

PHYTOGÉOGRAPHIE DE L'AFRIQUE, UNE APPROCHE ÉCOLOGIQUE

D. GUILLEMYN, H. PUIG ET F. BLASCO
Institut de la carte internationale de la végétation
39, allées Jules Guesde - 31062 Toulouse - France.

Résumé : Cette étude montre comment l'on peut prendre en compte, au niveau global quelques-uns des principaux facteurs physiques déterminant la distribution des climats et indirectement de la végétation sur l'ensemble du continent africain. Les facteurs choisis sont : la pluviométrie, le rayonnement solaire incident, la température de l'air. Les données sont acquises à partir de stations météorologiques terrestres. Une ouverture est faite vers l'utilisation de données captées par satellite. Ces paramètres sont exprimés sous forme de fichiers image, maillés et combinés par une méthode de cartographie synthétique utilisant un logiciel original. Cette cartographie synthétique constitue en fait un modèle graphique non mathématique. L'introduction de règles liées aux types de végétation rapproche ce procédé des systèmes experts. On aboutit à une représentation qui évoque la végétation potentielle. Les caractéristiques des cartes produites sont examinées. La question de la comparaison avec des expressions cartographiques de la végétation, est posée.

Mots-clés : Phytogéographie, bioclimatologie, Afrique, système d'information géographique, télédétection.

Abstract: This study shows how it is possible to take in account on a global level some of the main factors that determine the distribution of vegetation on the whole African continent. The selected factors are pluviometry, incoming solar radiation, air temperature. The data are acquired from ground meteorological stations. An ouverture is being made towards using satellite data. These parameters are expressed in the form of rasterized image files and combined by a synthetic cartography method using an original program. The end result being a display that evokes the potential vegetation. This synthetic cartography, in fact constitutes a non mathematical graphic model. The introduction of rules related to the various vegetation types brings this process close to an expert system. The characteristic features of the generated maps are examined. The issue of the comparison with cartographic expressions of vegetation is stated.

Keywords: Phytogeography, bioclimatology, Africa, geographic information system, remote sensing.



Introduction

La présente étude constitue un essai de synthèse bioclimatique au niveau du continent africain. L'approche bioclimatique est vue comme une partie de l'écologie, (DANSEREAU, 1957, MUELLER-DOMBOIS, 1984). C'est une étude qui adopte un point de vue global. L'échelle est très petite. Les données sur l'Afrique sont extraites d'un jeu couvrant le monde entier.

On propose un nouveau mode de représentation des grands biomes africains intégrant, dans cette première phase, un petit nombre de paramètres mésologiques. Ces paramètres sont au nombre de trois. Leur nombre est fixé par la méthode de représentation cartographique. Ces facteurs sont : la température, le rayonnement solaire incident et la pluviométrie (EMBERGER, 1955 ; BUDYKO, 1974).

La méthode utilisée est appelée cartographie synthétique. Elle utilise la combinaison des couleurs de manière à exprimer les caractéristiques des zones représentées. C'est une cartographie des zones bioclimatiques et indirectement de la végétation qui lui est potentiellement associée. Le souhait d'une expression rationnelle des milieux est souvent exprimé (de CURÉ, 1943 à LEEMANS, 1990). On recherche une expression cartographique plus coordonnée et plus en accord avec les autres modes de connaissance. Les progrès récents des techniques d'acquisition et de traitement des mesures, alliés au souhait de structurer, de modéliser les milieux terrestres, appellent ces nouvelles cartographies.

Les nouvelles méthodes cartographiques accompliraient un progrès réel si elles parvenaient à conserver la possibilité d'accès à la totalité de l'information contenue dans les données, tout en adoptant un mode d'expression non équivoque. Les représentations graphiques complexes étant essentiellement polysémiques. La mathématique tend à établir une relation unique entre signifiant et signifié. Il s'agit de conserver l'aspect monosémique de la cartographie, tout en la rendant plus informative. La présente méthode ne passe pas par la mathématique. Le procédé graphique proposé établit une relation unique entre couleur et ensembles bioclimatiques. Cette cartographie synthétique introduit donc un aspect monosémique. Le principe consiste à diriger le choix des limites entre les entités représentées, alliant ainsi l'avantage du graphique sans tomber dans l'imperfection du figuratif. On contribue à régionaliser l'espace avec un minimum de perte d'information par rapport aux données de départ. On montre dans cette étude les voies qui permettent d'éviter d'accroître le domaine des choix possibles et de « définir le niveau utile de réduction » (BERTIN, 1970).

