

RÉFLEXIONS SUR L'INCIDENCE DES PROCÉDURES D'OBSERVATION EN RÉGIONS TROPICALES

B. ROLLET

Conservateur des Eaux et Forêts (ER)

Résumé : La biodiversité des régions tropicales est prise ici au sens large (floristique, types de végétation, paysages végétaux...). L'accent est mis sur les forêts.

On accède à une certaine « réalité phytogéographique » au moyen de procédés d'observation très variés, souvent conçus intuitivement plutôt qu'expérimentalement et impliquant une série de décisions arbitraires. La connaissance phytogéographique dépend lourdement du procédé d'observation choisi (au sol et/ou par télédétection) et aussi de l'observateur.

Il faut nécessairement adapter l'outil de travail à l'objet de l'étude. Pour obtenir une représentation équilibrée, on ne peut guère se passer des techniques d'échantillonnage, elles-mêmes dépendantes des variabilités et des moyens disponibles sans être sûr pour autant d'éviter des biais. L'échelle adoptée commande en grande partie la précision de l'enquête avec comme facteur limitant la lisibilité de la carte. Il est illusoire de chercher à caractériser la complexité d'un territoire par un seul chiffre ou une seule couleur. La carte est une représentation réductrice et statique de la végétation : on cherchera à traduire les invariants, les structures latentes et leurs emboîtements et à incorporer le temps.

Maintenir l'homogénéité de la représentation sur un grand territoire tout au long d'un travail de plusieurs années est une opération difficile, les synthèses de travaux hétérogènes sont encore plus difficiles. Des exemples sont donnés.

Mots-clés : Biodiversité. Tropiques. Cartographie. Evaluation des Procédures.

Abstracts: The biodiversity of tropical regions is understood here in a broad sense (floristical, vegetation types, landscapes). The emphasis is on forests.

A certain "phytogeographical reality" is obtained by means of a variety of observation procedures often conceived more intuitively than experimentally and implicating a series of arbitrary decisions. The phytogeographical knowledge depends heavily upon the choice of the observation procedure (ground and/or remote sensing) and also upon the observer.

Necessarily the working tool must be adapted to the subject. To obtain a balanced representation, sampling techniques are almost a must, being themselves dependent on variabilities and financial means ; even so biases might not be avoided. The chosen scale has a strong influence on the survey, the map readability being a limiting factor. It is illusory to characterize the complexity of a region through one figure or one colour. The map is a reductive and static representation of the vegetation. One should search for invariants, latent and nested structures and incorporate time.

Maintaining the consistency of the interpretation over a large territory during several years is a difficult task, even more when heterogenous works are synthesized. Examples are given.

Keywords: Biodiversity. Tropics. Cartography. Procedures evaluation.

Introduction

Lorsqu'on décide de représenter un phénomène phytogéographique sur une carte, c'est souvent inconsciemment qu'on prend un certain nombre de décisions plus ou moins arbitraires, sans qu'on prenne la peine de les justifier suffisamment. Trois attitudes semblent possibles :

- on utilise pour le territoire à cartographier un système déjà disponible,
- on conçoit un système synthétique mariant plusieurs systèmes,
- on adopte une procédure originale.

De toute manière beaucoup de décisions restent à prendre quand le système et l'échelle sont choisis : la procédure sera-t-elle qualitative ou basée sur un échantillonnage ? Combien y aura-t-il de points d'observation ? S'il s'agit de forêt, quelle sera la taille des parcelles, la limite inférieure des diamètres d'arbres, la prise en compte du sous-bois (arbustes, herbes, lianes, épiphytes) ?

Les conséquences du choix de l'échelle sont nombreuses. Imaginons un objectif zoom capable de passer d'une image satellitaire à une image rapprochée de la canopée, et même capable de la pénétrer. Dans ce gigantesque travelling, les phénomènes qui apparaissent progressivement révèlent à une étape donnée du processus d'observation une certaine « structure » qui s'évanouit au grossissement suivant pour voir naître une autre structure emboîtée dans la précédente. Mais à la différence d'un objet fractal où la même structure est indéfiniment retrouvée identique à elle-même, des structures de végétation différentes se succèdent, non pas indéfiniment mais en nombre fini, d'une appréhension de type « Skylab » à une vision inframicroscopique de type $\times 10\ 000$, de sorte qu'on peut parler de la végétation comme d'un objet pseudofractal.

Cette notion d'emboîtement des structures est familière aux spécialistes de l'infiniment grand et de l'infiniment petit, de l'astrophysique et de la physique nucléaire.

Outre les structures directement visibles, il y a des structures latentes inapparentes sans analyse (distributions spatiales d'espèces, groupements floristiques...) et souvent peu nettes avec de nombreuses situations intermédiaires (grégarisme). Dans le temps il y a de multiples bifurcations possibles pour la végétation, à cause de l'aléa des régénérations et de leur sensibilité aux infimes différences de leurs conditions initiales. Ceci ouvre la possibilité non au chaos, mais à un certain indéterminisme dans les compositions floristiques.

