

ÉCOLOGIE ET SIG : UN OUTIL DE GESTION PATRIMONIALE APPLIQUÉ AUX ESPACES NATURELS TOURISTIQUES

Jean-Christophe LOUBIER (doctorant) : Labo SEIGAD, Université Joseph FOURIER-GRENOBLE

Email : jc.loubier@ujf-grenoble.fr

Résumé : Dans une démarche de développement durable, nous avons tenté de concevoir un outil informatique de gestion destiné aux collectivités locales. Cet ensemble de logiciels reliés entre eux forment un méta-système, qui spatialise la dynamique du milieu naturel en utilisant l'équation de l'entropie de SHANNON. On peut de la sorte, visualiser les espaces fragiles sous forme cartographique. L'aménageur identifie donc rapidement les zones où l'exploitation du milieu naturel risque d'enclencher des dégradations graves, voire irréversibles. Il peut alors prévenir les problèmes d'aménagement futurs plutôt que d'en traiter les conséquences.

Abstract : This GIS software has been weated to help the local authorities manage and protect their environment. This map-creating device will enable the officials of the environment to know exactly where the real danger could come from.

Being aware of the problems for better than dealing with their disastrous consequences.

Mots clés : Informatique ; gestion ; milieu naturel ; SIG. écologie

Key word : data processing ;management ;wilderness ;GIS; ecology

1 Introduction

Le regard porté aujourd'hui sur les zones « naturelles » des espaces faiblement peuplés comme l'arrière pays niçois, la vallée de la Drôme où les plateaux ardéchois a évolué en même temps que la place qu'elles occupaient au sein de la société. Longtemps délaissées, elles prennent maintenant une dimension nouvelle, plus en phase avec le désir d'un monde plus « humain » d'où la compétition et la performance seraient absentes. Des espaces entiers se trouvent affectés de valeurs liées à une qualité de vie perdue par les urbains qui permettent d'envisager un développement là où on pensait qu'il n'y aurait plus jamais rien. Ces espaces « naturels » et leurs paysages deviennent alors des vecteurs d'attraction forts. C'est sur ces idées qu'est apparu le concept de tourisme doux, car il se fondait sur l'absence de création d'aménagements lourds.

Pourtant, de nouveaux problèmes surgissent de cet investissement de la nature « sauvage ». Ceux là même qui recherchent son contact sont à l'origine de multiples facteurs d'agression, liés pour la plupart, à une sur-fréquentation de ces espaces attractifs.

Cette contradiction spatiale peut engendrer une boucle de rétroaction positive. Plus les espaces « naturels » sont attractifs et attirent, plus ils risquent d'être dégradés. Tout cela réclame une réflexion de fond sur les moyens à mettre en œuvre pour gérer ces espaces naturels attractifs afin d'aborder au mieux cette chance inespérée de développement économique pour les zones rurales concernées. Nous avons cherché, sur cette base à développer un outil SIG permettant d'aborder la gestion des espaces naturels d'un point de vue patrimonial. Afin d'atteindre cet objectif, il convient d'identifier clairement les enjeux et les éléments de cette gestion. Ce sera l'objet de la première partie de cet article. La seconde partie décrit la démarche, la technique de création de l'outil et les résultats que nous avons obtenus.

2 Les enjeux de la gestion

Il ne s'agit pas là de gérer le milieu naturel avec une finalité unique de préservation comme dans une démarche habituelle en écologie mais bien parce qu'il est un vecteur économique. Dans cette perspective, le changement de milieu, une forêt qui se dégrade irrémédiablement par exemple, ne peut qu'être préjudiciable dans une zone où le tourisme de nature tient une place prépondérante dans l'économie locale. Ces espaces naturels prennent donc une dimension patrimoniale très importante. Cette approche implique le principe d'une gestion à long terme. L'organisation même de la gestion change aussi. Le territoire passe du statut de sujet de développement à celui d'objet de développement. C'est à dire que « la préservation et la mise en valeur du territoire résulte d'une démarche de fond dans laquelle habitants et élus sont les acteurs de leur propre devenir. »¹

2.1 Les éléments de la gestion

Pour que cette gestion soit efficace, il convient de bien connaître le milieu naturel sur lequel se déploie l'activité mais aussi comment cette dernière s'approprie et utilise l'espace. S'agit-il de gérer ces espaces naturels uniquement parce qu'ils représentent un support de pratiques sportives de loisirs ? Les cortèges de kayakistes que l'on rencontre dans les gorges de l'Ardèche sont venus rappeler qu'il n'y a rien de « doux » en matière de tourisme. Dans un autre registre, les touristes viennent souvent aussi dans ces lieux pour des considérations esthétiques. Le paysage est donc aussi porteur de sens que le milieu est un support de pratiques. C'est même le rapport entre ces deux caractéristiques qui forme un espace naturel attractif ou pas. Une bonne démarche de gestion se doit de considérer ces deux dimensions.

A l'échelle du milieu naturel, les problèmes de gestion sont souvent fondés sur des facteurs d'ordre physique. On cherchera à éviter une érosion trop forte des sentiers dus au surcreusement, éventuellement une dégradation importante autour des points de fixation comme un parking ou un point de vue... Il existe de nombreux travaux sur ces sujets.

¹ Le projet de territoire du Diois. Des ruraux acteurs de leur développement./MONTAGNE MEDITERRANEENES N°6/1997 P127à132/P.MEJEAN ; T.GEFFRAY ; P.A.LANDEL

En revanche, l'échelon paysager s'avère beaucoup plus complexe à aborder. Le paysage est par essence un objet complexe. Il n'existe que par l'ordonnement des choses qui le compose entre elles [WAGENSBERG : 1997]. Si un paysage est porteur en terme d'activités de plein air, il faut alors qu'il reste en l'état pour conserver sa valeur attractive.

Comme les dégradations physiques du milieu naturel sont l'expression visible du début du changement de l'ordonnement des choses entre elles, nous mesurons tout l'intérêt que l'on aurait, à aborder la gestion des espaces naturels par le biais de l'analyse des composantes du paysage. Si nous parvenons à visualiser les espaces sujets au changement, nous serons en mesure de réduire les facteurs de dégradation physique du milieu naturel. Comment pouvons nous parvenir à visualiser ce changement ?