Les approches bioclimatiques de la végétation du monde ou de l'Afrique sont nombreuses. Il est utile d'en citer quelques-unes : CURÉ (1943), KÜCHLER (1963), MEHER-HOMJI (1963), TROLL (1963), CARTER MATHER (1966), HOLDRIDGE (1967), MUELLER-DOMBOIS (1984), EMANUEL *et al.* (1985), LEEMANS (1990), MATTHEWS (1992).

D'autres cartes peuvent servir de référence : écofloristique (BLASCO, 1990), physionomique (LAVENU, 1985).

La méthode peut, en outre, répondre aux changements de niveau de perception en prenant en compte soit un déterminisme bioclimatique au niveau global, synécologique au niveau régional ou encore autoécologique au niveau stationnel. Selon les lieux, les échelles, les strates, ces facteurs se remplacent (GAUSSEN, 1947 ; KÜCHLER, 1963 ; LEEMANS, 1990). Suivant le niveau de perception concerné, il devrait donc être possible de considérer comme constant une bonne partie des facteurs s'exerçant sur des étendues ou des durées plus grandes. Il est permis d'envisager que seul un petit nombre de facteurs sont réellement actifs ou déterminants (limitants par exemple). Ce sont ces facteurs qui déterminent les couleurs et classes de la carte. D'autres facteurs pourront être intégrés dans des études ultérieures. Suivant le thème traité et l'échelle choisie, les facteurs peuvent ne pas toujours être les mêmes.

Une nouvelle expression bioclimatique est proposée à l'attention de la communauté scientifique, afin d'être perfectionnée, validée lors de collaborations. En augmentant la pertinence des caractères choisis, la valeur des règles de représentation, il est notamment envisageable de participer au renouveau de la nomenclature des milieux terrestres souvent encore très inspirée de celle de Yangambi (TROCHAIN, 1957).

Les données

Les données météorologiques au sol

Les données utilisées sont des données météorologiques issues du réseau international et collectées, pour la majorité, durant la période de 1930 à 1960. Ce sont les seules disponibles sur une telle surface et à ce niveau de précision. Malgré toutes les imperfections quant à leur unification et leur calibration, cet ensemble possède les qualités techniques suffisantes pour le niveau de perception que nous choisissons. On pense généralement que des données simples peuvent mieux rendre compte de phénomènes globaux que des données complexes (CARTER & MATHER, 1966). La température est la moyenne annuelle sur la période 1930-1960. Le rayonnement solaire est caractérisé par le pourcentage annuel d'heures sans nuages (sur la période diurne). La pluviométrie est la quantité annuelle. On choisit volontairement une option très globaliste de ces facteurs, proche de la notion de « quantité de chaleur », de la quantité d'énergie reçue et du cumul de pluie. Des travaux ultérieurs, plus détaillés, devant prendre en compte l'aspect diachronique des facteurs. La simplicité de ces données est compensée par certaines caractéristiques. Ce sont des données mesurées. Elles sont issues d'une méthodologie relativement constante dans l'espace et dans le temps. Leur acquisition est indépendante des notions qui nous intéressent. C'est-à-dire que, contrairement à certaines données anciennes, elles ne sont pas complétées par des observations botaniques quand les mesures manquent.

Les données météorologiques satellitaires

Les méthodes d'acquisition de données climatiques satellitaires commencent à présenter un certain intérêt. La durée sur laquelle elles s'étendent devient représentative (souvent plus de dix ans). Aux échelles globales les principaux fournisseurs sont les satellites de type géostationnaire de la série METEOSAT-GOES. Cependant les mesures effectuées nécessitent encore beaucoup de recherches afin de pouvoir être confrontées aux variables classiques ayant une valeur écologique. Les mesures de pluviométrie par satellite doivent progresser. Les mesures du rayonnement solaire incident commencent à être représentatives. Les mesures de température de l'air font encore grandement défaut. Par contre, ces satellites donnent des indications utiles sur l'activité de la végétation. C'est par exemple l'indice de végétation normalisé, une estimation, encore à parfaire, de l'évapotranspiration ou de la température de surface et enfin des vecteurs de vent. Ces mesures sont donc encore difficilement exploitables. Nous montrerons comment l'intégration d'un indice de végétation, bien que pris arbitrairement sur un mois, peut enrichir une cartographie synthétique de paramètres mésologiques globaux.

