Figure 1. Localisation des dispositifs permanents du collectif DYNAFAC installés dans les forêts d'Afrique centrale.

Encadré 1. DYNAFAC

Le collectif DYNAFAC est un ensemble de structures concernées par le suivi de la dynamique forestière à travers un réseau de sites et de dispositifs permanents installés dans les forêts d'Afrique centrale. Il promeut le développement des compétences techniques et scientifiques des parties prenantes de l'aménagement et de la gestion des forêts d'Afrique centrale. DYNAFAC vise également une meilleure intégration des résultats de la recherche par les administrations nationales en charge des forêts. Il s'appuie sur la diversité de sa recherche (écologie, foresterie, génétique...), l'échange et le partage des connaissances acquises (formation et communication), et le développement d'un réseau de partenaires publics-privés engagés dans la gestion durable des forêts de production d'Afrique centrale.

Le collectif DYNAFAC a pour but de développer des activités qui permettent, à terme, d'améliorer les plans d'aménagement sur base d'un réseau de sites et de dispositifs permanents de suivi de la dynamique forestière. Le point commun des structures du collectif est d'œuvrer à la gestion durable des forêts de production en Afrique centrale par (i) le maintien du suivi des dispositifs permanents installés, (ii) la réalisation de travaux permettant une meilleure connaissance de l'écosystème forestier et (iii) la consolidation des relations entre ses membres.

Dans ce cadre, le collectif DYNAFAC a installé et suivi dans plusieurs **concessions forestières** (CIB-OLAM, GRUMCAM, Mokabi, Pallisco, Precious Woods Gabon – CEB, Rougier Gabon, SCAD, SFID et Wijma) de nombreux sentiers d'étude de la **croissance**, de la **mortalité** et de la **phénologie** de plusieurs espèces ligneuses exploitées d'Afrique centrale (Figure 1). Cette expérience a été capitalisée dans le présent ouvrage dont l'objectif est d'expliquer la démarche nécessaire à l'installation et au suivi d'un tel sentier.

L'ouvrage s'adresse aux parties prenantes de l'aménagement et de la gestion des forêts d'Afrique. Il est subdivisé en six chapitres. Le premier justifie l'importance des dispositifs permanents (sentiers et **parcelles**). Le deuxième décrit succinctement les deux types de dispositifs et détaille leurs avantages et inconvénients. Le troisième chapitre précise les caractéristiques d'un sentier et le quatrième, les modalités d'installation et de suivi. Le cinquième chapitre concerne l'encodage, la vérification et le calcul de quelques paramètres de dynamique forestière. Enfin, le sixième aborde l'estimation du coût d'installation et de suivi d'un sentier. L'ouvrage se termine par un glossaire qui définit les termes ou concepts (colorés en vert dans le texte). Les noms pilotes des espèces d'arbres variant parfois entre pays, la nomenclature de l'ATIBT¹ a été utilisée dans cet ouvrage.

¹ ATIBT, 2016. *Nomenclature générale des bois tropicaux*. 7^{ème} édition français-anglais. Nogent-Sur-Marne, France : ATIBT.

1. VERS UN AMÉNAGEMENT FORESTIER DURABLE DES FORÊTS D'AFRIQUE CENTRALE

1.1. Plan d'aménagement forestier : clé de voûte de la gestion forestière durable

La gestion durable des forêts de production nécessite un équilibre entre les prélèvements réalisés par l'exploitation forestière et le développement de la forêt. Elle suggère une gestion écologiquement appropriée, socialement bénéfique et économiquement viable, permettant de répondre aux besoins de la société actuelle sans compromettre ceux des générations futures. Afin d'intégrer cette nécessité, les entreprises forestières doivent doter leur concession d'un plan d'aménagement applicable sur une période allant de 20 à 30 ans. En 2019, plus de 26 millions² d'hectares, soit la moitié de la superficie des concessions forestières d'Afrique centrale, étaient dotées d'un plan d'aménagement validé par les administrations forestières nationales. Ce plan d'aménagement s'appuie entre autres sur un inventaire de la ressource, dont le taux d'échantillonnage est généralement de 1 %.

L'exploitation du bois d'œuvre en Afrique centrale se concentre sur un nombre réduit d'espèces ligneuses de grande valeur économique. Aujourd'hui, seulement quatre espèces d'arbres participent à plus de 75 % du volume exploité annuellement avec en moyenne un à deux arbres exploités par hectare³. Bien que cette exploitation très sélective ait un impact réduit

sur le peuplement global, l'effet sur les populations d'arbres exploités peut être considérable⁴. En effet, les populations de certaines espèces se reconstituent difficilement sur le court terme. Trois facteurs peuvent être ajustés pour améliorer la durabilité de l'exploitation de ces populations : (i) la fixation de diamètres minima d'exploitation (DME) sur la base de l'écologie de l'espèce, (ii) une exploitation périodique, selon un cycle dont la longueur est suffisante pour assurer une bonne reconstitution et (iii) le taux de prélèvement moyen permettant le maintien d'une frange de la population exploitée. Bien entendu, l'appréciation de chacun de ces facteurs fait l'objet de nombreuses études et de décisions propres aux pays.

1.2. Taux de reconstitution : paramètre clé de l'aménagement forestier

L'exploitation ne sera durable que si elle assure, entre deux passages sur un même site, le renouvellement d'une fraction suffisante du stock d'arbres préalablement exploités. Ce principe a donné naissance à un paramètre clé de l'aménagement, le taux de reconstitution. Il est estimé sur la base de la structure de population des espèces considérées et de l'évolution attendue de cette structure durant la rotation (Figure 2). Chaque pays d'Afrique centrale impose une valeur minimale du taux de reconstitution, par espèce ou par

² https://www.observatoire-comifac.net/africa/forest_management

³ FRMi, 2018. *Développement intégré et durable de la filière bois dans le bassin du Congo - Rapport Stratégique Régional*. Banque africaine de Développement.

⁴ Pérez M.R. et al., 2005. Logging in the Congo Basin: a multi-country characterization of timber companies. *Forest ecology and management*, **214**(1-3), 221-236.

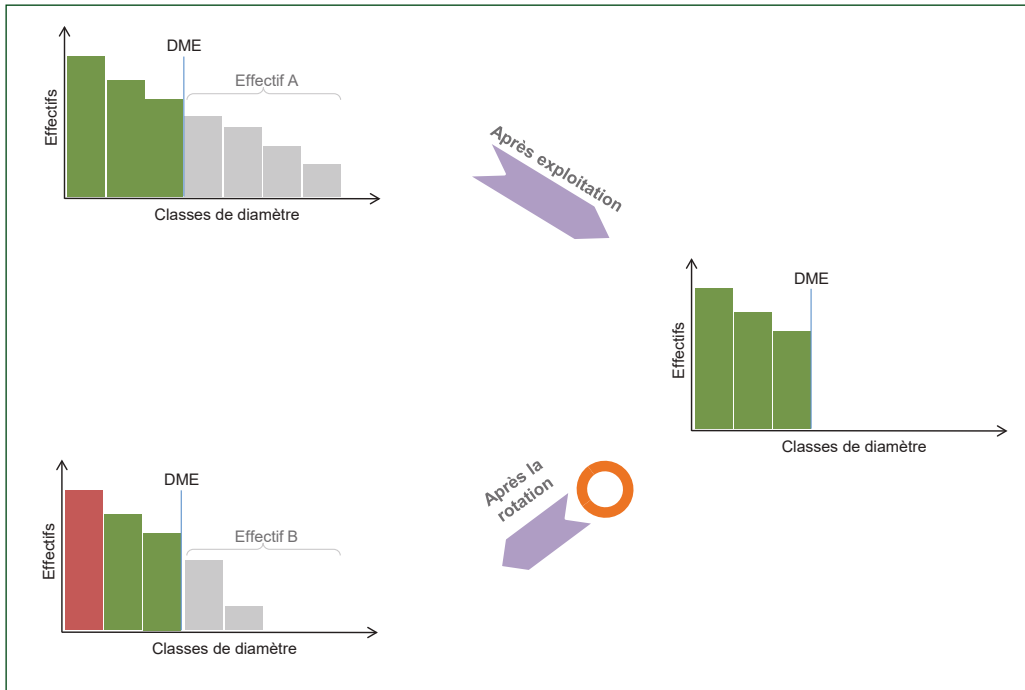


Figure 2. Représentation d'une **structure de population** (effectifs par classe de diamètre) et de la **dynamique démographique** attendue après passage de l'exploitation forestière. DME = diamètre minimum d'exploitabilité ; vert : effectifs non exploitables ou tiges d'avenir ; gris : effectifs exploitables ; rouge : effectifs intégrant la **structure de population** au cours de la **rotation**. L'effectif A représente les tiges potentiellement exploitables et l'effectif B, les tiges exploitables après une **rotation (recrutement)**. Le **taux de reconstitution** (%RE) est le rapport (exprimé en %) entre l'effectif B et l'effectif A si on suppose un taux de prélèvement de 100 %.

groupe d'espèces. Le **taux de reconstitution** est le rapport (exprimé en %) entre l'effectif d'arbres exploitables au bout d'une **rotation** (donc dans le futur) et l'effectif exploitable en début de **rotation**. Sa formule exacte est reprise dans l'Encadré 2.

L'enjeu du calcul du **taux de reconstitution** illustré à la Figure 2 est donc d'estimer l'effectif d'arbres qui deviendra exploitable après une **rotation**. Cet effectif est

dénommé effectif B sur la Figure 2. Outre la **structure de population**, l'effectif B dépend de la **croissance** des arbres et de leur **mortalité**. Par ailleurs, si on cherche à prédire l'évolution de la population sur le long terme, il faut prendre en compte le **recrutement**, les « nouvelles tiges » intégrant la **structure de population** (en rouge sur la Figure 2). Il s'agit là des trois processus fondamentaux de la **dynamique démographique**.

Encadré 2. Le calcul du taux de reconstitution

Le **taux de reconstitution** (%RE) est une estimation du rapport entre le stock exploitable après une **rotation** et le stock exploitable en début de **rotation**, pour une espèce donnée. Il permet donc de prévoir la disponibilité de tiges – en termes d'effectifs – après une **rotation**. La formule généralement utilisée pour le calcul du **taux de reconstitution**⁵ est la suivante :

$$\%RE = 100 \frac{B}{A} = 100 \frac{[B'(1 - \Delta)] (1 - \alpha)^R}{A}$$

Avec :

- Δ : taux de dégâts dus à l'exploitation ;
- B : effectif des tiges d'avenir susceptibles de dépasser le **DME** après le temps de **rotation** (B = B' réduit des pertes liées à la **mortalité** et aux dégâts d'exploitation) ;
- A : nombre de tiges de diamètre supérieur au **DME** en début de **rotation** ;
- α : **taux de mortalité** naturelle annuelle (%) ;
- R : **rotation** (en années).

B' dépend de la vitesse de croissance de l'espèce considérée. Le diamètre (D_{bi}) à partir duquel les arbres dépassent le **DME** au cours d'une **rotation** est donné par la formule suivante :

$$D_{bi} = \text{DME} - (R \times \text{AAM})$$

Avec :

- **DME** : diamètre minimum d'exploitabilité (cm) ;
- **AAM** : **accroissement diamétrique** annuel moyen (cm/an).

Afin d'être conforme aux normes nationales, l'aménagiste peut être amené à augmenter le **DME** par tranche de 10 cm jusqu'à atteindre le minimum requis pour une bonne reconstitution. Le **DME** adopté définitivement dans le cadre de l'aménagement est appelé **DMA** (**diamètre minimum d'aménagement**).

⁵ - Durrieu De Madron L., Forni É., 1997. Aménagement forestier dans l'est du Cameroun. *Bois & Forêts des Tropiques*, **254**, 39-50.

- Durrieu De Madron L. et al., 1998. *Le projet d'aménagement pilote intégré de Dimako, Cameroun, 1992-1996*. Montpellier, France : CIRAD-Forêt.

1.3. Dynamique démographique des arbres : paramètres utiles au calcul du taux de reconstitution

La dynamique d'un **peuplement** forestier se caractérise par la succession de phases allant du stade pionnier au stade dit climacique, jusqu'à ce qu'une perturbation permette aux premiers stades du cycle de se ré-exprimer. Les mécanismes impliqués dans la dynamique forestière sont variés (perturbations à grande échelle, chablis, substitution...) et interviennent à des pas de temps et des échelles spatiales variés. Ces mécanismes régissant la dynamique forestière sont complexes et reposent sur plusieurs processus fondamentaux à savoir : la reproduction (floraison, pollinisation, fructification, dissémination ou dispersion, germination), le **recrutement**, la **croissance** et la **mortalité**. Dans les forêts tropicales humides, ces processus sont d'autant plus variables que l'écosystème abrite un nombre impressionnant de formes végétales et d'espèces. Lorsqu'on aménage une forêt, comprendre la dynamique des espèces présentes est crucial afin d'élaborer des scénarios de gestion raisonnée.

Quantifier la **dynamique démographique** d'une espèce nécessite de (i) quantifier l'**accroissement**, la **mortalité** et le **recrutement**, et (ii) étudier les facteurs et les processus biologiques et physiques responsables de leur variabilité. Ces trois processus (**croissance**, **mortalité** et **recrutement**) sont illustrés à la Figure 3.

La **croissance** regroupe l'ensemble des changements physiques de la plante qui

se produisent au cours du temps. L'**accroissement** représente la variable qui quantifie ce processus. Pour un arbre, il est la différence entre les valeurs de hauteur, de diamètre... à la fin et au début de la période de mesure. Sur le terrain, la **croissance** en diamètre est facilement mesurable pour autant que certaines précautions soient prises.

La **mortalité** exprime la mort d'un certain nombre d'arbres, suite à différents événements tels que l'attaque de parasites ou d'herbivores, une chute due au vent ou à un voisin, la compétition exercée par d'autres arbres, ... ou la vieillesse. La variable permettant de la quantifier est le **taux de mortalité** défini comme étant le rapport entre le nombre d'individus morts et le nombre initial d'individus sur la période donnée et en un lieu déterminé.

Quant au **recrutement**, il désigne la fraction de la **régénération naturelle** atteignant une valeur seuil en un lieu et en un intervalle de temps donnés. La valeur seuil est souvent un diamètre minimum mesuré à 1,30 m (appelé diamètre à hauteur de poitrine, **DHP**) à partir duquel l'arbre est considéré comme faisant partie de la population étudiée. Ce diamètre seuil est appelé diamètre de précomptage. Le **recrutement** résulte de plusieurs processus : (i) la fructification et la dispersion des graines issues des arbres mères, puis (ii) l'établissement, la survie et la **croissance** des juvéniles jusqu'à atteindre le diamètre seuil à partir duquel ils sont pris en compte dans la population. Le **taux de recrutement** est la variable qui quantifie le **recrutement**. Il représente le rapport

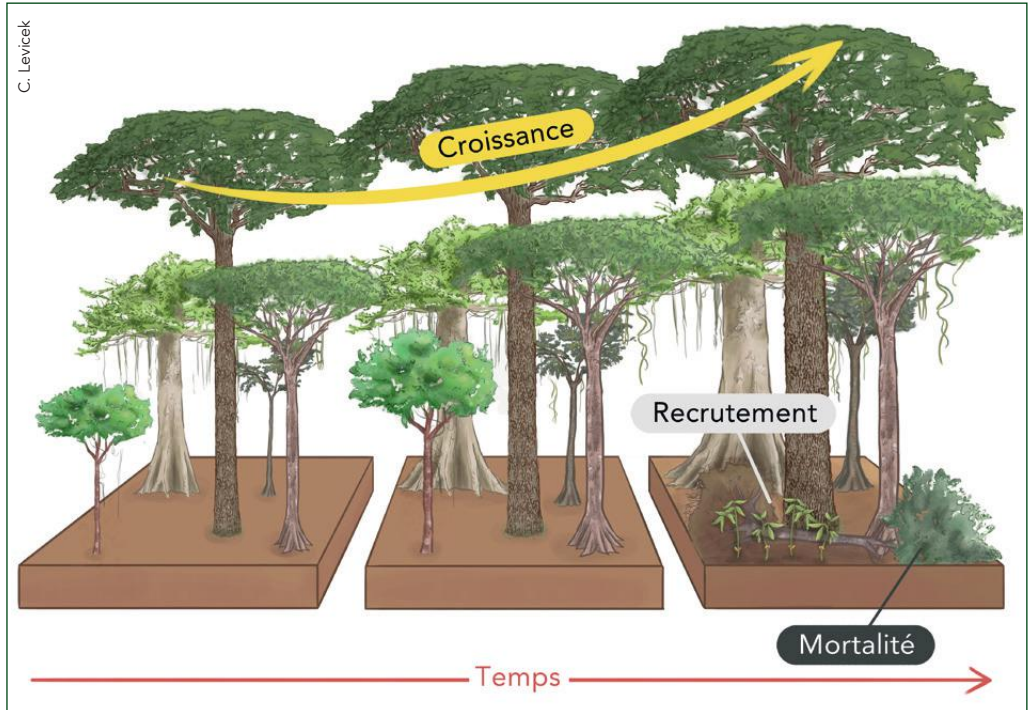


Figure 3. Trois processus (croissance, mortalité et recrutement), objets des études de dynamique démographique.

entre le nombre d'individus recrutés (atteignant le diamètre seuil) et le nombre initial d'arbres sur une période et un lieu donnés.

L'expérience a montré que pour une espèce donnée, ces trois processus peuvent significativement varier en fonction du site (avec climat et sol). La Figure 4 illustre, pour une espèce commerciale, l'ayous (*Triplochiton scleroxylon*), la variation de l'accroissement diamétrique entre différents sites forestiers du Cameroun, de la République du Congo et de la République

centrafricaine. Dans ce cas, l'accroissement diamétrique peut varier du simple au double⁶. En conséquence, l'utilisation de valeurs uniques quantifiant les processus démographiques d'une espèce donnée biaise le calcul du taux de reconstitution. L'utilisation de données locales de dynamique est donc fortement recommandée pour ce type de calcul.

1.4. Phénologie

La phénologie est l'étude des variations des phénomènes périodiques affectant

⁶ Ligot G. et al., 2019. Growth determinants of timber species *Triplochiton scleroxylon* and implications for forest management in central Africa. *Forest ecology and management*, **437**, 211-221.

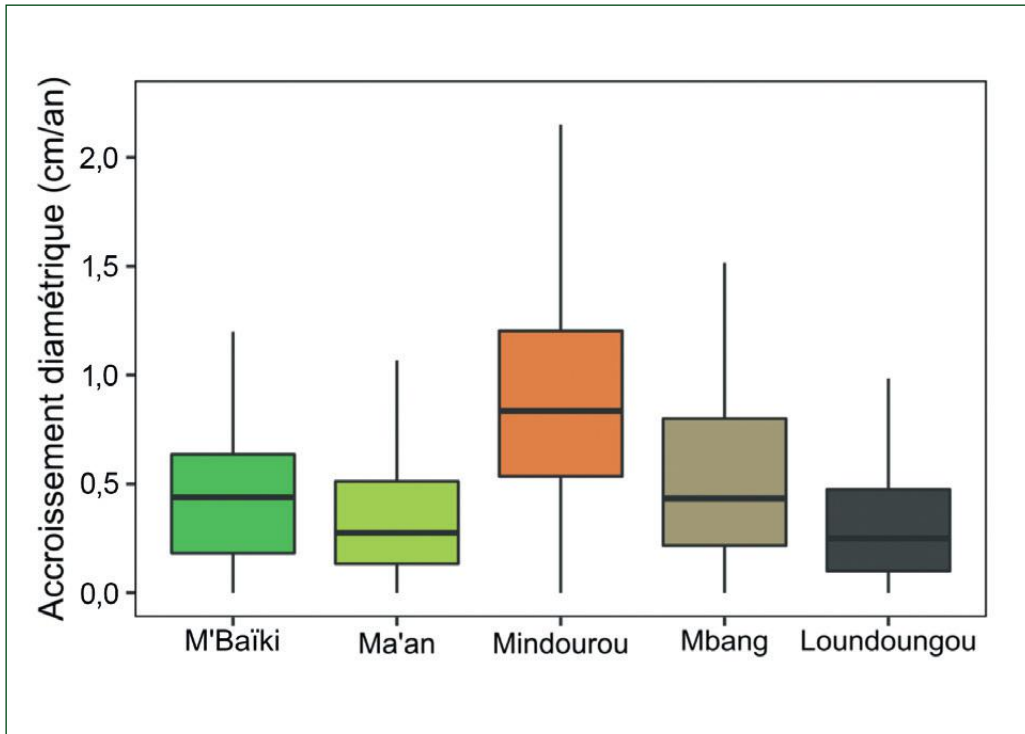


Figure 4. Variation de l'accroissement diamétrique annuel moyen de l'ayous entre les sites forestiers de la République centrafricaine (M'Baïki), du Cameroun (Mindourou, Mbang et Ma'an), et de la République du Congo (Loundoungou).

le monde vivant. Au niveau des arbres, elle s'illustre notamment par la variation de la feuillaison, de la floraison et de la fructification. Le déclenchement des événements de reproduction chez les plantes est lié à l'âge, à la taille ainsi qu'à d'autres stimuli génétiques et environnementaux. L'un des buts pratiques du suivi **phénologique** dans le cadre de l'aménagement des forêts de production est de déterminer le diamètre seuil à partir duquel un arbre commence à se reproduire. Le diamètre de fructification régulière d'une espèce (**DFR**, Encadré 3) est particulièrement important à déterminer afin d'éviter d'abattre des arbres avant qu'ils aient

significativement contribué au renouvellement de la population. Si l'on ne tient pas compte de cet aspect, (i) on exerce un impact négatif sur la **régénération naturelle** de l'espèce, (ii) on amoindrit sa **diversité génétique**, et (iii) on augmente sa vulnérabilité dans le site exploité. Pour garantir la durabilité de l'exploitation, les **DME** fixés par l'administration forestière dans chaque pays doivent être supérieurs au **DFR**.

Le **DFR** est influencé par les conditions environnementales, notamment la température et les précipitations. Il devrait donc être déterminé pour chaque type forestier (Annexe 1).

Encadré 3. Le diamètre de fructification régulière (DFR)

Le **DFR** désigne le diamètre seuil de reproduction efficace d'une espèce. On peut considérer qu'il s'agit du diamètre à partir duquel l'espèce a au moins une chance sur deux de fructifier. Il existe globalement deux méthodes permettant de déterminer le **DFR**. Par expérience, ces deux méthodes aboutissent aux mêmes résultats. La première, la plus reconnue, est la régression logistique⁷ qui permet de relier la probabilité de fructification au diamètre. Des estimations de **DFR** de plusieurs espèces d'arbres faites avec cette méthode, sur différents sites au Cameroun, en République du Congo et en République centrafricaine, sont présentées par Ouédraogo et al. (2018)⁸. La deuxième méthode est fondée sur une approche descriptive⁹ et est détaillée dans la section 5.2.3 (paragraphe Détermination du **DFR** selon l'approche descriptive) du présent ouvrage. Elle se base sur la fréquence des arbres ayant fructifié par classe de diamètre. Ici, le **DFR** est considéré comme étant la valeur médiane de la première classe de diamètre ayant obtenu une fréquence de 50 %. Contrairement à la première méthode, elle est sensible au nombre d'individus par classe de diamètre, mais elle est plus simple à mettre en œuvre.

⁷ Pour plus de détails sur la régression logistique, consulter http://maths.cnam.fr/IMG/pdf/Regression_logistique_simple_2008.pdf

⁸ Ouédraogo D.Y. et al., 2018. The size at reproduction of canopy tree species in central Africa. *Biotropica*, 50(3), 465-476.

⁹ Kouadio Y.L., 2009. *Mesures sylvicoles en vue d'améliorer la gestion des populations d'essences forestières commerciales de l'Est du Cameroun*. Thèse de doctorat : Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux, Belgique.

2. DISPOSITIFS D'ÉTUDE DE LA DYNAMIQUE DÉMOGRAPHIQUE

Il existe deux grandes catégories de dispositifs dédiés à l'étude de la dynamique forestière : les **parcelles** et les sentiers.

2.1. Parcelles

La **parcelle** est une surface faisant l'objet d'un inventaire exhaustif périodique afin

d'y mesurer tous les arbres atteignant un seuil de diamètre fixé, couramment 10 cm de **DHP** (Figure 5). Elle permet la quantification des trois processus de la **dynamique démographique** à l'échelle du peuplement : la **mortalité**, la **croissance** et le **recrutement**. Pour les espèces suffisamment représentées, ces trois processus

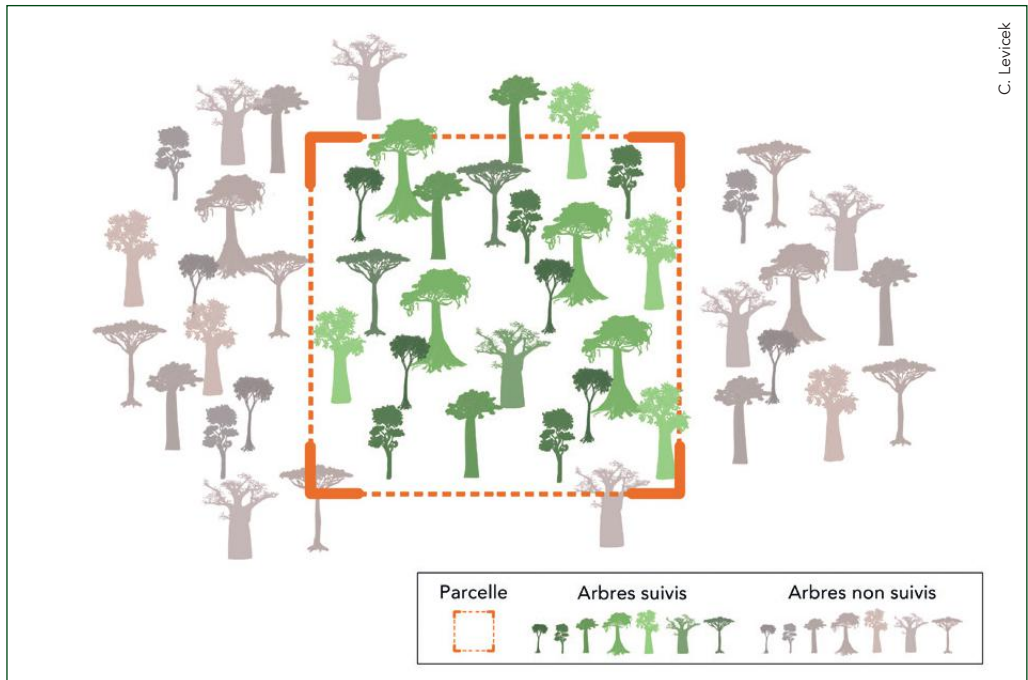


Figure 5. Illustration d'une parcelle. Les différentes formes et couleurs des arbres suivis représentent différentes espèces.

peuvent être estimés aussi à l'échelle de l'espèce.

