

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE CONSTANTINE
INSTITUT D'INFORMATIQUE

THESE

Payé

Présentée le 3 décembre 1997
pour l'obtention du
Diplôme de Magister en Informatique

par

M^{me} ALLAS née MOKRANI Faouzia

Thème

**CONCEPTION D'UNE BASE DE CONNAISSANCES
CARTOGRAPHIQUES & MANIPULATION
DES OBJETS URBAINS**

devant le jury :

Président :	M. BOUFAIDA	M.C	Université de constantine
Rapporteur	M. K. KHOLLADI	C.C	Université de constantine
Examineurs	C. BATOUCHE	M.C	Université de constantine
	A. HENNI	C.C	Institut National d'Informatique
	M. SELLAMI	M.C	Université de Annaba

A la mémoire de mes parents.

Résumé

Le développement urbain a connu une extension considérable. C'est ainsi que des systèmes d'information géographiques dédiés à l'urbanisme sont conçus dans le but de faciliter la tâche de leurs utilisateurs potentiels.

C'est dans ce contexte que se situe notre travail. Ce mémoire présente les concepts et la mise au point d'un système d'information géographique pour la représentation, la modélisation, la manipulation des objets urbains via une carte thématique.

Dans l'optique de localiser rapidement les objets et de faciliter la résolution des requêtes spatiales, une méthode basée sur les R-Trees, comme structure d'organisation des objets urbains complexes, est utilisée. Cette structure est basée sur le principe des rectangles englobants.

Mots clés :

Systemes d'information géographiques

Bases de données géographiques

Représentation

Modélisation

Manipulation spatiale

Structure R-Tree

Requête spatiale

SOMMAIRE

TABLE DES MATIERES

Introduction générale	1
Chapitre 1 : Généralité sur les systèmes d'information géographique (SIG)	
1.1 Introduction	7
1.2 Définition	8
1.3 Intérêt d'un SIG	8
1.4 Fonction d'un SIG	8
1.5 Mode de représentation des données géographiques	10
1.6 Domaines d'application des SIGs	10
1.7 Vers les SIGs intelligents	11
1.8 Fonctionnalités des SIGs futurs	11
Chapitre 2 : Représentation des objets spatiaux	
2.1 Caractéristiques des objets spatiaux	13
2.1.1 Dimension topologique	13
2.1.2 Diversité de représentation	13
2.1.3 Fragmentation des connaissances	15
2.1.4 Représentation et sémiologie graphique	15
2.1.5 Supports de la connaissance spatiale	16
2.1.6 Problématique des règles spatiales	16
2.2 Localisation des objets	16
2.2.1 Localisation par des coordonnées	16
2.2.2 Localisation topologique	16
2.2.3 Relation entre objets	17
2.2.4 Système de relations spatiales	18
2.2.5 Forme de références	18
2.3 Répétition de motifs élémentaires	18
2.4 Outils de planification	19
2.5 Représentation des objets urbains	19
2.5.1 Spécification des objets urbains	20
2.5.2 Structure hiérarchique des objets urbains	22
2.5.3 Structure d'un objet urbain	23
2.6 Formalismes informatiques	23
2.6.1 Formalismes issus des bases de données	24
2.6.1.1 Modèle relationnel	24
2.6.1.2 Modèle entité-association	25
2.6.2 Formalismes issus de l'intelligence artificielle	26
2.6.2.1 Réseaux sémantiques	26

table des matières

2.6.2.2 Règles de production	30
2.6.3 Formalisme à base d'objets	33
2.6.4 Formalisme HBDS (Hypergraph Based Data Structure)	37
Conclusion	38

Chapitre 3 : Concepts de représentation et de modélisation des objets urbains

3.1 Etat de l'art	40
3.1.1 Principe du modèle mathématique	40
3.1.2 Modèles de représentations topologiques des objets spatiaux	41
3.1.2.1 Principe de base	42
a- Modèles de tessellations	43
b- Modèle vectoriels	44
3.1.3 Modèles de représentations géométriques des objets spatiaux	49
3.1.3.1 Représentation par balayage	49
3.1.3.2 Représentation par arbre de construction	50
3.1.3.3 Modelés quadrees et octrees	52
3.1.3.4 Modèle par les frontières	58
Conclusion	62

Chapitre 4 : Requêtes et manipulation des objets urbains

4.1 Elément de géométrie algorithmique	65
4.1.1 Opération élémentaire	65
4.1.2 Opérations sur les polygones	66
4.1.2.1 Appartenance d'un point à un polygone	66
4.1.2.2 Opérations ensemblistes et booléennes	68
4.1.2.3 Opérations de calcul de certaines propriétés des objets spatiaux (urbains)	69
a- Longueur et périmètre	69
b- Surface	70
c- Centre d'un polygone	70
4.2 Requêtes spatiales	71
4.2.1 Requête de point	71
4.2.2 Requetes de région	71
4.2.3 Requête de localisation	71
4.2.4 Requête de voisinage	71
4.2.5 Requête de distance	71
4.3 Index spatiaux	72
4.3.1 Introduction	72
4.3.2 Structure en grille	72
4.3.3 L'arbre Q	73
4.3.4 L'arbre k-d	75
4.3.5 L'arbre R-Tree	78
4.3.5.1 Motivation pratique	78
4.3.5.2 Principe	79

table des matières

4.3.5.3 Choix de R-Tree	79
4.3.5.4 Structure de R-Tree	81
4.3.5.5 Construction de R-Tree	81
4.3.5.6 Structure d'un objet urbain	82
4.3.5.7 Différentes variantes de R-Tree	83
Conclusion	84

Chapitre 5 : Application et mise en oeuvre du système

5.1 Objectif du prototype	86
5.2 Base de connaissance	86
5.3 Environnement de développement du prototype	87
5.4 Exemple d'exécution	91
Conclusion	102
Conclusion générale	104

INTRODUCTION GENERALE

Au cours de ces dernières années, des recherches ont été faites sur les bases de connaissances spatiales dans différents domaines. Les connaissances spatiales se distinguent des autres connaissances par le fait qu'elle ne peuvent pas toujours se ramener à des formulations littérales.

Dans de nombreuses applications les connaissances spatiales (de dimensionnement et de positionnement des objets) cohabitent avec les connaissances non spatiales (d'identification et de caractérisation des objets). Parmi celles qui utilisent des données à références spatiales, on a les applications géomatiques, c'est-à-dire les familles d'applications mêlant l'informatique et la géographie comme l'urbanisme, la cartographie, l'aménagement du territoire, la télédétection, les réseaux divers d'eau, d'électricité, de gaz, de routes, etc.

Comme tous les pays en voie de développement, l'Algérie fait face à une expansion incontrôlée de la démographie, qui pose le problème de l'aménagement urbain, d'où la nécessité de mettre en place des Systèmes d'information géographique dédiés à l'urbanisme.

Pour ce faire, de nombreuses agences d'étude de l'aménagement urbain de wilaya ont été installés. L'URBACONstantine est une agence urbaine de la wilaya de Constantine. Elle s'occupe justement de l'aménagement urbain de la wilaya et des wilayate limitrophes. Elle est confrontée à de nombreux problèmes de mauvaise organisation des cartes comme support de stockage, d'où une mauvaise exploitation des données cartographiques et des difficultés d'actualisation, de mise à jour et de consultation des cartes et de localisation des objets sur celles-ci. De ce fait, un projet de recherche dans le domaine des SIG a été initié avec l'équipe de recherche Vision & Infographie de l'Institut d'Informatique de l'Université de Constantine visant à concevoir un système d'information géographique pour la manipulation aisé des objets urbains permettant de faciliter la tâche des urbanistes et de les assister dans leur travail quotidien.

Pour les urbanistes et les cartographes, le support de raisonnement est essentiellement visuel (cartes, coupes, plans et/ou croquis). Devant le travail pénible et fastidieux de création et de reproduction des cartes manuellement, les cartographes éprouvent le besoin de disposer de moyen automatique d'aide à la décision en matière d'aménagement urbain. C'est-à-dire, un système permettant de concevoir et de manipuler des cartes d'une manière rapide et ergonomique et surtout de répondre par simples clics de la souris à l'écran à des requêtes spatiales plus ou moins complexes. Pour cela, il est nécessaire de doter notre système de plusieurs modules de représentation, de modélisation et de raisonnement sur des objets urbains utilisant les aspects spatiaux et non spatiaux des objets (figure 1).

Au cours de ces dernières années, une attention considérable a été consacrée aux problèmes de conception et de développement des systèmes d'information géographiques (SIG) où l'aspect spatial est privilégié. Ainsi l'apparition des SIGs a fait naître beaucoup de besoin dans différents domaines. Ceci constitue notre motivation à vouloir aborder de près les problèmes des urbanistes afin de concevoir un système permettant de répondre à la majeure partie des besoins exprimés par ces utilisateurs.

Notre objectif est de concevoir : une base de connaissances à partir d'une image cartographique permettant des raisonnements graphiques. Ceci s'explique par les requêtes spatiales du genre point dans un polygone, de régionnement, de voisinage et de distance. Pour cela, une structure hiérarchique est utilisée comme structure d'organisation des objets urbains complexes R-Tree [Gutt 84].

Basée sur le principe des rectangles englobants, la structure R-Tree révèle des qualités théoriques intéressantes surtout du point de vue accès et manipulation des objets urbains. Un objet urbain est caractérisé par :

- sa forme géométrique et sa position
- les relations qu'il entretient avec les autres objets .
- sa description textuelle.

Notre système admet un système d'acquisition des cartes existantes et un système de résolution des requêtes spatiales.

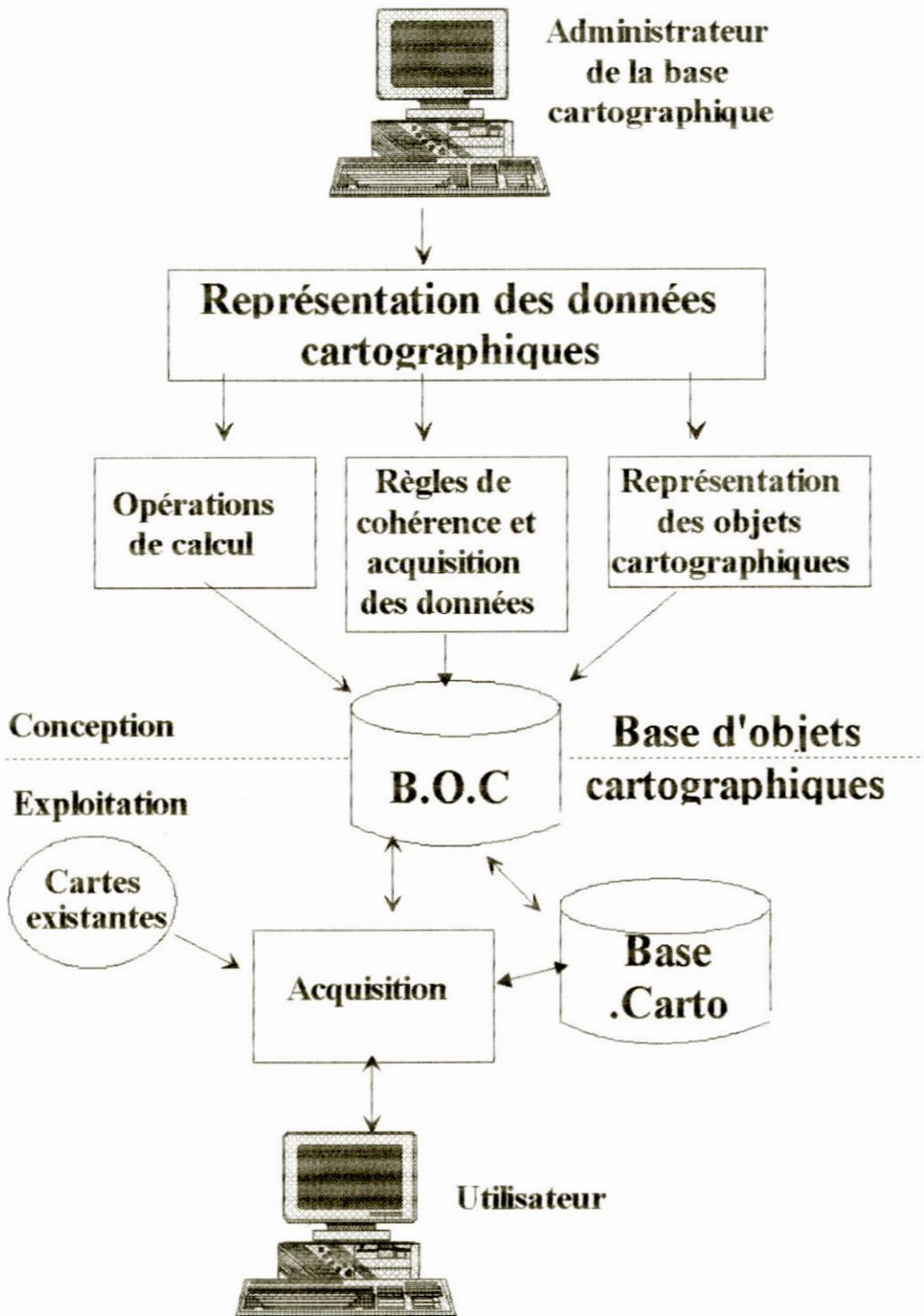


Figure 1 Schéma du système proposé

- Dans le chapitre 1, nous allons surtout aborder des généralités sur les systèmes d'information géographiques.(SIG) avec une présentation succincte de quelques caractéristiques des SIGs et de leurs fonctionnalités de base.
- Le chapitre 2 est consacré essentiellement aux aspects sémantiques des objets spatiaux (forme et localisation) et à la définition des objets urbains ainsi qu'à la recherche des formalismes mathématiques susceptibles de décrire, de manipuler et d'enrichir leur sémantique.
- Dans le chapitre suivant, nous feront un état de l'art sur les modèles de représentation et de modélisation des objets spatiaux d'une manière générale et des objets urbains d'une façon particulière. Bien sûr, pour chaque famille de modèles, on précisera ses caractéristiques principales et par la suite, on mettra l'accent sur le modèle exigé par le sujet c'est-à-dire la modélisation filaire B-Rep. Sachant que la structure de construction des objets complexes est faite par la structure R-Tree comme arbre de construction et de localisation des objets.
- Le chapitre 4 concerne les manipulations et les requêtes spatiales et non spatiales (factuelles) des objets urbains. Il s'agira surtout de déterminer l'appartenance d'un point et d'une région, le calcul des caractéristiques des objets (surface, périmètre, centroïde, longueur, etc.). Après une présentation des différents opérateurs de manipulation des objets, nous détaillerons quelques techniques permettant l'accès rapide aux objets urbains (grilles régulières, arbres, etc.). Nous montrerons par la suite, au niveau du chapitre 5; à travers quelques exemples que la représentation des objets complexes structurés selon les arbres R-Trees permettent de localiser rapidement les objets en facilitant les requêtes spatiales du genre point dans un polygone, régionnement, localisation, distance, voisinage etc.).
- Le dernier chapitre donnera une idée sur la mise en oeuvre des différentes techniques de modélisation et de manipulation des objets dans le cadre de notre projet cité ci-dessus. Il s'agira d'une rétrospective de réalisation de notre application pour la mise en place de notre système. Ici, surtout nous ferons le point sur les difficultés de réalisation rencontrées.

- Et enfin nous terminerons par une conclusion générale mettant l'accent sur les objectifs réalisés et des perspectives à atteindre pour notre système dans l'avenir.

CHAPITRE 1

GENERALITES SUR LES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUES (SIG)

1.1 Introduction

Les systèmes de gestion de base de données (SGBD) existants se révèlent peu ou mal adaptés aux applications caractérisées par des données spatiales, données temporelles et d'autres formes de données ayant des structures et des sémantiques complexes. Si les données spatiales peuvent être stockées par un SGBD conventionnel, il est extrêmement difficile de spécifier la plus simple des opérations spatiales dans un tel SGBD [Badj 89].

Actuellement l'informatique offre la possibilité de traiter les informations géographiques grâce aux Systèmes d'information géographiques qui sont capables de stocker, de partager, de consulter et de manipuler des objets représentés sur les cartes avec leur description spatiale, ainsi que toute l'information qui leur est rattachée. Les principaux utilisateurs en sont les collectivités locales, les gestionnaires de réseaux (eau, assainissement, gaz, électricité et télécommunications) [Laur 93] .

Les outils disponibles à l'heure actuelle peuvent être classés en trois catégories, correspondant à des besoins de complexité croissante[Bour 90].

- Les systèmes de cartographie automatique qui sont principalement utilisés en gestion urbaine, pour la saisie de plans. Parmi les applications concernées, citons la gestion des permis de construction, le plan d'occupation des sols (POS).
- Les systèmes de cartographie thématique constituent une évolution de la première catégorie dans la mesure où ils associent des outils de cartographie automatique et des outils de gestion de données. De nombreux produits de ce type sont maintenant disponibles sur micro ordinateur, MapInfo ou Atlas GIS sur Pc, MapMaker ou Carto 2D sur Macintosh.
- Les systèmes d'analyse géographique sont actuellement les seuls véritables systèmes d'information géographiques, dans la mesure où ils gèrent de manière intégrée l'ensemble de l'information géographique. Ils permettent d'acquérir l'information géographique de la gérer, de la retrouver de manière sélective, de la traiter, enfin de la visualiser et de la reproduire sous sa forme brute ou bien après qu'elle ait été élaborée par différents traitements.

1.2 Définition

Un SIG est un :

- Système de gestion de base de données (SGBD) pour la saisie, le stockage, l'extraction, l'interrogation, l'analyse et l'affichage de données localisées.
- Ensemble de données repéré dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire facilement des synthèses utiles à la prise de décision.