Le choix des facteurs

Ces paramètres ne sont pas en relation directe avec l'écologie des individus, mais d'une manière générale sont en rapport avec le déterminisme des communautés végétales, au sein desquelles se fait la spéciation, par adaptation aux conditions permanentes du milieu (HOLDRIDGE, 1967 ; LEEMANS, 1990). Le végétal répond à cette longue action du climat par sa physionomie, sa physiologie, sa phylogénie et sa répartition. Notre approche recherche donc son réalisme sur de grandes surfaces et à longue échéance. Elle est en rapport avec l'évolution des espèces, leur répartition et l'évolution de la biodiversité des écosystèmes. Le facteur sol n'est pas pris en compte ici malgré son importance, notamment au niveau régional et local (KUCHLER, 1963 ; LEMÉE, 1967 ; WILSON *et al.* 1985). Il est apparent que les climats déterminent plus les types de végétation que le contraire. En ce qui concerne le sol, il est envisageable que les très grandes divisions lithologiques ont une influence sur les types de végétation mais quand on va dans le détail, la pédogénèse, qui lie type de sol et régime hydrique, montre au contraire une plus grande influence du couvert végétal. Il n'est pas immédiat de constituer une variable caractéristique unique du substrat ayant une signification globale. Ce complément ne peut que suivre la présente étude.

Les données utilisées

Les données utilisées sont essentiellement issues d'un disque optique à lecture seule (CD - ROM) NOAA-EPA-NGDC (1992). On extrait de ce CD ROM des données annuelles de température et de pluviométrie (LEGATES & WILLMOTT, 1992). Les données concernant le rayonnement solaire sont issues de LEEMANS & CRAMER (1992). Les caractéristiques détaillées des données d'origine et des travaux de mise en forme peuvent être trouvées dans ces publications. L'indice de végétation est issu de GALLO (1990). Leurs caractéristiques peuvent être présentées de manière simplifiée.

Données d'éclairement solaire

Les enregistrements sont collectés sur la période 1930-1960. Les données des stations météorologiques sont transformées en fichiers maillés par interpolation. Le pas de la maille des images est le demi-degré. L'extension du fichier d'origine est de 90° N à 90° S et de + 180° (E) à 180° (W). Les fichiers sont composés de 360 lignes et de 720 colonnes. Les données, mensuelles, se trouvent sur 12 fichiers. Chaque valeur correspond à un octet, représentant le pourcentage d'heures de soleil potentiel par mois.

Données de pluviométrie et de température

Les températures sont issues de la compilation des mesures de 24 491 stations terrestres. Les précipitations sont issues de 26 658 stations. Les latitudes couvertes s'étendent de 90° N à 90° S. En longitude, elles vont de + 180 (E) à - 180 (W). Le pas est d'un demi-degré. Les fichiers ont 360 lignes et 720 colonnes. La plupart des mesures s'étend sur une période allant de 1920 à 1980. Les moyennes mensuelles sont transformées en moyennes annuelles par les auteurs de la base de données. Les précipitations sont en mm par an et les températures sont en degrés C x 10 avec une précision de 01 °C. Les données sont binaires et en mots de 16 bits.

Indice de végétation

Il est issu du capteur AVHRR des satellites NOAA 9 et NOAA 11. Les valeurs sont des moyennes sur 1 x 4 km dans le sens du balayage dans des carrés de 4 x 4 km. Les mesures sont quotidiennes. On conserve pour chaque pixel, la valeur maximale mensuelle. On calcule l'indice de végétation normalisé. Ces conditions de sélection font que des pixels peuvent être issus de mesures sous des angles différents, à des dates différentes et à des orientations du soleil différentes.

Méthodologie

Ces données ont été remises en forme pour servir à l'étude présente. Les programmes utilisés sont IDRIS, IDRIS version 3, IDRIS version 4 et INITEL3.

