

La Génération Automatique des Informations Associées aux Résultats de l'Application d'un opérateur Thématique

MAINGUENAUD Michel
FRANCE TELECOM - Institut National des Télécommunications
9, rue Charles Fourier - 91 000 EVRY
email : maing@int-evry.fr

PORTIER-AUFAURE Marie-Aude
Université Paris VI - Laboratoire MASI
45, avenue des Etats-Unis - 78 000 VERSAILLES
email : portier@masi.ibp.fr

Résumé :

Dans cet article, nous définissons les extensions à introduire dans les modèles de données conceptuels permettant de générer automatiquement le modèle de données des objets résultant de l'application d'un opérateur thématique (inclusion, intersection, adjacence, vol d'oiseau). Ces extensions reposent sur la caractéristique de partageabilité d'un attribut factuel (propriété vraie quelque soit le sous-ensemble géométrique de l'objet), sur la sémantique de l'opérateur, et sur le concept d'héritage ascendant des formes géométriques.

Abstract :

This article presents the semantical informations to be added to a logical data model in order to build automatically a new data model after the application of a geometrical operator. The basic notion is the sharability of an attribute (the property is still true on a geometrical sub-set). The new data model depends on the sharability of an attribute, the semantics of an operator and the concept of an ascendent inheritance of the geometrical data.

Mot-clés :

Système d'Information Géographique, Sémantique des opérateurs géométriques, Langage de Manipulation de Données.

1. Introduction :

Les langages de manipulation de données des Systèmes d'Information Géographique (S.I.G.) peuvent se classer en trois grandes catégories : les langages de type SQL étendu (i.e. [2]), les langages de type visuel (i.e. [11][12][14][18]) et les langages de type navigationnel (i.e. [3]) (voir [4] pour une étude comparative de ces trois approches à partir d'un benchmark logique permettant d'évaluer leur pouvoir d'expression). Ces langages opèrent sur un modèle de données. Un modèle de données est défini par la transcription selon un modèle formel de la partie du monde réel géré par une application.

Si le processus de définition d'une requête est très largement étudié, la sémantique des résultats obtenus est quant à elle beaucoup moins claire (i.e. La sémantique de la clause select dans l'approche relationnel étendu). Une première ébauche apparaît dans le domaine des langages orienté statistique (i.e. [20]) mais uniquement sur des informations quantitatives. Dans cet article, nous proposons d'étendre la définition du modèle de données afin de déterminer les informations pertinentes devant être rattachées au résultat d'un opérateur spatial. Nous prenons comme support le langage Cigales . Cigales [14] [5] est un langage d'interrogation de S.I.G. basé sur une formulation graphique des requêtes. L'idée principale est de faire exprimer par l'utilisateur l'aspect du résultat qu'il désire voir apparaître sur l'écran. Une requête géographique peut être composée d'un ensemble d'opérations : par exemple, "retrouver toutes les routes qui traversent la partie commune entre la ville de Fougères et la forêt de Fougères". Cette requête implique deux opérations : l'intersection de la ville de Fougères avec la forêt de Fougères, et l'intersection des routes avec le résultat de la précédente opération. Cet exemple nous montre que certaines opérations dépendent du résultat d'autres opérations. Un langage d'interrogation dont la vocation est d'être convivial doit permettre de traiter un ensemble d'opérations définies dans une seule requête. Assurer cette fonctionnalité nécessite de pouvoir gérer le résultat associé à une opération et de définir le modèle de données associé aux objets qui sont ainsi créés. Dans l'exemple précédent, il faut déterminer quelles sont les caractéristiques associées à l'objet obtenu comme résultat de l'intersection de la ville de Fougères et de la forêt de Fougères.

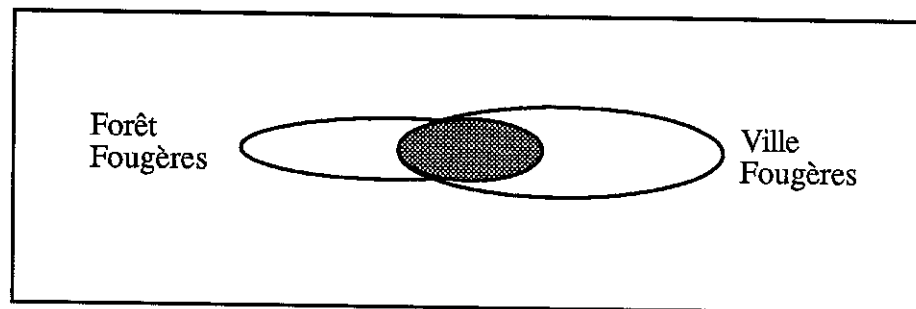


Figure 1

Le modèle de données associé à cet objet résultat de l'application de l'opération d'intersection est-il constitué de toutes les caractéristiques des objets participant à l'opération ou faut-il émettre des restrictions ? Ce papier tente de répondre à cette question. La première partie est consacrée à la définition du modèle de données : définition des objets, des opérateurs et introduction de nouveaux concepts sémantiques permettant de gérer le résultat d'une opération. La deuxième partie est consacrée à la définition du résultat associé à chaque opérateur. La conclusion dresse un bilan de la problématique et présente les directions de recherche futures.

