DE L'HERBIER À LA CARTE

Représentation cartographique des collections et des données botaniques

par Jean-Louis Guillaumet
Muséum national d'histoire naturelle, 73 rue Buffon 75005 Paris France
jlguillau@gmail.com

Hervé Chevillotte, Catherine Valton
IRD France-Nord, 32 avenue Henri Varagnat, F-93143 Bondy cedex, France
herve.chevillotte@ird.fr, catherine.valton@ird.fr

Charles Doumenge, Nicolas Fauvet
CIRAD, Campus international de Baillarguet TA-C105/D, F-34398 Montpellier cedex 5, France
charles.doumenge@cirad.fr , nicolas.fauvet@cirad.fr

Jean-Michel Onana
Herbier national du Cameroun, BP 1601, Yaoundé, Cameroun
jmonana2002@yahoo.fr

La représentation cartographique des collections et des données botaniques, en Afrique tropicale humide, a commencé à se développer au xx^e^ siècle avec les travaux en phytogéographie du Jardin botanique national de Belgique, de R. Letouzey, J. Vivien et J.-J. Faure au Cameroun et de J.B. Hall et M.D. Swaine au Ghana, dans les années 70 et 80. Le projet de réalisation d'un « atlas de répartition des arbres commercialisés d'Afrique tropicale humide » est né de la prise de conscience de la dégradation accélérée des forêts tropicales humides et de la nécessité de mettre en place des politiques d'exploitation durable à partir du milieu des années 90. L'originalité de l'approche présentée ici réside dans un processus de recherche, de contrôle et de standardisation des données d'origine et de nature différentes dans le but de réaliser des cartes de répartition, à différentes échelles, d'espèces botaniques d'Afrique tropicale humide exploitées pour leur bois. Quelques résultats sont exposés à partir de la méthodologie et des outils géomatiques (http://phyto-afri.ird.fr) appliqués aux données botaniques disponibles pour le Cameroun.

1 Introduction

Au cours des temps, l'étude des plantes a d'abord été motivée par leurs propriétés utiles à l'homme, en particulier alimentaires et médicinales. À cette fin, il fallait aussi pouvoir les identifier, et donc les décrire. La nécessité de connaître la provenance des espèces, de préciser leur aire de répartition[1] en fonction du milieu physique, d'en déceler les causes, n'est apparue que relativement tard, à partir de la fin du XVIII^e^ siècle. Et ce n'est qu'au XX^e^ siècle que cet intérêt pour les cartes et la biogéographie s'est réellement développé (Stork et Lebrun 1988).

En Afrique tropicale humide, la connaissance des aires de répartition des espèces arborescentes reste très parcellaire. Les données sont peu nombreuses et rares sont les pays pour lesquels nous disposons d'observations exhaustives sur de vastes territoires, permettant de dresser des cartes de répartition complètes et fiables. Les exceptions à cette règle concernent le Cameroun (Letouzey 1978, 1979) et le Ghana (Hall et Swaine 1981). En 1969, le Jardin botanique national de Belgique entamait la production de cartes de distribution à partir d'échantillons d'herbiers (AETFAT 1969-1994), mais cette série de cartes resta inachevée – 1 334 taxons furent traités – et, surtout, ne bénéficia pas des moyens informatiques actuels. Les révisions taxonomiques sont très généralement accompagnées de cartes de présence des espèces mais un ouvrage complet sur les arbres des forêts denses humides africaines fait encore défaut, en particulier pour les espèces exploitées.

1 Quelques précisions de vocabulaire : il ne faut pas confondre distribution = disposition spatiale (des végétaux) en un lieu donné et répartition = disposition géographique d'un taxon sur toute son aire (Da Lage & Métaillé 2000, p.171 et 456).

Le projet de réaliser un « atlas de répartition et de distribution des arbres commercialisés d'Afrique tropicale humide » est né d'un certain nombre d'événements survenus à la fin des années 90 et au début des années 2000. La prise de conscience de l'accélération de la déforestation et de la dégradation des forêts tropicales humides, la relative précarité de la ressource en bois et la nécessité de son renouvellement impliquent la mise en place d'une gestion raisonnée de ces forêts. Ainsi, en 1998, des scientifiques et experts réunis à Libreville, au Gabon[2], recommandèrent la réalisation de cartes de répartition des espèces commercialisables d'Afrique tropicale humide. Enfin, autour des décennies 1990 et 2000, débuta l'informatisation des collections de plusieurs herbiers africains dans le cadre du projet RIHA[3], mené en partenariat avec l'IRD[4] et l'erbier du Muséum national d'histoire naturelle (MNHN) de Paris.

Il y avait donc, d'une part, une demande exprimée par les forestiers et, d'autre part, des projets de capitalisation des informations contenues dans les herbiers auxquelles venaient s'ajouter les possibilités d'utiliser les inventaires forestiers, inventaires réalisés sur de très vastes superficies.

L'originalité de l'approche présentée ici réside dans un processus de recherche, de contrôle et de standardisation des données d'origine et de nature différentes. En premier lieu, il a fallu valider les données liées aux noms scientifiques, puis localiser précisément les lieux de récoltes ou d'observations en vue de leur intégration dans une base de données et un Système d'information géographique (SIG). La méthode détaillée ci-après est utilisée pour l'établissement de cartes de répartition des essences commercialisées du Cameroun et en cours d'extension à l'ensemble de l'espace tropical humide africain.

2 Les cartes de répartition des végétaux

La connaissance de la répartition des végétaux constitue l'un des fondements de toute phytogéographie raisonnée et permet de bâtir des hypothèses scientifiques solides (Letouzey 1978 ; Lebrun 2001). Les cartes de répartition peuvent être établies à tous les niveaux taxonomiques, familial, générique, spécifique et autres rangs intermédiaires.

Ces cartes se présentent sous de nombreuses modalités (Lebrun et Stork 1977, 1981 ; Stork et Lebrun 1988), réductibles à deux catégories essentielles en fonction de la nature des données utilisées :

- Les cartes par généralisation, basées sur des observations de terrain, ponctuelles ou provenant de relevés et d'inventaires divers. La répartition ou l'aire d'occurrence (UICN 2001) est alors représentée par des aires générales d'occupation (fig. 1b), plus ou moins extrapolées en se référant très souvent aux limites des grandes formations végétales. Le projet PROTA (Plant Resources of Tropical Africa) se contente de distinguer les pays où la plante a été signalée (fig. 1a).

- Les cartes par points ou aires d'occupation (UICN, 2001), à partir des échantillons dûment localisés, séchés et conservés dans une structure ad hoc, en général un herbier, et/ou des observations sur le terrain, elles aussi géoréférencées (fig. 1c, 1d).

Entre ces deux types de représentation, il existe de multiples variantes. À titre d'exemple, nous citerons la méthode utilisée par R. Letouzey dans ses « Documents phytogéographiques » (1978, 1979), dont la parution a été malheureusement trop tôt interrompue. Les données de présence reposent sur des observations de terrain au Cameroun, rapportées aux degrés carrés, eux-mêmes découpés en carrés de 10 minutes sexagésimales. Chaque carré, d'environ 18 km de côté, concerné par la présence d'une espèce, a été marqué en son centre par un point dont le diamètre varie en fonction de son abondance relative, estimée en trois classes d'abondance (fig. 1e). À partir de cette représentation, assortie d'observations personnelles, Vivien et Faure (1985) proposent des cartes mixtes indiquant « les zones où une espèce donnée existe avec certitude ». De ce fait, une telle carte (fig. 1f), matérialisant les contours des aires de répartition des espèces, est un compromis entre la méthode par généralisation et la méthode par points.

3 Bases méthodologiques

L'objectif consiste à réaliser des cartes de répartition à différentes échelles, d'espèces végétales d'Afrique tropicale humide exploitées pour leur bois-matière première. Les outils géomatiques doivent aider à construire des cartes adaptées aux besoins des utilisateurs. Ils doivent aussi permettre de com-

2 Réunion de Libreville « La gestion des forêts denses africaines aujourd'hui », du 12 au 16 octobre 1998 - projet FORAFRI - conjointement exécuté par le CIRAD et le CIFOR. (Nasi et al. 1999).