Préparation des données

Les données d'ensoleillement ont été additionnées (12 fichiers, de manière à n'en former qu'un seul), représentant l'année-type sur la période. Un fenêtrage des données est réalisé par l'utilisation d'un masque contenant les océans. Une fenêtre de 160 lignes et 160 colonnes s'étendant de 20° W à 59 5° E et de 40° N à 395° S est extraite. Elle couvre le continent africain. Ces images sont normées et le maximum ramené à 125 (chaque valeur étant cependant mise sur un octet), pour intégration dans le programme de cartographie synthétique. Le fichier résultant est agrandi à 200 lignes par 200 colonnes (facteur de 1,25) par interpolation utilisant la méthode du plus proche voisin.

Les données de température de surface de l'air en 1/10 de degré s'étendent de - 569 à + 299. Les valeurs sont toutes rendues positives par addition de 570. Elles sont normées à 125. On ajoute 1 pour supprimer les valeurs égales à zéro. On réalise le fenêtrage océanique. Les fichiers 16 bits sont alors mis en 8 bits. La fenêtre de 160 x 160 sur l'Afrique est amenée à 200 x 200 puis mise en forme pour le logiciel d'exploitation.

Les données de pluviométrie sont normées à 125 incrémentées de 1 pour supprimer les valeurs nulles, masquées par les océans et mises au même format de 200 x 200 pixels.

L'indice de végétation est celui de juillet 1988. Les valeurs ont été normées, masquées par les océans puis intégrées dans le jeu de données. Le canal indice de végétation vient remplacer l'éclairément incident. La valeur absolue n'est pas importante ici. Par contre, on compte sur les différences relatives.

On obtient trois fichiers composés d'octets. On considère ces fichiers comme des « images » des paramètres. Ils sont superposables géographiquement pixel à pixel. Ils ne représentent plus les variables pluie, température, éclairément telles qu'on les exprime habituellement en valeur absolue, mais sont constitués de valeurs coordonnées entre elles et exploitables par un logiciel s'appliquant à des images de télédétection.

Principe de la représentation des données

Les cartes ne sont pas réalisées selon la méthode habituelle : choix d'une échelle, choix des éléments du thème, choix des valeurs et leur localisation, report sur un fond repère, tracé des courbes réunissant les mêmes valeurs entre elles (ARLÈS, 1977). Le logiciel utilisé est le programme Initel dont quelques fonctions présentent un prolongement dont bénéficie cette problématique. La combinaison des couleurs se fait en mode visualisation huit bits, en 256 couleurs (GUILLEMYN, 1993). Chaque paramètre est affecté à une des trois couleurs rouge, vert ou bleu. Chacune des ces trois couleurs peut recevoir six intensités différentes. On convient d'affecter une intensité proportionnelle à la valeur de la variable représentée. La combinaison par synthèse additive des six intensités pour chaque couleur produit un affichage possédant potentiellement $6 \times 6 \times 6$, soit 216 couleurs. Les variables représentées ont une dynamique de 128 niveaux chacune et non de 6 niveaux. Il faut donc les « segmenter » en plages d'intensité. Ceci se fait à l'aide de « bornes » que l'on dispose selon certaines lois. Ce procédé très proche de certains programmes de traitement d'images est appelé classement cubique. Le programme possède une interface particulière rendant cette segmentation très souple. La méthode cubique est différente de la méthode du triangle de Holdridge dans laquelle les trois variables sont considérées comme ayant une somme constante.

Résultats

Seuls quelques exemples statiques peuvent être montrés dans cette publication.

1. La représentation bioclimatique de l'Afrique par segmentation manuelle visuelle combine trois paramètres (fig. 1). La segmentation est manuelle, guidée par l'aspect visuel de l'histogramme des fréquences de chaque paramètre.

Cette méthode est rapide et ergonomique. Elle permet de combiner des paramètres n'ayant pas de relation entre eux. Elle permet de produire de nombreuses représentations en très peu de temps. Un effort de structuration de la production est souhaitable sinon les représentations obtenues n'auront pas de valeur scientifique. On peut représenter des palettes où la surface de chaque couleur est sensible. Le regroupement des couleurs est envisagé. Il y a un inconvénient à rattacher les petites classes aux grandes. On perd alors en richesse d'information. Un travail de détail fait sur Madagascar montre une grande richesse de la représentation malgré la très faible résolution des données. Il est probable que ces données globales soient plus riches en information qu'on ne pouvait le prévoir.

