

# L'AMBIGUÏTÉ DES SYSTÈMES D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE EN GÉOGRAPHIE APPLIQUÉE

Jean-Paul DONNAY, Dimos PANTAZIS

## *Summary*

*The notion of Geographical Information System (G.I.S.) is ambiguous. Often G.I.S. is considered as a piece of software and sometimes as a data base or a data base management system (D.B.M.S.). Those meanings particularly are conveyed by the academic circles dealing with education and abstract research. When it is a matter of designing a real-size application, as applied geography gives a great many examples, this shortened view of what a G.I.S. must be for the most part leads to a failure. In such context of application G.I.S. must be seen as a system of information (the acronym says nothing else) and its design and realization come under the systemic theory and methodology. However these must be severely adapted to fit the peculiar characteristics of the geographical information.*

MOTS-CLÉS : S.I.G., analyse conceptuelle, méthodologie, géographie appliquée

KEYWORDS : G.I.S., conceptual design, methodology, applied geography

## 1. À CHACUN SON S.I.G.

Il est difficile aujourd'hui d'ignorer le potentiel des systèmes d'information géographique (S.I.G.) dans les applications utilisant des données à référence spatiale. Tous les domaines de la géographie appliquée sont susceptibles d'en tirer parti et, parmi les thèmes chers à C. Christians, l'analyse paysagère est certainement de ceux-là. Géographes, agronomes, architectes, écologues, et autres spécialistes des paysages ont trouvé dans les S.I.G. un outil polyvalent semblant, non seulement satisfaire les besoins de leur propre analyse, mais mieux encore, faciliter les analyses conjuguées et l'interdisciplinarité. Il n'est plus un plan, un projet de "parc" ou de "réserve", qui ne se conçoive sans "son S.I.G."

Cet engouement pour les S.I.G. n'est pas, bien entendu, limité à l'analyse des paysages. Les projets d'urbanisme ou de protection de l'environnement, l'aménagement du territoire en général, qu'il soit physique ou à tendance socio-économique, partagent le même credo. Quand bien même l'auteur de projet négligerait de recourir au S.I.G., le maître d'oeuvre - administration, collectivité locale, agence ou organisation - serait là pour le lui suggérer.

On ne peut que se féliciter, et le jubilaire avec nous, du succès d'un outil ou d'une approche aussi explicitement "géographique".

Parallèlement, on doit constater sur le terrain le faible nombre de S.I.G. installés et opérationnels. C'est que les freins se révèlent nombreux : coût d'acquisition et de mise à jour (des données, du matériel, des logiciels), problèmes de personnel (nombre, qualification, formation), adéquation partielle des solutions proposées (absence, incohérence ou qualité variable des données, insuffisance ou inadéquation des traitements disponibles), etc. Mais dans bien des

cas, l'analyse a posteriori des projets entamés selon une approche S.I.G. laisse entrevoir des lacunes de conception considérables, qu'il est difficile et parfois impossible de combler. Cette brève communication tente d'identifier trois causes, parmi d'autres mais que nous jugeons majeures, d'un tel état de fait.

## 2. L'AMBIGUÏTÉ DES S.I.G.

La notion de S.I.G. n'est pas très ancienne. Les premières mentions de systèmes d'information à référence spatiale apparaissent sporadiquement tout à la fin des années 60 [18], et de plus en plus fréquemment, tant en anglais qu'en français, dès le début des années 80. Mais les premiers ouvrages largement diffusés portant sur le sujet ne datent que d'une dizaine d'années à peine (par ex. [2],[5]), tandis qu'il faut attendre le milieu des années 90 pour voir se multiplier les revues spécialisées à caractère vraiment scientifique. Entre-temps, le vocable s'est répandu par l'intermédiaire d'une "littérature grise" constituée notamment d'actes de colloques et, surtout, de publications diverses à caractère essentiellement commercial.

Quoi qu'il en soit, le sigle S.I.G. (ou G.I.S. des Anglo-Saxons) est arrivé dans le langage "courant" porteur de plusieurs significations distinctes : tantôt assimilé à un logiciel, tantôt à une base de données, plus rarement, malheureusement, à un système d'information particulier, en ce sens qu'il manipule des données/ informations de type géographique.

