

Application du SIG IVOIRE à la distribution potentielle des espèces en fonction des facteurs écologiques.

Published in 2002:

in: Robbrecht, E., J. Degreef & I. Friis (eds). Plant systematics and phytogeography for understanding of african biodiversity. Systematics and Geography of Plants. Systematics and geography of Plants 71(2).

Cyrille CHATELAIN , Laurent GAUTIER , Rodolphe SPICHIGER

Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève, case postale 60, CH-1292 Chambésy, Suisse

Personne de contact: [Cyrille.Chatelain@cjb.ville-ge.ch]

Résumé. - *L'extraction des informations botaniques stockées dans la base de donnée "SIG IVOIRE" et l'utilisation conjointe de cartes écologiques, permettent de réaliser des cartes de distribution potentielle des espèces sur la Côte d'Ivoire. Les méthodes d'Habitat Suitability et d'Environment Similarity sont brièvement comparées. Il ressort que si la première donne des résultats plus pertinents, elle nécessite en revanche un plus grand nombre de localités-espèce. Dans le cas de la Côte d'Ivoire où ces données sont souvent limitées, on est contraint de lui préférer la méthode basée sur l'Environment Similarity. Celle-ci a été utilisée pour dresser la cartographie potentielle des espèces des Sapotaceae et des Moraceae.*

Abstract . - *Extraction of botanical information from the database "SIGIVOIRE" processed together with ecological maps, allow us to generate potential distribution map for Côte d'Ivoire. Habitat Suitability and Environment Similarity methods are used and their respective applicability are discussed. Although the first one provides more accurate results, it needs more species distribution data. In the case of Côte d'Ivoire where these data are often not sufficiently abundant, we need to use the Environment Similarity method. By this mean, we propose potential distribution maps for the species of Sapotaceae and Moraceae.*

Mots-clés: *cartes de distribution potentielle, système d'information géographique, Côte d'Ivoire, Sapotaceae, Moraceae.*

Key Words: *potential distribution maps, Geographic Information System, Côte d'Ivoire, Sapotaceae, Moraceae*

Abbreviations: *HS*, *Habitat suitability*; *ES*, *Environment Similarity Model*; *BD*, *base de données*.

Introduction

Le SIG IVOIRE est un outil mis en place par les Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève pour regrouper l'information botanique disponible sur la Côte d'Ivoire (échantillons d'herbier et relevés floristiques) et les interpréter en les couplant à des données environnementales par le biais d'un système d'information géographique (Gautier & al. 1999). Il vise à une meilleure gestion des données existantes, afin d'exploiter au mieux l'information disponible pour répondre aux besoins de conservation des espèces vis à vis des processus de dégradation des milieux.

Les facteurs écologiques qui influencent la distribution des espèces végétales en Côte d'Ivoire sont connus dans les grandes lignes entre autres par les travaux de Aké Assi (1961, 1976, 1984); Guillaumet (1967) et Guillaumet & Adjanohoun (1971). Néanmoins, une évaluation objective du poids de ces différents facteurs reste à établir, malgré quelques travaux récents qui ont traité de la question sur un nombre restreint d'espèces (Bongers & al. 1999). Une meilleure connaissance de l'écologie des espèces permettra de mieux comprendre leur distribution actuelle et de faire la part des facteurs historiques, ainsi que d'avoir une vue prospective sur l'avenir de la flore du pays face à des phénomènes comme la déforestation et les changements climatiques.

Dans le but de réaliser à court terme une étude sur l'écologie de toutes les espèces de la flore ivoirienne par une approche cartographique, nous exposons ici les résultats de l'application de deux méthodes de cartographie d'aires de distribution potentielle à deux familles: les *Sapotaceae* et les *Moraceae*.

Matériel et méthode

La réalisation de cartes de distribution potentielle des espèces par rapport aux facteurs écologiques peut se faire par plusieurs méthodes d'analyse, comme par exemple les "Generalised Linear Models" (Guisan 1997), les "Similarity Models" (Carpenter & al. 1993, Skov 2000) et les modèles "Habitat Suitability" (Lancia & al. 1986, Lenton & al. 2000, Hirzel & al. 2000). Le choix d'une méthodologie dépend d'abord de la nature des données disponibles, en particulier du nombre et de la précision des informations sur la distribution de l'espèce, et du type et de la résolution des informations écologiques du milieu. Il dépend également de la rapidité d'utilisation de la méthode de réalisation des cartes potentielles. Nous avons retenu les deux derniers modèles car ils sont les plus robustes lorsque le nombre d'échantillons est faible, ce qui est notre cas.

Une base de donnée contenant les récoltes d'herbier réalisées en Côte d'Ivoire a été mise en place au Conservatoire et Jardin botaniques de Genève. Comme chaque localité de récolte contient des coordonnées géographiques, elle est liée à des cartes écologiques par le biais d'un SIG que nous appelons SIG IVOIRE (Gautier & al. 1999). La base de donnée contient actuellement 63000 données (56000 échantillons des herbiers de Genève, Paris, Wageningen et Abidjan et 7000 informations extraites d'inventaires répertoriés dans des publications) qui concernent 3660 taxons distribués sur 1900 localités. L'extraction des données de la BD montre qu'un quart des taxons, soit 991, ne sont connus en Côte d'Ivoire que par une seule récolte. Ces données sont gérées dans une base de données du logiciel MS ACCESS et sont mises en relation avec les données écologiques en format image à l'aide du logiciel IDRISI ou en format "grid" sous le logiciel ARCVIEW. Lors du processus d'analyse cartographique, les taxons de rang infra-spécifique ont été regroupés à l'espèce étant donné que la détermination de certains échantillons est parfois effectuée uniquement au rang spécifique.

Les valeurs écologiques sont extraites de 14 cartes (tab. 1), dont la résolution a été réduite selon une grille (*grid*) de 0.1° par 0.1°, afin d'effectuer les analyses à une échelle compatible avec l'incertitude de localisation des récoltes botaniques. Si certaines cartes ont des valeurs quantitatives continues (pluviométrie, durée de la saison sèche, altitude), la plupart de celles-ci ont des valeurs qualitatives (pédologie, géologie, type de végétation) qui doivent être transformées en cartes quantitatives pour être utilisées (ex: pourcentage d'un type de sol par *grid*, distance moyenne aux rivières).

Dans le cas de l'"Habitat Suitability"(HS), les cartes de distribution potentielle en fonction des Valeurs Eco-Géographiques (EGV) expriment la proximité des valeurs prédictives vis à vis

des exigences écologiques des espèces. Cette procédure utilise l'Analyse Factorielle des Niches Écologiques (ENFA) développée en écologie animale avec le logiciel BIOMAPPER par Hirzel & al. (2000) et dont un résultat préliminaire sous forme d'histogramme est présenté par la Figure 1. Cette première étape permet d'évaluer la distribution de l'espèce par rapport aux facteurs écologiques et la distribution des valeurs écologiques des cartes. L'approche de cette méthode est basée sur la notion de marginalité qui informe sur la distance entre l'optimum de l'habitat et la moyenne des habitats disponibles ainsi que sur la notion de tolérance qui représente le degré de spécialisation par rapport aux habitats disponibles. Le produit est une carte de probabilité d'occurrence de l'espèce dans un *grid*.