2.2 Des moyens de gestion du milieu naturel par la mesure du changement

Au niveau spatial, un écosystème est une entité du réel. Bien qu'il n'ait pas de limites formelles et d'existence sur un plan purement physique, peu d'écologue ou de géographe serait choqué de voir une carte composée de polygones représentant des écosystèmes. Ce sera le fond cartographique de base intégré dans notre SIG. Nous pourrons grâce à cette carte spatialiser les mesures du changement qui sont évaluées via l'équation d'entropie de SHANNON .

Il existe en écologie, un indice qui permet de mesurer la capacité d'un écosystème à résister au changement à partir de son architecture. C'est l'entropie de SHANNON. Le principe repose sur une mesure de la complexité des écosystèmes. Cette complexité a une relation directe avec la capacité du système à supporter une perturbation ou non. L'observation a démontré que la stabilité des systèmes se situe toujours dans un intervalle bien défini. Il ne doit être, ni trop simple, un système uniquement composé d'une seule espèce ne pourrait pas se perpétuer à cause de la faiblesse de ses solutions d'adaptations, ni trop complexe car il s'effondrerait de lui-même par dilutions des entrées d'énergies.

2.2.1 Définition de l'indice de SHANNON

La démonstration des fondements mathématiques de l'indice de SHANNON qui suit est reprise de l'ouvrage : Systèmes dynamiques et fractales : expérimentations graphiques sur ordinateurs en Pascal [BECKER K-H et DORFLER M].

La quantité d'information transportée par un signal a une valeur d'autant plus grande que sa probabilité d'occurrence est plus faible. Par exemple, un feu routier n'apporte qu'un minimum d'information (marche/arrêt). Si l'on accepte une symbolisation plus importante, on pourra recevoir une quantité d'information bien plus importante (état de la route, du trafic...). Nous pouvons donc déduire de ces considérations que la quantité d'informations I variera en proportion inverse de sa probabilité d'occurrence P.

$$I=f(1/P)$$

Si deux événements indépendants (E1 et E2) se réalisent, la quantité totale d'information fournie doit être la somme des quantités apportées par chacun des événements. La théorie des probabilités démontre que, pour deux événements indépendants, la probabilité pour qu'ils se produisent simultanément est égale au produit des probabilités d'occurrence individuelles. On en déduit donc :

$$F(1/P1.P2)=f(1/P1)+f(1/P2)$$

Il se trouve que seule la fonction log réalise cette équation. Donc la quantité d'information aura pour expression :

$$I=\log 1/P = -\log P \text{ où } I > 0 \text{ car } P < 1$$

Le choix du log en base 2 se justifie par le fait que l'on se réfère à l'un des deux événements ayant une chance sur deux de se produire.

Soit $P=1/2$ $-P=1/2$ c'est à dire $-\log(1/2) = \log 2 = 1$ ce qui a pour corollaire que l'on ait un log en base 2.

Donc $I = \log_2 1/P = \log_2 P$

L'entropie (H) se définit à partir de la quantité moyenne d'information par événement ($\sum P_i \cdot I_i$) apportée dans un phénomène dans lequel se produit une séquence de S catégories d'événements de probabilité individuelle d'occurrence P_i ($i=1$ à S).

Ce qui nous donne :

$$H = -\sum_{i=1}^S (P_i) \log_2 (P_i)$$

Cette formule représente l'indice de diversité de SHANNON.

Dans la pratique, on ne peut pas dénombrer la totalité des individus qui constituent une communauté. On préférera remplacer les probabilités d'occurrence P_i par la fréquence f_i .

$P_i \# f_i = n_i/N$

L'équation de SHANNON prend donc la forme :

$$H' = -\sum_{i=1}^S (n_i/N) \log_2 (n_i/N)$$

C'est cette forme que nous avons utilisé pour construire notre carte.

De nombreux principes écologiques importants découlent du concept de diversité spécifique. D'une façon générale, plus la diversité est grande, plus les liens entre les différents constituants d'une biocénose sont complexes, car, avec cette complexification des chaînes alimentaires, on observe un accroissement du nombre de cas de parasitisme, mutualisme, symbiose... En définitive, plus grande sera la diversité spécifique, plus nombreuses seront les possibilités de contre réaction entre les populations constituant les peuplements, ce qui accroît la stabilité du système. C'est sur cette idée que nous avons établi notre stratégie de gestion et c'est tout l'intérêt de visualiser cela sous une forme cartographique.

Comme la mesure de cette entropie se fait sur les espèces qui composent un écosystème, l'usage d'un SIG se révèle particulièrement intéressant car il devient facile de relier les espèces à la carte des écosystèmes en en faisant des attributs.

La mise en relation de la cartographie des écosystèmes et de la mesure de leur entropie de façon dynamique au sein d'un SIG nous a permis d'aborder le changement des composantes d'un espace naturel sur un plan cartographique.