L'assimilation d'un S.I.G. à un logiciel informatique - ce que nous dénommerons dorénavant S.I.G.-logiciel - est sans doute la signification la plus souvent reconnue. On peut bien sûr y voir le résultat de la politique commerciale dynamique des firmes

productrices, qualifiant de S.I.G. des logiciels de cartographie, de traitement d'images ou de gestion de bases de données géographiques : "*An organized collection of computer hardware, software, geographic data, and personnel designed to efficiently capture, store, update, manipulate, analyze, and display all forms of geographically referenced information*" [9, p. 1-2]. Certains logiciels intègrent des fonctionnalités diversifiées, tandis que d'autres, souvent "rebaptisés" S.I.G. à la mode du jour [15], ne proposent que des solutions très partielles. Mais il faut aussi reconnaître que la littérature scientifique, surtout anglo-saxonne, a bien souvent présenté le S.I.G. comme une collection de programmes informatiques, à l'exemple la définition donnée par Aronoff : "*[...] any manual or computer based set of procedures used to store and manipulate geographically referenced data*" [2, p. 39]. Le piège tendu par une conception aussi réductrice du S.I.G. est évident : on croit résoudre un projet quelconque en se contentant d'acquérir un logiciel.

La nature particulière des données géographiques impose cependant aux logiciels susceptibles de les manipuler une série de contraintes. C'est que toute information géographique est définie, à la fois, par sa modalité (aspect "attributaire", qualitatif, ordinal ou cardinal) et par son emprise spatiale (aspect géométrique et géographique). Ce double aspect de l'information géographique a nécessité une structuration adéquate des bases de données, de telle sorte qu'elles puissent exprimer au mieux les propriétés et les contraintes liées aux deux aspects. Cela s'est souvent traduit, d'un point de vue pratique, par la mise en oeuvre de deux bases de données distinctes mais complémentaires, l'une attributaire, l'autre géométrique. D'autre part, cela a amené l'utilisateur potentiel d'un S.I.G. à consacrer une attention toute particulière aux données, d'où une seconde tendance qui assimile le S.I.G. à un simple système de gestion de bases de données (S.G.D.B.). Ici encore, l'idée est réductrice, mais le piège est moins évident puisqu'il est clair que les données géographiques constitueront de toute façon une composante essentielle du S.I.G. L'erreur la plus fréquemment commise est plutôt de croire qu'un projet sera résolu lorsque l'on aura rassemblé et numérisé un maximum de données, que le S.I.G.-logiciel devra, comme par miracle, rendre compatibles et cohérentes. La troisième façon de définir un S.I.G. renvoie à l'analyse systémique [12]. Comme son nom l'indique, un S.I.G. est un système d'information (S.I.), soit l'un des trois principaux systèmes composant une organisation quelconque, à côté d'un système opératoire (S.O.) et d'un système de décision (S.D.). Le S.I. informe l'organisation; pour ce faire, il acquiert, il tient à jour, il gère, il diffuse l'information,

numérisée ou non, issue de l'organisation elle-même (en provenance du S.O. et du S.D.) et de ses partenaires éventuels. L'informatisation des S.I. a atteint un haut stade d'opérationnalité dans bon nombre d'organisations, où d'ailleurs S.I. et S.O. sont souvent mêlés ou confondus. A titre d'exemples, on peut citer le commerce de détail (comptabilité et gestion du stock liées aux opérations de la caisse enregistreuse), les compagnies de transport (facturation et réservation de places automatiques), les banques (guichets automatiques, télé-banque), etc. Pour permettre la mise en oeuvre de tels systèmes, il a fallu développer toute une méthodologie, où le S.I. est étudié à différentes phases de son développement - phases conceptuelle, organisationnelle, logique et physique - et tout au long de son cycle de vie. C'est la seule manière de garantir la faisabilité du projet.