3 Réseau d'informatisation des herbiers africains.

4 Institut de recherche pour le développement (France)

parer la répartition des espèces et de croiser ces informations avec des couches thématiques (sols, climats, exploitation, aires protégées…) dans le but d'identifier les paramètres explicatifs potentiels de répartition et de pression sur ces espèces.

Ces cartes de répartition peuvent être construites à partir de données issues des herbiers, des relevés floristiques de différentes origines, des inventaires forestiers eux-mêmes réalisés selon des protocoles multiples et d'autres sources éventuelles. Si les premières données sont relativement simples à obtenir, il n'en est pas de même des suivantes. Les relevés floristiques dus à des botanistes-écologistes mais aussi à des chercheurs de disciplines voisines, sont, pour la majorité, rencontrés dans des thèses et rapports rarement publiés et, de ce fait, difficiles à retrouver. Les inventaires forestiers sont nombreux et peu accessibles car issus de la littérature grise (rapports d'expertise, rapports techniques, documents scientifiques).

Les espèces retenues dans un premier temps sont des arbres exploités pour leur bois, d'après une liste établie par l'ATIBT5 (1986). Cette liste comprend des « noms pilotes » (ou noms commerciaux), proposés à l'ensemble de la communauté des producteurs et utilisateurs de bois, assortis de leurs équivalents botaniques, parfois approximatifs[6].

3.1 Le matériel d'étude : les arbres commercialisés d'Afrique tropicale humide

Les espèces commercialisées (ou « essences forestières ») sont de grands arbres exploités pour leur bois, généralement abondants et relativement bien identifiables sur le terrain, tant par les forestiers que par les botanistes. Les échantillons de ces espèces arborées ne sont pas souvent représentés dans les herbiers à cause des difficultés de collecte des fleurs et des fruits, dues à la hauteur des arbres. Elles sont aussi rarement collectées car, étant communes, elles peuvent donner l'impression d'être connues et identifiables à vue, ce qui est loin d'être toujours le cas (Détienne 1979). On pourrait presque dire que, plus une plante est de grande dimension et abondante, moins elle est représentée dans les collections et moins sa biologie et son comportement sont connus[7].

Par contre, les espèces commercialisées ont fait et continuent de faire l'objet d'inventaires de la part des utilisateurs du bois, destinés à estimer l'importance des ressources : organismes techniques ou scientifiques internationaux et nationaux (FAO[8] et CIRAD[9] en particulier), gestionnaires nationaux et exploitants. Ces inventaires forestiers identifient les espèces botaniques mais ce n'est pas toujours le cas, en particulier dans des groupes d'espèces difficiles à déterminer sur le terrain tels que la sous-famille des Leguminosae-Caesalpinioidae. Ce sont alors des essences forestières qui sont inventoriées incluant, sous une appellation commerciale commune, plusieurs espèces voire plusieurs genres botaniques.

3.2 L'espace considéré

La région prise en compte est le domaine forestier tropical humide, caractérisé par la présence de forêts denses humides sempervirentes et semi-décidues, de savanes incluses et périforestières et des formations associées. Cet ensemble couvre le « Domaine de la forêt dense de basse et moyenne altitudes – Centre régional d'endémisme guinéo-congolais » et le « Domaine des savanes diversement arborées et des forêts denses semi-décidues – Zones de transition régionale guinéo-congolaises / soudaniennes et zambéziennes » (White 1986 ; Guillaumet et al. 2009). Il est fractionné en deux massifs, occidental et central, séparés par l'avancée des savanes togolaises, béninoises et nigérianes jusqu'au littoral du golfe de Guinée. En Afrique de l'Est, au-delà des montagnes orientales, on retrouve aussi quelques fragments isolés de forêts, comparables entre elles, où sont signalées quelques unes des espèces retenues. Au final, les pays considérés sont au nombre de 10 dans le massif occidental (Sénégal, Gambie, Guinée Bissao, Sierra Leone, Guinée, Liberia, Côte d'Ivoire, Ghana, Togo, Bénin) et de 13 au centre et à l'est (Nigeria, Cameroun, République centrafricaine, Guinée équatoriale, São Tomé et Príncipe, Gabon, Congo, Cabinda, République démocratique du Congo, Ouganda, Rwanda, Burundi, Kenya, Tanzanie).

3.3 La représentation cartographique

Les cartes de répartition des essences forestières et des espèces botaniques sont réalisées à partir d'un support géographique constitué par des couches

5 Association technique internationale des bois tropicaux

6 La préoccupation essentielle des forestiers et industriels du bois étant la caractéristique du matériau bois, et non son identité botanique, il est logique qu'ils ne s'en soucient que marginalement.

7 C'est ainsi que la séparation des sexes chez l'okoumé ne fut mise en évidence que bien des années après la découverte de cet arbre, pourtant d'une grande importance économique (Grison 1976 et 1978).

8 Food and Agriculture Organization of the United Nations

9 Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (France)

SIG : le trait de côte, les frontières des États, le relief (à partir d'un modèle numérique de terrain), le réseau hydrographique, les principales localités, les zones de végétation. Nous y rajoutons les stations de collectes et celles des relevés floristiques et des inventaires. Il s'agit donc de réunir, en les distinguant précisément, les lieux de récolte des espèces, ceux des relevés et des inventaires. Ces distinctions sont matérialisées par des symboles et des couleurs différents (tableau 1).

4 Origines des données

Quatre sources principales de données ont été identifiées et retenues : les herbiers, les inventaires forestiers, les relevés floristiques, les publications taxonomiques spécialisées ; en outre, il peut être nécessaire d'obtenir des informations supplémentaires à partir des carnets de collecte, des cartes publiées, des collections d'objets (fruits et bois par exemple). Des échantillons de feuilles ou d'écorces, collectés aux fins d'études génétiques, permettent actuellement de constituer des collections susceptibles de compléter ces sources de données.

4.1 Herbiers

Ces collections de plantes séchées, destinées aux études botaniques, renferment les échantillons de référence ayant servi à la description des nouvelles espèces. Elles représentent un potentiel d'information de première valeur. Outre la référence à l'objet, sur lequel on peut toujours revenir, les étiquettes annexées fournissent des informations variées sur la phénologie, l'écologie, l'habitat, etc. Ces informations varient notablement en fonction des époques et des collecteurs. En contrepartie, les grands arbres sont mal représentés[10] pour plusieurs raisons déjà évoquées ci-dessus. Les herbiers à consulter sont les herbiers nationaux africains et les grands herbiers européens, les uns et les autres étant plus ou moins en voie de numérisation.

4.2 Inventaires forestiers

Les inventaires forestiers constituent une source considérable d'information : outre la présence de l'espèce, ils contiennent des données sur l'abondance – nombre d'individus – et la structure diamétrique des populations, éléments qui permettent d'évaluer la ressource disponible et sa dynamique. Ces inventaires varient en fonction de leurs objectifs, des essences prises en compte, des méthodes et de leur ancienneté.

4.3 Relevés floristiques

Ce sont des listes de plantes établies par des botanistes ou des chercheurs d'autres disciplines ayant besoin de décrire une formation végétale ou de recenser la flore présente en un endroit donné. Ces relevés sont, en général, localisés et, actuellement, géoréférencés. Ils peuvent aussi inclure des mesures quantitatives (nombre d'individus, diamètre du tronc, hauteur), des observations sur l'état phénologique, les impacts humains… Il reste, dans certains cas, un doute sur la détermination : erreur de l'auteur du relevé, changement nomenclatural[11], utilisation de noms vernaculaires, absence ou insuffisance du matériel d'herbier.

4.4 Flores, monographies, révisions

Indispensables pour la constitution du référentiel taxonomique, ces travaux sont d'autant plus précieux qu'ils citent le matériel étudié, les localités et l'état phénologique. Ces travaux botaniques sont en général agrémentés de cartes de répartition des espèces, basées sur du matériel d'herbier examiné par l'auteur.