Les SIG font partie des nouveaux outils d'aide à la gestion et à la décision susceptibles de répondre aux besoins des collectivités.

1.3 Intérêt d'un SIG

Les avantages d'un SIG vont au delà des possibilités de la cartographie. L'utilisation d'un SIG permet :

- de connaître précisément l'état des lieux de la région étudiée pour éclairer les choix et les décisions.
- de regrouper des informations dans un référentiel commun pour permettre des analyses.
- d'éditer des cartes d'aide à la décision pour faciliter le travail des décideurs.
- d'aider le travail des intervenants dans la gestion et l'aménagement de l'espace.
- d'améliorer le service aux usagers en réduisant les délais d'étude, de prise de décision, d'obtention de documents.

1.4 Fonctions d'un SIG

Il doit être possible d'effectuer certains types de traitement sur un SIG. Comme l'acquisition des données, leur gestion ainsi que leur manipulation

1.4.1 Acquisition des données

L'acquisition des données représente 80% des coûts de constitution d'un SIG [comb 92] C'est l'étape qui assure la saisie et le codage des données spatiales et descriptives, la vérification des erreurs et les prétraitements.

La saisie des données spatiales se fait :

1. par mode manuel au clavier.
2. par digitalisation en utilisant une table à numériser permettant de transférer dans un fichier les coordonnées des points de la surface de la table ou en utilisant un scanner

La saisie des données descriptives se fait :

1. par saisie manuelle au clavier;
2. par interaction en sélectionnant une entité spatiale et en y ajoutant des attributs alphanumériques.

1.4.2 Gestion des données

Les fonctions de gestion d'un SIG comprennent le stockage, l'édition, la mise à jour et l'extraction des données de manière globale ou sélective. Le stockage se fait habituellement sur des bandes magnétiques.

Suivant la vitesse à laquelle les données spatiales changent et suivant l'importance des modifications, la mise à jour prendra la forme d'une simple édition ou d'une reprise complète du travail de terrain et des traitements [Idri 96]. L'extraction des données peut se faire soit par consultation des fichiers, soit en formulant des requêtes. Deux principaux types de requêtes existent dans un SIG :

- identification d'un objet localisé;
- présentation de la liste des objets ayant certaines propriétés et demande de leur visualisation.

1.4.3 Manipulation et analyse des données

Un système d'information géographique offre une vaste gamme de possibilité de manipulation et d'analyse des données spatiales. On peut citer :

- l'inclusion d'un point dans un polygone;
- les mesures de l'espace (par exemple distance entre deux points, ou surface d'un polygone);

- le calcul du plus court chemin entre deux points en terme de distance, du temps ou des coûts.

1.4.4 Restitution des données

Les résultats peuvent être produits sous forme de

- listes et tableaux de données;
- figures et graphiques à l'écran;
- image;
- cartes imprimées, etc.

1.5 Mode de représentation des données géographiques

Il existe essentiellement deux modes de représentation des données spatiales.

- Le mode matriciel ou maille (raster) qui correspond à une division régulière de l'espace sous forme de cellules régulières.
- Le mode vectoriel (vecteur).qui permet la représentation des objets dans un espace continue.

1.6 Domaines d'application des SIGs

Les SIG trouvent des champs d'applications de plus en plus nombreux dans les domaines de la gestion urbaine, de l'aménagement et de l'environnement. Grâce aux données qu'ils rassemblent et aux outils d'analyse et d'études, dont il disposent, les SIGs sont utilisés par les bureaux d'étude, l'administration centrale et territoriale, les collectivités ou les établissements de recherche comme outils d'aide à la décision [Idri 96].

A l'origine, les SIG étaient surtout des outils de cartographie automatisés, puis progressivement ils sont devenus des SIGs mémoire du monde géographique actuel [mille 94]. Ils sont en train d'évoluer actuellement et dans le futur vers des outils permettant d'évaluer les politiques et les stratégies d'aménagement. Ainsi, en plus des fonctionnalités

offertes par les SIGs actuels, les SIGs du futur en incorporeront de nouvelles telles que l'intégration de données multisources, d'outils de simulation et enfin l'intelligence artificielle comme moyen de raisonnement.

1.7 Vers les SIG intelligents

Les problèmes de recherche de sites, de chemins, de zones, de découpages avec ou sans contraintes, de simulation des conséquences de décisions d'aménagement du territoire, exigent l'utilisation d'outils de raisonnement spatial alliant non seulement les aspects déductifs, mais également intégrant des potentialités de raisonnement géométrique et de recherche opérationnelle [Laur 93a].

1.8 fonctionnalités des SIG futurs

Aussi les SIG du futur devront-ils inclure [Laur 93a] [mill 94] :

- l'approche orientée objet pour représenter et manipuler les objets du monde réel, ainsi que leur comportement,
- les aspects hypermédia, hypercartographique et toutes sortes de connaissances spatiales avec les mécanismes spatiaux de navigation,
- des interfaces visuelles efficaces, l'utilisation de l'information doit se rendre indépendante du matériel et du logiciel utilisé. Les interfaces utilisateur graphiques appelées encore interfaces visuelles deviennent alors incontournables,
- des procédures efficaces de mise à jour des données,
- et enfin, les liaisons avec d'autres SIGs distants (Les réseaux et bases de données réparties permettront d'une manière générale la communication de plusieurs SIGs entre eux).

CHAPITRE 2

REPRESENTATION DES OBJETS URBAINS

Dans ce chapitre nous allons voir les caractéristiques des objets spatiaux et par la suite procéder à la description des objets urbains afin que l'on puisse en dresser un tableau comparatif. Les objets spatiaux se caractérisent par la diversité des attributs sémantiques, géométriques et topologiques, qui leur sont associés.

2.1 Caractéristiques des objets spatiaux

Nous allons répertorier les caractéristiques importantes des objets spatiaux permettant l'extraction et l'enrichissement de leur sémantique.

2.1.1 Dimension topologique

La dimension topologique des objets est la première caractéristique importante. Tout objet de l'espace est par nature à trois dimensions (3D), définir des objets de dimensions inférieures deux (2D), une (1D), ou zéro (0D) est une vue de l'esprit. Cela s'avère souvent plus pratique pour résoudre certains problèmes. La dimension des objets est souvent liée à la position de l'observateur [Laur 89b] [Khol 91].

Par exemple: Une île vue de très loin, sera représentée par un point (0D), si l'observateur s'approche, il verra un volume (3D), plus près encore, il verra des terrains (surfaces : 2D) mais plus près encore sa vision de la rivière avec épaisseur (3D) contenant un volume d'eau sera plus précise.

La position de l'observateur influe sur la topologie et la disposition spatiale des objets entre eux.

2.1.2 Diversité de représentation

Le terme de représentation multiple s'applique d'une manière générale à toute situation où coexistent plusieurs représentations différentes d'un même objet selon les préoccupations des utilisateurs potentiels et leurs activités [Laur 89b] [Scho 95].

A titre d'illustration, une route peut être vue de différentes façons, comme :

- un graphe (réseau routier),
- une série de points géodésiques (relevés à trois dimensions);

- une série de segments (limite des propriétés cadastrales);
- des files d'attente (simulation du trafic routier);
- des éléments surfaciques (étude de revêtement de la chaussée);
- des éléments volumiques (infrastructure, tunnels, ponts, métros, barrages, etc).

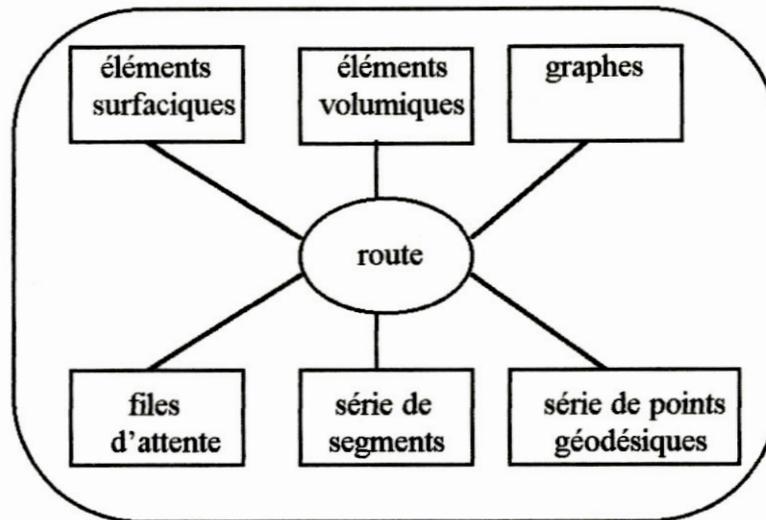


Figure 2.1 Multiplicité de représentation

Selon ses besoins, l'utilisateur devra pouvoir choisir la représentation la plus adéquate à son problème. Exemple : prenons les points de vue de trois utilisateurs différents, un cartographe, un ingénieur de ponts et chaussées et un troisième s'intéressant à la régulation de la circulation (cas d'un réseau routier).

Le premier sera attentif aux positions relatives des différentes routes, à leurs parcours, ainsi qu'aux attributs graphiques permettant d'identifier et de différencier les catégories. Pour cet utilisateur, la route est donc un objet caractérisé par des propriétés géométriques, topologiques et une classification sémantique permettant de répartir ces routes dans différentes catégories.

L'ingénieur des ponts et chaussées est intéressé par le mode de construction de la route, le matériau utilisé, le mode de drainage, les possibilités d'élargissement, etc. Pour lui la route est un objet à trois dimensions pour lequel les informations géométriques et topologiques sont secondaires.

Enfin, l'utilisateur étudiant la régulation de la circulation est essentiellement concerné par les possibilités de connexions entre les différents axes du réseau. Pour lui une route peut être modélisée comme un objet à une dimension. La géométrie est secondaire, seule la longueur de chaque route ayant une importance dans ce contexte. Le choix sera plutôt dans ce cas une représentation sous forme de graphe.

Comme on le voit, la diversité des motivations mène dans chacun des cas de l'exemple à une modélisation différente d'une même réalité. Le point de vue choisie influe notamment sur le type de représentation spatiale associée aux objets géographiques (route selon notre exemple) selon la situation. La géométrie (leur partie spatiale) est plus ou moins simplifiée et les relations topologiques ont une importance variable.

2.1.3 Fragmentation des connaissances

Il est très rare d'avoir en tout point terrestre un même degré de connaissances aussi bien en qualité qu'en quantité. Dans certaines régions, on ne possède que peu d'informations (cas du désert); par contre, dans d'autres, on en a beaucoup (cas d'une ville) [Laur 89b].

On parle alors de densité spatiale de connaissances. En cartographie, c'est par le biais de cartes à différentes échelles que l'on résoud ce problème en précisant certains détails à des échelles plus grandes.

2.1.4 Représentation et sémiologie graphique

On appelle sémiologie graphique : l'ensemble des méthodes de représentation graphique des informations. De manière pratique, la sémiologie est représentée dans la légende d'une carte ou d'un plan. Il est nécessaire de faire la distinction entre l'objet lui-même et sa représentation [laur 89b].

La nécessité d'une sémiologie conduit à une simplification des détails (schématisation des contours), à un regroupement de certaines informations au niveau des zones, à la recherche d'une symbolique de représentation des objets, ainsi que des attributs.

2.1.5 Supports de la connaissance spatiale

Les moyens d'acquisition de l'information spatiale sont les tables à digitaliser, les caméras vidéo et les scanners. Dans une carte, les points particuliers sont digitalisés, des attributs sont en suite ajoutés (nature des lieux, légende, etc) [Laur 89b] [Comb 92].

2.1.6 Problématiques des règles spatiales

Une règle spatiale est une règle de type : ``si - alors`` ayant des conditions ou des conséquences localisées, c'est-à-dire faisant intervenir la notion d'espace. Pour les règles spatiales, la difficulté est qu'il est souvent nécessaire d'appliquer des algorithmes de géométrie pour savoir si les conditions sont réunies.

2.2 Localisation des objets

Les diverses possibilités de localisation des objets sont :

- localisation par des coordonnées;
- localisation topologique;
- et relation entre objets.

2.2.1 Localisation par des coordonnées

Localiser un objet veut dire avoir des axes de références. Souvent au lieu de localiser un objet par rapport au méridien de Greenwich (référentiel absolu relatif à la terre), il est plus commode d'utiliser des axes locaux.

2.2.2 Localisation topologique

L'usage des coordonnées cartésiennes (X,Y) s'impose dans beaucoup de domaines d'applications. Il est fréquent que des considérations topologiques soient prises en compte telles que les relations de voisinage et les relations spatiales entre objets. Ainsi, pour expliquer un chemin, on ne donne pas une suite de coordonnées, mais plutôt des indications relatives comme ``troisième rue après la grande poste``, d'où la notion de carte mentale de l'espace qui s'avère en fait plus simple et plus proche du raisonnement humain qui se base beaucoup plus sur la notion de lieu.[Khol 91] [Laur 89b].

2.2.3 Relation entre objets

Pour localiser les objets, on peut avoir trois types de relations comme le montre la figure 2.2 [Laur 89b] [Khol 91].

1. les relations liées aux axes : ce sont les relations qui définissent une location à l'aide de coordonnées dans un système d'axes. Parmi ce type de relations, on trouve les relations : "être au nord de", "être au sud de", "à l'est de", "à l'ouest de".
2. les relations liées à l'observateur : dire que A est à gauche de B à une signification si l'on connaît la position de l'observateur et la direction de son regard (positionnement relatif). Ces relations sont : "devant", "derrière", "dessous", "dessus", "à droite", "à gauche", etc.
3. Les relations intrinsèques qui ne font intervenir ni les axes, ni l'observateur (par exemple A est situé à 10 mètres de B). Parmi les relations de ce type on a : "être situé à une distance de X mètres", "être à coté de", "adjacent à", "voisin de", "être situé entre deux objets", "inclus dans un objet".

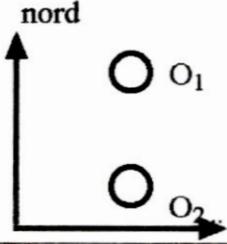
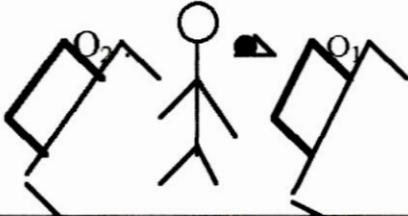
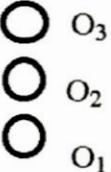
		
<p><u>Relations liées aux axes</u> l'objet O₁ est au nord de l'objet O₂...</p>	<p><u>Relations liées à l'observateur</u> O₁ est devant, O₂ est derrière</p>	<p><u>Relations intrinsèques</u> l'objet O₂ est entre l'objet O₁ et l'objet O₃</p>

Figure 2.2 Différents types de relations spatiales

2.2.4 Système de relations spatiales

On appelle système de relations spatiales un ensemble de relations de positionnement absolu (position des axes) et relatif (position de l'observateur). Ce système permet de décrire complètement les relations entre objets, inversement à partir d'un espace de formes connues, d'une série d'objets de formes connues et de diverses contraintes, on peut trouver un agencement des objets permettant de satisfaire ces relations ou contraintes. En cas d'incompatibilité dans l'agencement, il est nécessaire de prévoir des possibilités de retour en arrière [Laur 89b].

Par exemple : aménagement de locaux (installation des meubles dans une cuisine, des machines dans un atelier ou des appareils dans un laboratoire).

2.2.5 Formes de références

Souvent, les objets sont décrits à l'aide des formes de références. A trois dimensions, les formes de références les plus courantes sont : le cube, la sphère, le cylindre, la pyramide, le parallélépipède, le cône, etc. On peut ainsi définir des objets par combinaison de ces formes élémentaire. On part des formes élémentaires auxquelles on fait subir des transformations (translation, rotation, changement d'échelle, symétrie, révolution) et que l'on agence à l'aide d'opérations booléennes (union, intersection, différence) : c'est la géométrie constructive des solides (CSG). Signalons Pour décrire des objets de formes géométriques plus compliquées (téléphone, fer à repasser), il est nécessaire de faire appel à d'autres méthodes (courbes de types spleen). Parfois la géométrie fractale est utilisée pour décrire les objets naturels (fleurs, arbres, nuages, montagnes) [Laur 89b].

2.3 Répétition de motifs élémentaires

On voit une certaine régularité ou une certaine répétition dans les objets conçus et fabriqués par l'homme. Ces répétitions sont bien gérées par les grammaires de formes. Dans certains cas, ces répétitions ont pour but de couvrir tout l'espace (carrelage); il faut envisager alors d'utiliser une tessellation régulière de l'espace.

2.4 Outils de planification urbaine

Mener à bien notre tâche de doter les urbanistes d'outils informatiques adaptés nécessitera de connaître les méthodes de travail et le savoir-faire des chargés d'études. La réalisation d'un projet au niveau de l'Urbaco comporte essentiellement deux plans :

- Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme ``P D A U``

Le P.D.A.U est le document par lequel les collectivités locales conviennent des objectifs d'aménagement qu'elles s'engagent à poursuivre à moyen et à long terme. Ils doivent déterminer la destination des secteurs. Ils définissent les secteurs urbanisés, à urbaniser, à urbanisation future ainsi que les secteurs non urbanisables.

- Plan d'occupation du sol ``P.O.S``

Le P.O.S est le document d'urbanisme qui régit les droits d'utilisation des sols pour l'ensemble d'un territoire. Il est obligatoire dans les territoires inclus dans le périmètre d'un P.D.A.U. Le P.O.S a cinq objectifs :

1. organiser le développement urbain.
2. protéger les espaces naturels.
3. maintenir le caractère de certains sites.
4. définir les réserves foncières (équipements publics, routes, etc.).
5. définir clairement les droits et les servitudes attachés à chaque terrain.