Au-delà du choix de l'échelle, de l'arbitraire du découpage des intervalles de variation des facteurs du milieu, des tranches de température, de pluviométrie ou d'altitude pour identifier les unités de végétation, au-delà des artefacts qu'un tel découpage peut entraîner, on recherchera les invariants des écosystèmes qui permettront d'affiner les concepts de formations et de groupements dans leurs aspects actuels et dynamiques.

Représenter la végétation et son milieu par une carte : une gageure

Tant qu'on se limite à traduire sur une carte un facteur du milieu considéré comme simple et selon une certaine subdivision de son intervalle de variation, l'opération semble facile, par exemple pour la pluviométrie. Naturellement, on obtiendra des cartes différentes quand les limites des subdivisions seront différentes, que ces limites suivent une progression arithmétique : 0-1 000 mm, 1 000-2 000, 2 000-3 000..., ou géométrique tant pour la pluie 500-1 000 mm, 1 000-2 000, 2 000-4 000... que pour la température 1,5-3 ; 3-6 ; 6-12 ; 12-24 °C (Life zone ecology, HOLDRIDGE) : on verra peut-être dans l'adoption d'une échelle géométrique un essai d'application de la loi physiologique de WEBER-FECHNER qui veut que l'effet croît arithmétiquement quand le stimulus croît géométriquement.

Rechercher ce qu'il y a de plus signifiant pour la végétation dans le facteur pluviométrie, par exemple le nombre de mois secs diversement définis (30 ou 50 mm, le doubler en mm de la température moyenne du mois exprimée en degré Celsius...), n'est qu'un pis-aller. Ecologiquement parlant, d'autres paramètres sont peut-être plus significatifs : par exemple, la capacité en eau disponible du sol, le potentiel de succion en relation avec le flétrissement et la chute des feuilles.

Si on dresse des cartes de température (moyenne, mois le plus froid, somme des températures efficaces au dessus de + 5 °C, ou de + 7 °C, ou de + 10 °C...) on obtient autant de cartes que l'on veut, avec de plus l'effet de subdivisions des intervalles de variation. Si on tente la superposition avec une carte de pluviométrie on aboutit à un invraisemblable embrouillamini de subdivisions territoriales, résultat des décisions arbitraires sur les limites de classes, qui a par conséquent peu de réalité physique.

Les auteurs se sont toujours efforcés d'exprimer l'humidité ou la « xéricité » du milieu pour lequel la végétation a une réponse écologique intégrée : selon l'expression heureuse mais tautologique de FLAHAULT elle est « le miroir du milieu ». Mais si le milieu conditionne largement l'anatomie et la morphologie de la végétation sa connaissance n'est pas suffisante pour faire des prévisions qualitatives (de groupements) ou quantitatives (richesse floristique, biomasse...).

On passera rapidement sur le très grand nombre d'indices climatiques (depuis l'indice d'aridité de de MARTONNE jusqu'à celui de PATERSON), indices concoctés souvent sans inhibition quant à l'addition de grandeurs de dimensions différentes. Ils peuvent certes rendre localement des services mais ils ne résistent pas à l'observation qu'un nombre infini de combinaisons de valeurs pour chaque paramètre (température T, pluie P...) peut aboutir à une même valeur pour l'indice $I = f(T, P...)$, cette équation multivariable étant indéterminée.

Avant même la naissance des analyses factorielles on avait tenté de reconnaître des homologues climatiques (agro-climatic analogues de NUTTONSON). Les analyses factorielles suggèrent des subdivisions aux biologistes dans la mesure où ils peuvent interpréter la signification des axes, souvent globalisante et impliquant plusieurs facteurs du milieu.

Ajoutons que la prise en compte du sol dans son influence sur l'humidité du milieu est, sauf exception (conditions marécageuses et/ou salines), bien marginale dans les grands systèmes qui décrivent la végétation.

Évaluation de quelques systèmes de cartographie de la végétation

1. Remarques préliminaires

Déjà aux très petites échelles des planisphères que l'on trouve dans les Atlas et les manuels de phytogéographie, des erreurs assez grossières apparaissent dans la représentation de la végétation.

En ce qui concerne la forêt dense, il suffit de comparer les planisphères de différents auteurs : Weltforstatlas de HOFFMAN *et al.*, 1951 ; RICHARDS, 1952 ; CAILLEUX, 1961 ; WALTER, 1968 ; SCHMITHÜSEN, 1961, 1976, 1980 ; LIETH et WERGER, 1989, tous correctibles en maints endroits. Par exemple, le planisphère de RICHARDS (1952, p. 10) représente la forêt dense d'une manière qui paraît inconsistante : les forêts denses d'altitude ne sont pas mentionnées au Kenya, en Tanzanie, au Ruanda, en Ethiopie, à Madagascar, au Sud-Yunnan, dans le sud-ouest du Cambodge, alors qu'elles le sont bien au-delà du Tropique en Inde et en Birmanie. Les forêts denses ne sont pas représentées à Hainan, Taiwan ; elles le sont par contre dans le delta du Mékong où elles n'existent pas et dans toutes les Philippines où de grandes surfaces en sont dépourvues. En Amérique du Sud, de larges régions de savane figurent en forêt dense (Sud-Venezuela, Sud des Guyanes, Rio Branco).