La figure 1 montre des couleurs très voisines de la carte synthétique du monde réalisée par GAUSSEN (1968). Les grandes zones sont disposées de la même manière que dans bon nombre de représentations bioclimatiques ou de cartographie de la végétation. La disposition des zones est dans une succession nord-sud, un effet de continentalité est observable, les parties est des limites étant plus au sud que leurs parties ouest. Les comparaisons se font actuellement visuellement. La superposition pixel à écart pixel par matrice de corrélation est prévue suite à une correction géométrique des représentations et une mise en concordance des légendes.

2. La représentation bioclimatique par segmentation manuelle et simulation d'augmentation de la pluviométrie montrée figure 2 fait apparaître une plus grande extension des zones violettes, de la zone équatoriale. La partie est de Madagascar est aussi soulignée. L'ensemble du continent conserve une allure normale.

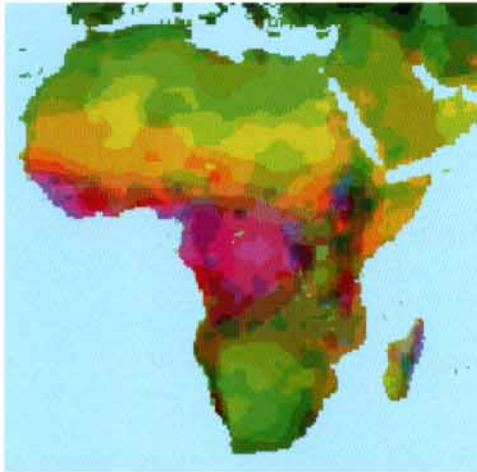


Figure 1

Représentation bioclimatique colorée de l'Afrique, à partir de la température annuelle moyenne, du rayonnement solaire incident annuel, de la pluviométrie annuelle. La segmentation est manuelle.

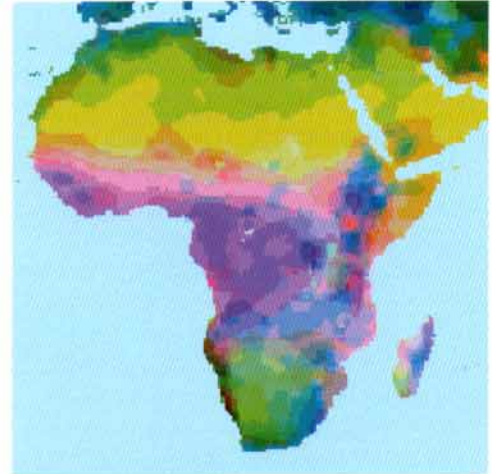


Figure 2

Représentation bioclimatique colorée de l'Afrique sur laquelle on a simulé une augmentation de la pluviométrie.

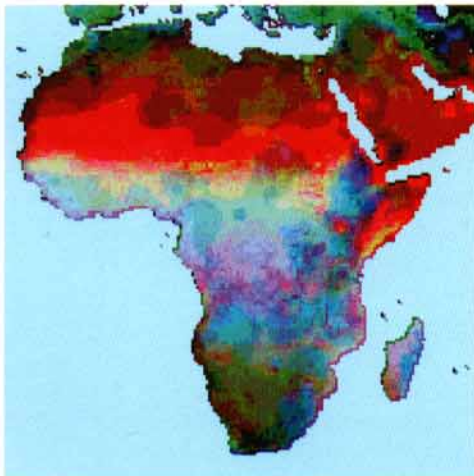


Figure 3

Représentation bioclimatique colorée de l'Afrique générée à partir de la température annuelle moyenne, d'un indice de végétation et de la pluviométrie annuelle. La segmentation est manuelle.

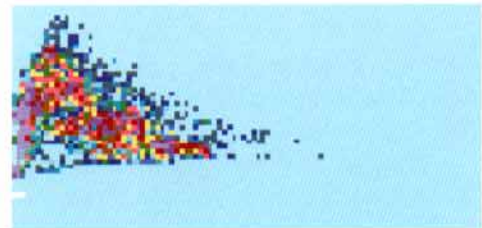


Figure 4

Histogramme bidimensionnel entre la pluviométrie annuelle et la température annuelle moyenne de l'Afrique. L'origine est en haut à gauche. La pluviométrie se trouve sur les abscisses et augmente vers la droite. La température est sur l'axe des ordonnées et augmente vers le bas du schéma.