2. Définitions :

2.1 La définition des objets :

Un objet géographique est composé d'informations factuelles (i.e. Nom d'une ville, population) et d'informations graphiques (i.e. Représentation spatiale, légende). Nous nous attachons dans ce paragraphe à définir ces deux types d'informations, et le principe d'héritage.

2.1.1. Les informations factuelles :

De nombreuses propositions de modèles géographiques existent dans la littérature [6] [7] [10] [15] [17]. L'objectif n'est pas de proposer un nouveau modèle de données géographiques mais plutôt de définir des extensions de ces modèles permettant de pouvoir gérer la sémantique des objets créés par l'application d'opérateurs. En effet, aucun des modèles cités ne tient compte de ce problème de sémantique.

Le modèle de données de Cigales est basé sur des concepts orientés objets classiques avec un héritage simple [1]. Le lecteur trouvera dans [21] une présentation de différents modèles disponibles dans la littérature. Les constructeurs utilisés sont l'agrégation, notée [], l'ensemble, noté {}, et la spécialisation, notée ->. Nous utilisons dans cet article les termes agrégation, ensemble et spécialisation dans leur sens informatique. Une agrégation consiste à regrouper différents objets en un objet de niveau "supérieur" (un objet, agrégation d'autres objets, est le produit cartésien de ces objets) [8]. Un ensemble permet de construire un objet à partir d'un ensemble (fini) d'objets. La spécialisation consiste à affiner un objet en un sous-objet. La spécialisation peut être soit explicite, soit dérivée (à l'aide d'un prédicat).

Ce modèle conceptuel sert de support descriptif afin de simplifier la présentation mais le choix de l'orienté objet ne sous-entend aucune implication quant au choix du modèle de données logique supporté par le Système de Gestion de Base de Données (SGBD) implantant cette description de base.

Le modèle de données associé à un objet simple O_i (noté MD (O_i)) est une agrégation d'attributs simples ou de fonctions qui représentent les données factuelles. Un attribut simple est typé et prend ses valeurs dans un domaine. La valeur d'un attribut simple peut être une valeur ou un ensemble de valeur. Une fonction est définie à partir des attributs présents dans le modèle. Pour simplifier nous modéliserons la fonction à l'aide d'un attribut simple portant le même nom. Un attribut simple est défini par :

$\langle \text{Nom} \rangle : \langle \text{Définition} \rangle$

où $\langle \text{Définition} \rangle$ est un domaine pour les attributs simples et une expression pour les fonctions.

Un objet simple est défini par :

Nom : [$\langle \text{att}_1 \rangle : \langle \text{D}_1 \rangle, \dots, \langle \text{att}_n \rangle : \langle \text{D}_n \rangle$]

où $\langle \text{att}_1 \rangle : \langle \text{D}_1 \rangle, \dots, \langle \text{att}_n \rangle : \langle \text{D}_n \rangle$ représente les attributs et leur domaine ou les fonctions et leur expression associés à un objet .

La figure 2 représente graphiquement des exemples d'objets. L'objet Lieu d'habitation est une agrégation des objets Ville et Village. Les objets Ville et Village possèdent des attributs simples. L'objet Forêt est une agrégation des objets Zone Boisée et Clairière.

