

Système d'Information Géographique (SIG) et conservation de la biodiversité : exemple en Inde du Sud

Par Laurent DUFY
Institut Français de Pondichéry (Inde)
laurent.dufy@ifpindia.org

Danny LO SEEN
Institut Français de Pondichéry (Inde)

B.R. RAMESH
Institut Français de Pondichéry (Inde)

Les Ghâts Occidentaux (Inde) sont considérés comme l'un des 25 hauts lieux de la biodiversité à travers le monde. C'est sur cette région que la présente étude intègre données écologiques et données humaines dans une approche globale. Deux objectifs : la promotion de la conservation de la biodiversité et l'utilisation durable des ressources forestières par les communautés locales en dépendant.

Cette approche nouvelle en Inde, basée sur l'écologie du paysage, utilise pleinement les potentialités du Système d'Information Géographique. Après une introduction à la méthode suivie, nous verrons en quoi le SIG est utile à la conduite du projet, avec les premiers résultats. Une discussion ouvrira le sujet en montrant comment l'information peut être transmise sur le terrain de façon efficace, pour une meilleure application de nos recommandations.

1. Le développement durable : un enjeu de taille en Inde

L'Inde compte selon les dernières estimations 1,049 milliards d'habitants. Cela en fait le deuxième pays au monde par sa population après la Chine, qui devrait être dépassée d'ici 50 ans. Malgré l'étendue géographique du pays, grand comme six fois la France, la densité moyenne reste de plus de 300 habitants par km²... La société indienne, en plein développement, doit donc faire face à la question de la conservation de ses milieux naturels et de l'utilisation durable de ses éléments. Suivant en cela la Convention sur la diversité biologique¹, la politique forestière indienne a mis en avant la nécessité d'une approche plus intégrée de sa gestion forestière.

C'est ce qui est tenté aujourd'hui sur la zone des Ghâts Occidentaux qui, avec 1500 espèces de plantes endémiques, sont ainsi considérés comme l'un des 25 hauts lieux de la biodiversité mondiale (Myers et al., 2000). Ce grand escarpement, qui longe la côte Ouest de l'Inde sur plus de 1600 km, abrite des conditions environnementales variées. Celles-ci supportent différents niveaux de dégradation, dus à une pression anthropique forte : on atteint la densité record de 875 habitants au km² dans l'Etat du Kerala. Les rapports entre l'homme et la forêt y sont complexes, et les usages variés : cueillette, bois de chauffage, bois de construction, plantes médicinales, forêts sacrées... Le Département Forestier du Kerala cherche donc à améliorer sa politique de gestion, dans l'optique d'un développement durable (conservation de la biodiversité et utilisation durable des ressources forestières par les communautés locales en dépendant).

Il a ainsi été demandé à l'Institut Français de Pondichéry de réfléchir à un tel plan de gestion, pour lequel une nouvelle démarche a été adoptée. C'est celle-ci que nous allons exposer ici avec les premiers résultats, afin de présenter quelques éléments de discussion sur l'utilité des Systèmes d'Information Géographique (SIG) dans l'optique d'un développement durable.

¹ Programme des Nations Unies pour l'environnement (Centre d'activité du Programme pour le droit de l'environnement et les institutions compétentes en la matière), juin 1992.

2. Méthode : la géographie alliée à l'écologie

Le Kerala abrite 14 aires protégées officiellement, pour 25% de sa surface forestière. Ces aires sont supposées être les dépositaires d'une richesse biologique forte, mais une première étude a montré que 78% des zones à conserver en priorité n'étaient protégées par aucun statut particulier et que les limites existantes (parcs nationaux, sanctuaires, divisions forestières etc.) ne tenaient parfois compte d'aucun facteur pertinent (Ramesh et al., 2002). Il fallait donc proposer aux acteurs locaux - forestiers responsables des aires protégées en tête - une nouvelle approche intégrée de la région (Ramesh et al., 2003) et un nouveau plan de gestion des forêts... Deux phases ont été identifiées avant d'établir nos recommandations : un découpage logique de la zone, suivi d'une étude approfondie sur site pilote.

a) Un découpage plus rationnel, basé sur l'écologie paysagère

L'approche globale de l'écologie paysagère a servi ici de fond méthodologique (Liu & Taylor, 2002). Celle-ci s'intéresse aux motifs et aux dynamiques du paysage, ainsi qu'aux interactions entre zones homogènes le composant. L'hétérogénéité spatiale du paysage et ses dynamiques permettent mieux de comprendre les processus qui le régissent (Bastian, 2001). Ces paysages sont eux-mêmes étudiés dans un contexte plus large, grâce à la théorie de la hiérarchie. Celle-ci suggère que différents niveaux emboîtés d'unités interagissent (Cowell, 1998).

