

VERS UN LANGAGE DE L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

JEANSOULIN R.¹

ABSTRACT

Pour l'expression et la modélisation des phénomènes spatiaux, on gagnerait beaucoup à n'avoir qu'un seul ensemble d'opérateurs pour les données spatialisées, et par suite un seul langage. En particulier, on oppose souvent les modes «vecteur» et «raster» lorsqu'on utilise à la fois des images et de tracés. De même, on ne voit guère d'analogie possible entre un SGBD et un système de traitement d'image. Nous étudions dans cet exposé l'apport de l'approche "Orientée Objet" dans la représentation et la manipulation de données spatiales multisources. En particulier, on montre l'équivalence des notions d'objet spatial, de variable spatiale échantillonnée et de table relationnelle spatiale. On termine avec l'utilisation d'un "SQL-topologique" comme langage de requêtes spatialisées.

1 MODELES DE DONNEES

1.1 Diversité des représentations

On parle d'information spatiale si une information de nature alphanumérique est localisée dans l'espace. C'est le couple (contenu, région). Il y a au moins trois approches simples de modélisation de ce couple d'information:

1.1.1 L'approche objet

L'objet spatial est pris comme un tout. Pour les objets naturels, le contenu définit le contenant: par exemple une forêt définit ses propres limites. Pour les objets culturels, le contenu est recueilli

¹L.R.P. - tour 66 - Jussieu - 75252 PARIS cedex 05 - France - tel: 43.54.69.73 fax: 43.54.71.70- mail: jeansoul@inria.inria.fr

dans des limites artificielles: par exemple la population est compté à l'intérieur des frontières d'un pays.

La représentation "orientée objet" est caractérisée par: l'association d'une structure de données complexe à une identité unique d'objet, méthodes opératoires attachées à cet objet, les propriétés d'héritage et de surcharge entre les méthodes d'objets dérivés les uns des autres par spécialisation de leur structure.

Notation:

$$O_{id} \stackrel{def}{=} [a,r],$$

avec $a \in A_{id}$ (contenu), $r \in R$ (contenant), $id \in ID$ (index). R est l'ensemble des parties de R^2 voir 2.2.

Nommons "carte-objet" un ensemble de tels objets:

$$M_{obj} \stackrel{def}{=} \{ O_{id} \mid id \in ID \}$$

Notons que R étant obligatoire, on peut dire que A_{id} est le type de O_{id} . Bien sur, plusieurs O_{id} peuvent avoir le même type A_{id} . Si dans une même "carte-objet" ces types sont tous égaux à A , on dit que cet ensemble est homogène sur A et on le note $M_{obj}(A)$.

1.1.2 L'approche relationnelle

C'est une approche collectiviste alors que la précédente était individualiste. Au sens ensembliste une relation est une partie du produit cartésien $A \times R$ (contenu \times contenant). De nouveau, à cause du caractère obligatoire de R , le type A détermine complètement la relation, c'est son schéma.

Nommons "carte-relation" une telle relation, avec son extension, c'est à dire l'ensemble des tuples qui lui appartiennent:

$$M_{rel}(A) \stackrel{def}{=} \{ [a,r], a \in A, r \in R \}$$

Dans ce cas les tuples ne sont pas individualisés, mais on peut les sélectionner par leur contenu.

1.1.3 L'approche analytique

Considérons maintenant l'information spatiale non plus comme un couple, mais comme une propriété de l'espace. On peut alors la représenter par une fonction analytique: $f_A : \mathbb{R}^2 \rightarrow A$

Nommons "carte-analytique" sur le domaine A la connaissance d'une telle fonction analytique:

$$M_{ana}(A) \stackrel{def}{=} f_A$$

Trois remarques:

-c'est une définition extensive de l'information spatiale:

$$\forall (x,y) \in \mathbb{R}^2, \exists a \in A, f_A(x,y) = a$$

- les contenants (régions) sont implicites:

$$\forall a \in A, r = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2, f_A(x,y) = a\}, r \in \mathcal{R}$$

- sur l'espace continu \mathbb{R}^2 , il faut restreindre tout "signal" f_A à une bande passante finie, par définition (ex.: on ne compte pas la population par mètre carré), ou par échantillonnage (ex.: modèle numérique de terrain). De même, le domaine d'un type A quelconque doit être fini.