Le fait de considérer le S.I.G. comme un système d'information le montre dans sa véritable dimension et indique le type de méthodes et de démarches qu'il faut suivre pour assurer sa viabilité. En regard des S.I., il reste cependant que les S.I.G. manipulent des données géographiques, c'est-à-dire présentant le double aspect mentionné plus haut. Cela suffit à rendre caduque l'application immédiate, et délicate l'adaptation des méthodes imaginées pour les S.I. Le développement de méthodes spécifiques est requis, ce à quoi s'attachent plusieurs centres de géomatique, pour la plupart francophones par ailleurs. Nous y reviendrons plus loin (cf. § 4).

### 3. LE SYNDROME ACADÉMIQUE

Considérer un S.I.G. comme un logiciel uniquement, ou comme une simple collection de données numérisées peut avoir des conséquences particulièrement néfastes si cette vue de l'esprit est celle d'une organisation qui espère, par la seule acquisition d'un tel logiciel ou de telles données, répondre à l'informatisation de ses tâches quotidiennes. C'est malheureusement une situation trop fréquente, qui explique une large part des échecs rencontrés dans l'installation des S.I.G. et la réticence qu'ils suscitent encore auprès de certains.

Or il est vrai qu'en matière d'analyse paysagère par exemple, en Belgique tout particulièrement, c'est souvent aux universités et à leurs centres de recherches que l'on s'adresse pour la consultance, l'étude de faisabilité, voire la réalisation complète de projets. Nombre de tels travaux sont d'ailleurs effectués dans le cadre de mémoires et de thèses de fin d'études.

Il peut sembler paradoxal que les universités, au sein desquelles le S.I.G. constitue, ou peut constituer, un sujet de recherches sui generis, contribuent à la propagation de définitions réductrices et, par là, aux vicissitudes de certains projets. On peut y voir, bien

sûr, des lacunes de formation, l'inertie du cursus, le cloisonnement des matières ou, plus simplement, l'engouement un peu hâtif de certains chercheurs, favorisé par la banalisation des outils (micro-informatiques). Mais il est une autre raison, qui explique les carences méthodologiques constatées chez beaucoup d'équipes universitaires.

En matière d'enseignement et de recherches, le S.I.G.-logiciel est considéré, dès l'abord, comme une boîte à outils informatiques spécialisée. Il ne s'intègre pas au sein de la structure fonctionnelle de l'organisation, de sorte que l'approche systémique peut être ignorée sans conséquences pour l'organisation. Le S.I.G.-logiciel est ramené au simple rôle d'outil, au même titre qu'une programmatoire d'analyse statistique, un didacticiel ou un vulgaire traitement de texte. L'exemple le plus fréquent est celui où les données et le S.I.G.-logiciel sont acquis dans le seul but d'exploiter les capacités de cartographie numérique. Même si le logiciel est bien choisi et les données correctement sélectionnées, l'expérience n'est pas transposable en vraie grandeur au sein d'une organisation. En ce domaine et selon cette voie, il n'y a pas de "transfert de technologies" possible, les objectifs et les échelles des grandeurs n'étant en rien comparables.

#### **4. UN S.I.G. NE S'ACHÈTE PAS, IL SE CONÇOIT**

##### **4.1. Une méthode de conception spécifique**

Si l'approche systémique des S.I.G. est jugée la plus apte à leur conception et à leur réalisation, encore faudrait-il qu'elle offre les méthodes et les outils nécessaires à sa mise en oeuvre. Or, c'est là le troisième écueil à l'opérationnalité des S.I.G., ces méthodes et ces outils spécifiques sont à peine élaborés et loin d'être largement diffusés.