Les *cerrados* du Brésil ont été très diversement appréciés dans leur étendue en dépit de ce que ces formations ont été étudiées très en détail depuis WARMING (1948), RAWITSCHER et l'école de FERRI (1943-1971). On pourra comparer les cartes (au 1/30 000 000 environ) de AZEVEDO, 1959 ; VELOSO, 1969 ; AZIZ AB'SABER, ANDRADE LIMA et RANZANI (*In* FERRI, 1971) ; la carte IBGE au 1/5 000 000 simplifiée au 1/23 000 000, *In* AUBRÉVILLE, 1961. Dans des publications récentes on fait l'amalgame regrettable des savanes, types *llanos* du Venezuela et des *cerrados*, type Brésil central.

L'idée de traduire au mieux les conditions d'humidité a fait l'objet de nombreuses tentatives : AUBRÉVILLE (pluviométrie et déficit de saturation), THORNTHWAITE (potentiel d'évapotranspiration), HOLDRIDGE (température, pluviométrie, évapotranspiration) : ce dernier auteur représente ces trois facteurs dans un plan, système qui paraîtra bien peu orthodoxe. Sa « Life zone ecology » n'aboutit en définitive guère plus qu'à des cartes hypsométriques.

GAUSSEN et son école retient la longueur de la saison sèche comme facteur le plus significatif du climat et tente de le traduire par une couleur. Il développe le concept de série au sein de laquelle évolue du climax à ses états les plus dégradés, une formation caractérisée par un petit nombre (2 à 4) d'espèces d'arbres les plus abondants. La dominance d'espèces est d'une utilité très relative dans l'étude des forêts denses.

Les auteurs précités ont des approches climatiques ou climatico-floristiques pour cartographier la végétation. CHAMPION, 1936, met l'accent sur les rythmes de défeuillaison pour le Pakistan-Inde-Bangladesh-Birmanie. ELLENBERG *et col.*, (1966), ont une approche physionomico-floristique.

D'autres systèmes plus intégrateurs prennent aussi en compte la géologie, la géomorphologie, les sols et l'utilisation des terres, dans des pays dont l'immensité commande l'emploi de petites échelles et d'unités phytogéographiques adaptées. Le « Land system » a été développé en Australie où la « land unit » est définie : « an area or group of areas throughout which there is a recurring pattern of topography, soils and vegetation ». L'échelle retenue est le 1/1 000 000. Les Russes ont développé un système similaire de paysages pour lequel ils ont conservé le nom allemand de « Landschaften » (RAMENSKY *et al.*, 1962 ; SOLNTSEV, 1961) et où le paysage géographique est défini : « an assemblage of genetically and physiognomically homogeneous components or morphologic units that are repeated in regular patterns within the landscape » ; 66 paysages ont été distingués dans l'ex URSS dont la superficie est d'environ 22 millions de km². L'échelle est au 1/4 000 000.

On va maintenant commenter quelques cartes de végétation à des échelles comprises entre 1/1 000 000 et 1/10 000 000.

2. Cartes phytogéographiques à petite échelle en Amérique du Sud

La cartographie de la végétation en Amérique du Sud s'est beaucoup développée depuis 1960. On constate que les auteurs n'intègrent pas toujours toutes les données disponibles au moment de leurs travaux.

La carte de SCHOLTEN (1968) au 1/20 000 000 est schématique, et par endroits fautive à force d'être simplifiée. Elle fait apparaître une bande E-W de transition entre forêt et *cerrado*, au nord comme au sud de l'Amazone qui ne sont pas reprises par HUECK (1972).

Dans cette carte de HUECK au 1/8 000 000 en une feuille de l'Amérique du Sud, les *campos cerrados* du Brésil sont distingués des *chaparrales* du Venezuela et des savanes des Guyanes et du Rio Branco mais les *chaparrales* de la région de Santarem sont représentés comme des *campos cerrados*. Les *varzeas* sont indiquées assez vaguement. La formation la plus importante, la forêt dense de plaine de l'Amazone et de l'Orénoque, représentée par une seule couleur est stratifiée en 13 régions géographiques (non en régions floristiques). Les surfaces des *campinaranas* (Heath-forests des auteurs anglais) sont probablement sous-estimées.

La carte de l'Unesco (1980) au 1/5 000 000 en deux feuilles représente un effort louable de synthèse : on peut cependant regretter que les grands spécialistes de la végétation amazonienne aient été tenus à l'écart (MURÇA PIRES, RODRIGUES...) et que les résultats du Projet Radam Brasil aient été ignorés. Cette carte ne lève pas l'ambiguïté savanes/*cerrados*. On y cite pour la surface de la forêt amazonienne 5 millions de km² tiré de VOLATRON (1976) sans commentaire et très sujet à caution.