2.2.2 *le système d'aide à la gestion du milieu naturel*

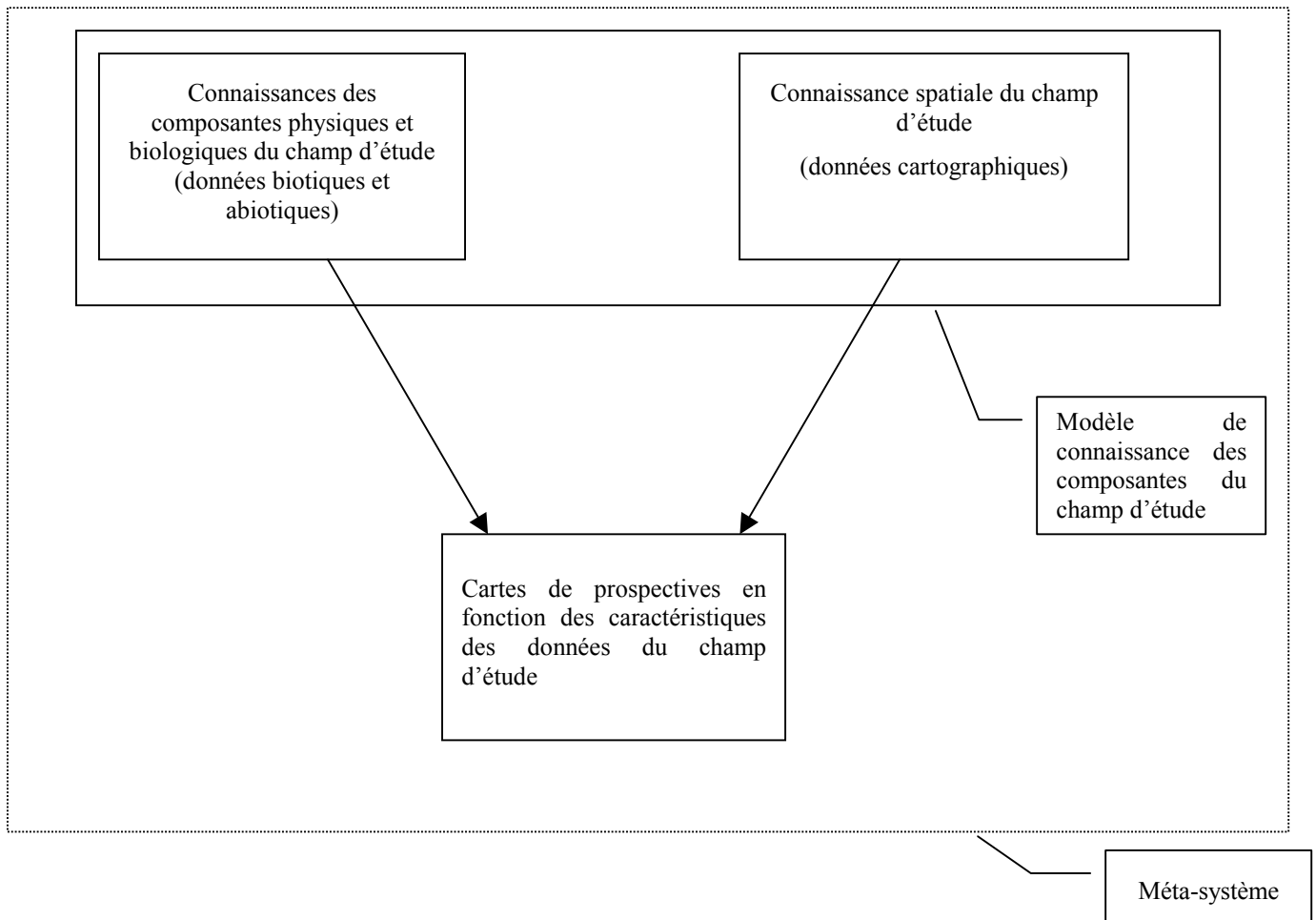
A partir de toutes ces considérations, nous avons cherché à construire un système d'aide à la gestion du milieu naturel. L'outil généré par ce modèle produira un ensemble de cartes destinées à visualiser les zones où les écosystèmes n'ont pas une stabilité suffisante pour permettre une exploitation touristique. Le gestionnaire pourra donc adapter les aménagements locaux, comme le tracé d'un sentier de randonnée, en fonction des perspectives d'évolution du milieu concerné. Dans la mesure où cet outil n'a d'existence que par une interrelation étroite de plusieurs logiciels, nous avons décidé de l'appeler un méta-système. Il s'agit de mettre en relation dans ce méta-système, deux bases de connaissances du champ d'étude. L'une concerne les composantes spécifiques du champ d'étude : une espèce ; un écosystème ; une caractéristique physique. L'autre concerne la structure spatiale du champ d'étude. C'est la base de données cartographique

L'ensemble forme un système qui permet d'aboutir à la réalisation de cartes prospectives pour l'aide à la décision. Ce modèle est implémenté dans un environnement de résolution de problèmes où :

- La dimension spatiale est traitée dans un Système d'Information Géographique
- La dimension des composantes spécifiques du champ d'étude est traitée dans une base de données relationnelles.

L'objectif que nous nous proposons d'atteindre imposait une architecture particulière dans l'agencement des données. C'est cette organisation particulière qui a permis l'analyse des composantes du paysage entre elles d'un point de vue dynamique et leur mise en relation avec l'espace.

A ce titre, les choix que nous avons fait et que nous explicitons dans la suite de cet article sont une partie importante du projet de modèle d'aide à la gestion puisqu'ils conditionnent et autorisent les résultats cartographiques que nous avons obtenu et que nous montrons à la fin de cet article

Figure 1 : organisation de la connaissance au sein du méta-système

3 Présentation du site d'étude

La zone d'étude est une vallée qui se situe en bordure méridionale du Diois : la vallée d'Archiane. Cette dernière présente un double intérêt pour notre travail. Elle concentre une très grande diversité floristique et faunistique tout en constituant un site majeur pour les activités de pleine nature. Cette caractéristique unique sert de catalyseur en terme d'enjeux pour la gestion du milieu naturel. La vallée se présente sous la forme d'un cirque ouvert à l'est. De hautes parois calcaires coiffent deux versants puissants. L'altitude varie de 650 à 1810 mètres avec des pentes généralement fortes (de 30° à 45° en moyenne). Un torrent, l'Archiane, formé par un ruisseau et des résurgences draine l'eau selon une direction sud/est.