1.2 Démonstration de l'équivalence des approches

Essayons de trouver les conditions de l'équivalence de ces trois approches, et les moyens de passer de l'une à l'autre:

1. de l'objet à la relation:

une "carte-relation" est un ensemble d'objets du même type, ce qui est la définition d'une "carte-objet" homogène sur A:

$$if(\forall id \in ID, A_{id} = A)$$

$$then M_{rel}(A) = \{O_{id}, id \in ID \text{ and } O_{id}.a \in A\} = M_{obj}(A)$$

2. de la relation à l'objet:

un objet est un tuple identifié d'une "carte-relation", l'identifiant unique pouvant être: $id = (M, n)$, avec $M =$ nom de la relation, et $n =$ numéro de séquence du tuple, sous l'hypothèse que ces numéros ne changeront plus (pas de tri sur la relation), sinon il faut introduire explicitement ce numéro dans le schéma: $AxIDxR$:

if $M_{rel}(A) = \{[a, id, r]\}$ *then* $O_{id} = [a, r]$ (*id unique*)

3. de l'objet ou de la relation à la fonction analytique:

supposons que pour une $M_{rel}(A)$ ou une $M_{obj}(A)$ homogène, deux régions soient toujours disjointes. En d'autres termes, un point (x, y) de l'espace appartient au plus à un seul objet de type A. On peut parler de non-ubiquité vis à vis du type A. Dans le jargon relationnel on parle de dépendance fonctionnelle de la région sur son contenu. Avec cette contrainte, plus l'existence d'une valeur nulle (par défaut $a = \text{null}$), on peut construire une fonction constante par morceaux f_A à partir de $M_{rel}(A)$:

$\forall (x, y) \in R^2$, *if* $\exists (a, r) \in AxR, [a, r] \in M_{rel}(A)$ *then* $f_A(x, y) = a$

else $f_A(x, y) = \text{null}$

4. de la fonction analytique échantillonnée à l'objet ou relation:

dans le cas échantillonné il est toujours possible, bien que fastidieux, de calculer les régions:

$r(a) = \{(x, y) \in R^2, f_A(x, y) = a\}, \forall a \in A$ ($a \neq \text{null}$)

Dans le pire des cas, $r(a)$ est réduit à un intervalle d'échantillonnage de R^2 . Alors:

$M_{rel}(A) = \{[a, r(a)]\}$

Heureusement, pour de nombreuses opérations (voir 2.2), le calcul explicite des régions est inutile.

1.3 Information spatiale bien conditionnée

Nous parlerons d'information spatiale bien conditionnée, ou tout simplement de carte, si les équivalences ci-dessus peuvent être appliquées, c'est à dire si les hypothèses suivantes sont vérifiées:

unicité: une carte $M(A)$ est définie par un domaine unique A , que ce soit son type, son schéma ou le domaine de définition de sa fonction.

non ubiçuité: un point (x, y) de l'espace ne peut prendre deux valeurs différentes sur un même domaine A , ou encore, ne peut appartenir à deux tuples d'une même carte $M(A)$.

- Exemples:

relation "plan d'occupation du sol" de la BD carto de l'IGN:

POS=[num.parcelle, code landuse, région].

relation "communications terre et air de la BDcarto de l'IGN:

CTA = [num. tronçon, largeur, code fonction, revêtement,
région]

relation "image multispectrale XS" de Spot Image:

SPOTXS = [green, red, nearir, région].

2 OUTILS ALGEBRIQUES POUR UN LANGAGE SPATIAL

2.1 Les cartes algébriques

Considérons l'ensemble des cartes:

$$M = \{M(A) = M_{obj}(A) = M_{rel}(A) = M_{ana}(A), A \in \mathcal{R}\}$$

et cherchons à construire un langage logique pour les mots de M . Un moyen rudimentaire, mais non ambigu, d'y parvenir, est de construire une algèbre et d'appeler phrase toute expression algébrique.