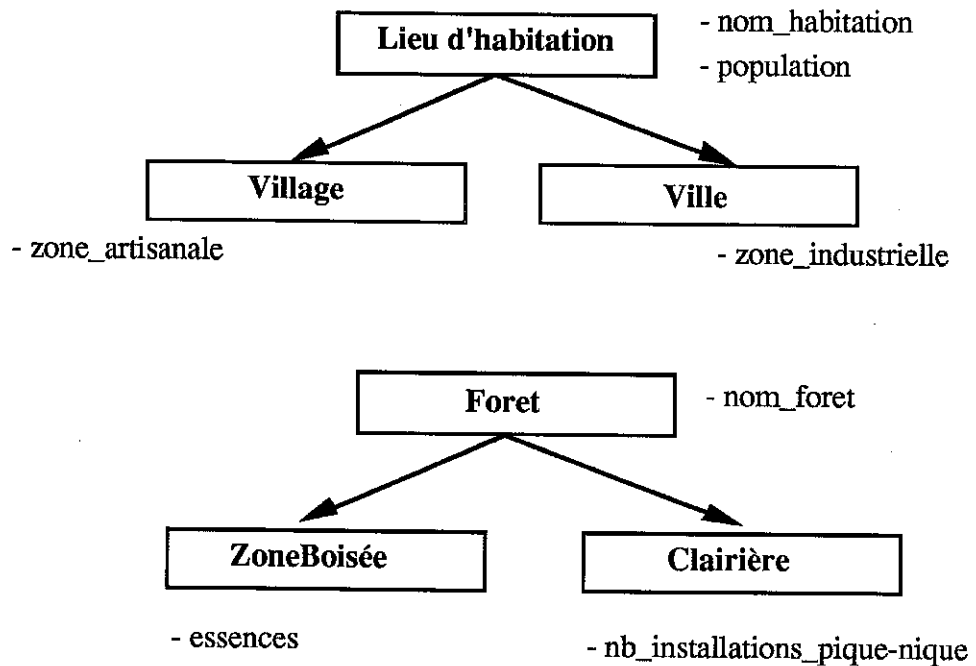


Figure 2

2.1.2. Les informations graphiques :

Un type abstrait de données [19] permet de définir un nouveau domaine de valeurs et un ensemble d'opérations applicables à ce domaine. Cette notion correspond au concept d'encapsulation dans les langages de programmation. Un type abstrait de données, nommé GEO, est défini pour modéliser les formes géométriques quelle que soit la représentation physique de l'objet (i.e. Point, ligne ou polygone) et sa représentation logique (i.e. Légende). La représentation physique peut donc être constituée d'un ensemble de représentation graphique (i.e. Un ensemble de lignes et de zones pour un même objet). Un attribut simple forme_géométrique de domaine GEO est présent pour tout objet n'étant pas défini comme une agrégation d'objet.

Nous définissons les fonctions applicables au type abstrait GEO. Ces opérations délivrent un résultat dans un domaine D avec $D = R+ \cup \perp$ où \perp représente le symbole de non-applicabilité.

distance	:	GEO x GEO	->	D
périmètre	:	GEO	->	D
surface	:	GEO	->	D
longueur	:	GEO	->	D

La définition d'un objet simple est donc étendue pour être définie par :

Nom : [<att1> : <D1>, ... , <attn> : <Dn>, forme_géométrique : GEO]
 où <att1> : <D1>, ... , <attn> : <Dn> représente les attributs et leur domaine ou les fonctions et leur expression associés à un objet .

Le modèle de données de Lieu d'habitation est représenté figure 3 :

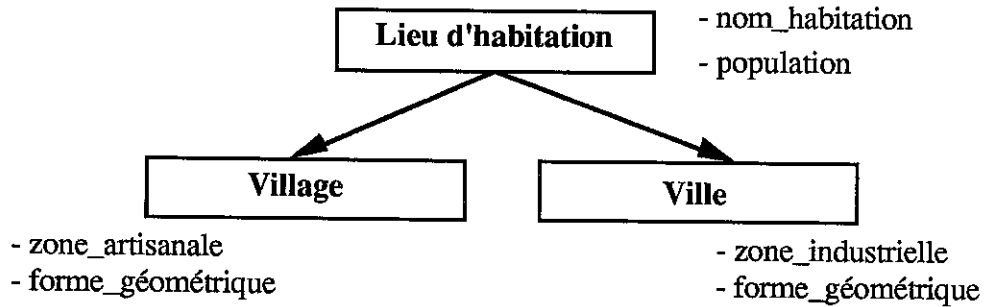


Figure 3

2.1.3 Le concept d'héritage :

Nous définissons deux types d'héritage pour les informations factuelles et pour les informations graphiques. L'héritage des informations factuelles est un héritage descendant classique que nous ne détaillerons pas. L'héritage des formes géométriques est un héritage ascendant, nommé héritage fonctionnel ascendant. Si nous reprenons l'exemple de la Forêt composée de Zones Boisées et de Clairières, la forme géométrique associée à l'objet Forêt est la fusion géométrique [7] récursive des formes géométriques des éléments agrégés, en l'occurrence Zones Boisées et Clairières. En fait, l'objet Forêt peut être assimilé à une vue, et n'est pas stocké dans la base. Cet objet existe uniquement au niveau du modèle. Sa construction est définie par agrégation de deux objets simples Zones Boisées et Clairière. Il existe une fonction définie de manière récursive et implicite pour la forme géométrique d'un objet agrégeant .