4.5 Autres sources potentielles

Diverses autres sources sont susceptibles d'être utilisables : anciennes cartes, carnets de terrain, xylothèques, carpothèques, fonds documentaires du Laboratoire de phanérogamie du MNHN, du CIRAD ou d'autres instituts de recherche (Belgique, Grande-Bretagne, Pays-Bas….).

4.6 Valeur des données en fonction de leur origine

Les informations essentielles pour la réalisation de cartes de répartition sont l'identification précise des plantes et leur exacte localisation. L'identité botanique n'est, nous l'avons déjà dit, rigoureusement exacte que pour les spécimens d'herbier. Toutefois, si le lieu de collecte est indiqué, il reste souvent très approximatif – l'usage du GPS ne s'étant généralisé que très récemment[12] – et il n'est pas toujours aisé de retrouver une localité ancienne, qui a pu disparaître, changer de nom ou simplement de lieu. En fait, à l'exception des collectes les plus récentes avec longitude et latitude relevées sur le terrain, les coordonnées géographiques restent relativement imprécises. Les autres informa-

10 L'essence forestière connue des exploitants sous le nom acuminata, qui désigne une variété d'Entandrophragma (A. congoense) est représentée uniquement à Paris par trois planches d'une même récolte.

11 D'après Schnell (1952), l'emien du massif du Nimba en Guinée était Alstonia congensis, qui s'avéra appartenir à l'espèce A. boonei. L'aire de distribution d'A. congensis ne dépasse pas le Togo à l'ouest, alors qu'A. boonei s'étend jusqu'à la Casamance. Les aires des deux espèces se superposent en partie du Togo à l'Afrique centrale (Sidiyasa, 1998).

12 Le GPS de précision, d'abord à usage militaire, fut mis à la disposition des civils à la fin des années 80.

tions ne sont mentionnées qu'à titre indicatif et peuvent être utilisées pour des développements ultérieurs plus que pour la seule répartition des espèces.

Concernant la localisation des inventaires forestiers anciens, dans certains cas les unités primaires d'inventaire peuvent être assez précisément localisées, car elles ont généralement été reportées sur des cartes (souvent au 1 : 200 000). Dans d'autres cas, les données primaires ont été perdues et les résultats ne sont connus que de manière synthétique, sur des surfaces de plusieurs dizaines de milliers d'hectares ; l'information est alors située sur le centre de gravité de l'aire inventoriée.

5 Organisation des données

5.1 Informatisation des données d'herbiers et des relevés floristiques

Les données fournies par les étiquettes d'herbier, les carnets de terrain, les relevés floristiques et la bibliographie ont été informatisées à travers le modèle de bases de données RIHA (Chevillotte & Florence 2006). Ces données sont réparties dans plusieurs entités qui sont détaillées ci-dessous (fig. 2), en relation avec la localisation géographique. Celle-ci est organisée selon une structure hiérarchique, comprenant les noms utilisés pour désigner une même localité. En effet, très souvent, l'écriture varie en fonction de la langue du collecteur, des changements au cours des temps, des doublons, etc.

L'information la plus précise est fournie par la station de récolte (coordonnées GPS) rattachée à une localité qui dépend d'une division administrative (département, province, région ou État) et d'une carte de référence. L'entité « localité » contient une liste ou « gazetier » des noms de lieux ou de localités du pays concerné par la gestion informatisée de sa flore. Les différents degrés de précision apportés par les coordonnées géographiques permettent de coupler les données du modèle avec un Système d'information géographique et de produire les cartes de répartition par espèce.

5.2 Informatisation des données d'inventaires forestiers

Les cartes figurant les inventaires ont été scannées et calées avec le logiciel MapInfo. Chaque unité primaire (i.e. la parcelle d'inventaire la plus petite) a été saisie manuellement en mode point. Les limites d'inventaires ont été saisies sur un fond cartographique issu du Digital Chart of the World (DCW).

L'ensemble des données d'inventaires forestiers a été intégré directement dans MapInfo et ArcGis (fig. 3). Trois types de représentation ont été retenus :

- en mode point (présence des espèces),
- en symboles proportionnels à l'abondance des espèces sur chaque unité primaire,
- en carte d'abondance obtenue par la méthode d'interpolation IDW (Inverse Distance Weighted).

Les cartes relatives à l'abondance des espèces ne sont réalisées que lorsque des inventaires sont disponibles sur de grandes surfaces et avec la même méthode. C'est, par exemple, le cas de toutes les forêts du Sud-Cameroun, où les cartes d'abondance sont réalisées directement à partir des SIG. La technique d'interpolation IDW a été utilisée pour générer des cartes d'abondance « lissées » à partir de l'interpolation des abondances/ha pour chacune des espèces pour lesquelles l'information était disponible. Elle repose sur l'hypothèse que la surface d'interpolation est influencée par les points dont les plus proches ont plus de poids que les plus éloignés. La surface d'interpolation est une moyenne pondérée des points de dispersion dont le poids attribué à chacun diminue à mesure que la distance du point d'interpolation au point de dispersion augmente.

5.3 Réalisation du WebSIG « phyto-afri »

La figure 3 synthétise la réalisation technique qui a conduit à l'élaboration du WebSIG « phyto-afri » (http://phyto-afri.ird.fr). Les données d'herbiers, relevés floristiques et bibliographie sont saisies dans la base RIHA sous MS Access, puis intégrées avec les inventaires forestiers dans un SIG via MapInfo ou ArcGis. Les attributs des données primaires et les couches SIG sont transférés dans la base de données MySQL du serveur cartographique DYNMAP, moteur de l'application, qui permet à l'internaute de consulter le site via un navigateur et Flash Player.

6 La validation des données

6.1 Définition botanique des essences

Une fois définie la liste des essences forestières et de leurs noms pilotes il s'agit de les identifier très précisément par leurs noms scientifiques, en suivant les règles utilisées en nomenclature botanique.

6.2 De l'essence à l'espèce botanique

L'« essence forestière » fait référence à une qualité de bois particulière ; c'est l'arbre des professionnels du bois, du gestionnaire à l'utilisateur. Elle est désignée par un nom pilote ou appellation commerciale, retenu parmi les très nombreux noms vernaculaires utilisés en Afrique[13]. Dans le meilleur des cas, le nom pilote correspond à une espèce botanique précise, mais il arrive qu'il en recouvre plusieurs présen-

tant des caractéristiques techniques semblables. Il se peut aussi qu'une essence forestière soit connue sous plusieurs noms, ainsi Triplochyton scleroxylon est appelé « samba » en Afrique de l'Ouest, « ayous » ou « obéché » en Afrique centrale. Les noms d'essences varient aussi d'une langue officielle à l'autre (anglais, français, portugais, etc.).

La liste des essences forestières de l'ATIBT (1986) comporte 83 noms pilotes correspondant à 111 espèces botaniques et 9 groupes d'espèces. Après élimination des essences n'appartenant pas à l'espace défini et consultation de l'ATIBT[14], 13 autres essences sans intérêt commercial ont été supprimées ; une seule essence à été rajoutée à la liste. Il reste donc 73 noms pilotes correspondant à 119 noms botaniques[15].

Plusieurs cas peuvent se présenter :
- 1 essence correspond à 1 taxon (44 cas) ;
- 1 essence recouvre 2 taxons (17 cas) ;
- 1 essence réunit plusieurs taxons du même genre (3 taxons 10 cas, 4 - 1 cas, 5 - 2 cas) ;
- 5 essences recouvrent une espèce et ses taxons infra-spécifiques (sous-espèces et variétés).

Généralement les qualités techniques de ces taxons sont identiques et ne peuvent pas être distinguées en tant que bois. Cependant, au Gabon, les forestiers reconnaissent sur des caractéristiques techniques une variété acuminata d'Entan-drophragma angolense[16].

