

EGIS'93, Fourth European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems, Gênes, Italie, EGIS Foundation. 565-576.

INTERET D'UN SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE POUR LE DIAGNOSTIC DU BASSIN DE LA LOIRE,

Thierry Joliveau et Jean-Noël Degorce
Crenam/CNRS-URA 260

Les chercheurs du CRENAM et du CEMAGREF poursuivent actuellement une étude globale sur la compréhension d'un hydro-système, la Loire et son bassin versant, laquelle revient à soumettre au Ministère de l'Environnement un diagnostic accompagné d'un certain nombre de propositions de gestion. Cette problématique globale est à l'origine de la réflexion menée sur l'application des SIG dans la gestion d'un grand bassin fluvial. Nous proposons ici quelques éléments sur les outils utilisés.

Pourquoi un diagnostic dans le bassin de la Loire ?

Le contexte ligérien

Le régime du fleuve le plus important de France présente des contrastes saisonniers très amples dont les causes sont bien connues : les précipitations utiles se concentrent sur deux châteaux d'eau dont les maxima sont asynchrones (automne et printemps pour les hautes terres du Massif Central à l'amont du bassin, hiver pour le Limousin et les hautes terres mancelles à l'aval). Cette combinaison aboutit à un creusement des étiages estivaux, tandis que la combinaison de crues océaniques et méditerranéennes peut conduire à des épisodes catastrophiques au printemps et à l'automne sur le bassin supérieur. Cette situation est aggravée par l'absence de terres d'altitude susceptibles de stocker un capital nival et le manque de nappes profondes capables de régulariser les fortes précipitations d'amont.

Ce profil hydrologique contrasté explique les problèmes de gestion de la ressource en eau qui se posent à l'ensemble du bassin. Problème d'excès d'abord : les crues peuvent aussi bien affecter l'amont (celle de 1980 a fait plusieurs morts et causé des dégâts évalués à plusieurs milliard de dollars) que dévaster le couloir fluvial riche et densément peuplé à l'aval, malgré un système de levées édifié entre le XVème et le XIXème siècle. Problème de pénurie ensuite : en période de basses eaux et à l'état naturel, le fleuve serait bien incapable de suffire à la demande en eau. Cette situation a conduit à un projet de construction de barrages, auxquels des écologistes français et européens se sont opposés au nom de la préservation du caractère "sauvage" du fleuve. Bien que fortement et anciennement aménagée, la Loire reste en effet un hydrosystème dont on ne peut nier la richesse écologique : à l'amont des gorges abritant des espèces rares; à l'intérieur des levées, un vaste lit majeur parcouru par des faux bras, doté d'une ripisylve importante et abritant de multiples frayères; aux abords du fleuve, plusieurs régions d'étangs. A cette richesse biologique s'ajoute la richesse esthétique: cités historiques et châteaux du Val de Loire, par exemple.

La focalisation affective suscitée par les projets d'aménagement de la Loire a conduit à poser dans un large contexte englobant chercheurs, ingénieurs, gestionnaires, décideurs

EGIS'93, Fourth European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems, Gênes, Italie, EGIS Foundation. 565-576.

politiques et usagers de l'espace, le problème fondamental de la gestion globale du bassin fluvial.

Les objectifs du diagnostic

Dégager des objectifs et présenter des orientations de gestion n'est pas possible sans un état des lieux préalable. Le diagnostic doit rassembler des critères de gestion et permettre de spatialiser en particulier les notions de fragilité écologique et économique, de déséquilibre de la ressource en eau, afin de mieux cerner les conflits potentiels qui en découlent, en adoptant une perspective diachronique. Quels sont les indicateurs à prendre en compte dans une perspective de gestion globale, quels sont les paramètres qui influent sur ces indicateurs et comment peut-on les mesurer sur l'ensemble du bassin ? Telles étaient les questions qui se posaient à l'orée de l'étude.

Quelles données et quels outils pour ce diagnostic ?

Inventaire des données disponibles ou mobilisables.

Pour déterminer les paramètres de l'analyse, un schéma des interactions qui présente les principaux systèmes de composantes explicatives du fonctionnement du bassin a été élaboré et a guidé l'inventaire des données disponibles (Degorce J.N., Joliveau Th., 1992). Diagnostic et gestion étant liés, il nous a paru indispensable de procéder à un inventaire des données utiles à une gestion globale du bassin et de répertorier les lacunes en matière d'information disponible.