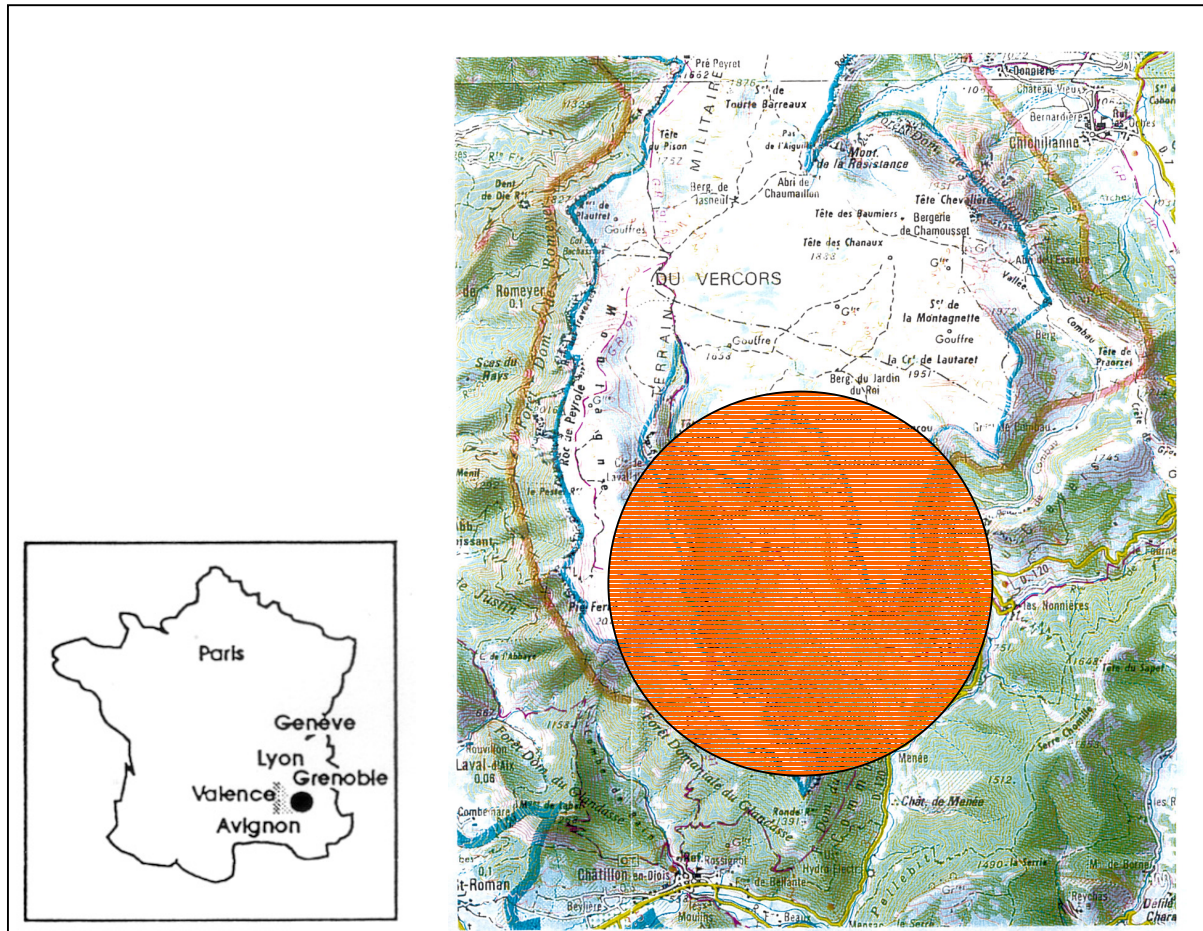
La filière bois et le tourisme de nature sont les ressources les plus importantes de la vallée. Le milieu naturel constitue donc le vecteur économique majeur de cet espace. La forêt est exploitée par l'Office National des Forêts pour le compte de la commune.

Sur le plan touristique, divers prestataires proposent des activités de pleine nature sur le site :

- Escalade
- Kayak
- Randonnée

- VTT
- Pêche
- Sorties environnement.

Carte de situation du site d'étude



4 Constitution des bases de données

Pour les connaissances physiques et biologiques de la zone, nous avons utilisé le document d'aménagement forestier pour le domaine de Treschenu-Crayer de l'ONF et un inventaire faunistique du Centre Ornithologique Rhône Alpes (CORA) Drôme. Ces informations ont été complétées par un travail de recueil systématique par placettes sur des zones témoin et dans des espaces non caractérisés par les documents cités ci-dessus.

Pour la base de données spatiale, les 166 écosystèmes qui découpent notre terrain d'étude ont été établis sur la base des cartes contenues dans le document d'aménagement forestier de l'ONF. Nous avons enrichi cette base par un travail de terrain.

5 Formalisation de la connaissance et implémentation d'un système d'aide à la décision

Le système se compose de logiciels reliés entre eux. Ils possèdent une architecture interne particulière fondé sur l'interdépendance destinée à rendre tangible l'existence du Méta-système. Chacun joue un rôle important dans l'établissement du résultat final. Ce dernier est la représentation ultime du passage successif des données dans chacun des logiciels qui composent le Méta-système.

Les données concernant les composantes du champ d'étude jouent un rôle central dans le Méta-système. Les espèces contenues dans chaque polygone « écosystèmes » constituent la pierre angulaire de toute notre approche puisque c'est leur interrelations qui produit l'information (l'entropie) que nous voulons traiter et représenter cartographiquement. Il convient donc de bien poser la structure interne des bases de données afin d'éviter des conflits liés au traitement. Leur architecture ne doit pas se concevoir simplement dans le cadre d'un SGBDR et d'un SIG, tout deux entrepôts de données qui seraient reliés entre eux. La manière dont sont agencées les données doit s'intégrer dans une démarche globale rendue nécessaire par la façon dont nous faisons émerger la connaissance. Pour que cet outil soit pertinent, les données ne doivent pas être figées une fois pour toute dans un écosystème puisque nous nous intéressons justement au caractère transitoire de l'ordonnement des espèces entre elles. Ces réflexions ont conduit à définir quelques règles importantes pour la construction des deux bases de données.

5.1 Les données biotiques et abiotiques au sein du SGBDR

Les identifiants de chaque enregistrement « espèce » doivent être unique afin que l'ordinateur puisse les reconnaître à chaque fois. Pour cela, il convient de préciser les types d'objets qui transiteront à travers le lien. Ces enregistrements importés dans la base de données cartographique ne sont pas des espèces ou des milieux mais un regroupement de ces deux caractéristiques. En effet, la même espèce peut se trouver en quantité variable dans plusieurs milieux différents. Dans notre cas, la création de cet identifiant repose sur une concaténation reprenant l'identifiant donné par la table « espèce/milieu » et le nom de l'écosystème. (fig 2 : Architecture du SGBDR)

Cette architecture permet de conserver l'information concernant le niveau de rareté d'une espèce dans un milieu : par exemple, le Sorbier des Oiseleurs (id1) se trouve fréquemment dans un milieu forestier semi-ouvert (idX) mais aussi parfois dans un milieu forestier fermé (idY). On importera donc deux objets (idX1) et (idY1) vers les polygones X et Y de la base de données cartographique. C'est cette caractéristique qui va nous permettre de traiter mathématiquement le niveau de stabilité des différents écosystèmes à travers l'équation de l'entropie de SHANNON.