2.2. Sentiers

Le sentier est un réseau d'arbres appartenant à une ou plusieurs espèces, reliés par des pistes, sélectionnés dans une région et faisant l'objet d'un suivi périodique (Figure 6). Il permet de quantifier deux

paramètres démographiques des populations suivies : la **croissance** et la **mortalité**.

2.3. Avantages et inconvénients des parcelles et des sentiers

Les avantages et inconvénients des **parcelles** et des sentiers ont été détaillés dans le manuel de référence pour l'installation de dispositifs permanents en forêt

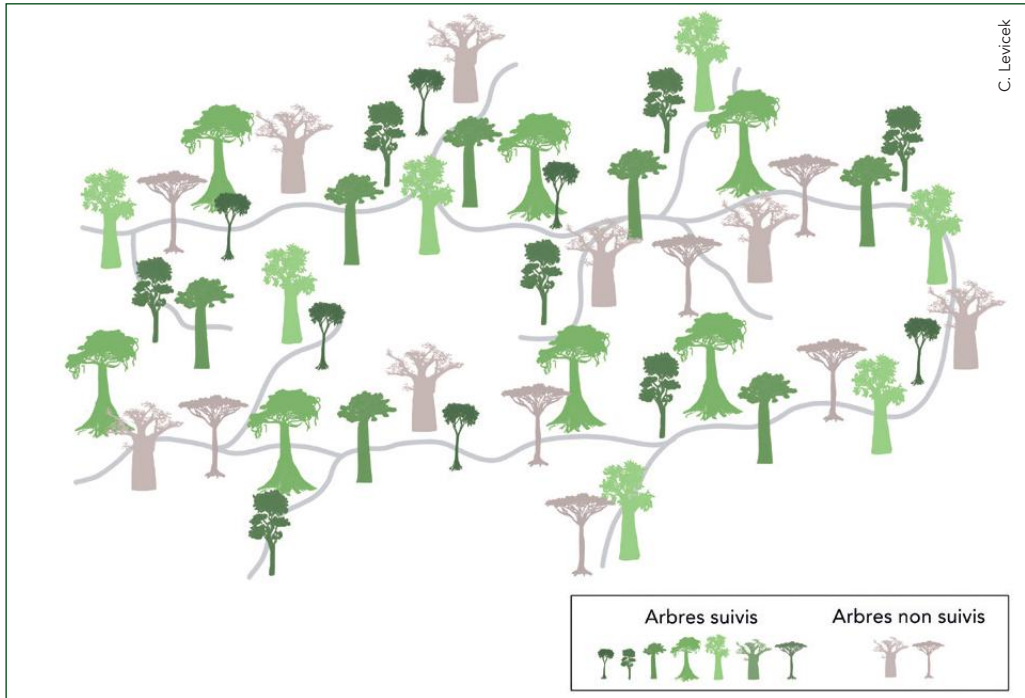



Figure 6. Illustration d'un sentier reliant les arbres suivis, appartenant à différentes espèces.

de production dans le bassin du Congo¹⁰. Sur une **parcelle**, il est possible de quantifier le processus de **recrutement**, c'est-à-dire le nombre d'arbres dépassant le diamètre de précomptage (généralement 10 cm) par unité de surface et de temps. Il est également possible d'étudier d'autres aspects du **peuplement** ou de la communauté dans son ensemble (**structure diamétrique**, diversité floristique, biomasse, etc.), contrairement au sentier. En revanche, une **parcelle** ne peut héberger

qu'un nombre limité d'arbres appartenant à des espèces commerciales. Ce nombre limité ne permet pas de quantifier la **croissance** et la **mortalité** des arbres exploitables de manière fiable. De plus, la **parcelle** requiert des coûts d'installation et de suivi bien plus élevés que le sentier. En conséquence, pour les gestionnaires forestiers, un sentier offre un bon compromis entre investissements et résultats attendus à court ou moyen terme.

¹⁰ Picard N., Gourlet-Fleury S., 2008. *Manuel de référence pour l'installation de dispositifs permanents en forêt de production dans le Bassin du Congo*. Yaoundé : COMIFAC.

A photograph of a large tree trunk in a lush forest. The tree trunk is the central focus, showing a rough, textured bark. A bright red horizontal band is painted around the trunk, likely for identification or measurement purposes. The background is filled with other trees and dense green foliage, creating a sense of a deep forest. The lighting is natural, suggesting daylight.

3. CARACTÉRISTIQUES D'UN SENTIER DE SUIVI DE LA CROISSANCE, DE LA MORTALITÉ ET DE LA PHÉNOLOGIE

3.1. Caractéristiques d'un sentier

Le sentier permet d'étudier trois variables essentielles pour modéliser la reconstitution des ressources ligneuses : (i) l'**accroissement diamétrique**, (ii) le **taux de mortalité** et (iii) le diamètre de fructification régulière.

Un sentier est généralement composé de **plusieurs espèces ligneuses identifiées comme prioritaires**. Les arbres retenus ont un **DHP** ≥ 10 cm. Pour obtenir des estimations fiables, un minimum de 200 arbres par espèce est souhaitable, à raison de **20 arbres par classe de diamètre**^{10, op. cit., p. 30}. L'amplitude de chaque classe est de 10 cm. Dix classes sont définies : [10-20[, [20-30[... [80-90[, [90-100[et ≥ 100 cm.

La **croissance diamétrique** et la **mortalité** sont étudiées annuellement. Quant au suivi de la **phénologie**, il est mensuel et peut être limité à un échantillon d'arbres du sentier. On recommande, pour le suivi de la **phénologie**, 100 arbres par espèce, à raison de 10 individus par classe de diamètre.

Afin de disposer de données fiables et robustes, le dispositif de type sentier doit être idéalement suivi sur une durée **minimale de cinq ans**. Toutefois, dans certains cas extrêmes, trois années de suivis peuvent suffire pour obtenir des résultats acceptables.

3.2. Types de sentier

En Afrique centrale, l'**exploitation sélective**, bien que ne prélevant en moyenne

qu'un à deux arbres par hectare, peut affecter significativement la **croissance** et la **mortalité** des arbres, et ce, pendant 10 à 15 ans, période au terme de laquelle l'effet de l'exploitation tend à disparaître. La prise en considération de cet effet permet d'envisager deux types de sentier : le sentier unique et le sentier double.

3.2.1. Sentier unique

Ce type de sentier repose sur une analyse diachronique (avant et après exploitation forestière) de l'**accroissement diamétrique** et de la **mortalité** des espèces ligneuses ciblées. Il est installé dans une **assiette annuelle de coupe** ou un site encore non exploité(e), et devant l'être dans un délai minimum de cinq ans. Deux séries de relevés sont donc effectuées sur le sentier unique : une première série sur plusieurs années (cinq ans minimum) avant exploitation, puis une seconde série après exploitation (cinq ans minimum aussi ; Figure 7).

3.2.2. Sentier double

Un sentier double comprend deux réseaux d'arbres : (i) un premier réseau est installé dans une assiette récemment exploitée (environ un an après l'exploitation ; Figure 8a) et (ii) un second est établi dans une **assiette annuelle de coupe** intacte, non perturbée (ou exploitée depuis au moins 20 ans ; Figure 8b). Ici, il est essentiel que les deux réseaux soient (i) situés dans un même environnement (sol, type de forêt, etc.) et (ii) proches géographiquement. Pour s'assurer que l'environnement est en tout point comparable, l'idéal serait d'installer le premier réseau (du site exploité) avant le passage de l'exploitation et de le suivre

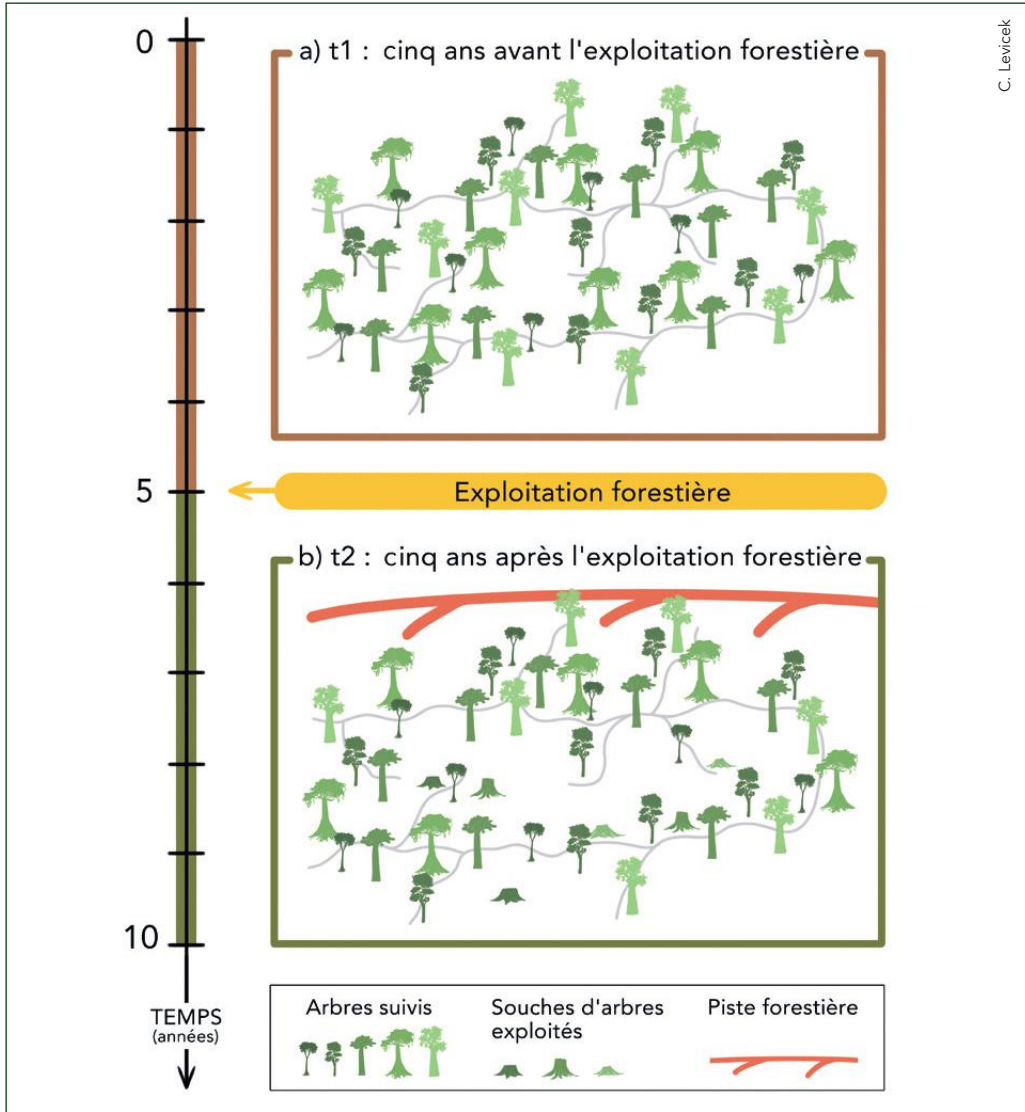


Figure 7. Représentation d'un sentier unique. En (a) le schéma du sentier suivi avant exploitation et en (b) le schéma du même sentier suivi après passage de l'exploitation.

pendant deux années afin de s'assurer que la croissance en diamètre des arbres est bien identique à celle du second réseau (site non exploité). Les deux réseaux devront être suivis pendant les cinq années suivant le passage de l'exploitation

dans le premier réseau. Comparativement au sentier unique, le sentier double présente l'avantage d'avoir un temps de suivi plus court. Il a par contre l'inconvénient de nécessiter le suivi d'un plus grand nombre d'arbres.

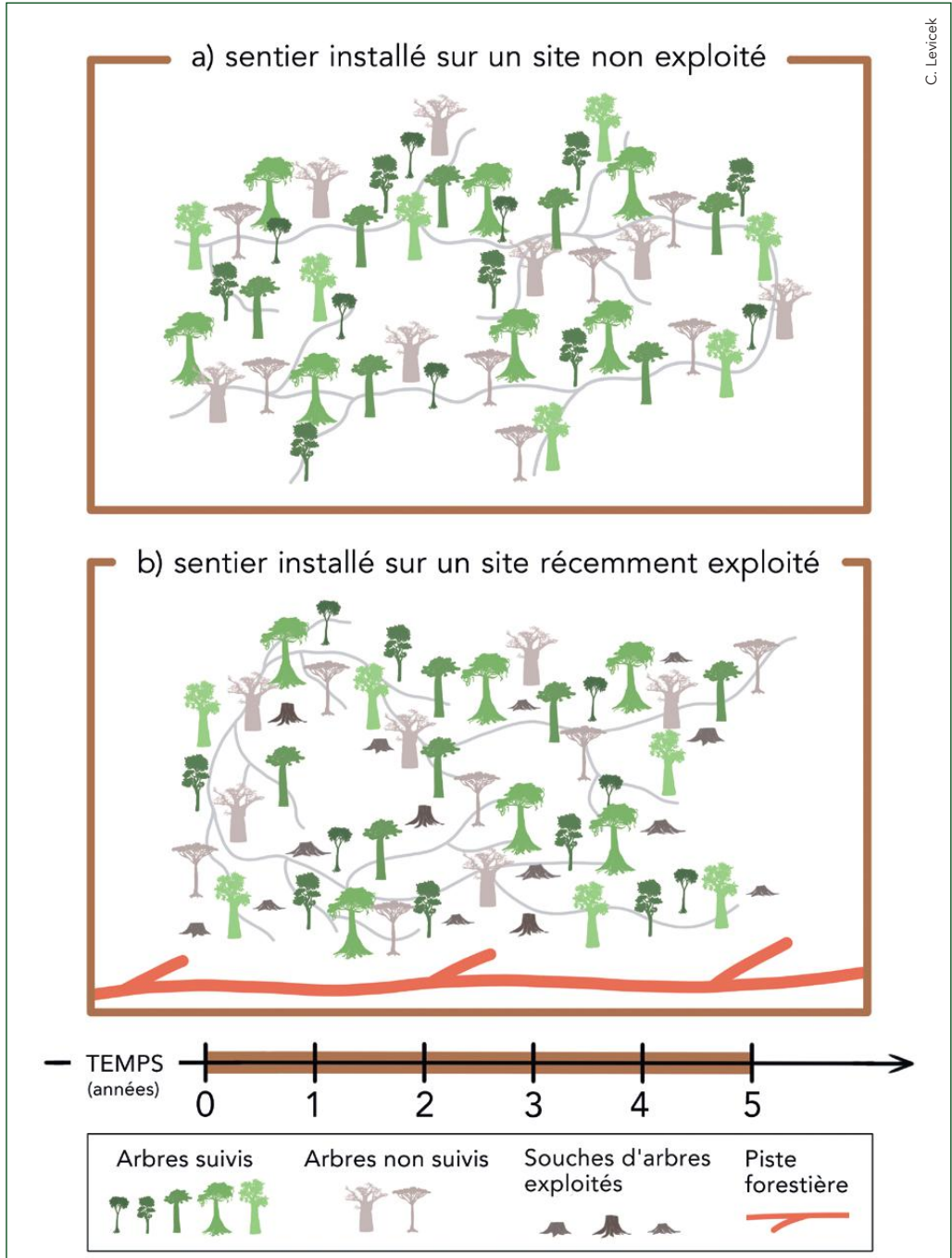


Figure 8. Schéma d'un sentier double. En (a) un sentier installé sur un site non exploité et en (b) un sentier installé sur un site récemment exploité. Les deux sentiers sont suivis simultanément pendant au moins cinq ans.



4. MODALITÉS D'INSTALLATION ET DE SUIVI D'UN SENTIER

Cette section est dédiée aux aspects techniques de l'installation et du suivi d'un sentier : le choix des espèces et des sites potentiels, la prospection et la sélection du site définitif, l'inventaire des arbres du sentier, le marquage et la caractérisation des arbres, et le suivi périodique de la **croissance**, de la **mortalité** et de la **phénologie**. Elle se termine par une présentation du matériel nécessaire pour ces différentes étapes.

4.1. Choix des espèces

Le choix des espèces ligneuses ciblées dans un sentier repose sur les quatre critères suivants : (i) l'importance commerciale ou stratégique pour l'entreprise forestière, (ii) la **densité de population** de l'espèce, (iii) la disponibilité de données démographiques pour le type forestier du site d'installation et (iv) la vulnérabilité de l'espèce (si elle est exploitée par l'entreprise forestière).

4.1.1. Importance commerciale pour l'entreprise

Les espèces ligneuses qui sont choisies sur un sentier doivent être des espèces commerciales d'intérêt pour le concessionnaire forestier. Il peut s'agir d'espèces habituellement exploitées (ayous [*Triplochiton scleroxylon*], okan [*Cylicodiscus gabunensis*], okoumé [*Aucoumea klainiana*], padouk d'Afrique [*Pterocarpus soyauxii*], sapelli [*Entandrophragma cylindricum*], etc. ; Figure 9) ou d'espèces de promotion qui pourraient s'avérer nécessaires pour la survie de l'entreprise sur le long terme (bété [*Mansonia*

altissima], eyoum [*Dialium pachyphyllum*], lotofa [*Sterculia rhinopetala*], etc.).

4.1.2. Densité de population

Les espèces ligneuses choisies doivent avoir une **densité de population** suffisante afin de pouvoir garantir l'efficacité de l'installation. L'idéal est de pouvoir en trouver 200 sur une superficie ne dépassant pas 400 à 500 ha, soit 0,50 tige/hectare de **DHP** \geq 10 cm (ou environ une densité de 0,30 tige/hectare de **DHP** \geq 20 cm si on dispose de données d'inventaire d'aménagement classique).

4.1.3. Disponibilité des données démographiques

La priorité devra être donnée aux espèces pour lesquelles aucune donnée de **croissance** ou de **mortalité** n'est disponible pour le type forestier visé. Toutefois, ce critère n'est pas contraignant ; il est souvent utile d'avoir plusieurs sentiers dans un même type forestier, car d'autres facteurs environnementaux (**facteurs abiotiques** et/ou **biotiques**) peuvent significativement affecter la **dynamique démographique**.

4.1.4. Vulnérabilité de l'espèce

Ce critère est pertinent si l'espèce exploitée par le concessionnaire forestier est considérée comme vulnérable. La vulnérabilité de l'espèce intègre plusieurs critères : une menace reconnue à l'échelle du pays ou de la région, l'**endémisme**, le statut **CITES** (Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction) et le statut **UICN** (Union internationale pour la conservation de la nature) de l'espèce.



Ayous (*Triplochiton scleroxylon*)



Okan (*Cyclicodiscus gabunensis*)



Bété (*Mansonia altissima*)



Eyoum (*Dialium pachyphyllum*)

Figure 9. Deux espèces commerciales (ayous et okan) parmi les plus exploitées en Afrique centrale et deux espèces de promotion d'Afrique centrale (bété et eyoum) © J.-L. Doucet.

À ce jour, il n'existe pas encore de liste d'espèces végétales vulnérables et admise par un État d'Afrique centrale.

- **Endémisme**

L'**endémisme** peut se définir comme la présence exclusive d'une espèce dans une zone géographique déterminée. La forte exploitation d'une espèce d'arbres dont la distribution est géographiquement restreinte peut être problématique pour la survie de l'espèce. Il convient donc d'étudier avec attention la dynamique des populations des espèces en-

démiques aux échelles nationale ou régionale. C'est le cas de plusieurs espèces d'andoung (genres *Bikinia* et *Brachystegia* principalement).

- **Statut CITES**

La Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction, **CITES**¹¹, est encore connue sous le nom de Convention de Washington. Il s'agit d'un accord international entre États qui a pour objectif de veiller à ce que le commerce international des animaux et des plantes sauvages ne

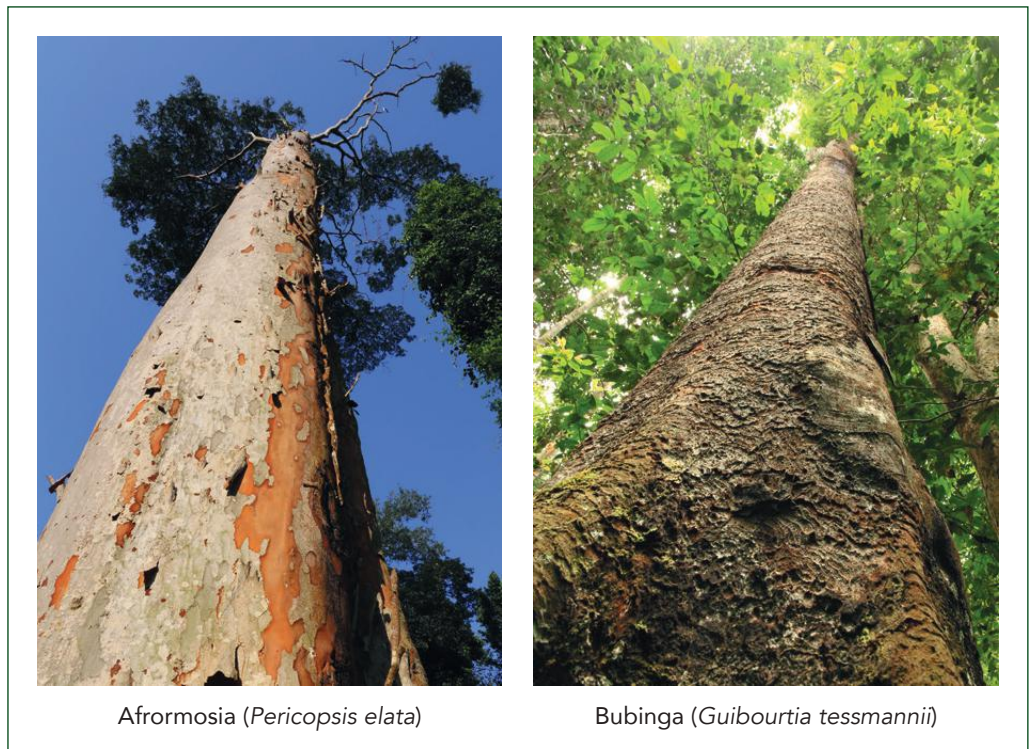


Figure 10. Deux espèces commerciales inscrites sur l'annexe II de la **CITES** : afromosia et bubinga (© J.-L. Doucet).

¹¹ Pour de plus amples informations sur la CITES, consulter le site internet suivant : <https://www.cites.org>

Encadré 4. Les annexes de la CITES¹¹, op. cit., p. 41

Il existe trois annexes de la CITES : annexes I, II et III. Ces annexes sont des listes dans lesquelles figurent des espèces bénéficiant de différents degrés de protection face à la surexploitation.

L'annexe I regroupe les espèces les plus menacées d'extinction. En conséquence, la CITES interdit le commerce international de leurs spécimens sauf lorsque l'importation est faite à des fins de recherche scientifique. Dans ce cas, des transactions peuvent avoir lieu à condition d'être autorisées par un permis d'importation et un permis d'exportation (ou un certificat de réexportation). À ce jour, en Afrique centrale, aucune espèce d'arbre n'est inscrite à l'annexe I.

L'annexe II de la CITES est la liste des espèces qui, bien que n'étant actuellement pas menacées d'extinction, pourraient le devenir si le commerce de leurs spécimens n'était pas étroitement contrôlé. Le commerce international des spécimens des espèces inscrites à l'annexe II peut être autorisé et doit dans ce cas être couvert par un permis d'exportation ou un certificat de réexportation. Les autorités chargées de délivrer les permis et les certificats ne devraient le faire que si certaines conditions sont remplies, mais surtout si elles ont l'assurance, après étude reposant sur des données démographiques fiables, que le commerce ne nuira pas à la survie de l'espèce dans la nature (avis de commerce non préjudiciable, ACNP).

Contrairement aux annexes I et II, l'annexe III rassemble la liste des espèces inscrites à la demande d'une partie (État) qui en réglemente déjà le commerce et qui a besoin de la coopération des autres parties pour en empêcher l'exploitation illégale ou non durable. Le commerce international des spécimens des espèces inscrites à cette annexe n'est autorisé que sur présentation des permis ou certificats appropriés.

menace pas leur survie. Les espèces sont classées dans trois annexes en fonction de la gravité du danger encouru (Encadré 4). Actuellement, seules les espèces commerciales d'Afrique centrale suivantes figurent en annexe II : afrormosia (*Pericopsis elata* ; Figure 10), bubinga (*Guibourtia tessmannii* [Figure 10], *Guibourtia pellegriniana* et *Guibourtia demeusei*). L'exportation de ces espèces est subordonnée à

l'obtention d'un permis d'exportation lié à l'émission d'un avis de commerce non préjudiciable (ACNP), lequel doit reposer sur des données démographiques fiables. Il est donc important d'intégrer de telles espèces à un sentier si leur exploitation est envisagée. Les annexes de la CITES ne doivent pas être confondues avec les statuts UICN.