En France les données concernant le système socio-économique sont disponibles par commune dans les différents recensements : Recensement Général de l'Agriculture (RGA), Recensement Général de la Population (RGP), ou des enquêtes spécifiques : population totale et par âge, équipements (voies de communication, équipements médico-sanitaires, etc...), vocation touristique (résidences secondaires, capacités d'accueil), accessibilité, revenu des communes.

Les données sur l'occupation et l'utilisation du sol auraient pu être produites par télédétection, mais cela s'est avéré trop coûteux pour le budget de l'étude. Par ailleurs les données de Corine Land Cover n'étaient pas disponibles sur l'ensemble de la zone. On a donc choisi là encore les données disponibles au RGA par communes : labours (avec une décomposition pour certaines cultures comme le maïs), surfaces toujours en herbe et fourragères, cultures permanentes, forêts, surfaces drainées ou irriguées, plans d'eau, etc...

Des cartes thématiques à petite échelle ont servi d'évaluer les caractères du milieu naturel : géologie, sols, vulnérabilité des aquifères, températures et précipitations, déficit hydrique, enneigement, altitudes. Nous avons également besoin d'une description du réseau hydrographique, ainsi que les limites de bassins versants. Des données sur le rang des cours d'eau et les types morphologiques des vallées ont été ajoutées.

Les informations caractérisant la ressource et les différents systèmes d'utilisation étaient disponibles à l'Agence de l'eau : équipements des cours d'eau, ouvrages transversaux, prélèvements et rejets pour l'industrie et l'agriculture, assainissement des rejets domestiques, mesures de qualité aux stations points de rejet, qualité moyenne par sections de cours d'eau, pollution accidentelle. Les écoulements cumulés par bassins versants ont été calculés par G. STARON selon la méthodologie qu'il a mise au point.

EGIS'93, Fourth European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems, Gênes, Italie, EGIS Foundation. 565-576.

Le potentiel écologique est évalué par l'intermédiaire des Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF) et des autres espaces protégés (Arrêtés de Biotope, Réserves Naturelles).

Le choix des entités spatiales de référence des variables était lié à un ensemble de contraintes, savoir :

- l'homogénéité de l'information sur 117 000 Km² et 10 régions différentes;
- le coût;
- la mise à jour liée aux exigences de la gestion.

Ce sont les suivants : communes, bassins versants structurés hiérarchiquement en trois niveaux, départements, régions, sections hydrographiques et zones à caractéristique homogène du point de vue d'un paramètre physique (géologie, pédologie, etc.). De plus, un objet abstrait, la maille de 10 km x 10 km, a été créé pour répondre à plusieurs objectifs : présenter des cartes synthétiques à l'échelle du bassin ; utiliser un découpage simple et régulier pour produire des données inexistantes (paysage, topographie). Beaucoup de ces données sont associées à l'échelon communal. Il nous a semblé que ces 5700 points de mesure permettent une précision suffisante à l'échelle du bassin.

Exhaustivité et fiabilité des données disponibles

La question de la fiabilité des données se pose de manière cruciale. Les banques de données institutionnelles présentent une information, rapidement mobilisable, homogène (y compris dans ses biais) mais pas forcément exhaustive. Or ces carences touchent certains secteurs géographiques ou affectent le niveau de finesse de l'information. Par exemple, la qualité n'est renseignée que pour 10 % des cours d'eau du bassin. Si l'on veut par ailleurs éliminer les stations de jaugeage où la période statistique est inférieure à 10 ans et celles pour lesquelles les débits sont fortement influencés, le réseau de mesure des débits s'amaigrit considérablement.

La pérennité des données n'est pas toujours garantie de même que la valeur de certaines données -piètre approximation de la variable nécessaire- pour évaluer une composante ou un système de composantes explicatives. L'intérêt du schéma des interactions est de mettre en évidence l'écart qui existe entre le schéma théorique souhaité et les données disponibles ou les limites de celles-ci. La transcription du schéma des interactions en termes de système d'information est donc provisoire et la recherche ou la production de nouvelles données plus adéquates n'est jamais achevée. Cette amélioration continue du système d'information sera une action importante... de la gestion future.

La nécessité d'un système d'information géographique (SIG)

La production des critères à prendre en compte pour le diagnostic nécessite la collecte d'un volume considérable de données d'origines et de caractéristiques diverses, ainsi que la mobilisation de puissants moyens d'analyse, de comparaison et de combinaison de cette information. Le caractère essentiellement spatialisé des traitements à réaliser nous a conduit à construire un système d'information géographique pour organiser cette information.