5.1.1 Structure du SGBDR

La structure de la base de données se compose de deux grands niveaux d'organisation reliés entre eux : les tables de données brutes et les tables de données reclassées par des requêtes.

5.1.2 Les tables de données brutes

Ces tables renferment l'ensemble des données brut du champ d'étude.

- La table « milieux » contient tous les types de milieux que l'on peut rencontrer dans notre zone d'étude. Ces milieux caractérisent les polygones de la base de données cartographique.
- La table « espèce » contient toutes les espèces qui se trouvent présentes sur la zone
- La table « type d'espèce » indique s'il s'agit de faune ou de flore

- La table « degré d'ouverture » propose trois types d'ouverture du milieu (ouvert ; semi-ouvert et fermé). Cette information est importante car il existe une relation forte de la diversité des espèces en fonction de l'ouverture des milieux.
- La table « étages » donne la liste des étages de végétation que l'on rencontre sur le champ d'étude.
- La table « exposition » reprend les quatre grands types d'exposition présents sur la zone étudiée.

Dans un premier temps, l'utilisateur va d'abord reclasser manuellement les informations contenues dans les tables de données brutes. Il va spécifier dans une table « écosystèmes » toutes les caractéristiques de l'écosystème concerné. Par exemple, l'écosystème codé AAA est caractérisé par :

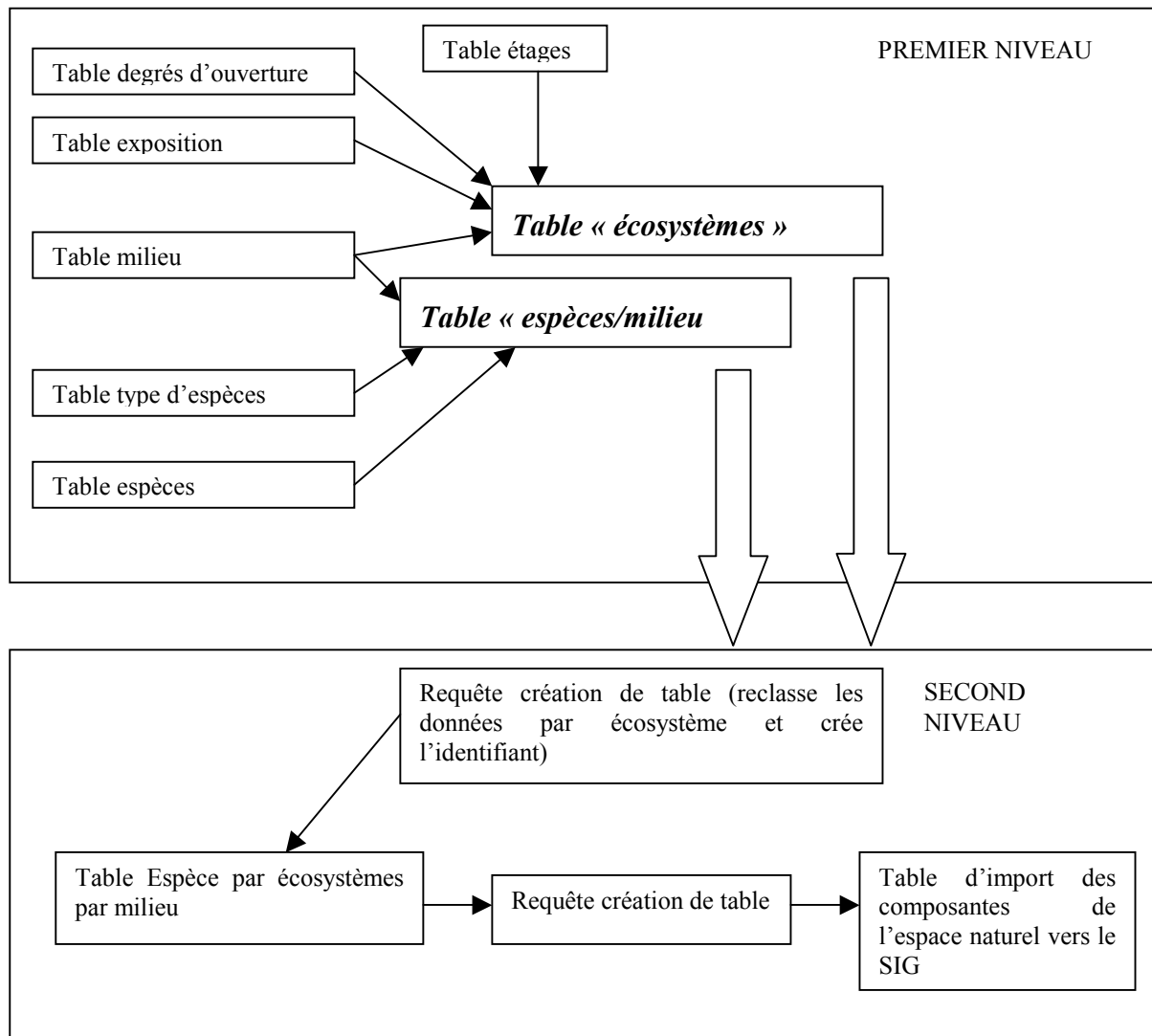
- Une exposition Nord/ouest (table exposition)
- Une forêt de chênes pubescents (table milieux)
- Un degré d'ouverture fermé (table degré d'ouverture)
- Dans l'étage collinéen (table étages)

Une seconde table (espèce/milieu) concerne les espèces que l'on trouve par milieu. On trouve le Sorbier des Oiseleurs (table espèce) dans les milieux :

- Forêt de Hêtres
- Forêt de hêtraie sapinière
- Forêt de Sapinière hêtraie.