● Le Projet Radam Brasil (1967-1979) a entièrement levé le Brésil (8,5 millions de km²) au 1/250 000 par une technique radar utilisable en tout temps et de jour comme de nuit ; les nuages si gênants en photographie conventionnelle, n'ont aucune incidence. Les images ont été exploitées selon cinq thèmes : géologie, géomorphologie, sols, végétation, utilisation des terres. En ce qui concerne la végétation, des équipes d'inventaires ont été mises en place par hélicoptère. Bien que l'on se soit efforcé de maintenir un système uniforme, de levé entre équipes, d'interprétation, de traitement et de présentation des données, la portion centrale et orientale de l'Amazonie est floristiquement mieux connue que la portion orientale levée en premier et la cartographie y est plus fine. Les cartes établies au 1/250 000 sont généralisées au 1/1 000 000. Pour la feuille de Manaus par exemple (295 160 km²) on distingue 6 grandes formations, 15 couleurs et 77 subdivisions, lesquelles sont essentiellement géomorphologiques (alluvial, plateaux bas, relief disséqué, tabulaire, paléozoïque, résiduel, basse montagne) et ne correspondent pas nécessairement à des différences floristiques.

- Projet FAO (1988) de la végétation de l'Amérique du Sud. A la demande de la FAO, l'Institut de cartographie internationale de la végétation (ICIV) de Toulouse a établi une carte numérisée par scanner dans le cadre du programme GRID de la FAO/PNUÉ pour leur système d'information géographique (GIS). La légende utilisée s'inspire en les simplifiant de la classification de Yangambi (1956), de celle de l'Unesco (1981) et de celle de la carte numérisée ICIV/FAO (1985) pour l'Afrique. La carte est essentiellement physionomique. La classification des forêts denses tropicales - outre les forêts édaphiques - se réduit à une stratification altitudinale par tranches de 1 000 m : < à 1 000-1 200 m ; 1 000-1 200 à 2 000 m ; > 2 000 m qui paraîtra assez arbitraire. On renonce à séparer les types de forêt dense comme il avait été fait pour l'Afrique sans doute faute d'information. On est en droit de se demander si on exploite convenablement les nouveaux outils technologiques disponibles.

3. Cartes phytogéographiques à petite échelle en Afrique

- Depuis Auguste CHEVALIER, on sépare l'Afrique de l'Ouest en trois zones climatiques d'orientation est-ouest qui sont du nord au sud les zones sahélienne, soudanaise et guinéenne, à flores et végétations bien distinctes.
- KEAY a produit en 1959 une carte de la végétation de l'Afrique au Sud du Sahara au 1/10 000 000 en une feuille : la forêt semi décidue à *Celtis-Triplochiton* n'est pas séparée de la forêt dense sempervirente ; on distingue seulement une mosaïque forêt/savane ou zone préforestière qui enserré au nord et au sud la forêt dense au sens d'AUBREVILLE, c'est-à-dire sempervirente + semi décidue. Par rapport à la couleur uniforme de la forêt dense dans la vaste cuvette congolaise, on observe un luxe de détails pour les montagnes d'Abyssinie, l'Est africain, et au sud de la cuvette congolaise.
- A la demande de l'Unesco, F. WHITE a produit en 1986 une carte de la végétation de l'Afrique au 1/5 000 000 en 4 feuilles (3 feuilles + 1 feuille de légende) en s'appuyant sur plus de 2 500 références bibliographiques. WHITE conserve la structure chorologique de la carte de KEAY sauf quelques modifications de limites, pour la mosaïque forêt/savane par exemple. La forêt semi décidue n'est pas distinguée de la forêt dense sempervirente par la couleur mais par une simple ligne. On regrettera l'absence d'illustration photographique - plus démonstrative que de longues descriptions - pour appuyer la distinction de 80 types principaux de végétation et mosaïques, une certaine lourdeur et certaines inadéquations terminologiques ex. p. 86 : forêt ombrophile guinéo-congolaise semi-sempervirente humide mélangée ; p. 121 : forêt broussailleuse, forêt claire broussailleuse ; p. 97 : « elfin thicket » est traduit d'une manière pour le moins singulière par « fourré à aspect fantomatique » ; pourquoi ne pas dire plus simplement fourré d'altitude ou fourré de sommet ? L'appellation Ila : mosaïque de forêt ombrophile planitiaire et de formation herbeuse secondaire (en zone soudano-guinéenne) laissera le forestier insatisfait : c'est la zone préforestière d'AUBREVILLE, mélange de savane et de forêt semi-décidue à *Triplochiton-Celtis-Mansonia-Sterculia*. On aurait gagné à utiliser le concept de série quand la filiation des formations est connue. Les grandes plaines marécageuses de la Sangha-Likouala (affluents du Congo en République du Congo) ne sont pas représentées. Compte tenu de l'échelle, les limites adoptées dans les zones sahariennes sont probablement à revoir. WHITE introduit le concept de centre régional d'endémisme et a donc une approche à la fois floristique et climatico-physionomique : les mangroves et les forêts denses marécageuses mises à part, les rapports sols/végétation auraient peut-être pu être mieux pris en compte.

4. Cartes phytogéographiques à petite échelle en Asie tropicale

CHAMPION (1936) a fortement influencé la cartographie forestière tropicale par sa classification physionomico-phénologique des forêts de l'Inde et de la Birmanie. Sa carte au 1 : 18 000 000 des types forestiers propose 13 classes basées sur le climat et l'altitude en mettant l'accent sur les rythmes foliaires : « wet evergreen, semi-evergreen, moist deciduous, dry deciduous, thorn, dry evergreen forests ».