Soit O_0 un objet défini par l'agrégation des objets O_1, \dots, O_n , $O_0 : [O_1, \dots, O_n]$, G est le nom de la fonction permettant de déterminer la forme géométrique de O_0 :

$$G = \text{Fusion_géométrique} (O_1, \dots, O_n)$$

Une fonction peut être définie par exemple entre un attribut factuel et une fonction. Soit `Densité` une nouvelle fonction de Lieu d'habitation. `Densité` sera définie comme :

$$\text{Densité} = \text{population} / \text{surface} (\text{forme_géométrique})$$

La figure 4 représente le modèle de données dans sa version finale :

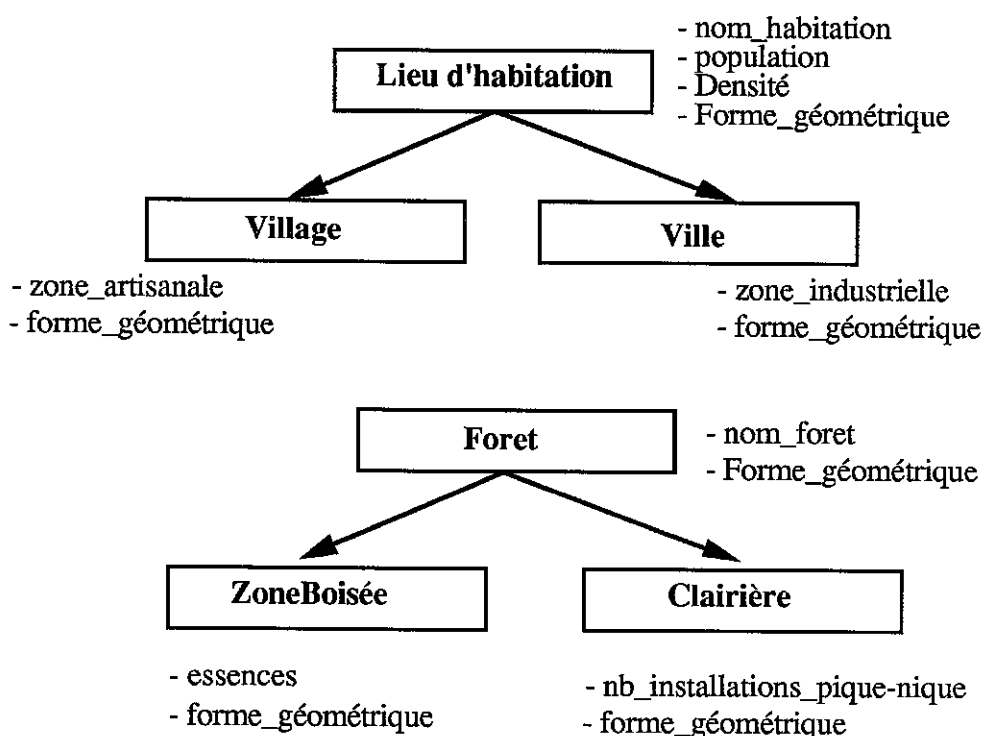


Figure 4

La partie suivante présente les opérateurs applicables sur des objets ainsi définis.

2.2. Définition des opérateurs :

Les opérateurs peuvent être définis soit sous forme de prédicats comme dans PSQL [16] soit sous forme de fonctions comme dans Gral [10].

Un prédicat rend un résultat booléen (la ville de Fougères et la forêt de Fougères ont une partie commune) sans créer d'objet résultat (en l'occurrence, la forme géométrique associée à l'intersection). La puissance d'expression des prédicats est donc extrêmement limitée. Un tel langage ne peut résoudre une requête du type : "retrouver toutes les routes qui traversent la zone commune entre la ville de Fougères et la forêt de Fougères". Ce type de langage ne correspond pas à des applications réelles.

Un opérateur rend un nouvel objet géométrique (la partie commune à la ville de Fougères et à la forêt de Fougères). Ces opérateurs permettent de créer de nouveaux objets sur lesquels de nouvelles opérations pourront être définies. Le pouvoir d'expression d'un tel langage est plus important que celui d'un langage basé sur les prédicats. Cigales est un langage basé sur les opérateurs.

2.2.1 Les opérateurs thématiques de Cigales :

Traditionnellement, les opérateurs sont divisés en deux catégories : les opérateurs thématiques et les opérateurs de gestion de réseaux. Cette distinction vient essentiellement du fait que les opérateurs réseaux travaillent sur une structure logique de graphes [13] (et donc d'un niveau d'abstraction plus élevé). La fusion des opérateurs thématiques et des opérateurs de gestion de réseau au sein d'un même langage est présentée dans [5]. Nous nous attachons à définir dans ce papier le comportement des opérateurs thématiques (inclusion, adjacence, vol d'oiseau et intersection). Tous les opérateurs sont présentés sous la forme de type abstrait [9] par : Objet x Objet -> Objet.

