



**HAL**  
open science

# Les SIG pour une gestion environnementale des territoires Eléments de méthode à partir de deux expériences

Thierry Joliveau, Bernard Etlicher

► **To cite this version:**

Thierry Joliveau, Bernard Etlicher. Les SIG pour une gestion environnementale des territoires Eléments de méthode à partir de deux expériences. *Revue Internationale de Géomatique*, 1998, 8 (3). hal-04312423

**HAL Id: hal-04312423**

**<https://hal.science/hal-04312423v1>**

Submitted on 28 Nov 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

# Les SIG pour une gestion environnementale des territoires

## Eléments de méthode à partir de deux expériences

**T. Joliveau, B. Etlicher**

CRENAM-CNRS UMR 5600

Université Jean Monnet

CRENAM 6 rue Basse des Rives

42023 SAINT ETIENNE CEDEX 2

Tél. /fax: 33 (0)4 77 42 1925 / 24

crenam@univ-st-etienne.fr

*RÉSUMÉ. A partir de deux expériences, l'une à propos de la gestion d'un espace naturel sensible, les Hautes Chaumes du Forez et l'autre sur la gestion paysagère d'une commune en déprise agricole, Viscomtat (Puy-de-Dôme), nous proposons des éléments de méthode pour l'utilisation des S.I.G. dans la gestion environnementale des territoires, qui nous paraît constituer un domaine d'application spécifique et en développement. Nous abordons successivement les questions suivantes : la nécessité de combiner dans un projet des approches du type potentialité/sensibilité et modélisation/simulation, l'importance du phasage d'un projet, les modalités de l'intégration des acteurs dans la démarche depuis la construction du système d'interprétation jusqu'à la décision, et l'indispensable évolution des modes de représentation de l'information.*

*MOTS-CLÉS :Système d'information géographique - Environnement - Paysage - Espace naturel sensible - Gestion de projet.*

*ABSTRACT. Based on two experiences, one involving the management of a sensitive natural area, the Hautes Chaumes du Forez, and the other the landscape management of a commune in agricultural decline, Viscomtat (Puy-de-Dôme), we propose a number of methods for using G.I.S. in the environmental management of territories, which seems to us to be a specific and developing field of application. We successively address the following issues: the need to combine potentiality/sensitivity and modelling/simulation approaches in a project, the importance of project phasing, how to involve stakeholders in the process from the construction of the interpretation system through to decision-making, and the need to evolve modes of information representation.*

*KEYWORDS: Geographic Information System - Environnement - Landscape - Natural Area - Project Management.*

## Introduction

Les SIG sont de plus en plus utilisés dans un contexte que nous appellerons la gestion environnementale des territoires. Qu'il s'agisse de prendre en compte la dimension environnementale des problèmes de gestion de l'espace et d'aménagement ou de proposer une approche à la fois globale et localisée dans l'espace d'un problème d'environnement, ce contexte nécessite toujours une approche territoriale, caractérisée par une négociation d'acteurs autour d'enjeux environnementaux spatialisés [BAR 96]. Ce contexte est celui de procédures ou de démarches très diverses : gestion de la déprise agricole, mise en œuvre de mesures agri-environnementales, opérations de restructurations foncières, plans paysagers, schémas d'aménagement et de gestion des eaux, schémas directeurs, etc. Dans tous les cas - et l'on peut faire l'hypothèse que cela se généralisera et s'accroîtra dans l'avenir - les organismes gestionnaires les plus divers (chambres d'agriculture, parcs nationaux ou régionaux, collectivités locales...) doivent répondre aux mêmes exigences : faire fonctionner des structures de concertation avec l'ensemble des partenaires et représenter spatialement à la fois l'espace du problème et les territoires des acteurs. C'est dans ce cadre que se constituent maintenant de nombreux systèmes d'information géographique (SIG). Or leurs promoteurs sont confrontés non seulement à la nécessité de mettre en œuvre des méthodes nouvelles de traitement de l'information, mais aussi de communiquer celle-ci à différents publics, dans le cadre d'une action concertée. Il ne s'agit plus de présenter les résultats finaux d'études ou d'expertises. Il faut expliciter avec tous les acteurs concernés l'ensemble d'une démarche et valider chacune des étapes d'un raisonnement. C'est donc une méthode globale de traitement de l'information spatialisée dans une démarche concertée qu'il faut produire.

Nous souhaitons présenter quelques éléments de méthodes à partir de deux opérations menées par l'équipe du CRENAM<sup>1</sup> : une sur la gestion d'un espace naturel menacé, les Hautes Chaumes des Monts du Forez, l'autre sur la gestion du risque d'enrésinement dans une commune de la montagne thiernoise, Viscomtat dans le Puy-de-Dôme. Nous ne présenterons pas le détail des opérations. Au sujet des Hautes Chaumes, on pourra consulter : [ETL 96], [ETL 93] et [BES 95]. On se référera, pour l'exposé de la méthode globale de gestion paysagère à [JOL 96] et [JOL 98]. Après la présentation des démarches générales et des principaux résultats

---

<sup>1</sup> Le CRENAM (Centre de Recherches sur l'Environnement et l'Aménagement) est un laboratoire de l'Université Jean Monnet de Saint-Etienne, composante d'une unité du CNRS (UMR 5600 : Environnement, Ville, Société). La recherche sur les Hautes Chaumes coordonnée par Bernard Etlicher a mobilisé autour du CRENAM différents partenaires : le Parc naturel régional Livradois Forez, l'OPNA, l'Office du Patrimoine Naturel d'Auvergne et l'ENITA de Clermont Ferrand. Le travail sur la montagne thiernoise a été financé par le Commissariat à l'Aménagement et au Développement Economique du Massif central et rassemble une équipe de géographes, d'économistes et de sociologues de l'Université Jean Monnet de Saint-Etienne et de l'ENITA de Clermont-Ferrand.

des deux expériences, nous exposerons un ensemble de réflexions, nées de notre approche des SIG dans un contexte de gestion concertée.

## Le S.I.G. des Hautes Chaumes

Le projet de SIG Hautes Chaumes du Forez a été réalisé avec le concours du Parc Naturel Régional du Livradois Forez. Conçu à l'origine pour gérer un observatoire du patrimoine naturel, il est vite apparu comme un outil de gestion d'un espace sensible où les conflits d'usage sont permanents et revêtent des formes diverses.

### Pourquoi un SIG sur les Hautes Chaumes du Forez ?

Aux confins des circonscriptions territoriales, les Hautes Chaumes sont écartelées entre deux régions - Rhône-Alpes et Auvergne - et entre deux départements - Loire et Puy-de-Dôme. Les structures de développement, différentes sur les deux versants, ne permettaient pas une réflexion qui prenne en compte la totalité de l'espace et l'ensemble des problèmes comme l'unité du paysage et du milieu l'imposait.