6.3 Établissement des correspondances précises entre essences et espèces

Lorsque plusieurs espèces d'un même genre sont désignées sous un unique nom pilote qui correspondrait à une seule essence, il est nécessaire de définir exactement celles qui sont présentes dans la zone considérée par l'inventaire et celles qui sont effectivement exploitées. C'est ainsi qu'au nom pilote « doussié » correspondent 5 espèces d'un même genre (Afzelia) dont deux seulement sont de grands arbres de forêt dense humide exploités sous le nom de « doussié rouge » et « doussié blanc » (Aubréville 1968). Cependant une autre espèce aurait été exploitée en Côte d'Ivoire, peut-être l'est-elle encore (Détienne, com. pers.). Toutes ces incertitudes doivent être levées dans la mesure du possible.

6.4 Identités botaniques : l'indispensable « référentiel taxonomique »

À partir de la liste des essences forestières, il est nécessaire d'établir le « référentiel taxonomique », c'est à dire la liste des noms scientifiques et de leurs synonymes précisant, pour chacun d'entre eux, la publication de référence, le type et ses différentes formes[17], le basionyme (nom sous lequel fut décrite l'espèce) et leurs lieux de dépôt respectifs. La bibliographie doit être vérifiée et citée. On s'apercevra, dans bien des cas, des erreurs qui ont pu être commises au cours de la vie, souvent mouvementée, des noms de plantes : depuis de simples erreurs d'orthographe jusqu'à des créations de nombreux noms désignant une même espèce[18]. Cette liste est complétée par les équivalences entre noms pilotes et noms scientifiques, base indispensable aux étapes ultérieures du travail.

6.5 Coordonnées géographiques des stations de collecte

La précision des données de localisation est fonction des moyens technologiques et des cartes disponibles à une époque donnée. Les difficultés d'établir les coordonnées géographiques augmentent généralement avec l'ancienneté des collectes ou des relevés. Le plus souvent, le lieu de récolte est vague : un village, un lieu-dit, un cours d'eau, une distance estimée ou une direction approximative. La localité mais aussi les lieux d'activités humaines (scieries ou chantiers forestiers, plantations, écoles, routes…) peuvent avoir disparu, changé de place ou de nom. Il est alors inutile, voire dangereux, de donner des coordonnées géographiques précises.

13 Ces noms ont été proposés, en grande partie par Aubréville dans son ouvrage sur les arbres de forêt dense de la Côte d'Ivoire (1959), d'après les informations de son prospecteur, le garde forestier Aké Angué, père du botaniste ivoirien, Laurent Aké Assi, qui l'accompagnait dès ses premières excursions en 1930.

14 Nous remercions ici Monsieur J.-J. Landrot, ancien président de l'ATIBT, pour son appui et les informations qu'il nous a aimablement communiquées.

15 Nous n'avons tenu compte que des noms d'espèces à l'exclusion des appellations intraspécifiques (sous-espèces, variétés).

16 Les statistiques des exportations de bois du Gabon indiquent 262 et 302 m3 de l'essence appelée acuminata pour les années 2001 et 2002 (ATIBT, 2003). Or, une variété d'Entandrophragma angolense, a bien été distinguée sous ce nom par Pellegrin (1940, 38-40) mais d'une manière insuffisante.

17 Holotype : spécimen de référence, syntype : l'un quelconque des spécimens définissant, avant 1952, une espèce ; isotype : double de l'holotype dans la même récolte.

18 Ces observations donnent lieu à des mises au point taxonomiques et nomenclaturales publiées dans la littérature spécialisée (Mouly et al., 2010).

L'apparition d'outils en ligne tels que des gazetiers, par exemple Fallingrain (http://www.fallingrain .com/world/) ou Google Earth (earth. google.com/intl/fr/), peur faciliter le travail de repérage, mais ces outils ne sont pas toujours suffisants pour retrouver une localité précise. Certaines données doivent ainsi être abandonnées.

Les inventaires forestiers ne sont pas concernés par ces recommandations dans la mesure où la localisation des blocs est définie dans le plan d'échantillonnage. Toutefois, dans certains inventaires, les résultats par unités primaires ont été généralisés par grands blocs d'inventaires (plusieurs milliers d'hectares). Dans ce cas, la référence géographique peut être le bloc dans son ensemble (une surface) ou le centroïde de ce bloc.

7 Résultats : application au Cameroun

Les premières collectes au Cameroun ont débuté au début de la seconde moitié du XIXe siècle avec G. Mann, A. Staudt et G.A. Zenker, qui se référaient à très peu de localités (Lolodorf, Bipinde…). G.W.J. Mildbraed, en 1914, apporta un peu plus de précision dans ses localisations en mentionnant le nombre de kilomètres par rapport à un village ou à une ville et l'orientation. Il faudra attendre 1946, avec R. Letouzey, pour avoir une description précise de la station de collecte susceptible d'être géoréférencée à partir des cartes IGN au 1 : 200 000, 1 : 100 000, voire 1 : 50 000 (Letouzey 1968). À partir des années 60, des botanistes tels que J.J. Bos, A.J.M. Leeuwenberg ou J.J.F.E. de Wilde complètent leurs stations de collecte avec des coordonnées géographiques. Cette pratique s'est généralisée depuis la fin des années 80.

7.1 Les espèces commercialisables au Cameroun

Toutes les espèces commercialisées de la liste de l'ATIBT ne se rencontrent pas au Cameroun. Toutefois, 92 espèces originaires de ce pays sont représentées dans les herbiers de Kew, Paris et Yaoundé sur un total de 119 cités précédemment. Cette richesse peut s'expliquer par plusieurs facteurs naturels : importance de la surface forestière, diversité des milieux, situation géographique exceptionnelle. De plus, de nombreux botanistes ont prospecté le pays depuis la fin du XIX[e] siècle, et certains d'entre eux y ont consacré une grande partie, voire la totalité de leur carrière tel que R. Letouzey. Enfin, la création de l'herbier national du Cameroun, dès 1948, et le début de la numérisation des collections, à compter de la fin des années 90, ont permis d'améliorer la connaissance de la flore et de la végétation de ce pays. Au final, la flore du Cameroun pouvait être considérée comme « bien à moyennement connue » en 1978, à l'exclusion de l'extrême sud-est (Lebrun 2001).

La figure 4 montre la distribution de l'espèce Baillonella toxisperma, réalisée à partir des données de différentes sources : les herbiers de Paris, Kew et Yaoundé, les inventaires forestiers du CIRAD (ex-CTFT[19]) et des relevés floristiques de R. Letouzey.

7.2 Les herbiers

Tout d'abord spécialisé en matière forestière, l'herbier national du Cameroun s'élargit ensuite aux Ptéridophytes (fougères et plantes alliées) et Phanérogames (toutes les plantes à fleurs). L'essentiel du matériel est aussi représenté en France (Paris), aux Pays-Bas (Wageningen) et en Grande-Bretagne (Kew). Depuis quelques années, les collections l'herbier du Camaroun sont enrichies à partir des inventaires botaniques réalisés dans le cadre de programmes scientifiques (Mont Cameroun, IFORA[20]) ou d'études d'impact.

7.3 Inventaires forestiers

Les inventaires réalisés par le CIRAD au Cameroun entre 1964 et 1985, valorisés dans le cadre de ce projet, concernent plus de 9 000 000 d'hectares. Ces inventaires ont été réalisés avec un taux de sondage variant de 0,05 à 1,12 % (en fonction de la taille des unités primaires effectivement mesurées et de leur espacement). Il peut s'agir, soit d'inventaires systématiques – sur l'ensemble de la surface considérée –, par layonnage tous les 500 m à 2 km[21], soit d'inventaires à dispositif de sondage emboité où les unités primaires sont disposées selon un maillage aléatoire ou systématique[22] ; au sein de ces unités primaires, de taille variant de 1 à 5 km, un inventaire systématique est réalisé.