Dans le cas d'une analyse d'"Environment Similarity" (ES), nous avons utilisé l'approche "point to point similarity" décrite par Carpenter & al. (1993) et développée par Skov (2000) pour ARCVIEW Spatial Analyst. La procédure de classification ne prend pas en compte la moyenne des habitats, mais la proximité d'une localité la plus similaire à l'ensemble des valeurs environnementales des localités. Ainsi on obtient pour chaque *grid* ou chaque point de la carte, une valeur d'intervalle de confiance.

Dans cette analyse ES nous avons retenus comme facteurs écologiques (tab. 1, Fig. 2) : les types de végétation; l'altitude qui permet essentiellement de distinguer la zone côtière et certaines régions montagneuses; la distance aux rivières qui offre la possibilité de séparer une espèce présente au Sud et limitée au nord du pays le long des cours d'eau uniquement, d'une espèce présente sur l'ensemble de la Côte d'Ivoire; la durée de la saison sèche qui individualise la distribution de manière perpendiculaire au gradient Nord Sud; la moyenne pluviométrique des années 1960-1970 selon un gradient Sud-Ouest/Nord-Est. Nous avons retenu les valeurs pluviométriques de cette décennie car la majorité des récoltes datent de cette époque. Il est également nécessaire de mentionner que les informations sur le couvert forestier des années 1960-1970 ou 2000 ne seront utilisées qu'ultérieurement pour une analyse de distribution effective, de la même manière de les variations pluviométriques issues des changements du climat.

Résultats

Nous ne proposons aucune confrontation quantitative entre ces deux méthodes, car les valeurs de HS représentent une probabilité de présence, alors que les valeurs ES correspondent à une similarité. Néanmoins, la figure 3 permet de comparer visuellement les résultats des deux types de modélisation pour deux espèces.

On remarque en particulier que les points de distribution ayant des valeurs écologiques extrêmes ont peu d'influence dans le cas de la modélisation par HS, alors que dans la méthode SM, un seul point excentré suffit à étendre exagérément la distribution potentielle de l'espèce.

De manière générale, les deux méthodes offrent des résultats proches et une facilité d'emploi assez remarquable. Pour les deux méthodes, les limites de validité dépendent en premier lieu du type de valeurs écologiques utilisées, dans le cas de la méthode HS, l'intégration de cartes qualitatives pose un sérieux problème. La méthode HS est performante concernant le traitement statistique, mais n'est utilisable que lorsque le nombre d'échantillons est important, ce qui est le cas uniquement pour un petit nombre d'espèces abondantes. Bien que la méthode ES soit moins performante, elle permet d'obtenir des résultats pour presque toutes les espèces, c'est pour cette principale raison que nous avons retenu la méthode ES pour la cartographie de la distribution potentielle des *Sapotaceae* et des *Moraceae*.

Sapotaceae

On compte en Côte d'Ivoire 43 espèces de *Sapotaceae* réparties principalement en zone forestière (fig. 4a, 4b et 4c). Nous disposons de 579 récoltes: huit espèces ont plus de 20 échantillons, treize espèces ont moins de cinq échantillons, et quatre espèces sont représentées par un ou deux échantillons seulement.

Même si, de manière générale, la correspondance entre distribution potentielle et réelle est bonne (voir par ex. *Breviea sericea*, *Vitellaria paradoxa*), dans plusieurs cas la première surestime la distribution réelle. En effet, plusieurs espèces ont des distributions restreintes à l'extrême Sud-Ouest ou l'extrême Sud-Est, voire aux deux, qui ne peuvent être interprétées que par des facteurs historiques: c'est le cas de *Chrysophyllum azaguieanum* et *Chrysophyllum pentagonocarpum*. Certaines espèces ont des distributions très limitées et ne sont connues que par peu d'échantillons: la connaissance de l'écologie de la localité permet une interprétation visuelle triviale de cette distribution (voir par ex: *Synsepalum tsoukpe* et *S. msolo* sur sables côtiers) ou une distribution probablement relictuelle (*S. pobeguinanum* dans la région des Monts Touré, *Synsepalum cerasiferum* au Mont Tonkouï et *S. glycydorum* au Mont Niénokoué).

Moraceae

On compte 64 espèces (849 récoltes) ayant une distribution tant en zone de savane qu'en zone de forêt (fig. 5a, 5b, 5c et 5d). Seules trois espèces ont plus de 20 échantillons, 25 espèces ont été très peu récoltées (moins de cinq récoltes), et 14 espèces ne sont connues que par un ou deux exemplaires: *Ficus bubu* (seule espèce vraiment rare), *Ficus capreifolia*, *Ficus sycomorus*, *Ficus populifolia* et *Ficus natalensis*.

Seules trois espèces sont endémiques de Côte d'Ivoire, elles appartiennent au genre *Dorstenia* et sont limitées au Sud du Pays. On note une distribution sur l'ensemble de la Côte d'Ivoire pour *Ficus asperifolia*, *Ficus ingens*, *Ficus exasperata*, *Ficus ovata* et *Ficus thonningii*. Ce sont en effet des espèces avec un spectre écologique assez large. Il est très probable que le sous-échantillonnage d'espèces banales comme *Ficus exasperata* fait que ces espèces montrent une distribution potentielle sous estimée.

L'influence de la durée moyenne de la saison sèche est visible dans le cas de *Ficus calyptрата*, *Ficus polita* ou *Ficus variifolia*. De la même manière, la distance aux rivières influence la distribution de, *Myrianthus serratus*, *Milicia excelsa*, *Ficus ottoniifolia* ou *Ficus vogeliana*. Pour ce dernier paramètre, *Ficus asperifolia* connue pour son écologie ripicole, montre une répartition diffuse non limitée aux cours d'eau, mais ceci est dû à 3 échantillons sur 19 dont la localité est imprécise.

Deux espèces, *Ficus tessellata* et *Ficus calyptрата* montrent une répartition potentielle correspondant à la zone des forêts semi-décidues, de même que *Ficus lingua* et *Ficus kamerunensis*, entre autres, apparaissent inféodées aux forêts denses humides sempervirentes.

Discussion

Les valeurs écologiques utilisées sont souvent fortement liées entre elles (pluviométrie et durée de la saison sèche, par exemple), mais mis à part pour des cas extrêmes, cette corrélation ne semble que peu influencer l'analyse. Du fait de l'important gradient de végétation Nord-Sud, les facteurs écologiques expliquant le plus souvent la distribution des espèces sont la quantité de pluie et la durée de la saison sèche. Dans les deux méthodes testées, l'intégration des facteurs écologiques liés au substrat reste problématique, car ces méthodes nécessitent des variables continues. L'intégration de facteurs non continus, comme la couverture de forêt, est cependant nécessaire et intervient sous forme d'une valeur booléenne.