Marginal, cet espace reste convoité. Autrefois géré par les éleveurs, il connaît actuellement un déclin rapide de l'activité d'estive [COU 88] ; en revanche, il attire un nombre croissant de citadins pour des activités récréatives (randonnée, ski, vol libre, parapente...) ou mécaniques (VTT, moto verte, 4X4, etc.). Les communes, soucieuses de revitaliser une région en voie de désertification et de fournir une activité complémentaire à une population agricole en difficulté, cherchent à développer les structures d'accueil de tous types en profitant des aides à l'investissement nombreuses sur fonds régionaux et européens. Les forestiers y voient de larges possibilités de plantations rentables, notamment en résineux, et les naturalistes souhaitent préserver un patrimoine qui leur semble exceptionnel à l'échelle du Massif Central et de la France. Aussi les initiatives se multiplient, contradictoires, en fonction de l'intérêt de tel ou tel groupe, provoquant protestations, colères ou même - parfois - conflits violents.

### L'outil et la zone d'étude.

La zone d'étude a volontairement été limitée à l'espace composé des plus hauts sommets de landes au-dessus de 1200 m d'altitude sur les deux versants, servant de terrain de parcours, au-dessus de la ceinture forestière du massif et correspondant à une surface de 20 x 5 km, traitée au 1/25000. En l'absence d'unité de gestion puisque la zone déborde sur les deux domaines de compétence territoriale, nous avons proposé la maquette aux décideurs tant d'un côté de que de l'autre avec une écoute inégale certes, mais cette démarche a fait progresser l'idée d'une nécessaire cohérence dans la gestion de l'ensemble, d'ailleurs plus rapidement acquise et relayée par les sous-préfets que les élus locaux, mais avec tout de même un début de réunions communes sur certains thèmes, comme la

circulation des engins motorisés. L'espoir est que cette dynamique de réflexion se développe et s'approfondisse.

La base de données a été construite, et gérée dans les premiers temps, au CRENAM avec ARC/INFO [BES 95]. Le Parc qui envisage pour celle-ci de nouvelles utilisations a aujourd'hui pris le relais et sa maintenance est effectuée en interne. Les traitements nécessitant une analyse raster, notamment la construction de certains modèles, ou la gestion des scénarios a été effectuée avec le logiciel Idrisi qui possède dans ses versions récentes un module d'aide à la décision offrant des perspectives intéressantes.

### La base de données

La base de données sur le milieu naturel a été progressivement constituée pendant les années 1991-1992 à la suite d'une étude pluridisciplinaire de suivi des évolutions affectant le milieu, financée dans le cadre d'un programme du SRETIE. Ce travail avait, entre autres buts, le souci de montrer aux responsables politiques les conséquences d'une absence de gestion globale, de souligner l'hétérogénéité de la qualité de l'information disponible, et d'imaginer des scénarios d'évolution à partir de diverses hypothèses, dont la poursuite des évolutions actuelles, jugées préoccupantes par certains.

La constitution du SIG a été l'occasion de synthétiser et de rendre cohérente une information disparate concernant le milieu naturel, issue de nombreux travaux scientifiques, géologiques, botaniques, géomorphologiques, pédologiques, agronomiques et pastoraux réalisés à des époques diverses et selon des méthodologies variées. Elle a été essentiellement un travail de scientifiques mené par une équipe pluridisciplinaire. Cette base a été complétée par la réalisation d'un modèle numérique de terrain au pas de trente mètres.

Deux enseignements sont à retenir de cette étape : la difficulté des spécialistes de disciplines diverses à s'entendre sur un vocabulaire commun d'une part, et les lacunes de l'information dans de nombreux domaines d'autre part, notamment sur les zones humides, la fréquentation, les congères... Cette dernière a été partiellement comblée par croisement des données primaires. Plusieurs de ces modèles permettant la création de couches d'information que nous avons appelées secondaires ont été décrits ailleurs, et ne seront pas présentés ici ([BES 92]; [ETL 93], [BES 93], [BES 95]).

### Les analyses et le diagnostic

La deuxième phase, le diagnostic ou analyse de sensibilité ou de potentialité [ETL96], est au coeur de la problématique du SIG environnemental : elle en fait la spécificité. Les analyses ont porté sur la sensibilité du milieu à l'érosion et sa dégradation en relation avec les différents usages de l'espace.

La construction du modèle de croisement de données, la définition des contraintes et la pondération des facteurs ont exigé un accord entre spécialistes de diverses disciplines (géomorphologues, climatologues, agronomes, phytosociologues et botanistes). A titre d'exemple, l'expression "dégradation de la lande" n'est pas comprise dans le même sens par le géomorphologue, qui y voit un risque d'ouverture du tapis végétal laissant le champ libre au ravinement, et l'agronome qui entend baisse de la valeur pastorale et multiplication des espèces à faible valeur nutritive comme le nard (*nardus stricta*), espèce par ailleurs excellent fixateur du sol et luttant efficacement contre l'érosion mécanique. Le botaniste, lui, désigne par le mot dégradation la banalisation progressive du milieu et son appauvrissement en termes de diversité végétale mesurée par l'indice de diversité biologique.

Il n'est pas plus aisé de quantifier certains facteurs : faire admettre que la pente est un facteur d'aggravation de l'érosion par le ruissellement ne pose pas de problème majeur car il y a un accord général sur ce point, mais cet accord est déjà moins facile à réaliser lorsque le débat porte sur les modalités de cette intégration dans le modèle de croisement de données, suivant une progression linéaire, trigonométrique, ou avec introduction de seuils à l'origine du déclenchement de processus particuliers : vieux débat de la géomorphologie...

Ces analyses sont obtenues à partir des couches primaires ou secondaires à travers un modèle de croisement de données. Contrairement à l'étape précédente, celle-ci ne relève pas exclusivement de "l'expert" ou du "scientifique" mais un certain nombre de choix "politiques" conditionnent le résultat final. En plaçant en amont l'intervention du "politique", dans un domaine souvent attribué exclusivement aux "experts", on prévient un certain nombre de conflits et on peut dans une certaine mesure contribuer à éviter un rejet du diagnostic par les acteurs. Ont été produites des cartes de sensibilité à l'érosion du milieu et des cartes de potentialité pastorale et touristique.

### La gestion de scénarios

La dernière étape est la construction de scénarios d'évolution et d'aide à la décision à partir d'hypothèses formulées par le Parc. Des scénarios de fermeture du paysage sur la base de la poursuite des évolutions actuelles et d'allocation de l'espace entre divers objectifs : conservation patrimoniale, tourisme et pastoralisme, ont été notamment construits pour alimenter le débat avec les responsables politiques du Parc. Ils ont été bâtis sur diverses hypothèses pour être débattus par les instances politiques. La réflexion n'est qu'engagée et doit se poursuivre dans la période qui s'ouvre. Plusieurs simulations sur l'allocation de l'espace pour gérer les conflits d'usage entre trois "usages" de l'espace : pastoralisme, activités de loisirs, protection du milieu, ont été réalisées en faisant varier l'importance de certains paramètres. Des simulations de fermeture de la lande ont également été produites.