La forme relationnelle de $M(A)$ nous fait penser aux cinq opérations de l'algèbre relationnelle: union, différence, produit cartésien, sélection, projection.

Des travaux précédents ([Scholl 89],[Jeansoulin 89c]) ont montré comment redéfinir la sémantique de ces opérations pour former une vraie algèbre de M.

Nous rappelons ici la définition des opérations du sous ensemble sélection, projection, jointure, qui est à la base de toute émulation du langage SQL:

$$\mathbf{M-sélection:} \sigma_{A_k=a_k \text{ and } R\theta r}^{(M(A))} = r\sigma_{\Phi(R\theta r)}^{(R\sigma_{A_k=a_k}^{(M(A))})}$$

$$\mathbf{M-projection :} \pi_{A_k}^{(M(A))} = M(A_k)$$

$$\mathbf{M-jointure:} (M(A)) \otimes_{\theta} (M(B)) = \sigma_{\Phi(R_{M(A)}\theta R_{M(B)})}^{(M(A \times B))}$$

Notes complémentaires:

- soit $A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$
- l'opérateur $r\sigma()$ est la sélection relationnelle,
- le prédicat $\Phi(R) \stackrel{\text{def}}{=} (R \neq \emptyset)$
- l'opérateur générique θ est décrit ci-dessous. Par la suite nous noterons souvent A au lieu de M(A).

2.2 Opérations sur les régions

Toute opération de l'algèbre topologique s'applique sur:

$R = P(R^2)$ (ensemble des parties de R^2):

\cup (union), \cap (intersection), $or-$ (différence).

mais il est nécessaire d'indiquer si on les applique aux ouverts (notés O(r)) ou aux bordures (notées B(r)). C'est en fonction de la sémantique des cartes impliquées dans la M-opération, que l'on peut choisir, au niveau région le bon prédicat à vérifier, à l'intérieur du "minimal set of mutually excluding topological relationships" (d'après [Egenhofer 89]):

disjoint, meet, overlap, inside, contains, covers, coveredby, equal.

Alors, l'opérateur générique O sera l'un de ces trois:

$$r_1 \theta_{oo} r_2 = O(r_1) \cap O(r_2)$$

$$r_1 \theta_{bb} r_2 = B(r_1) \cap B(r_2)$$

$$r_1 \theta_{ob} r_2 = O(r_1) \cap B(r_2)$$

Attention: le dernier est non commutatif.

Types de régions:

Jusqu'à présent nous n'avons pas défini en détail la nature des régions. Il peut s'agir de: zones, lignes ou points. Ce niveau de détail n'était pas nécessaire pour la construction de l'algèbre des cartes, et le formalisme est resté plus général. Seule la sémantique des cartes doit être en rapport avec la nature des régions, pas le modèle de données.

Exemple: pour les cartes présentées en 1.3:

relation POS: région= zone,

relation CTA: région= ligne,

relation SPOTXS: région= rang du pixel qui est une zone.

2.3 Opérations sur les cartes (les 5A)

La question est maintenant de savoir si les M-opérations de l'algèbre des cartes permettent une décomposition de toute requête d'un utilisateur sur un ensemble de cartes. Des travaux précédents ([Dueker 87],[Jeansoulin 89b]) ont permis de classer les requêtes possibles dans le groupe des 5A: Acquisition, Archivage, Accès, Analyse et Affichage.

3 REALISATION

3.1 Acquisition et archivage

Ces deux opérations ne relèvent pas directement du langage de manipulation des données. D'importants travaux les concernent, qui convergent aujourd'hui vers un modèle de données topologique appelé DIGEST [CNIG 90]. Ce modèle comporte essentiellement trois couches:

faces: ouverts de \mathbb{R}^2 à 2 dimensions,

arcs: ouverts de \mathbb{R}^2 à 1 dimension, ou bordures de faces,

noeuds: extrémités d'arcs ou points isolés.