Soient O_1 et O_2 deux objets :

Inclusion :	$C(O_1, O_2) =$	O_1	si la forme géométrique de O_1 est incluse dans la forme géométrique de O_2
	$=$	\emptyset	sinon
Adjacence :	$\square(O_1, O_2) =$	O_k	O_k un objet dont la forme géométrique est l'adjacence des formes géométriques de O_1 et de O_2
	$=$	\emptyset	sinon
Vol d'oiseau :	$\sqrt{}(O_1, O_2) =$	O_k	O_k un objet dont la forme géométrique est la droite de distance minimum entre les formes géométriques de O_1 et de O_2
Intersection :	$\cap(O_1, O_2) =$	O_k	O_k un objet dont la forme géométrique est l'intersection géométrique classique entre les formes géométriques de O_1 et de O_2
	$=$	\emptyset	si les formes géométriques de O_1 et de O_2 ne s'intersectent pas

2.2.2 Exemple :

Considérons la requête suivante : "Quelles sont les zones boisées des villes ?" Pour simplifier la présentation nous retiendrons un formalisme de type relationnel étendu pour définir le modèle logique de données et de type SQL étendu aux fonctions géométriques pour définir le langage de manipulation.

Les relations associées aux objets Zone Boisée et Ville sont :

ZoneBoisée (nom-forêt, essences, forme_géométrique)
 Ville (nom-habitation, population, densité, zone-industrielle, forme_géométrique)

La requête "Quelles sont les zones boisées des villes ?" est exprimée par :

```
Select intersection (V.forme_géométrique, Z.forme_géométrique)
From ZoneBoisée Z, Ville V
```

L'opérateur intersection permet de définir un nouvel objet avec une forme géométrique associée. Cependant, SQL ne définit aucune restriction concernant les attributs apparaissant dans la clause "Select". Le nom de la ville, par exemple, peut être associé à l'objet résultant de l'intersection des objets Ville et Zone Boisée. Par contre, l'attribut population ne doit sémantiquement pas être retenu. La population s'applique, en effet, à l'objet Ville en entier et non pas à ses sous-parties géométriques. Le seul moyen de connaître la population de la partie qui intersecte serait de supposer une répartition homogène de la population dans la ville, ce qui n'est jamais le cas, et d'effectuer le calcul par rapport à la surface d'intersection. En SQL, il est tout à fait possible de définir population comme attribut de projection, ce qui conduirait à créer un objet (résultat de l'intersection) contenant des informations factuelles fausses.

2.2.3 Conclusion :

Il est donc souhaitable d'introduire une qualification de nature sémantique dans le modèle afin de pouvoir déterminer automatiquement les informations factuelles associées à un objet issu de l'application d'un opérateur. Deux solutions permettent de définir le modèle de données associé à un objet résultat :

- (1) établir une liste exhaustive de toutes les combinaisons possibles d'objets et d'opérateurs :
intersection de Ville et Zone Boisée définit un objet résultat de type T1,
inclusion de Ville et Zone Boisée définit un objet résultat de type T2 ...
- (2) définir des règles en fonction de la sémantique des attributs et des opérateurs.

La première approche est inacceptable suite au trop grand nombre d'objets existants dans la base. Nous avons retenu la deuxième approche. La section suivante présente les nouveaux concepts sémantiques introduits dans le modèle afin de déterminer automatiquement les attributs pertinents lors de l'application d'un opérateur.

2.3. Introduction de nouveaux concepts :

L'idée de base est de différencier les attributs dont la valeur est vraie en tout "point" de l'objet considéré de ceux qui ne sont vrai que pour l'objet dans l'intégralité de sa forme géométrique. Par exemple, le nom d'une ville est une propriété vraie en tout "point" de la ville. Si l'on crée un nouvel objet qui représente une partie de la ville, cette propriété reste valide pour ce nouvel objet. Ceci n'est pas vérifié pour l'attribut population comme nous l'avons mentionné dans la section précédente. Ceci nous a conduit à définir le concept de partageabilité d'un attribut.

Définition 1 :

Un attribut est dit de statut **fonction** si sa valeur est définie en fonction d'un ensemble d'attributs. Dans le cas contraire il est dit de statut **fixe**.