## Viscomtat : un S.I.G. pour la gestion paysagère

### Les objectifs

Le projet, mené en collaboration avec le Parc naturel régional du Livradois-Forez, la Communauté de commune de Chabreloche et la commune de Viscomtat n'avait pas de véritable enjeu de gestion à court terme. Le Parc mène cependant parallèlement dans cette zone une opération de gestion de l'espace, devant déboucher sur des mesures concrètes. Dans ce cadre il avait d'ailleurs mis en place une procédure de collecte des données, et élaboré avec un jury communal une première spatialisation des différents enjeux locaux. Les acteurs locaux étaient déjà mobilisés sur le thème de la maîtrise de leur territoire, et notre projet s'appuyait sur cette première opération. Nous partions de l'hypothèse que le paysage offre une bonne clé d'entrée pour poser la question de la gestion du territoire. Les dynamiques paysagères sont la résultante complexe et médiatisée de multiples processus et d'actions de tous ordres : économiques, sociaux, culturels, ... L'objectif était donc de relier les dynamiques paysagères constatées aux logiques des acteurs qui les produisent, puis de proposer des scénarios fondés sur des hypothèses cohérentes dans le changement de ces logiques. Le système d'information sous-jacent devait donc répondre à trois grands besoins : décrire les principaux types d'occupation du sol et les paramètres qui transcrivent les logiques d'acteur, reconstruire des vues du paysage visible grâce à des outils informatiques et produire des simulations raisonnées de l'évolution de l'occupation du sol.

### Les outils et les données

La contrainte technique que nous nous étions donnés était de ne pas mobiliser des outils trop coûteux ou trop complexes : nous avons donc utilisé des logiciels simples sur micro-ordinateurs : Idrisi et Arc View pour la gestion de l'information à référence spatiale et Vistapro pour la production de vues paysagères pseudo-réalistes.

Il nous fallait caractériser les structures physiques du territoire, les grandes catégories d'occupation du sol, les structures d'exploitations agricoles et le réseau viaire. Pour décrire la structure spatiale nous avons utilisé les îlots de culture, qui sont des regroupements de parcelles contiguës ayant le même type d'utilisation et qui sont mises en valeur par la même exploitation. Ces unités sont beaucoup moins nombreuses que les parcelles foncières et peuvent donc être plus aisément gérées sur un vaste espace avec un système informatique aux performances modestes. Les îlots avaient été délimités sur le plan cadastral par les agriculteurs eux-mêmes dans le cadre de l'opération de gestion de l'espace du Parc. Leur description reprenait quelques critères simples : type de mise en valeur et caractéristiques agronomiques générales. Les données concernant les exploitations : âge et statut de l'exploitant (double-actif, retraité, ...) ont été stockées dans une base de données. Un état simplifié de l'utilisation du sol a été reconstitué à plusieurs dates, en fonction des sources disponibles : en 1835 par transfert de l'information portée sur le cadastre

napoléonien ; en 1960, 1985 et 1994 par photo-interprétation visuelle des couvertures aériennes de l'I.G.N. Nous avons procédé aussi à une classification automatique d'une photographie aérienne en couleurs naturelles scannée. Un modèle numérique de terrain (M.N.T.) de la zone a enfin été calculé à partir d'un couple de photographies aériennes.

### La méthode

La méthode employée se fonde sur la reconstitution des paysages passés et présents pour amener les acteurs à prendre conscience que les paysages ont évolué dans le passé et vont se transformer dans l'avenir. Cela permet de lancer le débat sur l'avenir du paysage de la commune et de mobiliser les acteurs autour de la compréhension des processus qui déterminent les paysages futurs. Ceux-ci sont ensuite simulés grâce au S.I.G.

### Les étapes

On commence par structurer et organiser dans un S.I.G. l'information de base sur les états passés et présent de l'occupation du sol et les structures agricoles actuelles. Une enquête sur les vues paysagères remarquables et la sensibilité paysagère locale permet de mieux comprendre les enjeux paysagers et les représentations que s'en font les acteurs locaux. Ensuite on crée des vues paysagères des états passés et actuels, et des vues du paysages futur, construites à partir de scénarios contrastés et fondés sur des hypothèse simples. Les vues sont discutées par les acteurs auxquels on propose de construire des scénarios plus nuancés, intégrant des facteurs qui leur semblent pertinents. On élabore ensuite avec des experts locaux une liste des facteurs du boisement et on construit un modèle de combinaison de ces facteurs. On doit alors procéder à la collecte des informations complémentaires nécessaires. Les outils de bases de données et d'analyse spatiale permettent de cartographier les zones potentielles de boisement en fonction de différents scénarios ou de différents avis d'acteur. On élabore dans le même temps des cartes de sensibilité paysagère grâce aux fonctions d'analyse de visibilité et l'on peut cartographier les zones de conflits entre potentialités de boisement et sensibilités paysagères. On peut produire aussi les vues paysagères correspondantes et les présenter aux acteurs locaux

### Les représentations du paysage

Les paysages sont représentés de différentes manières. Même de simples cartes d'occupation du sol à différentes dates ont un intérêt. Elles sont souvent, pour la plupart des acteurs, la principale occasion de voir leur espace commun d'un seul tenant. Ainsi, dans le cas de Viscomtat, le travail de réflexion exercé dans le cadre de l'opération de gestion de l'espace s'était fait directement sur le plan cadastral, scindé en l'espèce en quatre parties. La cartographie issue du S.I.G. a permis d'avoir une vue d'ensemble de l'espace de la commune, à la sémiologie flexible et adaptée. La combinaison des relevés d'occupation du sol avec un Modèle Numérique de Terrain permet aussi de reconstruire des vues paysagères aux



différentes dates, selon plusieurs techniques : cartes d'évolution, vues fixes "virtuelles" utilisant des techniques de synthèse d'image et construites à partir de points de vue connus de tous ou facilement repérables : belvédères, sommets, ..., simples drapages de photographies sur des vues en perspective du M.N.T., ou animations présentant l'évolution temporelle du paysage.

