

LES BASES DE DONNÉES SPATIALES

Jean-Paul DONNAY

Professeur ordinaire, Université de Liège – Unité de Géomatique

▪ Derrière la "carte", média le plus commun pour accéder à l'information spatiale, il y a des données, qu'il a fallu collecter, mémoriser et gérer, sous forme numérique depuis près d'un demi-siècle. Les données, spatiales ou géographiques, présentent plusieurs particularités dont la moindre n'est certes pas la présence, parmi ses caractéristiques, d'une géométrie censée traduire la portion de la surface terrestre portant une ou plusieurs propriétés thématiques. Indépendamment des techniques de collecte de l'information géographique (topographie, photogrammétrie, etc.), des techniques de visualisation (cartographie) et de traitement (analyse spatiale), la seule gestion de l'information a connu une évolution sensible au cours des dernières décennies. Partant de systèmes de fichiers, la gestion de l'information spatiale a successivement fait appel à des modèles de gestion de bases de données de plus en plus élaborés, au point d'exploiter aujourd'hui les ressources les plus pointues des bases de données réparties reposant sur un modèle objet-relationnel.

▪ Achter "de kaart", het meest gebruikte medium om de ruimte-informatie te bereiken, zijn er gegevens, die men heeft moeten verzamelen, opslaan en, onder digitale vorm beheeren sedert bijna een halve eeuw. Deze gegevens ivm aardrijkskunde en ruimte, presenteren verschillende bijzonderheden waarvan de minste zeker niet de aanwezigheid is van een meetkunde die verondersteld wordt de portie van de landoppervlakte weer te geven dat één of meer thematische eigenschappen in zich draagt. Los van de techniek van het verzamelen van geografische informatie (topografie, fotogrammetrie, enz), van de visualiseringstechnieken (cartografie) en aanpak (ruimtelijke analyse), heeft alleen al het beleid van de informatie een belangrijke evolutie in de loop van de laatste decennia gekend. Uitgaande van bestandssystemen, heeft het beheer van de ruimte-informatie achtereenvolgens op steeds meer uitgewerkte modellen van databasebeheer een beroep gedaan, om alzo vandaag de dag de meest betrouwbare bronnen van de zeer geavanceerde gegevensbanken te exploiteren berustende op het model "object-relationeel".

Pour la majorité des utilisateurs, l'accès à l'information géographique passe par la consultation d'une carte : la carte topographique du promeneur, la carte routière – imprimée ou numérique et affichée sur l'écran du système de navigation – du conducteur, ou le plan de ville du touriste. Cartes et plans ont en commun qu'ils sont une représentation conventionnelle, généralement plane, à une échelle donnée, des objets, concrets (matérialisés et visualisables), ou abstraits (non matériels, telles les limites administratives), liés à une partie de la surface terrestre. On voit déjà se dégager quelques caractéristiques essentielles de l'information géographique : elle concerne des "objets" identifiés et localisés. Mais la carte n'en fournit qu'une représentation "conventionnelle" : tous les objets ne sont pas représentés (la forêt mais pas les arbres) et ceux qui sont sur la carte sont, à la fois géométriquement simplifiés et figurés par des symboles graphiques variables en taille, couleur, forme, etc., selon une légende explicite. Les opérations de généralisation (en première analyse : la simplification) et de symbolisation qui président à la réalisation de la carte sont fonction de son échelle et de son objectif.

Puisque la carte ne consiste qu'en une représentation des données géographiques, il faut admettre qu'en amont de la carte existe une collection de données qui doivent faire l'objet d'une acquisition, d'une sauvegarde, d'une gestion et d'une mise à jour. Idéalement, ces données sont indépendantes de toute représentation, c'est-à-dire

de toute notion d'échelle et de toute symbolisation. C'est en cela que les données "géographiques" se distinguent des données "cartographiques". Les premières enregistrent le plus précisément possible, tant la géométrie (en première approximation, l'emprise au sol), que les qualités (nature, fonction, etc.) des objets sélectionnés dans la collection. La nature duale de l'information géographique, à la fois géométrique et sémantique ou thématique, confère à chaque opération un caractère original et, souvent, une complexité supplémentaire vis-à-vis des données alphanumériques traditionnelles. À titre d'exemple, la seule acquisition de la géométrie d'un objet a recours à des techniques spécifiques, telles que le levé topographique ou photogramétrique, afin de fixer les coordonnées des points – dans un référentiel adéquat – qui délimitent l'emprise au sol de l'objet.