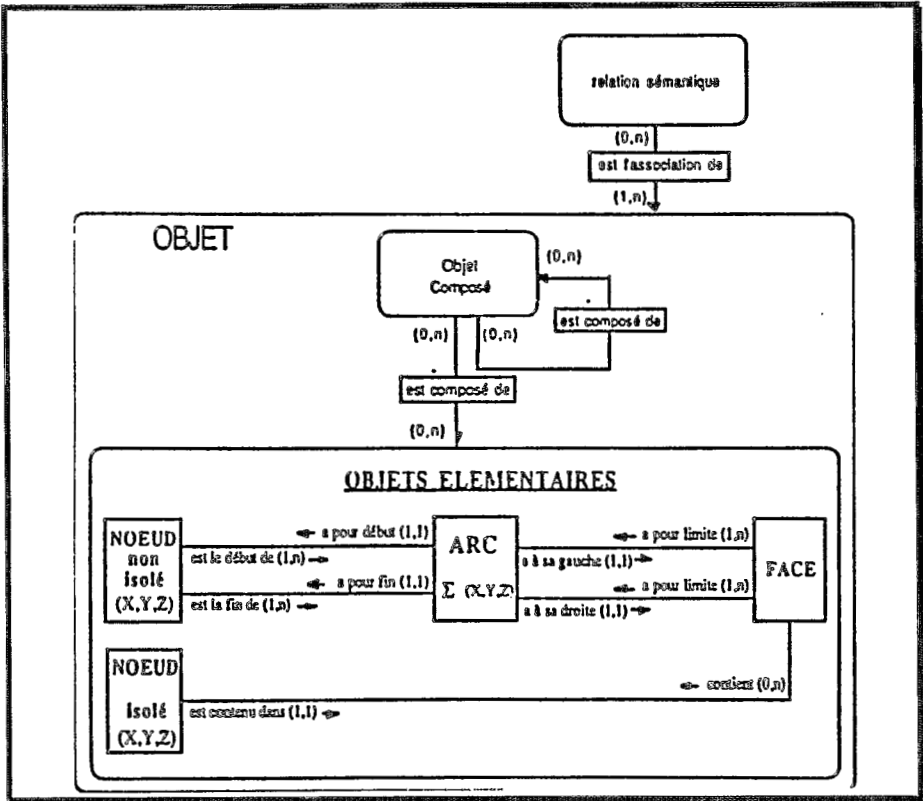


Figure 1: Modèle Conceptuel de DIGEST.

Toute face ayant une bordure, la définition topologique des données est complète si on a les arcs et les relations de contiguïté des arcs constituant la bordure d'une même face. Les noeuds peuvent être des arcs de longueur nulle.

Ce modèle est celui de la BDcarto de l'IGN dont nous voyons un extrait en illustration des possibilités de ce langage (dernière page).

3.2 Accès

Les modèles de données choisis étant algébriques, le seul problème pour cette opération est celui de la performance. Pour fixer les idées (de grandeur), reprenons l'exemple de la BDcarto. L'équivalent

numérique d'une feuille au 1/50000ème comporte environ: 100000 points, 10000 arcs, 2000 faces.

Les deux moyens d'améliorer les performances sont: l'utilisations d'index 2D (R-trees ou assimilés), et la pré-compilation des relations dérivées (par exemple avoir la bordure externe comme un seul arc). Nous ne détaillons pas ces problèmes dans ce papier.

3.3 Analyse

C'est ici que nous attendons le principal bénéfice de la construction de la M-algèbre. Illustrons-le sur certaines requêtes typiques:

3.3.1 Jointure d'intersection

Utilise la M-jointure avec $\theta_{oo} = O() \cap O()$:

$$(M(A)) \overset{cross}{\otimes} (M(B)) = \sigma_{\Phi(O(R_{M(A)}) \cap O(R_{M(B)}))} (M(A \times B))$$

produit la carte des zones communes (non vides) entre les objets de A et ceux de B, i.e.: régions où les deux informations sont connues.

exemple 3.3.1:

$$A = \sigma_{landuse = urban \ || \ periurban(POS)'}$$

$$B = CTA,$$

$$M_{voieurbaine} = (A) \overset{cross}{\otimes} (B)$$

produit la carte des tronçons qui traversent des zones urbaines ou péri-urbaines.