### La simulation du boisement

Le S.I.G. sert d'abord à caractériser chacune des U.C.H. par des critères considérés comme pertinents pour les dynamiques futures : pente, altitude moyenne et orientation dominante à partir du MNT, part du périmètre de la parcelle en voisinage d'une parcelle boisée, distance au siège d'exploitation le plus proche par le réseau viaire, coefficient surface/éloignement de la parcelle par rapport au siège d'exploitation, etc. Ces critères sont stockés dans la base de données des îlots de culture, à côté des caractéristiques directes ou de celles obtenues par jointure avec la base de données des exploitants. On produit, à partir des pondérations de chacun des experts, un risque de boisement à long terme des unités. Dans les vues paysagères futures, les parcelles concernées sont ensuite considérées comme boisées. Le défaut d'une telle analyse est bien sûr de ne pas prendre en compte le temps. Si l'on considère que se boiseront les parcelles petites et éloignées des sièges d'exploitation et celles qui sont entourées à plus de 75% par des parcelles déjà boisées, le boisement d'une parcelle lié à des raisons agronomiques, pourra bien évidemment entraîner dans un second temps l'abandon d'une parcelle voisine maintenant cernée par la forêt. De même, l'âge de l'exploitant, qui est une variable fondamentale de ce système, évolue avec le temps et il serait nécessaire d'en tenir compte. Coupler le S.I.G. avec un modèle temporel est possible, mais cela oblige à compliquer le système. Il faut pouvoir paramétrer différentes dynamiques pour les trente ans à venir : logique successorale des exploitations, laps de temps entre l'abandon cultural et la décision de boisement, etc.

### Les modèles de changement

Dans ce type de projet, les acteurs doivent participer à l'élaboration de modèles de changement. Il faut en effet déterminer les paramètres qui peuvent faire évoluer le paysage de la commune dans les décennies à venir. Dans le cas de Viscomtat, nous étions dans une situation où les dynamiques naturelles étaient secondaires, les zones abandonnées ou délaissées faisant, dans la plupart des cas, l'objet d'un boisement volontaire ultérieur. Nous avons donc travaillé à élaborer, grâce à des enquêtes auprès des acteurs et après consultation de différents experts locaux, un modèle simple tentant de représenter la décision de boisement par un propriétaire [DEN 97]. Ce modèle intègre quatre types de propriétaires : les agriculteurs double-actifs, les agriculteurs traditionnels, les agriculteurs à dominante hors-sol et les propriétaires non-exploitants. Plusieurs grands types de facteurs ont été mis en évidence qui jouent à des échelles différentes. Les critères techno-agronomiques influent à l'échelle de la parcelle (pente, pédologie, taille,

insolation, proximité des bois, accessibilité et desserte,...), les critères socio-culturels (attachement à la terre, intérêt pour la forêt, choix d'exploitation,...) jouent à l'échelle locale, les critères économiques sont pertinents à l'échelle de la petite région ou de la nation (marché du bois, coût du fermage, ...) et les critères réglementaires dépendent de décisions nationales, ou européennes (taxation, subventions, mesures agri-environnementales, ...). Une approche plus formalisée pourrait d'ailleurs être mise en œuvre. Sur une autre zone, nous avons testé la méthode de l'analyse structurelle pour hiérarchiser, parmi les variables, celles qui semblaient les plus déterminantes.

On commence par fixer des grandes orientations pour les macro-variables, celles du niveau régional à européen. On demande ensuite à chacun des experts ou à chaque type d'acteur de proposer une hiérarchisation des facteurs du boisement des parcelles de la commune. On peut utiliser de simples pondérations ou des systèmes de scores relatifs, comme celui de la méthode " Saaty " [SAA 77]. Selon le cas, on peut demander à un groupe d'experts ou de représentants des différents acteurs de se mettre d'accord sur le système de pondération. On peut aussi, comme cela a été fait dans le projet, produire la simulation spatiale des boisements correspondant aux pondérations de chacun des experts ou acteurs, et leur demander ensuite de comparer et discuter les différences.

### L'intérêt d'une telle démarche

Une telle approche permet une mobilisation des différents acteurs sur les enjeux territoriaux. En effet, les vues paysagères de la commune apparaissent comme de bons supports du débat. Les habitants et les agriculteurs s'y repèrent correctement. Elles constituent une traduction paysagère très "spectaculaire" des évolutions de l'espace, rétrospectives et prospectives. La méthode des scénarios facilite l'émergence du débat à l'intérieur de la société locale. Elle permet une première explicitation et une prise de conscience des différents facteurs qui déterminent localement les dynamiques spatiales et des stratégies des différents groupes. Elle met en évidence, dans une démarche globale et concertée, les usages et contraintes des différents acteurs vis à vis d'un espace commun.

## Quelques éléments de réflexion à partir des deux expériences

### L'intérêt des S.I.G. et leurs contraintes

Les S.I.G. offrent des opportunités très intéressantes dans la gestion environnementale des territoires. Ils permettent :

- de conserver une approche globale et spatialisée durant l'ensemble de la démarche ;

- d'expliciter les critères et les facteurs qui président à l'analyse et les modèles de combinaison employés ;
- d'estimer un certain nombre de paramètres dont les données sont indisponibles ;
- de revenir en arrière à n'importe quel moment de la démarche ;
- de produire des scénarios à partir d'hypothèses discutées avec les acteurs.

En retour, ils génèrent de nouvelles contraintes :

- L'utilisation du S.I.G. alourdit le déroulement du projet en nécessitant à chaque étape de formaliser et d'explicitier les choix et les paramètres tant pour ce qui concerne les données que les analyses ;
- Le S.I.G. oblige à déployer une stratégie continue d'acquisition et de gestion de données ;
- Un projet de ce type suppose une mobilisation continue des acteurs pour valider les différentes étapes d'avancement du projet. Il faut intégrer le S.I.G. et ses procédures dans la stratégie de mobilisation et d'animation.

Par ailleurs, il nous semble que l'on doit éviter deux risques majeurs dans ce type de projet :

- le risque d'une «dictature de l'espace», qui conduit à vouloir spatialiser ce qui n'est pas spatialisable ;
- le risque que la dimension technologique de l'outil ne sépare encore plus l'expert des acteurs, que dans une approche classique.

Les questions de méthode qui nous semblent les plus vives concernent : la validité des approches du type potentialité/sensibilité, le contexte du démarrage des projets, le phasage des différentes étapes, le rôle respectif des divers acteurs, l'élaboration des modèles de croisement de données et les choix des modes de représentation.

Deux démarches à associer : potentialité/sensibilité vs modélisation/simulation

Les deux approches présentées ici s'intègrent dans une démarche proposée à l'origine par Mc Harg [HAR 80] et connue sous le nom de planification écologique. Une application de cette approche dans un contexte français est présentée dans Tarlet [TAR 85]. Afin de localiser le plus harmonieusement possible les différentes activités humaines tout en intégrant à la fois les contraintes physiques et les objectifs de préservation des milieux naturels, la planification écologique tente de confronter spatialement potentialité aux usages anthropiques et sensibilité des

milieux à ces usages. Le développement des S.I.G. a permis à cette approche de se diffuser et de complexifier. Aux systèmes originels de calques, se sont substituées des combinaisons numériques plus complexes mais la logique reste la même. Ce type d'approche est souvent critiqué et rejeté au bénéfice d'une démarche plus scientifique du type modélisation/simulation de processus, pourtant souvent difficile à mettre en œuvre dans un projet de gestion environnementale des territoires.