Définition 2 :

Un attribut de statut fixe du modèle de données d'un objet est dit d'état **partageable** s'il est vrai quel que soit le point de l'espace géométrique associé à l'objet considéré. Dans le cas contraire, il est dit d'état **non partageable**.

Définition 3 :

Un attribut de statut fonction est dit d'état **partageable** si tous les attributs qui composent sa définition sont d'état partageables. Dans le cas contraire, il est dit d'état **non partageable**.

La définition du modèle de données devient donc basée sur les principes d'attribut, de domaine, d'état et de statut. Nous généralisons la notation utilisée dans le modèle relationnel en posant la définition d'un attribut par :

$$\langle \text{Nom} \rangle : \langle \text{Domaine} \rangle \langle \text{Etat} \rangle \langle \text{Statut} \rangle$$

Pour simplifier nous noterons un objet :

$$\text{MD} (O_i) = [\text{att}_1, \dots, \text{att}_n]$$

où $\text{att}_1, \dots, \text{att}_n$ représentent les noms des attributs.

3. La gestion du résultat d'un opérateur :

Dans cette section, nous définissons, pour chaque opérateur thématique de Cigales, la sémantique associée au résultat de l'application de cet opérateur. Pour chaque opérateur, nous indiquons le modèle de données du résultat issu de l'application d'un opérateur sur les deux objets O_i et O_j .

3.1. Opérateur d'inclusion :

L'opérateur d'inclusion est un opérateur ne générant pas de nouvelle forme géométrique car la forme géométrique de l'objet résultat de l'inclusion est celle de l'objet inclus. Les informations factuelles peuvent être enrichies compte tenu du fait que l'objet inclus représente une sous-partie de l'objet incluant.

Soit MD (O_k) le modèle de données associé à l'objet résultat de l'opération $C(O_i, O_j)$:

$$MD(O_k) = [\langle att_1 \rangle, \dots, \langle att_n \rangle, \langle att_{n+1} \rangle, \dots, \langle att_{n+p} \rangle, \text{forme_géométrique}]$$

où $\langle att_1 \rangle, \dots, \langle att_n \rangle$ représente les attributs du modèle de données factuelles de O_i et $\langle att_{n+1} \rangle, \dots, \langle att_{n+p} \rangle$ représente les attributs du modèle de donnée de O_j ayant Etat = Partageable.

Exemple : Soit O_i un objet représentant une forêt et O_j , un objet représentant une ville. Considérons la requête : "Quelles sont les forêts incluses dans la ville de Fougères ?". La figure 5 est la représentation selon le langage Cigales de cette requête.

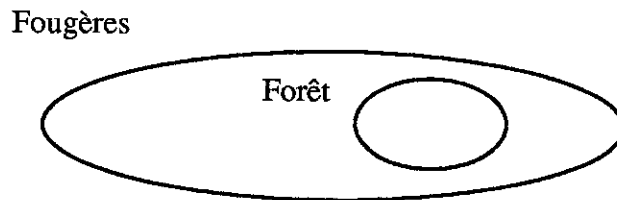


Figure 5

Le modèle de donnée de l'objet résultat de l'application de l'opérateur d'inclusion est le modèle de données de l'objet Forêt enrichi de l'attribut factuel nom_habitation de la ville (mais pas la population et par voie de conséquence, l'attribut densité n'est pas présent non plus, car dépendant de l'attribut population).

3.2. Opérateur d'adjacence :

Dans tous les cas d'adjacence, un nouvel objet est créé. Sa forme géométrique représente la partie adjacente des objets pris en compte par l'opérateur. L'objet résultat n'a pas d'information factuelle. En effet, si l'on considère l'adjacence d'une ville et d'une forêt, la partie adjacente est une limite fictive qui ne possède ni la sémantique d'une ville (i.e. Population) ni celle d'une forêt (i.e. Essence). Cependant, la forme géométrique fictive est utile pour certaines requêtes, notamment celles qui nécessitent une composition d'opérateurs. L'organisation des opérateurs sous la forme de type abstrait permet de faire varier les spécifications de l'opérateur d'adjacence en fonction de la précision requise par l'application (i.e. l'élimination du chemin bordant la forêt).

Soit MD (O_k) le modèle de données associé à l'objet O_k résultat de l'opération $\square(O_i, O_j)$:

$$MD(O_k) = [\text{forme_géométrique}]$$

Exemple : Soit O_i un objet représentant la ville de Fougères et O_j , un objet représentant la forêt de Fougères. Considérons la requête : "Quelles sont les endroits où la ville de Fougères est adjacente à la forêt de Fougère ?". La figure 6 est la représentation selon le langage Cigales de cette requête.