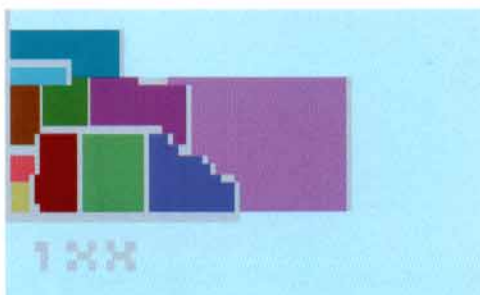


Figure 5

Segmentation de l'histogramme bidimensionnel formé avec la pluviométrie annuelle et la température annuelle moyenne de l'Afrique. Il y a 10 classes.

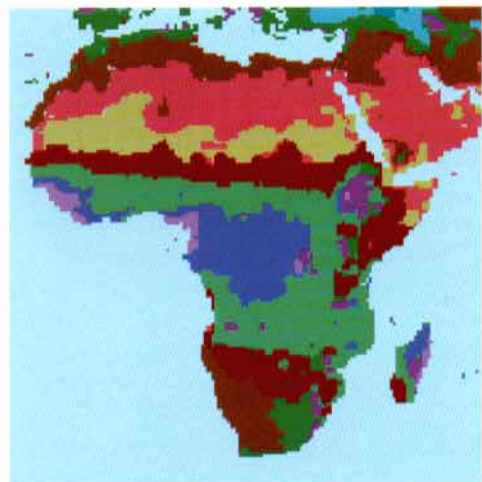


Figure 6

Carte d'Afrique obtenue par segmentation non dirigée d'un histogramme bidimensionnel établi sur la température moyenne annuelle et la pluviométrie annuelle.

3. La représentation bioclimatique de l'Afrique en utilisant des limites bioclimatiques simplifiées n'a pas donné de résultats plus expressif que les cartes précédentes. Probablement parce que les données trouvées (BOX *in* PRENTICE, 1992) concernent le plus souvent des espèces. Les données concernant la tolérance écologique des formations végétales qui seraient utiles ici sont moins nombreuses encore.

4. Une représentation bioclimatique de l'Afrique intégrant pluviométrie annuelle, indice de végétation et température moyenne annuelle est montrée dans la figure 3. Il y a ici utilisation d'une donnée satellitaire. Le NDVI joue le rôle d'un troisième canal d'information. Il augmente la variabilité locale de la carte. Cette méthode mieux dirigée, par un choix judicieux de l'indice de végétation, devrait rapprocher la carte bioclimatique potentielle d'une carte de la végétation réelle.

5. Une représentation bioclimatique de l'Afrique à l'aide de la pluviométrie et de la température est montrée figure 6. Cet essai a été tenté car on constate que, le plus souvent, les formules climatiques contiennent un dénominateur qui se rapproche d'une fonction de la température. Il est intéressant de noter que l'histogramme bidimensionnel des données (figure 4) possède l'allure générale du diagramme réalisé par БУДЬКО (1974, p. 348). La carte obtenue par l'histogramme segmenté (figure 5), bien que simple, possède un réalisme correct. C'est un exemple de carte automatique. Elle peut être améliorée par un positionnement plus judicieux des limites de segmentation.

6. Des animations permettent de tenter des simulations :

- animation où les facteurs sont indépendants et varient un à la fois ;
- animation par variation indépendante des trois facteurs ;
- animation par variation liée des facteurs.

Ces animations, tout en produisant des variations réalistes montrent un simple continuum (les déplacements des couleurs et donc les zones cartographiées sont directement liées aux variations des paramètres). On a une variation progressive, continue des limites séparant toutes les zones.

Un aspect plus biologique est donc prévu. Il permet de gérer la position des bornes en fonction de la tolérance écologique des formations concernées. Une telle simulation devrait montrer le remplacement des formations végétales les unes par les autres en fonction des changements de paramètres bioclimatiques. On conçoit la difficulté de représenter de telles modifications dans une publication sur papier. Une solution de présentation assistée par ordinateur est en cours de réalisation.