Or ne démarche de ce type est nécessairement globale et il est illusoire d'espérer modéliser rigoureusement l'ensemble des processus bio-physiques, et encore moins socio-économiques, qui sont à prendre en compte pour répondre aux questions posées. On en est toujours réduit à travailler de manière qualitative ou semi-quantitative, sous forme d'analyses de sensibilité et de potentialité. Certes, il est souhaitable de disposer des modèles adéquats à rendre compte des phénomènes en cause. Disposer de modèles spatialisés, testés et validés est une des tâches assignées aux scientifiques. Il n'en reste pas moins que ces modèles seront longtemps sectoriels, difficilement transposables d'une zone à l'autre ou d'une échelle à l'autre, et toujours entachés eux aussi d'incertitude.

Surtout, ces modèles quantitatifs requièrent la connaissance de données ou de paramètres dont, en général, le gestionnaire ne dispose pas. Leur acquisition est souvent très onéreuse, exigeant la mise en place d'un véritable programme de recherche scientifique, fort longue (souvent plusieurs années). La plupart du temps cette acquisition ne peut être que ponctuelle (à l'échelle de la station expérimentale ou de la parcelle). Un exemple de ces problèmes est celui de l'obtention de données sur l'ETP (Evapotranspiration potentielle) ou de la perte en terre par érosion (RUSLE) ou pour le calcul des écoulements (TOPMODEL). Ces modèles perfectionnés ne sont pas utilisables en pratique pour un projet de dimension modeste, et fournissent le plus souvent un degré de précision qui n'est pas utile pour le problème posé. La tentation est donc grande de substituer à ces modèles des modèles plus ou moins grossiers, qualitatifs ou semi-quantitatifs dont la validité et la pertinence restent parfois douteuses, faute de validation terrain que l'équipe technique n'a pas le temps ou n'est pas en mesure de mener. A la décharge des gestionnaires, il faut dire qu'il est difficile de mobiliser des équipes scientifiques sur de tels projets, et plus encore des financements, pour obtenir des résultats moins précis que ceux obtenus par les macro-projets scientifiques financés au niveau international. A ces modèles "rustiques" seront pendant longtemps associées des opérations de sélection, d'agrégation, de hiérarchisation dont la validation se fera à dire d'expert, et par des contrôles terrain dont la pertinence fera toujours débat et pourra toujours faire l'objet de critiques. On voit là l'une des brèches dans lesquelles ne manquent pas de s'engouffrer des opposants à un projet en contestant au cours des débats à partir d'arguments scientifiques, la validité du travail de modélisation et de diagnostic effectué en amont.

Par ailleurs, dans une opération concertée, il est souhaitable que les modèles explicatifs, qu'ils soient fournis par des scientifiques ou par des experts, ou bien produits collectivement avec les acteurs, soient validés à chaque étape. Plus un modèle est complexe, plus il peut générer, soit des réserves et des critiques, soit une adhésion non réfléchie de la part des acteurs. Il risque dans les deux cas de conduire au sentiment que tout est programmé et que les acteurs n'ont plus leur place dans le jeu de la décision. Les scénarios construits autour des notions de sensibilité ou de potentialité sont souvent plus facilement compréhensibles par les acteurs que ceux mettant en œuvre des modèles quantitatifs complexes. Or, dans les approches qui nous intéressent ici, l'objectif est souvent moins la véracité de la simulation que la réflexion commune qu'acteurs et experts produisent ensemble sur le problème posé.

Si le couplage des S.I.G. avec des outils de modélisation est une voie indispensable [THE 96], l'amélioration des outils de la planification écologique est un objectif aussi important. Plusieurs pistes peuvent être proposées :

- expliciter soigneusement les modèles de combinaison ;
- distinguer les impacts et les aptitudes usage par usage et se servir des résultats intermédiaires dans les négociations entre acteurs ;
- établir des procédures pour valider les analyses de potentialité/sensibilité sur le terrain par la confrontation avec des états de référence obtenus de manière séparée.

Pour cela, il est nécessaire de disposer d'outils d'analyse multicritères permettant des classifications, combinaisons et pondérations thématiques qui puissent servir comme support d'une évaluation collective. Le logiciel Idrisi propose déjà ce type d'outil. De nouveaux modules semblent maintenant proposés sur des logiciels plus courants dans le domaine de la gestion [BRA 97].

Les démarches combinant modèles, simulations, et analyse de potentialité/sensibilité seront de plus en plus courantes. Nous serons donc longtemps confrontés à une hétérogénéité des méthodes et outils d'analyse à mobiliser dans un projet. Un des travaux urgents est de réfléchir à un mode d'emploi de cette hétérogénéité.

### Le phasage des projets

Le caractère itératif et récursif de la démarche est apparu clairement dans l'expérience de Viscomtat. Dans la plupart des cas, les cartes produites après analyse et présentées aux acteurs conduisent à une nouvelle réflexion sur la construction du modèle de croisement de données, à une remise en cause d'un certain nombre de paramètres et peuvent ramener à une étape précédente, voire à une nouvelle collecte d'informations afin d'intégrer des paramètres nouveaux dans

le modèle explicatif. Une démarche de gestion territoriale nécessite donc une série d'allers et retours. Elle doit être récursive tout en s'intégrant dans une démarche de planification linéaire... Ce n'est pas la moindre de ses difficultés.

Deffontaines, Lardon et al. [DEF 94] distinguent cinq étapes (fig.1) dans la construction de ce qu'ils appellent un itinéraire cartographique : la préparation des données, la collecte de l'information, le traitement de cette information par sélection et combinaison, l'analyse par application de modèles et la restitution sous forme de cartes.

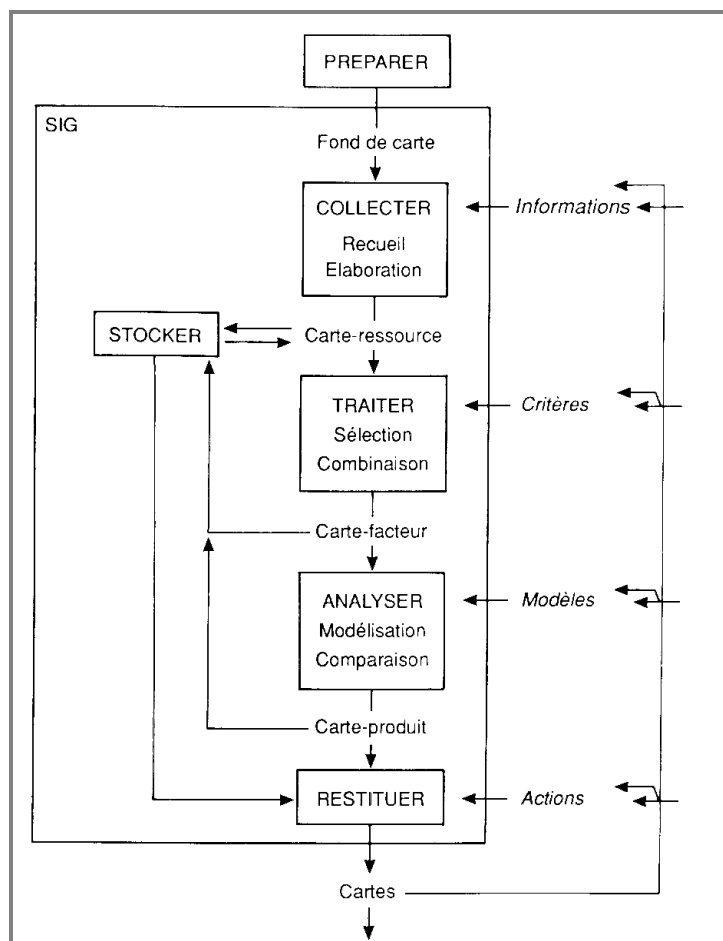


Figure 1. Les 5 étapes d'un itinéraire cartographique selon Deffontaines et Lardon [DEF 94].