La méthode HS est particulièrement intéressante car elle prend en compte la distribution des échantillons pour chacun des paramètres écologiques (fig. 1). Ainsi la distribution potentielle d'une espèce très abondante dans un environnement donné sera peu perturbée par la présence d'une récolte dans un environnement atypique ou marginal. De plus, elle fournit des informations sur la marginalité et la tolérance de l'espèce par rapport aux facteurs du milieu, ce qui est extrêmement intéressant pour évaluer le type de distribution potentielle. Cependant, la robustesse de l'analyse est fortement liée à la taille de l'échantillon et à la distribution régulière des échantillons par rapport aux facteurs écologiques, d'autant que celui-ci occupe une faible surface. Il est impossible d'analyser une espèce avec moins de dix échantillons, condition qui

n'est réalisée que pour seulement 20% des espèces de Côte d'Ivoire. Sachant que ce pays est certainement celui d'Afrique de l'Ouest où l'inventaire est le plus complet, une telle remarque tient une grande importance.

Il est intéressant d'ajouter que l'intégration des facteurs liés au substrat est possible dans certains cas où les échantillons ont une répartition assez large. Mais dans l'ensemble, ces facteurs n'arrivent qu'au second plan. En conséquence, cette situation rend l'interprétation des valeurs de marginalité et de tolérance délicate.

La méthode de ES est nettement moins performante car elle ne prend pas en considération la répartition des localités au sein des valeurs écologiques. Ainsi les échantillons ayant une localisation marginale gardent une influence sur l'analyse. Elle est cependant applicable avec beaucoup moins de données que la précédente. Pour les espèces où une seule localité est connue, il est évident que la cartographie potentielle se limite au point de récolte et n'a donc pas de sens.

La validation des résultats devra être réalisée par la collecte de nouvelles informations et l'utilisation des inventaires existants dans la littérature. On peut néanmoins montrer que si la répartition des récoltes n'est pas uniforme sur la Côte d'Ivoire, la majorité des zones écologiques ou domaines phytogéographiques sont au moins inventoriés de manière correcte (fig. 6), et les zones de transitions comprennent de nombreux échantillons, comme la zone centrale entre le domaine de l'Est et de l'Ouest, ou la zone du V Baoulé.

CONCLUSION :

Les méthodologies employées dans ce travail permettent une approche globalement satisfaisante de la distribution des espèces en fonction des facteurs écologiques. Néanmoins, plusieurs cartes de distribution potentielle des espèces montrent une différence avec la distribution observée dans les données. A ce stade de l'analyse, ces variations doivent alors être expliquées soit par une insuffisance de l'échantillonnage en certains endroits, soit par des facteurs historiques ayant influencé la distribution des espèces, associées à des barrières physiques à leur dispersion. Des données complémentaires sont nécessaires tant pour affiner la qualité de l'analyse que pour en effectuer la validation. Nous retenons l'analyse ES pour une cartographie de l'ensemble des espèces, en retenant l'analyse HS, pour les cas où quantité de données de distribution est suffisante.

Au delà de la cartographie en fonction des facteurs écologiques, il sera alors possible de passer à un stade ultérieur de la démarche, par exemple en estimant la probabilité de présence des espèces au sein des aires protégées ou de milieux ayant disparu et de proposer des scénarios d'évolution de la distribution des espèces en fonction de changements climatiques.

Références:

- Aké Assi L.** (1961) Contribution à l'étude floristique de la Côte d'Ivoire et des territoires limitrophes. Thèse Uni. Paris.
- Aké Assi L.** (1976) Esquisse de la flore générale de Côte d'Ivoire. *Boissiera* **24**: 543-549
- Aké Assi L.** (1984) Flore de la Côte d'Ivoire. Thèse Uni. Abidjan, 6 vol. 1206 pp.
- Bongers F, Poorter L., Van Rompay R.S.A.R. & Parren M.P.E.** (1999) Distribution of twelve forest canopy species in Liberia and Côte d'Ivoire: response curves to climatic gradient. *Journal of Vegetation Science* **10**: 371-382.
- Carpenter G., Gillison A.N. & Winter J.** (1993) DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distribution of plants and animals. *Biodiversity Conservation* **2**: 667-680
- Eldin M. & Montels J.** (1979) . Pluviométrie et déficits hydriques. *in*: Atlas de Côte d'Ivoire. ORSTOM-IGT.
- Gautier L. Aké Assi L., Chatelain C. & Spichiger R.** (1999) Ivoire: a geographic information system for biodiversity management in Ivory Coast. *In*: Timberlake, J. & Kativus, S. (eds.) African Plants: Biodiversity Taxonomy and uses. Royal Bot. Gardens, Kew. pp. 183-194.
- Guillaumet J.L.** (1967) Recherches sur la flore et la végétation du Bas-Cavally (Côte d'Ivoire). ORSTOM., Paris.
- Guillaumet J.L. & Adjanohoun E.** (1971) La végétation de la Côte d'Ivoire. *In*: Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire, ORSTOM, Paris. 161-263p.
- Guisan A.** (1997). Distribution de taxons végétaux dans un environnement alpin: Application de modélisations statistiques dans un SIG. Thèse Uni. Genève 189 pp.
- Hirzel A., Hausser J. & N. Perrin** (2000) Biomapper 1.0 beta. Laboratory for conservation biology, University of Lausanne.
- Lancia A., DA ,A. & Lunk E.M.** (1986) Temporal and spatial aspects of species habitat models. *In*: Verner, J. Morrison, M.L. & J.R. Ralph (eds.) Wildlife 2000: Modeling Habitat Relationships of terrestrial verterates pp. 65-70. The University Wisconsin Press, Wisconsin.
- Lenton S.M., FA, J.E & J. Perez Del Val** (2000) A simple non parametric GIS model for predicting species distribution: endemic birds in Bioko Island, West Africa. *Biodiversity and Conservation* **9**: 869-885.
- Monnier Y.** (1983) Atlas de Côte d'Ivoire. Atlas Jeune Afrique. 72 pp.
- Perraud, A.** (1971) Carte pédologique de Côte d'Ivoire, 1: 500'000. Le milieu Naturel de la Côte d'Ivoire, II. Cartes. ORSTOM, Paris.

Perraud A. (1979) Aptitudes culturales et forestières des sols Côte d'Ivoire. Atlas de Côte d'Ivoire. ORSTOM-IGT.

Skov F. (2000) Potential plant distribution mapping based on climatic similarity. *Taxon* **49**: 503-515.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé avec la collaboration étroite et amicale du professeur Laurent AKE ASSI pour la partie botanique et le Dr. Alexandre HIRZEL pour la partie analytique.

Figure 1. Histogrammes en dix classes de distribution des valeurs écologiques pour les localités de présence de *Englerophytum oblanceolatum* selon la méthode HS de Biomapper. Le premier facteur est corrélé à la durée de la saison sèche, le deuxième au degré de lessivage des sols, et les facteurs suivants sont difficilement interprétables. En premier plan, barres de distribution de fréquence de l'espèce, en deuxième plan, barres de fréquence des valeurs des cartes écologiques.