EGIS'93, Fourth European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems, Gênes, Italie, EGIS Foundation. 565-576.

Un système d'information géographique peut être défini comme un ensemble intégrant à la fois des données géo-référencées, apparentées entre elles et relatives à une zone déterminée, et des outils informatiques destinés à saisir, stocker, traiter et analyser ces données afin de produire une information utile à la décision. Dans le cadre du diagnostic du Bassin de la Loire, le S.I.G. devait offrir des fonctions souples et puissantes de stockage et de gestion des données, afin de faciliter l'intégration de données hétérogènes, des fonctions de consultation et de visualisation, des fonctions de transformation et de combinaison des données. A priori on aurait pu penser que la convivialité de l'interface ne serait pas un critère dans une phase de diagnostic à l'intérieur d'un laboratoire de recherche. En fait si la facilité d'utilisation n'est pas un critère absolument dirimant, les thématiciens demandent rapidement à visualiser eux-mêmes l'information disponible, à manipuler les données comme bon leur semble.

Le SIG n'était qu'un moyen pour réaliser l'étude et non un objectif en soi. Les caractéristiques du matériel et du logiciel étaient fixées a priori, puisqu'il fallait utiliser les outils disponibles au laboratoire. Le coeur du système est constitué par le logiciel PC-ARC/INFO (complété par SEM) de la société ESRI sur lequel sont gérées toutes les données spatiales. Les tables attributaires sont stockées sur FOXPRO de la société Microsoft, directement interfacé avec PC-ARC/INFO. Pour visualiser et analyser les données, on utilise aussi ARCVIEW, de la société ESRI et IDRISI, de la Clark University à Worcester.

Les fonctions du SIG

La saisie, le stockage et la mise à jour des données

Le système permet bien sûr le stockage des informations nécessaires au diagnostic dans le bassin de la Loire. Les coordonnées des centroïdes des communes ont été achetées à l'IGN et les services informatiques du Ministère de l'Environnement ont mis à notre disposition un fichier des polygones communaux du bassin. Comme la numérisation du réseau hydrographique aurait nécessité trop de temps, nous avons adapté un fichier graphique fourni par l'Agence de l'Eau, ce qui nous a permis de disposer rapidement d'un réseau détaillé, avec son code hydrologique et les données de qualité des eaux. Le calage géographique de ce réseau est loin d'être parfait, mais il s'est avéré d'une précision suffisante pour nos objectifs. Les fichiers des bassins versants sont issus d'une digitalisation de l'Agence de l'Eau sur ARC/INFO à partir d'un fonds au 1:500 000 qui nous était donné sans garantie. Encore une fois, compte-tenu de notre échelle de travail, le biais constaté n'était guère gênant. Les seuls travaux de numérisation réalisés spécifiquement pour l'étude (milieu naturel, département,...) ont été réalisés sur des cartes à petite échelle (entre le 1:500 000 ème et le 1:1 000 000ème).

L'intégration de nouvelles données géographiques est possible, directement si elles sont dans le même système de référence, après recalage sinon. De nouvelles données alphanumériques sont facilement intégrables si elles peuvent être reliées à des entités existantes: communes ou codes hydrologiques par exemple.

EGIS'93, Fourth European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems, Gênes, Italie, EGIS Foundation. 565-576.

La combinaison des données spatiales

La raison d'être du système c'est de permettre de combiner et donc de rendre compatibles des données associées à des objets spatiaux différents. Il était impératif de pouvoir produire par bassins versants des informations sur le système socio-économique ou le système d'actions et par département (par exemple) des informations sur la ressource en eau. De plus, il était important que le diagnostic soit présenté en respectant les référents habituels des différents gestionnaires.

Plusieurs types d'opération étaient nécessaires:

- une combinaison point-zone: agréger dans des zones de données ponctuelles, par exemple pour cumuler des données socio-économiques ou sur l'occupation du sol par communes dans des bassins versants, des grandes zones écologiques ou des mailles de 10 km sur 10 km,
- une combinaison zone-ligne: scinder des lignes par superposition de zones, par exemple associer à une section de réseau hydrographique un type de zone écologique,
- une combinaison zone-zone: fragmenter ou regrouper des zones par superposition d'autres zones : par exemple superposer les bassins versants avec des zones géologiques pour mesurer les superficies de différents types géologiques par bassins versants
- une interpolation point-surface: produire sous forme de surface (information continue) une donnée disponible par point: par exemple présenter la culture de maïs sous forme de surface sur le bassin versant de la Loire à partir des superficies par communes.