Etlicher et Bessenay (ETL 1996) distinguent eux trois grandes phases dans la gestion d'un projet de S.I.G. environnemental (fig.2): la constitution de la base d'information, l'analyse et le diagnostic, et la phase d'aide à la décision et de

simulation de scénarios. Cette approche n'est pas contradictoire avec la précédente puisqu'elle décrit le processus d'ensemble du déroulement d'un projet qui peut, compte tenu du nombre d'acteurs engagés, s'échelonner sur une durée de plusieurs mois, voire plusieurs années.

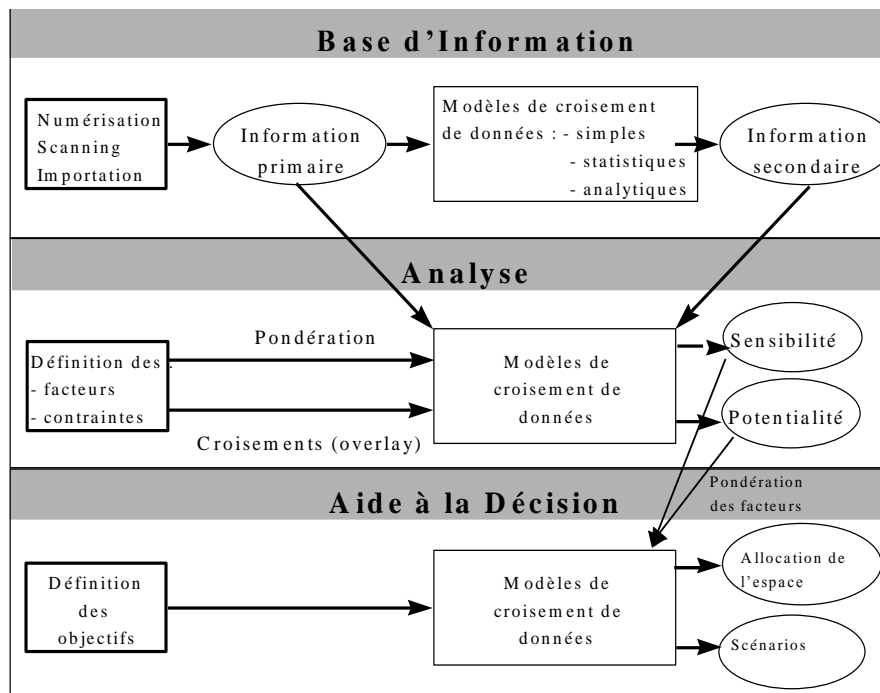


Figure 2. Les trois phases d'un projet de SIG environnemental d'après Etlicher et Bessenay

A chacun des moments de ces trois phases qui conduisent à l'élaboration de documents cartographiques, se déroule l'itinéraire cartographique décrit par Deffontaines et Lardon. Mais l'importance des diverses étapes varie selon la phase d'avancement du projet dans laquelle on se situe. Lors de la constitution de la base d'information, l'essentiel du travail est le rassemblement des cartes ressources, la collecte et, éventuellement, le traitement et la restitution. Les étapes "traiter" et "analyser" (fig.1) sont consacrées à l'adaptation des documents ressources au problème posé, pour les simplifier si nécessaire et les rendre compréhensibles au non-spécialiste, éventuellement les compléter ou les combiner afin d'obtenir ce que nous avons appelé des informations secondaires ou déduites, indispensables, comme cela a été fait dans le S.I.G. Hautes Chaumes avec la production d'une carte des zones humides, à partir de critères hydrologiques, botaniques, et topographiques [ETL 93]. La restitution cartographique reste évidemment l'étape ultime.

Dans la deuxième phase, l'analyse de sensibilité ou de potentialité, l'étape de la collecte est largement simplifiée par le travail antérieur, puisqu'il s'agit de construire un modèle de sensibilité à partir des cartes produites dans la phase précédente. L'opération essentielle est ici le traitement, la combinaison et la construction des modèles permettant la restitution de documents qui vont alimenter le débat sur la prise de décision.

Enfin pour la dernière phase, celle de la gestion de scénarios et de la simulation pour l'aide à la décision, l'étape essentielle est la sélection des données dont on cherche à tester les conséquences ou les effets, constituant les hypothèses ou les projets traduisant une volonté politique et dont l'objet est de susciter les débats et discussions.

Le déroulement de projet que propose Steinitz [STE 93] pour la gestion du paysage, mais que l'on pourrait étendre à la gestion environnementale des territoires [JOL 96], se veut encore plus précis. Entre la collecte des données et la décision six étapes (ou modèles) sont distinguées : 1) le modèle de représentation (décrire les objets) ; 2. le modèle de fonctionnement (décrire le fonctionnement du système et les relations entre les éléments) ; 3. le modèle d'évaluation (évaluer la situation actuelle), 4. le modèle de changement (estimer comment, où et par quelles actions le réel peut changer, 5. le modèle d'impact (simuler l'action des changements) ; 6. le modèle de décision (évaluer le résultat des évolutions possibles). Cette approche systémique est ambitieuse. Elle nécessite de disposer de nombreux modèles décrivant les processus, ce qui est rarement le cas. Elle est plus difficilement adaptable dans les cas nombreux, où il est nécessaire de travailler de manière plus agrégée, selon une approche potentialité/sensibilité. Une des originalités de l'approche de Steinitz est qu'elle intègre explicitement le caractère récursif d'une telle démarche en la formalisant. Pour lui, il faut parcourir trois fois les séquences présentées ci-dessus dans la vie du projet, de manière à déterminer en commun avec les partenaires les questions à traiter, avant de rassembler l'information et les modèles pour y répondre.