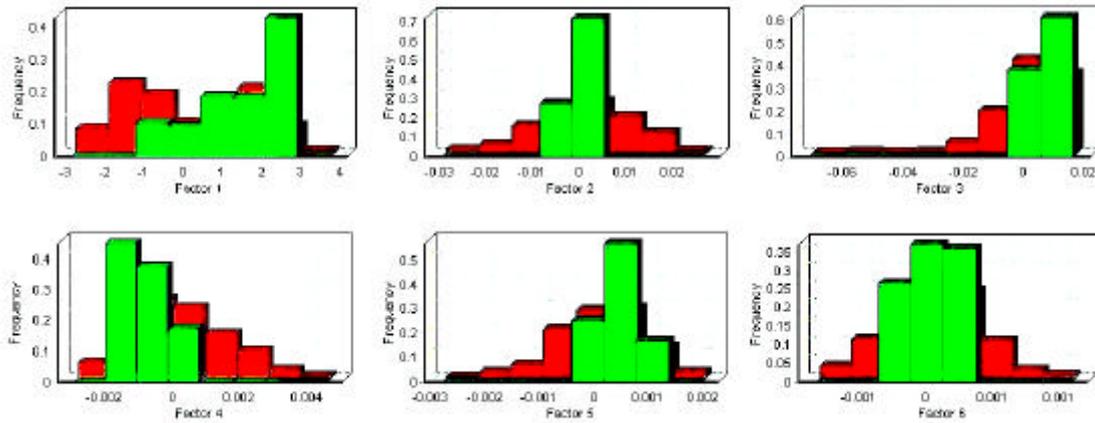


Figure 2. Cartes des facteurs écologiques utilisées dans la modélisation ES. A: Pluviométrie des années 1960-1970, B: carte de la végétation (du Sud au Nord: forêt ombrophile, F. mésophile, savane guinéenne, savane soudanais, savane soudano-sahélienne), C: altitude, D: durée de la saison sèche, E: distance aux rivières.

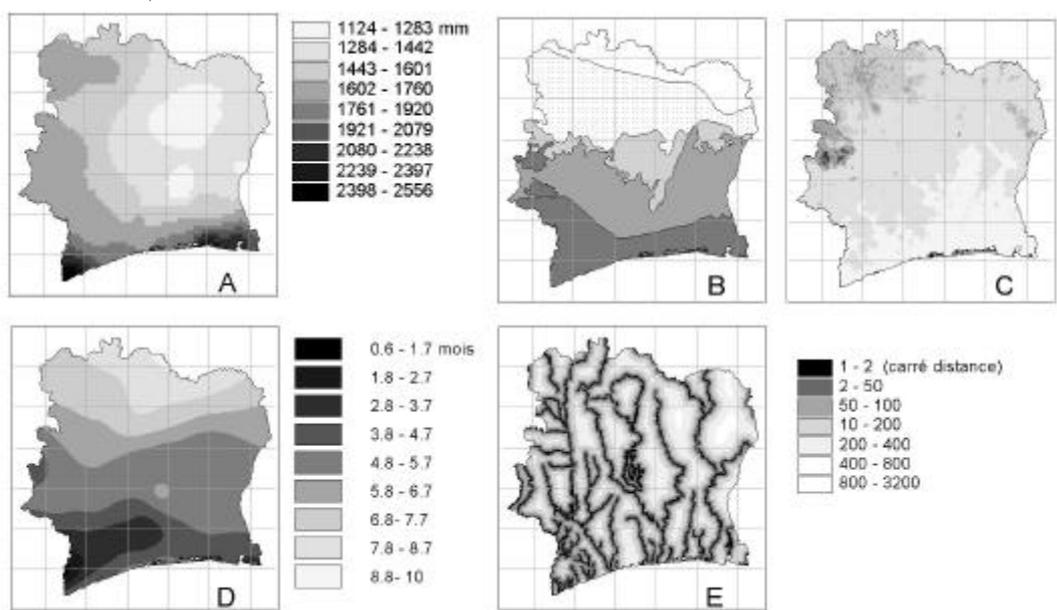


Figure 3: Comparaison visuelle entre la méthode HS et MS pour *Englerophytum oblancoatum* (colonne de gauche) et *Synsepalum afzelii* (colonne de droite) réalisées avec la méthode HS (ligne du haut avec une résolution de 0.25°, les valeurs de grisé correspondent à une probabilité de présence) et avec la méthode ES (ligne du bas avec une résolution de 0.1°, les valeurs de grisé correspondent à une similarité). Les facteurs écologiques employés pour cette analyse sont l'altitude, la pluviométrie annuelle, la durée de la saison sèche, la distance au rivières et une carte des domaines de végétation.

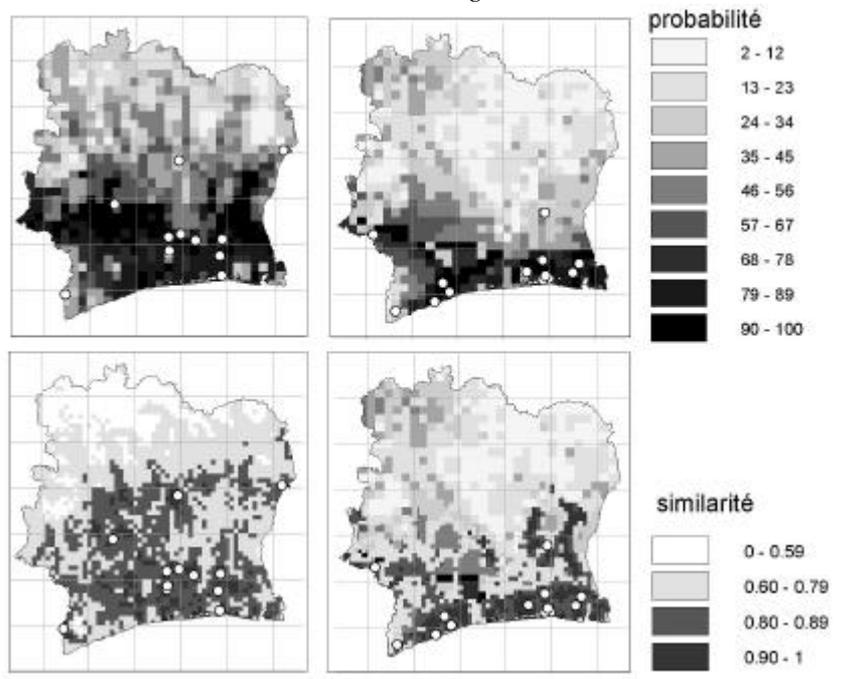


Figure 4a. : Cartes de distribution potentielle des Sapotaceae calculées avec la méthode ES. (voir légendes fig.4c.) en utilisant les facteurs écologiques employés pour cette analyse sont l'altitude, la pluviométrie annuelle, la durée de la saison sèche, la distance au rivières et une carte des domaines de végétation.