- **Statut UICN**

L'Union internationale pour la conservation de la nature (**UICN**, en anglais IUCN) est une des principales organisations non gouvernementales dont la mission est (i) d'influencer, d'encourager et d'aider les sociétés à conserver l'intégrité et la diversité de la nature et (ii) d'assurer que les ressources naturelles soient utilisées d'une manière équitable et durable. L'**UICN** est particulièrement connue pour attribuer aux espèces un statut de conservation, repris dans sa liste rouge des espèces menacées (Encadré 5). Cette liste est purement informative et ne se traduit

pas par des mesures légalement contraignantes. Bien que le statut de conservation attribué aux espèces commerciales doive être actualisé, il est recommandé d'inclure, si elles sont présentes dans le site, les espèces classées en danger (EN) : afrormosia (*Pericopsis elata*), tola (*Prioria balsamifera*), douka (*Tieghemella africana*), ébène d'Afrique (*Diospyros crassiflora*), izombé (*Testulea gabonensis*), makoré (*Tieghemella heckelii*), wengé (*Millettia laurentii*) et zingana (*Microberlinia bisulcata*) et celles en danger critique d'extinction (CR) : pao rosa (*Bobgunnia fistuloides*) et mukulungu (*Autranella congolensis*); Figure 11.



Figure 11. Deux espèces commerciales d'Afrique centrale classées en danger critique d'extinction par l'**UICN** : le pao rosa et le mukulungu (© J.-L. Doucet).

Encadré 5. La liste rouge de l'UICN¹² et les espèces commerciales concernées

La liste rouge de l'UICN est l'inventaire mondial le plus complet de l'état de conservation global des espèces végétales et animales. Elle s'appuie sur une série de critères pour évaluer le risque d'extinction de milliers d'espèces et de sous-espèces. La liste rouge de l'UICN est aujourd'hui reconnue comme l'outil de référence le plus utilisé pour connaître le niveau de menace pesant sur la flore et la faune. Chaque espèce ou sous-espèce est classée dans une des neuf catégories suivantes : Éteinte (EX), Éteinte à l'état sauvage (EW), En danger critique (CR), En danger (EN), Vulnérable (VU), Quasi menacée (NT), Préoccupation mineure (LC), Données insuffisantes (DD), Non évaluée (NE). Chacune de ces catégories ainsi que les critères de classification associés sont détaillés dans UICN (2012)¹³. Les dernières évaluations du statut de ces espèces remontant à 1998, une actualisation est nécessaire. Le nom des espèces commerciales d'Afrique centrale figurant sur la liste rouge de l'UICN est présenté dans le tableau ci-dessous.

Catégorie UICN	Espèce commerciale
En danger critique (CR)	Mukulungu (<i>Austranella congolensis</i>) et zingana (<i>Microberlinia bisulcata</i>).
En danger (EN)	Afrormosia (<i>Pericopsis elata</i>), tola (<i>Prioria balsamifera</i>), douka (<i>Tieghemella africana</i>), ébène d'Afrique (<i>Diospyros crassiflora</i>), izombé (<i>Testulea gabonensis</i>), makoré (<i>Tieghemella heckelii</i>) et wengé (<i>Millettia laurentii</i>).
Vulnérable (VU)	Abura (<i>Mitragyna ledermannii</i> et <i>Fleroya stipulosa</i>), acajou d'Afrique (<i>Khaya anthotheca</i> , <i>Khaya grandifoliola</i> et <i>Khaya ivorensis</i>), avodiré (<i>Turraeanthus africana</i>), azobé (<i>Lophira alata</i>), bilinga (<i>Nauclea diderrichii</i>), bossé clair (<i>Leplaea cedrata</i>), bossé foncé (<i>Leplaea thompsonii</i>), doussié (<i>Azelia africana</i> , <i>Azelia bipindensis</i> et <i>Azelia pachyloba</i>), eyong (<i>Eriobroma oblongum</i>), framiré (<i>Terminalia ivorensis</i>), iatandza (<i>Albizia ferruginea</i>), idéwa (<i>Haplormosia monophylla</i>), igaganga (<i>Dacryodes igaganga</i>), kosipo (<i>Entandrophragma candollei</i>), kotibé (<i>Nesogordonia papaverifera</i>), koto (<i>Pterygota bequaertii</i> et <i>Pterygota macrocarpa</i>), moabi (<i>Baillonella toxisperma</i>), naga (<i>Brachystegia kennedyi</i>), niangon (<i>Tarrietia utilis</i>), oduma (<i>Prioria joveri</i>), okoumé (<i>Aucoumea klaineana</i>), padouk blanc (<i>Pterocarpus mildbraedii</i>), sapelli (<i>Entandrophragma cylindricum</i>), sipo (<i>Entandrophragma utile</i>), tiama (<i>Entandrophragma angolense</i>) et zingana brazza (<i>Microberlinia brazzavillensis</i>).
Quasi menacée (NT)	Iroko (<i>Milicia excelsa</i>), fardo (<i>Daniellia klainei</i>) et gombé (<i>Didelotia unifoliolata</i>).
Préoccupation mineure (LC)	Ayous (<i>Triplochiton scleroxylon</i>), bété (<i>Mansonia altissima</i>), bomanga (<i>Brachystegia zenkeri</i>), dibétou (<i>Lovoa trichilioides</i>), fuma (<i>Ceiba pentandra</i>) et ovèngkol (<i>Guibourtia ehie</i>).
Données insuffisantes (DD)	Tiama (<i>Entandrophragma congoense</i>).

¹² <https://www.iucnredlist.org/>

¹³ UICN, 2012. *Catégories et Critères de la Liste rouge de l'UICN*. Version 3.2. Deuxième édition. Gland, Suisse & Cambridge, Royaume-Uni : UICN.

Le Tableau 1 dresse la liste des documents à consulter par le gestionnaire forestier pour le choix des espèces à prendre en compte dans un sentier de suivi de la **croissance**, de la **mortalité** et de la **phénologie**.

Tableau 1. Documents à consulter par le gestionnaire forestier pour le choix des espèces prioritaires.

Critères considérés pour le choix des espèces	Documents et informations à consulter
Importance commerciale pour l'entreprise	<i>Plan d'industrialisation de l'entreprise forestière</i> : la consultation de ce document permettra d'apprécier l'importance stratégique de l'espèce pour l'entreprise. Il convient également de discuter avec les responsables de l'entreprise.
Densité de population	<i>Rapport d'inventaire d'aménagement et plan d'aménagement</i> : ces documents aideront à obtenir les informations sur la densité et la localisation de l'espèce dans la concession forestière .
Disponibilité locale ou régionale des données démographiques	<i>Carte régionale de localisation des dispositifs existants de suivi de la dynamique forestière (exemple : Figure 1) et carte de présentation des différents types forestiers en Afrique centrale (Annexe 1)</i> : elles permettront d'apprécier la disponibilité des données sur le type forestier considéré.
Vulnérabilité et endémisme de l'espèce	Données concernant le statut de vulnérabilité de l'espèce : elles concernent essentiellement son statut CITES (https://www.cites.org/), son statut UICN (https://www.iucnredlist.org/) et sa distribution géographique à obtenir dans les bases de données suivantes : (i) base de données des plantes d'Afrique des Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève (http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/afrique/recherche.php) ; (ii) base de données de <i>Global Biodiversity Information Facility</i> (GBIF ; https://www.gbif.org/) ; et (iii) base de données RAINBIO (https://gdauby.github.io/rainbio/index.html).

4.2. Choix des sites potentiels

Plusieurs critères doivent être respectés quant au choix du site devant accueillir le circuit : la représentativité écologique

de la formation végétale, l'historique d'exploitation, la richesse en espèces commerciales et l'accessibilité sur le long terme.

Les sentiers doivent être implantés dans

une formation végétale représentative de la forêt étudiée. Si plusieurs types forestiers se côtoient, idéalement chacun devrait accueillir un sentier.

Dans le cas d'un massif forestier peu perturbé, le sentier devrait être installé dans un **peuplement** aussi intact que possible. À défaut, on veillera à choisir un site dont l'exploitation remonte à au moins une vingtaine d'années.

Les espèces ciblées doivent être présentes au sein du dispositif avec une densité suffisante. Comme de nombreuses espèces ligneuses sont **grégaire**s (ayous [*Triplochiton scleroxylon*], afrormosia [*Pericopsis elata*], okoumé [*Aucoumea klaineana*]...), il peut en effet arriver qu'elles soient présentes par poche dans l' **assiette annuelle de coupe** (AAC).

Enfin, le sentier doit être idéalement installé le plus proche possible d'une base-vie permanente ou d'une route permanente afin de faciliter l'accès au dispositif à tout moment. Ceci est particulièrement important si un suivi **phénologique** doit être réalisé mensuellement. Par expérience, des dispositifs situés à plus de 3 à 5 km d'un accès permanent sont souvent voués à l'abandon ou mal suivis.

Le choix des sites est une activité qui se fait au bureau sur base des documents suivants :

- rapport d'inventaire d'aménagement de la **concession forestière** : il contient les densités des espèces retenues dans les sites candidats pour l'installation du sentier ;
- plan d'aménagement : il fournit plu-

sieurs informations devant aider dans le choix du site :

- o **représentativité du site à choisir** : la carte de stratification forestière du plan d'aménagement, qui présente les différents types forestiers de la **concession forestière**, aide à estimer la représentativité du site,
- o **historique d'exploitation** : le plan d'aménagement de la **concession forestière** contient généralement des cartes ou textes retraçant l'historique du massif forestier tant en termes de perturbations anthropiques que naturelles. Leur prise en compte permet de choisir des zones dont l'ancienneté des perturbations est conforme aux attentes,
- o **accessibilité au sein de la concession forestière** : les différentes cartes du plan d'aménagement illustrant les infrastructures présentes, la localisation et l'année d'exploitation des **AAC** permettent de localiser un site accessible sur le long terme.

4.3. Prospection et sélection du site définitif

Après le choix des sites potentiels au bureau, il est recommandé d'effectuer un jour de prospection par site potentiel afin de choisir le ou les sites définitifs.

Cette prospection consiste à évaluer *a priori* l'abondance des espèces cibles. Dans le cas des sentiers doubles, lorsque les données d'inventaire d'exploitation

sont disponibles, elles peuvent également servir lors du choix du ou des sites définitifs. À titre indicatif, sur base de données d'inventaire d'exploitation, une densité comprise entre 10 et 15 arbres/km² au-dessus du DME pourrait indiquer une bonne abondance de l'espèce cible dans l'AAC ou le site.

En outre, pour les espèces ligneuses très grégaires (limbali [*Gilbertiodendron dewevrei*], afrormosia [*Pericopsis elata*], etc.), il peut être recommandé d'installer un sentier additionnel ciblant uniquement l'espèce grégaire concernée.

4.4. Inventaire des arbres du sentier

La tâche de l'équipe en charge de l'inventaire des arbres du sentier est d'identifier puis de réaliser un marquage des arbres des espèces cibles ayant au moins 10 cm de diamètre. Un effectif de 200 individus d'au moins 10 cm de diamètre par espèce est souhaitable mais cela n'est pas toujours possible à atteindre.

La démarche à adopter lors de la prospection des arbres d'un sentier varie selon les moyens disponibles et la nature de l'AAC ou du site (inventorié ou non). Deux approches différentes, décrites ci-après, peuvent être adoptées pendant la prospection des arbres d'un sentier.

4.4.1. Approche exhaustive

L'approche exhaustive consiste à réaliser un inventaire en plein sur une superficie déterminée; par exemple 2 km x 2 km (400 ha). Cette approche est vivement recommandée si l'entreprise forestière

dispose des moyens financiers, humains et matériels suffisants (Figure 12). L'objectif de cet inventaire est de compter tous les arbres appartenant aux espèces cibles d'au moins 10 cm de diamètre. Il s'agit d'un inventaire faisant appel à des botanistes confirmés ou aux équipes d'inventaire d'aménagement de l'entreprise forestière (layonneurs et prospecteurs).

Cette approche regroupe les activités suivantes : layonnage, prospection, encodage des données de prospection et sélection définitive des arbres du sentier. La démarche à suivre est résumée comme suit :

- (1) L'équipe de layonnage est composée idéalement de cinq personnes : un boussolier, deux machetteurs et deux aides. Elle ouvre les layons à une vitesse moyenne de 2 km par jour. Les layons doivent être espacés au maximum de 200 m. Dans le cas d'un site ayant fait l'objet d'un inventaire d'exploitation, les layons d'inventaire peuvent être utilisés.
- (2) L'équipe de prospection est composée en moyenne de cinq prospecteurs (personnes qualifiées en botanique) ; elle parcourt l'espace entre deux layons par virées successives. Elle appose un numéro sur les individus des espèces ciblées ayant au moins 10 cm de diamètre. À noter qu'il est crucial d'effectuer si nécessaire une formation préalable de l'équipe de prospection, pour l'identification rigoureuse des jeunes arbres (exemple : $10 \text{ cm} \leq \text{DHP} \leq 50 \text{ cm}$).

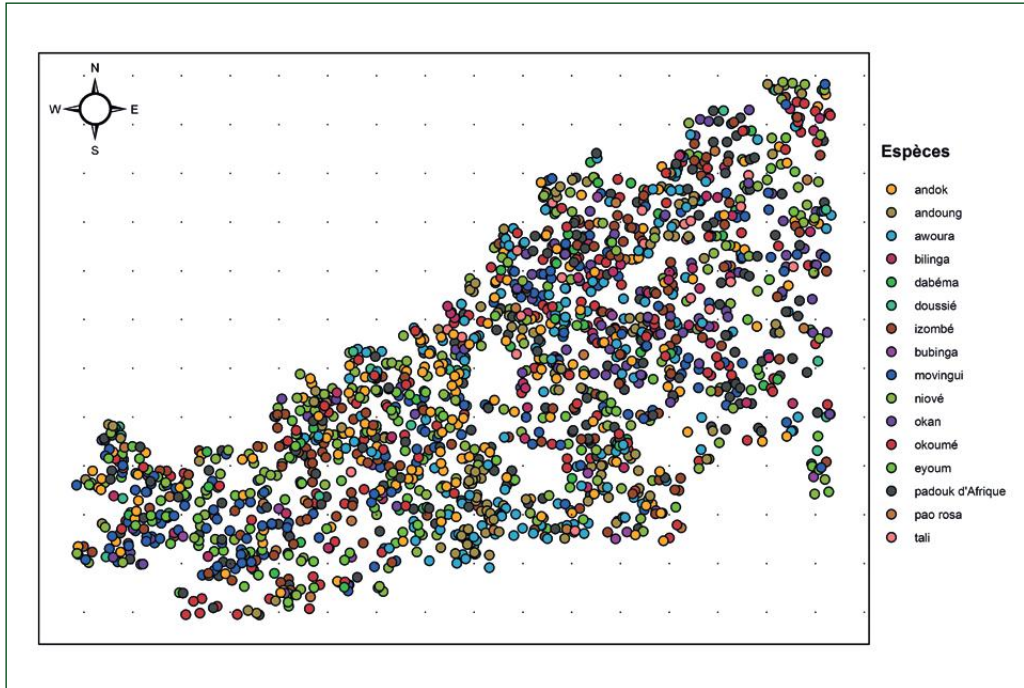


Figure 12. Aperçu d'un sentier (P3FAC, Precious Woods Gabon - CEB) issu d'une prospection suivant l'approche exhaustive.

Le chef d'équipe de prospection indique sur une fiche pour chaque arbre inventorié les coordonnées géographiques, le nom de l'espèce, sa classe de diamètre et la conformation de son tronc (Annexe 2). Concernant la conformation du tronc de l'arbre inventorié, deux codes sont utilisés : 1 = arbre dont la mesure du diamètre est possible entre 1,30 m et 4,50 m et 0 = arbre dont la mesure du diamètre n'est pas possible entre ces deux hauteurs.

(3) Une fois le travail d'inventaire terminé, les données d'inventaire sont encodées dans une base de

données (Microsoft Excel® généralement) en vue de la sélection définitive des arbres du sentier. Afin de minimiser les erreurs, il est recommandé d'avoir recours à un technicien supérieur ou à un ingénieur pour l'encodage des données et si possible d'utiliser un formulaire avec vérification automatique des données encodées.

(4) Lorsque, pour une espèce, les effectifs par classe de diamètre sont supérieurs à 20 individus, il faut procéder à un choix aléatoire des 20 individus qui seront retenus par classe de diamètre, afin d'homogénéiser la répartition spatiale

des arbres et de supprimer le biais statistique lié à l'opérateur lors du choix d'un arbre sur un sentier. Cette opération est effectuée uniquement pour les arbres inventoriés dont la mesure du diamètre est possible entre 1,30 m et 4,50 m. Toutefois, si la **densité de population** est faible au point qu'il soit impossible d'obtenir l'effectif souhaité par espèce, tous les arbres inventoriés et marqués lors de la phase de prospection sont sélectionnés sur le sentier.

Pour le choix aléatoire des individus, il est préconisé d'utiliser par exemple la fonction « ALEA » du logiciel Microsoft Excel®. L'Encadré 6 illustre la procédure à suivre pour effectuer ce choix définitif des arbres du sentier en utilisant cette fonction du logiciel Microsoft Excel®.

- (5) Dès que la sélection des arbres du sentier est effectuée, il est procédé au marquage (section 4.5).

Encadré 6. Sélection aléatoire des arbres du sentier dans l'approche exhaustive

La procédure à suivre pour le choix définitif des arbres du sentier est détaillée ci-dessous et illustrée à la Figure 13. L'exemple utilisé indique que la prospection a permis d'identifier 35 moabis appartenant à la classe de diamètre [10, 20[et pour lesquels la mesure du diamètre est possible entre 1,30 m et 4,50 m. Sachant qu'il faut sélectionner 20 individus sur les 35, la fonction Excel « ALEA » est utilisée. Cette fonction permet d'attribuer à chaque arbre une valeur unique aléatoire comprise entre 0 et 1 (Figure 13).

Une fois que ces valeurs uniques aléatoires ont été attribuées pour chaque individu de l'espèce, il faut effectuer un copier-coller des « valeurs » (afin de figer ces valeurs) avant de réaliser un tri décroissant ou croissant de ces nombres (Figure 13). Une sélection définitive des 20 premiers arbres est finalement effectuée.

4.4.2. Approche pragmatique

L'approche pragmatique combine les phases d'inventaire et de marquage des arbres du sentier (section 4.5). Principalement adoptée dans les sites où les AAC ne sont pas encore inventoriées, cette approche consiste (i) à se déplacer plus ou moins aléatoirement en suivant des pistes animales et (ii) à identifier et marquer

(section 4.5) progressivement les arbres jusqu'à obtenir 20 arbres par classe de diamètre par espèce, dans la mesure du possible (Figure 14). Dans cette approche, il est possible également d'effectuer un inventaire par layon et de marquer puis de caractériser (section 4.5) progressivement les arbres du sentier, layon après layon, jusqu'à obtenir 20 arbres par classe de diamètre.

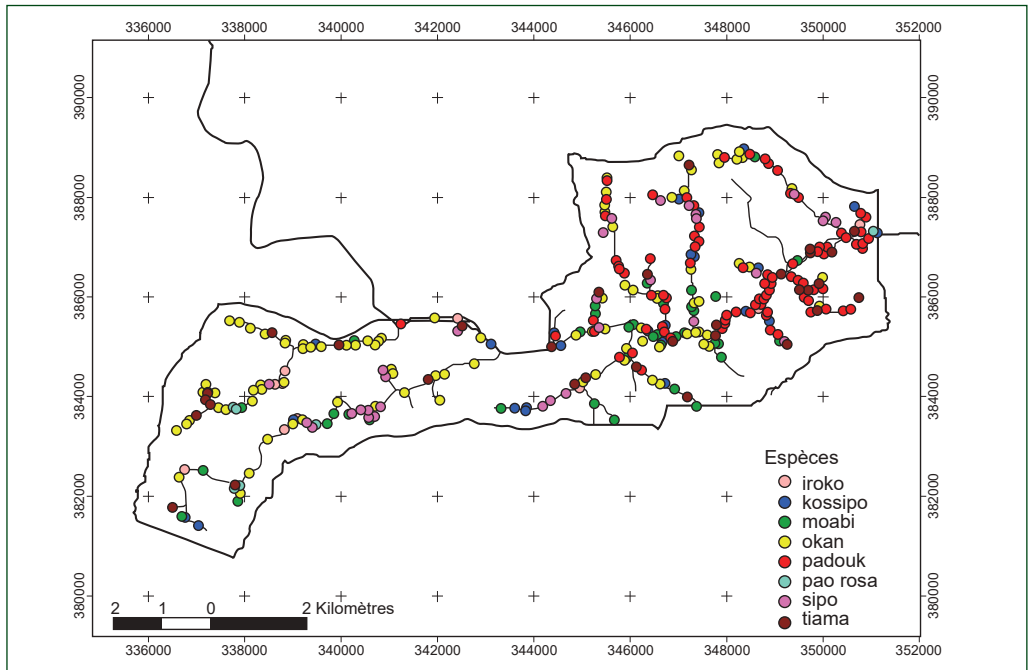


Figure 14. Aperçu d'un sentier (DynAffFor) issu d'une prospection via un inventaire par cheminement le long de pistes (approche pragmatique).

Lors de la sélection des arbres, il convient d'éviter de concentrer la sélection sur les individus les plus beaux et les plus sains. Cela pourrait avoir pour conséquences une surestimation de la croissance et une sous-estimation de la mortalité. Seuls des individus affichant d'importants défauts empêchant le marquage de la hauteur de mesure peuvent être écartés. Lorsque

l'espèce est abondante sur le site, il est recommandé d'éviter de sélectionner des tiges trop regroupées spatialement, afin que l'échantillon ne soit pas biaisé par des conditions locales particulières, ou par l'apparement génétique des individus.

Cette activité est généralement réalisée par l'équipe permanente de recherche de l'entreprise, composée d'au moins

cinq personnes dont au moins deux disposent de connaissances en botanique. Si cette équipe n'est pas disponible au sein de l'entreprise, elle devra être constituée pour les besoins de l'activité.

4.5. Marquage et caractérisation des arbres

Le marquage et la caractérisation des arbres regroupent un ensemble d'opérations et de prises d'informations consignées dans une fiche spécifique : la fiche d'installation d'un sentier. Un exemple de fiche est présenté dans l'Annexe 3.

Un exemplaire de la fiche est à prévoir par espèce et par journée de travail, à l'issue de laquelle les fiches sont soigneusement classées dans un porte-documents.

L'activité de marquage et de caractérisation des arbres devrait être effectuée par l'équipe permanente de recherche de l'entreprise, composée de :

- un chef d'équipe, qui est capable de repérer les arbres. Il note les relevés sur la fiche et assiste aussi le mesureur pendant le relevé ;
- un mesureur, qui effectue les travaux de marquage de la ceinture de peinture sur le tronc et mesure le diamètre ;
- un aide-mesureur, qui nettoie une partie de l'écorce et annote le code sur l'arbre ;
- un machetteur, qui ouvre les pistes vers les arbres suivants ;
- un gardien de camp, qui surveille le campement, si l'équipe est amenée à camper en forêt.

La phase de marquage et de caractérisation des arbres consiste à marquer et numéroter de façon continue les arbres du sentier. Ce numéro de marquage de l'arbre est communiqué par le chef d'équipe.

La liste du matériel nécessaire pour cette phase est identique à celle présentée à la section 4.7.

L'ensemble des informations à collecter lors du marquage des arbres et des conventions à suivre est détaillé dans les sections suivantes.

4.5.1. Informations générales

Les informations générales à collecter sur le sentier concernent : la date, les noms et prénoms des opérateurs, le numéro de la **concession forestière** ou le nom de la localité et le numéro de l'**AAC**.

- **Date**

Il s'agit de la date du jour de la prise des informations. Elle doit respecter le format suivant : jour/mois/année (jj/mm/aaaa).

- **Noms et prénoms des opérateurs**

Il s'agit des noms et prénoms des personnes ayant participé à l'installation du sentier. Chaque nom et prénom doit être séparé par un tiret « - ».

- **Numéro de la concession forestière ou nom de la localité**

Cette information renseigne sur la localisation du sentier. S'il s'agit d'une **concession forestière**, mentionner le numéro ou le nom de la **concession**. Dans le cas où le sentier n'est pas installé

dans une **concession forestière**, le nom de la localité doit être précisé.

- **Numéro de l'assiette annuelle de coupe**

Il est indiqué uniquement lorsque le dispositif se situe dans une **concession forestière**.

4.5.2. Informations collectées sur l'arbre

- **Code de l'espèce**

Le code de l'espèce doit être composé de trois lettres, s'il est certain

qu'aucune confusion n'est possible. Par exemple : AFR = afrormosia, AYO = ayous, BET = bété, IRO = iroko, LIM = limba, LOT = lotofa, MOA = moabi, MUK = mukulungu, PAD = padouk d'Afrique, SAP = sapelli, TAL = tali, etc.

- **Numéro de l'arbre**

Il s'agit d'un numéro unique sur le sentier. Ce numéro est attribué par espèce, de manière continue (ex : TAL 001, TAL 002, ..., TAL 040) et en fonction de la progression de l'installation du sentier (Figure 15).