### La participation des acteurs

Le déroulement des séquences qui vient d'être exposé renvoie à la même question centrale: il faut que les acteurs ou les partenaires de l'opération de gestion environnementale trouvent place dans celle-ci. Outre les acteurs "politiques" représentant la société - y compris la sphère associative, les "techniciens" doivent participer à la totalité de la démarche, qu'ils soient "scientifiques" ou "experts", encore que ce dernier vocable puisse recouvrir à la fois des scientifiques requis pour travailler ponctuellement sur le dossier et des administratifs représentant les organismes, agences ou administrations, partenaires du projet et dont on ne sait pas toujours très bien si le point de vue qu'ils défendent est un point de vue d'expert indépendant de celui de la structure dont ils font partie. Dans ce dernier cas, leur rôle est alors difficile à distinguer de celui des "politiques" représentant tel ou tel groupe de pression (association ou syndicat).



## La nécessité d'une démarche partagée.

Dans une démarche concertée, il est important de ne pas démarrer *a priori* sur un problème identifié par un seul des partenaires, que ce soit le gestionnaire principal ou l'équipe des scientifiques. Les deux expériences présentées ici ne se sont pas placées dans les conditions idéales de ce point de vue pour des raisons différentes. Dans les Hautes Chaumes, le système d'information a été construit autour d'un questionnaire limité d'origine scientifique. A la date de mise en route du projet (1989), ces méthodes de gestion partagée étaient encore assez peu pratiquées, au moins au sein des Parcs, et l'un des buts de l'équipe scientifique était de sensibiliser les gestionnaires des Parcs à l'intérêt d'utiliser les SIG. Il est clair qu'aujourd'hui une démarche concertée s'imposerait dès le début. A Viscomtat, la question de l'enrésinement était déjà portée par le P.N.R. du Livradois-Forez, même si elle était relayée par des acteurs plus locaux. Or il est fondamental dans une démarche de gestion territoriale de l'environnement de construire le problème avec les partenaires eux-mêmes, car la question qui apparaît initialement au gestionnaire de l'espace, peut cacher un problème plus complexe ou plus conflictuel. Dans le cas de Viscomtat, la question initiale du boisement a conduit à poser le problème du devenir de l'agriculture et des stratégies spatiales des exploitations modernes, questions impossibles à traiter sans procéder à une nouvelle collecte d'information. Dans une démarche concertée, le système d'information doit être constitué spécifiquement, afin d'explicitier pour tous les partenaires le système d'interprétation qui fondera les décisions.

## Faire évoluer les procédures

Dans tous les cas, il faut intégrer l'ensemble des acteurs le plus en amont possible dans la concertation [ETL 96]. La pratique française actuelle, semble-t-il largement inspirée des procédures réglementaires, traduit le poids des administrations et des pratiques centralisatrices. Elle consiste, le plus souvent, à confier aux "experts", en d'autres termes à l'administration ou aux bureaux d'études, le soin de préparer la collecte des données et le diagnostic pour livrer au débat public des scénarios ou des propositions alternatives en fin d'étude et limiter à cette phase l'intervention des acteurs "politiques" au sens large, c'est-à-dire exprimant le ou les projets de la société, qu'ils soient élus ou qu'ils représentent des groupes de pression reconnus. En cela, la pratique reconduit de manière caricaturale les procédures réglementairement fixées lors des études d'impact ou des grands projets d'infrastructure, alors qu'au contraire il conviendrait de suggérer une démarche plus conforme aux pratiques américaines. On peut considérer que la phase de la constitution de la base d'information (cf. fig. 2) reste, pour l'essentiel, du ressort du "technicien" expert et scientifique. Encore est-il nécessaire de disposer dans le système d'une description des usages de la ressource et de l'espace par les différents acteurs, qui ne peut s'obtenir que par enquête et concertation [BAR 96]. Mais la **responsabilité de l'analyse nous semble impérativement devoir être partagée** entre le "technicien" et le "politique": dès cette étape, le choix des indicateurs de sensibilité, les modalités de croisement des

données doivent être explicités et faire l'objet d'un assentiment qui ne peut pas seulement être celui des "experts" mais qui doit engager l'ensemble des acteurs. La sérénité du débat a tout à y gagner, d'autant qu'à ce stade du projet, les conclusions ne sont pas encore connues et que les prises de position ont moins de chances d'être influencées par les intérêts particuliers. Il est d'autre part plus commode de mettre ensuite en lumière d'éventuelles contradictions dans les discours au cours des différentes phases du projet... Quant à la phase de l'aide à la décision, elle mobilise le "technicien" sous l'égide du "politique" à qui il revient de fixer les hypothèses à retenir et leurs conditions de mise en oeuvre. La complexité et le caractère très technique des manipulations de données sont certes un obstacle réel à la mise en place de ces procédures, mais ils doivent être surmontés impérativement pour réussir à faire partager la démarche.

## Adapter les outils de représentation

Dans les projets classiques les documents cartographiques sont de deux types : les documents à destination interne d'une part, utilisés pour contrôler les erreurs, pour se repérer lors de la collecte de données, et pour tester de manière exploratoire des analyses, des combinaisons ou des simulations ; les documents destinés à l'extérieur, qui prennent la forme de cartes thématiques papier plus ou moins complexes et synthétiques et auxquels sont souvent réservés des traitements spécifiques, dits de communication, repoussés à la fin du projet.

Or la dimension concertée de la gestion environnementale conduit à entrelacer de manière continue documents internes et externes. La participation de partenaires plus tôt dans le projet, dès la mise au point du système d'interprétation, oblige à privilégier une stratégie plus souple et plus diversifiée de production cartographique.

Comme on l'a vu dans le cas de Viscomtat, c'est souvent aux acteurs eux-mêmes de localiser des phénomènes ou des problèmes spécifiques. Il peut être plus intéressant de travailler avec des orthophotoplans numériques qu'avec des plans cadastraux ou des cartes topographiques. Les plans cadastraux biaisent souvent la perception en plaçant les acteurs d'emblée dans une problématique foncière, et la carte topographique apparaît trop abstraite et trop imprécise. La photographie aérienne présente une vue analogique du terrain et des milieux beaucoup plus riche et beaucoup plus parlante pour les interlocuteurs. Drapée sur le M.N.T., elle peut aider certaines personnes à mieux se localiser ou à mieux percevoir certaines situations topographiques.

La nécessité d'une communication continue impose de disposer dans le S.I.G. d'outils de cartographie corrects du point de vue sémiologique, simples et rapides à utiliser car il n'est plus possible de confier à un infographiste ou à un bureau de dessin l'ensemble des documents qui circulent entre les acteurs, et qui font l'objet, durant la négociation, de multiples versions. Par ailleurs, la carte n'est pas toujours

le média adéquat pour communiquer l'information. Dans les approches paysagères, les vues reconstituées, les photographies aériennes en perspective peuvent être plus facilement lisibles et présentent le territoire de manière moins abstraite. Il faudra disposer de plus en plus de modes variés de communication. Les limites des outils graphiques proposés dans la plupart des logiciels de S.I.G. sont préjudiciables au bon déroulement des projets de gestion concertée.