L'identification d'unités paysagères au Kerala, à différentes échelles, devait donc permettre de retenir un de ces niveaux comme niveau d'intervention privilégié pour le Département Forestier (de taille à pouvoir être géré de façon pratique sur le terrain). L'étude s'est basée sur certains critères physiques (climat, topographie, sol...), jugés révélateurs de conditions locales et permettant de délimiter des zones distinctes les unes des autres. Le SIG, système permettant la capture, le stockage, la vérification, la manipulation, l'analyse et la restitution des données référencées dans l'espace (Burrough & McDonnel, 1998), s'est imposé comme un outil indispensable de cette première phase...

Ce travail effectué aux différentes échelles, il fallait choisir une zone pilote pour une étude plus poussée, au niveau adéquat pour la gestion des forêts. Le choix d'une telle unité paysagère a pris alors toute son importance, puisqu'elle doit offrir une variété de situations telle que le Département Forestier puisse en tirer des éléments de réponse pour d'autres paysages... (la zone retenue se situe dans la région de Munnar et Eravikulam).

b) Une analyse interdisciplinaire, pour une vision plus large

Cette deuxième phase, menée actuellement, doit étudier en détail la structure et les dynamiques du paysage "pilote", sur les plans écologiques et sociaux. Trois équipes sont mobilisées ici : écologues, socio-économistes et géomaticiens (spécialistes des SIG).

Plusieurs étapes sont menées conjointement, à l'aide de comptages, des SIG et du traitement d'images satellites : un état de la biodiversité est engagé, l'utilisation du sol est cartographiée, pendant que les limites administratives détaillées couvrant le terrain sont numérisées.

L'identification des populations et de leur impact sur les ressources forestières est une étape essentielle (McIntyre & Hobbs, 1999), plus délicate à mener (surtout dans le Kerala, où, on l'a dit, les rapports homme - forêt sont complexes). Certaines mesures gouvernementales ou locales jouent aussi un rôle, à ne pas oublier. Cette dimension socio-économique va être évaluée, à la fois dans le temps et dans l'espace (déplacement des populations, rayon d'action...). Des enquêtes de terrain doivent permettre de couvrir les besoins de l'étude (entretiens, méthodes participatives d'évaluation), dont les résultats, lorsqu'ils seront localisés, seront couplés aux données physiques dans le SIG, pour une vue d'ensemble.

Une fois l'étude complétée, des recommandations pourront être données au commanditaire (qui se basera sur cette étude pour établir un nouveau plan de gestion) et aux acteurs locaux (populations et décideurs). Elles porteront sur la prise en compte des facteurs anthropiques aussi bien que naturels, à travers une vision alliant géographie et écologie. Enfin, l'étude proposera un découpage logique et non plus administrative du Kerala, selon des critères pertinents pour la gestion forestière...

3. Premiers résultats : l'apport du Système d'Information Géographique

a) Cartographier les variables et délimiter les paysages

Dès la première phase de l'étude, le SIG a été l'outil principalement utilisé. En effet, pour identifier des unités paysagères à différentes échelles (Wu & Qi, 2000), nous avons cartographié certaines données révélatrices des logiques en place à l'échelle considérée (Hay et al., 2001).

- Ainsi, au premier niveau, les grands ensembles géographiques identifiés par Singh (Singh, 1977) sont reconnus comme une clé majeure de description de la région. Ils tiennent compte du climat, de la géologie et de la topographie. Le SIG a permis d'affiner les limites de ces ensembles, en se basant sur les courbes de niveau des cartes topographiques.
- A un niveau inférieur, on peut délimiter des unités en fonction de leurs caractéristiques géomorphologiques et pédologiques. Le croisement de ces informations, à l'aide du logiciel, permet de trouver des zones aux profils similaires.
- C'est un dernier apport, avec l'information sur les types de végétation selon les bioclimats (sempervirente humide, décidue sèche etc.), que l'on obtient un découpage par paysages de taille gérable par les officiers forestiers. Ces catégories de végétation potentielle (existante ou disparue) donnent un très bon aperçu des conditions locales...