La nature du travail effectué à l'Urbaco, nous a permis de déterminer le type d'objet auquel on a affaire, à savoir ``l'objet urbain``. Une hiérarchie naturelle de ce type d'objet est présentée à l'élaboration du P.D.A.U et du P.O.S.

2.5 Représentation des objets urbains

Un objet urbain repéré dans l'espace est connu par sa géométrie et par ses relations spatiales avec d'autres objets de son voisinage (relation essentiellement topologique : proximité, inclusion, adjacence, voisinage, etc).

2.5.1 Spécification des objets urbains

Cette spécification se caractérise par la définition des objets utilisés lors de l'exécution d'une tâche POS (plan d'occupation des sols) ou PDAU (plan directeur d'aménagement et d'urbanisme), leurs attributs et les différentes relations entre eux.

Un objet urbain peut-être soit

1. un objet urbain fermé
2. un objet urbain non-fermé

Remarque : dans notre application, nous nous sommes limités aux objets urbains fermés.

Pour l'élaboration d'un P D A U, on a besoin des objets urbains suivants : wilaya, daïra, commune. Après l'élaboration, on retrouve un cinquième objet : secteur. Le schéma suivant montre la hiérarchie de l'objet urbain dans le PDAU.

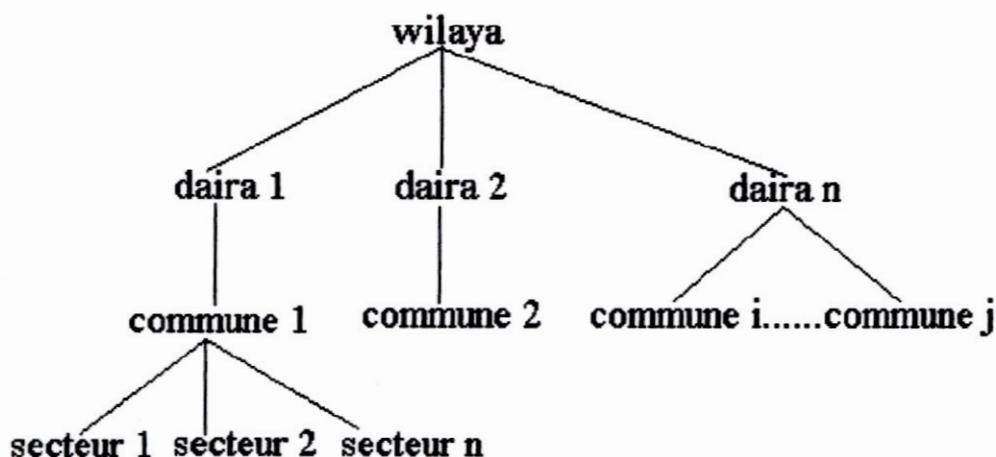


Figure 2.3 La hiérarchie de l'objet urbain dans le PDAU

Les objets urbains dont on a besoin lors de l'élaboration du POS sont : wilaya, daïra, commune, l'unité de voisinage, la zone homogène, le secteur, l'îlot et enfin la zone d'habitat et l'équipement. Le schéma suivant montre la hiérarchie de l'objet urbain dans le POS.

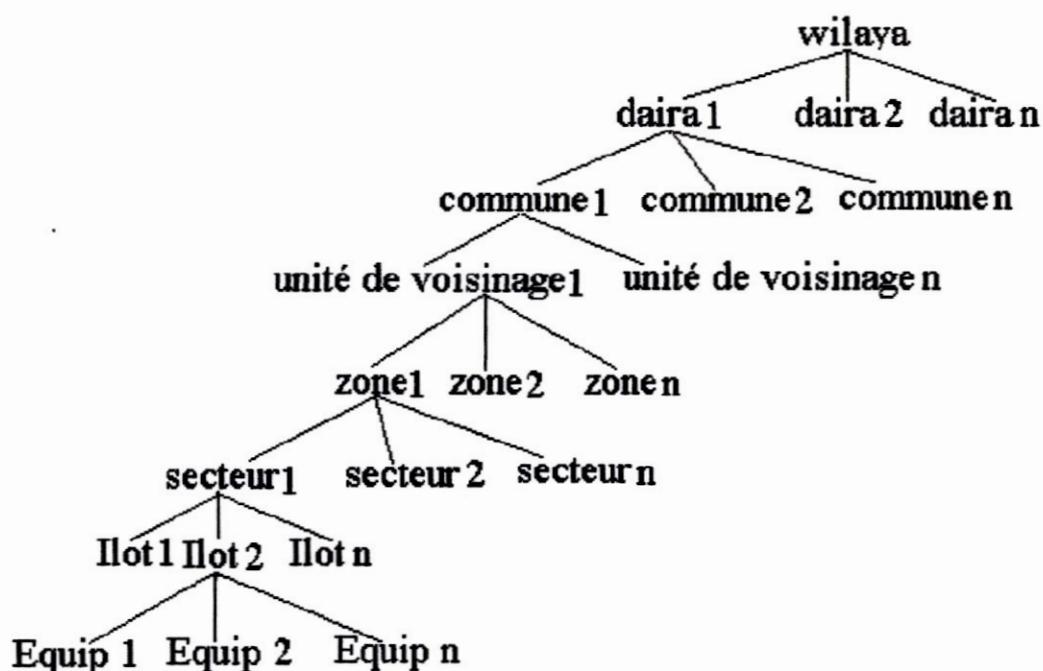


Figure 2.4 La hiérarchie de l'objet urbain dans le POS

Remarque : Dans notre application, la hiérarchie des objets urbains débute à partir de la commune, cette hiérarchie est illustrée comme suit.

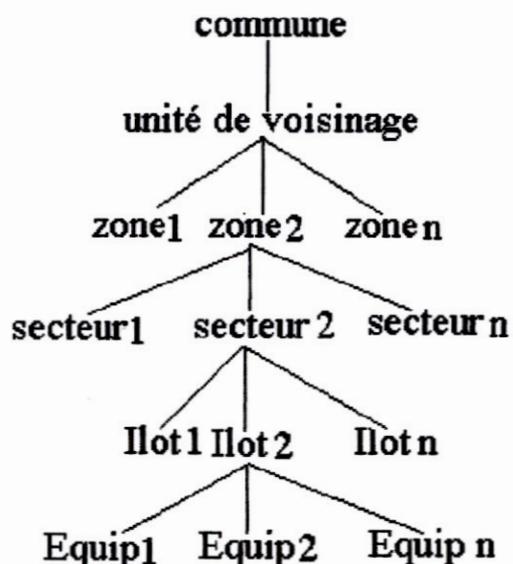


Figure 2.5 La hiérarchie des objets urbains

2-5-2 Structure hiérarchique des objets urbains

La carte urbaine est organisée suivant une structure hiérarchique de plusieurs niveaux (figure 2.6). Elle se compose d'un ensemble d'unités de voisinage. Chaque unité de voisinage est à son tour composée d'un ensemble de zones. Chaque zone est un ensemble de secteurs et un secteur est composée d'un ensemble d'îlots dans lesquels se trouvent les équipements urbains.

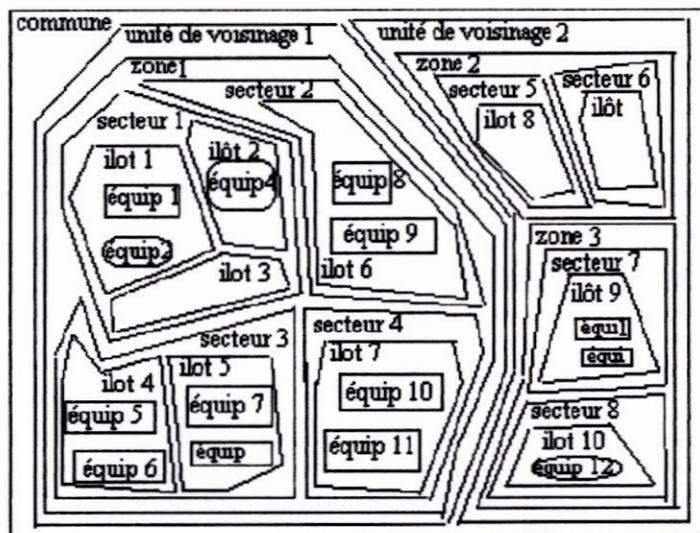


Figure 2.6 Exemple de carte urbaine

- wilaya = ensemble de dairate;
- daira = ensemble de communes;
- commune = ensemble d'unités de voisinage
- unité de voisinage = ensemble de zones homogènes;
- zone homogène = ensemble de secteurs;
- secteur = ensemble d'îlots;
- îlots = ensemble d'équipements.

2.5.3 Structure d'un objet urbain

Un objet urbain est composé comme le montre la figure 2.7.

- d'attributs non spatiaux : ce sont des attributs sémantiques. C'est une description textuelle relative à l'objet urbain.
- d'attributs spatiaux : ce sont des attributs de forme géométrique et de localisation.
- et des relations topologiques entre objets.

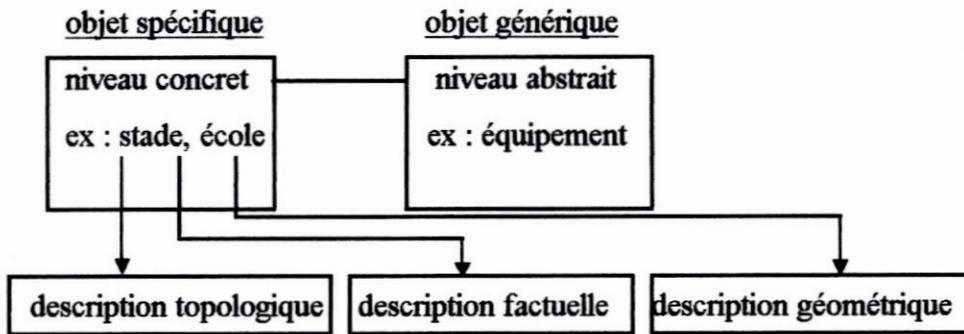


Figure 2.7 Structure d'un objet urbain

Par exemple dans une scène urbaine, les objets génériques sont les bâtiments, les espaces verts, les équipements, etc. Et les objets spécifiques seront les maisons, les cafés, les stades, les aéroports, etc.

Après ce bref aperçu sur les aspects sémantiques des objets urbains spatiaux (forme, localisation), nous abordons maintenant, les formalismes informatiques susceptibles de décrire et de manipuler la sémantique de ces objets.

2.6 Formalismes informatiques

Nous présentons ici un certain nombre de formalismes informatiques, certains issus des bases de données (modèle entité-association, modèle relationnel), d'autres issus de l'intelligence artificielle (réseaux sémantiques, règles de production) et d'autres mixtes (modèle orienté objet) et ceux basés sur les hypergraphes.

2.6.1 Formalismes issus des bases de données

Les formalismes issus des bases de données sont : le modèle relationnel et le modèle entité-association

2.6.1.1 Modèle relationnel

Le modèle relationnel permet de traiter les données sous formes de relations. Le schéma relationnel est composé du nom des relations (ou tables) et de leurs attributs. Chaque objet est décrit par une liste de propriétés qui leur sont spécifiques.

Concepts :

Les concepts du modèle relationnel s'accompagnent d'une algèbre relationnelle composée d'opérations s'appliquant aux relations. Une relation peut être vue comme un tableau à N colonnes (attributs), qui jouent un rôle sémantique précis. Une ou plusieurs colonnes jouent le rôle de clé (identifiant).

Formalisme :

La relation est représentée par le schéma de relation qui est défini par le nom de la relation suivi de la liste des attributs. On souligne le ou les attributs qui jouent le rôle de clé. L'exemple simplifié des personnes propriétaires de parcelles est représenté par les tableaux de la figure 2.8.

Les schémas de relation sont les suivants:

personne (n⁰ personne, nom, adresse); (n⁰ personne : numéro de personne)

parcelle (n⁰ parcelle, surface); (n⁰ parcelle : numéro de parcelle)

possède (n⁰ personne, n⁰ parcelle, date-achat).

personne		
n ⁰ personne	nom	adresse

parcelle	
n ⁰ parcelle	surface

possède		
n ⁰ personne	n ⁰ parcelle	date d'achat

Figure 2.8 Formalisme du modèle relationnel

Le modèle relationnel de données est d'une grande simplicité dans la modélisation des informations. Ce formalisme est bien adapté au traitement de données de gestion.

2.6.1.2 Le modèle entité-association

Ce formalisme possède une grande richesse sémantique de modélisation et de représentation. Son emploi s'est généralisé dans la conception des systèmes d'informations. Parmi les méthodologies qui l'utilisent, la méthode Merise est l'une des plus connues.

Concepts :

Le monde réel y est décrit comme constitué d'objets ou entités rangés en catégories appelées classes d'entité. Les entités d'une même classe sont décrites par des informations appelées propriétés ou rubriques. Chaque entité (occurrence) de la classe d'entité doit être unique et identifiable à l'aide d'une propriété particulière appelée identifiant (clé). Pour une entité de type spatial, une propriété particulière souvent présente est le localisant. C'est une information indiquant une localisation géographique absolue, relative, topologique ou cartésienne. Les entités de différentes classes d'entités sont susceptibles d'avoir des relations appelées associations. Une association peut également être caractérisée par des propriétés.

Formalisme :

Les classes d'entités sont représentées par des rectangles, les associations par des ovales reliés par des traits aux classes d'entités concernées. Le long de ces traits, on précise les cardinalités des associations qui s'expriment par deux nombres. Le minimum et le maximum d'entités de la classe d'arrivée qui correspondent à une entité de la classe de départ voir la figure 2.9.

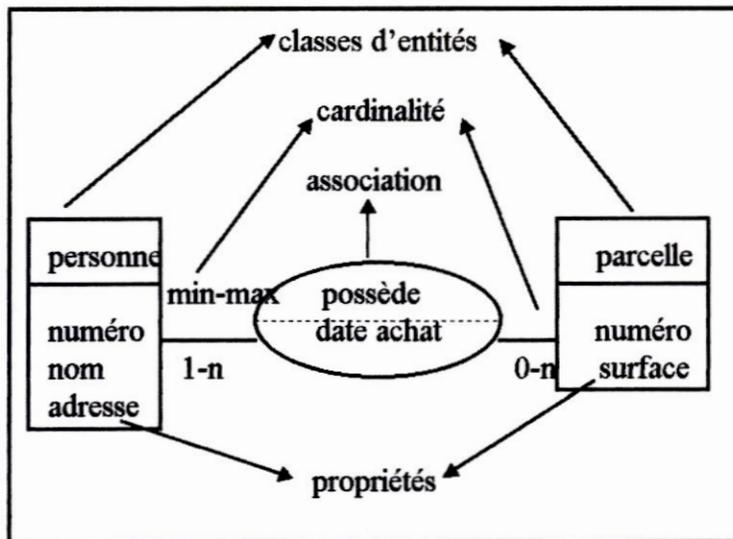


Figure 2.9 Formalisme du modèle entité-association

[Laur 89b]

Une personne possède au moins une parcelle; elle peut en posséder plusieurs. La cardinalité est : 1-n. Une parcelle peut n'appartenir à personne (terrains communaux); éventuellement une parcelle appartient à plusieurs personnes. La cardinalité est : 0-n.

Dans le modèle relationnel, souvent on ne fait pas de distinction entre les relations provenant des objets eux-mêmes (classes d'entités du modèle entité-association), et les associations des entités. Ce modèle est plus un modèle logique qu'un modèle conceptuel. Par contre le modèle entité-association est le meilleur exemple de ce qu'on appelle les modèles conceptuels. C'est-à-dire à la fois formés de concepts et servant de base à la conception.

2.6.2 Formalismes issus de l'intelligence artificielle

Ces formalismes sont les réseaux sémantiques et les règles de production.

2.6.2.1 Réseaux sémantiques

La paternité de l'idée d'utiliser des réseaux sémantiques pour représenter les connaissances est attribuée à QUILLIAN et COLLINS en 1969 [Bonn 84].

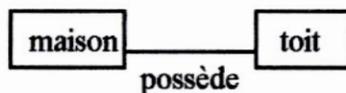
Concept :

Les réseaux sémantiques proviennent de l'intelligence artificielle. Dans le formalisme entité-association, on modélise les associations entre les classes d'entités, dans ce modèle, on représente toutes les occurrences d'entités avec les relations qui les concernent.

Formalisme :

Un réseau sémantique est un ensemble de points appelés noeuds reliés par les arcs. En général les noeuds symbolisent des objets, des concepts ou des événements que l'on veut représenter et les arcs des relations entre les concepts. Chaque arc relie deux noeuds et détermine le type de relation qui existe entre eux. Ce type de représentation part du principe que les objets n'existent que parce qu'il y a des relations les reliant les uns aux autres.

Exemple: ``toute maison possède un toit``



deux objets : ``maison`` et ``toit``

lien entre les deux objets : ``possède``

On peut distinguer deux arcs particuliers permettant de déduire une connaissance.

- L'arc ``sous-ensemble`` ou ``est-un`` permet de rattacher un ensemble d'objets à un ensemble plus vaste le contenant. C'est le concept de la généralisation.

Exemple : ``toute maison est une construction``

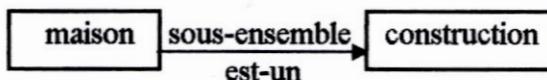


Figure 2.10 Concept de la généralisation

- L'arc ``élément de`` ou ``partie de`` traduit le choix d'un objet particulier dans un ensemble.

Exemple : ``la fenêtre de la chambre``

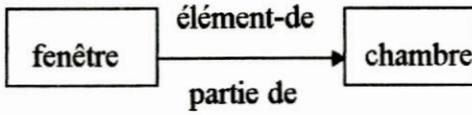


Figure 2.11 Concept de la spécialisation

Une notion est également importante lors de l'exploitation d'un réseau sémantique par un programme, il s'agit de la notion d'héritage des propriétés.