Ainsi, à titre d'exemple, le plan de sondage de l'inventaire du Sud-Cameroun (1984), réalisé sur 6 millions d'hectares, était le suivant :

- les unités primaires étaient disposées selon un maillage de 20 x 20 km ;

19 Centre technique forestier tropical

20 Projet « Îles forestières africaines » de biogéographie et phylogéographie

21 ou sondage à un degré

22 ou sondage à deux degrés

- chaque unité primaire mesurait 2 x 2 km ;
- au sein de ces unités primaires, un inventaire systématique était réalisé le long de layons de 25 m de large espacés de 500 m ; le taux de sondage des unités primaires était égal à 5 % ;
- sur ces layons, tous les arbres des espèces principales (espèces les plus exploitées) étaient comptabilisés à partir d'un diamètre minimum d'inventaire de 20 cm (diamètre du tronc).

Dans ces divers inventaires, tous les individus dont le diamètre du tronc est supérieur ou égal à un diamètre minimum défini sont comptabilisés et mesurés (fig. 5) ; ce diamètre peut être variable à la fois selon l'inventaire et les catégories d'essences forestières inventoriées (essences très exploitées, peu exploitées, de promotion) : 20, 40 ou 60 cm constituent des limites d'inventaires couramment utilisées.

En complément de ces données, des inventaires réalisée par la FAO en 2003 concernent tous les arbres à partir de 10 cm de diamètre ; ils recouvrent l'ensemble du territoire, bien qu'avec un taux de sondage beaucoup plus faible. Enfin, des inventaires plus précis ont été exécutés récemment par les exploitants forestiers dans le cadre des aménagements forestiers rendus obligatoires par la législation camerounaise. Ces données sont encore difficilement disponibles et n'ont pas pu être prises en compte dans le présent travail.

La figure 6 exprime la variation de la densité des effectifs de Baillonella toxisperma obtenue à partir des données de distribution des individus de la figure 5, suivant la méthode d'interpolation IDW (Inverse Distance Weighted).

7.4 Relevés floristiques

Les nombreux relevés floristiques réalisés par Letouzey dans le cadre de son étude phytogéographique du Cameroun publiée en 1968, fournissent des données validées sur le plan botanique et localisées avec précision à partir des cartes IGN au 1 : 200 000 des années 60. Des thèses et mémoires ont été également mis à profit.

8 Conclusion

Le croisement des données d'échantillons d'herbiers et d'inventaires forestiers est une originalité de notre démarche et permet de répondre à des besoins de plusieurs types d'utilisateurs. Les données issues des collections d'échantillons d'herbiers sont essentielles en tant que références car, seuls, ces échantillons permettent de s'assurer de la détermination des espèces. Ces données sont toutefois insuffisantes dans l'étude précise des aires de répartition des espèces.

Pour de nombreuses espèces d'arbres, seuls les inventaires forestiers, réalisés de manière systématique sur de très grandes superficies fournissent les données suffisantes. Toutefois, l'identification scientifique des essences forestières pratiquée dans les inventaires n'en garantit pas toujours l'exactitude absolue. L'absence d'échantillons d'herbier associés à ces inventaires ne permet pas de revenir sur une identification pour la contrôler ultérieurement ou la modifier. Actuellement, les prospecteurs forestiers sont peu à peu formés à la botanique et les erreurs d'identification tendent à diminuer, en particulier pour les espèces les mieux connues mais aussi dans les concessions forestières gérées par des sociétés internationales qui investissent un peu plus dans la formation de leur personnel.

Le problème du géoréférencement constitue l'un des plus importants auquel nous ayons été confrontés. Pour une majorité d'inventaires, il a pu être résolu assez facilement car les placettes d'inventaires étaient positionnées sur des cartes permettant d'extraire les coordonnées géographiques avec une certaine précision. D'un autre côté, plus on s'adresse à des échantillons botanique anciens, plus difficile est la localisation ; certains étant inexploitables du fait de localisations trop imprécises. Même dans le cas où un nom de localité est cité, il est parfois impossible de retrouver le lieu précis, ce qui nous a conduits à abandonner certaines données.

En conséquence, l'outil que nous avons mis en place (http://phyto-afri.ird.fr) permet de réaliser à la fois des cartes de distribution et de répartition à diverses échelles (toute l'Afrique forestière, un pays, une région), avec la possibilité de combiner diverses couches thématiques telles que les grands types de végétation (fig. 4). Il est possible de réaliser des cartes d'abondances, qui constituent un résultat original de valorisation d'anciens inventaires forestiers (fig. 6). Tout cela permet d'adapter le produit cartographique au besoin de l'utilisateur.

La géolocalisation des présences, voire des abondances, des espèces permet d'associer à chaque station, des données du milieu physique (données climatiques du Worldclim http://www.worldclim.org/) ou toute autre donnée utile à la caractérisation des aires de répartition des espèces. On peut ainsi réaliser des analyses écologiques sur les espèces retenues ou évaluer leur statut de conservation. Enfin, d'autres outils informatiques pourront nous permettre de modéliser les variations probables de répartition des

espèces en fonction des scénarios de changements climatiques, permettant aux gestionnaires et décideurs d'anticiper les impacts de ces changements climatiques et de définir des stratégies d'adaptation sur le moyen-long terme.

Bibliographie

AETFAT, 1969-1994, *Distributiones plantarum africanarum,* 40 fascicules, Jardin botanique national de Belgique, Bruxelles, Meise, Belgique.

ATIBT, 1986, *Atlas des bois tropicaux, tome I - Afrique.*

ATIBT, 2003, « Congo », *La lettre de l'ATIBT,* 18, p. 41.

Aubréville A., 1959, *La flore forestière de la Côte d'Ivoire*, 2e éd., Paris, Nogent-sur-Marne.

Aubréville A., 1964, *Sapotacées*, Adansonia mémoire n° 1, MNHN, Paris, 157 p.

Aubréville A., 1968, *Légumineuses Caesalpinioïdées*, Flore du Gabon, n° 15, MNHN, Paris.

Chevillotte H., Doumenge C., Fauvet N., Guillaumet J.-L., Valton C., *Les essences forestières commercialisées de l'Afrique tropicale humide* [en ligne], disponible sur : <http://phyto-afri.ird.fr>

Chevillotte H., Florence J., 2006, "RIHA a database on plant biodiversity in western and central Africa: first step for a networking of African herbaria", *Proceedings of the 17th AETFAT Congress*, Addis Ababa, Ethiopia, Royal Botanic Gardens, Kew, p.643-650.

Da Lage A., Métaillé G., 2000, *Dictionnaire de biogéographie végétale*, CNRS, Paris, France, 579 p.

Détienne P., 1979, « Les erreurs dans les dénominations commerciales des bois tropicaux », *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 186, p.61-64.

Grison F., 1976, « Travaux sur la biologie florale de l'Okoumé », *Bois For. Trop*., n° 166, p.46-47.

Grison F., 1978, « Amélioration génétique de l'Okoumé : suite et fin », *Bois For. Trop,* n° 179, p.3-26.

Guillaumet J.-L., Chevillotte H., Valton C., 2009, *Les forêts tropicales humides africaines,* échelle 1 : 6 000 000, format 115x75 cm, IRD, Marseille, France.

Hall J.B., Swaine M.D., 1981, *Distribution and ecology of vascular plants in a tropical rain forest: forest vegetation in Ghana*, The Hague, Boston., W. Junk, Hingham, MA.

Lebrun J.-P., Stork A., 1977, *Index 1935-1976 des cartes de répartition des plantes vasculaires d'Afrique*, Conservatoire botanique, Genève, 138 p.

Lebrun J.-P., Stork, A., 1981, *Index des cartes de répartition des plantes vasculaires d'Afrique. Complément 1935, 1976, supplément 1977, 1981*, IEMVT, Études botaniques n° 8, 98 p.

Lebrun J.-P., 2001, *Introduction à la flore d'Afrique*, Cirad, Ibis Press, 155 p.

Letouzey R., 1968, *Étude phytogéographique du Cameroun*, Paris, Paul Lechevalier, 511 p.