A l'exception de quelques travaux précurseurs, tel celui de Chevallier [6], la recherche d'une démarche de conception et de réalisation propre aux S.I.G. n'est entamée que depuis le début des années 90. Parmi les auteurs anglo-saxons, Antenucci et ses collaborateurs [1] ont présenté une démarche basée sur les traitements requis par les utilisateurs. Elle reste simpliste et un peu rigide mais conserve assez d'intérêt pour être reprise et adaptée en 1993 par Laurini [11]. Mais les recherches les plus originales, on l'a dit, sont menées par divers centres francophones, au Québec, en Suisse, en France et, depuis peu, en Belgique. Les méthodes classiques de conception des S.I. et leur adaptation aux S.I.G. sont analysées et comparées [3], des formalismes de modélisation des données à référence spatiale sont définis [8]. C'est tout un cadre méthodologique, organisationnel et technologique qui

est proposé pour permettre aux gestionnaires du territoire d'intégrer de manière efficace et cohérente les S.I.G. à leurs propres réalisations. Au Québec, tout particulièrement, ces recherches ont un effet immédiat sur les grands projets. C'est ainsi que le Ministère des Communications du Québec a produit un recueil destiné aux utilisateurs et développeurs de S.I.G. [14]. Enfin, à Liège, Pantazis présente une première méthode de conception spécifique aux S.I.G. et un formalisme original associé [16],[17].

Il n'est évidemment pas possible de résumer dans cette brève communication, ce genre de méthodologie. On se contentera, dès lors, d'en mentionner quelques principes essentiels et de présenter les points importants de la démarche.

##### **4.2. Les principes essentiels de la méthode**

Parmi les principes, on ne saurait trop souligner l'importance de la souplesse de la démarche, tant sont diversifiés les contextes du développement d'un S.I.G. (données numérisées totalement, partiellement ou pas du tout; équipement et logiciel existants ou à acquérir, à choisir ou imposés; personnel qualifié ou à former; niveau des contraintes temporelles et budgétaires; etc.). Cette souplesse doit se traduire par une démarche extensible et facilement modifiable, adaptable et modulable; générale, tout en permettant une spécification complète des produits et la prise en compte de la nature des données géographiques et des traitements sur ces données.

D'autre part, il faut garder à l'esprit que le futur S.I.G. doit s'adresser à l'organisation toute entière au sein de laquelle il est conçu et mis en service, ou à une partie importante de celle-ci. La qualité "géographique" des données est en effet susceptible d'être exploitée par la plupart des services de l'organisation. Ceci différencie le développement d'un S.I.G. vis-à-vis de celui d'un S.I. non géographique, ce dernier s'adressant d'habitude plus spécifiquement à un service ou à un projet.

Enfin, on doit constater que, dans la plupart des applications, le développement pressenti consiste essentiellement à informatiser un S.I.G. existant, mais non encore informatisé. Même si ce dernier n'est pas identifié comme tel par l'organisation, les données géographiques sont présentes sous une forme ou une autre, et les traitements sur ces données sont connus et routiniers (par ex. la tenue à jour d'un cadastre foncier, la vérification d'autorisations diverses relatives à l'usage du territoire, etc.). La démarche de conception et de réalisation n'est donc pas strictement exploratoire.

##### **4.3. Les étapes de la démarche**

Bien que la démarche ne soit pas exploratoire, cela ne signifie pas que l'ordre des tâches à accomplir soit pré-défini. Au contraire, le suivi des étapes est le plus souvent non linéaire, fonction du contexte et des résultats intermédiaires de l'analyse. Si pour concevoir et réaliser un S.I.G., en résumant beaucoup, l'analyste doit s'attacher aux questions "Qui ?", " Quoi ? " et " Comment ? ", les réponses à ces questions sont rarement immédiates et impliquent souvent un cheminement complexe, des analyses préalables suivies d'analyses détaillées.

#### 4.3.1. " Qui ? "

Une tâche indispensable consiste à identifier l'organisation, ses structures et ses partenaires. Pour compléter cette étape, il faut reconnaître les services assurant les tâches du S.I., du S.O. et du S.D. de l'organisation; pratiquement savoir "qui" intervient et dans quel domaine :

- qui va utiliser le S.I.G. au sein de l'organisation, combien de personnes, quels services; qui sont-ils et où sont-ils localisés (implantation unique ou dispersée)?
- qui est apte à formuler les requêtes, avec quelle priorité / confidentialité ?
- qui va décider de l'acquisition, la maintenance / mise à jour des données, du matériel, des logiciels, qui va effectuer ces tâches ?
- qui sont les partenaires, fournisseurs et utilisateurs des informations, quel est leur nombre, leur statut, leur lien administratif ou commercial, leurs prérogatives ?