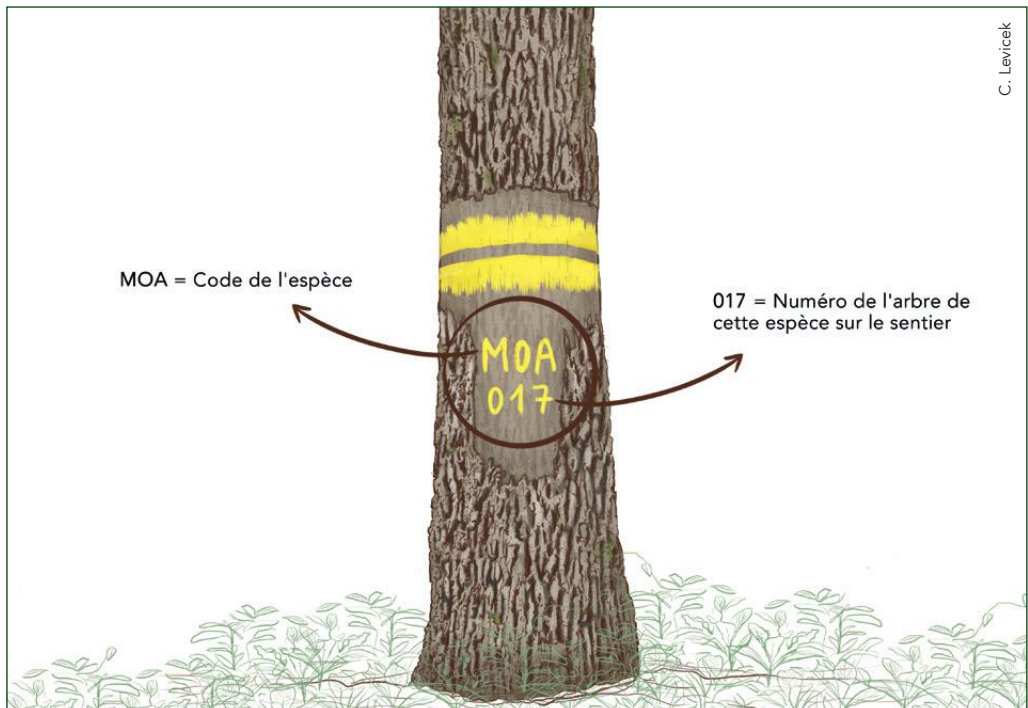


Figure 15. Numérotation d'un arbre sur un sentier.

Ce numéro est indiqué sur l'arbre de façon à être visible de loin. Idéalement, le

numéro est indiqué à une hauteur d'au moins un mètre. La zone devant recevoir

le numéro est nettoyée délicatement afin de faire tomber les écaillures sans blesser l'arbre et obtenir une surface lisse. Ce nettoyage est effectué à l'aide du dos d'une machette ou d'une brosse (Figure 16). Préférentiellement, le marquage est réalisé avec des pochoirs dont les lettres et chiffres font une dizaine de centimètres de hauteur. Un pinceau rond est utilisé. On se sert de la peinture utilisée pour le marquage des grumes. En fonction de la couleur dominante des écorces des espèces ciblées, une peinture rouge ou jaune est choisie.

À noter qu'il est recommandé d'utiliser pour le marquage une peinture à l'huile et non une peinture à l'eau, cette dernière risquant de disparaître rapidement à la saison des pluies.

- **Coordonnées géographiques de l'arbre**

Elles permettent de retrouver l'arbre marqué. Le système de projection cartographique **WGS 84** est préférentiellement recommandé. Les coordonnées sont idéalement prises en format **UTM** ou en degrés décimaux. Les données renseignées sont encodées comme suit : le numéro de la zone du système **UTM** (si c'est le format **UTM** qui est utilisé), la longitude et la latitude de l'arbre.

- **Habitat de l'arbre**

Il est important de préciser que l'information relative aux types d'habitat est pertinente lorsque l'objectif est de faire des comparaisons intra- et inter sites des

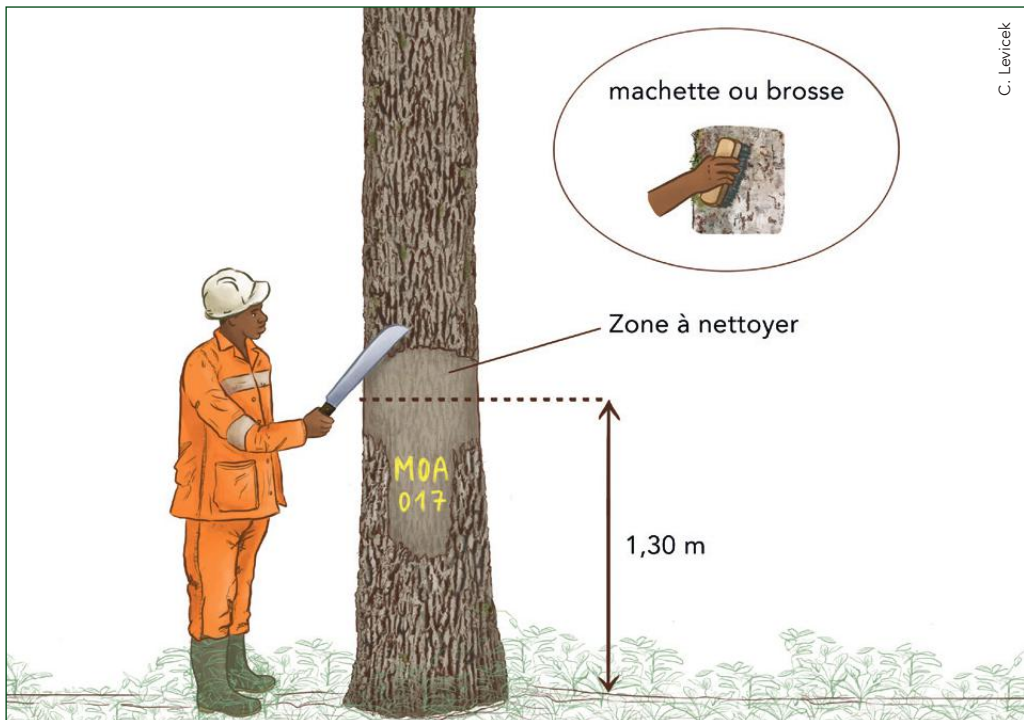


Figure 16. Nettoyage de la zone devant recevoir le code de numérotation d'un arbre sur un sentier.

paramètres démographiques (**croissance** et **mortalité**) et du rythme **phénologique**. Un code avec des chiffres est utilisé pour désigner le type d'habitat dans lequel le

sentier est retrouvé. Les codes sont présentés dans le Tableau 2, détaillés dans l'Encadré 7 et illustrés dans l'Encadré 8.

Tableau 2. Codes permettant de désigner les types d'habitats et forestiers dans lesquels un arbre sur le sentier est retrouvé.

Catégorie	Types d'habitats et forestiers ¹⁴	Code
Forêts de plaines de terre ferme	Forêt dense humide sempervirente côtière hygrophile	1
	Forêt dense ombrophile semi-sempervirente	2
	Forêt dense humide semi-caducifoliée périphérique	3
	Forêt dense humide sempervirente monodominante à légumineuse	4
Formations édaphiques liées aux sols hydromorphes	Forêt ripicole colonisatrice à <i>Uapaca</i> spp.	5
	Forêt riveraine	6
	Forêt périodiquement inondée	7
	Forêt marécageuse	8
Formations issues de la colonisation de savane	Savane	9
	Forêt colonisatrice	10
Formations issues de la colonisation de champs	Jeune forêt secondaire	11
Stade intermédiaire de recolonisation	Forêt monodominante (autre que légumineuse)	12
	Forêt à Marantaceae	13
	Vieille forêt secondaire	14
Formations dépendant de gradients altitudinaux	Forêt rocheuse	15
	Forêt submontagnarde	16

¹⁴ Les types d'habitats et forestiers sont adaptés de :

- De Namur C., 1990. *Aperçu sur la végétation de l'Afrique centrale atlantique. Paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique*. Paris : ORSTOM.
- Doucet J.-L., 2003. *L'alliance délicate de la gestion forestière et de la biodiversité dans les forêts du centre du Gabon*. Thèse de doctorat : Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, Belgique.
- White F., 1983. *The vegetation of Africa, a descriptive memoir to accompany the UNESCO/AETFAT/UNSO vegetation map of Africa (3 Plates, Northwestern Africa, Northeastern Africa, and Southern Africa, 1: 5,000,000)*. Paris : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

Encadré 7. Définition des types d'habitats et forestiers¹⁴, op. cit., p. 55

- **Forêt dense humide sempervirente côtière hygrophile** : type forestier dont la canopée est constituée majoritairement d'espèces arborescentes qui renouvellent en permanence leurs feuilles ou les remplacent immédiatement après la chute. La pluviosité moyenne annuelle dans ce type forestier est souvent comprise entre 2.000 et 3.000 mm/an avec une humidité atmosphérique élevée. Ces forêts couvrent les plaines côtières en bordure du golfe de Guinée. Il s'agit par exemple des forêts à andoungs (*Bikinia* spp., *Aphanocalyx* spp., etc.).
- **Forêt dense humide semi-sempervirente** : type forestier dont une partie des arbres de la canopée perd ses feuilles en saison sèche. L'ayous (*Triplochiton scleroxylon*) ou le limba (*Terminalia superba*) sont des espèces caractéristiques.
- **Forêt dense humide semi-caducifoliée périphérique** : type forestier dans lequel la plupart des espèces d'arbres vivant dans la canopée sont décidues et perdent leurs feuilles durant la saison sèche qui est bien marquée. Toutefois, chaque arbre ne reste sans feuillage que pendant une courte période, habituellement quelques semaines. Les Cannabaceae (Ulmaceae), Sterculiaceae... y sont fréquentes.
- **Forêt dense humide sempervirente monodominante** : forêt dense humide sempervirente dont une espèce, ou quelques espèces de légumineuse dominent le peuplement (exemple de forêt à limbali [*Gilbertiodendron dewevrei*]).
- **Forêt ripicole colonisatrice à Uapaca** : forêt située en bordure de cours d'eau d'importance moyenne. Elle se caractérise par la présence du rikio (*Uapaca heudelotii*).
- **Forêt riveraine** : forêt occupant naturellement le lit majeur d'un cours d'eau.
- **Forêt marécageuse** : forêt développée sur un sol inondé pendant toute l'année.
- **Savane** : formation végétale dominée par les graminées qui forment une strate continue.
- **Jeune forêt secondaire** : formation végétale résultant de la colonisation d'un milieu perturbé (généralement un champ) dominé par des espèces héliophiles peu longévives : assas (*Macaranga* spp.), parasolier (*Musanga cecropioides*)...
- **Forêt monodominante à okoumé** : type forestier dans lequel l'okoumé (*Aucoumea klaineana*) est l'espèce dominante.
- **Forêt à Marantaceae** : type forestier dont la strate inférieure est dominée par les Marantaceae.
- **Vieille forêt secondaire** : formation végétale dont la canopée est composée d'espèces héliophiles longévives : ayous (*Triplochiton scleroxylon*), limba (*Terminalia superba*), okoumé (*Aucoumea klaineana*), tali (*Erythroleum ivorense*), etc.
- **Forêt rocheuse** : forêt qui se concentre dans les zones accidentées et se développant sur des sols peu profonds. Elle n'est pas inféodée à une altitude particulière.
- **Forêt submontagnarde** : forêt rencontrée à une altitude d'environ 1.000 m et caractérisée par la présence d'épiphytes recouvrant les tiges jusqu'au niveau du sol.

Encadré 8. Types d'habitats et forestiers rencontrés en Afrique centrale



Forêt dense humide sempervirente côtière hygrophile (© J. Laporte)



Forêt dense humide semi-sempervirente (© C. Dupuis)

Encadré 8. Types d'habitats et forestiers rencontrés en Afrique centrale (suite)



Forêt dense humide semi-caducifoliée périphérique (© J.-L. Doucet)



Forêt dense humide sempervirente monodominante :
exemple de forêt à limbali (© J.-L. Doucet)

Encadré 8. Types d'habitats et forestiers rencontrés en Afrique centrale (suite)



Forêt ripicole colonisatrice (© J.-L. Doucet)



Forêt riveraine (© J. Laporte)

Encadré 8. Types d'habitats et forestiers rencontrés en Afrique centrale (suite)



Forêt marécageuse (© J.-Y. De Vleeschouwer)



Savane (© J. Laporte)

Encadré 8. Types d'habitats et forestiers rencontrés en Afrique centrale (suite)



Jeune forêt secondaire (© J.-L. Doucet)



Forêt monodominante à okoumé (© J.-L. Doucet)

Encadré 8. Types d'habitats et forestiers rencontrés en Afrique centrale (suite)



Forêt à Marantaceae (© J.-L. Doucet)



Forêt rocheuse (© J.-L. Doucet)

Encadré 8. Types d'habitats et forestiers rencontrés en Afrique centrale (suite)



Forêt submontagnarde (© J.-L. Doucet)

• Sexe de l'arbre

Certaines espèces possèdent des pieds mâles et des pieds femelles, elles sont dites **dioïques** (à l'inverse des arbres **monoïques** et **hermaphrodites**). Il s'agit d'une information importante pour le suivi de la **phénologie** de l'arbre. Le sexe de l'arbre ne peut être identifié facilement par le prospecteur que si l'arbre est porteur de fleurs ou de fruits. L'Encadré 9 reprend la liste des principales espèces

commerciales **dioïques**, les autres étant **monoïques** ou **hermaphrodites**.

Une lettre majuscule est utilisée : **M** = Mâle, arbre mâle ; **F** = Femelle, arbre femelle ; **H** = **Hermaphrodite** ou **monoïque** ; **I** = Indéterminé.

À titre illustratif, la Figure 17 montre les inflorescences mâles et femelles de l'iroko (*Milicia excelsa*). Quelques photos d'espèces **dioïques** sont présentées à la Figure 18.

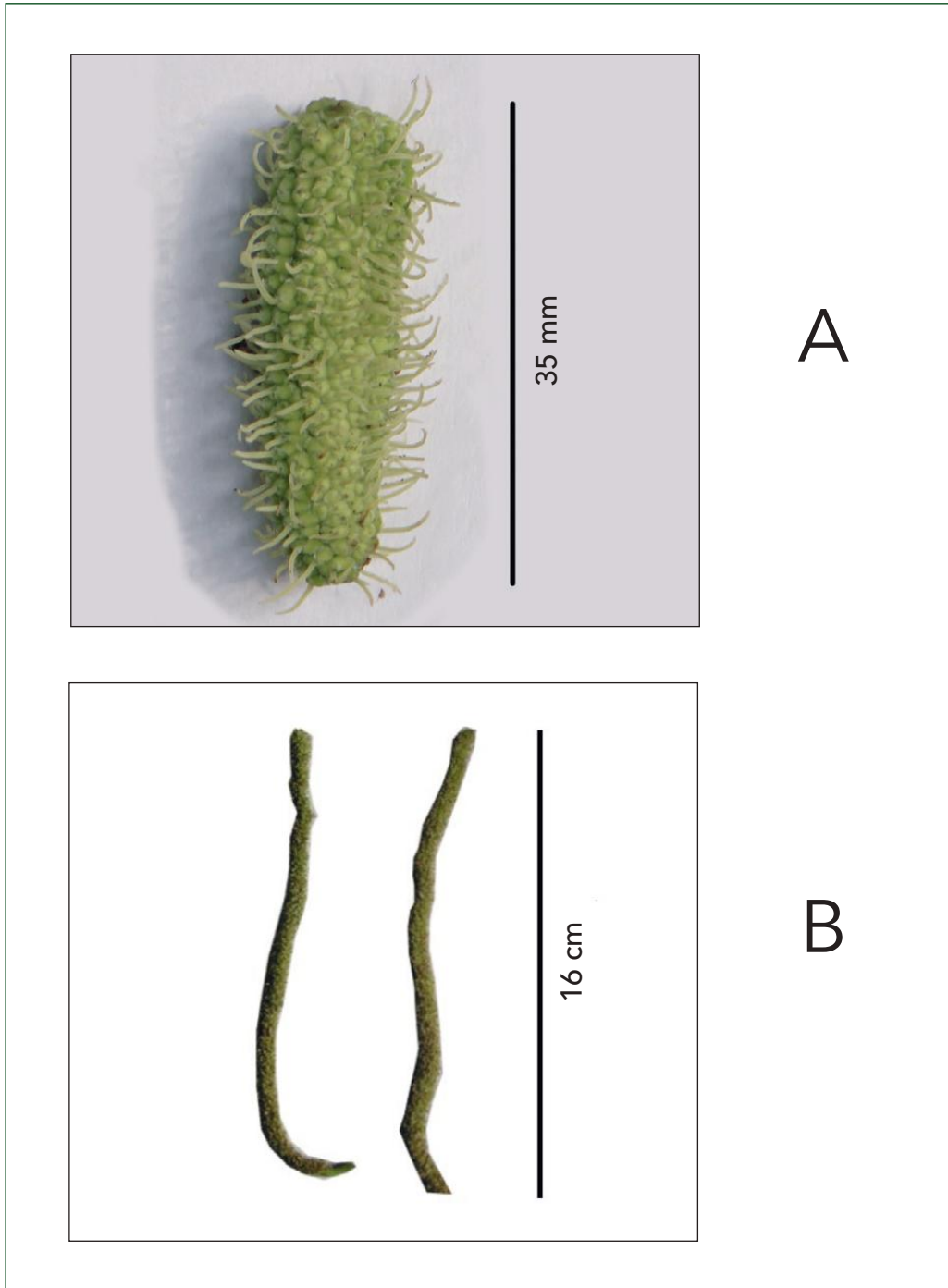


Figure 17. Inflorescences femelles (A) et mâles (B) de l'iroko. Les inflorescences femelles sont courtes et épaisses tandis que les mâles sont longues et effilées (© E. Coenraets et K. Dainou).

Encadré 9. Les principales espèces d'arbres dioïques utilisées pour leurs bois ou leurs fruits en Afrique centrale¹⁵

Famille	Espèce	Nom scientifique
Anacardiaceae	Amvout	<i>Trichoscypha</i> spp.
	Ofoss	<i>Pseudospondias</i> spp.
	Onzabili	<i>Antrocaryon</i> spp.
Burseraceae	Adjouba	<i>Dacryodes klaineana</i>
	Aiélé	<i>Canarium schweinfurthii</i>
	Safoutier	<i>Dacryodes edulis</i>
	Kedondong	<i>Santiria</i> spp.
	Igaganga	<i>Dacryodes igaganga</i>
	Okoumé	<i>Aucoumea klaineana</i>
	Ossabel	<i>Dacryodes normandii</i>
	Ozigo	<i>Dacryodes buettneri</i>
Clusiaceae	Kandis	<i>Garcinia kola</i>
Ebenaceae	Ébène d'Afrique	<i>Diospyros crassiflora</i>
Euphorbiaceae	Essessang	<i>Ricinodendron heudelotii</i>
Moraceae	Iroko	<i>Milicia excelsa</i>
Myristicaceae	Ékoune	<i>Coelocaryon preussii</i>
	Ilomba (parfois)	<i>Pycnanthus angolensis</i>
Olacaceae	Angueuk	<i>Ongokea gore</i>
Pandaceae	Afan(e)	<i>Panda oleosa</i>
Rutaceae	Olon	<i>Zanthoxylum heitzii</i>

¹⁵ La liste des quelques espèces d'arbres dioïques présentée dans le tableau ci-dessous est extraite de Meunier Q., Moubogou C., Doucet J.-L., 2015. *Les arbres utiles du Gabon*. Gembloux, Belgique : Presses agronomiques de Gembloux.



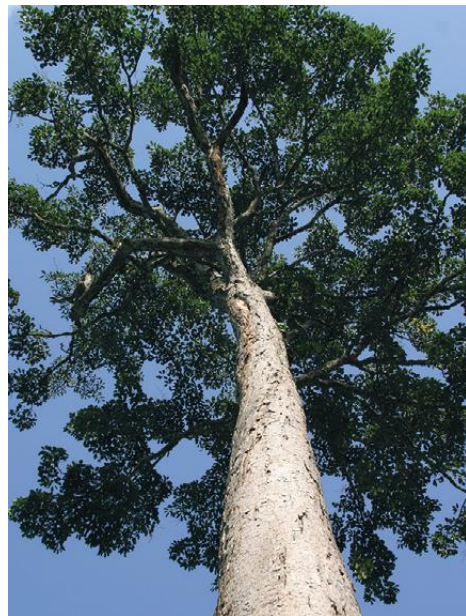
Aiélé (*Canarium schweinfurthii*)



Kandis (*Garcinia kola*)



Essessang (*Ricinodendron heudelotii*)



Iroko (*Milicia excelsa*)

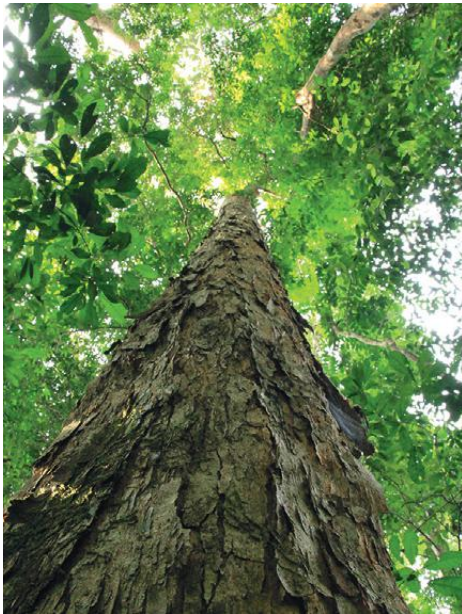
Figure 18. Quelques espèces dioïques.



Ilomba (*Pycnanthus angolensis*)



Angueuk (*Ongokea gore*)



Ozigo (*Dacryodes buettneri*)



Ébène d'Afrique (*Diospyros crassiflora*)

Figure 18 suite. Quelques espèces dioïques.

- **Statut de dominance de l'arbre**

Le statut de dominance, encore appelé statut social, permet de déterminer la position verticale de l'arbre dans le **peuplement** et donc son accès à la lumière. Cette information est très importante pour analyser la **croissance** et la **phénologie**, ces deux phénomènes pouvant être influencés par la lumière. Nous conseillons d'utiliser la classification de Dawkins présentée dans l'Encadré 10 et la Figure 19.

- **Qualité du fût**

Elle désigne la silhouette de l'arbre cible. Cette information est pertinente si des récoltes de graines sont envisagées pour alimenter une pépinière en semences de qualité (lesquelles doivent être collectées sur des individus sains de bonne conformation). Un code allant de 1 à 4 est utilisé : **1** = hauteur du fût bien conformé ≥ 15 m, **2** = hauteur du fût bien conformé entre 9 et 15 m, **3** = hauteur du fût bien conformé entre 6 et 9 m et **4** = hauteur du fût bien conformé < 6 m.

- **Distance de l'arbre à une route**

La proximité de l'arbre par rapport à une route (principale, secondaire ou bretelle) peut influencer sa **croissance**. On indique le code **0** si l'arbre est situé à moins de

30 m d'une route et **1** s'il est situé à plus de 30 m minimum de la route.

- **Choix de la hauteur de mesure du diamètre de l'arbre**

La hauteur de mesure du diamètre de l'arbre représente un paramètre important pour un suivi rigoureux de la **croissance diamétrique**. Classiquement, la hauteur de référence est fixée à 1,30 m. Dans la réalité, plusieurs cas particuliers sont rencontrés sur le terrain et nécessitent des adaptations. Il existe des conventions¹⁶ qui permettent de les traiter. Les cas les plus fréquemment rencontrés sont présentés à la Figure 20. Afin d'éviter de déplacer trop souvent la hauteur de mesure, la clé présentée à la Figure 21 est proposée.

Pour certaines analyses, il peut être nécessaire de corriger les diamètres mesurés à une hauteur différente de 1,30 m en diamètres théoriques estimés à 1,30 m. Il est donc recommandé d'effectuer, pour deux arbres à tronc bien conformé par classe diamétrique et par espèce, un suivi du diamètre à deux hauteurs différentes. Les deux traits de peinture doivent être positionnés là où le tronc est circulaire, distants l'un de l'autre d'au moins 1 m, le plus haut étant $\leq 4,50$ m. Ces deux mesures permettent de calculer un

¹⁶ Les conventions à suivre pour le choix de la hauteur de mesure du diamètre d'un arbre sont présentées dans les références suivantes :

- Forni É. et al., 2019. Dispositifs permanents de nouvelle génération pour le suivi de la dynamique forestière en Afrique centrale : bilan en République du Congo. *Bois & Forêts des Tropiques*, **341**, 55-70.
- Picard N., Gourlet-Fleury S., 2008. *Manuel de référence pour l'installation de dispositifs permanents en forêt de production dans le Bassin du Congo*. Yaoundé : COMIFAC.

Encadré 10. Statut de dominance selon Dawkins¹⁷

La lumière disponible pour l'arbre est estimée à partir de la position de sa couronne en utilisant cinq indices de « statut social de l'arbre » mis au point par Dawkins. La signification des indices 1, 2, 3, 4 et 5 sur la Figure 19 est détaillée ci-dessous :

- 1) Indice 1 : arbre de la strate inférieure, couronne non exposée à la lumière directe.
- 2) Indice 2 : arbre de la strate inférieure, couronne exposée potentiellement à la lumière indirecte.
- 3) Indice 3 : arbre de la strate intermédiaire, couronne exposée à la lumière directe verticale.
- 4) Indice 4 : arbre de la strate supérieure, couronne totalement exposée à la lumière directe verticale.
- 5) Indice 5 : arbre dont la couronne est totalement exposée à la lumière directe.

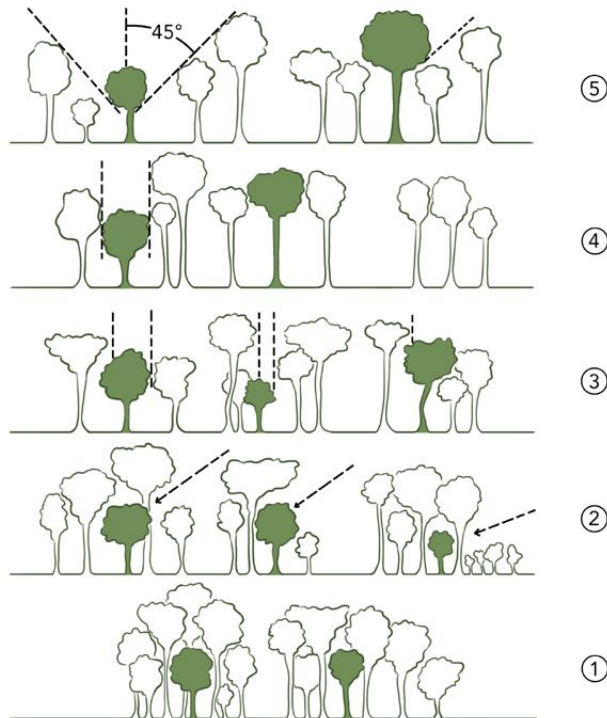


Figure 19. Description du statut social d'un arbre dans son environnement.