Cette table reprend donc toutes les possibilités pour chaque espèce d'être présente dans un milieu. Ici encore, c'est l'opérateur qui reclasser ces données manuellement. Ces deux tables « écosystèmes » et « espèces/milieu » sont la bibliothèque de toutes les possibilités des composantes de l'espace naturel de la zone traitée, de s'agrèger entre elles.

Un second niveau de création d'information est mis en place de façon automatique. Ce niveau reclasser l'information fournie par l'opérateur au niveau des écosystèmes présents sur notre zone d'étude. C'est à dire que chaque écosystème se retrouve enrichi des espèces qui lui correspondent. L'écosystème codé AAA contient les espèces : Renard ; Sorbier des Oiseleurs ; Chêne Pubescent... Ce reclassement s'effectue automatiquement dans une table « espèces par écosystèmes par milieu ».

Figure2 : Architecture de la SGBDR

5.2 Le lien : un rouage indispensable au Méta-système

Au-delà de difficultés techniques, l'établissement du lien entre les informations créées par classement à partir de la base de données et leur géocodage à l'intérieur du SIG est une opération délicate. Il s'agit de transformer les enregistrements du SGBDR en objets ponctuels qui vont être adressés automatiquement dans les polygones écosystèmes de la base cartographique. Chaque objet ponctuel « espèce » pourra influencer le polygone « écosystème » dans lequel il est affecté en fonction de son niveau de rareté par milieu. Le paramétrage de ce lien implique donc une bonne vision globale de ce que l'on veut utiliser et faire.

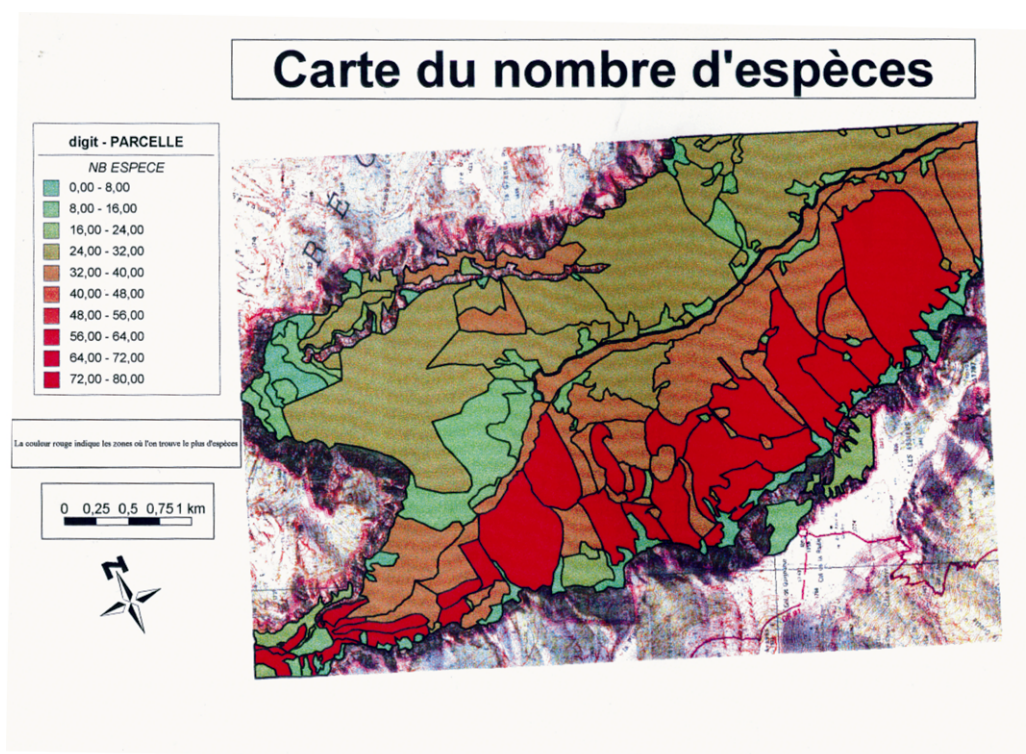
Ce paramétrage répond à une double logique. Il s'agit d'abord de maîtriser les caractéristiques intrinsèques des logiciels liés. Ce lien est le rouage qui permet aux informations de circuler. Il doit donc s'intégrer parfaitement dans l'architecture interne du Méta-système. En même temps, il convient d'établir correctement sa nature afin d'optimiser le rendement de l'outil. En effet, le transfert d'informations mobilise massivement l'ordinateur. Le temps de réponse peut s'en trouver affecté et faire disparaître l'aspect interactif de notre outil sous la masse de calculs.

Dans notre cas, la nature du lien qui nous convient est celle de l'importation/réplication. Ce type de lien autorise le traitement rapide de l'information au niveau du SIG. Cette approche permet la visualisation rapide de cartes représentant la dynamique de l'espace. Les cartes de diversités à partir de l'indice d'entropie de SHANNON sont un exemple de ce type de cartes. Mais la simulation n'est pas totalement interactive. L'opérateur ne peut pas modifier les composantes des écosystèmes directement dans le SIG. Ce changement doit s'effectuer obligatoirement dans la base de données externe. L'ensemble du traitement est donc relancé après toute modification sur la nature des écosystèmes. C'est la concession que nous avons dû faire pour garder une vitesse de traitement acceptable. La même approche en lien dynamique, c'est à dire en interactivité totale, nécessitait deux jours de calculs avant la visualisation de la moindre carte de diversité.

6 Spatialisation, traitement et cartographie des données au sein du SIG

Il s'agit maintenant de spatialiser les données du SGBDR sur les objets de la base de données cartographique. Cette opération est effectuée par le biais du géocodage. Le géocodage permet de placer en x et en y des données attributaires en les attachant à un objet de type ponctuel. Un fichier « d'adresse » crée spécialement pour le géocodage permet de replacer les enregistrements du SGBDR au bon endroit de la même façon qu'un facteur le ferait avec un courrier. Dans notre cas, ce fichier est généré à partir du champ -nom-, commun aux écosystèmes (table import) du SGBDR et aux écosystèmes de la base de donnée cartographique. De cette façon, l'écosystème AAA de la base de données cartographique recevra toutes les données la concernant qui sont contenue dans la SGBDR (type de milieu, exposition, degré d'ouverture, espèces...). Un rafraîchissement de ces informations est effectué régulièrement et automatiquement par le SIG qui vient interroger le SGBDR. Toute modification du contenu est répercutée dans le SIG. A partir de ce moment, on peut cartographier et traiter ces données. En appliquant une plage de couleur sur le champ « nombre d'espèces » des objets écosystèmes de la Base de données cartographique, nous pouvons visualiser une carte qui fait apparaître la variation des parcelles en fonction du nombre d'espèces que l'on rencontre dans ces parcelles. C'est la richesse spécifique.