Exemple :

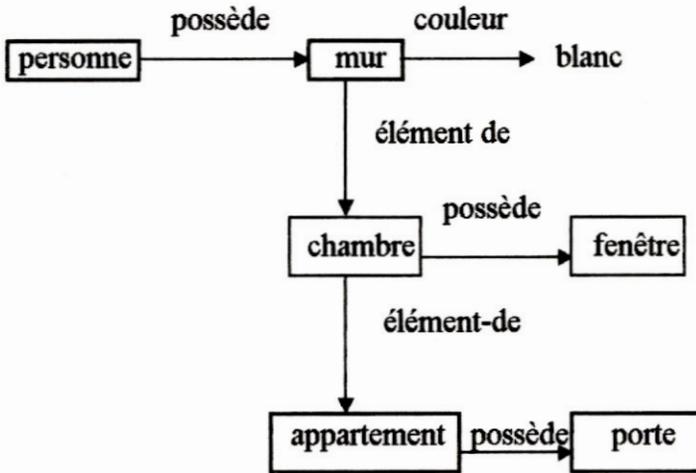
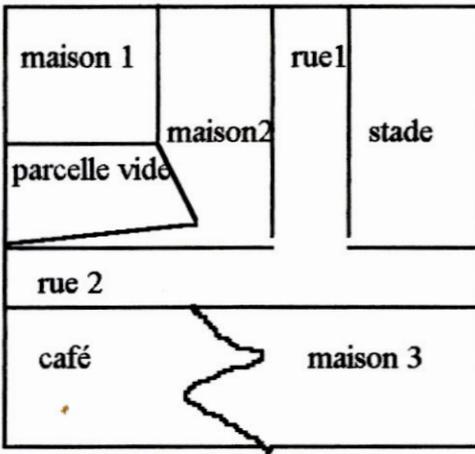


Figure 2.12 Concept d'héritage

Dans ce réseau, on peut déduire que toute chambre possède une porte.

Les noeuds simples portent le nom de concepts, les noeuds plus compliqués n'ont pas nécessairement un nom est sont eux même des sous réseaux sémantiques [Bonn 84].

Exemple : soit la scène urbaine suivante



- maison 1 voisin de parcelle vide;
- maison 1 voisin de maison 2;
- stade voisin de rue 1;
- stade voisin de rue 2;
- maison 1 au nord de la parcelle vide;
- café en face de maison 2;
- café voisin de maison 3;
- maison 3 en face du stade;

Figure 2.13 Exemple de réseau sémantique spatial

Cependant les réseaux sémantiques présentent l'avantage d'être faciles à comprendre. Ils offrent la possibilité de mémoriser différents types de relation sémantique (relation entre les événements). Ils permettent une représentation graphique des connaissances. Ils présentent une économie de mémoire matérialisée par l'utilisation des mécanismes d'héritage. Par contre, les réseaux sémantiques sont pauvres en sémantique formelle et posent généralement des problèmes d'organisations dans le cas de très grosses bases de connaissances. D'où le phénomène de l'explosion combinatoire.(difficulté de stockage sur des supports de masse) [Khol 91].

La croissance du nombre de noeuds et des relations entraînent une lourdeur dans la recherche des connaissances. La situation des réseaux sémantiques a conduit progressivement à des représentations hybrides entre règles de production et objets qui seront décrites dans les deux paragraphes suivants.

2.6.2.2 Règles de production

Bien avant les débuts de l'intelligence artificielle, le formalisme des règles de production a été utilisé, par exemple, dans les algorithmes de MARKOV, en logique symbolique et en linguistique par CHOMSKY. On appelle règle de production une manière de représenter les connaissances.

Concepts et formalisme :

Une règle de production est un couple ``situation-action``, ce qui signifie que chaque fois qu'une situation est reconnue (partie gauche de la règle ou prémisse), l'action est exécutée (partie droite de la règle ou conséquence). Dans les systèmes experts, c'est la manière la plus commune de formaliser les connaissances.

Un système à base de règles de production comporte généralement trois parties [Bonn 84].

- Une série de règles (SI-ALORS) qui constitue une base de règles.
- Une base de faits qui contient des faits connus ou des définitions utiles dans le domaine.
- L'interpréteur des faits et des règles de production, c'est-à-dire le mécanisme qui décide quelle règle s'applique et qui déclenche l'action correspondante : c'est le moteur d'inférence.

Exemple : Soit l'ensemble des faits :

latitude (A) = 12° ;

latitude (B) = 15° ;

C est au nord de B;

et l'ensemble des règles suivantes:

si latitude (X) < latitude (Y) alors X est au nord de Y;

si latitude (X) > latitude (Y) alors X est au sud de Y;

si X est au nord de Y et Y est au nord de Z alors X est au nord de Z;

En partant des faits et par application des règles, on déduit :

- B est au nord de A;
- A est au sud de B;
- C est au nord de A;
- A est au sud de C;

Moteurs d'inférence

Le moteur d'inférence est capable de produire éventuellement de nouvelles connaissances donc de modifier la base. Il y a inférence [Buis 89].

Principes généraux des moteurs d'inférence

On distingue deux phases principales dans le fonctionnement d'un moteur d'inférence :

- Phase d'évaluation : dans cette première partie, le moteur va sélectionner dans la base de connaissances les règles qui seront déclenchées, et les faits avec lesquels elles le seront. L'évaluation s'effectue, elle aussi en différentes étapes.
 - * Sélection ou restriction : consiste à déterminer un sous-ensemble de la base de faits et un sous-ensemble de la base de règles qui seront utilisés lors de l'étape suivante.
 - * Filtrage : dans cette étape, le moteur d'inférence détermine alors un sous-ensemble de la base de règles obtenue en fin de sélection (qui sera composé des règles déclenchables), en comparant la partie déclencheur de chaque règle de la base avec l'ensemble des faits sélectionnés précédemment.
 - * La notion de ``résolution de conflits`` se réfère au comportement du moteur lorsque, dans une situation donnée, plusieurs règles peuvent se déclencher; il doit alors prendre la décision, soit de les appliquer dans un certain ordre (ou non), et de n'en déclencher que quelques unes (ou toutes) [Bonn 84]. Les critères de choix varient suivant les systèmes considérés; ainsi certains utilisent les règles ayant le moins servi, d'autres choisissent la première règle de la base ou la règle la plus simple (le moins de conditions de déclenchement).
- Phase d'exécution : dans cette deuxième partie du cycle du moteur d'inférence, les règles obtenues à la fin de la phase d'évaluation vont être exécutées, modifiant ainsi la base de connaissances.(ajout des faits de la partie conséquence de la règle déclenchée).

A la fin de cette phase qui constitue la fin du cycle, l'ensemble des règles déclenchées est supprimé de la base de règles.

Divers types de moteurs d'inférence

Une première façon de caractériser un moteur d'inférence provient de la manière dont il essaie d'appliquer les règles en fonction des faits qu'il examine. S'il considère des données ou des faits déjà établis et qu'il regarde s'ils satisfont la partie gauche des règles (la partie prémisse), on dit qu'il fonctionne vers l'avant ou qu'il est guidé par les données. S'il considère les buts possibles à atteindre en examinant les parties de droite des règles (la partie action) et qu'il essaie de vérifier les règles concluant vers ces buts (et uniquement celles-là), on dit qu'il fonctionne vers l'arrière [Bonn 84]. Dans les moteurs d'inférence fonctionnant en chaînage mixte ou bidirectionnel, la base de faits comprend des faits considérés comme établis et des faits à établir. Ici, les conditions de déclenchement des règles peuvent donc porter simultanément sur des faits établis ou à établir.

Niveaux d'un moteur d'inférence

Outre le fait que l'on distingue les moteurs d'inférence par leur type de chaînage, on les caractérise aussi par leur niveau d'ordre zéro ou un. Cette formulation vient des mathématiques et de la logique. Où :

- la logique d'ordre zéro correspond à des calculs propositionnels. Le calcul des propositions repose sur la règle dite du "Modus Ponens". Formellement, elle s'exprime par :

• $(A \wedge (A \Rightarrow B)) \Rightarrow B$. Il y a aussi deux règles d'équivalence dites lois de Morgan qui s'écrivent comme suit :

$$\neg(A \wedge B) \equiv \neg A \vee \neg B$$

$$\neg(A \vee B) \equiv \neg A \wedge \neg B.$$

Les connections logiques employées :

ET \wedge ou &

OU \vee

NON \neg

Implique \Rightarrow ou \supset

Equivalence \equiv

- et celle d'ordre ``un`` se traduit par des calculs de prédicats. Le calcul de prédicat est une extension du calcul des propositions. Il comporte en plus les notions de prédicats et de symboles de quantification universelle et d'existentialité. Son intérêt principal par rapport au calcul des propositions est l'introduction de la notion de variable. L'introduction du quantificateur universel \forall (quel que soit) et le quantificateur existentiel \exists (il existe) permet de préciser la portée de toute assertion. Par exemple «Toute maison est une construction».

Ainsi, un moteur d'ordre ``zéro`` ne pourra interpréter que des règles de types :
``Si une parcelle est voisine d'un aéroport, alors interdire la hauteur des bâtiments``. On voit qu'aussi bien dans les prémisses que dans les conclusions, les faits sont connus de façon définitive dans l'écriture de la règle. En revanche, dans le cas d'un moteur d'ordre ``un``, on pourra paramétrer les règles. Cela signifie donc que tous les faits qui pourront déclencher la règle ne sont pas nécessairement connus lors de son écriture. On obtient alors une sorte de généralisation de la connaissance contenue dans la base de règles.

Les règles de production possèdent des avantages qui expliquent leur popularité; tout spécialement pour la réalisation des systèmes experts : modularité, autonomie (une règle contient à la fois la connaissance et ses conditions d'applications), indépendance vis-à-vis des autres règles ce qui facilite l'évolution et la mise à jour d'une base de connaissance.

2.6.3 Formalisme à base d'objets

Le principal inconvénient des bases de données relationnelles est l'éparpillement des informations [Badj 89] dans un grand nombre de tables. pour pallier cet inconvénient, l'approche objet ou orientée objet vise à regrouper toutes les informations concernant un objet, ainsi que les traitements, c'est ce qu'on appelle l'encapsulation. Ainsi on se dirige vers un nouveau modèle de données qui est plus orienté vers les objets que vers les enregistrements. Il est issu à la fois de l'intelligence artificielle (réseaux sémantiques) et des bases de données (modèle entité-asociation).

Concepts et formalisme :

Les principaux concepts de ce modèle sont les instances, les classes, l'héritage et les méthodes. Le modèle orienté objet permet de représenter les objets et leurs classes. On dit alors qu'un objet est l'instance d'une classe. La hiérarchie d'objet et l'héritage jouent un rôle important. Un objet est défini par Karchoud [Khol 91] :

- un identificateur d'objet (son nom);
- ses attributs;
- ses propriétés;
- sa ou ses classes d'appartenance;
- ses sous-objets;
- et ses méthodes.

A un objet est associé un identifiant qui permet de le repérer avec exactitude indépendamment de sa valeur.

Une classe représente une collection d'objets ou instances ayant le même comportement. Les classes sont organisées hiérarchiquement par la relation généralisation / spécialisation. Une généralisation est un lien hiérarchique entre deux classes spécifiant que les objets de la classe supérieure sont plus généraux que ceux de la classe inférieure. Par exemple, un modèle pour une ville doit inclure les sous-classes ``rue`` et ``bâtiment`` (figure 2.14)

[Badj 89] [Mill 94].

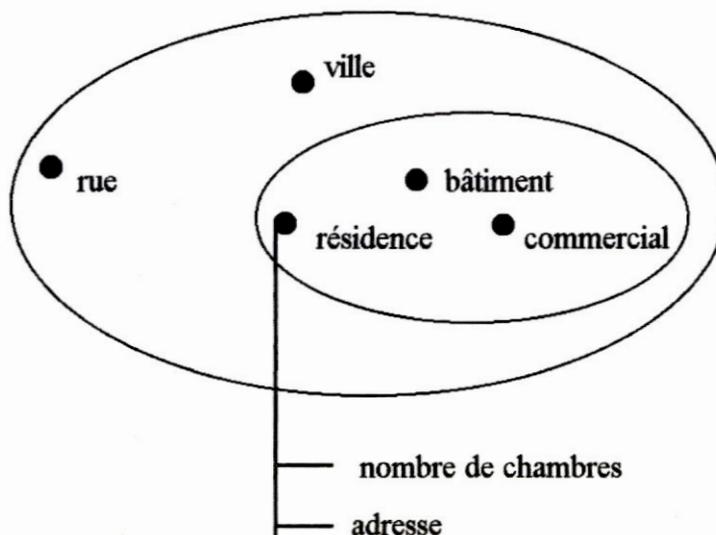


Figure 2.14 Exemples de classes, de sous-classes, et d'attributs

A l'intérieure des classes peuvent exister des sous-classes. La classe ``résidence`` est un bâtiment, résidence est une sous-classe de la classe ``bâtiment``. Un objet d'une sous-classe appartient aussi à la classe elle-même. Une instance de la classe résidence est aussi une instance de la classe ``bâtiment``.

Une des particularités de ce modèle est l'existence de liens d'héritage ``est-un`` (figure 2.15) qui permettent de doter les classes d'un certain nombre de propriétés qui seront héritées implicitement par les instances. Les instances peuvent posséder des propriétés propres. Le lien ``est-un`` sert également à définir des sous classes, ce qui permet l'héritage par la sous classe des propriétés de la classe. Dans l'exemple de la figure 2.14, la classe ``résidence`` possède les attributs hérités de la classe ``bâtiment``, ainsi que les attributs propres qui sont le nombre de chambre, l'adresse, etc.

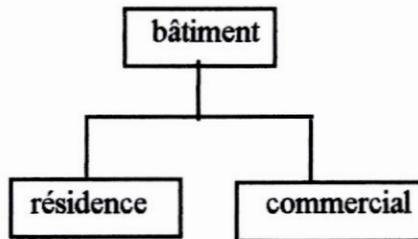


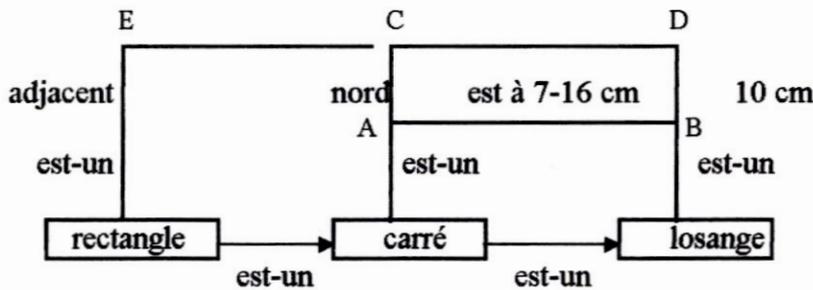
Figure 2.15 L'héritage à travers la relation de généralisation

Un modèle orienté objet permet non seulement de modéliser des objets, mais aussi de modéliser leur comportement en particulier les procédures de bases qui manipulent les objets (créer, supprimer, retrouver, modifier un objet). Celles-ci sont appelées méthodes. Une méthode est une opération associée à une classe qui manipule ou retourne l'état d'un objet ou d'une partie d'objet de la classe. Le processus d'héritage s'applique également aux méthodes.

La notion d'encapsulation permet de regrouper au sein d'un objet donné les attributs et les méthodes qui le caractérisent.

L'accès aux données ne se fait que par les méthodes qui lui sont associées. Le concept d'encapsulation permet d'affranchir l'utilisateur d'une vision interne de l'objet qu'il manipule.

Afin d'augmenter la puissance de modélisation du modèle, il est souhaitable qu'une classe puisse hériter des propriétés de plusieurs autres classes : l'héritage multiple. Dans ce cas, la sous-classe hérite des propriétés et méthodes de toutes ses classes (figure 2.16). Des conflits de noms de propriétés ou de méthodes peuvent alors survenir, ils doivent être résolus (règles de priorités). Exemple, la classe carré peut être définie à partir des classes rectangles et losanges. Dans ce cas particulier, il n'y a aucune difficulté car la classe carré héritera à la fois des caractéristiques des rectangles (4 angles droits) et de ceux des losanges (4 côtés égaux).



E est un rectangle (propriétés : 4 angles droits);
 B est un losange (propriétés : 4 côtés égaux);
 A est un carré (propriétés : 4 côtés égaux et 4 angles droits).

Figure 2.16 Exemple d'héritage multiple d'attributs [Laur 89b]

L'approche orientée objet dans les systèmes d'information géographiques (pour le développement d'applications et la structuration des données) apportera une meilleure évolutivité des applications et une vision informatique plus proche de l'utilisateur [Mill 94].

2.6.4 Formalisme HBDS (hypergraph based data structure)

Ce modèle est basé sur les concepts d'hypergraphes [Laur 89b].

Concepts :

Il permet de décrire les classes d'objets, les instances, leurs propriétés, l'héritage de propriétés et des liens multiples entre objets et classes.

Formalisme :

Un ovale englobe à la fois la classe et les instances. La classe est matérialisée par un rond noir et les diverses instances par des petits carrés. Les gros traits reliant les points noirs représentent les liens entre classes avec le mécanisme d'héritage de propriétés; les traits fins sont les liens entre les instances sans mécanisme d'héritage.