Letouzey R., 1968, « Les botanistes au Cameroun », dans Aubréville A., dir., *Flore du Cameroun n° 7*.

Letouzey R., 1978, *Flore du Cameroun*, Documents phytogéographiques n° 1, CNRS, Paris.

Letouzey R., 1979, *Flore du Cameroun,* Documents phytogéographiques n° 2, CNRS, Paris.

Mouly A., Gautier L., Dupont J., Chevillotte H., Guillaumet J.-L., Florence J., 2010, (1949), « Proposal to conserve Tieghemella Pierre (Sapotaceae) against Tieghemella Berl. & De Toni (Absidiaceae) », *Taxon n° 59(5),* p.1604-1605.

Nasi R., Amsallem I., Drouineau S., 1999, *La gestion des forêts denses africaines aujourd'hui.* Actes du Séminaire Forafri, 12-16 octobre 1998, Libreville, Gabon. Cirad, Montpellier, France : cédérom.

Pellegrin F., 1940, *Les Méliacées d'Afrique occidentale,* Notulae systematiceae, IX (1).

Schnell R., 1952, *Végétation et flore de la région montagneuse du Nimba*, Mémoires de l'IFAN-Dakar, 598 p.

Sidiyasa K., 1998, *Taxonomy, phylogeny and wood anatomy of Alstonia (Apocynaceae)*, Blumea suppl.11. 230 p.

Stork, A., Lebrun, J.-P., 1988, *Index des cartes de répartition des plantes vasculaires d'Afrique. Complément 1935-1981 & Supplément 1982-1985 avec Contribution à une histoire des cartes de répartition*, IEMVT, Maison Alfort, France, Étude Botanique, 13, 128 p.

UICN, 2001, *Catégories et critères de l'UICN pour la Liste Rouge : Version 3.1,* Commission pour la sauvegarde des espèces de l'UICN, Gland, Switzerland & Cambridge, U.K.

Vivien J., Faure J.-J., 1985, *Arbres des forêts denses d'Afrique centrale,* ACCT, Paris, France, 565 p.

White F., *1986, La végétation de l'Afrique 1 : 5 000 000 et Mémoire*. Recherche sur les ressources naturelles XX, Unesco/AETFAT/UNSO, Orstom, Unesco, Paris, 384 p.

Wieringa J.-J., 1999, *Monopetalanthus exit. A systematic study of Aphanocalyx, Bikinia, Icuria, Michelsonia and Tetraberlinia (Leguminosae, Caesalpinioideae)*, Wageningen Agric. Univ. Papers n° 99(4), 320 p.

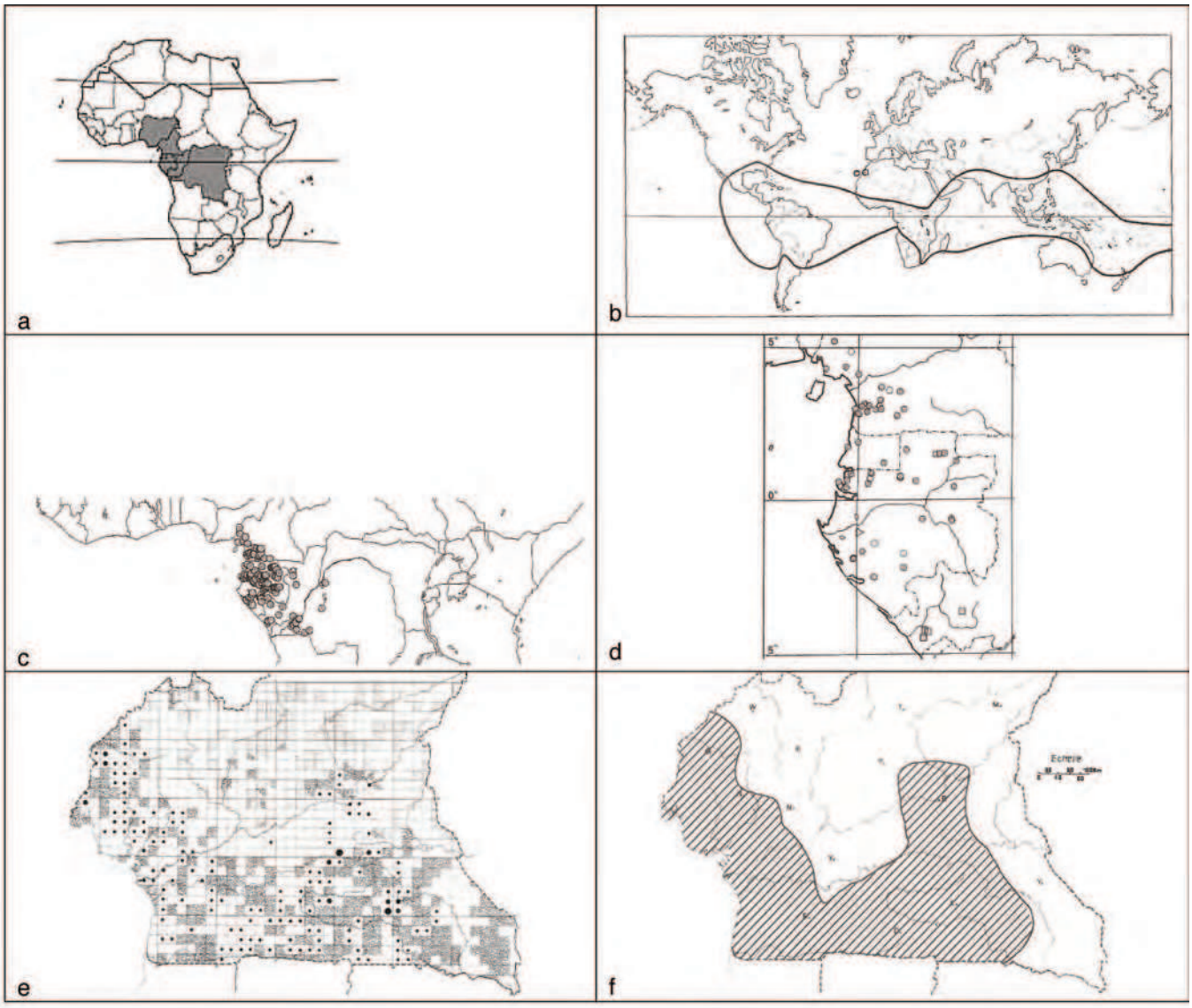

Figure 1 :
a) Carte de répartition d'une espèce par pays (projet PROTA : http://www.prota.org/fr/prota/) ;
b) Aire générale des Sapotaceae (Aubréville, 1964) ;
c) Distribution de Bikinia (Wieringa 1999) ;
d) Distribution de Bikinia le-testui (Pellegr.) Wieringa subsp. le-testui (cercle) et subsp. mayumbensis Wieringa (carré ; Wieringa 1999) ;
e) Carte de distribution de Baillonella toxisperma Pierre au Sud-Cameroun (Letouzey 1978) ;
f) Carte de répartition de Baillonella toxisperma Pierre au Sud-Cameroun (Vivien et Faure 1985)

Noms pilotes	Noms scientifiques	Inventaires forestiers	Herbiers	Relevés floristiques
moabi	*Baillonella toxisperma*	□	■	○
emien	*Alstonia boonei*	◊	◘	◘
	Alstonia congensis		◙	◙

Tableau 1 : Représentation symbolique des différentes sources de données pour deux essences, correspondant à une (moabi) ou deux (emien) espèces botaniques.