Toutes ces fonctions sont réalisables sur PC-ARC/INFO.

La consultation des données

Il faut distinguer la consultation de la cartographie des données car les exigences sémiologiques ne sont pas les mêmes. La consultation des données par l'intermédiaire d'un ordinateur s'apparente à une navigation dans l'ensemble des données. Cette navigation passe certes par une série de cartes-écrans, qui peuvent être équipées de légendes ou d'enrichissements graphiques; mais leur sémiologie reste sommaire car ce qui prime, c'est la rapidité et la fluidité de la manipulation, qui doit suivre au plus près le raisonnement. Il est possible de visualiser un ou plusieurs thèmes superposés, à n'importe quelle échelle, mais on peut estimer que la présentation des données sur une zone inférieure à 30 km x 30 km est peu fiable, compte-tenu de l'imprécision de certains objets spatiaux. Dans l'étape de diagnostic, il n'est pas nécessaire de disposer de fonctions sophistiquées de consultation, car celle-ci se fait presque uniquement à l'échelle du bassin dans son entier. Le logiciel ARC/VIEW offre dans ce domaine une solution satisfaisante car il est d'un apprentissage facile et offre une qualité graphique acceptable et des fonctions utiles. L'utilisation du système dans une optique de gestion nécessitera une nette amélioration des fonctions de consultation.

La cartographie

La carte, elle, doit être pensée de manière à être lue et comprise sans référence autre qu'elle-même et son message ne doit pas comporter d'ambiguïté. La carte est un produit final, elle sert à communiquer simplement et clairement une information pertinente mise en évidence

EGIS'93, Fourth European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems, Gênes, Italie, EGIS Foundation. 565-576.

lors de la consultation. Plus la carte intègre des données de types différents ou plus son message est polysémique, plus sa construction devient complexe. La sémiologie graphique utilisée doit être étudiée avec soin et demande des outils informatiques spécifiques. Un des principaux problèmes auquel doit répondre un système de ce genre est celui de la généralisation, car il s'agit d'offrir une image d'ensemble du territoire. Il faut poser les problèmes d'un point de vue global et ne pas laisser le lecteur se perdre dans des détails. C'est ce qui a amené à proposer un carroyage de 10 km sur 10 km ou à utiliser certaines techniques d'analyse spatiale (voir plus loin).

Le système autorise la création de plusieurs types de cartes de manière à produire une information lisible et compréhensible pour des gestionnaires aux cultures et aux habitudes différentes. On peut ainsi faire varier les objets de référence (communes, bassins versants, mailles) et les modes de représentation : cartes chorographiques, cartes choroplètes, cartes ponctuelles, cartes par isovaleurs ou cartes linéaires. L'outil principal utilisé est PC-ARC/INFO, qui permet de réaliser des cartes de bonne qualité graphique.

L'analyse des données

Le système doit aussi fournir des outils d'analyse des données, afin de tester rapidement certaines hypothèses ou d'estimer éventuellement des variables dans des lieux où elles font défaut. Deux types de traitement peuvent être distingués. Les traitements d'analyse de données classiques appliqués aux différentes entités spatiales, par exemple les communes ou les bassins versants: calcul de corrélation, analyse multivariée, classification. Ces fonctions ne sont pas assurés par le système (sauf dans l'analyseur géographique, voir plus loin), mais il est aisé d'exporter les données vers des outils spécialisés et, éventuellement de réimporter les résultats.

Différentes techniques d'analyse spatiale des données, qui prennent en compte les caractéristiques de localisation et de position relative des individus dans l'analyse statistique, sont utilisables. L'analyse de potentiel permet de calculer un indicateur intéressant de la pression anthropique théorique sur des milieux naturels protégés. Plusieurs techniques (lissage, surfaces de tendance,...) sont utiles pour synthétiser l'information et filtrer une tendance générale (Rimbert,1990). L'objectif est alors en simplifiant de manière contrôlée l'information, de faire apparaître les grandes structures d'organisation de l'espace. Ces traitements peuvent être réalisés avec SEM ou sur IDRISI.