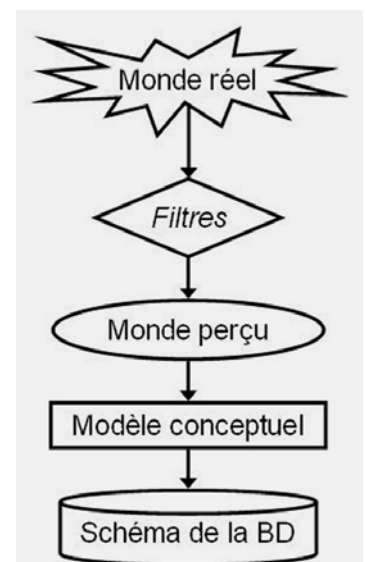


Fig. 1 : Du monde réel au schéma de la base de données géographiques, l'information subit une réduction et une formalisation croissantes.

L'information géographique

Encore faut-il savoir quels sont les objets du terrain susceptibles d'alimenter la collection de données géographiques. Outre le fait que nous ne percevons, naturellement ou techniquement, qu'une partie du monde réel qui nous entoure, il est indispensable de constituer un modèle de la réalité pour laquelle nous souhaitons des données (Fig. 1). Cette démarche, d'ordre concep-

- le type de géométrie (point, ligne ou polygone) correspondant à son emprise au sol;
- et le domaine de variation des attributs thématiques qui lui sont associés (intervalle de variation, unité, modalités permises, etc.).

Il faut aussi vérifier que l'organisation des données sélectionnées est cohérente et compatible avec l'usage qui en sera fait par les applications. Par organisation des données, il faut entendre les relations qu'elles entretiennent, du point de

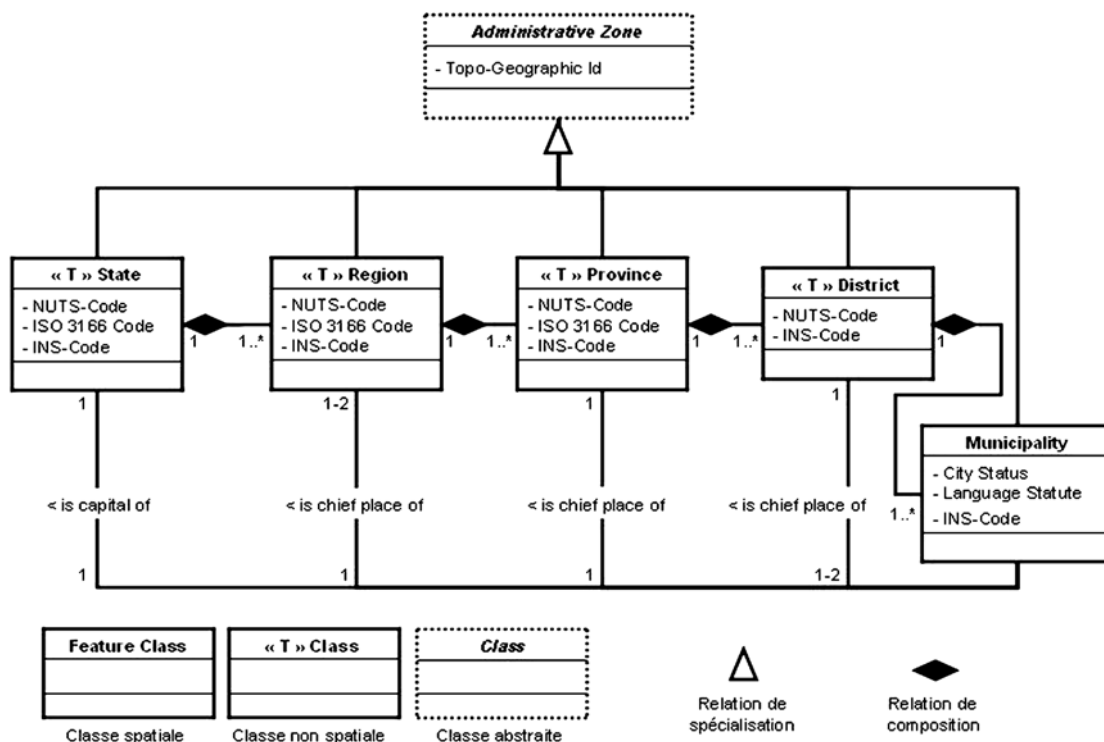


Fig. 2 : Modèle conceptuel de données formalisé en UML (Unified Modelling Language).
Thème des entités administratives, adapté du projet SGIS de l'IGN-B (3)