Les informations utilisées ont été obtenues à partir de cartes topographiques à différentes échelles, de cartes géologiques au 1:1.000.000 et de cartes de sol au 1:500.000². Ces informations, compilées grâce à un SIG, ont été utilisées de manière raisonnée : des cartes à des échelles différentes ne peuvent généralement pas être croisées, les limites cartographiées dépendant de l'échelle et de la classification choisie. Il a fallu également vérifier ces données. Ainsi, les cartes du sol ont subi d'importantes modifications : la classification utilisée a été mise à jour (la taxonomie a changé ces dix dernières années), la jointure des cartes a rendu nécessaire une homogénéisation de celles-ci, pendant que des sols nouvellement identifiés étaient cartographiés eux aussi. La carte de végétation potentielle, réalisée par l'Institut Français de Pondichéry au 1:250.000, a nécessité également un gros travail. Elle se base sur des informations climatiques, topographiques et forestières obtenues d'après des relevés de terrain et des données issues de cartes existantes.

Le croisement de toutes ces informations ne peut se faire qu'avec une bonne connaissance du terrain et des données brutes... Le Système d'Information a servi ici au stockage des données, à leur exploration, cartographie, modification et analyse.

b) L'analyse spatiale de la zone test

La deuxième phase du projet, toujours en cours, doit permettre d'étudier en détail une unité paysagère complexe et de proposer un plan de gestion qu'il faudra ensuite appliquer aux autres unités. Intégration et stockage des données sont ici pleinement utilisés. Toutes les informations recueillies sur le terrain sont localisées dans l'espace, grâce à un système de positionnement par satellites (GPS : Global Positioning System), et sont intégrées au SIG. Données physiques et humaines sont réunies au sein d'un seul système qui chapeaute les différentes bases de données. Les données cartographiques (topographie, images satellites, limites administratives) sont également affinées à cette échelle.

C'est également en tant qu'aide à la décision que le SI est mis à contribution. La vue globale permise à l'échelle du paysage, avec par exemple le couplage de l'image satellite et du relief (Modèle Numérique de Terrain -MNT), aide le chercheur à identifier des zones d'intérêt. La localisation des sites de comptages, de transects, d'études socio-économiques est choisie avec l'aide du SIG.

Enfin, le logiciel sert à l'analyse spatiale des données. Afin de mieux comprendre les dynamiques du paysage, deux images satellites prises à vingt ans d'écart sont analysées afin de cartographier les forêts et l'utilisation du sol, en 1978 et 2000. La carte résultante montre l'évolution et apporte déjà quelques éléments de

² Sources : Survey of India, Geological Survey of India et National Bureau of Soil Survey

réponse (méthode décrite par Girard & Girard, 1999). Un état de la biodiversité est engagé, par comptages ponctuels ou le long de transects. Faune et flore sont estimées, caractérisées et localisées, en tenant compte des spécificités (corridors, rareté d'un habitat, endémisme de l'espèce...). Ces spécificités sont, lorsque c'est possible, identifiées par le logiciel. Le déplacement des populations est également étudié, en fonction du type d'habitat privilégié et des distances parcourues. Les requêtes spatiales permises par l'outil servent à identifier de tels habitats privilégiés, à moins d'une certaine distance du foyer actuel. Chaque foyer se voit attribué une zone tampon l'entourant, représentant l'aire d'influence de la population. Superposée par exemple à la carte des forêts, l'aire d'influence permet de calculer quels types de forêts sont touchés, et en quelle quantité...

Intégration et stockage des données, visualisation et aide à la décision, analyse spatiale, tels sont les usages faits du SIG dans cette deuxième phase du projet.