On peut s'attendre par ailleurs dans les années qui viennent à des bouleversements dans les modes de gestion de l'information. Avec la baisse du coût des matériels, la diffusion des logiciels et le développement de l'Internet, on peut maintenant envisager que les acteurs consultent à distance l'information contenue dans le système. Cela peut se faire sous forme de requêtes, de combinaisons, voire de simulations effectuées soit avant, soit pendant les réunions de négociation. Les modes de navigation dans les bases de données à référence spatiales adaptés à des utilisateurs non spécialistes sont encore à inventer. Ils pourraient permettre à terme aux différents partenaires de produire de manière autonome leur propre « itinéraire cartographique », avant de le confronter à celui des autres. La gestion du temps du projet et les procédures de représentation pourraient alors se trouver bouleversées.

## Conclusion

L'enseignement des deux expériences met en lumière les contraintes apparues au cours du déroulement d'un projet de gestion environnementale d'un territoire. Celles-ci semblent inhérentes à tout projet de gestion concertée, quels que soient son objectif et son domaine d'application. On peut citer : l'exigence de faire partager le processus par l'ensemble des acteurs et de définir clairement les responsabilités et les fonctions du "technique" et du "politique" au cours du déroulement de la procédure ; la nécessité d'associer le plus loin en amont les "politiques" aux divers choix qui auront une grande influence sur le résultat des analyses. Plus spécifiquement liés à l'utilisation des S.I.G., nous avons retenu l'obstacle à la communication que constitue la dimension technologique des outils et le caractère abstrait des méthodes S.I.G. qui risquent de couper les experts des acteurs. On peut aussi remarquer que les validations terrain des analyses peuvent avoir tendance à être oubliées, vu la puissance de l'outil mais surtout le caractère coûteux en temps de ces validations. La capacité combinatoire des outils peut aussi amener à estimer des paramètres à partir de données insuffisantes ou peu adéquates, plutôt que de procéder à une collecte de nouvelles données, toujours plus longue et onéreuse. L'approche spatialisante peut enfin devenir hégémonique. On assiste parfois à une tendance à spatialiser à tout prix des phénomènes qui ne sont guère spatialisables, à oublier des distances sociales et culturelles et à tout rapporter à des distances physiques (euclidiennes ou non).

Tous ces risques ne sont pas spécifiquement liés aux outils S.I.G. On les retrouve à des degrés divers dans la gestion de tout projet environnemental. Ils renvoient

aux règles de base d'une démarche scientifique ou d'expertise normalement conduite. Ils sont toutefois rendus plus prégnants par leur convergence dans un outil généraliste et unique qui fait, selon la phrase devenue célèbre, que « quand on dispose d'un marteau, tous les problèmes deviennent des clous » et par le fait que le caractère concerté de la gestion, soumet les concepteurs du S.I.G. à une pression continue, plus ou moins accentuée, de la part des acteurs.

## Bibliographie

- [BAR 96] BARGE O., JOLIVEAU T., 1996 - La gestion de l'eau, une approche territoriale, *Rev. Géogr. Lyon*, 71/4/96, p. 297-309
- [BES 93] BESSENAY C., ETLICHER B., 1993 - Erosion of a pastoral moor on the "Hautes Chaumes du Forez": definition and mapping of a fragile environment, *3rd EGIS conference*, Genoa, avril 93: 1535-1536 + poster
- [BES 93-2] BESSENAY C., ETLICHER B., 1993 - La répartition des congères en Haut Forez: l'outil SIG pour une modélisation, *Notes et C.R. groupe de travail - régionalisation du périglaciaire*, Rennes, 18: 43-50
- [BES 95] BESSENAY C., 1995 - La gestion des données environnementales dans un espace naturel sensible: le SIG des Hautes Chaumes foréziennes, Thèse, Univ. St Etienne, 306p
- [BRA 97] BRAUX C., 1997 - SynARC pour Arc View GIS : l'intégration des données « sciences de la terre » à votre décision, pp. 60-69 in DE BLOMAC F. - ESRI'97, environnement, outils, techniques SIG, applications, Actes de la première conférence française des utilisateurs ESRI, 17-18 sept. 97, Paris. HERMES, 218 p.
- [COU 88] COUHERT J.P., 1988 - Les Hautes Chaumes du Forez. Bilan de l'utilisation et perspectives d'aménagement d'un territoire. Thèse, Clermont-Ferrand, 346p.
- [DEF 94] DEFFONTAINES J.-P., LARDON S., éd., 1994- Itinéraires cartographiques et développement, INRA Editions, Paris, 136 p.
- [DEN 97] DENIS C., 1997- La dynamique de boisement, une approche par les S.I.G., Mémoire de Maîtrise de Géographie, Université Jean Monnet, Saint-Etienne, Dact., 115 p.
- [EAS 95] EASTMAN, J. R. (1995). IDRISI, un SIG en mode image, traduction des manuels d'IDRISI. LAUSANNE, Centre Régional IDRISI Francophone.
- [ETL 96] ETLICHER B., BESSENAY C., 1996- Intégration des choix techniques et décisions politiques dans un projet de SIG environnemental: le SIG des Hautes Chaumes du Forez, *Rev. Géogr. Lyon*, 71,2: 111-120
- [ETL 93] ETLICHER B., et al., 1993 - Les Hautes chaumes du Forez: diagnostic écologique pour la gestion d'un espace sensible, *Etudes foréziennes et Revue d'Auvergne*: 159p
- [JOL 94] JOLIVEAU T., 1994- La gestion paysagère de l'espace rural : questions, concepts, méthodes et outils, *Rev. Géogr. Lyon*, 69/4: 325-334
- [JOL 96] JOLIVEAU T., 1996 - Gérer l'environnement avec les S.I.G. Mais qu'est-ce qu'un S.I.G. ?, *Rev. Géogr. Lyon*, 71/2: 101-110.
- [JOL 98] JOLIVEAU T. et MICHELIN Y., 1998, Approche méthodologique de la gestion paysagère concertée d'un espace avec un système d'information géographique : l'exemple de la commune de Viscomtat (63), Actes du Colloque : Gestion des territoires ruraux : connaissances et méthodes pour la gestion publique, 27 & 28 avril 1998, Clermont-Ferrand, Cachan, Cemagref, vol. 1, 85-102
- [HAR 80] Mc HARG, I. (1980). "Composer avec la Nature." Numéro spécial des Cahiers de l'IAURIF, n° 58-59: 183 p.

- [SAA 77] SAATY T.L.,1977- A scaling method for priorities in hierarchical structures, *J. Math. Psychology*, 15: 234-281
- [STE 93] STEINITZ C., 1993- Un modèle de raisonnement pour la planification paysagère, *Cahiers de l'I.A.U.R.I.F.*, 106, décembre 1993.
- [TAR 85] TARLET, J. (1985). La planification écologique. Paris, Economica, 141 p.
- [THE 96] THERIAULT M., 1996 - L'intégration des études environnementales et des systèmes d'information géographique pour appuyer les décisions d'aménagement : un objet de recherche prometteur, *Rev. Géogr. Lyon*, 71/2: 155-156.