Conclusion

La méthode produit des documents assimilables à des cartes, elle peut s'appliquer à une grande variété de données. La signification des paramètres présentés ici (moyennes annuelles) n'est valable que pour une approche très globale, des approches plus locales faisant intervenir des facteurs supplémentaires. Des études limitées à trois facteurs amènent à remplacer les facteurs par ceux qui semblent significatifs au niveau de perception choisi.

Cette méthode s'intègre dans le domaine de l'information géographique. Elle combine plusieurs sources de données ainsi que des règles de représentation. Elle facilite la reproductibilité des travaux et retarde l'intervention de l'interprétation dans la réalisation cartographique. C'est une forme de cartographie automatique intégrant un des aspects des systèmes experts. Elle se rapprochera de la cartographie écologique en recevant progressivement des lois concernant la synécologie et l'autoécologie des milieux cartographiés. Son informatisation lui permet d'intégrer sans modification, des mesures notamment celles effectuées par télédétection satellitaire. Les cartes produites seront sans doute nouvelles mais le croisement avec des données cartographiques classiques devrait permettre de faire progresser la classification de la végétation. Enfin, cette méthode, susceptible de fonctionner à différentes échelles, pourrait faire apparaître l'intérêt d'études et de mesures plus détaillées, considérées à tort comme simplement descriptives. BERTIN n'avait-il pas suggéré en 1970, que l'avenir serait à celui qui, sans commettre la moindre erreur dans l'analyse des composantes de l'information et de leur transcription, saurait dans ce cadre étroit donner à ses images la plus grande efficacité et faire l'objet de comparaisons innombrables.