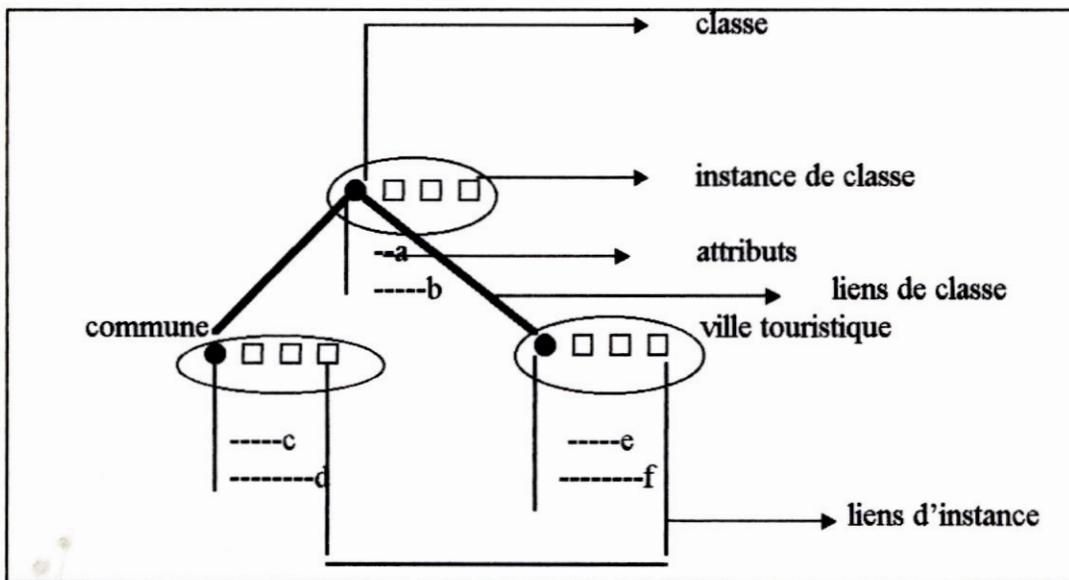


Figure 2.17 Modélisation en hypergraphe (HBDS)

[Laur 89b]

La classe wilaya est subdivisée en deux classes : la classe "commune" et la classe "ville touristique". La classe commune hérite des propriétés a et b de la classe wilaya et possède les propriétés c et d qui lui sont propres.

Ce formalisme possède les avantages du modèle entité-association (les liens représentent les associations et peuvent être porteurs de propriétés). Il allège les modèles de type réseau

sémantique en distinguant les liens ``est-un`` entre classes des autres liens et évite ainsi la multiplication de tels liens entre les instances (se retrouvent au niveau de la classe). Ce modèle est proche du modèle orienté objet.

Conclusion

En conclusion, nous terminons par dresser un tableau comparatif entre les objets spatiaux et les objets urbains.

caractéristiques	Objet spatiaux	Objets urbains
Dimension topologique	3D	2D
Diversité de représentation	selon la préoccupation des utilisateurs	polygone
Fragmentation des connaissances	on ne peut avoir un même degré de connaissances	l'information est connu en un lieu particulier (point, zone)
Représentation et sémiologie graphique	la sémiologie est représentée dans la légende d'une carte ou d'un plan	position et forme, relations spatiales entre objets, description textuelle
Supports de la connaissance spatiale	tables à digitaliser, caméra vidéo, scanners, etc	tables à digitaliser, caméra vidéo, scanners, etc
Problématique des règles spatiales	algorithmes de géométrie encombrement de la base	algorithmes de géométrie encombrement de la base

Tableau 2.1 Tableau comparatif entre objets spatiaux et objets urbains

Après avoir étudié la sémantique des objets spatiaux dont l'importance des caractéristiques spatiales (forme, localisation) a été mise en évidence. Les chapitres suivants vont montrer la nécessité d'avoir des méthodes spécifiques de modélisation, de manipulation et de raisonnement sur ces objets.

CHAPITRE 3

CONCEPTS DE REPRESENTATION

ET DE

MODELISATION DES OBJETS URBAINS

Dans ce chapitre, nous allons voir les différents modèles géométriques et topologiques. Pour chaque modèle, on précisera les caractéristiques principales de représentation et de modélisation.

Définition : La modélisation d'objets est le processus qui permet de recueillir, sauvegarder et manipuler des informations décrivant l'objet [Mesh 96].

Informatiquement parlant, c'est l'étude des structures nécessaires pour représenter des informations et des algorithmes opérant sur ces structures.

3.1 Etat de l'art

3.1.1 Principe du modèle mathématique

La modélisation mathématique des objets spatiaux revient, en fait, à considérer que tout objet de l'espace est composé à partir d'une infinité de points [Khol 91] (figure 3.1).

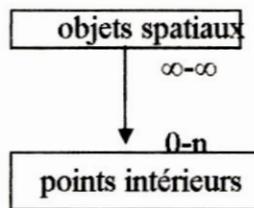


Figure 3.1 Modèle mathématique.

Le stockage physique des informations ou des connaissances devient impossible à réaliser. On ne peut en effet stocker une infinité de points. Deux grandes approches géométriques permettent de remplacer cette infinité de points.

- L'approche de géométrie euclidienne propose de remplacer l'infinité de points par quelques points représentatifs de l'objet; avec des moyens de reconstruction de l'ensemble des points à partir de ces points représentatifs. Elle comporte plusieurs modèles de représentations géométriques. Cette diversité de modèle s'explique par les multiples possibilités de sélections des points représentatifs et leurs regroupements pour reconstituer un même objet (représentation en intension).

- L'approche de géométrie fractale considère les points comme de petites surfaces élémentaires, souvent carrés, tendent vers zéro (représentation en extension).

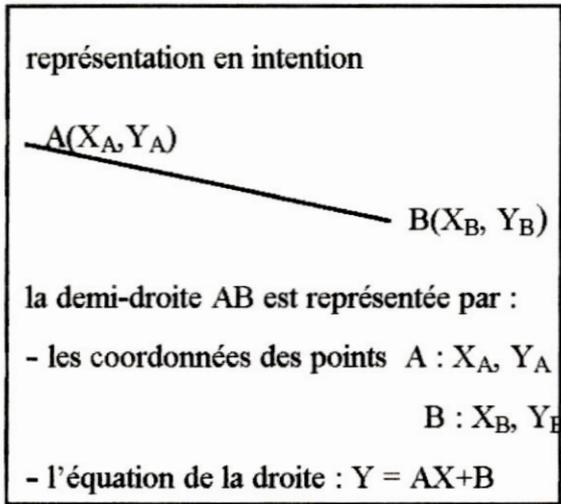
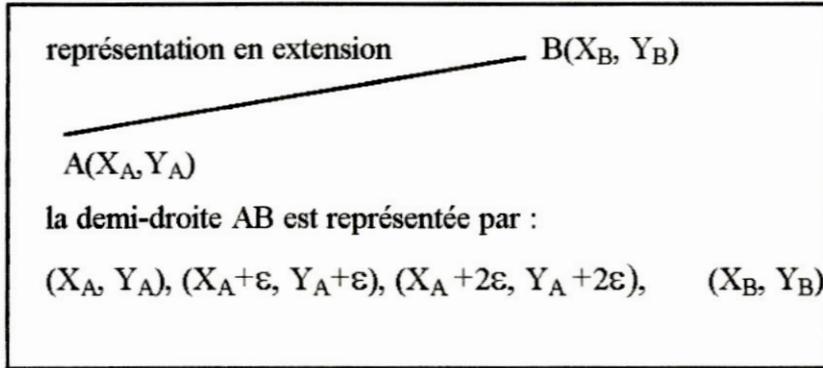


Figure 3.2 Représentation en extension et en intension

Les informations spatiales des objets présentent à la fois des propriétés factuelles et des propriétés de localisation. Les premières peuvent être gérées comme des données classiques de gestion dans les bases de données. Pour en ce qui de la localisation, il existe deux méthodes de représentations qui seront développées dans les paragraphes suivants.

3.1.2 Modèles de représentations topologiques des objets spatiaux

Il existe essentiellement deux familles de modèles de représentations topologiques des objets spatiaux : les modèles basés sur des vecteurs et les modèles basés sur des tessellations.

Dans ce type de modélisation, on s'intéresse plutôt à la relation entre les objets qu'à leur forme.

3.1.2.1 Principe de base

Les modèles de tessellations correspondent à une division régulière de l'espace sous formes de cellules carrées, triangulaires, polygonales ou autres formes régulières, d'une manière générale en (2D) et à leur attacher des attributs factuels. Les images satellitaires et les modèles numériques de terrains (MNT) en sont des exemples.

Les modèles vectoriels quant à eux attachent des représentations géométriques telles que : les points, les lignes et les polygones, aux autres propriétés factuelles de l'objet spatial.

- Le point : élément défini uniquement par ses coordonnées. Il symbolise généralement un objet ponctuel dont les dimensions sont négligeables.
- La ligne : entité délimitée par une série de points. Elle définit principalement les objets de type linéaire.
- Le polygone : est représenté par une ligne fermée. Il se distingue par l'existence d'une surface calculable et d'une frontière (cas des objets urbains).

Avec les modèles vectoriels purement géométriques (spaghetti) l'organisation spatiale doit-être inférée à partir de la géométrie. Avec les modèles vectoriels topologiques une structure de graphe topologique saisit les relations spatiales entre des objets spatiaux. La topologie améliore le traitement des requêtes concernant les liaisons entre objets

[Khol 91]. La géométrie reste nécessaire pour la localisation des objets dans l'espace.

Dans ce mode, les objets et leurs limites sont localisés avec précision dans un référentiel géographique absolu (longitude, latitude) ou cartésien (x,y). Ce mode est lié à la notion de carte [Idri 96].

Il y a des contraintes d'intégrité spatiales à prendre en compte lors de la construction des objets et de leurs mises à jour [Khol 91] [Laur 93b] [Laur93a].

Quelques exemples pour fixer un peu les idées :

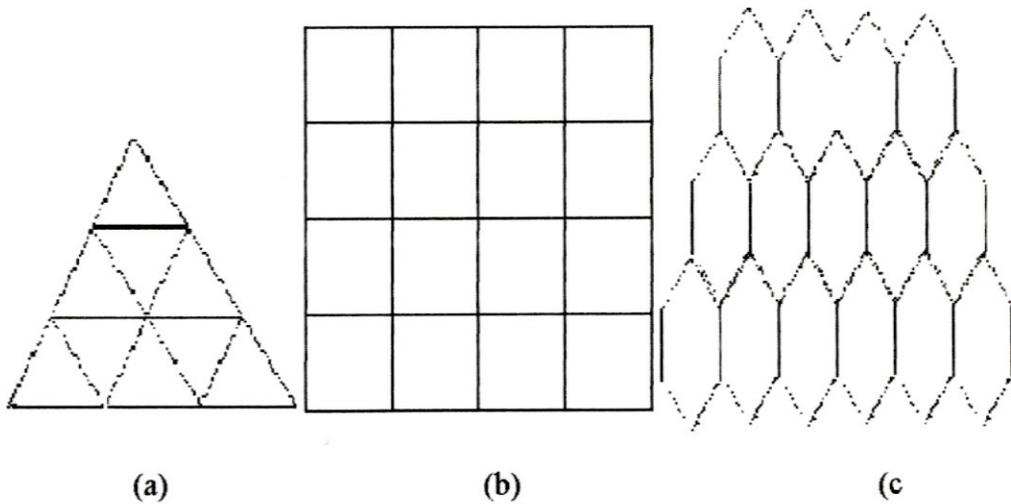
- deux points d'identifiants différents doivent avoir des coordonnées de valeurs différentes dans les modèles ponctuels.

un polygone doit-être fermé et non dégénéré, c'est-à-dire de surface non nulle [Laur 93b].

- les segments d'une même ligne brisée (polyline) doivent être jointifs dans les modèles filaires.

a-modèles de tessellations

Dans ce modèle, un objet spatial est décomposé en plusieurs cellules. Ces cellules peuvent être de la forme tétraédrique, cubique, alvéolaire ou plus généralement polyédrique. Si l'on s'intéresse uniquement à l'enveloppe bidimensionnelle de l'objet, ces cellules peuvent être de la forme triangulaire, carrée ou hexagonale comme indiqué sur la figure 3.3.



- (a) Triangulaires;
- (b) Carrées;
- (c) Alvéolaires ou hexagonales.

Figure 3.3 Exemple de représentation bidimensionnelle de tessellations régulières [Khol 91]

Dans la figure 3.4, nous présenterons un exemple de modèle de représentation réelle des tessellations bidimensionnelles avec des cellules carrées, où chaque cellule contient un numéro soit de polygone, soit de tracé (ligne) ou soit de point.

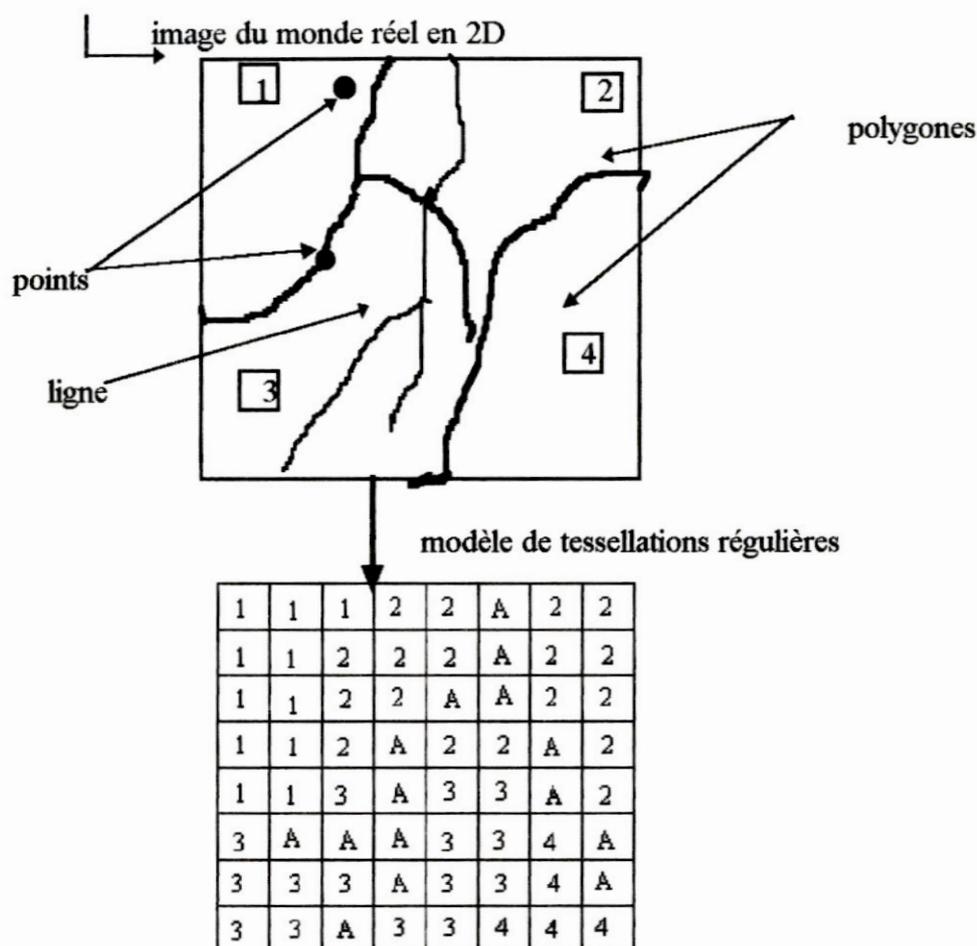


Figure 3.4 Exemple de représentation basée sur des tessellations régulières

b-Modèles vectoriels

Les modèles vectoriels ont pour éléments de base les « lignes ». Parmi ces modèles, on peut citer les deux principaux : le modèle vectoriel topologique et le modèle vectoriel spaghetti.

b.1 Modèles vectoriels topologiques

Dans ce modèle, un objet spatial complexe est décrit par une liste d'objets simples ou complexes, son identifiant, ses attributs et ses relations [Khol 91] (figure 3.5). Il est en relation de composition avec des objets simples de rang inférieur. Les relations de composition permettent de décrire le mode de constitution des objets complexes. Les relations topologiques de voisinage entre les objets servent à exprimer la position relative des objets entre eux.

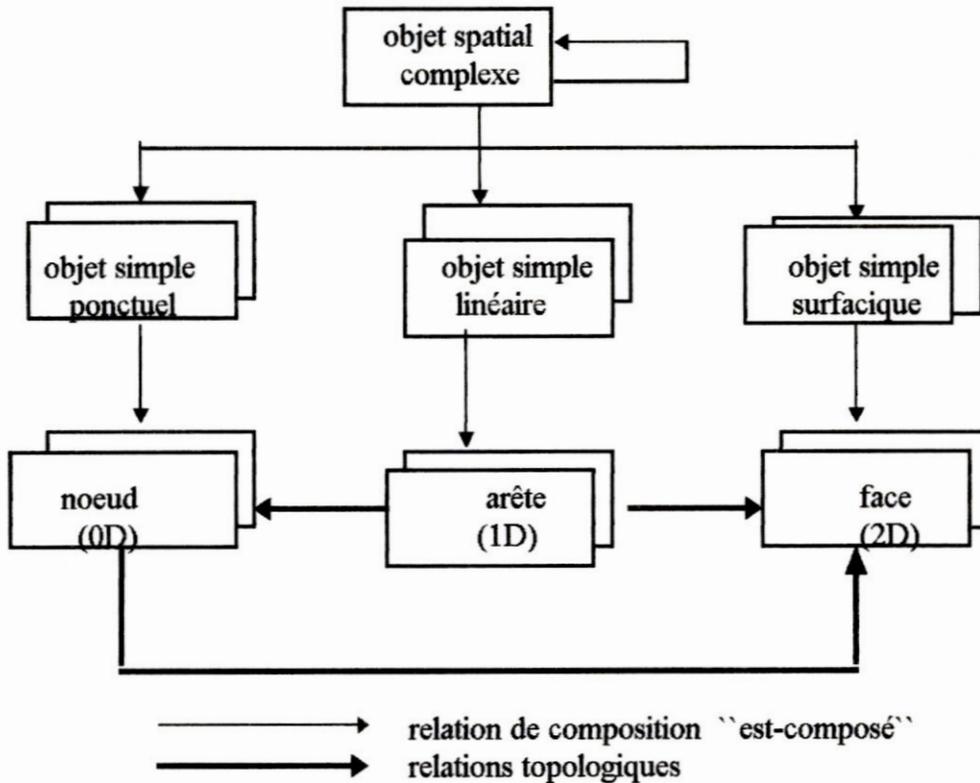


Figure 3.5 Schéma conceptuel d'un objet spatial complexe

- La relation topologique entre un noeud et une face (ou une surface) indique qu'un noeud est inclus dans une face.
- La relation topologique entre arc (ou une arête) et une face indique qu'une arête est à gauche ou à droite d'une face.
- La relation topologique entre un arc (ou une arête) et un noeud indique qu'une arête a un noeud début et un noeud final.