tuel, s'appuie sur l'usage pressenti des données, afin de déterminer les critères de sélection et la précision / résolution souhaitée. Étant donné la nature duale de l'information géographique, critères de sélection et précision sont à déterminer tant du point de vue géométrique que du point de vue sémantique. À titre d'exemple, faut-il s'attarder à la définition de chaque "arbre" pris isolément, fixé en position avec une précision décimétrique et caractérisé par son espèce, son âge, sa hauteur, etc. ; ou la notion de "forêt" est-elle suffisante, délimitée spatialement avec une précision métrique, et caractérisée par la seule espèce dominante ? La réalisation d'un tel catalogue de données géographiques, éventuellement accompagné d'un glossaire exhaustif, constitue une première étape au cours de laquelle sont définis, pour chaque type d'entités géographiques (chaque classe d'objets géographiques) :

vue logique et spatial. Les relations logiques sont celles que l'on peut trouver entre tous les types de données : l'association (ex. une capitale est associée à un pays), la composition (ex. un groupe de communes compose une province), la spécialisation (ex. une autoroute est une catégorie spécifique des voiries). Les relations spatiales sont caractéristiques des données géographiques. On a coutume de ne retenir que les relations topologiques, c'est-à-dire, en dernière analyse, les relations qui identifient le voisinage et la superposition entre les entités géographiques : à titre d'exemples, deux pays sont voisins à travers un élément de frontière commune ; une route peut se superposer à une rivière à l'endroit d'un pont. Le fait d'identifier et de conserver les relations logiques et topologiques entre les données géographiques, permet de mieux contrôler la qualité des données et autorise l'expression de requêtes plus élaborées sur celles-ci. Ainsi, les requêtes qualifiées de "spatiales" exploitent la

géométrie et / ou les relations topologiques des données géographiques : ex. trouver les communes traversées par une portion de route ; identifier les sites archéologiques localisés à moins de x kilomètres d'un site de fouille.

Tant les spécifications géométriques et sémantiques des données géographiques que les relations logiques et topologiques qu'elles entretiennent entre elles, peuvent être formalisées dans un langage graphique, afin de constituer un modèle conceptuel de données (Fig. 2). Ce modèle est indépendant de toute contrainte de logiciel et de matériel, mais il préfigure le schéma de la base de données géographiques qui doit être implémentée (1), (2).

La gestion des données géographiques

La difficulté de gestion des données géographiques provient de leur double nature, géométrique et thématique. Si l'on imagine aisément l'enregistrement d'attributs alphanumériques quelconques, caractérisant la thématique, dans une simple table (relation d'une base de données relationnelle, ou à la rigueur une simple feuille de calcul d'un tableur), il n'en va pas de même des coordonnées spatiales et des relations géométriques entre les entités. Les solutions envisagées pour résoudre cette difficulté ont évolué au cours du temps, suivant en cela les générations successives des modèles logiques des bases de données et les capacités croissantes des ressources informatiques. Les changements les plus importants étant apparus durant la dernière décennie, des solutions relevant de générations distinctes continuent à coexister aujourd'hui. Les logiciels informant ces solutions sont intitulés, un peu abusivement (cf. infra), "systèmes d'information géographique" (4).

Architectures hybrides

Pendant longtemps, le stockage et la gestion des données géographiques ont exploité des solutions dites "hybrides", c'est-à-dire traitant de façon distincte la géométrie et la sémantique. Le modèle le plus simple consiste à utiliser un système de gestion de base de données relationnel (SGBD-R) pour les attributs alphanumériques décrivant la thématique, et, en parallèle, un système de gestion de fichiers (SGF) pour les géométries des entités géographiques. Les attributs sont donc stockés dans des tables selon un schéma relationnel classique, et sont susceptibles d'être traités (mises à jour, requêtes) par le langage de transaction normalisé SQL (Structured Query Language), pourvu que ces transac-

tions ne portent que sur la thématique. Les coordonnées des points fixant les géométries des entités géographiques sont enregistrées dans des fichiers de formats distincts selon les géométries, de manière à faciliter leur accès et leur gestion. À cet égard, cependant, les différents producteurs de logiciels présentent des solutions informatiques différentes et les formats de fichiers sont qualifiés de "propriétaires" dans la mesure où l'accès aux données est strictement dépendant du logiciel utilisé. C'est également ce logiciel qui prend en charge l'association entre une géométrie particulière et les valeurs d'attributs correspondantes, reconstituant ainsi l'information complète relative à une entité géographique. Cette association utilise un "identifiant géographique" commun pour la géométrie en question et l'enregistrement correspondant dans la table d'attributs (Fig. 3). Le logiciel étant capable de reconstituer l'information géographique complète, il peut la soumettre à différents types de traitements relevant de l'analyse spatiale et/ou de la cartographie, mais on constate que les traitements sont dépendants des formats des données.