BIBLIOGRAPHIE

- ARLÈS C. - 1977 - Méthode analogique de cartographie de l'ensoleillement théorique journalier. *Bull. Ecol.* 8 (3) : 243-250.
- AUBRÉVILLE A. - 1956 - Conceptions modernes en bioclimatologie et classification des formations végétales. *Adansonia*, 5 (3) : 297-306.
- BERTIN J. - 1970 - La cartographie dans la civilisation de l'informatique. Internationales Jahrbuch für Kartographie, Kartographisches Inst. Bertelsmann, Gütersloh.
- BLASCO F. et AIZPURU M. - 1992 - Carte de la végétation potentielle de l'Afrique ; carte de la végétation réelle de l'Afrique. Documents internes, Institut de la carte internationale de la végétation, Toulouse, France.
- BUDYKO M.I. - 1974 - Climate and Life. Ed. D. H. Miller, Academic Press, N.Y., S. Francisco, London, 1 vol., 508 p.
- CARTER D.B. and MATHER J.R. - 1966 - Climatic Classification for Environmental Biology. Publ. in Climatology, vol. XIX, n° 4, 395 p., Ed. C.W. Thornthwaite associate. Lab. of Climatology, Elmer N.J. USA, 1 Map.
- CURÉ P. - 1943 - Les essais de représentations synthétiques des climats pour la géographie botanique. Documents pour les cartes des productions végétales, série Généralités, tome III, 54 p., Cartographie des limites écologiques, Toulouse, France.
- DANSEREAU P. - 1957 - Biogeography, an Ecological Perspective. 394 p., Ronald Press Company, N. Y., USA.
- EMANUEL W.R., SHUGART H.H. and STEVENSON M.P. - 1985 - Climatic change and the broad scale distribution of terrestrial complexes. *Climatic Change*, 7 : 29-43.
- EMBERGER L. - 1955 - Une classification biogéographique des climats. Recueil des travaux du laboratoire de Botanique, Géologie et Zoologie, Fasc. 7, pp. 3-43, université de Montpellier. France.
- GALLO K.P. - 1990 - Bi-weekly Global Vegetation Index computed from the NOAA Weekly AVHRR product; in "experimental calibrated vegetation index from NOAA AVHRR", 1985-1991, NGDC, Boulder CO., USA.
- GAUSSEN H. - 1947 - L'emploi des couleurs en cartographie. *C. R. Acad. Sci.*, 224 (1) : 450-452.
- GAUSSEN H. - 1968 - Article Végétation. *Encyclopedia Universalis*. 16 : 660-662.
- GUILLEMYN D.R. - 1993 - Traitement d'images de télédétection : réflexion sur une approche le rendant plus accessible. In Outils micro-informatiques et télédétection de l'évolution des milieux. Troisièmes journées scientifiques du réseau télédétection de l'UREF, 13-16 novembre 1990, Toulouse, France.
- HOLDRIDGE L.R. - 1967 - Life Zone Ecology, 1 vol., 207 p., Tropical Science Center, San Jose, Costa Rica.
- KÜCHLER A.W. - 1963 - Vegetation Maps as Climatic Records. Biometeorology II, Proc. of the Third International Biometeorological Congress Held at Pau, France, 1-7 sept. 1963, pp. 953-964.
- LAUVEN F., I.C.I.V. - 1985 - Carte digitalisée de la végétation de l'Afrique, et notice sommaire destinée au système d'information géographique de la FAO, ICIV, Toulouse, France.
- LEEMANS R. - 1990 - Possible changes in natural vegetation patterns due to a global warming. Publ. n° 108 of the Biosphere Dynamics Project, Int. Inst. for Appl. Syst. analysis, Laxenburg, Austria.
- LEEMANS R. and CRAMER W.P. - 1992 - The IIASA Database for Mean Monthly Values of Temperature, Precipitation and Cloudiness on a Global Terrestrial Grid. Digital Raster Data, on a 30 minute Geographic (lat/long) 360 x 720 grid. In Global Ecosystems Database, Version 1.0: Disc A. Boulder, CO: NOAA National Geophysical Data Center, 36 single attribute spatial layers on CDROM, 15.6 MB., (first published in 1991).
- LEGATES D.R. and WILLMOTT C.J. - 1992 - Monthly Average Surface Air Temperature and Precipitation. Digital Raster Data on a 5-degree Geographic (lat/long) 360 x 720 grid. In Global Ecosystems Database, Version 1.0: Disc A. Boulder, CO: NOAA, National Geophysical Data Center, 48 plus 4 single attribute spatial layers on CD ROM, 47.2 MB., (first published in 1989).
- LEMÉE G. - 1967 - Précis de biogéographie. 358 p., 121 fig., Masson et Cie., Paris, France.
- MATTHEWS E. - 1992 - Global Vegetation, Land-Use and Seasonal Albedo. Digital Raster Data on a 1 degree Geographic (lat/long) 180 x 360 grid. In Global Ecosystems Database, Version 1.0: Disc A. Boulder, CO: NOAA National Geophysical Data Center, 6 independent single-attribute spatial layers on CD ROM, 1.6 MB., (first published in 1983).
- MEHER-HOMJI V.M., BAGNOULS F. - 1963 - Les bioclimats du monde, au 1/50 000 000, in : Les climats du sub-continent indien et leurs types analogues dans le monde. Meher-Homji V.M., Thèse, 1 vol., 254 p., 4 cartes, univ. de Toulouse, France.
- MUELLER-DOMBOIS D. - 1984 - Classification and Mapping of Plant Communities: a review with emphasis on tropical vegetation ecology. in The Role of Terrestrial Vegetation in the Global Carbon Cycle: measurement by remote sensing. pp. 21-65., G.M. WOODWELL Edit., John WILEY and Sons, N.Y., USA.
- NOAA-EPA-NGDC - 1992 - Global Ecosystems Database Project, CD ROM, Version 1.0: Disc A., User's Guide. National Geophysical Data Center, Boulder, CO., USA.
- PRENTICE C., CRAMER W., HARRISSON S.P., LEEMANS R., MONSERUD R.A. & SOLOMON A.M. - 1992 - A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate. *J. Biogeogr.*, 19: 117-134.
- TROCHAIN J.L. - 1957 - Accord Inter-africain sur la définition des types de végétation de l'Afrique tropicale. (Yangambi), *Bull. Inst. Etudes Centrafricaines, N°11 série*, 13-14 : 95-93.
- TROLL C., PAFFEN H. - 1963 - Seasonal Climates of the world. 1 map 1:54.000.000, in World Maps of Climatology, LANDSBERG H.E., LIPPMANN H., Paffen H. and Troll C., 28 p. 5 maps, Springer Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg. Germany.
- WILSON M.F. and HENDERSON-SELLERS A. - 1985 - A global archive of Land Cover and Soil Data for use in General Circulation Climate Models. *J. Climatology*, 5: 119-143.