Traduction SQL:

```
Select B.* From A, B
```

```
Where (A.landuse = urban||periurban) and (A.r  $\theta_{oo}$  B.r)
```

3.3.2 Jointure d'adjacence

Utilise la M-jointure avec $\theta_{bb} = B0 \cap B0$

$$(M(A)) \overset{\text{border}}{\otimes} (M(B)) = \sigma_{\Phi(B(R_{M(A)}) \cap B(R_{M(B)}))} (M(A \times B))$$

aproduit la carte des frontières (éventuelles) entre les objets de A et ceux de B, associant les informations de part et d'autre.

exemple 3.3.2:

$$A = \sigma_{\text{landuse} = \text{urban or perturban(POS)'}}$$

$$B = \sigma_{\text{landuse} = \text{forest(POS)'}}$$

$$M_{\text{adj}} = (A \text{ border } B) :$$

zones forestières cotoyant l'urbain

Traduction SQL:

```
Select A.*, B.* From A, B
```

```
Where (A.landuse = urban) and (B.landuse = forest) and (A.r  $\theta_{bb}$  B.r)
```

3.3.3 Traitement d'image

Toute image numérique est une carte dans l'approche analytique (voir 1.1.3), c'est à dire M_{ana} (A). De nombreux traitements d'image peuvent être ré-écrits dans le langage des M-operations:

exemple 3.3.3(a): extraction de classes radiométriques:

$$M_{\text{eau}} = \sigma_{\text{nearir} \leq 40} (\text{SPOTXS})$$

classe de réflectance de l'eau (proche infrarouge faible).

```
Select * From SPOTXS Where (nearir  $\leq$  40)
```

exemple 3.3.3(b): détection de contour:

$$M_{rive} = M_{eau} \otimes^{border} (\sigma_{nearir} \leq 40^{(SPOTXS)})$$

donne la limite entre l'eau et le reste (les rives).

Select milieu(r1, r2) From SPOTXS, SPOTXS

Where (nearir₁ ≤ 40) and (nearir₂ > 40) and (A.r₁ θ_{bb} B.r₂)

r₁ donne le rang du pixel, et l'opérateur θ_{bb} doit indiquer si les deux rangs sont adjacents: abs(r₁ - r₂) = 1.

3.4 Affichage

Cette opération est triviale dans les bases de données alphanumériques. Par contre elle est cruciale en cartographie et compliquée du fait: des deux dimensions: le support d'affichage sert alors d'espace de projection (attention aux transformations de coordonnées, apr exemple le zoom), de la couleur: qui est presque toujours préférée à l'affichage textuel des valeurs. Se pose alors le problème de l'affectation des couleurs. Nous proposons la réponse suivante:

Histogramme Généralisé: dans le cas où la carte est une image, l'utilisation de l'histogramme pour le choix des couleurs d'affichage est bien connu (linéarisation, égalisation, seuillage ...). Il suffit donc de construire un histogramme quel que soit le type de la carte. Pour un attribut donné du schéma, on calcule le domaine de variation, puis on normalise ce domaine sur un intervalle fixé, par exemple [0, 255] afin d'avoir toujours le même genre d'histogramme à traiter. On affecte enfin les valeurs aux couleurs par table de codage, au moment de l'affichage: par exemple, on notera SPOTXS.nearir l'affichage des pixels de SPOTXS avec calcul de l'histogramme sur nearir pour la couleur, et CTA.largeur l'affichage des lignes de CTA avec calcul sur largeur pour l'épaisseur.

REFERENCES

- [Dueker 87] K.J.Dueker: Geographic Information Systems and Computer Aided Mapping, 1987, *Journal of the American Planning Association*, 5 ~
- [Scholl 89] M.Scholl & A.Voisard: Modelisation of Geographic Databases, application to Thematic Maps, *ICGIS, Santa Barbara, august 1989*.