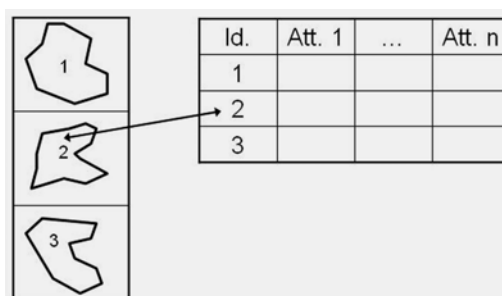


Fig. 3 : Architecture hybride. À gauche : le fichier des géométries. À droite : la table des attributs. La liaison passe par l'identifiant commun (ici, un numéro) des géométries et des enregistrements.

Les systèmes hybrides les plus simples ne conservent pas, et par conséquent ne peuvent exploiter, les relations entre les entités géographiques, en particulier les relations spatiales. Par contre, les systèmes dits "géo-relationnels" constituent une avancée dans ce domaine, en ce qu'ils identifient, conservent et permettent à l'utilisateur d'exploiter les principales relations topologiques entre entités géographiques. Les géométries et les attributs sont toujours gérés par des sous-systèmes distincts, respectivement un SGF et un SGBD-R, mais en plus, sur base des coordonnées, le logiciel identifie les relations spatiales entre les géométries. Ces relations sont stockées dans son système de gestion de fichiers, toujours dans un format propriétaire, mais le logiciel en fournit une vue à l'utilisateur, sous la forme de tables reprenant les principaux indicateurs de connexité et de connectivité pour chaque entité spatiale (Fig. 4). Ces tables sont

engendrées automatiquement dans le SGBD-R et peuvent bien sûr être associées, par exemple par jointure, aux tables d'attributs définissant la thématique des entités géographiques. L'utilisateur a donc la possibilité d'interroger la base de données au moyen du langage de re-

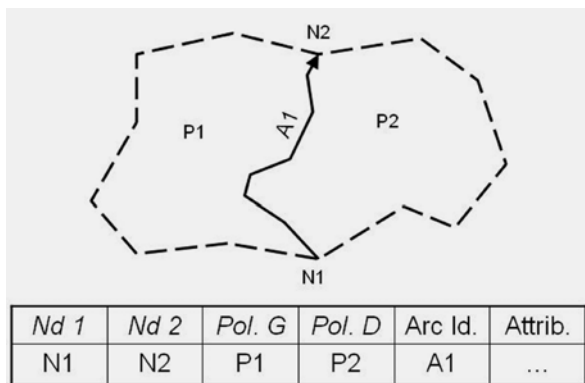


Fig. 4 : Vue engendrée par un système géo-relationnel, des relations topologiques (champs en italique) d'un arc délimitant une frontière commune entre deux polygones Nd 1 : noeud de départ - Nd 2 : noeud d'arrivée - Pol. G : polygone à gauche
Pol. D : polygone à droite - Arc Id. : identifiant de l'arc - Attrib. : attribut(s) de l'utilisateur

quête SQL, tant sur la thématique que sur les relations spatiales.

Architectures intégrées

Cette forme d'architecture hybride, qui a prévalu durant deux décennies, n'assure pourtant pas la transparence et la sécurité qu'est en droit d'attendre un administrateur de données. Les formats propriétaires des fichiers conservant la géométrie des entités spatiales sont à la fois un obstacle à leur diffusion et une contrainte sur les traitements auxquels les données pourront être soumises. En outre, un SGF ne garantit pas les fonctionnalités basiques de sécurité, archivage, etc., de façon aussi efficace qu'un SGBD. D'autre part, le SGBD associé au SGF et qui est en charge de la gestion des attributs thématiques des entités spatiales, n'est pas nécessairement compatible (modèle, version, etc.) avec le ou les autres systèmes gérant les autres bases de données de l'organisation. Ces raisons expliquent pourquoi les architectures les plus récentes se sont efforcées de gérer la totalité

de l'information géographique, géométrie comprise, au sein d'un seul SGBD. On parle alors de solution ou d'architecture intégrée. L'intention, et même les solutions théoriques, existent depuis longtemps, mais l'implémentation était freinée par des limites du modèle relationnel de gestion de base de données. Le modèle "relationnel étendu", s'inspirant de l'approche orientée-objet, a permis de lever la plupart de ces obstacles, tandis que l'apparition de standards et de normes a largement contribué à la diffusion de ce nouveau modèle d'architecture (5).