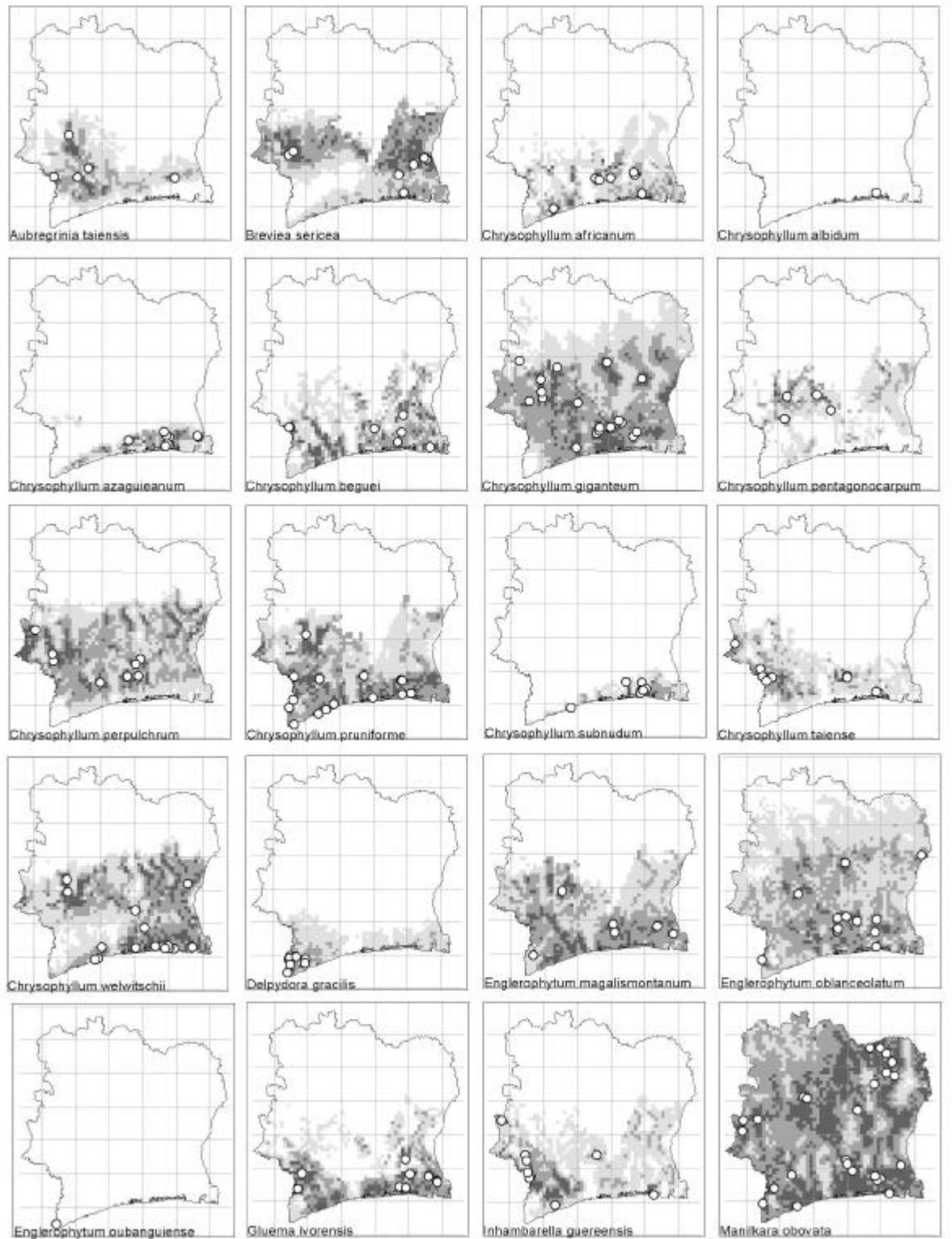


Figure 4b. : Cartes de distribution potentielle des Sapotaceae calculées avec la méthode ES (voir légendes fig. 4c.)

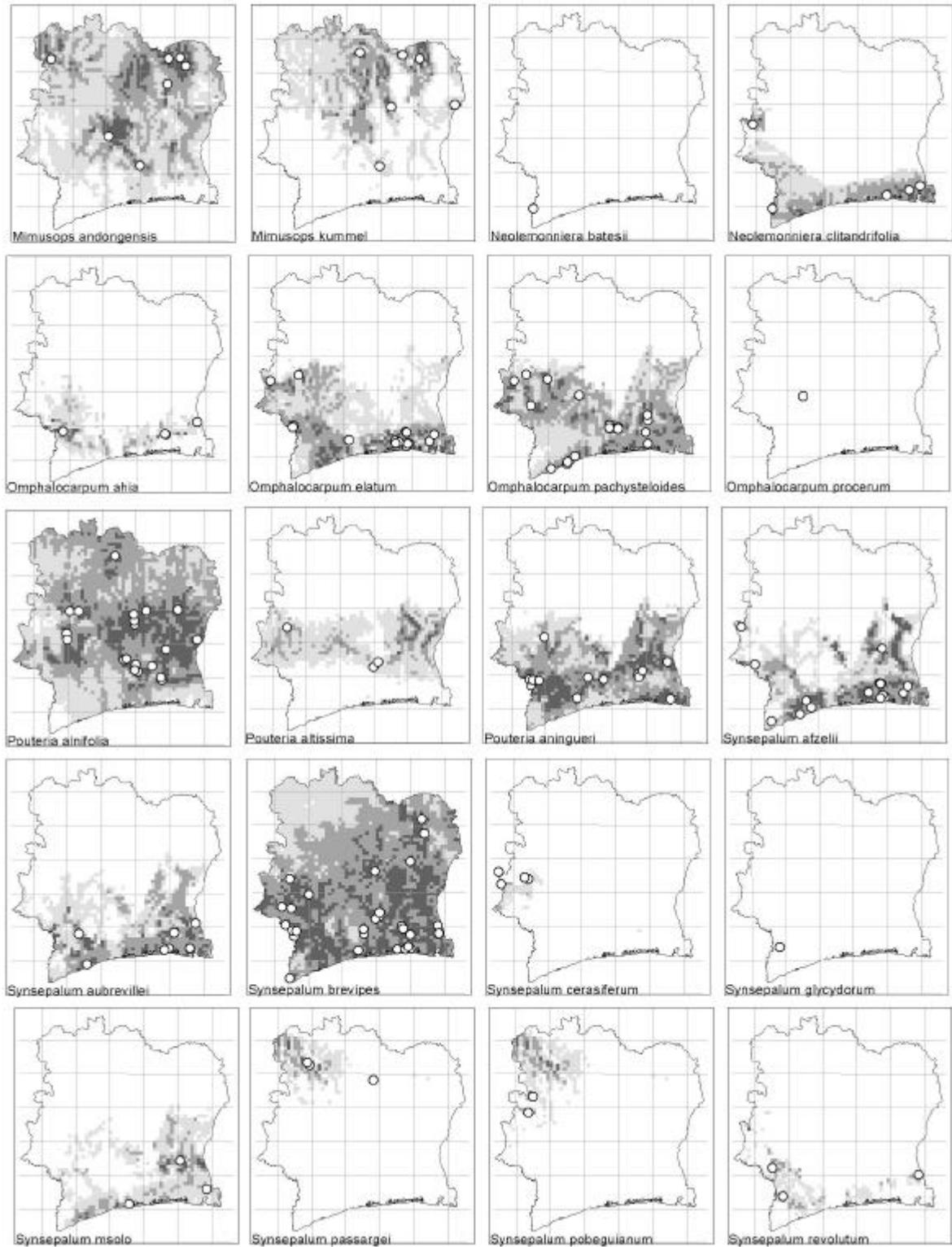


Figure 4c. Cartes de distribution potentielle des Sapotaceae calculées avec la méthode ES. Les valeurs grisées correspondent à un coefficient de similarité pour des milieux ayant des facteurs écologiques semblables. Les valeurs sont multipliées par 100.