C. Levicek

¹⁷ Dawkins H.C., 1958. *The management of natural tropical high-forests with special reference to Uganda*. Oxford, United Kingdom: Imperial Forestry Institute, University of Oxford.

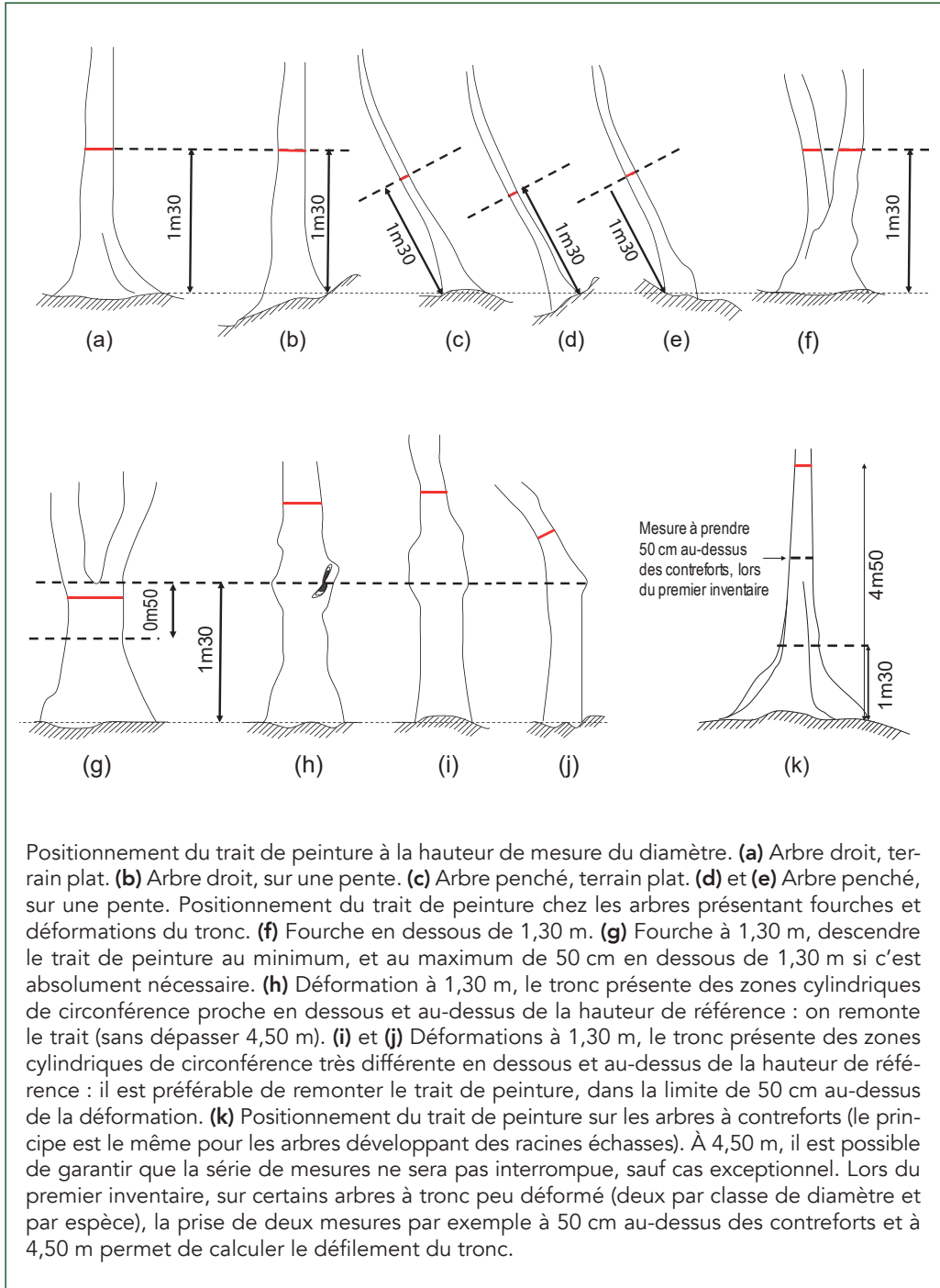


Figure 20. Cas les plus fréquents pouvant être rencontrés lors de l'identification de la hauteur de mesure du diamètre de l'arbre^{16, op. cit., p. 68.}

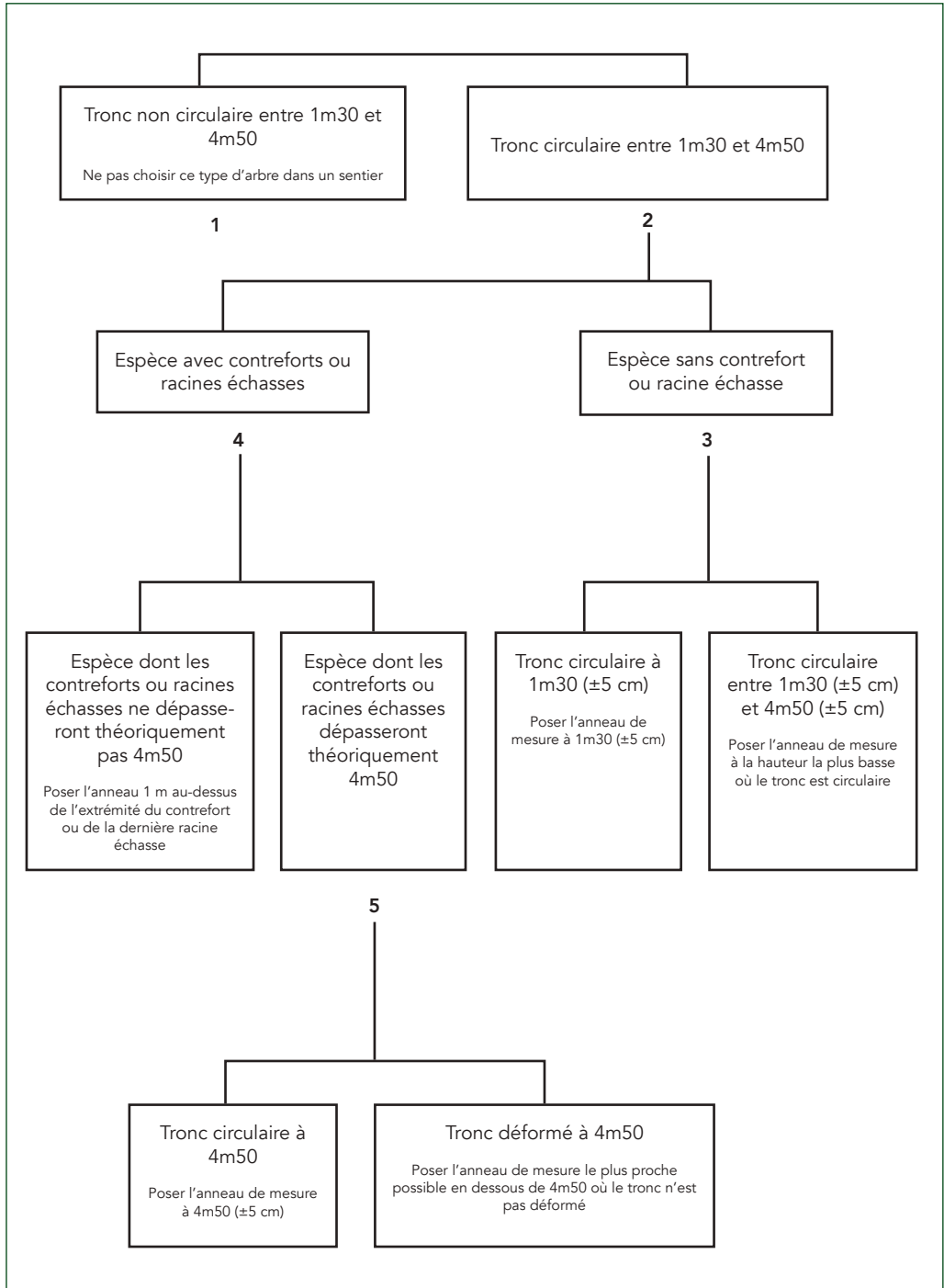


Figure 21. Clé pour le choix de la hauteur de mesure du diamètre sur un sentier.

coefficient de défilement utilisé pour corriger, si nécessaire, toutes les mesures prises à une hauteur différente de 1,30 m.

- **Marquage de la hauteur de mesure**

Les étapes listées ci-après sont à respecter :

- (1) Écarter les lianes éventuellement présentes autour de la zone de mesure. S'il est nécessaire de couper les grosses lianes, alors l'arbre ne doit pas être pris dans le sentier.
- (2) Nettoyer délicatement la surface de l'écorce à l'aide du dos d'une machette, ou d'une brosse à la hauteur de prise de mesure du diamètre. Cette opération consiste à faire tomber les termitières, la

mousse, les morceaux d'écorce se desquamant, etc. L'objectif est d'éviter d'obtenir ultérieurement des **accroissements diamétriques** négatifs résultant par exemple de la chute d'écaïlles. Il ne faut néanmoins pas endommager la partie vivante de l'arbre (cambium), cette opération doit se limiter à la partie superficielle de l'écorce.

- (3) Poser un ruban adhésif de 2 cm de large autour de l'arbre au niveau de la hauteur de mesure. Ici, l'opérateur est aidé d'un assistant qui se tient à distance, veillant attentivement à ce que la pose du ruban adhésif se fasse perpendiculairement à l'axe vertical de l'arbre (Figure 22).

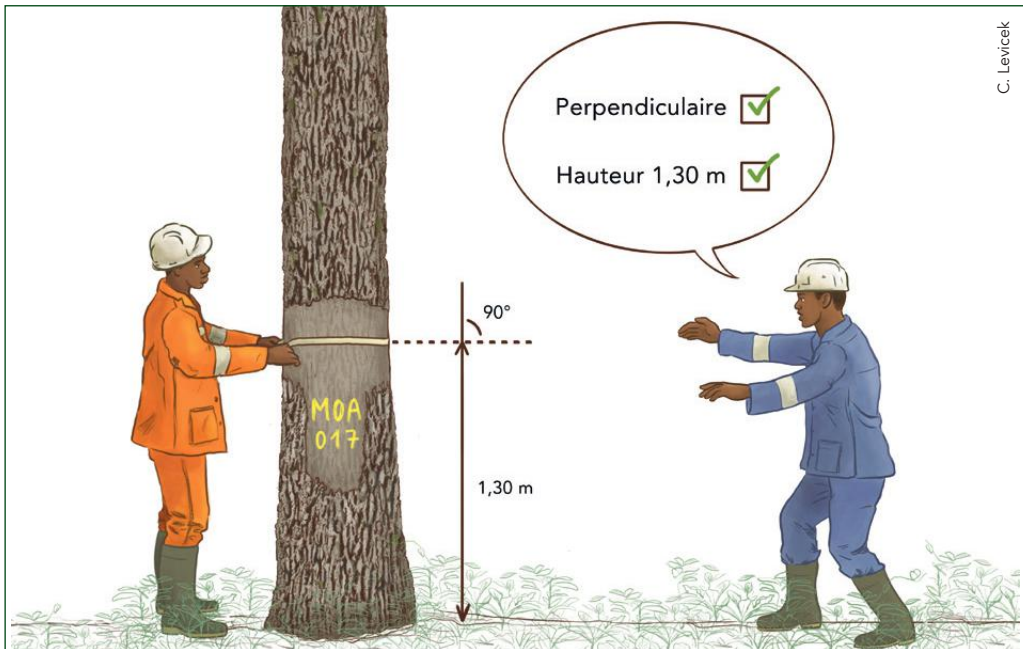


Figure 22. Pose du ruban adhésif autour de l'arbre à la hauteur de mesure du diamètre.

- (4) Poser le ruban métrique sur le ruban adhésif et prendre la mesure du diamètre de l'arbre (Figure 23). L'opérateur communique au chef d'équipe la mesure prise au millimètre près et retire le ruban métrique. Le chef d'équipe répète à voix haute la mesure avant de l'inscrire sur la fiche (Annexe 3), si approuvée par le mesureur.
- (5) Appliquer tout autour de l'arbre une couche de peinture (de préférence de couleur jaune ou rouge) au pinceau plat (5 cm de marge) par-dessus et de part et d'autre du ruban adhésif (Figure 24).
- (6) Après avoir peint, retirer le ruban adhésif (Figure 25). Cette opé-

ration permet de localiser avec précision le niveau de mesure du diamètre. En effet, c'est sur l'espace entre les deux traits de couleur que sera positionné précisément le mètre ruban lors des prochaines mesures annuelles.

À noter qu'il est crucial de retirer le ruban adhésif à la main. Parfois, il arrive que les opérateurs voulant éviter de se salir avec la peinture utilisent une machette pour sectionner le ruban adhésif. Cette opération est à proscrire car elle engendre des blessures au niveau du tronc conduisant, dans la plupart des cas, à un changement de hauteur de mesure ultérieur et donc une perte de données (Figure 26).



C. Levrček

Figure 23. Opération de mesure du diamètre. Un opérateur à l'aide du ruban diamétrique s'occupe de la mesure et un autre en retrait vérifie que le mètre est bien positionné sur le ruban adhésif.



Figure 24. Opération de matérialisation du niveau de mesure avec une peinture de couleur jaune.



Figure 25. Retrait du ruban adhésif pour permettre la visualisation de la hauteur de mesure du diamètre.



Figure 26. Blessures sur le tronc d'un arbre suite à un coup de machette pendant le retrait du ruban adhésif (© K. Daïnou).

À noter qu'il existe également une autre méthode de marquage de la hauteur de mesure qui consiste à indiquer, à l'aide d'un seul trait de peinture, l'emplacement exact où le mètre ruban doit être positionné sur le tronc. Cette méthode est décrite dans le guide [COMIFAC¹⁰](#), *op. cit.*, p. 30.

4.5.3. Mesures initiales

Durant la phase de marquage et de caractérisation des arbres du sentier, le diamètre de l'ensemble des arbres doit être idéalement mesuré sur une période la plus courte possible. Le cas échéant, une mesure précise est effectuée lorsque tous les arbres auront été marqués. Toutefois, ces mesures initiales ne sont pas nécessaires lorsque l'installation du sentier

est dure moins de trois mois. Dans ce cas, les mesures relevées lors du marquage et la caractérisation des arbres font office de mesures initiales.

Idéalement, la mesure initiale doit être effectuée lors d'une saison sèche, période de **croissance** lente. Le matériel utilisé doit donc être un mètre ruban gradué en millimètres. Il convient d'être très attentif au positionnement du zéro car il existe plusieurs types de mètres ruban, le zéro pouvant se situer en début ou en fin de boucle, ou même sur le ruban (Figure 27). Il faut éviter d'utiliser différents types de mètre ruban durant les remesures annuelles, et vérifier en début de chaque campagne de mesure la position du zéro sur les rubans.

Les rubans doivent aussi être comparés à un étalon non utilisé pour vérifier, à plat, qu'ils donnent les mêmes mesures (Encadré 11). Il se peut en effet qu'il y ait des défauts de fabrication. Après avoir mesuré 400-500 arbres, il convient de remplacer le mètre ruban s'il n'est pas métallique.

Pour les mesures annuelles, le mètre ruban

doit être positionné entre les deux lignes de couleur et tendu mais sans excès. Lorsque la mesure tombe entre deux graduations, on prend la plus proche. Cette valeur est ensuite consignée dans la fiche de suivi de la **croissance** et de la **mortalité** (Annexe 4).

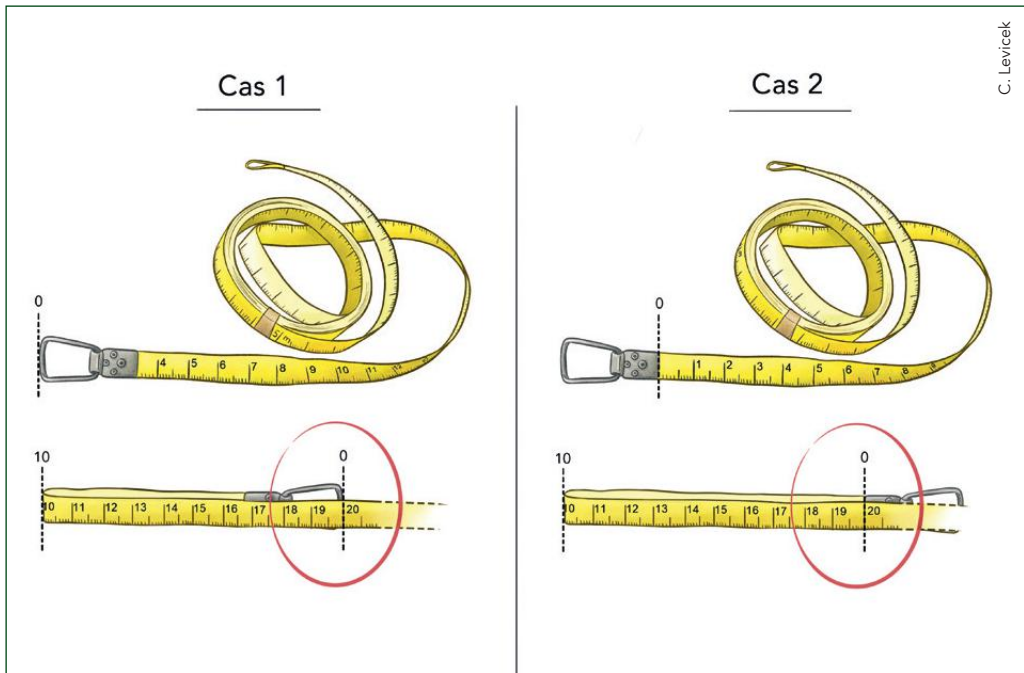


Figure 27. Deux cas (1 et 2) de positionnement du zéro sur un ruban diamétrique.

4.6. Suivi périodique de la croissance, de la mortalité et de la phénologie des arbres

4.6.1. Suivi périodique de la croissance et de la mortalité des arbres

Les campagnes de mesure du diamètre

des arbres sur le sentier permettent de calculer l'**accroissement** et le **taux de mortalité**. Elles sont effectuées si possible annuellement, ou à défaut tous les deux ans. Il est essentiel de noter dans un premier temps les noms et prénoms des opérateurs (noms et prénoms séparés par un tiret « - ») et la date de suivi (jj/mm/aaaa). On vérifie d'abord si l'arbre est toujours vivant.

Encadré 11. Caractéristiques d'un ruban diamétrique utilisé pour la mesure du diamètre sur un sentier

Les rubans diamétriques en fibre de verre ou métalliques peuvent être utilisés. Ces deux types de ruban doivent être gradués au millimètre près. Concernant les rubans diamétriques en fibre de verre, il est vivement conseillé d'utiliser systématiquement, avant chaque prise de mesure, un étalon (un nouveau ruban diamétrique) afin de vérifier la précision du ruban. La durée de « vie » d'un ruban diamétrique est de 400-500 arbres mesurés (Figure 28).

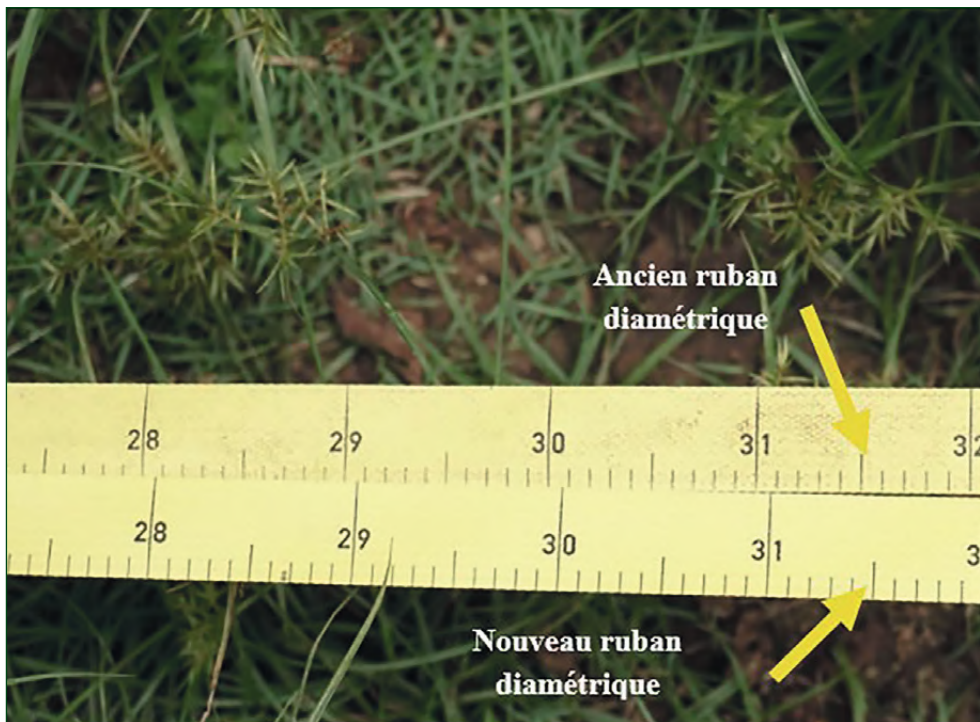


Figure 28. Photo de vérification de la précision d'un ancien ruban diamétrique par rapport à un nouveau (© K. Dainou). Cette figure indique que l'ancien ruban diamétrique ayant servi à mesurer plus de 400 arbres est hors d'usage car présentant une différence positive de près de 1 mm par rapport au nouveau.

Si ce n'est pas le cas, la cause de la mortalité est identifiée et codifiée (Tableau 3). Le diamètre est mesuré après la pose du ruban adhésif et en suivant la démarche présentée dans les étapes 3 à 5 de la

sous-section marquage de la hauteur de mesure du diamètre (section 4.5.2). La fiche de terrain utilisée pour le suivi de la croissance et de la mortalité est présentée en Annexe 4.

Tableau 3. Codes utilisés pour décrire la mortalité.

Code ^{10, op. cit., p. 30}	Description
MSP	Mort sur pied naturelle
CHA1	Chablis primaire naturel
CHA2	Chablis secondaire naturel
EXP	Arbre exploité
MSPE	Arbre mort sur pied suite aux blessures occasionnées par l'exploitation (y compris débardage)
CHAE	Arbre entraîné par la chute d'un arbre exploité ou par un bulldozer
EXPV	Arbre abattu par des villageois (bois, miel, etc.)
MSPV	Arbre écorcé ou brûlé
CHAV	Arbre entraîné par la chute d'un arbre exploité par des villageois
INCO	Arbre mort et origine de la mortalité inconnue

En cas de changement de la hauteur de mesure, la procédure détaillée à la section 4.5.2 doit être respectée pour le marquage de la nouvelle hauteur de mesure du diamètre. Deux situations peuvent conduire à un changement de la hauteur de mesure du diamètre d'un arbre :

(1) Il y a un risque que la hauteur de mesure devienne inutilisable à court terme (blessure, déformation...). Dans ce cas, il est recommandé de modifier la hauteur en mesurant à la fois le diamètre à l'ancien et au nouveau niveau de mesure. Le nouveau diamètre est répertorié sur la fiche dans la colonne « Diam » et le code « 13 » (Tableau 4) est inscrit sur la fiche de suivi dans la colonne « Observ. » (Annexe 4).

(2) Il y a un défaut (blessure, déformation...) qui apparaît sur la ligne de mesure lors d'une campagne de re-mesure. Ici, le diamètre est mesuré uniquement à la nouvelle hauteur de mesure.

Dans les deux cas, la hauteur de la nouvelle mesure du diamètre est renseignée dans la colonne « H diam » et le diamètre mesuré à l'ancien niveau de mesure est indiqué dans la colonne « Diam2 » (Annexe 4). En outre, tout autre problème compliquant la prise de mesure peut être inscrit dans cette colonne en suivant la codification reprise dans le Tableau 4. À noter que plusieurs codes peuvent être utilisés. Il est vivement recommandé d'essayer d'être le plus complet possible. Plusieurs codes sont alors séparés d'un tiret « - ».

Tableau 4. Codes utilisés pour les observations effectuées lors du suivi de la **croissance**.

Code ^{10, op. cit., p. 30}	Description
0	Mesure normale
1	Tronc non cylindrique au niveau du trait de mesure du diamètre (contrefort, cannelure)
2	Présence de grosses lianes au niveau du trait de mesure du diamètre
3	Présence d'une termitière de grande dimension rendant la mesure impossible
4	Présence d'un étrangleur (figus) au niveau du trait de mesure du diamètre
5	Tronc manifestement pourri
6	Arbre mourant
7	Arbre étêté
8	Arbre très fortement écorcé et/ou écorcé au niveau du trait de mesure du diamètre
9	Tronc très incliné, faisant un angle d'au moins 20° avec la verticale
10	Mesure au relascope
11	Arbre blessé au niveau du trait de mesure du diamètre
12	Arbre fourchu, ou présence de rejets ou de réitération : plusieurs tiges ont été mesurées
13	Changement de la hauteur de mesure du diamètre
14	Importants dégâts d'exploitation
97	Arbre pas retrouvé, disparu
98	Remesure effectuée de façon non systématique
99	Autres observations affectant la mesure du diamètre
100	Mesure du diamètre identifiée comme erronée

Le suivi périodique de la **croissance** des arbres devrait être assuré par une équipe permanente de recherche appartenant à l'entreprise forestière ou à la structure concernée par ce suivi.

4.6.2. Suivi périodique de la phénologie des arbres

Le suivi de la **phénologie** se limite à un échantillon d'arbres du sentier (section 3.1). Sur la base d'une carte localisant les arbres

du sentier, les routes et les cours d'eau, les arbres devant être suivis pour la **phénologie** sont retenus en tenant compte de leur accessibilité. Généralement, ce sont les arbres les moins isolés et dont le houppier est suffisamment visible qui sont choisis, afin de faciliter les suivis mensuels.