#### 4.2.2. " Quoi ? "

Par définition, les deux composantes essentielles d'un système d'information sont les données et les traitements. C'est donc en ces termes qu'il faut déterminer le contenu du futur S.I.G.

En ce qui concerne les données qui doivent figurer dans la ou les bases de données, à une tâche descriptive, consistant en l'établissement d'un "dictionnaire de données", doit succéder une formalisation des données, tâche sensiblement plus complexe, faisant appel aux techniques de conceptualisation des bases de données mais adaptées à leur caractère géographique.

Le dictionnaire de données reprend non seulement la liste de tous les types de données, mais aussi, pour chacun d'entre eux, les "métadonnées" (données sur les données) les concernant :

- un identifiant alphanumérique unique;
- un descriptif;
- la source et la date;

- le coût d'acquisition ou de saisie, les droits et les limites d'utilisation éventuels;
- le mode et la date d'acquisition ou de saisie;
- la périodicité, le coût et le moyen de mise à jour;
- la confidentialité; etc.

En outre, en ce qui concerne l'aspect géographique, il faut prévoir explicitement :

- le type de support : plan, carte, photo-aérienne, image satellitaire, etc.;
- la mention des conventions fondamentales (système cartographique, unité, échelle, etc.);
- le moyen de saisie et sa précision;
- le mode d'implantation, selon la typologie reconnue par le formalisme (vecteur - image; simple - composé - complexe, point - ligne - polygone, etc.);
- les attributs de représentation graphique (taille, valeur, grain, couleur, orientation, forme); etc.

Le modèle conceptuel des données qu'il faut ensuite développer, au moyen d'un formalisme adéquat, retient une partie des informations précédentes, mais y ajoute notamment les relations qu'entretiennent les données entre elles, relations de type logique, topologique et de structure. C'est dans le cadre de ce modèle que sont établies les structures logiques des données : regroupements en classes, couches, etc. Certaines de ces structures impliqueront des choix de structures physiques (informatiques) dans la base de données et pourraient ainsi constituer des contraintes sur le choix d'un système informatique.

Il faut également identifier les traitements que les utilisateurs du S.I.G. veulent faire subir aux données. Les fonctions de base assurées par tout système d'information sont l'acquisition, la mémorisation, la gestion, la diffusion et la tenue à jour. Appliquées à des données géographiques, ces "simples" tâches impliquent déjà des dispositifs spéciaux (notamment parce que la diffusion se fait largement sous forme cartographique). Toutes les analyses montrent que, dans plus de 90% des cas, les tâches réalisées par les systèmes d'information sont des tâches élémentaires [7].

Mais les S.I.G. sont parfois exploités de manière plus complète, en particulier pour répondre à des requêtes spatiales, spatio-thématiques ou spatio-temporelles. Des traitements plus sophistiqués peuvent aussi être demandés : interpolation, géostatistiques, analyse spatiale d'une manière générale. Chaque traitement souhaité doit faire l'objet d'une attention particulière :

- il doit être clairement identifié et décrit;
- les données sur lesquelles il porte doivent être spécifiées, ainsi que leur mode d'implantation et éventuellement leur structure dans la base de données;

- la précision requise a priori et l'erreur engendrée a posteriori doivent être évaluées;
- il faut retenir qui demande tel ou tel traitement et sous quelle forme le demandeur souhaite voir les résultats;
- il faut connaître la fréquence de la demande et le coût généralisé du traitement; etc.

La réponse à toutes ces questions se traduit par l'élaboration d'un modèle conceptuel des traitements, éventuellement intégré au modèle conceptuel des données, et respectant les règles du formalisme choisi.