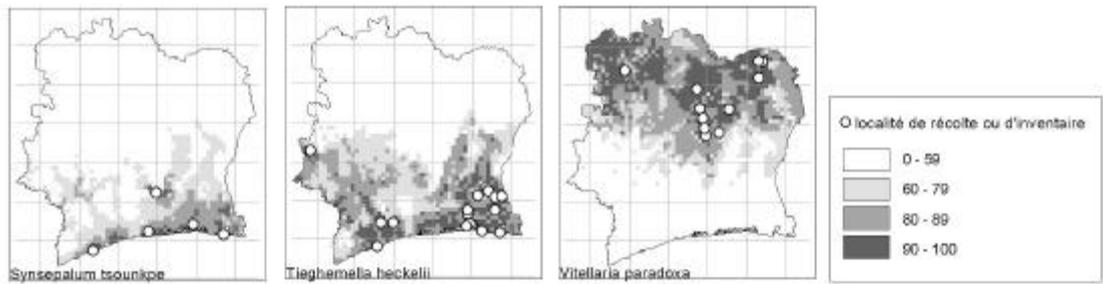


Figure 5a: Cartes de distribution potentielle des Moraceae calculées avec la méthode ES. Les valeurs grisées correspondent à un coefficient de similarité pour des milieux ayant des facteurs écologiques semblables. Les valeurs sont multipliées par 100.

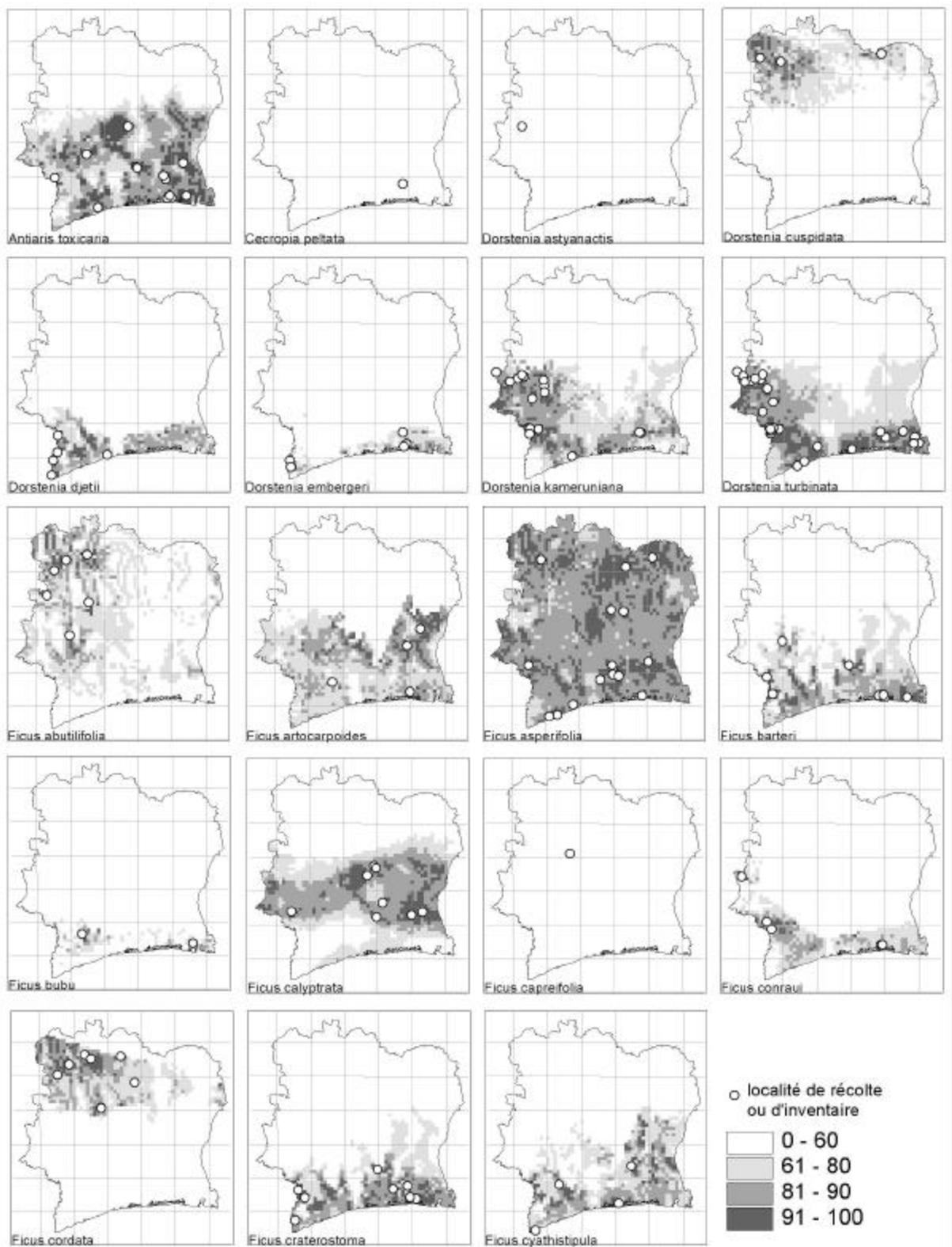


Figure 5b: Cartes de distribution potentielle des Moraceae calculées avec la méthode ES. (voir légendes fig. 5a).