Un objet simple est composé uniquement de primitives topologiques telles que noeuds, arêtes et faces qui sont des éléments géométriques. Ces primitives sont des éléments du modèle de représentation qui permettent de décrire la géométrie et la topologie d'un objet spatial.

- Un objet simple ponctuel est composé de noeud début, noeud final et des points intermédiaires. Il est décrit par une liste de noeuds, son identifiant, ses attributs et ses relations.
- Un objet simple linéaire est composé de lignes délimités par des points. Il est décrit par une liste d'arêtes, son identifiant, ses attributs et ses relations.
- Un objet simple surfacique est composé de faces délimitées par des lignes; elles mêmes délimitées par des points. Il est décrit par une liste de faces, son identifiant, ses attributs et ses relations.
- Un noeud est l'élément du modèle de dimension zéro (0D), il est porteur d'informations topologiques (extrémités d'arêtes) et géométriques (coordonnées). Il est décrit par ses coordonnées cartésiennes (localisation géométrique d'un objet), son identifiant et ses attributs (couleurs, etc).
- Une arête est l'élément du modèle de dimension un (1D), elle est porteuse d'information topologiques (connexion entre deux noeuds) et géométriques. Elle est décrite par les coordonnées cartésiennes de ses noeuds début et fin, son identifiant et ses attributs (couleurs, épaisseur, etc).
- Une face est l'élément du modèle de dimension deux (2D), elle est porteuse d'informations topologiques et d'informations géométriques. Elle est décrite par son identifiant et ses attributs (forme géométrique, surface, couleur, etc.).

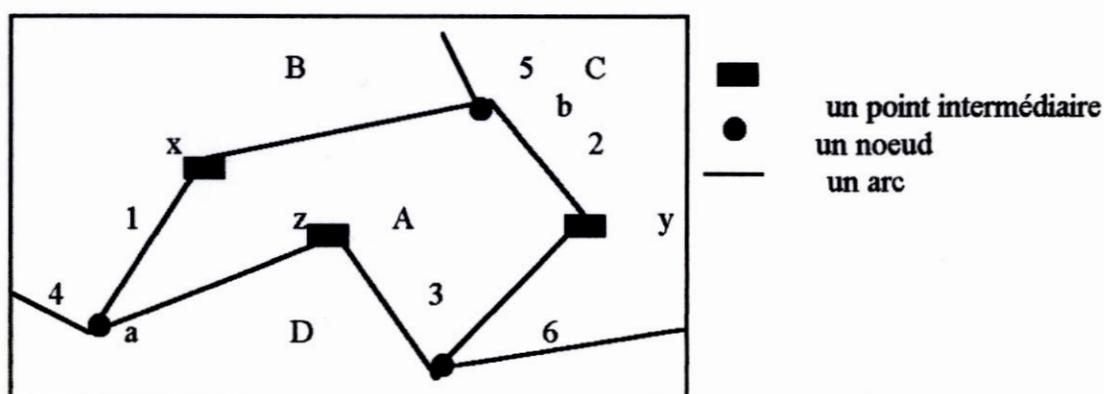


Figure 3.6 Exemple de représentation d'un polygone

Comme, on peut le voir sur la figure 3.6 on a :

les arcs sont : 1,2,3,4,5,6

les noeuds : a, b, c

les points intermédiaires : x, y, z

et les faces : A, B, C, D

b.2 Modèle vectoriel spaghetti

Dans ce modèle, un objet spatial complexe est décrit par des objets simples linéaires ou ponctuels. Un objet est décrit par une ligne unique sans considération des intersections avec les autres objets de l'espace [Khol 91].

Exemple :

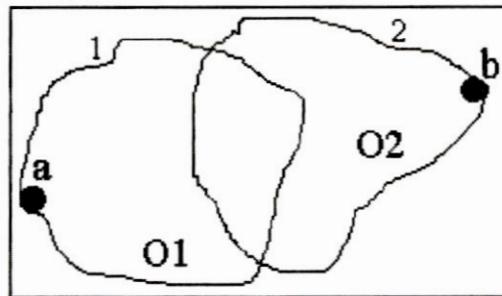


Figure 3.7 Schéma de deux objets O1 et O2

O1, O2 : 2 figures géométriques ;

1, 2 : numéro d'identification de la figure ;

a, b : les points nécessaires pour représenter le contour de l'objet.

L'intersection entre O1 et O2 n'est pas prise en compte, implique que chaque objet va contenir les coordonnées du résultat de l'intersection d'où l'inconvénient : redondance géométrique des informations (figure 3.7). Par contre cette redondance peut être bénéfique pour les requêtes de différence, d'union entre les objets au détriment de l'occupation mémoire.

La figure 3.8, nous montre un exemple simplifié du processus de modélisation d'une image réelle sous la forme d'un modèle vectoriel Spaghetti. La structure de connaissance associée se résume dans un tableau à trois colonnes.

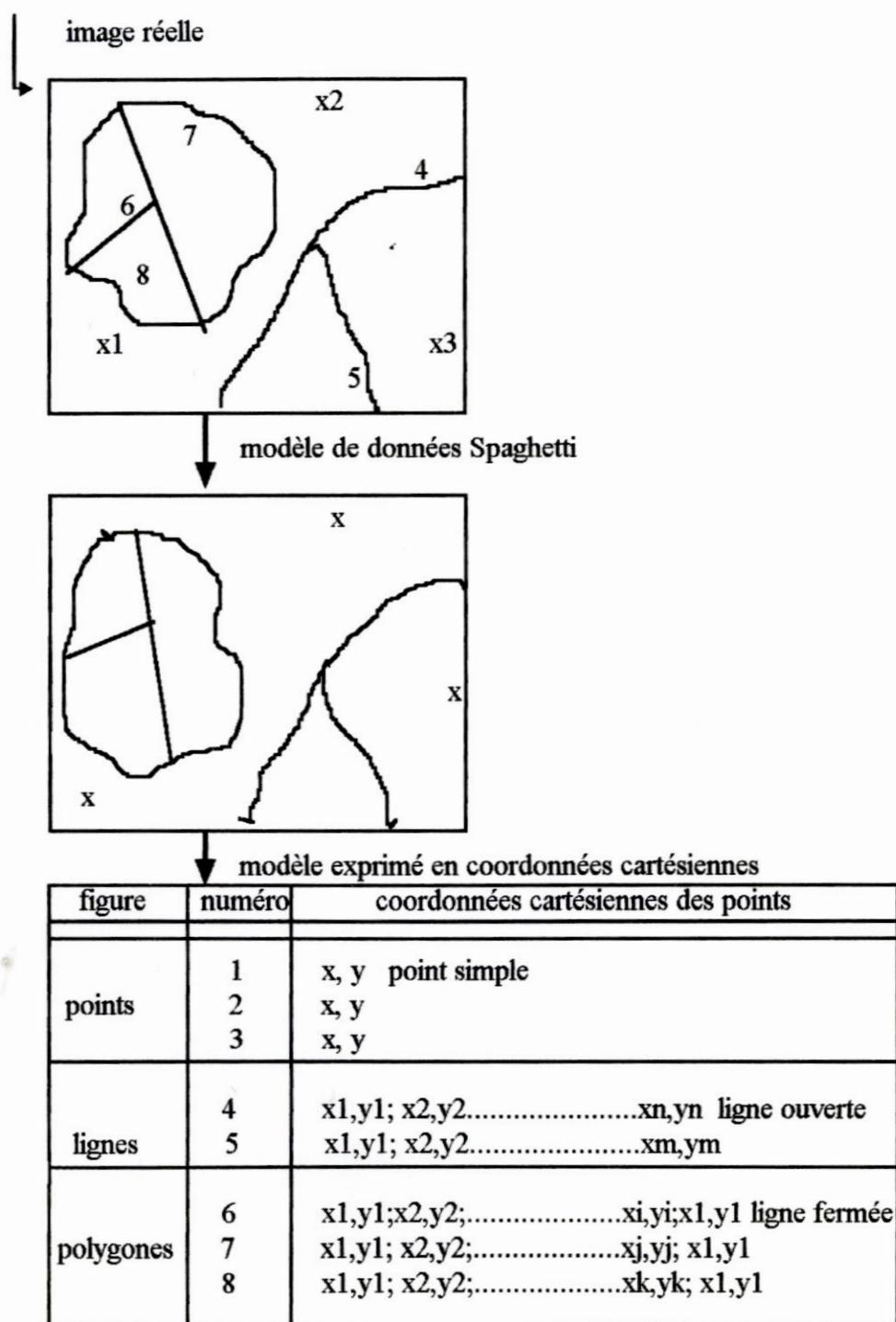


Figure 3.8 Exemple de modèle spaghetti et structure de données associées

[Kkol 91]

Structure de données :

figure : indique la nature de la figure géométrique ;

numéro : numéro d'identification de la figure ;

dernière colonne : coordonnées cartésiennes des points nécessaires pour représenter le contour de l'objet.

3.1.3 Modèles de représentations géométriques des objets spatiaux

Une modélisation qui s'intéresse aux propriétés géométriques de l'objet telles que sa forme et ses dimensions est dite modélisation géométrique. Les objets spatiaux tridimensionnels ont des propriétés pas faciles à exprimer uniquement en termes de surfaces, de faces, d'arêtes et de points. C'est ainsi, qu'au fil des années plusieurs modèles ont vu le jour, tels que le modèle par les frontières B-Rep, le modèle par arbre de construction CSG; et le modèle par arbre octal : octree. Ces modèles permettent de représenter les objets et de calculer leur propriétés géométriques et physiques.

3.1.3.1 Représentation par balayage

Dans ce modèle, on génère un objet spatial par le déplacement d'un objet dans l'espace qui se déforme selon une certaine trajectoire [khol 91]. A chaque type d'objet et type de trajectoire correspond une classe particulière d'objet spatial.

Exemple de types de trajectoires :

1. une ligne droite par translation le long d'un axe;
2. un arc de cercle par rotation autour d'un axe;

La figure 3.9 décrit l'objet par une portion de surface qui se déplace par translation le long de l'axe OZ.

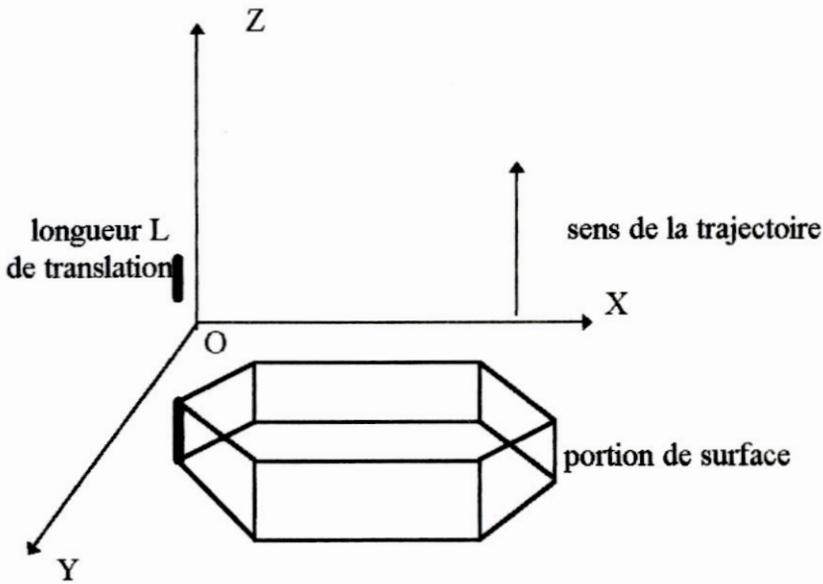


Figure 3.9 Objet généré par translation d'une portion de surface le long de l'axe OZ. (Khol 91)

La description des objets avec ce modèle est facile à obtenir; il suffit de définir le générateur et la trajectoire, ce qui facilite à son tour le stockage des structures nécessaires à la définition du modèle ainsi que les transformations géométriques.

Le manque d'outils algorithmiques pour le calcul des propriétés géométriques, pour la mise en oeuvre des opérateurs booléens et la visualisation sont les principaux inconvénients de cette approche [Khol 91]. C'est un modèle qui est encore mal exploré en recherche.

3.1.3.2 Représentation par arbre de construction

(CSG : construction solid geometry)

Deux types de représentations spatiales prévalent dans les technologies informatiques. L'une est basée sur la décomposition des objets en éléments constitutifs et l'autre sur la décomposition de l'espace-objet en sous-espaces de formes régulières (quadrees, octrees) voir les paragraphes suivants.

De nombreux systèmes graphiques vectoriels et matriciels ont fourni l'appui logiciel et matériel pour des données spatiales structurées. Ces représentations hiérarchiques se sont révélées pratiques pour positionner les objets ainsi que leurs éléments constitutifs dans l'espace et pour déplacer ou repérer les objets les uns par rapport aux autres.

Dans ce modèle on dispose :

1. d'un ensemble de volumes élémentaires de base tels que les parallélépipèdes, les sphères, les cônes, les tores, etc.
2. de transformations géométriques (translation, rotation, etc).
3. et d'un ensemble d'opérations de composition (union, intersection et différence).qui permettent de combiner les objets de base afin de construire des objets spatiaux complexes.

C'est un modèle constructif. Un modèle constructif : est un modèle où un objet est construit en assemblant ses composants.

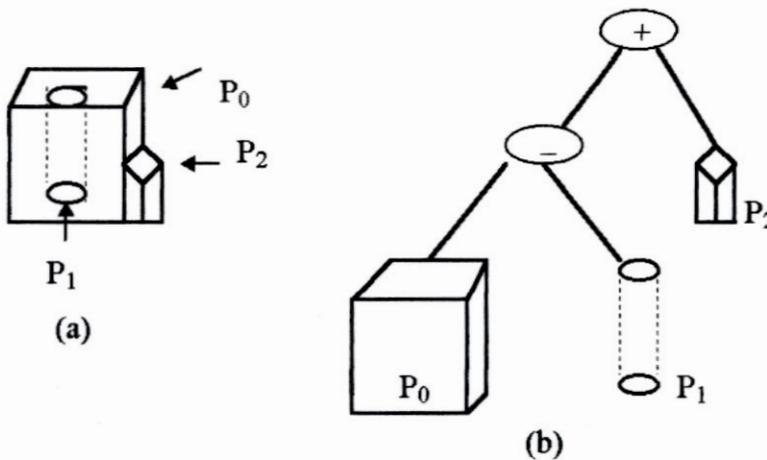


Figure 3.10 Exemple de construction d'un objet par le modèle CSG

Cette représentation géométrique est très utilisée dans le domaine de la C.A.O, la description de solide se fait à l'aide d'une grammaire et d'un arbre de construction.

$\langle \text{solide} \rangle := \langle \text{solide} \rangle \langle \text{opérateur} \rangle \langle \text{solide} \rangle / \langle \text{forme élémentaire} \rangle \backslash \text{transformatio}(\langle \text{solide} \rangle);$

$\langle \text{forme élémentaire} \rangle := \text{cube} / \text{sphère} / \text{parallépipède} / \text{etc};$

$\langle \text{opérateur} \rangle := \text{union} / \text{intersection} / \text{différence};$

$\langle \text{transformation} \rangle := \text{rotation} / \text{translation} / \text{etc};$

Cette représentation permet de considérables économies de mémoire quand les objets et leurs éléments constitutifs se présentent plusieurs fois dans une scène. Ils ne sont définis qu'une seule fois. Les facilités de création, de stockage et de validation sont les principaux avantages de cette approche.

Par contre elle présente des difficultés dans le calcul des propriétés géométriques, physiques d'un objet complexe (elle permet difficilement de tester si un point appartient ou non à un volume) et dans certaines conversions (exemple arbre CSG vers le modèle par les frontières).

3.1.3.3 Modèles quadrees et octrees

Les octrees sont une généralisation d'un schéma de représentation tridimensionnel appelé quadtree (ou arbre quaternaire).

a-Quadrees

Au cours de ces dernières années, la représentation quadtree a été utilisé comme structure de données dans les applications de traitement d'images, de graphiques et de la cartographie informatisée. Un modèle représenté par des quadrees (quadrants arborescents) est un modèle à deux dimensions (2D) basé sur la subdivision successive et récursive d'un carré en carrés plus petits jusqu'à l'obtention d'un carré minimal homogène (seuil de décomposition est atteint : si le carré est vide ou il fait partie d'une surface unique) (figure 3.11) [Chau 85] [Varm 90].