4. Discussion : le SIG, aussi une aide à la communication

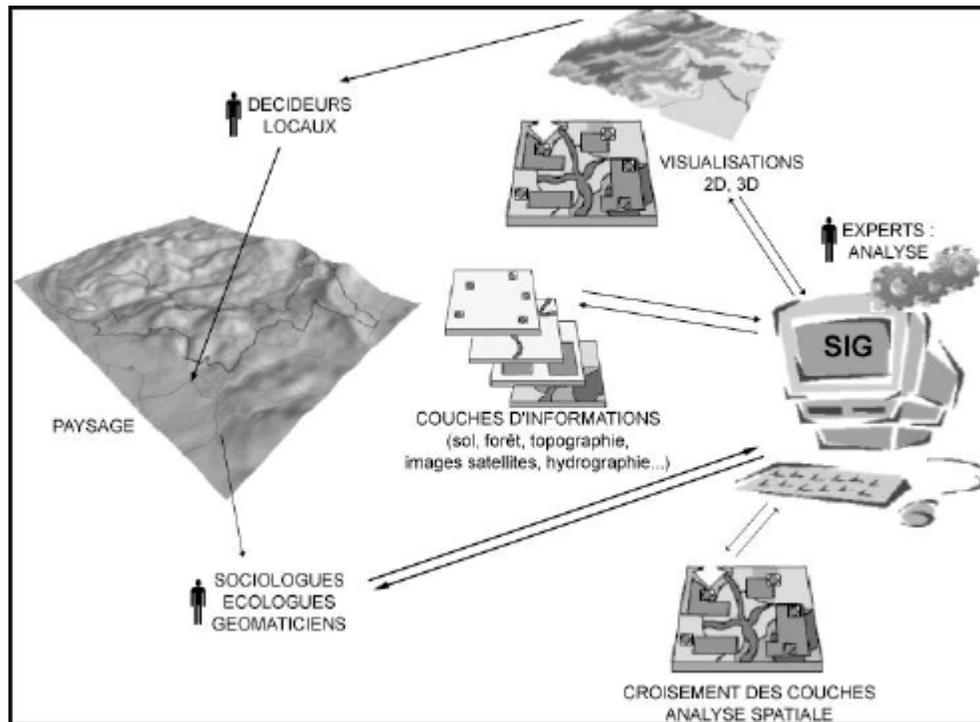
Les premiers résultats ont montré en quoi le Système d'Information était utile à la conduite du projet. Cette ouverture montre comment l'information peut être transmise de façon efficace, pour une meilleure application de nos recommandations.

Ainsi, l'interactivité permise par le logiciel facilite les échanges avec les commanditaires, qui peuvent visualiser en direct l'information. La navigation à travers différentes cartes, le passage d'une échelle à l'autre, d'une discrétisation à une autre, aide à une meilleure appréhension des données. A chaque échelle, les données les plus pertinentes peuvent être affichées. De même que le chercheur utilise le logiciel pour une meilleure vue d'ensemble, le commanditaire a la possibilité de multiplier les angles de vue sur ses données. C'est ainsi que commanditaires et chercheurs ont pu choisir ensemble le meilleur site pilote pour la présente étude. Bien évidemment, la portabilité est moindre qu'avec une carte papier, puisque l'ordinateur est indispensable à cette interactivité.

La carte imprimée, bien que statique, offre par contre l'avantage d'être diffusée largement, aux officiers forestiers dans notre cas. Le nouveau découpage selon les paysages est ainsi cartographié puis imprimé et donné aux ingénieurs avec d'autres cartes en complément d'information. Le résultat du découpage, mais aussi les raisons qui ont poussé à un tel découpage sont ainsi mieux appréhendés par les acteurs locaux. Il est à noter cependant qu'il n'est pas aisé de se repérer sur une carte lorsqu'on y est pas habitué. Les populations locales ont peu d'occasions de lire des cartes, il faut donc trouver de nouveaux moyens de communication.

La vue en trois dimensions (3D) permet, quant à elle, un rendu plus réaliste du terrain. Le SIG sert ici à la superposition de cartes (occupation du sol, limites des paysages...) ou d'images satellites sur le relief en 3D (MNT). On peut choisir l'angle de vue pour les impressions mais aussi naviguer en temps réel grâce au logiciel. Dans ce cas là, un survol 3D d'une zone d'intérêt donne une vision inégalable du terrain, et facilite ainsi la compréhension de la carte et permet de se situer plus facilement (si on est déjà allé sur le terrain). Ce mode de communication est utilisé avec les acteurs locaux pour les aider à se repérer et pour rendre plus réaliste la carte affichée. Les décideurs, eux, connaissent parfois moins bien telle ou telle zone dans le détail. C'est dans ce cas un outil de découverte et un vecteur moderne à double tranchant : certaines personnes auront tendance à comprendre uniquement les cartes classiques 2D, alors que d'autres s'enthousiasmeront et auront tendance à mieux recevoir l'information...