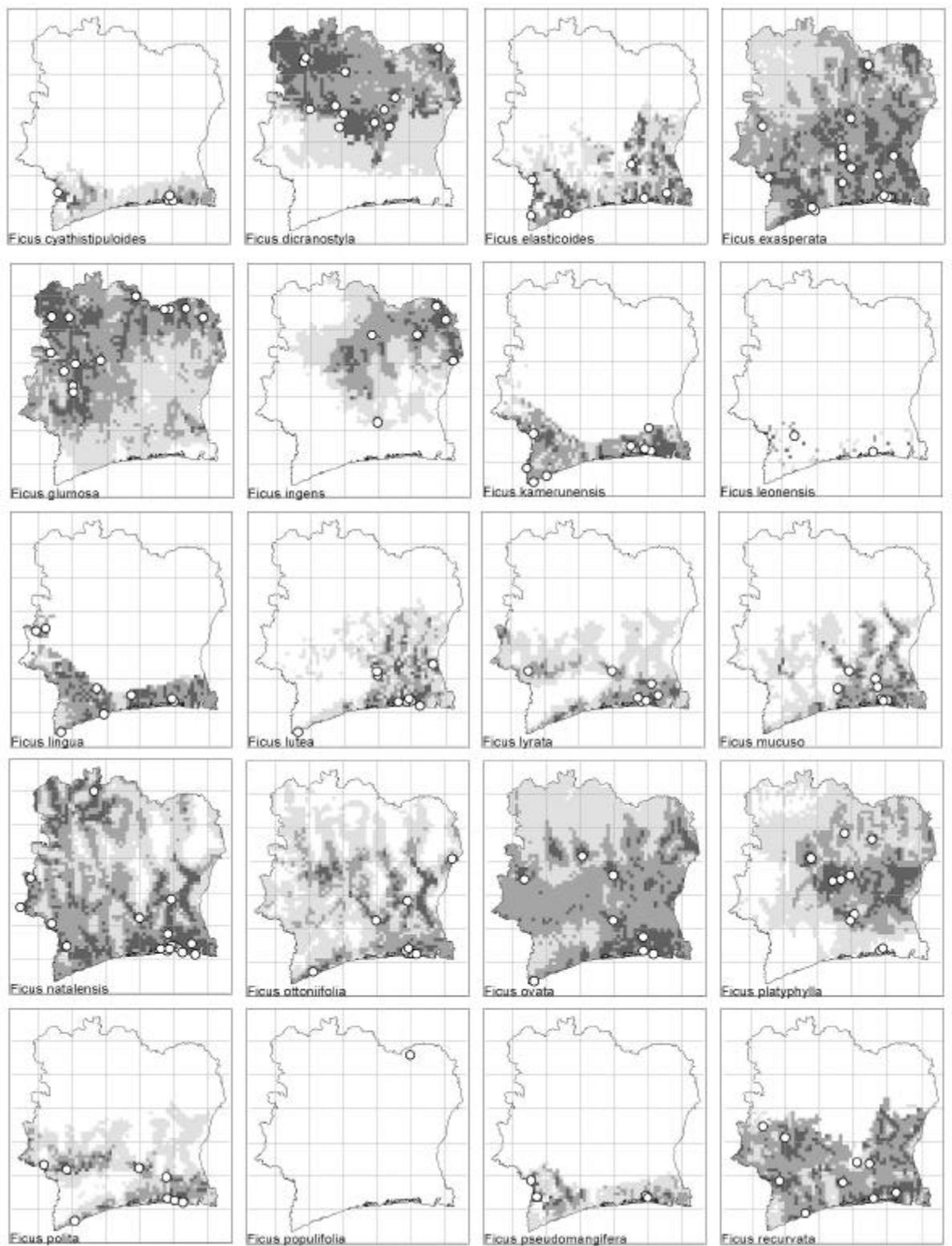


Figure 5c: Cartes de distribution potentielle des Moraceae calculées avec la méthode ES. (voir légendes fig. 5a)

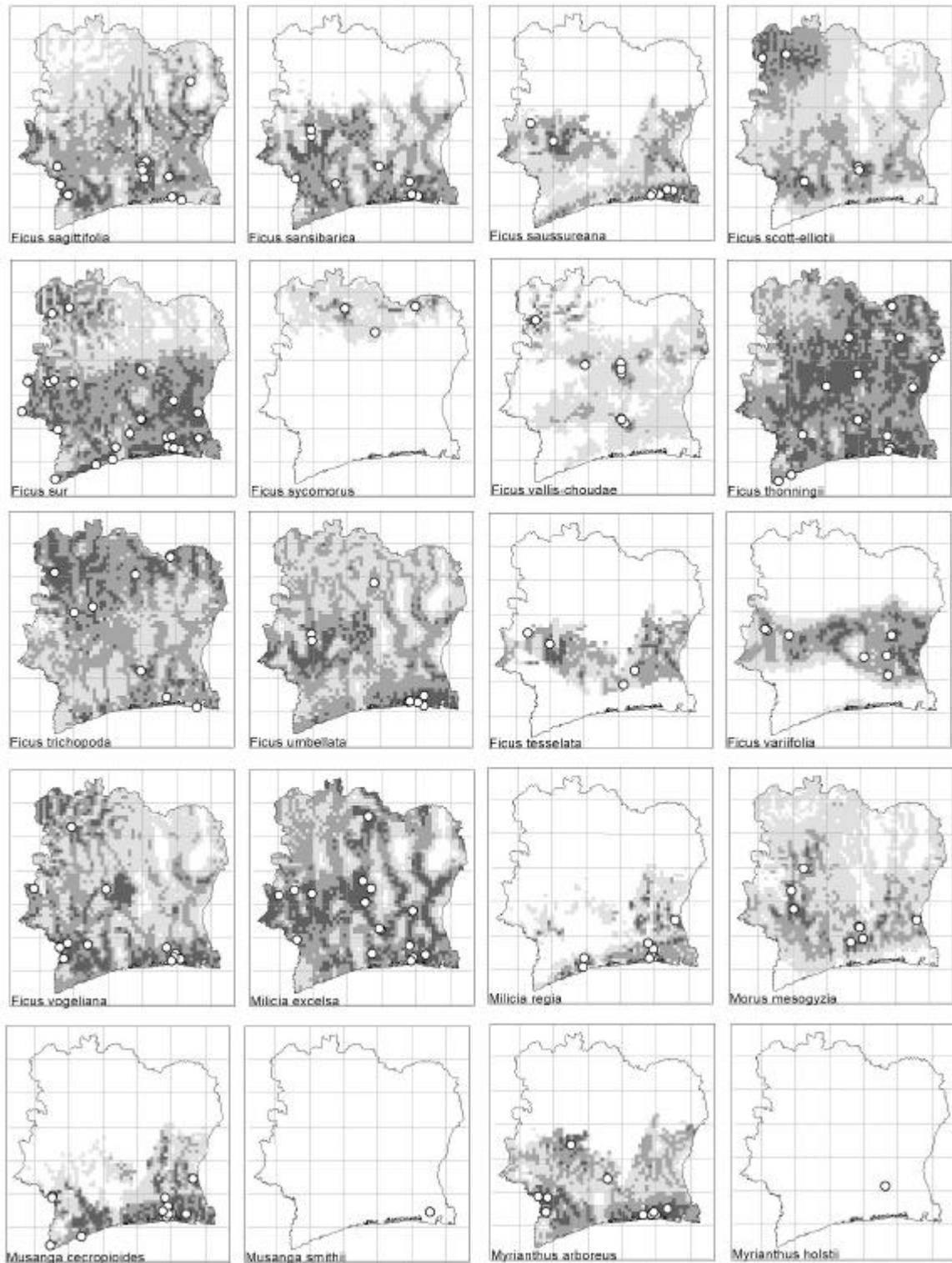


Figure 5d: Cartes de distribution potentielle des Moraceae calculées avec la méthode ES. (voir légendes fig. 5a).