Il est clair que la construction de tels modèles conceptuels ne peut se faire sans un minimum d'expérience. Le concepteur peut cependant être aidé dans sa tâche par des outils spécifiques, tels que les ateliers de génie logiciel (CASE-tools des Anglo-Saxons), dont des versions adaptées aux S.I.G. commencent à voir le jour [3].

#### 4.3.3. " Comment ? "

Les phases conceptuelle et organisationnelle, auxquelles se rapportent les étapes précédentes, s'efforçant de rester indépendantes des contraintes techniques du matériel et des logiciels. Arrivé à ce stade, il faut maintenant s'interroger sur les phases logique et physique de la réalisation du S.I.G., phases qui ne peuvent plus exclure les impératifs techniques et notamment informatiques, dans des limites financières et de temps rarement extensibles.

Les données et les traitements étant clairement identifiés, il est possible d'établir la liste des capacités exigées du système, tout d'abord pour répondre aux fonctions de base (saisie et stockage, gestion, diffusion et mise à jour). Ainsi, le modèle conceptuel de données doit permettre d'évaluer par exemple les exigences portant sur :

- le volume de données;
- la manipulation des différents types de données dans toutes les fonctions de base (par ex. en mode vecteur ou en mode image);
- la conservation des relations entre les données (par ex. les relations topologiques);
- la structuration logique des données (par ex. en classes et en couches); etc.

L'adéquation du système à la structure de l'organisation doit aussi être vérifiée, par exemple pour sélectionner un S.I.G. centralisé ou un S.I.G. partagé, sur un ou plusieurs sites; ou pour s'accorder à l'effectif et à la qualification du personnel.

En ce qui concerne les traitements propres à l'organisation et dépassant les fonctions de base que l'on peut attendre de tout système, il faut examiner toutes les solutions informatiques : quels sont les logiciels existants qui réalisent ces traitements, de

quelle manière, à quel coût, selon quelles contraintes et avec quelle compatibilité; sinon quels logiciels faut-il développer ou faire développer, par qui, dans quels délais et à quel coût.

Cette phase d'évaluation des moyens fait souvent appel à un "benchmark" où sont testés en vraie grandeur les solutions informatiques concurrentes disponibles sur le marché. Le benchmark est un test regroupant des échantillons de données et de traitements, préparé selon un protocole bien défini par le maître d'oeuvre et effectué, parfois contre rémunération, par les offrants [8]. Le demandeur mesure tous les résultats : qualités fondamentales (précision, exactitude, neutralité vis-à-vis du système, temps, coût) et secondaires (esthétiques, ergonomiques, etc.). Cette mesure de la qualité peut être confiée à un tiers indépendant, soit d'habitude un consultant totalement distinct du vendeur.

C'est donc au terme de cette phase, et idéalement au terme de cette phase seulement, que le ou les logiciels et le matériel sont sélectionnés. On sait pourtant beaucoup d'exemples où c'est par là que l'on a commencé...

#### 4.4. Mise en service et maintenance

L'évaluation des moyens et la sélection des équipements ne constituent pas l'étape ultime de la réalisation d'un S.I.G. Tout d'abord, on l'a dit, la démarche n'est pas linéaire, de sorte que, par exemple, des benchmarks partiels associés à des projets pilotes peuvent apparaître dans le cours du processus. Mais d'une manière générale, la tâche du concepteur ou de l'analyste ne sera terminée que lorsque le système aura été mis en service opérationnel, soit après son installation et sa réception.

Au delà, l'exploitation quotidienne, la maintenance et l'éventuelle adaptation du S.I.G. sont du ressort du personnel qualifié de l'organisation. Ces tâches doivent néanmoins être strictement planifiées et contrôlées tout au long du cycle de vie du système d'information.

#### 5. CONCLUSIONS

Partis sur le constat d'une ambiguïté dans la signification du sigle "S.I.G.", et sur les conséquences pratiques de cette équivoque, nous en sommes arrivés à tracer les grandes lignes d'une démarche de conception et de réalisation de systèmes d'information géographique informatisés au sein d'une organisation quelconque.

Le S.I.G.-logiciel constitue certes une pièce maîtresse dans l'informatisation du système d'information

géographique d'une organisation, mais il ne peut être confondu avec le système lui-même.