- [Egenhofer 89] M.J.Egenhofer: A Formal Definition of Binary Topological Relationships. *June 1989, 3rd Intl. Conf. on Foundations Of Data Organization, Paris.*
- [Jeansoulin 89a] Robert Jeansoulin: GOODIES: Geographic Object Oriented Data Information and Edition System. *Urban Data Management Symposium (UDMS-89J) Lisbon, PORTUGAL, may 1989.*
- [Jeansoulin 89b] Robert Jeansoulin: Le Concept Objet et les Systèmes d'Information Géographique. *2eme Colloque SIG'eo (SIGEO 89), Rouen, oct. 1989.*
- [Jeansoulin 89c] Robert Jeansoulin: Le S.I.G. Orienté Objet GOODIES. *7eme Congrès AFCET-RFIA, Paris, nov. 1989.*
- [CNIG 90] JP.Chretien, J.Flochel, JY.Prioux: Elaboration d'une méthodologie de référence, analyse comparative des modèles internationaux. *3eme Journée Nationale de la Recherche Géographique (CNIG), 22 mai 1990, Paris.*



Figure 2 : Affichage en zoom 4 de SPOTX. nearir et de CTA.largeur

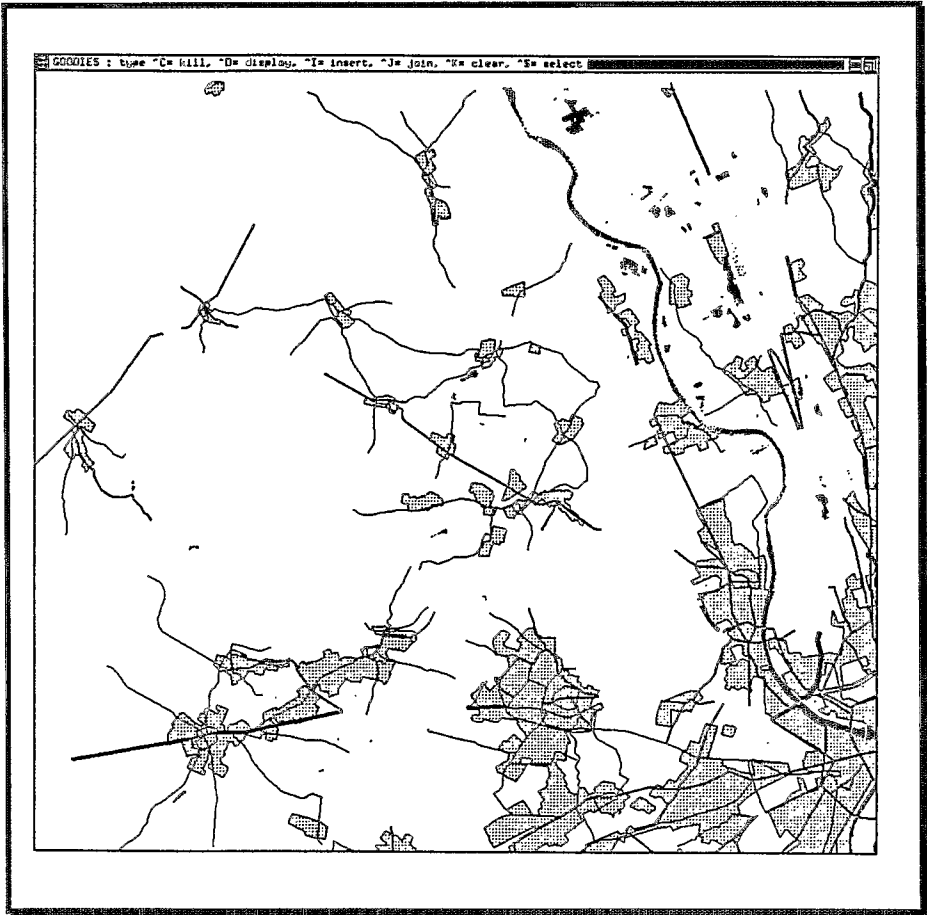


Figure 3 : Affichage de M_{voie urbaine}-largeur de M_{eau}-nearir