Cette classification a servi de modèle dans tout le Sud et le Sud-Est asiatique, à des variantes près. Elle a servi de base pour une carte numérisée de la FAO semblable à ce qui avait été obtenu pour l'Afrique et l'Amérique du Sud.

VAN STEENIS (1958) propose une carte au 1/5 000 000 de la végétation de Malesia (Malaisie + Sarawak + Sabah, Philippines, Indonésie, Papua-New Guinea). C'est une carte essentiellement phytionomique avec des surcharges pour les espèces principales dominantes (*Diptérocarpacées*, *Agathis*, *Pinus*, *Metroxylon*, *Casuarina*, *Eusideroxylon*), carte inégale et qu'on jugera peut être insuffisante et ne traduisant pas adéquatement les immenses connaissances de l'auteur : inégale parce que Java est représenté avec un luxe de détails ; insuffisante parce que les forêts de montagne ne sont même pas séparées, ni à Sumatra, ni dans Bornéo, ni en Nouvelle Guinée ; manque de détail pour la moitié Est de la Nouvelle-Guinée ; troncature et arrêt des formations aux frontières politiques.

Pendant les trente dernières années, de nombreuses cartes de la végétation au 1/1 000 000 ont été établies en suivant différents systèmes dans à peu près tous les pays du Sud et du Sud Est asiatiques : Inde, Ceylan, Birmanie, Thaïlande, Cambodge, Viêt-Nam, Sumatra, Papua New Guinea, Hainan, Kwangtung. Des cartes numérisées, généralement très simplifiées par rapport aux cartes précitées mais actualisées quant aux surfaces, ont été réalisées pour plusieurs pays : Inde, Ceylan, Birmanie et sont en cours pour d'autres.

Théories et concepts novateurs. Innovations technologiques

Dans son développement historique la phytogéographie, comme toutes les sciences, offre le spectacle d'une succession d'engouements plus ou moins fugaces, de polémiques brèves ou d'intérêt permanent et de paradigmes tenaces ou rapidement bousculés. Comme science de synthèse elle puise largement hors de son domaine particulier ; par exemple de la géologie elle emprunte la dérive des continents, de la climatologie l'hypothèse de MILANKOVITCH et l'origine astronomique des glaciations. Les théories bien que souvent fausses stimulent la recherche et font progresser la connaissance que leurs idées soient totalement acceptées, ou qu'elles restent contestables (théorie de WILLIS : Age and Area ; théorie des ponts continentaux). Certaines méthodes d'étude jouissent parfois d'une telle faveur qu'on peut les prendre pour des approches définitives, alors que le temps relativise leur intérêt (théorie de l'Island Biogeography de MACARTHUR). D'autres explorent de nouveaux champs (Gradient analysis de WHITTAKER, Architecture des arbres de HALLÉ et OLDEMAN, Approche probabiliste et informationnelle de GODRON, Concept de groupe écologique...).

Il est hors de doute que la méthode doit être adaptée au sujet d'étude : on n'étudie pas une prairie comme on étudie une forêt de séquoias. Si la taxonomie et la phytogéographie étaient nées en zone tropicale, il est probable que bien de vaines constructions échafaudées sur les flores pauvres et certains processus simplifiés des régions tempérées auraient été évités. Certains paradigmes ont la vie dure, exemple : l'antiquité des forêts denses.

C'est par commodité que l'on isole un grand nombre de facteurs en réalité plus ou moins liés comme aux nœuds d'un filet. Peut-on après analyse obtenir une vision globale d'un écosystème qui serait à la fois climatique, géomorphologique, pédologique, géologique, phytionomique, phénologique, anatomique, morphologique, architecturale, physiologique... ? L'esprit de l'homme étant ainsi fait qu'il ne peut voir commodément en plus de trois dimensions, il est bien obligé de recourir à l'outil mathématique pour cerner « une certaine réalité » phytogéographique.

Plutôt que de rappeler le développement chronologique des théories et des concepts en phytogéographie, opération qui serait fort longue et hors du sujet, il paraîtra intéressant d'indiquer quelques thèmes. Précisons que dans leur genèse, certaines définitions peu précises ou incomplètement formulées ont été à l'origine de querelles assez stériles (homogénéité, aire minimale, polémiques autour du concept d'association, de climax, de strates en forêt ...). L'argument d'autorité a souvent bloqué la pensée phytogéographique.

Citons quelques thèmes riches de contenu, dont certaines composantes sont très porteuses de recherche :

- Analyse du milieu : Définition des homoclimats. Rapports climats-forêts. Rapports sols-forêts : évolution à long terme des sols sous forêt dans divers climats (latéritisation, glyeification...) : la forêt, origine de dégradation irréversible ?