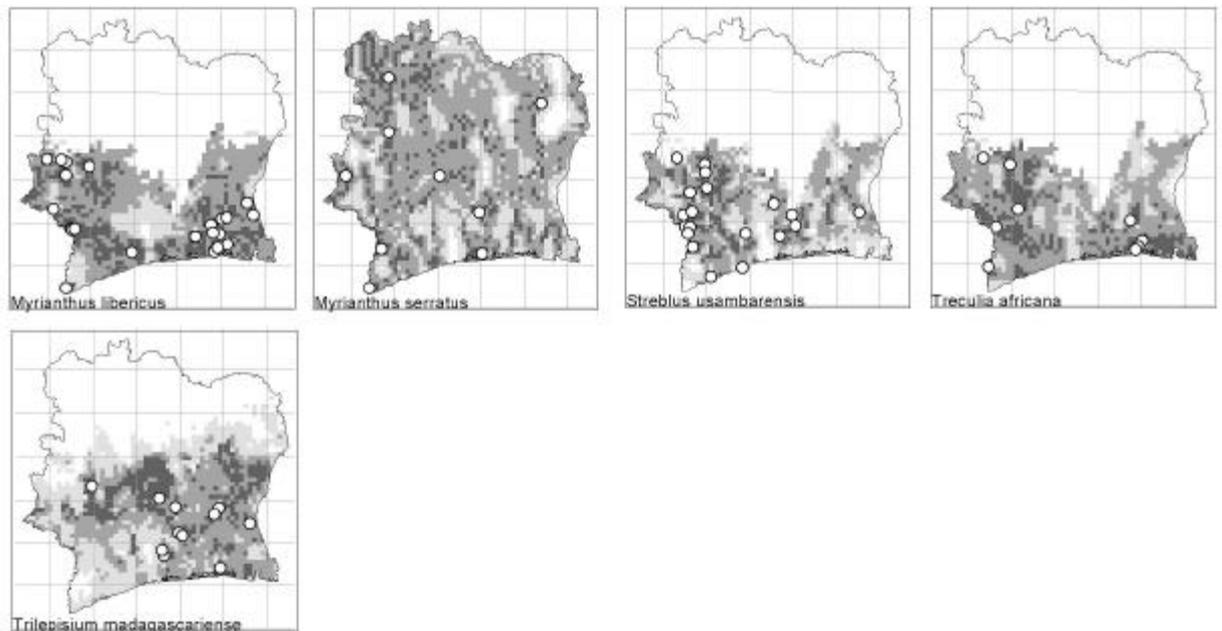


Figure 6. Nombre d'espèces de phanéropytes récoltées ou inventoriées par grid de 0.25°. Les valeurs de cette carte approchent la biodiversité végétale mais surtout le degré d'inventaire et de récoltes des différentes régions: les régions du Parc National du Banco, de Lamto et de la station de recherche Tai sont les mieux étudiées. Les points noirs représentent les localités de récolte.

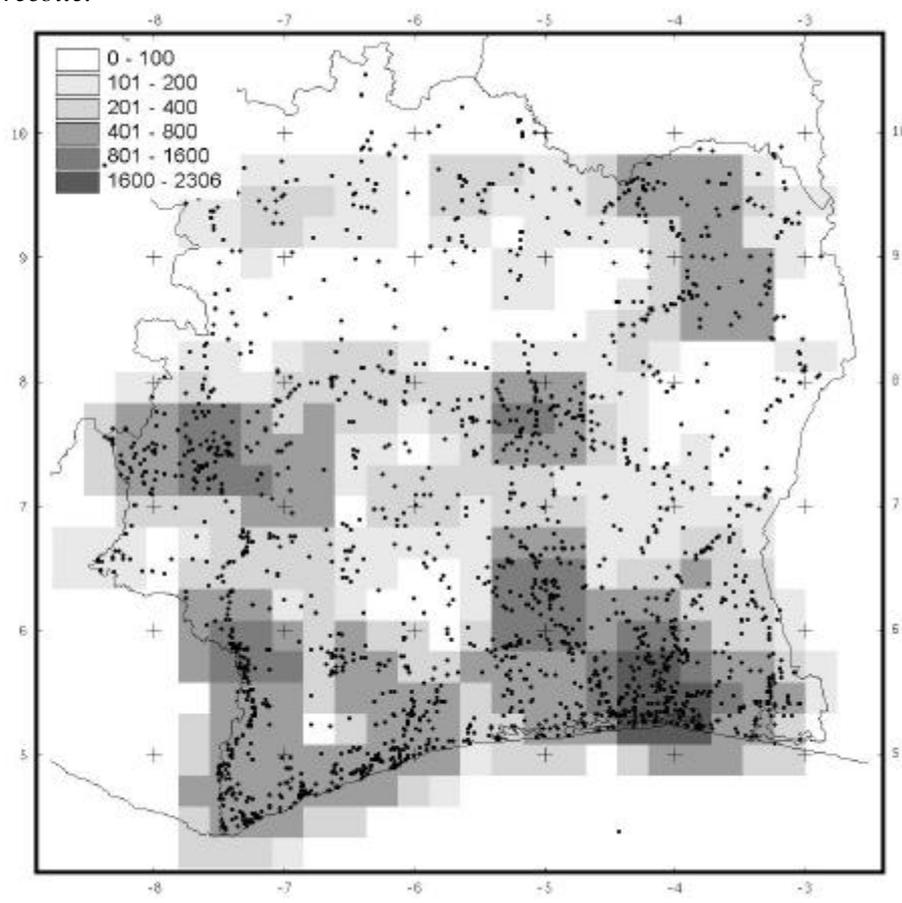


Tableau 1: Liste des cartes écologiques employées. (*) données utilisées pour les analyses présentées dans ce travail avec la méthode ES.

| thème | val. min | val. max | type de données | valeurs utilisées | modèle | référence |
|------------------------------------|----------|----------|-----------------|---|-----------|--|
| aptitudes culturelles | 1 | 5 | qualitatif | moyenne/grid | HS | Extrait Carte 1:500'000 de la pédologie (Perraud 1971), regroupements selon la carte des aptitudes culturelles (Perraud, 1979) |
| lessivage des sols | 1 | 5 | qualitatif | moyenne/grid | HS | Extrait Carte 1:500'000 de la végétation de (Eldin & Montels (1979). sols fortement ferrallitiques (1) à ferrugineux (5) |
| altitude | 1 | 1680 | quantitatif | maximum /grid (m) | HS-ES (*) | carte MNT mondial résolution 1km, |
| distance aux rivières | 1 | 6400 | quantitatif | carré de la distance | HS-ES (*) | ESRI-Data 1km et divers |
| Pluviométrie 1960-70 | 800 | 2400 | quantitatif | moyenne/grid (mm) | | Valeurs de 19 stations pluviométriques de Côte d'Ivoire (Eldin & Montels 1979) |
| distance aux inselbergs | 3 | 2910 | quantitatif | carré de la distance | HS | Extrait de la carte 1:500'000 de la végétation (Guillaumet 1971) |
| sol schisteux | 0 | 100 | qualitatif | % de la classe schiste / grid | HS | Extrait de la carte 1:500'000 de la pédologie (Perraud 1979) |
| sol granitique | 0 | 100 | qualitatif | %. granite / grid | HS | " " |
| sol hydromorphe | 0 | 100 | qualitatif | %. hydromorphe / grid | HS | " " |
| sol sableux | 0 | 100 | qualitatif | % sableux / grid | HS | " " |
| durée de la saison sèche (1959-69) | 2 | 8 | quantitatif | nombre de mois secs | HS-ES (*) | Carte 1:200'000'000, Atlas de Côte d'Ivoire (Eldin & Montels 1979) |
| forêt | 0 | 100 | qualitatif | valeur 1 pour la zone forestière, 0 pour la savane | HS | Carte de la végétation (Monnier 1983) |
| savane | 0 | 100 | quantitatif | pourcentage de la classe savane /grid | HS | Carte de la végétation (Monnier 1983) |
| végétation | 1 | 100 | qualitatif | valeur de 100 pour la forêt sempervirente, 80 pour la forêt semi-décidue, 2 pour la savane guinéenne, 1 pour la savane soudanaise | ES (*) | Carte de la végétation (Monnier 1983) |