L'analyseur géographique

Le thématicien a besoin d'un outil d'analyse et de traitement de son information rapide, facile à utiliser, utilisable sur des machines simples et apte à répondre à des questions variées. C'est pourquoi les données transcrites sur le carroyage de 10 km sur 10 km forment ce qu'on pourrait appeler un analyseur géographique. Il s'agit en quelque sorte un SIG de poche qui offre les principales fonctions déjà citées. On peut par exemple développer une algèbre de cartes (Tomlin C. D., 1992), utile pour évaluer les répartitions spatiales de plusieurs combinaisons de critères. On peut procéder à des calculs de corrélation entre critères et cartographier les zones qui s'écartent de ce modèle de corrélation, etc.. Il est possible de visualiser rapidement les résultats avec une qualité plus médiocre que celui produit à partir de PC-ARC/INFO mais

EGIS'93, Fourth European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems, Gênes, Italie, EGIS Foundation. 565-576.

satisfaisant dans une logique d'investigation. C'est IDRISI, logiciel à structure essentiellement raster simple d'emploi, peu onéreux et très complet qui constitue le moteur de l'analyseur géographique. Bien sûr le fait que l'analyseur géographique ne gère l'information que par mailles 10x10 peut pénaliser l'utilisateur. Mais celui-ci dispose en contrepartie d'une panoplie très complète d'instruments d'analyse, facile à utiliser sur des machines peu coûteuses.

Quelques réflexions sur le projet en cours

L'étude n'est pas terminée et il est encore trop tôt pour juger dans le détail de l'intérêt et des limites d'un SIG pour le diagnostic du bassin d'un grand fleuve comme la Loire. Mais il est possible de proposer un certain nombre de réflexions à propos de l'outil.

CRAIN et MAC DONALD (1984) isolent trois phases dans le développement d'un SIG. Le SIG est créé d'abord avec des objectifs d'inventaire et de collecte des données et pour répondre à des questions simples de localisation et d'extension de phénomènes. Dans une deuxième phase dominent les fonctions d'analyse et de combinaison de données. Enfin la troisième phase est celle des systèmes d'aide à la décision. D'après eux, rares sont les systèmes qui sont en deuxième et troisième phase.

Le SIG du bassin de la Loire n'obéit que relativement à cette périodisation. Il avait dès l'origine des objectifs d'analyse car il n'était qu'un moyen pour réaliser le diagnostic et proposer une problématique de gestion. Le budget de l'étude consacré au SIG lui-même était réduit, les délais de réalisation très courts. Le problème n'était pas de fournir un instrument de localisation très précis, ni de proposer une réponse technique très sophistiquée. Au contraire, il fallait travailler au plus vite, avec des outils logiciels relativement sommaires et sans envisager de développement informatique spécifique à la réalisation d'un outil délibérément macroscopique qui devait être utilisé par des chercheurs et des universitaires. L'expérience est positive. Du point de vue du diagnostic, le système offre des capacités d'analyse incomparables sur un territoire de cette taille, pour un coût faible. Du point de vue de la gestion future, il a permis de prendre la mesure des lacunes dans les données et d'élaborer des priorités dans la recherche de l'information tout en offrant une base de réflexion sur les caractéristiques que pouvait avoir un système d'aide à la décision.

BIBLIOGRAPHIE

CICERI M.-F., MARCHAND B., RIMBERT S., 1977: Introduction à l'analyse de l'espace, Masson, 1977, 173 p.

CRAIN I.K., Mc DONALD C L.: From land inventory to land management, *Cartographica*, 21, pp. 40-46, cit. par MAGUIRE D.J., An overview of GIS, pp. 9-20, in MAGUIRE D.J., GOODCHILD M.F., RHIND D.W., *Geographical Information Systems*, Longman, 1991, 2 vol.

JOLIVEAU Th., DEGORCE J.N.: Problèmes et méthodes de gestion de l'information pour un diagnostic du bassin de la Loire à paraître dans la *Revue de Géographie de Lyon*, 4-92

RIMBERT S., 1990: *Carto-graphies*, Hermès, Paris, 176 p.

STARON G., 1982: Méthodologie pour une meilleure connaissance de la ressource en eau, application expérimentale au bassin de la Loire supérieure, *Revue de Géographie de Lyon*,

EGIS'93, Fourth European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems, Gênes, Italie, EGIS Foundation. 565-576.

1982/3, pp. 267-285.

TOMLIN C. Dana, 1990: Geographic information systems and cartographic modelling, Prentice Hall, 249 p.