Sans rentrer dans les détails, ni s'attarder sur l'historique (6), on retiendra que la principale avancée du modèle intégré consiste à utiliser, dans le schéma de la table des entités spatiales, un champ BLOB (Binary Long Object) pour y stocker les géométries. Chaque enregistrement (ligne de la table) est donc capable de conserver toute l'information relative à une entité spatiale : à la fois l'identifiant géographique et les attributs thématiques dans des champs alphanumériques traditionnels, mais aussi les coordonnées fixant la géométrie de l'entité, stockées "en vrac" dans le champ BLOB (Fig. 5). Si on avait laissé la liberté à chaque concepteur de bases de données d'organiser à sa guise le champ BLOB, on aurait permis autant de solutions propriétaires que de concepteurs. Par conséquent, l'efficacité de la méthode n'est atteinte que grâce à une standardisation. Un consortium d'organisations publiques et privées - l'Open GIS/Geospatial Consortium (7) - s'est révélé particulièrement actif dans l'élaboration de standards, généralement relayés par des normes au niveau du comité technique de l'ISO responsable de l'information géographique (8). En pratique, les types de géométries, leurs propriétés, leurs relations et leurs référen-

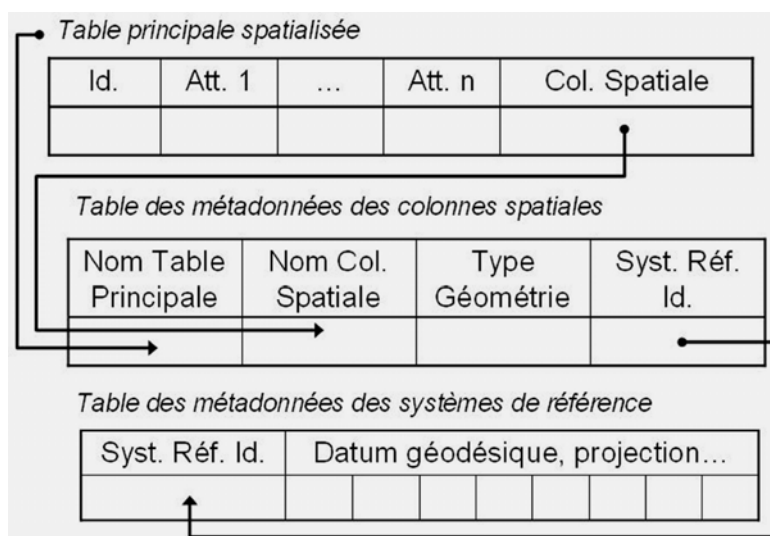


Fig. 5 : Exemple de spatialisation d'une table principale, et tables de métadonnées associées.
Id. : identifiant de l'entité géographique - Att. : attribut - Col. Spatiale : colonne spatiale (BLOB) - Syst. Réf. Id. : identifiant du système de référence géographique.

tiels spatiaux, susceptibles d'être conservés dans la base de données, sont décrits par des métadonnées, elles-mêmes stockées dans la base sous la forme de tables normalisées spécifiques. En outre, le langage transactionnel permettant d'agir sur la base de données, est enrichi de fonctionnalités propres aux informations géographiques. Cela permet d'assurer l'alimentation de la base, mais aussi son indexation (spatiale) et l'expression de requêtes spatiales. La spatialisation d'une base de données exploite ainsi une "extension spatiale" (parfois intitulée "cartouche spatiale") correspondant à :

- La définition d'une colonne spatiale dans la table principale des entités géographiques, pour y stocker les géométries ;
- La présence de tables de métadonnées spatiales décrivant la manière dont les données spatiales sont gérées ;
- L'ajout de fonctionnalités garantissant la gestion et l'exploitation des données spatiales.

De telles extensions spatiales sont aujourd'hui proposées par la plupart des SGBD, tant dans les logiciels commerciaux que dans les logiciels libres. Cependant, la migration d'une architecture hybride vers une architecture intégrée se heurte à une opération de *re-engineering* des bases de données qui n'est pas toujours simple et qui est susceptible de remettre en cause la conception du système d'information géographique de l'organisation hôte. D'autre part, quelles que soient les fonctionnalités spécifiques ajoutées au langage de requête, un SGBD spatial n'est pas en mesure d'effectuer tous les traitements attendus sur des données géographiques (fonctions avancées de cartographie et d'analyse spatiale, en particulier). Par conséquent, la présence d'une couche de logiciel supplémentaire, coiffant en quelque sorte le SGBD spatial, reste indispensable pour répondre aux besoins des organisations traitant de l'information géographique.

Systèmes d'information géographique

L'expression "système d'information géographique" (SIG) est souvent utilisée pour désigner le logiciel permettant la numérisation des données géographiques et leur exploitation par des traitements informatisés. Plus fondamentalement, le SIG n'est qu'un système d'information (SI) parmi d'autres au sein de l'organisation, au même titre que le SI relatif à la gestion du personnel de l'entreprise, ou son SI comptable. Cette notion de SI renvoie à l'analyse systémique des organisations (Fig. 6), dont le SI (ou les sous-SI dédiés) constitue(nt) l'un de ses composants essentiels, à côté du système opérant (SO) et du système de décision (SD). Ne gérant que de l'information, le SI est en théorie aisément informatisable : les données qui l'alimentent forment une base de données, et les traitements sur ces données sont confiés à un système de gestion de base de données (1).