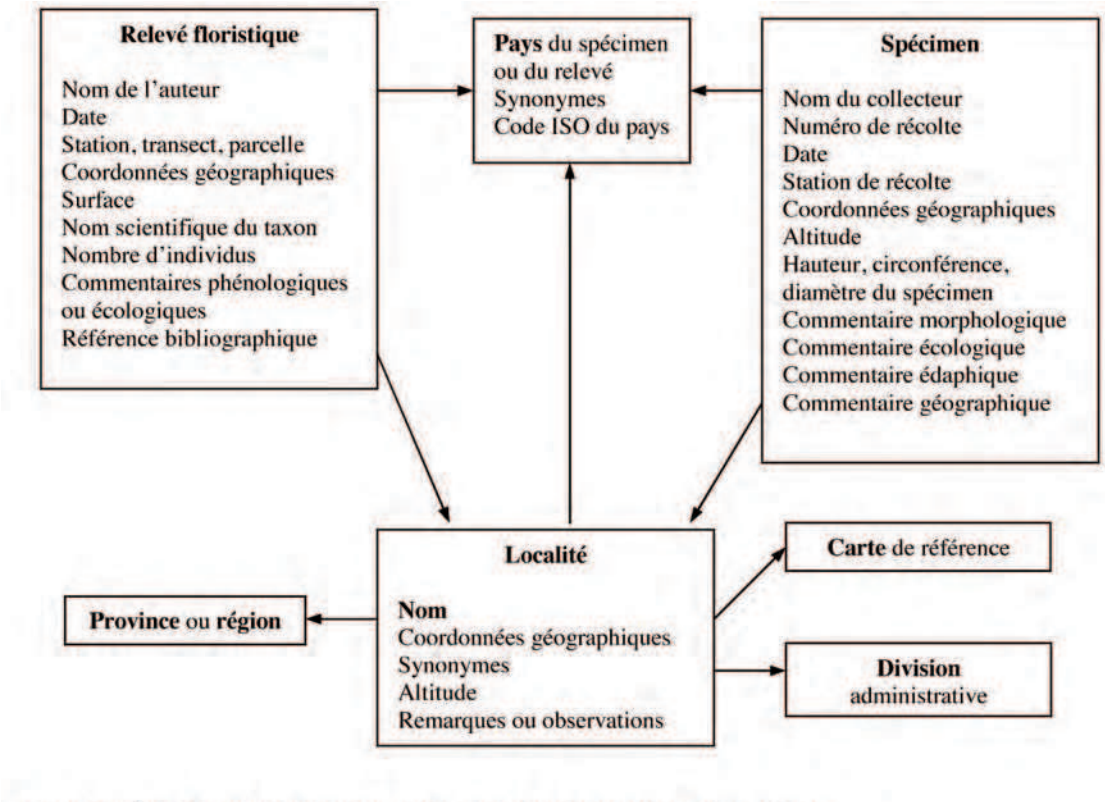

Figure 2 : Échelle des informations rattachées à la localisation géographique

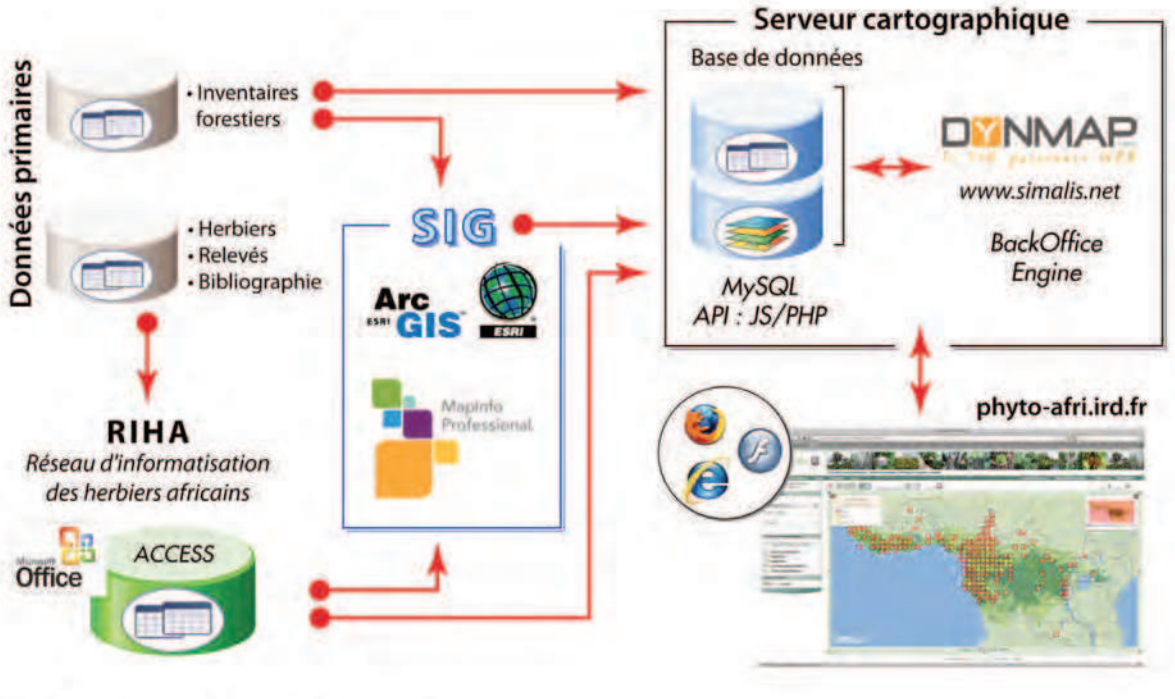

Figure 3 : Réalisation technique du WebSIG

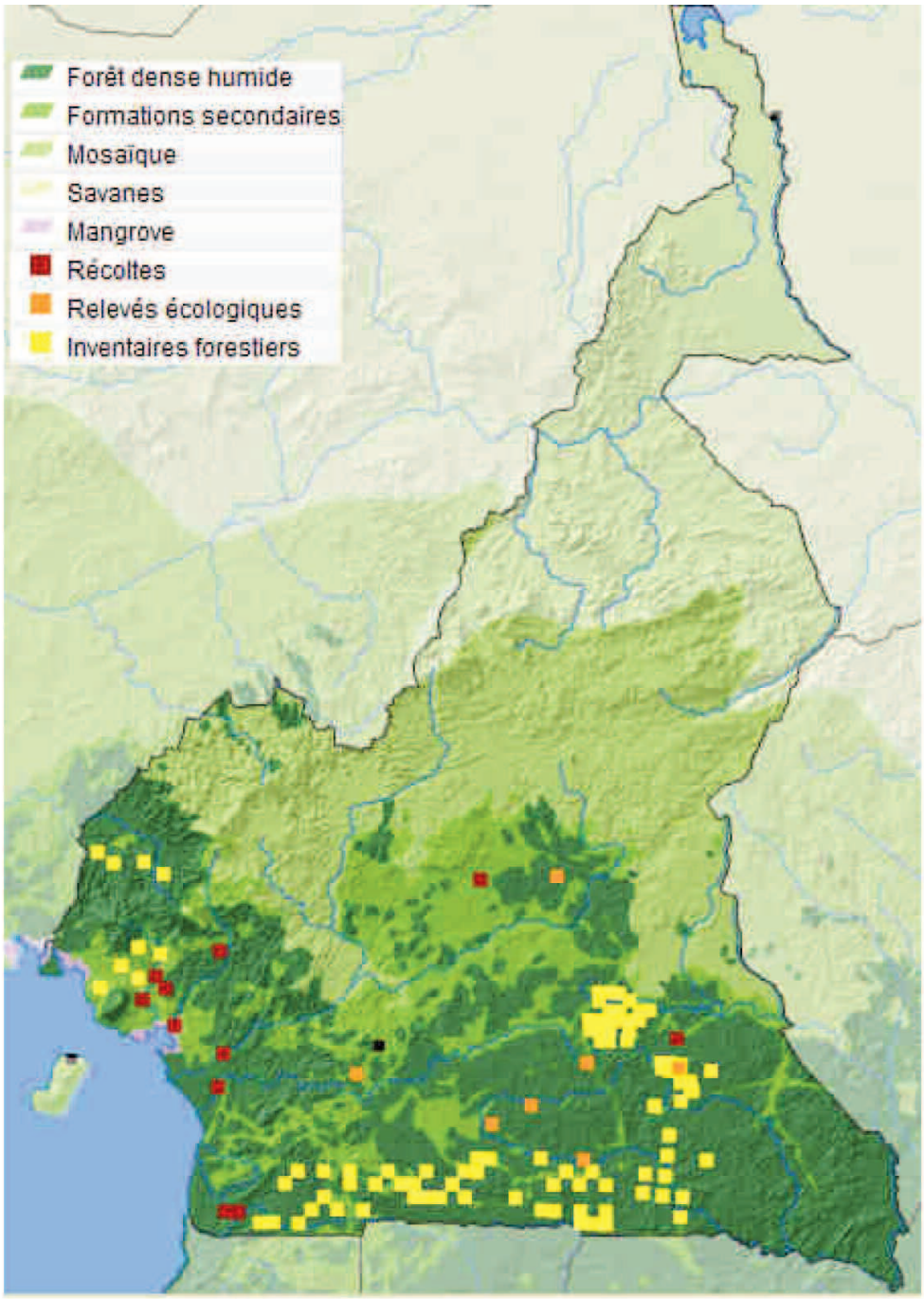

Figure 4 : Carte de distribution de Baillonella toxisperma (Sapotaceae) au Cameroun