- Morphologie et architecture des espèces et des peuplements : Architecture des arbres. Spectre architectural. Synusies et strates. Spectre foliaire et index.
- Climax : Equilibres (fragilité/stabilité). Successions. Séries. Continu/Discontinu. Typologie forestière : ordination et/ou classification. Association (réalité ou indéterminisme ? ; association et analyse combinatoire).
- Dynamique de la végétation : Tempérament et longévité des espèces. Turnover. Régénération (sensibilité aux conditions initiales, indéterminisme). Croissance et mortalité.
- Distribution géographique des espèces. Définition de l'espèce. Précision des distributions. Affinités floristiques.
- Prédiction de la richesse floristique : Bilan des pertes (destructions diverses, extinction naturelle) et des gains (spéciation). Mesures. Dominance, fréquence, grégarisme. Modèles. Courbes aire/espèces. Mesure de la biodiversité (de JENTSCH à SHANNON). Une révolution en faunistique : l'étude des canopées multiplie la richesse par 10.
- Invariants des écosystèmes : Surface terrière. Biomasse aérienne/racinaire. Nécromasse. Indice et spectre foliaires. Productivité ; Richesse et diversité floristiques...
- Mise en perspective géologique : Catastrophes et refuges (paléoclimats, palynologie). Enrichissement floristique global lent, continu mais fluctuant. Effets des glaciations sous les tropiques (connexions terrestres). Composition floristique actuelle comme signature du passé.

Innovations technologiques

En moins d'un demi-siècle on assiste à une triple transformation des techniques intéressant la cartographie de la végétation.

- Les techniques cartographiques : du levé exclusivement de terrain on passe à la prise de photographie aérienne, son interprétation, le transfert photogrammétrique, l'obtention d'image satellitaire, le développement de la cartographie automatique et son corollaire, le suivi par systèmes d'information géographique (GIS). La mutation est si rapide que l'Institut géographique national en France supprime quasi complètement les services d'interprétation photographique conventionnelle. Situation quelque peu inquiétante car la quantité d'information croît monstrueusement tandis que la capacité de contrôle au sol se rétrécit.
- L'accessibilité aux données de terrain : la révolution n'est pas moins grande. Au lieu de parcourir laborieusement des itinéraires terrestres, on accède au site d'observation par hélicoptère, demain par dirigeable individuel. La canopée s'observe non plus seulement à partir de rares tours ou ponts de singe ou encore péniblement par grimpeurs interposés ou escalades périlleuses, mais par le radeau des cimes, dans ses versions successives.
- L'analyse des données : les progrès réalisés en programmation informatique et miniaturisation des calculatrices d'une part, en méthodes de calcul d'autre part (analyses factorielles, classifications, méthode des variables régionalisées, distribution grégaires...), la numérisation des images, ont rénové le traitement des données utilisables en phytogéographie.

De la précision dans les sciences naturelles en général et dans la cartographie de la végétation en particulier

On ne parle jamais (ou presque jamais) de la précision des flores ni de la précision des cartes de végétation, comme si on reconnaissait à l'avance la vanité de la démarche, alors que le souci de précision dans la mesure accompagne immédiatement la découverte d'un phénomène en physique et que son amélioration, une des motivations dans la recherche est presque toujours génératrice de nouvelles découvertes. Rappelons l'extraordinaire précision obtenue dans les mesures de longueur par radar et satellites et de temps (dixième de pico seconde).

Rien de semblable en botanique ou en zoologie et il ne semble pas qu'on puisse changer substantiellement cette situation même si on observe un perfectionnement constant dans la qualité des flores. Quant aux cartes de végétation, si la connaissance des surfaces, des types de végétation

s'améliore, elle ne le fait pas autant que les moyens de prise de vue le permettent : la difficulté de définir les objets d'observation (espèces ou groupements) créent un inévitable flou dans la traduction phytogéographique, à cause de la variation biologique et d'un certain indéterminisme dans la dynamique des compositions floristiques tropicales.

Précision des flores

Les flores les plus simples et les mieux travaillées comme les flores tempérées, en particulier celle de l'Europe jusqu'à l'Oural ne sont guère décrites qu'à 10 % près (AYMONIN, comm. pers.). Il en est vraisemblablement de même pour les flores tropicales les mieux connues, comme celles des petites îles et des pays tropicaux continentaux de petites dimensions (ex. : Costa Rica, Panama, Côte d'Ivoire, Ruanda Burundi...).

La plupart des flores tropicales sont inachevées ou en cours de révision. Les flores des grands ensembles tropicaux : Flora Neotropica, Flora Malesiana ne seront connues que dans 50 ou 100 ans, et comme elles sont publiées par familles, elles risquent d'être en révision pour longtemps. Pour donner un ordre de grandeur, la flore de Panama (1943-1980) décrit 6 200 plantes à fleurs indigènes mais on soupçonne qu'il y en a au moins 7 500 (soit 25 % en plus).

On remarquera que les évaluations du nombre d'espèces dans les flores tropicales vont toujours en augmentant en dépit des réductions de la synonymie et que le nombre d'espèces disparues récemment et en toute certitude sont peu nombreuses. Mais on ne peut cependant rien déduire du bilan de ces deux évaluations incertaines, quant à la réduction du nombre d'espèces et il y a quelque jactance dans les chiffres de pertes périodiquement annoncées, pertes qui ne peuvent être que pressenties, supputées mais non mesurées, compte tenu de l'indigence des moyens mis en œuvre et de la faiblesse des modèles mathématiques utilisés.