Lors du premier suivi de la **phénologie**, les arbres retenus peuvent être marqués avec la lettre « P » (Figure 29).

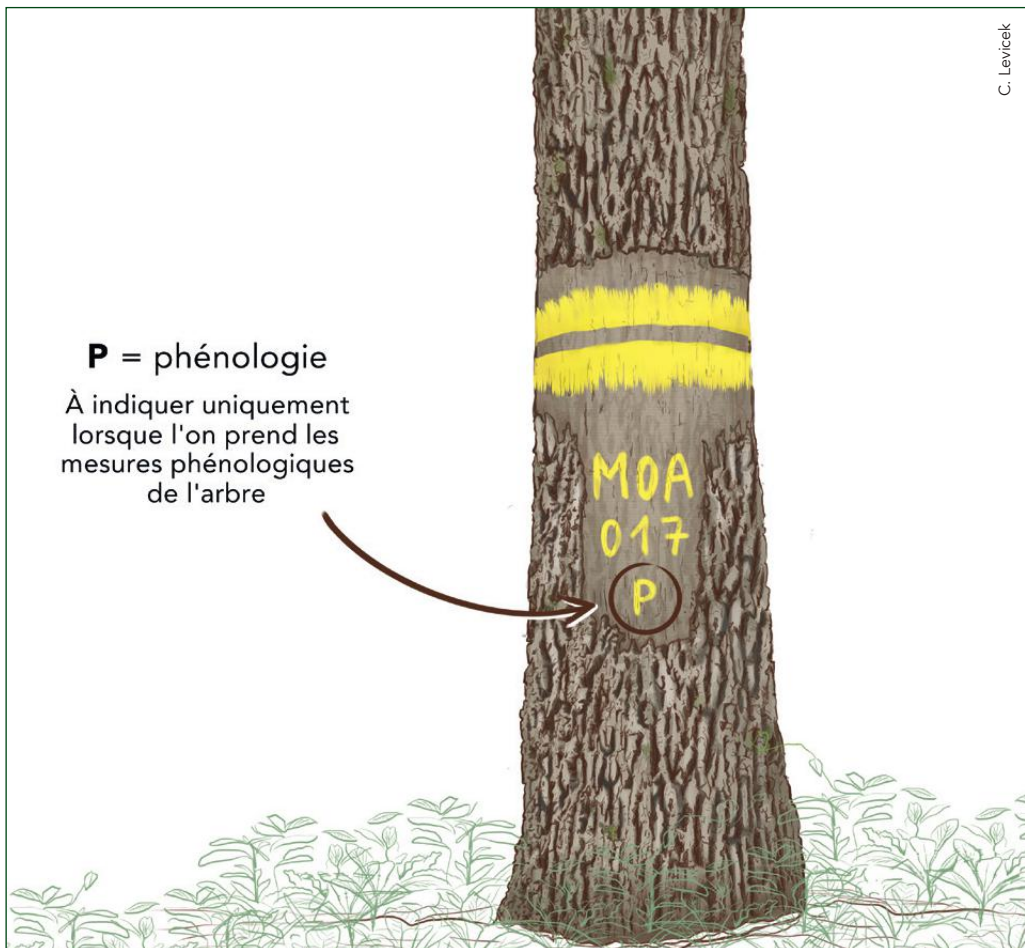


Figure 29. Exemple d'un arbre suivi pour la **phénologie** sur un sentier.

Les observations **phénologiques** sur un sentier portent sur l'état de la feuillaison, de la floraison et de la fructification, en estimant aux jumelles le taux de couverture de la cime par les organes recherchés (les feuilles, les fleurs, les fruits). Pour effectuer l'observation, le technicien doit trouver la position idéale afin d'avoir une vue optimale de la cime. L'observateur doit estimer le taux de couverture par les organes par pas de 5 %. Idéalement, les observations sont effectuées par deux personnes simultanément et qui argumentent leurs résultats. À défaut de consensus, c'est leur moyenne qui est consignée. En outre, il est conseillé aux opérateurs de compléter leurs observations aux jumelles par des observations visuelles au pied de l'arbre concerné (Figure 30). Cela est particulièrement utile pour évaluer l'abondance des fleurs et des fruits, et l'état de maturation des fruits.

Pour des espèces sujettes à des attaques de chenilles, il peut être utile de quantifier, selon la même méthodologie, l'ampleur des attaques. Cette information

peut être utile lorsque les chenilles sont comestibles, c'est par exemple le cas de la chenille du sapelli (*Entandrophragma cylindricum*).

Les variables indispensables à relever lors du suivi de la **phénologie** (Annexe 5) sont donc :

- noms et prénoms des opérateurs ;
- date du relevé (jj/mm/aaaa) ;
- numéro de l'arbre ;
- taux de feuilles perdues (%) ;
- taux de nouvelles feuilles (%) ;
- taux d'anciennes feuilles (%) ;
- taux de fleurs (%) ;
- taux de fruits immatures (%) ;
- taux de fruits matures (%).

Le suivi de la **phénologie** est généralement effectué mensuellement par l'équipe permanente de recherche.

4.7. Matériel nécessaire

La liste du matériel nécessaire pendant les différentes étapes d'installation et de suivi périodique du sentier est reprise dans le Tableau 5.

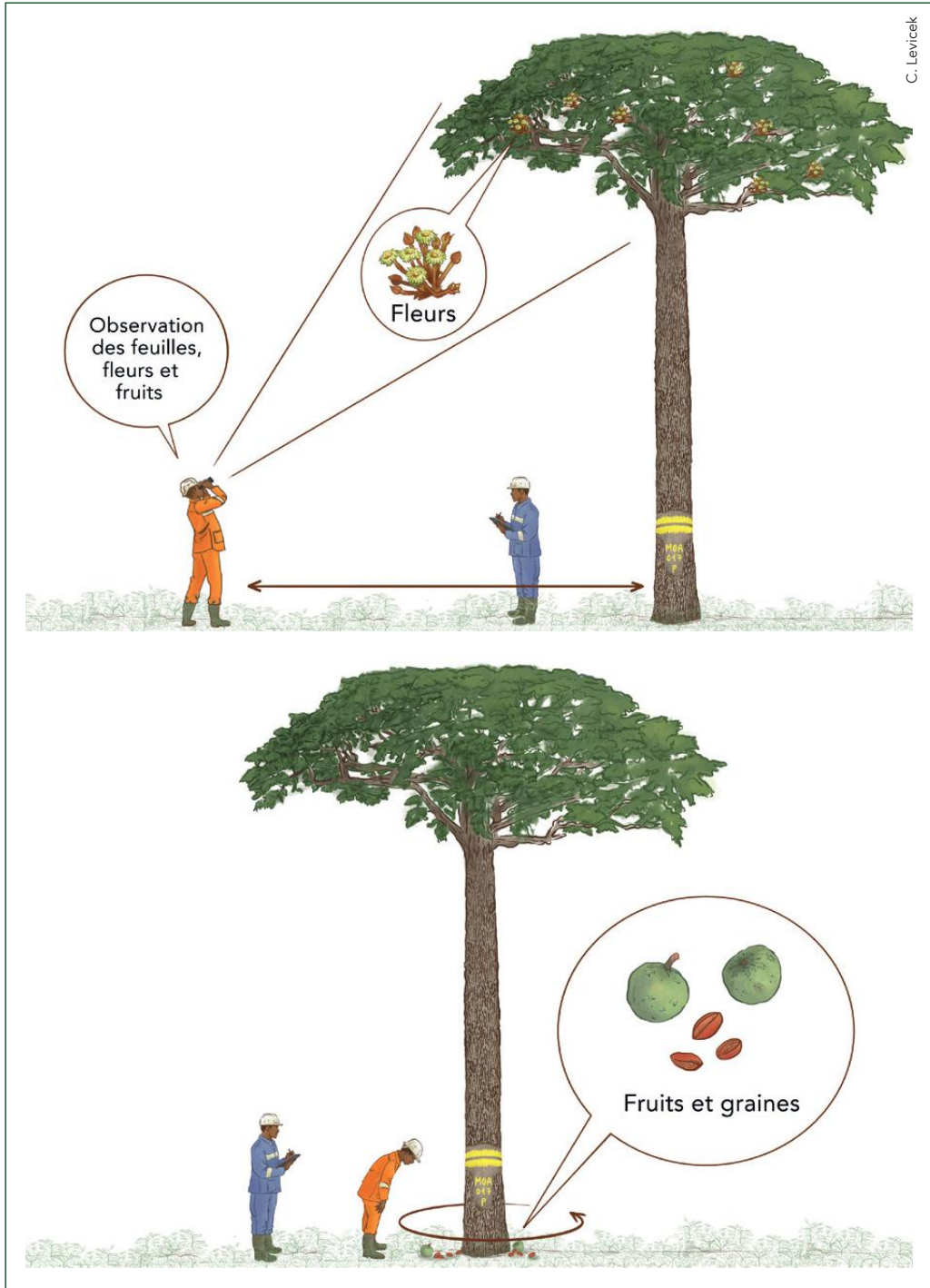
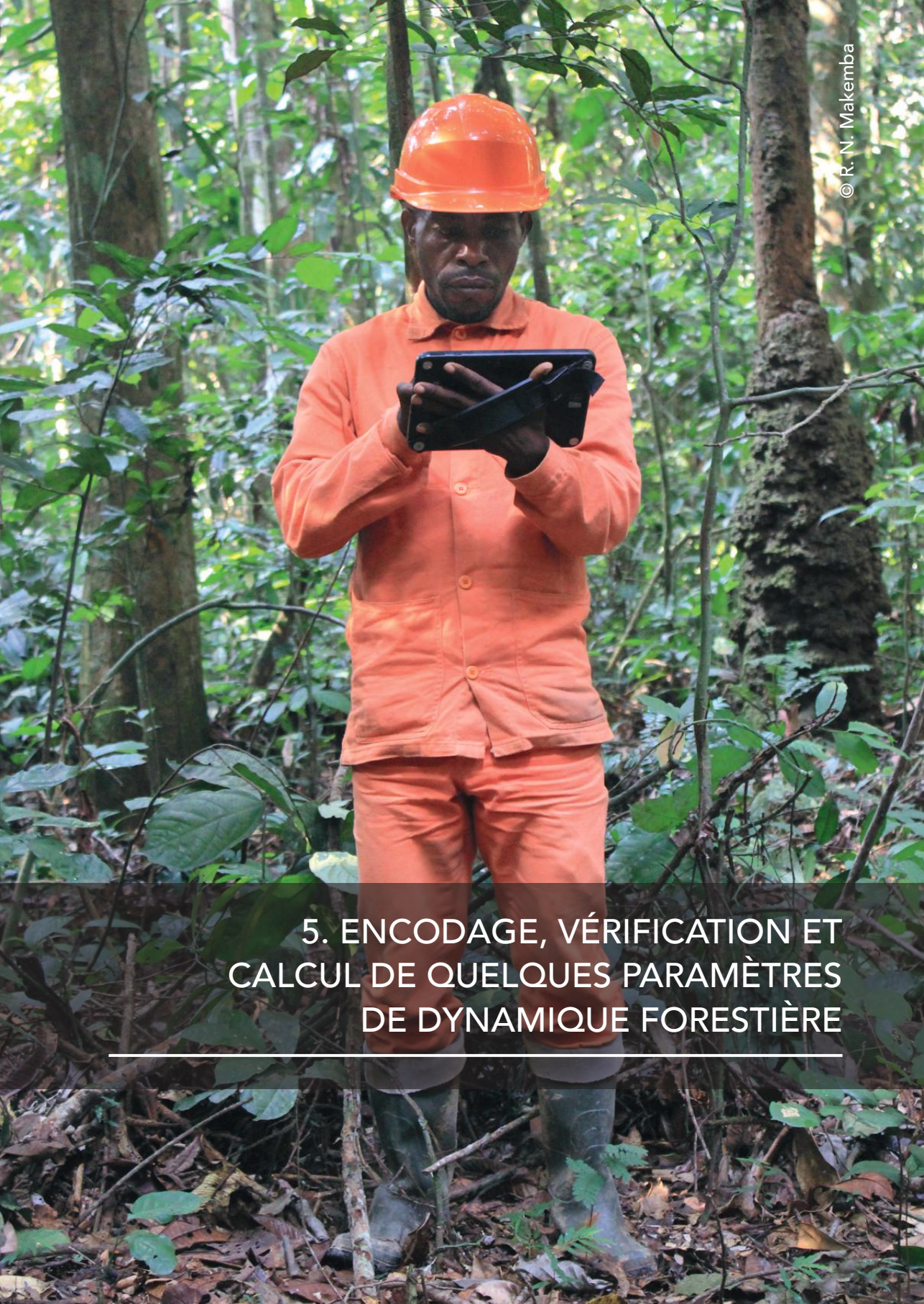


Figure 30. Deux opérateurs lors d'un suivi de la phénologie d'un arbre sur un sentier.

Tableau 5. Liste du matériel nécessaire pour les différentes phases d'installation et de suivis périodiques des arbres du sentier.

Étapes	Matériels
Choix des espèces	
Choix des sites potentiels	Carnet de note et stylo, rapport d'inventaire d'aménagement, plan d'aménagement, cartes de situation des sites potentiels et fiches de prospection.
Prospection et sélection du site définitif	
Inventaire des arbres (valable uniquement pour l'approche exhaustive)	EPI (équipement de protection individuelle), téléphone satellite, GPS, pots de peinture et pinceaux, essence (pour nettoyer le matériel de peinture), machettes, boussole, fiches d'inventaire, porte-documents et stylos.
Marquage et caractérisation des arbres	EPI, deux doubles échelles légères en aluminium de 4-5 m de long, GPS, téléphone satellite, rubans diamétriques métalliques ou en fibre de verre (Encadré 11), rubans adhésifs, pots de peinture (couleur jaune de préférence, sinon rouge), pinceaux (plats pour marquer les hauteurs de mesures, ronds pour les chiffres et les lettres), pochoirs, essence (pour nettoyer le matériel de peinture), machettes, fiches d'installation de sentier, fiches décrivant les codes des formations végétales (Tableau 2), les codes de Dawkins (Encadré 10) et les codes relatifs à la mortalité des arbres (Tableau 3), porte-documents et stylos.
Suivi périodique de la croissance et de la mortalité	Même matériel que pour la phase précédente avec en plus des fiches de suivi périodique de la croissance et de la mortalité, et la carte des arbres suivis sur le sentier.
Suivi périodique de la phénologie	Jumelles, carte des arbres suivis sur le sentier, fiches de suivi périodique de la phénologie, porte-documents et stylos.
Encodage, vérification et analyse des données	Ordinateur.

A forest worker wearing an orange hard hat and a matching orange long-sleeved shirt and pants is standing in a dense forest. He is holding a black tablet computer with both hands and looking at the screen. He is also wearing dark green rubber boots. The background is filled with green foliage and tree trunks.

5. ENCODAGE, VÉRIFICATION ET CALCUL DE QUELQUES PARAMÈTRES DE DYNAMIQUE FORESTIÈRE

5.1. Encodage et vérification des données d'un sentier

Un fichier de saisie est élaboré, par exemple sous Microsoft Excel®, sur base de l'ensemble des informations contenues dans les fiches d'installation de sentier (Annexe 3), de suivi de la **croissance** et de la **mortalité** (Annexe 4) et de suivi de la **phénologie** (Annexe 5). L'activité d'encodage consiste à transcrire les informations des fiches de terrain dans la base de données Excel. Cette activité est effectuée par un technicien supérieur ou un ingénieur.

Microsoft Excel® est le logiciel le plus couramment utilisé pour l'encodage et la vérification des données. Néanmoins, d'autres logiciels (plus compliqués à prendre en main) peuvent être utilisés pour encoder, archiver et vérifier les données, par exemple : (i) Microsoft Access®, logiciel de traitement de base de données, (ii) Libre Office Calc (<https://fr.libreoffice.org>), logiciel très similaire à Microsoft Excel® mais gratuit et *open source* ou (iii) la plateforme Open Foris (www.openforis.org) développée par la FAO. En particulier, Open Foris constitue une solution permettant d'encoder numériquement et de vérifier automatiquement les données sur le terrain à partir d'un Smartphone, d'une tablette ou d'un ordinateur de terrain. Il a également l'avantage de permettre d'éviter les erreurs d'encodage et de faciliter la correction des données directement sur le terrain.

Une fois les données du sentier collectées et encodées, une vérification est nécessaire (section 5.1.2). Le responsable de

l'encodage des données doit s'assurer que cet encodage a été correctement réalisé et le cas échéant demander un contrôle sur le terrain. Il corrige également les erreurs ou les valeurs aberrantes si elles résultent bel et bien d'une erreur d'encodage ou d'une erreur de mesure. Si l'origine de l'erreur est inconnue et qu'une vérification de terrain n'est pas possible, la valeur aberrante est à ce stade gardée et le code d'observation « 100 » (Tableau 4) est ajouté au relevé dans la base de données.

Les points de vérification sont traités dans les sections suivantes.

5.1.1. Contrôle des informations générales

Ce contrôle porte notamment sur :

- la validité des noms d'espèce. Tous les arbres d'une même espèce doivent avoir rigoureusement le même code espèce ;
- l'absence de doublons dans les numéros d'arbres ;
- les données manquantes et les éventuelles explications associées ;
- la vérification des variables catégorielles et leur correspondance avec un code attendu :
 - o voir les codes de description de la **mortalité** (Tableau 3),
 - o voir les codes des observations utilisées pour le suivi de la **croissance** (Tableau 4),
 - o voir les codes de Dawkins et de dominance (Figure 19),

- o voir les codes de caractérisation de l'habitat (Tableau 2) ;
- la vérification des remarques. Il est important qu'elles soient compréhensibles et non redondantes avec les variables catégorielles ;
- la vérification qu'un caractère de séparation unique est utilisé pour les codes d'observation (Tableau 4).

5.1.2. Contrôle des variables calculées à partir des données de terrain

Les points à aborder lors du contrôle des variables d'**accroissement diamétrique** et de **taux de mortalité** sont :

- la cohérence des dates de relevés (ex. toutes les dates sont étalées sur une durée maximale de deux mois pour les calculs des variables). Lorsqu'une date a été encodée de manière erronée pour un arbre du sentier, il est généralement possible d'effectuer une correction en se basant sur les dates d'observations effectuées sur les arbres voisins ;
- le contrôle des variables continues à l'intérieur de limites fixées :
 - o diamètre ≥ 10 cm et < 400 cm
 - dans le cas d'un changement de hauteur de mesure, deux diamètres sont si possible mesurés (section 4.6.1),
 - dans le cas d'une remesure, l'**accroissement diamétrique** annuel doit être $\geq -0,4$ cm/an

et ≤ 6 cm/an. Ces valeurs minimales et maximales permettent d'identifier des valeurs suspectes qui demandent alors un examen supplémentaire (Figure 31). Il est envisageable d'utiliser d'autres seuils, par exemple si l'on se concentre sur une espèce dont l'**accroissement diamétrique** est relativement faible (on diminuera alors la valeur maximale). Quant aux **accroissements diamétriques** négatifs, ils ne doivent pas être systématiquement écartés. Il est en effet possible qu'un diamètre diminue, par exemple suite à la desquamation de l'écorce. Les ignorer pourraient conduire à une surestimation de l'**accroissement** ;

- o hauteur de mesure du diamètre : nombre entier compris entre 100 et 450 cm.

La vérification des données consiste à parcourir l'ensemble de la base de données afin d'identifier toutes les valeurs de diamètre suspectes et de les corriger si possible. L'idéal est d'effectuer ces vérifications après chaque campagne de mesure afin qu'une vérification sur le terrain des éventuelles valeurs suspectes soit encore possible.

Lorsque des valeurs suspectes d'**accroissement** sont calculées, il convient de les traiter individuellement et au cas par cas. L'opérateur vérifiera notamment si des remarques ou des observations, associées aux différentes valeurs de diamètres mesurés, ont été encodées et si ces infor-

mations permettent d'expliquer la valeur suspecte. Si, par contre, aucune explication n'est trouvée, il convient de vérifier les fiches d'encodage et d'effectuer une vérification sur le terrain.

Si, à l'issue de la vérification sur le terrain, la dernière valeur de diamètre mesurée est confirmée, la décision de supprimer ou de garder les valeurs suspectes de la base de données dépend de l'expérience de l'opérateur. La Figure 31 illustre quelques cas de figure et propose quelques conduites à tenir par l'opérateur. Il est formellement déconseillé que l'opérateur manipule les données en estimant qu'il a trouvé la bonne mesure.

5.1.3. Contrôle des données de phénologie

En plus de la vérification des informations générales (section 5.1.1) et de la cohérence des dates de relevés, l'opérateur contrôle également que les taux de couverture (feuilles, fruits...) correspondent à des nombres entiers (≥ 0 et ≤ 100). Si la valeur du taux de couverture est « 0 », il est crucial de préciser « 0 » et non une valeur manquante. En outre, comme pour les contrôles de *croissance*, il est important de vérifier les dates ainsi que les doublons qui peuvent apparaître à l'encodage.

5.2. Calcul de quelques variables de dynamique forestière

Pour rappel, le but principal pour lequel un sentier est installé et suivi est d'obtenir, pour les espèces ligneuses cibles, des valeurs moyennes d'*accroissement dia-*

métrique, de *taux de mortalité* et parfois le diamètre de fructification régulière. Les valeurs de ces différentes variables sont obtenues après traitement statistique des données collectées durant plusieurs suivis périodiques. Cet exercice de traitement statistique des données pouvant paraître complexe ou abstrait, l'objectif de cette section est d'expliquer de manière simplifiée comment procéder pour calculer ces variables.

5.2.1. Accroissement en diamètre

Pour des besoins d'illustration, le jeu de données utilisé dans ce guide est composé de 30 azobés (*Lophira alata*). Ces arbres ont été sélectionnés et suivis sur un sentier de décembre 2011 à janvier 2018. Le calcul de l'*accroissement diamétrique* annuel moyen (AAM) est basé sur le logiciel Microsoft Excel® bien que n'importe quel logiciel statistique (Statistica, Minitab, R, MATLAB...) puisse être utilisé. Il est recommandé d'être particulièrement attentif au format des dates jj/mm/aaaa et aux éventuelles erreurs d'encodage des mesures de diamètre (unité de mesure en cm ou en m).

La Figure 32 présente le diamètre de chacun des 30 azobés sur le sentier au début et à la fin des inventaires.

- *Calcul de l'accroissement individuel en diamètre*

L'équation 1 (Éq. 1) est celle généralement utilisée pour calculer l'AAM. L'AAM est calculé pour chaque arbre et est exprimé en cm/an :

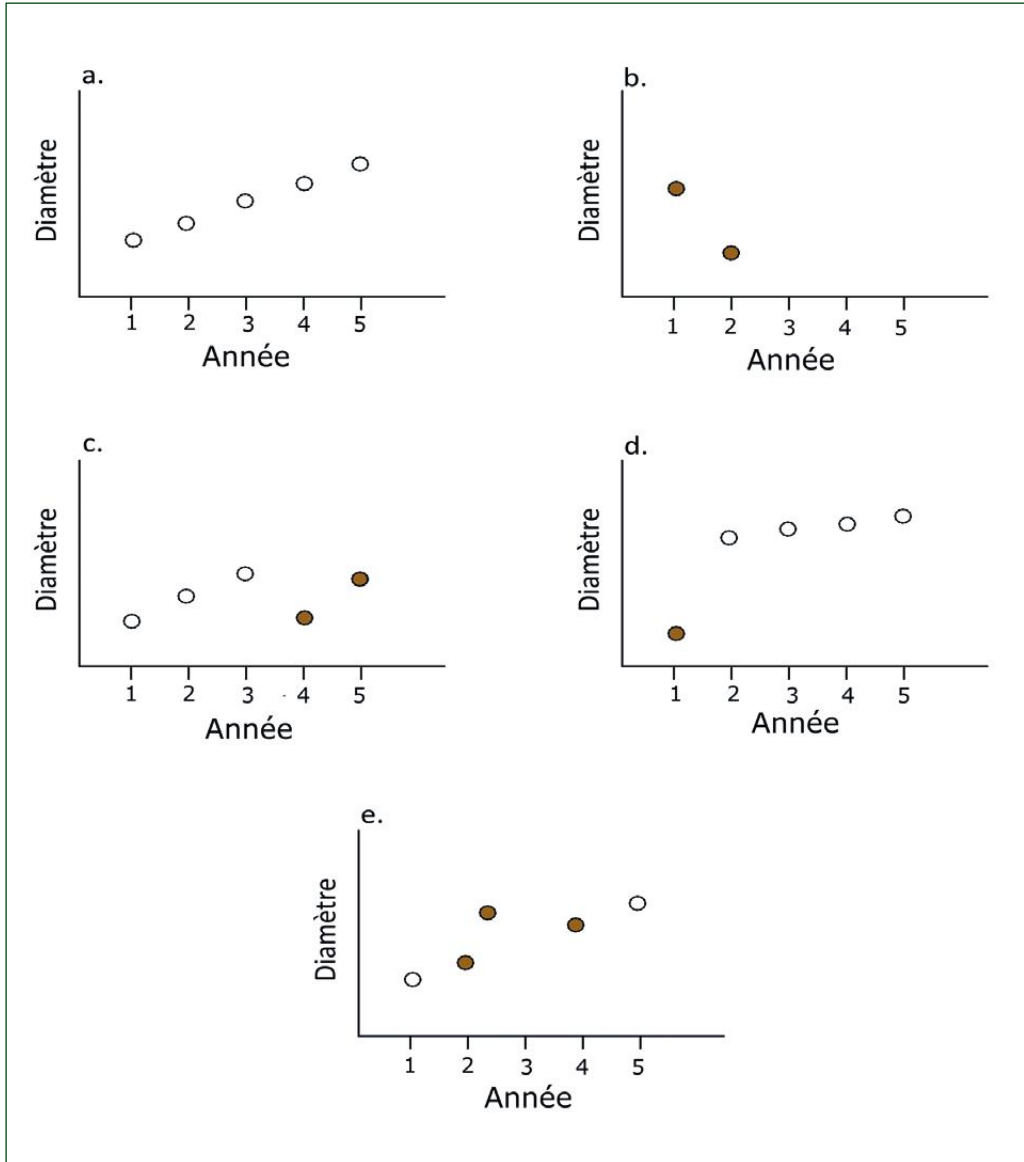


Figure 31. Illustration de cas de mesures successives de diamètre et identification des valeurs suspectes et anormales. Le **cas (a)** peut être considéré comme normal. Le **cas (b)** composé de deux relevés est douteux mais il n'y a pas suffisamment d'information pour identifier un relevé erroné. Dans le **cas (c)**, deux valeurs sont suspectes. Ce cas de figure se présente généralement lorsqu'un changement de hauteur a été effectué sur le terrain mais n'a pas été encodé dans la base de données. La mesure initiale du **cas (d)** semble erronée ; elle peut être écartée de la base de données avant le calcul de l'accroissement diamétrique. Dans le **cas (e)**, trois valeurs sont identifiées comme suspectes potentiellement en raison d'une valeur qui semble trop élevée. Ces valeurs n'ont cependant pas d'influence sur le calcul de l'accroissement diamétrique si celui-ci est calculé uniquement à partir des valeurs initiale et finale.