Figure 1 : La place du Système d'Information Géographique dans l'étude



Conclusion : l'espace, objet de recherche, voit se développer des outils adaptés

L'écologie paysagère, vue comme l'alliance de la géographie et de l'écologie, se base sur des principes où l'espace est lui-même objet de recherche. Par l'analyse de ses structures et dynamiques, l'écologiste élargit son point de vue, en passant de l'écosystème au paysage. Ce changement est toutefois coûteux, en termes de temps et d'énergie passés à collecter l'information. Aux débuts de cette discipline, les outils permettaient difficilement de travailler à l'échelle requise du paysage. L'étude des données, et leur intégration à d'autres données, étaient un challenge. L'essor des Systèmes d'Information Géographique a en grande partie remédié à ce problème. En même temps que l'outil s'est développé, les idées en écologie paysagère se sont multipliées. Aujourd'hui, les données localisées dans l'espace, mais également d'autres données non géoréférencées, sont intégrées au SIG. Sources d'information assez récente et de grande valeur dans de nombreux cas, les traitements d'images satellites se basent sur des algorithmes éprouvés. Les opérations sur ces données spatialisées sont pour la plupart réalisables avec des logiciels classiques, moyennant toutefois une chaîne de traitements parfois complexe. Dans notre étude, le logiciel est de type classique, utilisé sur une large gamme de ses possibilités. Mais d'autres outils sont maintenant développés, qui s'intéressent uniquement à l'écologie paysagère. De tels logiciels offrent des fonctionnalités avancées, basées principalement sur des critères quantitatifs concernant la métrique des paysages. Ainsi, la structure du paysage peut être analysée de façon quantitative (indices de connectivité, taille des motifs, fragmentation...).

L'écologie paysagère s'est développée rapidement sur ces questions de structure du paysage, mais doit encore progresser sur l'intégration de données qualitatives et humaines. Cette jeune discipline se cherche (Wiens, 1992 ; Hobbs, 1997) et devra encore travailler à la généralisation des modèles proposés, trop souvent développés pour une zone précise. Le Système d'Information Géographique sera donc un bon reflet de l'état des recherches, lorsque l'outil intégrera des modèles utilisables dans de nombreux cas.

Bibliographie citée

- Bastian, O. 2001. *Landscape Ecology - towards a unified discipline?*, in *Landscape Ecology* 16 : 757 - 766.
- Burrough, P.A. et McDonnell, R.A. 1998. *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford University Press, Oxford.
- Cowell, D.W. 1998. *Ecological landscape planning techniques for biodiversity and sustainability*, in *Environmental Management and Health* 9/2 : 72 - 78.
- Girard, M.C., Girard, C. 1999. *Traitement des données de télédétection*, Dunod, Paris.
- Hay, G.J. et al. 2001. *A multiscale framework for landscape analysis: Object-specific analysis and upscaling*, in *Landscape Ecology* 16 : 471 - 490.
- Hobbs, R. 1997. *Future landscapes and the future of landscape ecology*, in *Landscape and Urban Planning* 37 : 1 - 9.
- Liu, J., Taylor, W.W. 2002. *Coupling landscape ecology with natural resource management: paradigm shifts and new approaches*, in *Integrating Landscape Ecology into natural resource management*, Cambridge University Press, Cambridge.
- McIntyre, S., Hobbs, R. 1999. *A framework for conceptualizing human effects on landscapes and its relevance to management and research models*, in *Conservation Biology* vol.13 (no.6) : 1282 - 1292.
- Myers, N. et al. 2000. *Biodiversity hotspots for conservation priorities*, in *Nature* 403 : 853 - 858.
- Ramesh, B.R., Karunakaran, P.V., Balasubramanian, M., Lo Seen, D., Kaler, O.P. 2002. *Biodiversity conservation strategy and action plan for Kerala*, French Institute of Pondicherry and Kerala Forest Department, Pondicherry.
- Ramesh, B.R., Lo Seen, D., Karunakaran, P.V., Balasubramanian, M., Sankar, M. 2003. *Conservation review for rationalization of protected area network in Kerala*, French Institute of Pondicherry, Pondicherry.
- Singh, R.L. 1977. *India, a regional geography*, National Geographical Society of India, Varanasi.
- Wiens, J.A. 1992. *What is landscape ecology, really?*, in *Landscape Ecology* 7 : 149 - 150.
- Wu, J., Qi, Y. 2000. *Dealing with scale in landscape analysis: an overview*, in *Geographic Information Sciences* vol.6 (no. 1).