Précision des cartes de végétation

Une carte de végétation est une thématique décrivant une situation à un moment donné au moyen d'un certain système d'interprétation. Il serait vain de prétendre qu'elle est établie « en toute objectivité » car trop de paramètres sont en jeu, trop de systèmes sont possibles correspondant à diverses écoles de pensée, pour ne pas dire à certaines modes.

Lorsque l'on compare des cartes de végétation d'une même région levées à des échelles identiques ou voisines mais employant des systèmes différents, on ne peut qu'être frappé par la diversité des légendes et des limites auxquelles on aboutit. Mais, même si on se mettait d'accord sur un système et si on confiait la rédaction de la carte à plusieurs équipes indépendantes (au moins deux équipes) - ce qu'on ne fait évidemment jamais - on serait sans doute surpris par les divergences dans les résultats. Est-il nécessaire de remarquer qu'en physique, une condition essentielle de la crédibilité d'un phénomène ou d'une mesure est sa reproductibilité ?

D'autre part, si la région étudiée est grande, le travail est long et nécessairement confié à plusieurs équipes utilisant les mêmes critères : on n'est pas sûr qu'il n'y aura pas dérive ici ou là ; la connaissance des espèces augmente en général de qualité du début à la fin de l'étude ; on trouve rarement le temps, l'argent et la volonté de rigueur pour recommencer les levés initiaux, encore moins pour effectuer un contrôle de qualité par sous-échantillonnage avec une équipe indépendante. Il est difficile d'éviter des différences d'appréciation et de mesure entre équipes. En un mot, il est difficile d'assurer la consistance de l'étude.

Il est par ailleurs possible que le système de cartographie lui-même soit critiquable, soit dans sa conception, soit parce que des stratifications inefficaces sont employées et que des erreurs d'échantillonnage illusoire sont calculées, par exemple sur les surfaces, à cause d'erreurs systématiques inconsciemment commises ou insuffisamment expurgées.

Il peut être aussi délicat de séparer deux espèces que de mettre une limite entre deux types de forêt, surtout en zone de transition. Certains ont conscience de la difficulté, d'autres la tournent d'un cœur léger. De même que la taxonomie et les flores sont sans cesse en perfectionnement, il serait vain de vouloir figer un système de cartographie. Ce serait imposer le quinquet pour l'éclairage public. On peut même se réjouir qu'il n'y ait pas un trop large consensus ! mais on peut au moins recommander certaines définitions, mesures et méthodes.

Conclusions

1. Quantité d'information disponible en phytogéographie : quelle information ?

La quantité d'information va croissant tant par l'écrit que par l'image. Au temps des Han, le respect de la chose écrite était grand et justifié aussi bien dans son fond que dans sa forme : les supports de l'écrit étaient chers, la qualité de l'écrit calligraphié était élevée, ceux qui pouvaient comprendre étaient peu nombreux.

Aujourd'hui, l'information est pléthorique : on la stocke, on en facilite l'accès mais on n'indique pas sa qualité, qu'elle soit originale ou redondante, excellente ou ordinaire. L'information télédéetectée a presque les mêmes caractéristiques, sauf qu'elle n'est pas toujours aussi accessible, soit à cause des réglementations restrictives, soit à cause du coût ou d'une certaine herméticité de l'outil informatique obligé. Son aspect fascinant est qu'elle est actualisable à tout moment, ce qui est un énorme avantage. Son danger est qu'elle est manipulable *ad libitum* et qu'on observe une disproportion croissante entre la quantité d'images disponibles et la capacité de leur contrôle au sol. On peut craindre pour l'interprétation satellitaire la même dérive que celle observée pour la photographie aérienne : le risque d'interprétation en chambre.

La quantité d'information phytogéographique devient de plus en plus difficile à assimiler et à évaluer, d'où la tentation chez certains d'ignorer le passé, de ne considérer que l'information postérieure à 1945, ou même seulement celles des 20 dernières années.

2. Traduction des faits phytogéographiques sur une carte

Faire une carte est toujours un acte simplificateur ; on généralise par nécessité. Le risque est d'être trop réducteur et d'aboutir - au pire - à de la désinformation. Ce n'est pas sans danger qu'on prend les décisions fortes impliquées par la numérisation d'une carte de la végétation, décision plus du fait de l'informaticien que du phytogéographe.

Les auteurs s'enferment souvent dans leurs systèmes et finissent par perdre tout sens du relatif et toute faculté de mise en perspective. Un Amérindien familier de l'*Hylaea* verrait sans doute avec amusement tracer gravement des lignes séparatrices sur nos cartes de la forêt amazonienne.

3. Crédibilité des résultats

La taxonomie a des aspects de science molle, dus à l'inévitable bruit de fond de la variation biologique, à l'incertitude sur l'identité de certaines espèces et sur leur distribution géographique et surtout à l'état incomplet des faunes et flores.

Augmenter la précision et la reproductibilité des représentations phytogéographiques, donc leur crédibilité reste un objectif même si on est conscient que seule une certaine approximation de la réalité phytogéographique peut être atteinte. Ne faisons pas que par manque de rigueur et de méthode, cette partie des sciences naturelles verse dans les sciences extra molles ⁽¹⁾.