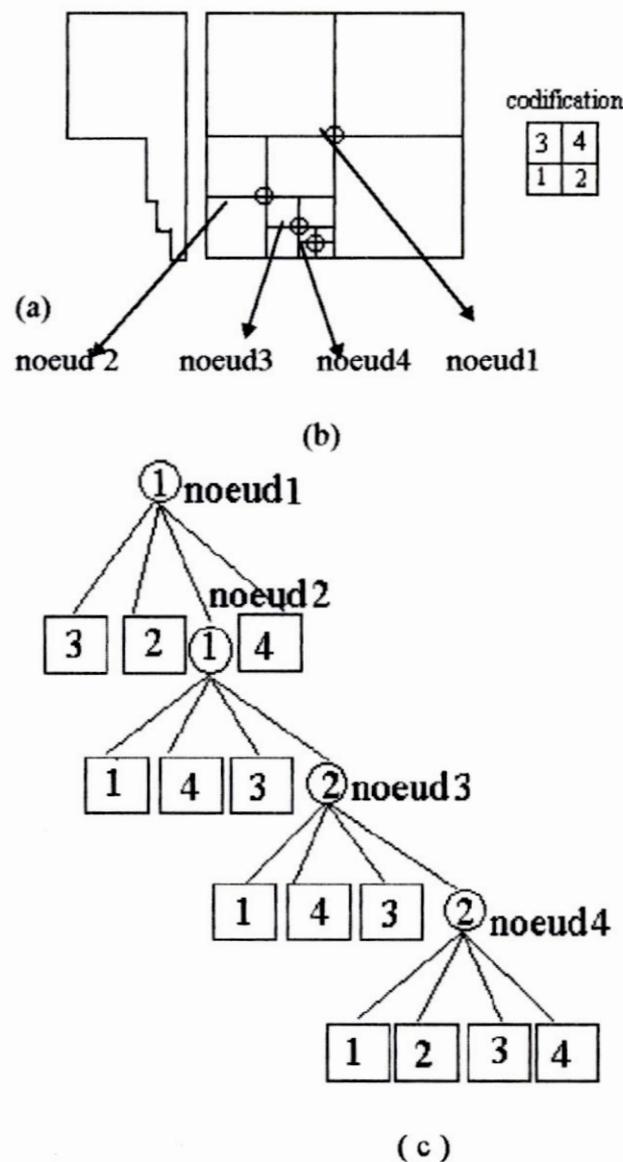


Figure 3.11 (a) : L'image d'une région urbaine
 (b) : Décomposition en quadrants de la région en (a)
 (c) : Structure arborescente du quadtree correspondant.

Dans la figure 3.11 ©, est donnée la structure arborescente classique dans laquelle les carrés représentent les quadrants et les ronds les nœuds de l'arbre. Chaque nœud de l'arbre est soit terminal, soit décomposé en quadrants.

On appelle profondeur de l'arbre, notée P_A [khol 91], le nombre maximum de décomposition reliant la racine et un nœud terminal quelconque. Le paramètre P_a permet de qualifier la résolution du matériel graphique de visualisation de l'image utilisée.

Les différences de mise en application dépendent de la nature des calculs au niveau des noeuds. Ces calculs impliquent souvent l'examen des noeuds, dont les quadrants correspondants sont adjacents aux quadrants dont le noeud est au cours de traitement (figure 3.12) [Varm 90]. Les noeuds sont appelés 'voisins' et le processus consistant à les localiser répond au nom de 'recherche de voisins'. Il s'agit d'une importante opération fréquemment exécuter sur les fichiers de données spatiales.

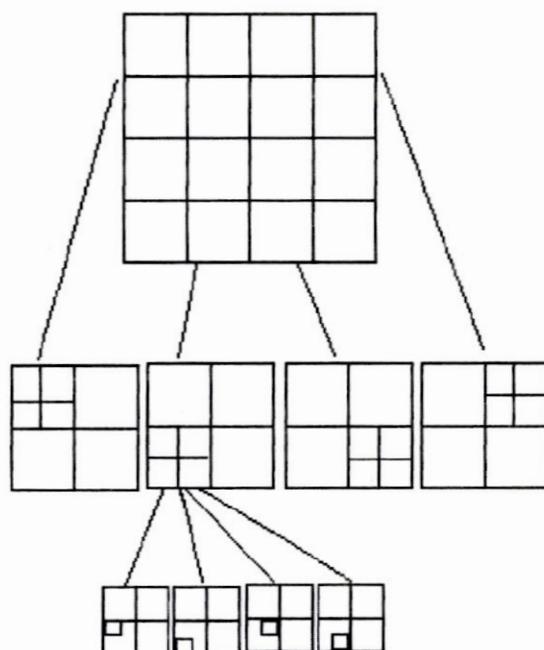


Figure 3.12 Cellules voisines les plus proches dans les quadrees

Ce modèle a l'avantage de diminuer d'une manière significative l'encombrement mémoire.

b-Modèle octree

Les octrees sont le prolongement naturel du concept du quadrees, c'est-à-dire l'extension à trois dimensions (3D) du modèle à deux dimensions (2D) par des quadrees (carrés remplacés par des cubes) [Varm 90] [Khol 91] [Laur 93a].

Un octree est une décomposition cellulaire de l'espace-objet, subdivisé en huit cellules d'égales dimensions. La subdivision cesse, si l'une des cellules est homogène (signifie qu'elle se trouve à l'intérieur ou à l'extérieur de l'objet). D'autre par, si la cellule est hétérogène (c'est-à-dire qu'elle est intersectée par une ou plusieurs des surfaces limitant l'objet), elle est de nouveau divisée en huit sous cellules. Le processus de subdivision cesse quand toutes les cellules feuilles sont homogènes avec un certain degré de précision (délimitant la taille des cubes élémentaires).

La représentation par octree d'un objet consiste à modéliser le principe de subdivision de la région de l'espace (dans notre cas une région urbaine) qui le contient par un arbre octal dont :

- la racine de l'arbre correspond à la région cubique qui englobe l'objet.
- un noeud interne correspond à un octant hétérogène (il a huit fils).
- les feuilles correspondent à des octants homogènes (pleins ou vides).

Ces cellules peuvent être des volumes quelconques mais l'usage des cubes de taille fixe est très fréquent. Ces cubes sont appelés des voxels (volume éléments) sont localisés le plus souvent par les coordonnées d'un point.

- ◆ Le modèle octree jouit d'un certain nombre de propriétés intéressantes. Il est non ambigu, unique, concis et facile à valider.
- ◆ Les voxels composants un objet sont représentés par une structure arborescente hiérarchique qui réalise la condensation des données au moyen de la cohérence spatiale. Ce qui réduit les exigences en mémoire relativement à d'autres représentations.

- ◆ Tous les objets, quelque soit leur forme (convexes ou concaves avec des vides à l'intérieur) peuvent être représentés à la précision de la plus petite cellule.
- ◆ Le noeud racine de l'arbre représente l'objet, de cette manière, les noeuds à un certain niveau ainsi que tous les noeuds supérieurs représentent l'objet à la résolution de ce niveau. Par conséquent les algorithmes peuvent opérer à un niveau approprié selon la tâche à entreprendre et éviter la charge de se préoccuper des données stockées aux niveaux inférieurs.
- ◆ En raison du tri spatial et de l'uniformité de la représentation, les opérations sur les octrees sont simples et efficaces [Varm 90]. Des opérations telles que l'union, l'intersection, la translation, la rotation, le changement d'échelle peuvent s'accomplir en accédant une fois seulement à chaque noeud de l'arbre.
- ◆ Facile à obtenir à partir d'un autre modèle.
- ◆ On peut aisément calculer les propriétés géométriques et physiques (masse) d'un objet spatial.

Par ailleurs, le modèle octree pose les problèmes suivants :

- ◆ La structure octree ne donne qu'une approximation plus ou moins grossière de l'objet spatial selon le niveau de résolution choisi.
- ◆ Encombrement mémoire de stockage, le modèle octree nécessite un espace mémoire très large. Hunter et Sleiglitz ont prouvé que l'espace mémoire requis pour stocker un quadtree est de l'ordre du périmètre de l'objet. Similairement Meagher a prouvé qu'il est de l'ordre de la surface de l'objet quand il s'agit d'un octree [mesh 96].
- ◆ Difficulté d'effectuer des transformations géométriques (reconstitution de l'arbre octal).

Pendant des années, ce type de représentation des données s'est limité à la reconnaissance des formes [Chau 85]. Il est également très utile pour l'indexation de l'espace pour préciser la situation d'un cube donné (figure 3.13).

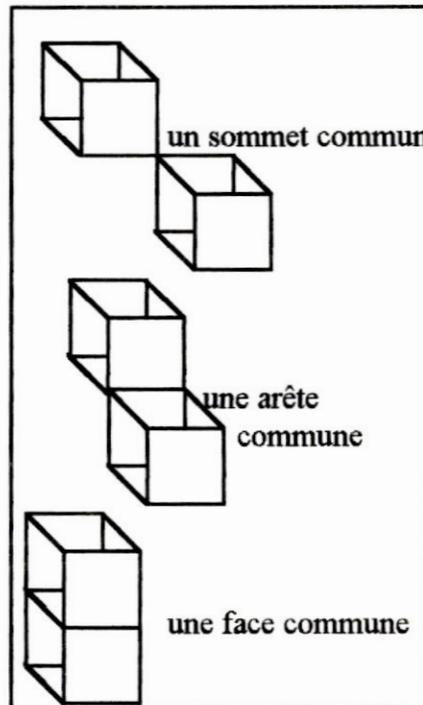


Figure 3.13 Adjacence de cube

La structure de quadrees et d'octrees présente des propriétés intéressantes lorsqu'on leur associe une clé de Péano. Ce mécanisme permet de remplacer un espace à deux ou trois dimensions par une seule courbe (objet à une seule dimension) qui passe par tous les points de cet espace. Cette courbe est appelée courbe de Péano. L'intérêt de la courbe est de permettre la modélisation des objets en liaison avec les quadrees en deux dimensions ou les octrees en trois dimensions. La manipulation de ces quadrees et de ces octrees facilitent la résolution des requêtes spatiales [Khol 91]. Pour plus de détails sur l'utilisation des courbes de Péano voir [Khol 91] et [Laur 93a].

3.1.3.4 le modèle par les frontières

Les représentations dites de ``frontières`` sont celles où le modèle n'est connu que par sa surface externe ou enveloppe appelée « frontière » qui est défini par un ensemble de faces ou de morceaux de surfaces. L'intersection des faces sont des lignes appelés arêtes et l'intersection des arêtes sont des points appelés sommets, voir figure 3.14

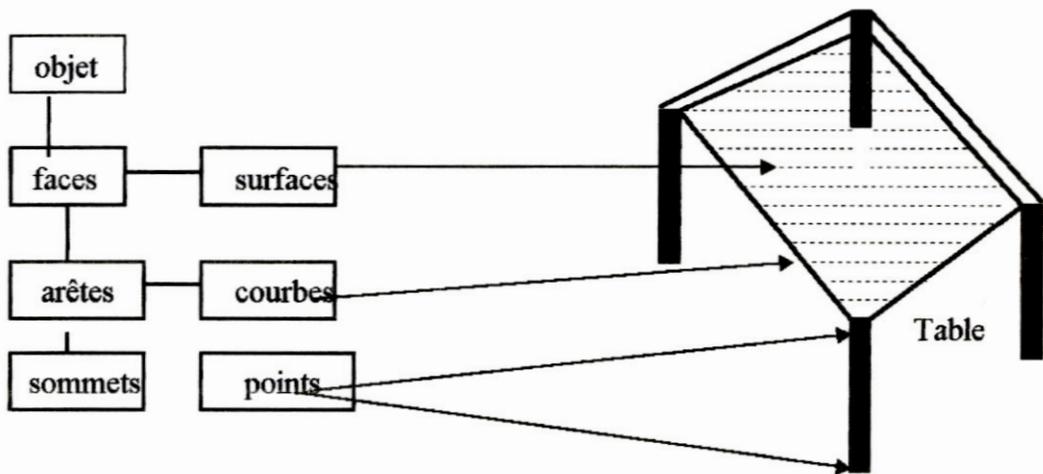


Figure 3.14 Modèle de la représentation par les frontières

Outre cette description géométrique, cette représentation fournit également une description topologique pour tenir compte des relations qui existent entre les différentes parties de la frontière. Il peut s'agir de relation de contiguïté, d'incidence ou d'inclusion.

Prenons un exemple de modèle par les frontières pour les polyèdres (figure 3.15).

- un objet comporte au moins 4 faces (tétraèdre) et au maximum n (polyèdre).
- une face est limitée par au moins 3 arêtes (triangle) et au maximum n (polygone).
- les arêtes avec un sens d'orientation pour la topologie (ordre trigonométrique).
- une arête appartient toujours à 2 faces et à 2 seulement. Elle est défini par 2 points qui sont les sommets.
- un sommet appartient au moins à 3 arêtes et éventuellement à plusieurs. Il est caractérisé par ses coordonnées x, y, z .

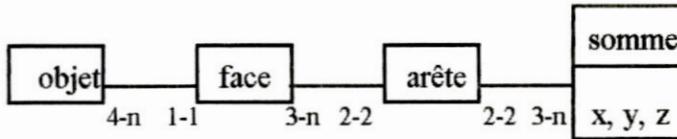


Figure 3.15 Modèle conceptuel d'un objet
(cas de la représentation par les frontières)

C'est un modèle très difficile à valider. Requicha a défini un ensemble de contraintes d'intégrités que doivent vérifier les différents éléments qui composent la frontière [Laur 93b] [Khol 91].

- * Chaque face doit vérifier un ensemble de propriétés qui assurent la reconnaissance de l'objet.
- * Une face ou un morceau de surface doit posséder une aire et ne pas comporter d'arêtes pendantes ni de points isolés (figure 3.16).

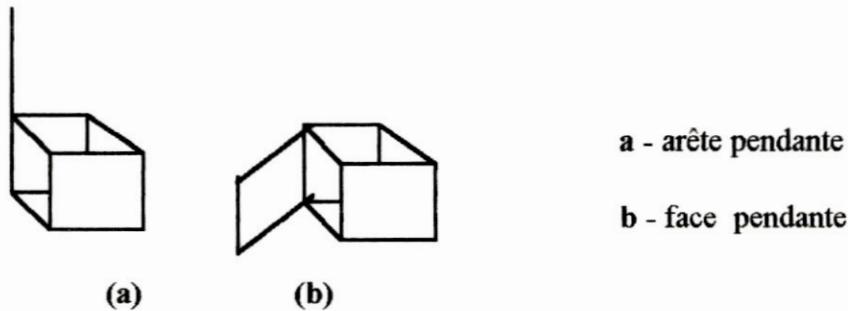


Figure 3.16 Exemple d'arête pendante et de face pendante

- * toute face ou morceau de surface d'un objet spatial est un sous ensemble d'une surface de base.
- * une face ou morceau de surface d'un objet spatial est un sous ensemble de la frontière de l'objet.
- * l'union de toutes les faces ou tous les morceaux de surfaces d'un objet doit être égale à la frontière de l'objet.

Afin de s'assurer de la cohérence topologique d'un objet, on applique la formule d'Euler.

$$F+S-A=2$$

- ou F = nombre total de faces ;
 S = nombre total de sommets ;
 A = nombre total de d'arêtes ;

On peut le vérifier sur un cube : $F= 6$;

$$S= 8;$$

$$A= 12;$$

$$6+8- 12 = 2$$

On pose $g = 1 - (F+S-A) / 2$ [Khol 91].

Si un objet est valide au sens de l'équation d'Euler, alors la valeur de g est nulle. Cela veut dire qu'il n'y a pas d'incohérence dans la constitution des éléments, et notamment que la surface de son enveloppe externe n'est pas trouée. Par contre si g prend une valeur différente de zéro, alors la (ou les) surface de l'enveloppe possède des trous. Pour des objets qui ont des trous ou des parties disjointes, la formule d'Euler devient la formule d'Euler- Poincaré.

$$F+S-A = 2P-2C+T$$

- ou P = nombre de parties disjointes;
 C = nombre de cavité sur la face;
 T = nombre de trous à travers l'objet

Le modèle B-Rep est réputé pour la description naturelle de l'objet, pour la facilité avec laquelle sont réalisées les opérations géométriques (rotation, translation, etc) et de visualisation.

Les difficultés de réalisation des opérations logiques (dues au grand nombre de faces constituant l'objet spatial), des opérations de validation et l'absence d'algorithmes généraux en sont les principaux inconvénients.

Certains de ces inconvénients disparaissent lorsqu'on approxime en considérant les faces comme des facettes planes et les arêtes comme des segments de droite : c'est la représentation polyédrique [Khol 91].

Les éléments faces, contours, arêtes et sommets définissent la topologie de l'objet. A certains éléments topologiques correspondent des attributs ou entités géométriques.

Exemple : face → une surface
 arête → une courbe
 sommets → un point

Remarque :

Nous notons que nos objets urbains ont une forme polygonale et nous travaillons dans un environnement bidimensionnelle (2D). Les contours des objets sont représentés par des figures géométriques qui sont : le point, le segment et le polygone. Chaque objet urbain possède un contour polygonal constitué de segments délimités par des points (figure 3.17).

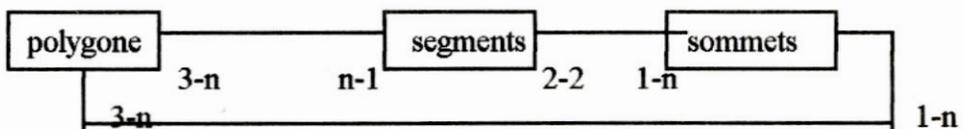


Figure 3.17 Exemple de modélisation d'un objet urbain par le modèle B-Rep

Les modèles de CAO les plus répandus sont CSG et B-Rep

Avant de conclure, nous dressons un tableau qui résume les propriétés des différents modèles (tableau 3.1).