Le SIG n'est donc qu'un SI spécialisé, dans la mesure où les informations concernées sont géographiques (géométries + attributs). Mais son informatisation est plus délicate, soit qu'elle passe par une solution hybride non assimilable aux solutions utilisées par les autres SI de l'organisation, soit qu'elle utilise l'extension spatiale d'un SGBD classique, tout en réclamant une couche supplémentaire de logiciel pour les traitements géographiques et/ou cartographiques.

Une autre différence fondamentale fait la spécificité du SIG.

Les informations alimentant un SI classique (non géographique) dans une organisation sont essentiellement engendrées par l'organisation elle-même (finances, personnel, stock, clientèle, etc.). Or, dans le cas d'une organisation exploitant un SIG (à titre d'exemples : une société de transport, un gestionnaire de réseau enterré, une société commerciale faisant du "géo-marketing", etc.), la grande majorité des informations géographiques ne sont pas créées par l'organisation, mais four-

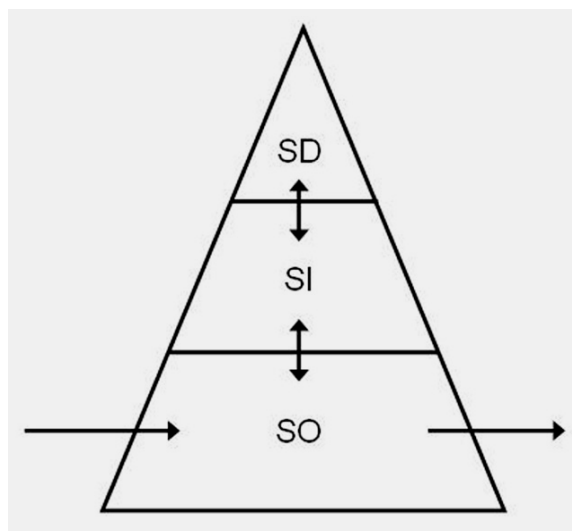


Fig. 6 : Les 3 systèmes modélisant une organisation :
 SO : système opérant, réalisant les "transformations" entre un flux entrant (ex. matières premières) et un flux sortant (ex. produits finis) – SI : système d'information : enregistrant qui fait quoi, où, quand et comment dans l'organisation – SD : système décisionnel, décidant de qui fait quoi, où, quand et comment dans l'organisation.

nies par un "producteur de données géographiques" externe. Bien entendu, chaque organisation peut être amenée à construire ses propres données spatiales, partielles et locales. Mais elle se basera toujours sur une information géographique de référence (voirie, parcellaire, adresses, etc.). Il s'agit donc d'acquérir ces informations de référence auprès d'un producteur spécialisé, capable de mettre en œuvre, selon des critères de qualité sévères, leur levé et leur mise à jour. Se pose ainsi le problème de la diffusion de l'information géographique, d'une part en termes d'adéquation entre les spécifications de producteurs et les besoins des utilisateurs et, d'autre part, en termes d'interopérabilité entre systèmes.

La carte imprimée a longtemps servi de support de référence aux utilisateurs. Avec la banalisation des appareils de numérisation, bon nombre d'entre eux ont été tentés d'enregistrer par leurs propres moyens l'information disponible sur les cartes. Il s'en est suivi une multitude de fichiers numériques de données "cartographiques" (et non pas géographiques), collectés de façon incohérente et redondante, sans validation ni mise à jour. La distribution, par les agences responsables de la cartographie, des fichiers numériques de première génération n'a pas significativement amélioré la situation. L'information disponible restait souvent sous forme cartographique, non adaptée – ni en qualité ni en quantité – aux besoins des utilisateurs, et sous une forme largement dictée par les formats propriétaires exploités par les logiciels relevant du modèle hybride. Ce n'est que récemment, à la suite de l'adoption par les agences productrices des architectures intégrées et de la standardisation qu'elles impliquent, que la problématique de la diffusion des données géographiques de référence a été correctement appréhendée.

Infrastructures de données géographiques

Les producteurs de données géographiques sont aujourd'hui en mesure de concevoir leurs bases de données autour de la notion d'objets géographiques, sous une forme non déterministe (traitements non a priori déterminés) et largement indépendante des supports physiques. De plus, selon les principes édictés par les instances internationales – telle l'U.E. dans le cadre du projet INSPIRE (9) – chaque producteur est invité à limiter l'acquisition, la tenue à jour, la gestion et la diffusion aux seules données pour lesquelles il a la responsabilité légale ou contractuelle. Il reste à informer les utilisateurs de l'offre existante en matière de données géographiques, afin que ces derniers sélectionnent, acquièrent et / ou exploi-

tent les données dont ils ont besoin. Cette "mutualisation" de l'information géographique peut profiter de la très large pénétration des réseaux informatiques auprès de tous les acteurs, tant producteurs qu'utilisateurs. Ensemble, les producteurs de données peuvent ainsi constituer, sur un territoire délimité, et éventuellement autour d'une thématique donnée, une infrastructure de données géographiques (10).