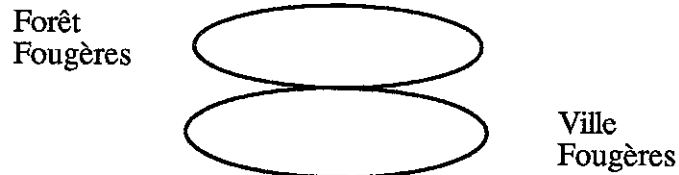


Figure 6

3.3. Opérateur de vol d'oiseau :

L'opérateur de vol d'oiseau crée une forme géométrique représentant une ligne fictive entre les formes géométriques des deux objets O_i et O_j . La géométrie de cette ligne fictive est créée et sert à effectuer des calculs de distance ou des requêtes topologiques. Elle représente la ligne droite de distance minimum. Compte tenu du caractère fictif de l'objet créé aucune information factuelle n'y est associée.

Soit $MD(O_k)$ le modèle de données associé à l'objet O_k résultat de l'opération $\sqrt{(O_i, O_j)}$:

$$MD(O_k) = [\text{forme_géométrique}]$$

Exemple : Soit O_i un objet représentant la ville de Fougère et O_j un objet représentant la forêt de Fougères. Considérons la requête : "Quelles sont les routes nationales qui passent entre la ville de Fougères et la forêt de Fougères ?". La figure 7 est la représentation selon le langage Cigales de cette requête.

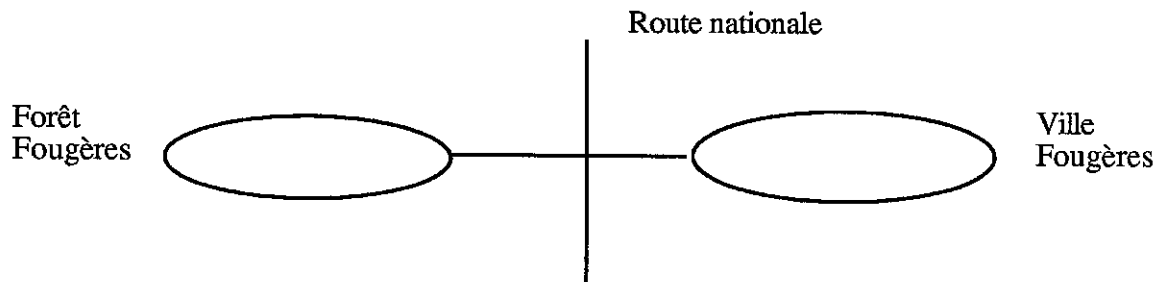


Figure 7

3.4. Opérateur d'intersection :

L'intersection de deux objets va créer un nouvel objet. Cet objet dispose d'une forme géométrique et d'un ensemble d'informations factuelles.

Soit $MD(O_k)$ le modèle de données associé à l'objet O_k résultat de l'opération $\cap(O_i, O_j)$:

$$MD(O_k) = [\langle \text{att}_1 \rangle, \dots, \langle \text{att}_n \rangle, \langle \text{att}_{n+1} \rangle, \dots, \langle \text{att}_{n+p} \rangle, \text{forme_géométrique}]$$

où $\langle \text{att}_1 \rangle, \dots, \langle \text{att}_n \rangle$ représente les attributs du modèle de données de O_i ayant Etat = Partageable et $\langle \text{att}_{n+1} \rangle, \dots, \langle \text{att}_{n+p} \rangle$ représente les attributs du modèle de données de O_j ayant Etat = Partageable.

Exemple : Soit O_i un objet représentant la ville de Fougères et O_j un objet représentant une forêt. Considérons la requête : "Quelles sont les parties boisées de la ville de Fougères ?". La figure 8 est la représentation selon le langage Cigales de cette requête.

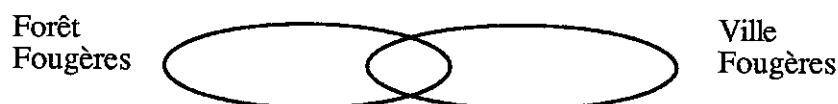


Figure 8

L'objet résultat de l'application de l'opération d'intersection a un modèle de données factuelles constitué par les attributs `nom_habitation` de Ville, `nom_forêt` de Forêt et `forme_géométrique`.

4. Conclusion :

Dans ce papier, nous avons étudié les problèmes de sémantique générés par le fait que les opérateurs thématiques créent de nouveaux objets. Les modèles existant se préoccupent des formes géométriques des nouveaux objets mais pas des informations factuelles associées. Nous avons vu par des exemples que certaines informations factuelles n'étaient pas valides pour les objets créés comme résultat d'un opérateur. Ceci nous a conduit à définir un nouveau concept, celui de partageabilité d'un attribut, permettant d'enrichir les modèles de données géographiques existants. Nous avons ensuite étudié, pour chaque opérateur thématique de Cigales, la sémantique associée au résultat d'un opérateur. Il appartient au concepteur d'une application géographique de définir quelles sont les propriétés d'un objet qui sont partageables.