$AAM = (Diam_{fin} - Diam_{début}) / Temps$ (Éq. 1) l'arbre sur le sentier divisé par 365,25 avec : (année julienne). Il est exprimé en années.

$Diam_{début}$ = diamètre initial de l'arbre (cm) ; L'utilisation de l'équation 1 pour calculer

$Diam_{fin}$ = diamètre final de l'arbre (cm) ; l'AAM de chacun des azobés sur le sentier

Temps = nombre de jours de suivi de est illustrée à la Figure 32.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Essence	Code	Date_début	Diam_début	Date_fin	Diam_fin	AAM (cm/an)
2	Azobé	AZO2	20-12-11	11,00	09-01-18	11,80	0,13
3	Azobé	AZO1	20-12-11	13,40	09-01-18	14,30	0,15
4	Azobé	AZO3	21-12-11	15,10	09-01-18	18,00	0,48
5	Azobé	AZO4	21-12-11	18,40	09-01-18	18,60	0,03
6	Azobé	AZO6	20-12-11	23,50	09-01-18	24,50	0,17
7	Azobé	AZO7	21-12-11	27,40	10-01-18	29,00	0,26
8	Azobé	AZO5	20-12-11	24,60	09-01-18	31,10	1,07
9	Azobé	AZO9	20-12-11	32,80	09-01-18	35,50	0,45
10	Azobé	AZO8	20-12-11	36,00	09-01-18	37,30	0,21
11	Azobé	AZO12	20-12-11	41,90	09-01-18	47,20	0,88
12	Azobé	AZO10	20-12-11	47,60	09-01-18	51,60	0,66
13	Azobé	AZO11	20-12-11	49,00	09-01-18	53,00	0,66
14	Azobé	AZO13	21-12-11	51,40	09-01-18	54,00	0,43
15	Azobé	AZO15	23-12-11	53,90	09-01-18	56,20	0,38
16	Azobé	AZO14	22-12-11	59,10	09-01-18	62,50	0,56
17	Azobé	AZO16	20-12-11	62,90	09-01-18	65,20	0,38
18	Azobé	AZO17	21-12-11	66,20	09-01-18	66,90	0,12
19	Azobé	AZO18	21-12-11	68,20	09-01-18	68,30	0,02
20	Azobé	AZO20	21-12-11	70,20	09-01-18	72,60	0,40
21	Azobé	AZO21	21-12-11	73,10	09-01-18	77,40	0,71
22	Azobé	AZO19	21-12-11	77,80	09-01-18	81,50	0,61
23	Azobé	AZO23	21-12-11	82,60	09-01-18	86,10	0,58
24	Azobé	AZO24	22-12-11	89,00	09-01-18	90,40	0,23
25	Azobé	AZO22	20-12-11	88,10	09-01-18	91,10	0,50
26	Azobé	AZO25	20-12-11	91,20	09-01-18	95,30	0,68
27	Azobé	AZO27	21-12-11	95,40	09-01-18	97,20	0,30
28	Azobé	AZO26	20-12-11	99,40	09-01-18	101,20	0,30
29	Azobé	AZO28	22-12-11	104,70	09-01-18	105,50	0,13
30	Azobé	AZO29	23-12-11	101,70	09-01-18	106,20	0,74
31	Azobé	AZO30	24-12-11	107,50	09-01-18	109,40	0,31

Figure 32. Illustration du calcul de l'accroissement individuel en diamètre.

- Calcul de l'accroissement spécifique moyen en diamètre

L'accroissement moyen en diamètre (AAM_pop) d'une population d'espèce

sur un sentier est la moyenne statistique des AAM de chaque arbre appartenant à l'espèce considérée. En d'autres termes, l'AAM_pop est la somme de toutes les

valeurs d'AAM divisée par l'effectif total. Avec le logiciel Microsoft Excel®, la formule « Moyenne » est appliquée sur toute la série de valeurs d'AAM pour obtenir l'AAM_pop (Figure 33). Pour l'exploitant forestier, il est utile de considérer l'accroissement spécifique pour les arbres en dessous du DME, car cette valeur peut s'écarter sensiblement de la moyenne globale. Cet accroissement diamétrique est dénommé « AAM_pop_infDME ». Pour calculer l'AAM_pop_infDME, il faut réaliser un tri croissant des valeurs finales de diamètres « Diam_fin » et faire la moyenne des AAM pour les arbres dont ce diamètre est inférieur au DME.

Sur la base de cet exemple, l'accroissement diamétrique moyen de l'azobé (toutes classes de diamètres confondues) est de 0,42 cm/an (Figure 33). En considérant le DME de l'azobé qui est fixé à 60 cm au Cameroun, l'accroissement diamétrique moyen (AAM_pop_infDME) est de 0,43 cm/an. À noter que cette valeur est issue d'un exemple purement imaginaire et ne peut être confondue avec la valeur réelle de l'accroissement diamétrique moyen de l'azobé.

5.2.2. Taux de mortalité

Le taux de mortalité (Txm) représente le ratio entre le nombre d'individus morts et le nombre d'individus initialement vivants sur la période donnée et en un lieu déterminé. Il est important de rappeler qu'il faut noter durant les suivis périodiques les causes de mortalité (section 4.6.1).

Lorsque l'on est intéressé par le taux de mortalité naturelle des arbres, il faut analyser des sentiers en zone non exploitée ou avant le passage de l'exploitation. L'opérateur chargé de l'analyse des données devra réaliser un apurement de la base de données afin de compter, par exemple, à l'aide d'un tableau croisé dynamique (<https://www.excel-exercice.com/tableau-croise-dynamique-bases/>), l'effectif final pour chaque espèce du sentier (après soustraction des individus morts). À titre d'exemple, un tableau similaire à celui présenté au Tableau 6 a été obtenu pour le calcul du taux de mortalité.

Il existe plusieurs formules pour calculer le Txm. La formule la plus admise par la communauté scientifique est celle de Sheil (1995)¹⁸ qui se présente comme suit :

$$\text{Txm} = 100 \times (1 - (N_{\text{final}}/N_{\text{initial}})^{1/t}) \quad (\text{Éq. 2})$$

avec :

N_{final} = effectif final de l'espèce considérée sur le sentier ;

N_{initial} = effectif initial de l'espèce considérée sur le sentier ;

t = nombre de jours écoulés entre le premier inventaire et le dernier considéré, divisé par 365,25, soit le temps exprimé en années.

En considérant l'exemple du Tableau 6 et en utilisant la formule reprise dans l'équation 2, la Figure 34 illustre comment calculer le taux de mortalité que l'on exprime souvent en %/an.

¹⁸ Sheil D., Burslem D.F., Alder, D., 1995. The interpretation and misinterpretation of mortality rate measures. *Journal of Ecology*, **83**,331-333.

1	A	B	C	D	E	F	G
	Essence	Code	Date_début	Diam_début	Date_fin	Diam_fin	AAM (cm/an)
2	Azobé	AZO2	20-12-11	11,00	09-01-18	11,80	0,13
3	Azobé	AZO1	20-12-11	13,40	09-01-18	14,30	0,15
4	Azobé	AZO3	21-12-11	15,10	09-01-18	18,00	0,48
5	Azobé	AZO4	21-12-11	18,40	09-01-18	18,60	0,03
6	Azobé	AZO6	20-12-11	23,50	09-01-18	24,50	0,17
7	Azobé	AZO7	21-12-11	27,40	10-01-18	29,00	0,26
8	Azobé	AZO5	20-12-11	24,60	09-01-18	31,10	1,07
9	Azobé	AZO9	20-12-11	32,80	09-01-18	35,50	0,45
10	Azobé	AZO8	20-12-11	36,00	09-01-18	37,30	0,21
11	Azobé	AZO12	20-12-11	41,90	09-01-18	47,20	0,88
12	Azobé	AZO10	20-12-11	47,60	09-01-18	51,60	0,66
13	Azobé	AZO11	20-12-11	49,00	09-01-18	53,00	0,66
14	Azobé	AZO13	21-12-11	51,40	09-01-18	54,00	0,43
15	Azobé	AZO15	23-12-11	53,90	09-01-18	56,20	0,38
16	Azobé	AZO14	22-12-11	59,10	09-01-18	62,50	0,56
17	Azobé	AZO16	20-12-11	62,90	09-01-18	65,20	0,38
18	Azobé	AZO17	21-12-11	66,20	09-01-18	66,90	0,12
19	Azobé	AZO18	21-12-11	68,20	09-01-18	68,30	0,02
20	Azobé	AZO20	21-12-11	70,20	09-01-18	72,60	0,40
21	Azobé	AZO21	21-12-11	73,10	09-01-18	77,40	0,71
22	Azobé	AZO19	21-12-11	77,80	09-01-18	81,50	0,61
23	Azobé	AZO23	21-12-11	82,60	09-01-18	86,10	0,58
24	Azobé	AZO24	22-12-11	89,00	09-01-18	90,40	0,23
25	Azobé	AZO22	20-12-11	88,10	09-01-18	91,10	0,50
26	Azobé	AZO25	20-12-11	91,20	09-01-18	95,30	0,68
27	Azobé	AZO27	21-12-11	95,40	09-01-18	97,20	0,30
28	Azobé	AZO26	20-12-11	99,40	09-01-18	101,20	0,30
29	Azobé	AZO28	22-12-11	104,70	09-01-18	105,50	0,13
30	Azobé	AZO29	23-12-11	101,70	09-01-18	106,20	0,74
31	Azobé	AZO30	24-12-11	107,50	09-01-18	109,40	0,31
32	AAM_pop						0,42
33	AAM_pop_infDME						0,43

Figure 33. Illustration du calcul de l'accroissement diamétrique de l'azobé.

Tableau 6. Tableau de synthèse pour le calcul du taux de mortalité sur un sentier comprenant cinq espèces ligneuses.

Espèce	Temps (an)	N_initial	N_final
Azobé	6,06	98	96
Tali	6,06	200	195
Moabi	6,06	152	149
Bété	6,06	147	144
Limba	6,06	181	175

	A	B	C	D	E
1	Espèce	Temps (an)	N_initial	N_final	Txm
2	Azobé	6,06	98	96	0,34
3	Tali	6,06	200	195	0,42
4	Moabi	6,06	152	149	0,33
5	Bété	6,06	147	144	0,34
6	Limba	6,06	181	175	0,55

Figure 34. Illustration du calcul du **taux de mortalité**.

5.2.3. Diamètre de fructification régulière

L'intérêt du diamètre de fructification régulière (**DFR**) et les principales méthodes pour déterminer le **DFR** sont expliquées dans l'Encadré 3 de ce guide. Pour rappel, le **DFR** correspond au seuil diamétrique de reproduction efficace d'une espèce. On peut considérer qu'il s'agit du diamètre à partir duquel l'arbre a au moins une chance sur deux de fructifier.

Une fois la base de données vérifiée (section 5.1.3), l'opérateur regroupera les individus du sentier par classe de diamètre dans une nouvelle colonne « Classe » : 1 pour la classe [10-20[, 2 pour la classe [20-30[, ..., 9 pour la classe [90-100[et 10 pour la classe ≥ 100 cm.

Une nouvelle colonne « Fructification » est ajoutée à la base de données afin de définir à partir de quel seuil un événement de fructification est considéré. C'est le cas pour un arbre lorsqu'au cours de la période de suivi **phénologique**, il a été

observé au moins un événement de fructification. Dans ce cas, la valeur 1 sera encodée et la valeur 0 dans le cas contraire. Un tableau similaire à celui présenté au Tableau 7 est obtenu.

Comme mentionné dans l'Encadré 3, le **DFR** peut être déterminé selon deux approches : descriptive⁹, *op. cit.*, p. 25 et régression logistique^{7 et 8}, *op. cit.*, p. 25. Sur la base du Tableau 7, le résultat de la détermination du **DFR** avec ces deux approches est présenté dans les paragraphes qui suivent.

- **Détermination du DFR selon l'approche descriptive**

Afin de déterminer le **DFR**, les statistiques suivantes sont calculées à l'aide d'un tableau croisé dynamique :

- nombre total d'individus par classe de diamètre (Ntot) ;
- nombre d'individus ayant fructifié par classe de diamètre (Nfr) ;
- fréquence des individus ayant fructifié par classe de diamètre (%fr).

Tableau 7. Exemple d'un jeu partiel de données phénologiques pour le padouk sur un sentier installé à l'est du Cameroun.

Espèce	Individu	Diamètre	Fructification	Classe
Padouk	PD002	44,20	1	4
Padouk	PD003	45,60	1	4
Padouk	PD005	41,30	0	4
Padouk	PD007	48,30	1	4
Padouk	PD015	49,00	1	4
Padouk	PD018	64,90	1	6
Padouk	PD019	40,20	1	4
Padouk	PD023	73,00	1	7
Padouk	PD024	28,60	1	2
Padouk	PD026	18,90	0	1
Padouk	PD027	53,60	1	5
Padouk	PD030	52,30	1	5
Padouk	PD065	57,00	1	5
Padouk	PD119	11,30	0	1
Padouk	PD120	20,90	0	2
Padouk	PD121	71,20	1	7
Padouk	PD123	27,00	0	2
Padouk	PD124	64,80	1	6
Padouk	PD125	14,20	0	1
Padouk	PD130	14,80	0	1
Padouk	PD132	65,70	1	6
Padouk	PD134	14,40	0	1
Padouk	PD139	22,10	0	2
Padouk	PD141	35,10	0	3
Padouk	PD142	33,60	1	3
Padouk	PD143	75,10	1	7
Padouk	PD144	36,10	1	3
Padouk	PD145	70,60	1	7
Padouk	PD146	70,60	1	7
Padouk	PD147	74,60	1	7
Padouk	PD148	73,50	1	7
Padouk	PD149	69,00	1	6
Padouk	PD150	85,40	1	8

Cette fréquence est le ratio entre le nombre d'individus ayant fructifié par classe de diamètre et le nombre total d'individus par classe de diamètre. Sa formule est la suivante : $\%fr = Nfr \times 100/Ntot$.

Généralement, le DFR correspond à la première classe de diamètre dont la proportion des tiges ayant fructifié (%fr) est supérieure ou égale à 50 %¹⁹.

En considérant l'exemple du jeu de données illustré au Tableau 7, et en appliquant la procédure décrite ci-dessus, le DFR pour le padouk est situé dans la troisième classe de diamètre [30-40[(Tableau 8), soit $DFR \approx 35$ cm (valeur médiane de la classe de diamètre [30-40[).

À noter que cette méthode de détermination du DFR est sensible au nombre d'individus par classe de diamètre. L'une des conditions préalables pour l'utilisation de cette méthode serait de disposer d'un effectif initial d'au moins une dizaine d'arbres par classe de diamètre.

- **Détermination du DFR par régression logistique**

L'approche par régression logistique est présentée dans l'Encadré 3^{19, 7 et 8, op. cit., p. 25}. En utilisant cette approche, le DFR obtenu est de 34,49 cm, donc conforme aux résultats obtenus avec l'approche descriptive (Encadré 3). Le code R, utilisé pour calculer le DFR et présenter le graphe de la Figure 35, est détaillé dans l'Encadré 12.

Tableau 8. Illustration de la détermination du DFR en utilisant l'approche simple.

Classe	Ntot	Nfr	%fr
1	9	0	0,00
2	10	1	10,00
3	9	5	55,60
4	10	8	80,00
5	11	11	100,00
6	8	8	100,00
7	9	9	100,00
8	2	2	100,00

¹⁹ Newstrom L.E., Frankie G.W., Baker H.G., 1994. A new classification for plant phenology based on flowering patterns in lowland tropical rain forest trees at La Selva, Costa Rica. *Biotropica*, **26**, 141–159.

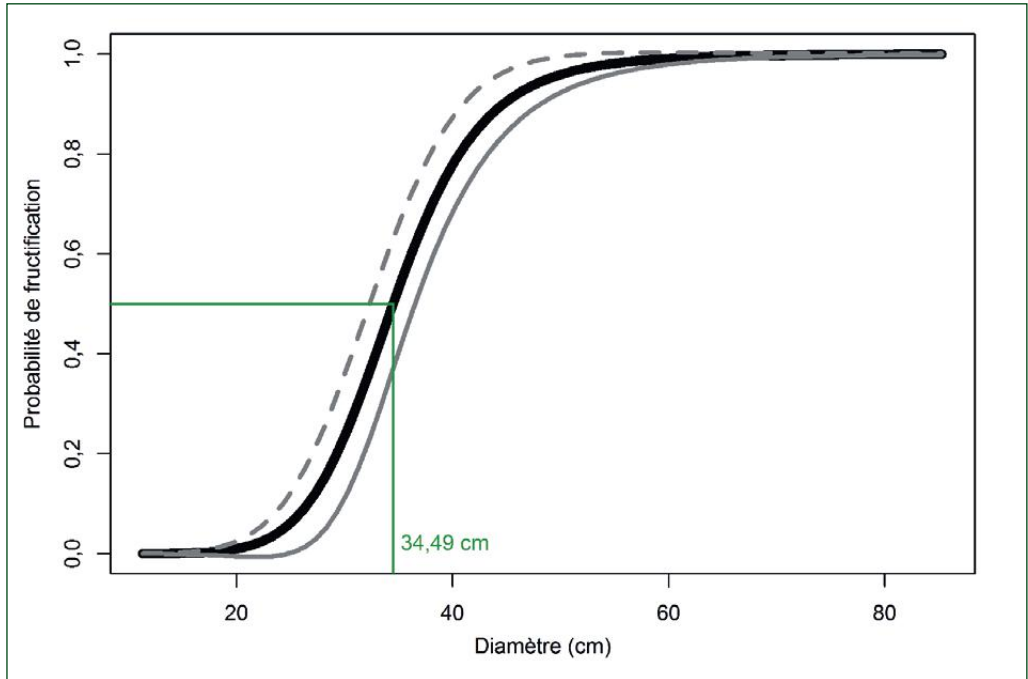


Figure 35. Courbe de régression logistique illustrant le DFR du padouk calculé en utilisant le jeu de données présenté au Tableau 7.

Encadré 12. Calcul du DFR par régression logistique (code R)

La base de données de **phénologie** utilisée est celle présentée au Tableau 7. Cette base de données dans le code R ci-dessous est dénommée « data_padouk.txt »

```
data<- read.table("data_padouk.txt", header=T, dec=".")
```

Construction du modèle de regression logistique

```
model <- glm(Fructification ~ log(Diamètre), family = binomial(link = "logit"), data=data)
```

Détermination du DFR

```
p <- 0.5
x <- (log(p/(1-p)) - coef(model)[1]) / coef(model)[2]
DFR<- exp(x)
```

Afficher le DFR

```
DFR
```


A photograph of two men in a forest. The man on the left is wearing an orange long-sleeved shirt and a blue hard hat. The man on the right is wearing a red long-sleeved shirt, a blue hard hat, and a backpack. They are standing in front of a tree trunk with yellow markings. The background is a dense green forest.

6. ESTIMATION DU COÛT D'INSTALLATION ET DE SUIVI D'UN SENTIER

6.1. Coûts des ressources humaines nécessaires

L'estimation des coûts nécessaires pour l'installation d'un sentier est dressée en fonction des étapes détaillées dans les sections 4 et 5. Étant donné qu'il existe deux grandes approches (l'approche exhaustive et l'approche pragmatique) pour l'installation des sentiers, un exemple de chaque approche a été considéré dans les paragraphes ci-dessous. À noter que les estimations réalisées dans ce guide sont basées sur l'expérience technique du collectif DYNAFAC et sont valables uniquement pour une entreprise forestière qui internalise toutes les activités d'installation et de suivi d'un sentier proposées dans cet ouvrage. Le recours à un prestataire externe à l'entreprise engendrera des coûts supérieurs aux estimations effectuées dans cette section.

6.1.1. Sentier installé par l'approche exhaustive

Afin d'estimer la durée, le nombre d'hommes-jours et les coûts des ressources humaines utilisées pour l'installation d'un sentier, nous avons considéré le scénario d'un sentier (i) s'étendant sur 400 ha, (ii) comportant 10 espèces à raison de 200 arbres par espèce, soit un total de 2.000 arbres et (iii) installé et suivi par une équipe interne de l'entreprise forestière.

Un tel sentier, à l'installation, nécessiterait environ 1.091 hommes-jours, soit 8.968.500 FCFA (13.671 €) en République du Congo, 9.226.000 FCFA (14.064 €) au Cameroun et 12.552.000 FCFA (19.134 €) au Gabon (Tableau 9). Annuellement,

les activités relatives aux suivis périodiques de la **croissance** et de la **mortalité**, à l'encodage et à la vérification des données puis au calcul des variables de dynamique (**accroissement** en diamètre et **taux de mortalité**) solliciteraient environ 255 hommes-jours, soit 2.255.000 FCFA (3.438 €) en République du Congo, 2.380.000 FCFA (3.628 €) au Cameroun, et 3.190.000 FCFA (4.863 €) au Gabon (Tableau 9).

Si l'option du suivi périodique de la **phénologie** était retenue par l'entreprise forestière, le budget global annuel de suivi du sentier serait majoré de 505 hommes-jours environ, soit 4.620.000 FCFA (7.043 €) en République du Congo, 4.950.000 FCFA (7.546 €) au Cameroun et 6.700.000 FCFA (10.213 €) au Gabon.

6.1.2. Sentier installé par l'approche pragmatique

Dans le cas d'un sentier installé par une approche pragmatique, il a été également considéré, pour les estimations, le cas d'un sentier unique comportant en moyenne 10 espèces. Nous avons également supposé que ce sentier serait installé et suivi par une équipe interne.

Les moyens humains nécessaires pour l'installation de ce sentier sont estimés à 963 hommes-jours, soit 8.255.000 FCFA (12.584 €) en République du Congo, 8.820.000 FCFA (13.445 €) au Cameroun et 11.860.000 FCFA (18.079 €) au Gabon (Tableau 10). Les activités relatives aux suivis périodiques de la **croissance** et de la **mortalité**, à l'encodage et à la vérification des données et au calcul

Tableau 9. Nombre d'hommes-jours (HJ) et coûts des ressources humaines utilisées pour l'installation et

Étape		Poste	Nombre de pers. par poste	Rendement	Nombre sentier		
					Installation (HJ)		
Choix des sites potentiels et des espèces cibles		Responsable aménagement	1	1 jour	1		
Prospection et sélection du site définitif		Chef équipe	1	3 jours	3		
		Agent équipe	4		12		
Prospection, marquage et caractérisation des arbres	Layonnage	Boussolier	1	2 km par jour	20		
		Machetteurs et aides	4		80		
	Prospection	Prospecteurs	5	6 ha par jour	333		
	Encodage données préinventaire et sélection des arbres		Technicien supérieur / Ingénieur	1	10 jours pour 10 espèces en moyenne	10	
	Installation	Chef équipe	1	30 arbres par jour	67		
		Agent équipe	4		267		
	Encodage données installation		Technicien supérieur / Ingénieur	1	10 jours pour 10 espèces en moyenne	10	
Mesures initiales de la croissance		Chef équipe	1	35 arbres par jour	57		
		Agent équipe permanente	4		229		
		Technicien supérieur / Ingénieur	1	2 jours	2		
Suivis périodiques de la croissance		Chef équipe	1	40 arbres par jour	-		
		Agent équipe permanente	4		-		
Encodage des données des suivis périodiques de la croissance		Technicien supérieur / Ingénieur	1	2 jours par an	-		
Contrôle et vérification des données de croissance		Responsable aménagement	1	1 jour par an	-		
Calcul de la vitesse de croissance et mortalité par espèce		Responsable aménagement	1	2 jours par an	-		
TOTAL (FCFA)							
TOTAL (EUR)							
OPTION :							
Suivis périodiques de la phénologie		Chef équipe	1	130 arbres en moyenne par jour (pour toute l'équipe)	-		
		Agent équipe	4		-		
Encodage des données des suivis périodiques de la croissance		Technicien supérieur / Ingénieur	1	12 jours par an	-		
Contrôle et vérification des données de croissance		Responsable aménagement	1	12 jours par an	-		
Calcul du diamètre de fructification régulière		Responsable aménagement	1	1 jour par an	-		
TOTAL (FCFA)							
TOTAL (EUR)							

le suivi d'un sentier implanté par l'approche exhaustive.