Carte 1 : la richesse spécifique de la vallée d'Archiane



Nous remarquons une dissociation entre les versants et une répartition inégale des espèces. Le versant à l'ubac regroupe la totalité des écosystèmes ayant la plus grande richesse spécifique, tandis que le versant à l'adret ne propose que des parcelles à la richesse faible. Cette disposition curieuse peut s'expliquer par la différence d'usage des versants. L'ubac correspond à la zone exploitée par l'ONF tandis que l'adret a toujours été réservé à l'affouage. En favorisant des essences nobles comme le hêtre ou le sapin et en ouvrant des espaces par les coupes, l'ONF a favorisé la diversité. A l'inverse, le versant sud exploité pour le bois de chauffage ne permettait pas à un système complexe de s'installer à cause de la période de retour des coupes (entre 5 et 10 ans). Cette caractéristique a favorisé l'apparition de taillis de chênes pubescents, systèmes stables et peu diversifiés.

Dans un autre registre, on remarque que les vires n'ont pas toutes la même quantité d'espèces. La différence en terme de nombre d'espèces se situe dans une fourchette de 1 espèce au minimum à 40 au maximum et ceci dans des secteurs parfois contigus. Ce phénomène montre bien l'importance du critère « bois » sur notre terrain d'étude puisque les vires où l'on trouve le plus d'espèces sont celles qui sont boisées.

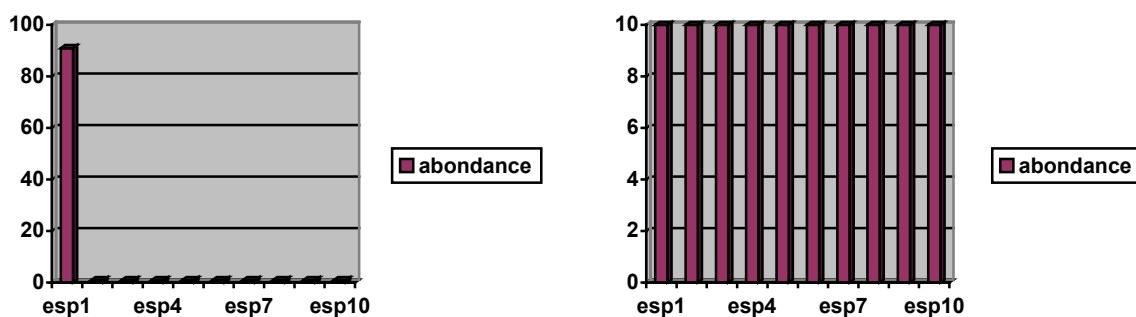
Le méta-système fournit déjà un certain nombre d'informations intéressantes. Nous pouvons connaître le type de milieu, les espèces et leurs niveaux de rareté pour chacun des écosystèmes qui compose notre espace. Nous pouvons mettre en évidence les zones où l'on trouve des espèces particulières. Dans ce cadre, le gestionnaire peut mettre en place des zones de protections spécifique à des habitats particuliers, voire une stratégie de développement d'un certain type d'écosystème sur la base de la contiguïté et de la ressemblance pour favoriser une espèce en particulier.

6.1 Création de la carte d'entropie de SHANNON

Nous avons souligné plus haut tout l'intérêt d'établir une carte de ce type. Elle représente en fait le document principal de gestion du milieu naturel en fonction des objectifs que nous nous étions fixé en première partie.

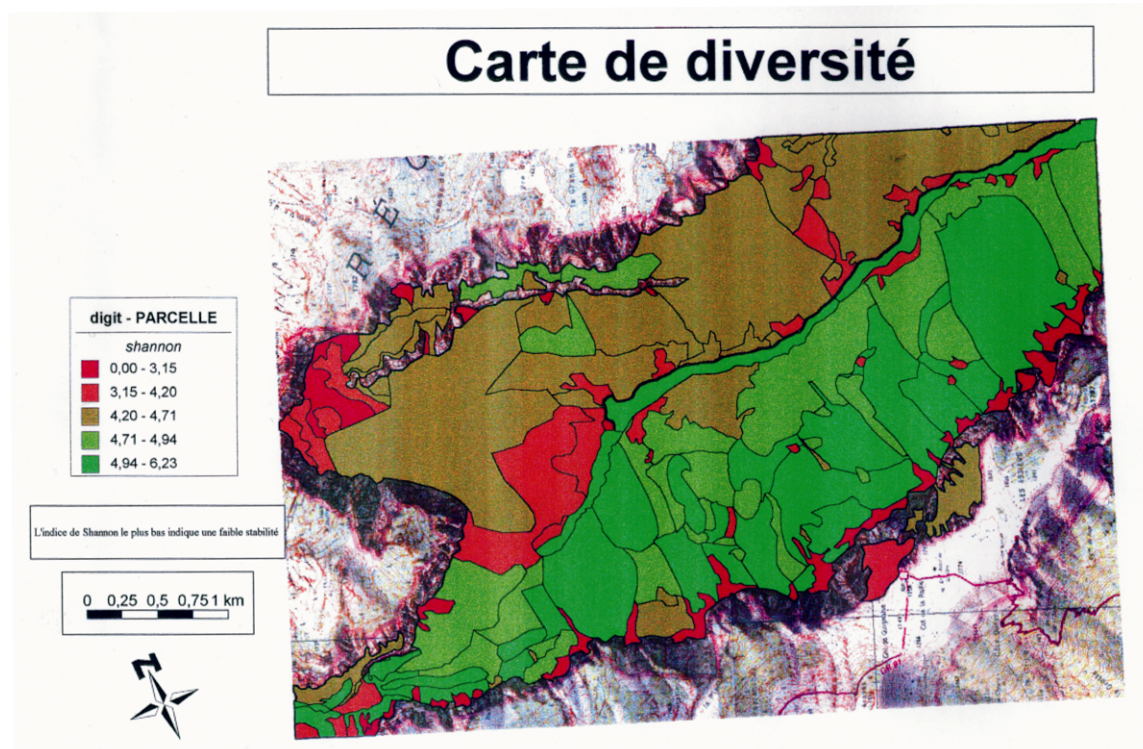
Nous avons montré plus haut la carte de richesse spécifique. Cette carte permet de visualiser les endroits où nous avons le plus d'espèces différentes. Mais cette information n'est pas suffisante pour permettre une bonne gestion. En effet, l'abondance relative intervient fortement dans la description de la structure d'un peuplement. Seules quelques espèces sont relativement abondantes, la fraction largement majoritaire est constituée par des espèces peu communes, rares ou très rares. Si l'on prend deux peuplements comportant chacun 10 espèces et 100 individus, leur richesse spécifique sera identique. Mais la structure de ces peuplements sera différente si dans le premier peuplement l'espèce A contient 91 individus et toutes les autres 1 individu, tandis que dans le second peuplement, chaque espèce compte 10 individus. Cette dimension relative à la structure du peuplement s'appelle l'équitabilité.