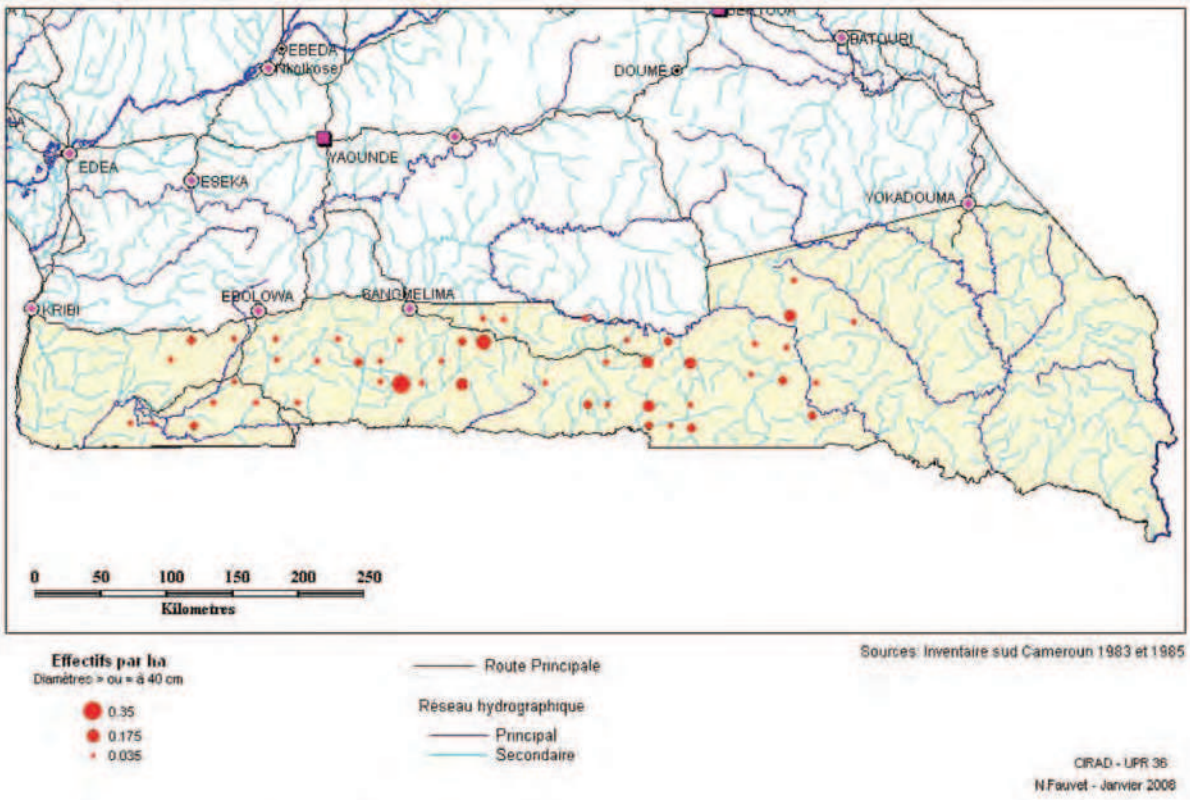

Figure 5 : Carte de distribution de Baillonella toxisperma (Sapotaceae) au Sud-Cameroun au milieu des années 80, en symboles proportionnels aux effectifs

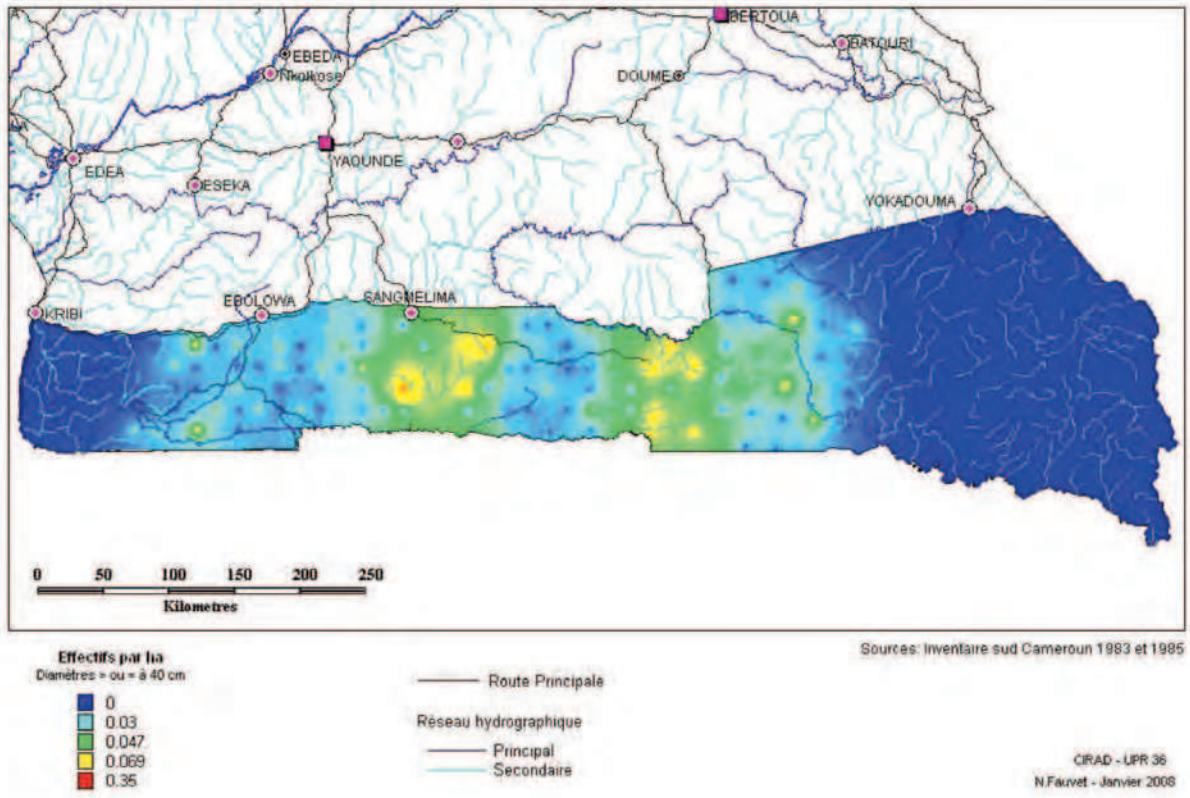

Figure 6 : Carte d'abondance de Baillonella toxisperma (Sapotaceae) au Sud-Cameroun au milieu des années 80, obtenue à partir de la méthode d'interpolation IDW

Guillaumet J.L., Chevillotte Hervé, Valton Catherine, Doumenge C., Fauvet N., Onana J.M. (2010)

De l'herbier à la carte : représentation cartographique des collections et des données botaniques

Le Monde des Cartes, (206), 63-76

ISSN 1634-3522