Dans un premier temps, il s'agit d'identifier les données géographiques disponibles et de décrire leurs spécifications. C'est aux producteurs de documenter les données qu'ils produisent, au moyen de métadonnées standardisées (norme 19115), qu'ils publieront sur le réseau dans un ou plusieurs dictionnaires accessibles aux moteurs de recherche (11). Dans la pratique, une recherche efficace réclame encore des utilisateurs qu'ils partagent avec les producteurs une "connaissance" du domaine documenté. Une mutualisation de ces connaissances demanderait la définition d'une ontologie géographique, toujours à faire, permettant d'envisager une recherche totalement exploratoire (12).

L'accès aux données proprement dites constitue une seconde étape. Une fois les sources identifiées et la qualité jugée adéquate, l'utilisateur peut souhaiter acquérir les données géographiques auprès du producteur. Cela peut se faire de plusieurs manières, y compris par téléchargement sur le réseau. Cette duplication des données, depuis le serveur du producteur, vers le poste client de l'utilisateur, présente cependant plusieurs contraintes :

- L'utilisateur doit disposer des capacités de stockage, gestion et traitement de l'information géographique, tant au niveau physique (matériel / logiciel), qu'au niveau des compétences et ressources humaines.
- L'utilisateur doit être en mesure d'alimenter sa propre base de données, ce qui réclame le respect de standards et de normes dans la structuration des données et les formats d'échange, tant au niveau du producteur qu'à celui de l'utilisateur.
- L'approche risque d'engendrer à court ou moyen terme, une désynchronisation de la tenue à jour des données entre le producteur et l'utilisateur, voire une incohérence entre les données si l'utilisateur exploite les données de plusieurs producteurs.

Une approche alternative consiste pour l'utilisateur à accéder aux données géographiques sur le site du producteur, et à traiter ces données "en ligne", c'est-à-dire sans les télécharger, le poste client ne visualisant que le résultat du traitement. Si le traitement demandé se ré-

sume à une visualisation cartographique d'une sélection de données, des solutions diverses sont disponibles, du simple "plug-in" téléchargeable sur le client, à l'exécution de procédures stockées via un port CGI (Common Gateway Interface) du serveur (13).

La généralisation d'une telle approche conduit à l'élaboration d'un système d'information géographique distribué, où les données et les traitements sont mutualisés par plusieurs producteurs distincts (14). Les producteurs de données géographiques participant à un tel SIG distribué, doivent toujours publier les métadonnées normalisées, mais en outre rendre leurs données accessibles à des "services Web" (modules de traitement de données exécutables en ligne) invoqués par les utilisateurs. D'un autre côté, les services offerts (généralement par des producteurs indépendants des producteurs de données) doivent également être documentés, afin d'être identifiés et sélectionnés par les utilisateurs. Au catalogue de métadonnées décrivant les données, s'ajoute donc un catalogue ou registre des services Web, l'ensemble devant être normalisé pour assurer l'interopérabilité des traitements sur les données. Plusieurs types de services Web traitant les données géographiques sont déjà standardisés ou en voie de standardisation par l'ISO (15) ; à titre d'exemples : Web Map Service – WMS – pour le traitement relativement passif de données cartographiques ; Web Feature Service – WFS – pour un traitement dynamique de données géographiques ; Web Coverage Service – WCS – pour des traitements portant sur des données en format maillé ; etc. La solution, aujourd'hui opérationnelle pour des traitements courants sur des données cartographiques (16), est amenée à se développer rapidement pour faciliter l'accès aux données géographiques de référence, à l'avantage de toutes les catégories d'utilisateurs (Fig. 7).