Pour le géographe désireux de concevoir et de mettre en oeuvre un S.I.G. dans le cadre d'un projet en vraie grandeur, comme la géographie appliquée en donne tant d'exemples, il s'agit de recentrer son approche. Ce n'est plus seulement à la géographie et à ses méthodes qu'il lui faut faire appel, mais, surtout dans les premiers temps de la démarche, à l'analyse systémique et aux méthodes de conception des bases de données géographiques. Géographie ou informatique ? Sciences ou sciences appliquées ? Méthodes ou outils ? Vieux dilemmes qu'aimait évoquer C. Christians et que la géographie a déjà su tant de fois intégrer.

## RÉFÉRENCES

- [1] ANTENUCCI, J.C., BROWN, K., KEVANY, M.J., ARCHER, H., 1991, *Geographic Information Systems, A guide to the technology*, Van Nostrand Reinhold, New York, 301 p.
- [2] ARONOFF, S., 1989, *Geographic Information System : A Management Perspective*, WDL Publications, Ottawa, 294 p.
- [3] BEDART, Y., LARRIVEE, S., 1992, Développement des systèmes d'information à référence spatiale : vers l'utilisation d'ateliers de génie logiciel, *CISM Journal*, 46-4, 423-433.
- [4] BOUTIN, G., 1988, *Etude de l'applicabilité d'une méthode traditionnelle de conception de systèmes d'information dans le contexte d'un système d'information à référence spatiale*, thèse de maîtrise de l'Université Laval, Québec.
- [5] BURROUGH, P.A., 1986, *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*, Clarendon Press, Oxford, 193 p.
- [6] CHEVALLIER, J.-J., 1983, *Une approche systémique des systèmes d'information du territoire et de leur intégrité*, thèse de doctorat de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- [7] DONNAY, J.-P., 1992, Les systèmes d'information géographique, communication au séminaire *Les systèmes d'information géographique dans l'administration publique*, Institut Européen d'Administration Publique, Luxembourg., 14 p. + illustrations.
- [8] DONNAY, J.-P., DE ROOVER, B., 1992, Benchmark issues for the evaluation of hybrid GIS, *Proceedings of EGIS'92 - Munich*, EGIS Foundation, Utrecht/Amsterdam, 1, pp. 619-628.
- [9] ESRI, 1992, *Understanding GIS, The Arc-Info Method*,
- [10] GOLAY, F., 1992, Modélisation des systèmes d'information à référence spatiale et de leurs domaines d'utilisation spécialisés, aspects méthodologiques, organisationnels et technologiques, thèse de doctorat de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne,.
- [11] LAURINI, R., MILLERET-RAFFORT, F., 1993, *Les bases de données en géomatique*, Hermès, Paris, 344 p.
- [12] Le MOIGNE, J.-L., 1990, *La théorie du système général, théorie de la modélisation*, PUF, Paris.
- [13] MAGUIRE, D.J., GOODCHILD, M.F., RHIND, D.W., (éds.), 1991, *Geographical Information Systems*, 2 vol., Longman, Harlow, 649 + 447 p.
- [14] MINISTÈRE DES COMMUNICATIONS DU QUÉBEC,
- [15] NEWELL, , THERIAULT, M., 1990,
- [16] PANTAZIS, D., 1994, *Analyse méthodologique des phases de conception et de développement d'un système d'information géographique*, thèse de doctorat de l'Université de Liège, 556 p. + annexes.
- [17] PANTAZIS, D., DONNAY, J.-P., 1996, *MECOSIG et CONGOO : méthode et formalisme de conception de S.I.G.*, Hermès, Paris, (sous presse).
- [18] TOMLINSON, R.F., 1967, *An Introduction to the Geographic Information System of the Canada Land Inventory*, Department of Forestry and Rural Development, Ottawa.

Jean-Paul DONNAY et Dimos PANTAZIS  
Laboratoire SURFACES, Université de Liège,  
7 place du 20-Août, B4000 Liège, Belgique