La définition complète et formelle de la sémantique du résultat d'une requête reste cependant un problème ouvert pour les langages de manipulation de données.

REFERENCES :

- [1] Bancilhon F. : Object-Oriented Database Systems, Proc. of the 7th ACM symp. on the Principles of Database Systems, Austin, Texas, USA, 21-23 Mars 1988
- [2] Bennis K., David B., Quilio I., Viemont Y. : GéoTropics : Database Support Alternatives for Cartographic Applications, 4th Int. Symposium on Spatial Data Handling, Zurich, Suisse, 23-27 Juillet 1990
- [3] Boursier P. : Hypermedia-based geographic information handling, 2nd European Conference on Geographical Information System (EGIS 91), Bruxelles, Belgique, 2-5 Avril 1991
- [4] Boursier P., Mainguenaud M. : Spatial Query Languages : Extended SQL vs. Visual languages vs. Hypermaps, 5th Int. Symp. on Spatial Data Handling, Charleston - Caroline du Sud, USA, 3-7 Août 1992
- [5] Calcinelli D., Mainguenaud M. : The Management of the Ambiguities in a Graphical Query Language for GIS, 2nd Symposium on Large Spatial Databases, Lecture Notes in Computer Science (LNCS) n°525, Zurich, Suisse, 28-30 Août 1991
- [6] Damier C., Defude B., Le prototype Omega : Un SGBD extensible pour les applications Géographiques, Revue des Sciences de l'Information Géographique et de l'Analyse Spatiale, Vol. n° 1, n°1, 1991
- [7] David B. : Modélisation, représentation et gestion d'information géographique, une approche en relationnel étendu, Thèse de Doctorat de l'Université Paris VI, Juillet 1991
- [8] Delobel C., Lecluse C., Richard P. : Bases de Données des systèmes relationnels aux systèmes à objets, IIA Interédition Ed., 1991
- [9] Egenhofer M. : A Formal Definition of Binary Topological Relationships, 3rd Int. Conf. on Foundations Of Data Organization and Algorithms, Paris, France, Juin 1989
- [10] Güting R.H., Gral : An Extensible Relational Database for Geometric Applications, Proc. of the VLDB Conf., Amsterdam, Pays-Bas, 22-25 Août 1989
- [11] Kim HY and al : PICASSO : A Graphical Query Language, Software-Practice and Experience, Vol 18(3), 169-203, Mars 1988, Ed. J. Wiley and Sons Ltd
- [12] Kirby KC, Pazner M. : Graphic Map Algebra, 4th Int. Symposium on Spatial Data Handling, Zurich, Suisse, 23-27 Juillet 1990
- [13] Mainguenaud M., Un langage visuel de Manipulation de Graphes : Application aux Bases de Données Géographiques, Thèse de Doctorat de l'Université Paris VI, Juin 1989
- [14] Mainguenaud M., Portier M.A. : Cigales : A Graphical Query Language for Geographical Information Systems, 4th Int. Symposium on Spatial Data Handling, Zurich, Suisse, 23-27 Juillet 1990
- [15] Manola F., Orenstein J.A. : Toward a General Spatial Data Model for an Object Oriented Data Base Management System, Proc. of the 12th VLDB Conference, Kyoto, Japon, 25-28 Août 1986
- [16] Roussopoulos N., Faloutsos C., Sellis T. : An Efficient Pictorial Data Base System for PSQL, IEEE T.O.S.E., Vol 14, n° 5, Mai 1988

- [17] Scholl M., Voisard A. : Thematic Map Modelling, 1er Symp. on Large Spatial Data Bases, LNCS n°274, Santa-Barbara, USA, Juillet 1989
- [18] Shu N.C. : Visual Programming, Van Nostrand Reinhold Cie, New York, 1988
- [19] Stemple D, Sheard T, Bunker R : Abstract Data Types in Databases : Specification, Manipulation and Access, Proc. of Int. Conf. on Data Engeneering, Los Angeles, USA, 5-7 Février 1986
- [20] Svensson P., Huang Z. : Geo-Sal : A Query Language for Spatial Data Analysis, 2nd Symposium on Large Spatial Databases, LNCS n°525, Zurich, Suisse, Août 1991
- [21] Zdonic S., D. Maier (Eds), Readings in Object-Oriented Database System, Morgan-Kaufmann, 1989