Conclusion

Depuis les premiers logiciels de cartographie assistée par ordinateur jusqu'aux infrastructures de données spatiales, la gestion numérique de

l'information géographique est allée dans le sens d'une structuration et d'une normalisation croissantes. Profitant de l'évolution des modèles de gestion de bases de données, en particulier des avancées apportées par le modèle objet-relationnel et les bases de données réparties,

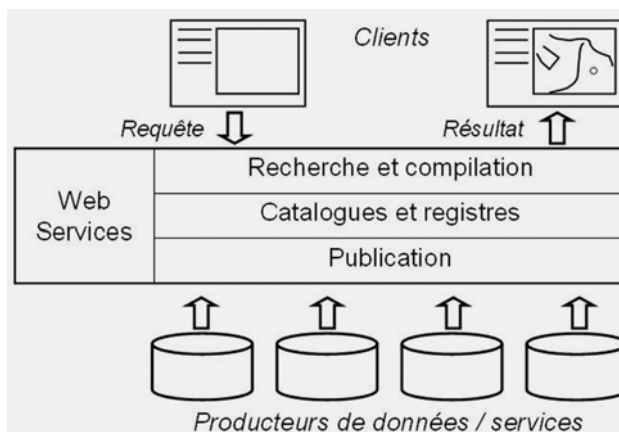


Fig. 7 : L'interface des services Web, entre producteurs et clients, dans une infrastructure de données spatiales.

l'information géographique apparaît désormais comme une ressource partageable, au bénéfice d'une communauté d'utilisateurs de plus en plus large. L'incorporation des fonctionnalités de spatialisation des bases de données dans les versions courantes des SGBD actuels en est témoin. Le fait que ces facilités apparaissent au moment où les systèmes de positionnement géographique et de navigation par satellite (GNSS, tels GPS et Galiléo) sont en passe de révolutionner le rapport de l'individu à l'espace, n'est évidemment pas une simple coïncidence.

Jean-Paul Donnay
 Université de Liège
 Allée du 6 Août, 17
 4000 Liège
 jp.donnay@ulg.ac.be

21 décembre 2005

Bibliographie

1. Pantazis, D. ; Donnay J.-P. *La conception de SIG. Méthode et formalisme*. Série Géomatique. Paris : Hermès, 1996, 343 p.
2. Priou, D. ; Le Gallic, J.-M. ; Pelle, S. ; Richard, D. *UML, Java et les données géographiques*. Collection ENSG-IGN. Paris : Hermès-Lavoisier, 2004, 2 volumes, 470 et 397 p.

3. Chaidron, C. ; Fourneau, D. ; Donnay, J.-P. *Assistance scientifique au projet "Seamless Geographic Information System – Reference (SGISR) de l'Institut Géographique National – Belgique (IGN-B)*. Rapport de recherche. Université de Liège, non publié, 2005.
4. Longley, P.A. ; Goodchild, M.F. ; Maguire, D.J. ; Rhind, D.W. *Geographic Information Systems and Science*. 2nd ed.. Chichester : Wiley, 2005, 517 p.
5. Shekhar, S. ; Chawla, S., *Spatial Databases: A Tour*. Upper Saddle River (N.J., USA) : Prentice Hall, 2003, 262 p.
6. Adam, N.A. ; Gangpadhyay, A. *Database issues in geographic information systems*. Norwell (MA, USA) : Kluwer, 1997, 136 p.
7. Open Geospatial Consortium (OGC). *OGC Reference Model*. OGC 03-040, version 0.1.3, 2003. <<http://www.opengeospatial.org/specs/?page=orm>> (consulté le 21 décembre 2005).
8. International Organization for Standardization. *ISO 19101: Geographic Information – Reference Model*. ISO/TC 211. Geneva : ISO, 2002. <<http://www.isotc211.org>> (consulté le 21 décembre 2005).
9. European Commission's Joint Research Centre. *INSPIRE: Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council establishing an infrastructure for spatial information in the Community*. Ispra : JRC, 2004. <<http://inspire.jrc.it>> (consulté le 21 décembre 2005).
10. Gittings B. (ed.). *Integrating Information Infrastructures with GI Technology*. Innovations in GIS series, vol. 6. London : Taylor & Francis, 1999, 280 p.
11. International Organization for Standardization. *ISO 19115: Geographic Information – Metadata*. ISO/TC 211. Geneva : ISO, 2003. <<http://www.isotc211.org>> (consulté le 21 décembre 2005).
12. Nogueras, J ; Zarazaga, F.J. ; Muro-Medrano, P.R. *Geographic Information Metadata for Spatial Data Infrastructures*. Berlin : Springer, 2005, 263 p.
13. Kraak, M.-J. ; Brown, A. *Web Cartography. Developments and prospects*. London : Taylor & Francis, 2001, 213 p.
14. Peng Z.R. & Tsou M.H. *Internet GIS*. Hoboken (N.J., USA) : Wiley, 2003, 679 p.
15. International Organization for Standardization. *ISO 19119: Geographic Information – Services*. ISO/TC 211. Geneva : ISO, 2005. <<http://www.isotc211.org>> (consulté le 21 décembre 2005).
16. International Organization for Standardization. *ISO 19128: Geographic Information – Web map server interface*. ISO/TC 211. Geneva : ISO, 2005. <<http://www.isotc211.org>> (consulté le 21 décembre 2005).