Les organisations internationales ont un rôle à jouer pour corréliser et améliorer les nomenclatures, assurer la comparabilité des résultats, améliorer les méthodes d'enquêtes, veiller à ne pas laisser publier des statistiques médiocres qui peuvent prêter le flanc à des polémiques.

La FAO conserve la distinction forêt fermée/forêt ouverte dans ses statistiques sur les surfaces forestières tropicales probablement par souci de comparabilité avec des résultats antérieurs et parce qu'en l'état actuel des choses les images satellitaires ne permettent guère d'améliorer une typologie globale. Après 50 ans d'activité de cette organisation internationale, on serait en droit d'attendre une classification un peu plus élaborée, prenant au moins en compte la classification phénologique de CHAMPION.

Il est grand temps de faire admettre la nécessité d'une standardisation pantropicale minimale en matière de typologie forestière, de définitions et de mesures en vue d'obtenir des données statistiques meilleures, en particulier une appréciation moins tendancieuse et moins sujette à polémiques

(1) On prend ici les sciences naturelles au sens strict et non dans l'acception allemande (Naturwissenschaften) ou anglo-saxonne (natural sciences) qui inclut la physique et la chimie.

des pertes réelles des surfaces forestières et du nombre des espèces qui disparaissent annuellement. La FAO est chargée d'assurer le suivi des surfaces forestières à l'échelle mondiale. L'Unesco a patronné de grands projets sur la zone aride et les zones tropicales humides. Que ne peut-on envisager, au sein du programme international sur la biodiversité, des sous-programmes élaborés pour de réels bilans d'espèces?

Des esprits distingués prêtent leur autorité pour accréditer des chiffres fantaisistes de destruction. Ce n'est pas ainsi que l'on sert la cause de la protection de la Nature. S'il fallait mesurer l'immensité de l'effort à consentir, peut-être pourrait-on rappeler le mot de J. HUBER, botaniste suisse qui a longtemps travaillé en Amazonie et qui écrivait en 1909 : « Il n'existe pas encore et il n'existera pas de sitôt un travail d'ensemble sur la forêt amazonienne qui soit capable de donner une bonne idée exacte de la composition d'un kilomètre carré de forêt primitive et moins encore d'une surface plus de trois millions de fois supérieure ».

Après presque 100 ans, ce message est toujours valable et invite à un peu d'humilité. Il pourrait servir à tempérer des projets trop ambitieux mais aussi à stimuler l'étude de la flore amazonienne. Au train où vont les choses, la flore de l'Amérique tropicale ne sera pas achevée avant un siècle et il est à craindre que, commencée sur une *hylaea* à peu près intacte, elle se termine sur des fragments dispersés, témoins tronqués d'une réalité à jamais ignorée.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- AUBRÉVILLE A. - 1961 - Etude écologique ... CTFT.
- CAILLEUX A. - 1969 - Biogéographie Mondiale. Presse Univ. France. Que Sais-je? n° 590, 3^e ed. 128 p.
- CHAMPION H.G., - 1936 - A preliminary survey... *Ind. For. Res.* 1.
- CHRISTIAN C.S. & STEWART, G.A. - 1968 - Methodology of integrated surveys. Proc. Toulouse Conf. Unesco.
- ELLENBERG H. *et al.* - 1965/66. - Tentative physiognomic... *Ber. Geobot. Inst. Ruebel* 37.
- FERRI M.G. - 1943-1971 - *en particulier* Simposio sobre o *Cerrado* 1963, 1966 et 1971.
- HAANTJENS H.A., - 1968 - Methodology of integrated surveys. Proc. Toulouse Conf. Unesco.
- HUBER J., - 1909. - Matas e Madeiras amazônicas. *Bull. Museo Goeldi* vol. 6.
- HUECK K., - 1972 - Vegetationskarte von Südamerika in Walter ed. Stuttgart.
- KEAY R.W.J. - 1959 - Vegetation Map of Africa... Oxford University Press.
- KÜCHER S.W. - 1967 - Vegetation Mapping. Ronald Press, 472 p.
- KÜCHER S.W. & M. ZONNEVELD - 1988. Vegetation Mapping. Nijhof/Jung.
- NUTTONSON M.Y., - 1955 - Wheat-climate... Am. Inst. Crop Ecology, Washington, D.C.
- RAWITSCHER F. - 1948 - *Jour. Ecol.* 36 (2): 237-268.
- RICHARDS P.W. - 1952 - The Tropical Rainforest. An Ecological Study. Cambridge University Press. 450 p.
- SCHMITHÜSEN J. - 1961 - Allgemeine Vegetations Geographie. De Gruyter. Berlin.
- SCHMITHÜSEN J. - 1976 - Atlas zur Biogeographie. De Gruyter. Berlin.
- WARMING J.E.B. - 1892 - Lagón Santa. : 153-488.
- WHITE F., - 1986. - Vegetation map of Africa, Unesco ; Projeto Radam Brasil 1967-1979. Reports, Rio Janeiro.