HJ unique	Coût journalier (FCFA)			Coût total au Cameroun (FCFA)		Coût total au Gabon (FCFA)		Coût total en R. Congo (FCFA)	
	Came-roun	Gabon	R. Congo	Installation	Suivis périodiques (par an)	Installation	Suivis périodiques (par an)	Installation	Suivis périodiques (par an)
-	30.000	40.000	30.000	30.000	-	40.000	-	30.000	-
-	15.000	20.000	12.500	45.000	-	60.000	-	37.500	-
-	7.500	10.000	7.500	90.000	-	120.000	-	90.000	-
-	7.500	10.000	8.500	150.000	-	200.000	-	170.000	-
-	5.000	7.500	5.500	400.000	-	600.000	-	440.000	-
-	7.500	10.000	7.500	2.500.000	-	3.333.000	-	2.500.000	-
-	20.000	35.000	20.000	200.000	-	350.000	-	200.000	-
-	15.000	20.000	12.500	1.000.000	-	1.333.000	-	833.000	-
-	7.500	10.000	7.500	2.000.000	-	2.667.000	-	2.000.000	-
-	20.000	35.000	20.000	200.000	-	350.000	-	200.000	-
-	15.000	20.000	12.500	857.000	-	1.143.000	-	714.000	-
-	7.500	10.000	7.500	1.714.000	-	2.286.000	-	1.714.000	-
-	20.000	35.000	20.000	40.000	-	70.000	-	40.000	-
50	15.000	20.000	12.500	-	750.000	-	1.000.000	-	625.000
200	7.500	10.000	7.500	-	1.500.000	-	2.000.000	-	1.500.000
2	20.000	35.000	20.000	-	40.000	-	70.000	-	40.000
1	30.000	40.000	30.000	-	30.000	-	40.000	-	30.000
2	30.000	40.000	30.000	-	60.000	-	80.000	-	60.000
				9.226.000	2.380.000	12.552.000	3.190.000	8.968.500	2.255.000
				14.064	3.628	19.134	4.863	13.671	3.438
PHÉNOLOGIE									
96	15.000	20.000	12.500	-	1.440.000	-	1.920.000	-	1.200.000
384	7.500	10.000	7.500	-	2.880.000	-	3.840.000	-	2.880.000
12	20.000	35.000	12.500	-	240.000	-	420.000	-	150.000
12	30.000	40.000	30.000	-	360.000	-	480.000	-	360.000
1	30.000	40.000	30.000	-	30.000	-	40.000	-	30.000
					4.950.000	-	6.700.000	-	4.620.000
					7.546	-	10.213	-	7.043

Tableau 10. Nombre d’hommes-jours (HJ) et coûts des ressources humaines utilisées pour l’installation et

Étape	Poste	Nombre de pers. par poste	Rendement	Nombre d’hommes-jours (HJ)		Coût	
				Installation	Suivis périodiques (par an)	Cameroun	
Choix des sites potentiels et des espèces cibles	Responsable aménagement	1	1 jour	1	-	30.000	
Prospection et sélection du site définitif	Chef équipe	1	3 jours	3	-	15.000	
	Agent équipe	4		12	-	7.500	
Prospection, marquage et caractérisation des arbres via l’approche pragmatique	Chef équipe	1	20 arbres par jour	100	-	15.000	
	Agent équipe	4		400	-	7.500	
	Technicien supérieur (encodage des données)	1	10 jours pour 10 espèces en moyenne	10	-	20.000	
Mesures initiales de la croissance	Chef équipe	1	23 arbres par jour	87	-	15.000	
	Agent équipe permanente	4		348	-	7.500	
	Technicien supérieur (encodage des données)	1	2 jours	2	-	20.000	
Suivis périodiques de la croissance	Chef équipe	1	40 arbres par jour	-	50	15.000	
	Agent équipe	4		-	200	7.500	
Encodage des données des suivis périodiques de la croissance	Technicien supérieur / Ingénieur	1	2 jours par an	-	2	20.000	
Contrôle et vérification des données de croissance	Responsable aménagement	1	1 jour par an	-	1	30.000	
Calcul de la vitesse de croissance et mortalité par espèce	Responsable aménagement	1	2 jours par an	-	2	30.000	
TOTAL (FCFA)							
TOTAL (EUR)							
OPTION :							
Suivis périodiques de la phénologie	Chef équipe	1	130 arbres par jour (pour toute l’équipe)	-	96	15.000	
	Agent équipe	4		-	384	7.500	
Encodage des données des suivis périodiques de la croissance	Technicien supérieur / Ingénieur	1	12 jours par an	-	12	20.000	
Contrôle et vérification des données de croissance	Responsable aménagement	1	12 jours par an	-	12	30.000	
Calcul du diamètre de fructification régulière	Responsable aménagement	1	1 jour par an	-	1	30.000	
TOTAL (FCFA)							
TOTAL (EUR)							

le suivi d'un sentier implanté par l'approche pragmatique.

journalier (FCFA)		Coût total au Cameroun (FCFA)		Coût total au Gabon (FCFA)		Coût total en R. Congo (FCFA)	
Gabon	R. Congo	Installation	Suivis périodiques (par an)	Installation	Suivis périodiques (par an)	Installation	Suivis périodiques (par an)
40.000	30.000	30.000	-	40.000	-	30.000	-
20.000	12.500	45.000	-	60.000	-	37.500	-
10.000	7.500	90.000		120.000		90.000	-
20.000	12.500	1.500.000	-	2.000.000	-	1.250.000	-
10.000	7.500	3.000.000		4.000.000		3.000.000	-
35.000	12.500	200.000	-	350.000	-	125.000	-
20.000	12.500	1.305.000	-	1.740.000	-	1.087.500	-
10.000	7.500	2.610.000		3.480.000		2.610.000	-
35.000	12.500	40.000	-	70.000	-	25.000	-
20.000	12.500	-	750.000	-	1.000.000	-	625.000
10.000	7.500	-	1.500.000	-	2.000.000	-	1.500.000
35.000	12.500	-	40.000	-	70.000	-	25.000
40.000	30.000	-	30.000	-	40.000	-	30.000
40.000	30.000	-	60.000	-	80.000	-	60.000
		8.820.000	2.380.000	11.860.000	3.190.000	8.255.000	2.240.000
		13.445	3.628	18.079	4.863	12.584	3.415

PHÉNOLOGIE

20.000	12.500	-	1.440.000	-	1.920.000	-	1.200.000
10.000	7.500	-	2.880.000	-	3.840.000	-	2.880.000
35.000	12.500	-	240.000	-	420.000	-	150.000
40.000	30.000	-	360.000	-	480.000	-	360.000
40.000	30.000	-	30.000	-	40.000	-	30.000
		-	4.950.000	-	6.700.000	-	4.620.000
		-	7.546	-	10.213	-	7.043

de variables de dynamique forestière (**accroissement** en diamètre et **taux de mortalité**) demanderaient 255 hommes-jours, soit 2.240.000 FCFA (3.415 €) en République du Congo, 2.380.000 FCFA (3.628 €) au Cameroun et 3.190.000 FCFA (4.863 €) au Gabon (Tableau 10). En cas de suivis périodiques de la **phénologie**, le montant global annuel pour les activités de suivis périodiques serait majoré, comme dans le cas précédent, de 4.620.000 FCFA (7.043 €) en République du Congo, 4.950.000 FCFA (7.546 €) au Cameroun et 6.700.000 FCFA (10.213 €) au Gabon, soit une estimation totale de 505 hommes-jours.

6.2. Autres coûts

Les autres coûts intègrent : (i) le kit de

travail pour les employés intervenant sur le sentier (EPI, machettes, limes...), (ii) les moyens de déplacement (véhicule, chauffeur et fonctionnement y compris) et (iii) les autres matériels utilisés sur le sentier (GPS, jumelles, décamètre, doubles échelles, pots de peinture, pinceaux, ruban adhésif, téléphone satellite...). L'ensemble de ces coûts peut être estimé à 5.550.000 FCFA, soit 8.460 € par an au Cameroun (Tableau 11). En considérant que les coûts au Cameroun sont généralement 36 % plus faibles qu'au Gabon et 3 % plus élevés qu'en République du Congo, les autres coûts relatifs à l'installation ou au suivi d'un sentier peuvent être estimés à 7.548.000 FCFA (11.506 €) au Gabon et 5.383.500 FCFA (8.207 €) en République du Congo.

Tableau 11. Estimation des autres coûts nécessaires pour l'installation et le suivi d'un sentier au Cameroun.

Rubrique	Unité du coût	Coût unitaire (FCFA)
Kit basique de travail par employé pendant les phases d'installation et de suivis périodiques : EPI (vêtement de travail, chaussures de sécurité, casque, gants...), machettes, limes, etc.	Forfait annuel	1.600.000
Véhicule pick-up + chauffeur + fonctionnement pour les équipes d'installation et de suivi du sentier	Amortissement annuel	3.500.000
Autres matériels de travail : GPS, jumelles, décamètre, doubles échelles, pots de peinture, téléphone, pinceaux, ruban adhésif, fiche de collecte...	Amortissement annuel	450.000
TOTAL (FCFA)		5.550.000
TOTAL (EUR)		8.460



7. GLOSSAIRE

Accroissement (diamétrique) : différence entre les valeurs de diamètre mesurées à la fin et au début d'un intervalle de temps. La formule de calcul de l'**accroissement diamétrique** est présentée à l'équation 1 de cet ouvrage.

Assiette annuelle de coupe (AAC) : zone prévue pour être exploitée sur une année en suivant un plan annuel des opérations dans une **concession forestière**.

CITES : Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction. Il s'agit d'un accord international entre États qui a pour but de veiller à ce que le commerce international des spécimens d'animaux et de plantes sauvages ne menace pas la survie de ces espèces.

COMIFAC : Commission des Forêts d'Afrique centrale. Créée en décembre 2002 et instituée en 2005 avec l'adoption par les chefs d'État du traité constitutif, elle est l'unique instance d'orientation, de décision et de coordination des actions et initiatives sous-régionales en matière de conservation et de gestion durable des écosystèmes forestiers d'Afrique centrale. Elle est dotée d'un plan de convergence qui est le cadre de référence de toutes les interventions à mener pour atteindre les objectifs convergents de conservation et de gestion durable des écosystèmes forestiers de la sous-région. Elle regroupe 10 pays : Burundi, Cameroun, Congo, Gabon, Guinée équatoriale, République centrafricaine, République démocratique du Congo, Rwanda, Sao Tomé-et-Principe et Tchad.

Concession (forestière) : zone bien délimitée de la forêt appartenant au domaine permanent de l'État et concédée à une entreprise par adjudication publique pour une durée généralement égale à la durée de la **rotation**. La dénomination officielle d'une **concession** varie en fonction du pays tout comme la superficie maximale d'une **concession** attribuée à une entreprise. Exemple : au Cameroun, elle est fixée à 200.000 ha et au Gabon à 600.000 ha.

Croissance (diamétrique) : processus d'évolution du diamètre d'un arbre.

Densité de population : nombre d'arbres appartenant à une espèce donnée par unité de surface. Dans cet ouvrage, elle est exprimée en nombre d'arbres par hectare.

DFR : acronyme de « diamètre de fructification régulière ». Il représente le diamètre seuil à partir duquel l'arbre commence à fructifier efficacement (Encadré 3). Il est spécifique à chaque espèce et est capital pour l'évaluation de l'impact de l'exploitation forestière sur les semenciers (et donc la **régénération**).

DHP : acronyme de l'expression « diamètre à hauteur de poitrine ». Il s'agit d'une mesure standard du diamètre d'un arbre effectuée à 1,30 m au-dessus du niveau du sol pour un arbre droit à tronc cylindrique. Cependant, il existe certains cas particuliers pour la mesure du **DHP** en fonction du terrain (sol en pente), de la présence ou non de contreforts ou de déformations du tronc de l'arbre. Ces cas particuliers sont présentés dans Rondeux (1993)²⁰, mis à jour dans Picard et

²⁰ Rondeux J., 1999. *La mesure des arbres et des peuplements forestiers*. Gembloux, Belgique : Les Presses agronomiques de Gembloux.

Gourlet-Fleury (2008)¹⁰, *op. cit.*, p. 30 et Forni et al. (2019)¹⁶, *op. cit.*, p. 68.

Dioïque : se dit d'une espèce végétale portant sur des pieds séparés des fleurs unisexuées mâles (à étamines) et femelles (à pistil).

Diversité génétique : mesure de la variation génétique au sein d'une population ou d'une espèce.

DME : acronyme de « diamètre minimum d'exploitabilité » d'un arbre. Il représente le diamètre limite en dessous duquel la coupe d'un arbre n'est pas autorisée. Le **DME** est le principal instrument de gestion forestière. Il varie en fonction des espèces et est fixé par les décrets légaux. Il peut être revu à la hausse selon les prescriptions du plan d'aménagement.

Dynamique démographique : processus faisant intervenir des changements quantitatifs et qualitatifs dans une population ou un **peuplement** d'arbres. Son étude repose sur la taille et la composition par âge des populations d'arbres en tant que systèmes dynamiques, ainsi que les processus biologiques et environnementaux qui les déterminent (**croissance, mortalité, recrutement**).

Endémisme : présence exclusive des populations naturelles d'une espèce dans une zone géographique donnée.

Espèce grégaire : espèce dont les individus ont tendance à se rassembler ou à vivre en groupe sur un espace géographique limité.

Exploitation sélective : technique d'exploitation forestière consistant à abattre un nombre réduit d'arbres appartenant à

certaines espèces et d'une certaine qualité. Elle est dépendante des exigences du marché.

Facteurs abiotiques : facteurs physico-chimiques caractérisant un écosystème et influençant la dynamique de population d'une espèce donnée. Ces facteurs sont liés au climat et au sol.

Facteurs biotiques : facteurs liés au monde vivant influençant la dynamique de population d'une espèce donnée. Ils peuvent concerner la compétition, la symbiose, la pollinisation, la dispersion des graines...

Héliophile : espèce végétale exigeante en lumière dans le jeune âge. En fonction des exigences variant selon le stade de développement, on parle d'espèces **héliophiles** non pionnières et pionnières. Les premières se développent dès le stade de semis en milieu ombragé tandis que les secondes préfèrent un milieu plutôt ouvert.

Hermaphrodite : se dit d'une espèce végétale ayant des organes mâles et femelles au sein de la même fleur.

Monoïque : se dit d'une espèce végétale portant sur un même pied des fleurs mâles et des fleurs femelles.

Mortalité (taux de) : voir « **taux de mortalité annuelle** ».

Parcelle (permanente) : surface forestière délimitée dans laquelle les arbres sont inventoriés de façon exhaustive et marqués individuellement de façon durable, permettant d'effectuer des suivis périodiques sur tous les arbres atteignant un seuil de diamètre fixé généralement à 10 cm. Elle a le plus souvent une forme carrée ou rectangulaire, plus rarement cir-

culaire (pour les parcelles de petite taille). Si elle est de taille suffisante, une parcelle permanente permet de quantifier l'impact de l'exploitation forestière sur la structure et la dynamique démographique : (i) des populations d'espèces cibles et (ii) des peuplements dans leur ensemble, en prenant soin de séparer les effets potentiels du site (topographie, type de sol, pluviométrie) et les perturbations anciennes, de l'effet de l'exploitation forestière. Elle convient pour les espèces grégaires et pour le suivi de la dynamique générale du peuplement car elle permet de déterminer les trois processus de la dynamique démographique : croissance, mortalité et recrutement. De plus amples détails sur les parcelles permanentes sont fournis dans l'ouvrage de la COMIFAC rédigé par Picard et Gourlet-Fleury (2008)¹⁰, *op. cit.*, p. 30.

Peuplement : ensemble des populations d'arbres présentes sur une surface donnée.

Peuplement monodominant : peuplement forestier dont 60 % du couvert forestier est constitué d'une seule espèce ligneuse (Hart, 1995)²¹.

Phénologie (chez les végétaux) : variabilité des phases de développement saisonnier (feuillaison, floraison, fructification) au cours du temps. La connaissance de la phénologie est essentielle pour (i) comprendre l'écologie des espèces ligneuses commerciales, (ii) programmer les interventions sylvicoles en fonction des périodes de fructification et (iii) déterminer les diamètres de fructification.

Recrutement (taux de) : voir « taux de recrutement ».

Régénération naturelle : stock de plantes et de jeunes plants dans une communauté végétale.

Rotation : temps séparant deux passages successifs de l'exploitation sur la même assiette annuelle de coupe. Elle représente également la durée pendant laquelle l'exploitation parcourt l'entièreté des assiettes annuelles de coupe de la concession.

Structure de population : répartition des individus par classe de diamètre ou classe de hauteur pour une espèce donnée inventoriée sur une surface déterminée. Dans ce guide, l'expression "structure de population" fait référence à la répartition des individus par classe de diamètre.

Taux de mortalité annuelle : ratio (souvent exprimé en pourcentage) entre le nombre d'arbres morts et le nombre total d'arbres suivis au cours de la période. L'équation de Sheil (1995)¹⁸, *op. cit.*, p. 92 (Éq. 2, section 5.2.2) est la plus utilisée pour le déterminer lorsque le temps écoulé entre deux campagnes de mesures dépasse un an.

Taux de reconstitution : statistique (Encadré 1) indiquant la proportion d'arbres exploitables après une rotation par rapport à ceux exploités au cours de la rotation en cours.

Taux de recrutement : nombre de jeunes arbres ayant dépassé une certaine valeur

²¹ Hart T.B., 1995. Seed, seedling and sub-canopy survival in monodominant and mixed forests of the Ituri Forest, Africa. *Journal of Tropical Ecology*, **11**, 443–459.

seuil de diamètre par unité de surface et unité de temps, par rapport à l'effectif initial. Cette valeur seuil de diamètre est appelée diamètre de **recrutement** ou diamètre de précomptage. Sur les **parcelles permanentes**, le diamètre de **recrutement** est généralement fixé à 10 cm. De façon pratique, la mesure du **recrutement** pose quelques contraintes : (i) elle impose un inventaire systématique de tous les individus du **peuplement** qui approchent le diamètre seuil de précomptage ; (ii) certains individus ayant atteint le diamètre de précomptage peuvent être oubliés. Pour minimiser ce risque, il est recommandé d'effectuer les inventaires chaque année.

UICN : Union internationale pour la conservation de la nature, elle a été

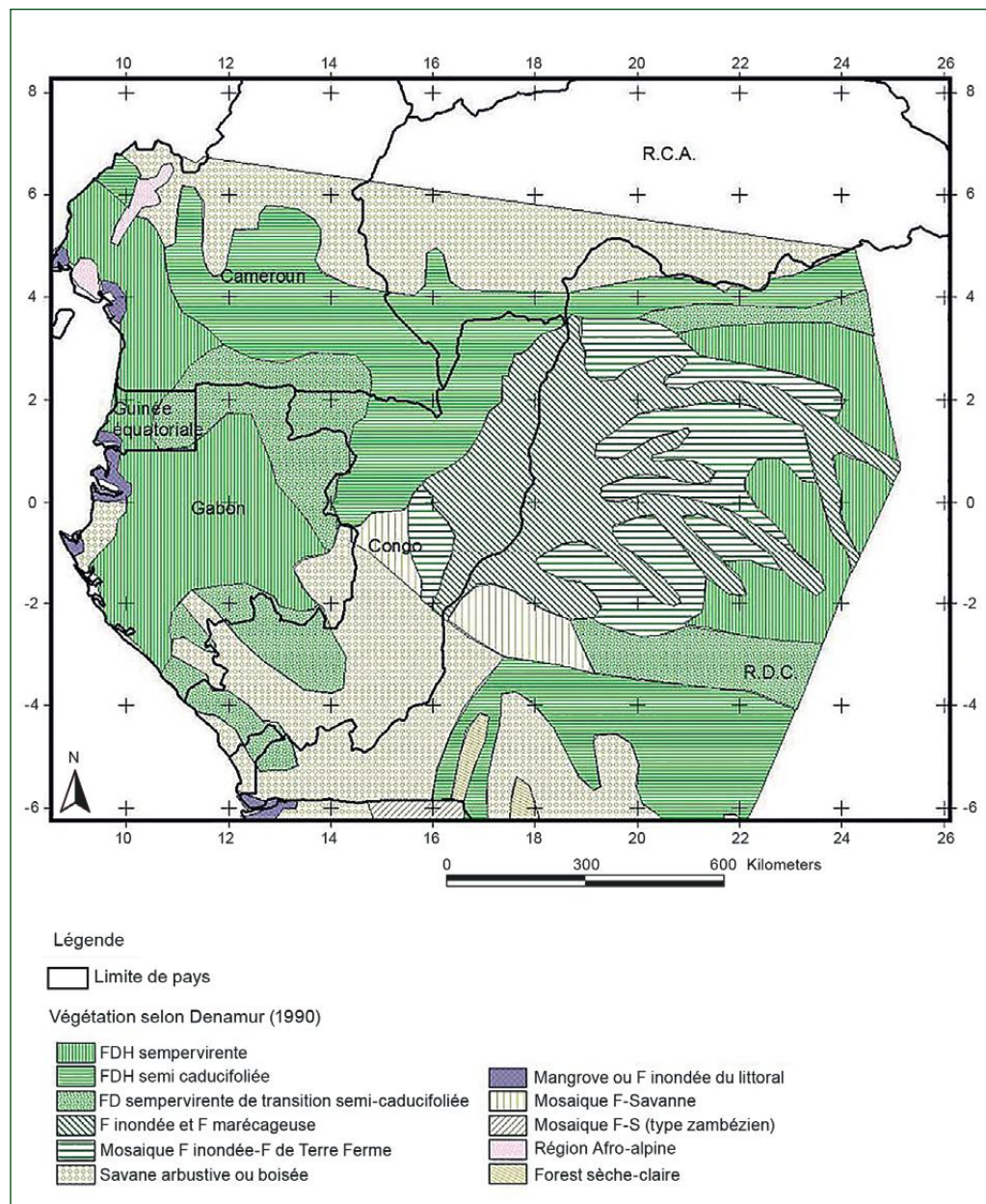
créée en 1948. Son but est d'influencer, d'encourager et d'assister les sociétés du monde dans la conservation de la nature, ainsi que de s'assurer que l'utilisation des ressources naturelles est faite de façon équitable et durable. Pour suivre l'état de la biodiversité dans le monde, l'**UICN** s'appuie sur un indicateur privilégié, appelé la liste rouge de l'**UICN**.

UTM : *Universal Transverse Mercator*. Type de projection cartographique de la surface de la terre.

WGS 84 : *World Geodetic System 1984* est un système géodésique du monde, c'est-à-dire un système de référence permettant d'exprimer les positions géographiques au voisinage de la terre.



8. ANNEXES

Annexe 1. Carte des types forestiers en Afrique centrale selon Denamur (1990)²².

²² De Namur C., 1990. *Aperçu sur la végétation de l'Afrique centrale atlantique. Paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique*. Paris : ORSTOM.

Annexe 2. Modèle de fiche d'inventaire.

FICHE D'INVENTAIRE						
Concession :				AAC :		
Date :						
Opérateurs :						
Espèce	N° arbre	Classe de diamètre	Conformation du tronc (1 / 0)	GPS		
				UTM	X	Y

Annexe 3. Modèle de fiche d'installation d'un sentier.

FICHE D'INSTALLATION D'UN SENTIER (CROISSANCE – PHÉNOLOGIE)												
Date : <input type="text"/>			Essence : <input type="text"/>			Opérateurs : <input type="text"/>				Page : <input type="text"/> / <input type="text"/>		
Concession	AAC	N° arbre	GPS			Statut dominance	Qualité fût	Dist RR* (30 m ?) 0 / 1	Diamètre		Remarques	
			UTM	X	Y				H	D* (cm)		

* Dist RR = distance de l'arbre par rapport au réseau routier ; H mesure = hauteur de mesure du diamètre ; D = diamètre.

Annexe 4. Fiche de suivi de la croissance et de la mortalité.

FICHE DE SUIVI DE LA CROISSANCE ET DE LA MORTALITÉ									
Date : <input style="width: 100px;" type="text"/>		Espèce : <input style="width: 100px;" type="text"/>		Opérateurs : <input style="width: 150px;" type="text"/>			Page : <input style="width: 40px;" type="text"/> / <input style="width: 40px;" type="text"/>		
Concession	AAC	N° arbre	Diamètre		Statut dominance	Mortalité	Observ.*	Remarques	
			H diam	Diam2 (cm)					

*Observ. = observations effectuées lors du suivi de la croissance d'un arbre (Tableau 4)
 L'équipe doit partir sur le terrain munie des données de la précédente campagne : cela est crucial pour limiter les risques d'erreurs.

Annexe 5. Fiche de suivi de la **phénologie**.

FICHE DE SUIVI DE LA PHÉNOLOGIE										
Date : <input style="width: 80%;" type="text"/>	Espèce : <input style="width: 85%;" type="text"/>	Opérateurs : <input style="width: 95%;" type="text"/>			Page : <input style="width: 40%;" type="text"/> / <input style="width: 40%;" type="text"/>					
Concession	AAC	N° arbre	Feuilles (%)			Fleurs	Fruits (%)		Remarques	
			Perdues	Anciennes	Nouvelles		Immatures	Matures		



Sentiers de suivi de la croissance, de la mortalité et de la phénologie des arbres tropicaux : Guide méthodologique

La durabilité de l'aménagement des forêts naturelles d'Afrique centrale est tributaire d'une connaissance approfondie de la dynamique démographique des populations d'arbres commerciaux. Cette dynamique est étudiée dans des dispositifs destinés à être suivis sur le long terme, dénommés parcelles et sentiers. Si la démarche méthodologique d'installation et de suivi des parcelles est assez bien documentée, celle des sentiers l'est moins.

Le présent ouvrage vient combler ce vide en capitalisant l'expérience accumulée depuis plus de 20 ans par les membres du collectif DYNAFAC, un collectif créé à l'initiative de l'ATIBT, du CIRAD, de Nature+ et de Gembloux Agro-Bio Tech. Il s'agit d'un guide pratique et illustré explicitant la démarche nécessaire à l'installation et au suivi de ces sentiers. Outre les procédures techniques, le guide évalue également les coûts en tenant compte des spécificités économiques de différents pays de la sous-région.

En s'adressant à l'ensemble des parties prenantes de l'aménagement et de la gestion des forêts d'Afrique, l'ouvrage a pour ambition de promouvoir la mise en œuvre de dispositifs robustes et efficaces à la portée de tous.