Figure3 : exemple d'équitabilité



Les espèces dominantes jouent un rôle majeur dans le fonctionnement de l'écosystème car elles contrôlent le flux d'énergie. Les espèces rares conditionnent la diversité du peuplement. C'est ce poids inégal entre les espèces que l'indice de SHANNON met en évidence. Il combine l'abondance relative des espèces et la richesse spécifique totale.

Carte2 : mesure de l'entropie des écosystèmes par l'équation de SHANNON



6.2 Commentaires

Cette carte représente visuellement le niveau de stabilité potentielle des écosystèmes. Ceux caractérisés par la couleur rouge sont fragiles et présentent un niveau de stabilité faible. En revanche, ceux caractérisés par une couleur verte présentent un degré de complexité suffisant pour supporter une perturbation sans que leur équilibre soit rompu.

Cette carte confirme l'opposition entre les versants, que nous avons relevé dans la carte de richesse spécifique mais d'une façon encore plus marquée. Elle confirme la stabilité du système chêne pubescent car son indice de SHANNON est assez bon malgré la faible quantité d'espèces présentes sur ces écosystèmes. Un troisième espace se dégage bien avec un groupe d'écosystèmes de couleur orange et un indice de SHANNON plutôt faible. Cet espace correspond aux pâturages situés aux alentours immédiats du village. Ils ne sont plus guère utilisés et sont en cours de mutation. Nous retrouvons l'opposition dans la structure des vires que nous avons relevé dans la carte de richesse spécifique. Enfin, les écosystèmes de couleur rouge contiguës aux escarpements montrent les zones d'éboulis non stabilisés et très fragiles. D'autres zones d'éboulis sont caractérisées par une couleur orange. Il s'agit là d'éboulis stabilisés et en cours de colonisation par des espèces végétales.

7 Conclusion

On le voit, cet outil permet de comparer les écosystèmes entre eux par la mesure et la cartographie de leur richesse spécifique ainsi que la mesure et la cartographie de leur capacité à résister à un facteur perturbateur. D'un point de vue environnemental, la carte de richesse spécifique permet de cibler les espaces intéressants en terme de faune et de flore. Sur le plan gestionnaire, la carte d'entropie permet la visualisation des espaces fragiles. L'opérateur peut donc agir sur ces écosystèmes en considérant à la fois ces deux dimensions, dynamique et attractivité floristique et faunistique.

Cet outil ouvre de nouvelles perspectives de gestion des espaces naturels sur un plan touristique. Le gestionnaire peut cibler ses actions sur un plan global. L'outil permet une démarche de gestion qui se situe en amont des problèmes inhérents à l'usage du milieu naturel. Il ne s'agit plus de traiter les conséquences des aménagements sur le milieu mais de prévenir celles-ci. Cette approche reprend les facteurs d'évolution du milieu pour les intégrer dans la stratégie de développement.

Toutefois, il convient de préciser un point au niveau des zones dites « stables » en vertu de l'entropie de SHANNON. Dans la mesure où un aménagement est envisagé, il ne s'agit pas d'affirmer que rien ne va changer au niveau des espèces contenues dans l'écosystème. Certaines peuvent être moins représentées car le milieu en incluant l'aménagement devient moins favorable. D'autres, au contraire peuvent se développer. Mais ce type d'approche permet de conserver l'ensemble de l'écosystème. C'est à dire que l'apparence globale du paysage ne changera pas ou faiblement pour peu que les facteurs de structurations du paysage habituels sont toujours en action sur le site (agriculture, foresterie...) . Nous conservons l'ordonnancement des choses entre elles. Nous pouvons visualiser le risque d'enclencher des évolutions irréversibles vers un autre type de milieu et mettre en place des actions spécifiques de préservation si nous ne le désirons pas.

En l'état, le modèle ne permet pas de préciser quelles espèces sont concernées plus particulièrement par un aménagement. L'entité « écosystème » reste donc le niveau minimal pour aborder la gestion d'un milieu naturel au sein de cet outil.

BIBLIOGRAPHIE

BECKER K-H et DORFLER M (1992), Systèmes dynamiques et fractales: expérimentation graphique sur ordinateur en pascal, Teknea

PORNON H (1992), les SIG: mise en oeuvre et application, Paris, Hermès

EKELAND I (1984), le calcul, l'imprévu, Paris, Seuil

WAGENSBERG J (1997), l'âme de la méduse: idées sur la complexité du monde, Paris, Seuil

COQUILLARD P et HILL D (1996), Modélisation et simulation d'écosystèmes: des modèles déterministes aux simulation à événements discrets, Paris, Masson

FRONTIER S et PICHOD VIALE D (1995), Ecosystèmes: structures fonctionnement évolution, 2ème édition, écologie, Paris, Masson

WBO J-L (1991) , Analyse basée sur des connaissances et suivi temps réel d'informations géographiques évolutives, thèse, Nice