Propriétés	B-REP	CSG	Balatage	Octree
création	facile	facile	facile	assez facile
opérations ensemblistes	très difficiles	assez faciles	?	faciles
opérations géométriques	faciles	faciles	faciles	difficiles
encombrement mémoire	faible	faible	faible	important
calcul propriétés	oui	approche	difficile	approche
visualisation	assez facile	assez facile	assez facile	facile
validation	assez facile	facile	?	facile

Tableau 3.1 Tableau comparatif des modèles

Conclusion

Après avoir décrit les différents modèles de représentations, nous aboutissons à la conclusion qu'il n'existe pas de modèle idéal de représentation des objets spatiaux réunissant toutes les bonnes propriétés. Chaque modèle a ses avantages et ses inconvénients. Souvent, il est nécessaire de combiner des modèles de représentations des objets entre eux. Ces modèles hybrides ont les avantages des deux modèles.

On peut citer, à titre d'exemple :

1. les octrees généralisés] résultat de croisement d'une B-Rep et d'un octree.
2. les modelés combinant le modèle polyédrique et le modèle octree [Khol 91] (figure 3.18).

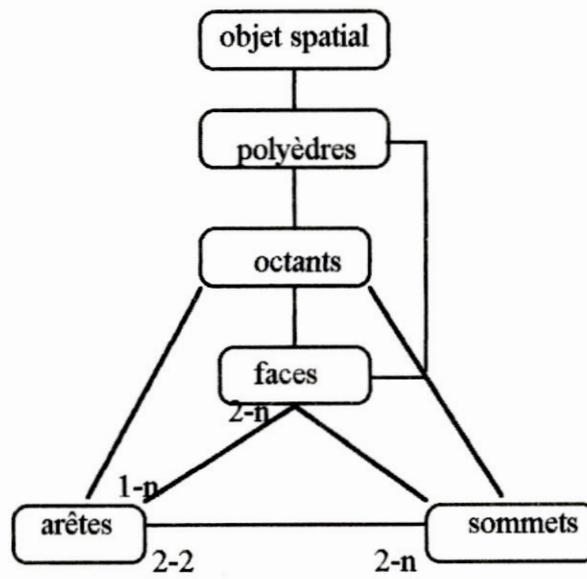


Figure 3.18 Modèle hybride combinant le modèle polyédrique et le modèle octree

CHAPITRE 4

MANIPULATION DES OBJETS URBAINS

Les requêtes et manipulations des objets urbains font intervenir plusieurs types d'opérations.

- ◆ Les opérations d'adjacences pour connaître les relations de voisinage entre les objets urbains.
- ◆ Les opérations ensemblistes pour savoir si les objets urbains ont des parties communes (inclusion, intersection).
- ◆ Les opérations de calculs qui permettent de déterminer les propriétés d'un objet urbain, par exemple, la surface, le périmètre, la détermination de centroïde et les distances qui le séparent des autres objets urbains.

4.1 Éléments de géométrie algorithmique

Les méthodes de géométrie algorithmique permettent la manipulation des objets urbains.

4.1.1 Opérations élémentaires

Comme opérations élémentaires, nous allons voir la translation, la rotation, le changement d'échelle et les opérations de sélection et de composition.

a- Translation

La translation permet de déplacer un objet parallèlement à lui-même.

Si x_n, y_n : les nouvelles coordonnées;

x_a, y_a : les anciennes coordonnées;

et t_x, t_y : les déplacements sur les axes;

Alors on obtient $x_n = x_a + t_x$

$$y_n = y_a + t_y$$

b- Rotation

Une rotation d'angle α se fait par la transformation suivante:

$$x_n = x_a \cdot \cos(\alpha) + y_a \cdot \sin(\alpha)$$

$$y_n = x_a \cdot \sin(\alpha) + y_a \cdot \cos(\alpha)$$

c- Changement d'échelle

Le changement d'échelle permet de grossir ou de diminuer un objet d'un facteur quelconque (zoom). Le changement d'échelle de valeur e s'écrit de la façon suivante :

$$X_n = e \cdot X_a$$

$$Y_n = e \cdot Y_a$$

d- Projection géométrique

Cet opérateur permet de projeter un objet sur un plan XOY.

e- Opération de sélection

L'opérateur de sélection est intéressant lorsque l'on désire visualiser ce qu'il ya dans une portion de l'espace.

f- Opération de composition

Cet opérateur met en évidence l'aspect de composition d'un objet complexe à partir d'objets simples.

4.1.2 Opérations sur les polygones

L'objectif de ce paragraphe est de rappeler les principes de quelques algorithmes, comme l'intersection segment-polygone, le test d'appartenance d'un point à un polygone, les opérations ensemblistes d'union, d'intersection et de différence de polygones.

4.1.2.1 Appartenance d'un point à un polygone

On cherche à déterminer si un point quelconque (point cliqué à l'écran) est à l'intérieur ou non d'un objet. Cela revient à déterminer s'il y a inclusion ou non d'un point dans un polygone. Il existe deux méthodes : celle du tracé de la droite qui repose sur l'algorithme de la demi-droite dit théorème de Jordan et celle de la somme des angles.

Théorème de Jordan :

Soient $A(x, y)$ et P polygone. A partir du point A , on trace une demi-droite qui coupe notre objet en plusieurs points. Si on a un nombre impair d'intersection alors A appartient à P sinon A n'appartient pas à P [Fole 93].

Exemple

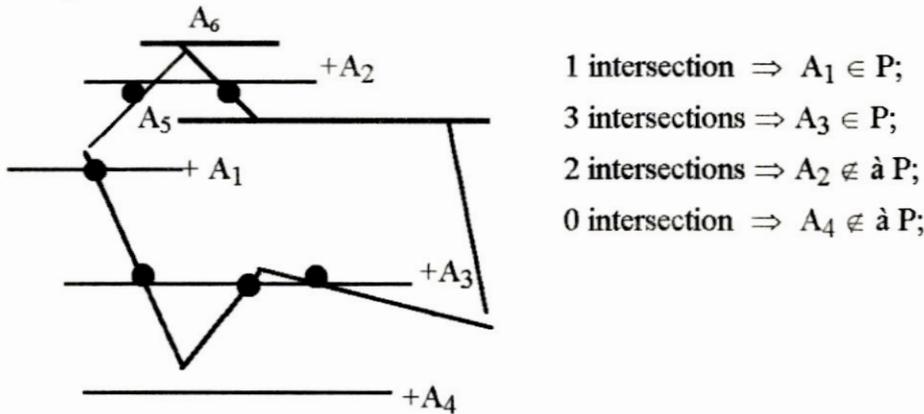


Figure 4.1 Illustration de l'algorithme de la demi-droite.

L'inclusion des points A_6 et A_5 dans P n'est pas évidente, comme le montre la figure 4.1. Une première solution qui vient à l'esprit est de décaler le point A de ε ($A+\varepsilon$) et d'appliquer une deuxième ou troisième fois le théorème de Jordan

L'intersection de la demi-droite horizontale avec un côté du polygone se limite à vérifier si l'ordonnée du point candidat est comprise entre les coordonnées des sommets du côté du polygone en question.

La somme des angles [Khol 86]

soient P la forme géométrique d'un objet (polygone) et A un point.

$P = S_1 * S_2 * \dots * S_n$ où les S_i sont les sommets du contour de l'objet P ($n > 3$).

Soit $\hat{\alpha} = \sum (A_{S_i}, A_{S_{i+1}}) = \sum \hat{\alpha}_i$, la somme des angles formés entre le point A et tous les

sommets $S_i, i \in [1, n]$ du contour de l'objet. Deux cas se présentent :

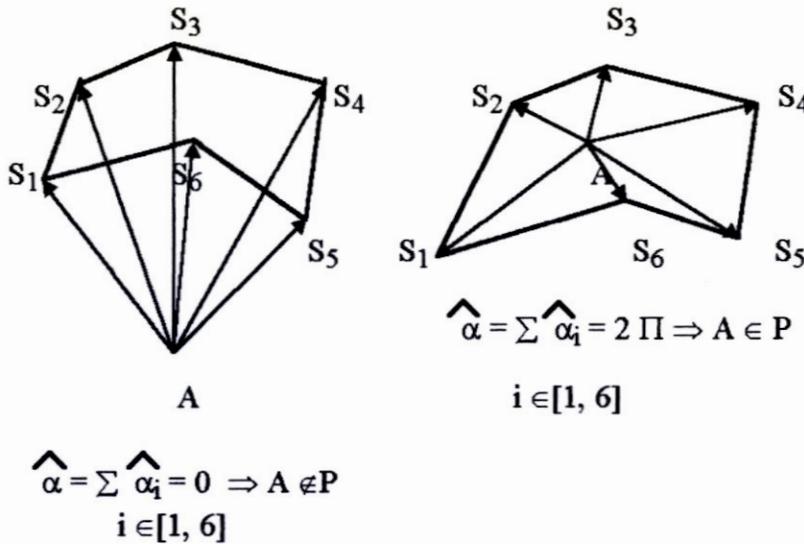


Figure 4.2 La somme des angles.

Dans le cas, où A appartient à P, il est souhaitable de distinguer la frontière de l'objet de son intérieur propre.

Si $\exists i \in [1, n]$ tel que $\vec{AS_i} \cdot \vec{AS_{i+1}} = 0$ alors A \in au contour de l'objet P
 sinon A \in l'intérieur propre de l'objet.

4.1.2.2 Opérations ensemblistes et booléennes

Les opérations ensemblistes (booléennes) effectuent des manipulations sur deux objets pour construire un nouvel objet

a- Union de deux polygones

Soient deux polygones A et B formés chacun d'eux d'un ensemble de points. L'union est l'ensemble des points appartenant à l'un ou à l'autre des deux polygones. Elle permet de rechercher la frontière délimitant les deux polygones (figure 4.3).

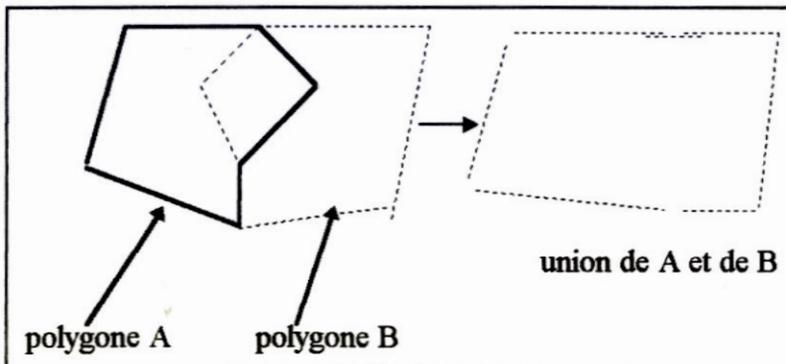


Figure 4.3 Union de deux polygones

b- Intersection de deux polygones

L'intersection de deux polygones A et B est l'ensemble des points appartenant aux deux polygones. Elle consiste à :

1. rechercher les frontières communes entre polygones;
2. rechercher les sommets communs entre deux polygones.

exemple

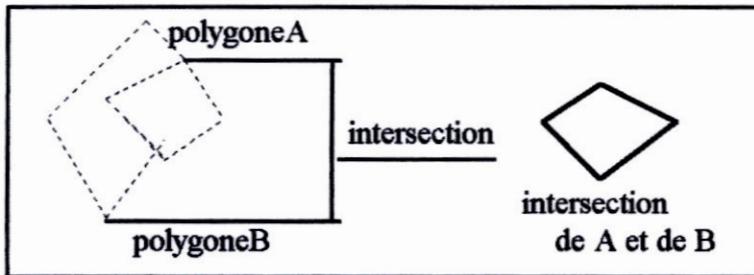


Figure 4.4 Intersection de deux polygones

c- Différence de deux polygones

La différence entre deux polygones A et B est un nouveau polygone se définissant comme les points appartenant au premier mais n'appartenant pas au second.

d- Inclusion de deux polygones

L'opérateur d'inclusion permet de rechercher l'ensemble des polygones inclus dans une zone de l'espace donné (il y a ressemblance avec la relation spatiale de répartition).

4-1-2-3 Opérations de calcul de certaines propriétés des objets urbains

Ces opérations permettent de donner les caractéristiques spatiales des objets urbains.

a- Longueur et périmètre

Les méthodes pour calculer la longueur d'une ligne et le périmètre d'un polygone P sont les mêmes car un polygone est une suite finie de segments fermés.

$$\text{Périmètre (P)} = |S_1| + |S_2| + |S_3| + \dots + |S_n| = \sum_{i=1}^n |S_i| \text{ où } S_i \text{ désigne la longueur}$$

du segment S_i

Rappelons la longueur l d'un segment dont les extrémités sont $A(x_a, y_a)$ et $B(x_b, y_b)$:

$$l = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2}$$

Surface

Ce calcul est possible quand on connaît les coordonnées des sommets, on procède à la triangulation du polygone et on fait la somme du produit vectoriel.

ou

Soit $P = S_1, S_2, \dots, S_n$ ($n \geq 3$) où les S_i appartenant à $[1, n]$, représentent les n sommets reliés par des segments. La surface de l'objet P se calcule par la formule suivante :

$$\text{Surface}(P) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-2} ((x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) + (x_n y_1 - x_1 y_n))$$

où (x_i, y_i) représente les coordonnées du $i^{\text{ème}}$ sommet de P .

c- Centre d'un polygone

On peut définir le centre d'un polygone comme le centre du plus petit rectangle contenant le polygone (Rectangle englobant minimum : REM.).

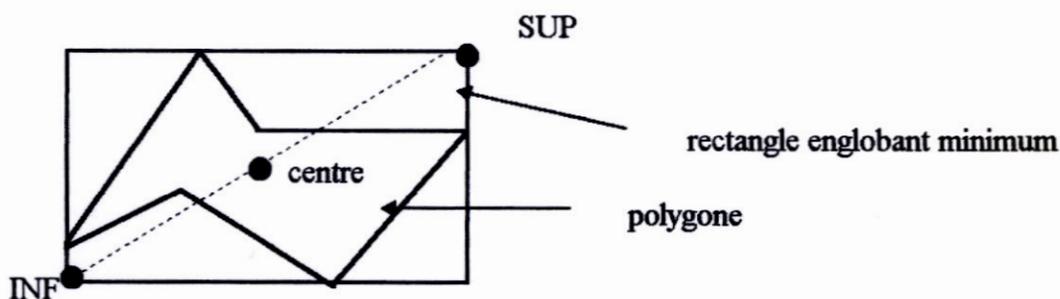


Figure 4.5 Centre d'un polygone

INF représente le point du coin bas-gauche du rectangle englobant de l'objet.

SUP représente le point du coin supérieur-droit du rectangle englobant de l'objet.

$$\text{Centre} = \left(\left(\frac{\text{proj}(\text{INF})x + \text{proj}(\text{SUP})y}{2} \right), \left(\frac{\text{proj}(\text{INF})y + \text{proj}(\text{SUP})x}{2} \right) \right)$$

4-2 Requêtes spatiales

On appelle requêtes spatiales des requêtes faisant appel à des critères géométriques et topologiques. Elles permettent de résoudre les problèmes de localisation des objets spatiaux dans l'espace. Il existe différents types de requêtes, tels que : requête de point dans un polygone, requête de région, requête de voisinage, requête de distance.

4.2.1 Requête de point

A partir d'un point P de coordonnées (x₀, y₀), il s'agit soit

- d'identifier l'objet urbain pointé par P;
- de retrouver les attributs de l'objet pointé par P;
- de savoir à quel(s) objet(s) urbain(s) il appartient.

4.2.2 Requête de région

Pour le régionalisme, on part d'une zone appelée région, il s'agit de rechercher quels sont les objets urbains lui appartenant. Un exemple d'application pratique de cette requête : lister tous les objets urbains (îlots) appartenant au secteur pointé.

4.2.3 Requêtes de location (filtering query)

Cette requête permet de visualiser un ensemble d'objets urbains.

Exemple : localisation de tous les équipements de la région;

4.2.4 Requêtes de voisinage

Plusieurs applications urbaines nécessitent des requêtes impliquant un critère de distance. Pour localiser des objets urbains se trouvant à une certaine distance d'un objet de référence : Les requêtes de voisinage. Un exemple de requête utilisant la notion de distance : « chercher la liste des constructions situées à 500 mètres de l'aéroport ».

4.2.5 Requêtes de distance

Une telle requête est aussi très utilisée dans les applications urbaines. Le problème ici est de déterminer la distance euclidienne séparant deux objets urbains.

Pour un traitement efficace de ces requêtes, il est clair qu'une technique permettant d'accéder rapidement aux objets urbains en fonction de leur localisation, est indispensable. Un test séquentiel sur chacun des objets prend trop de temps lorsque le volume des données est important. C'est souvent le cas des systèmes d'information géographiques. D'où la nécessité d'index spatiaux pour accélérer les opérations spatiales qui sont très coûteuses.

4.3 Index spatiaux

Nous allons essayer de présenter les principaux index, donner surtout le principe et par la suite comprendre pourquoi le choix d'une structure R-Tree a été fait. Tous les aspects que nous avons jugé indispensable sont exposés à savoir motivation pour une telle structure, définition de la structure, ses caractéristiques et ses variantes.

4.3.1 Introduction

Pour des applications classiques, les données sont atomiques et leur sélection utilise des critères simples; alors que les données graphiques d'une carte sont bidimensionnelles et fortement structurées. Leur recherche repose sur des tests géométriques d'intersection ou d'inclusion [Benn 92]. Plusieurs travaux ont été effectués dans ce domaine, donnant lieu à des structures telles que les grilles, les quadrees, les arbres k-d et les R-Trees. Ces méthodes consistent toutes à partitionner les données par un découpage de l'espace où elles sont inscrites.

Remarque : pour tous les exemples, seul le rectangle englobant de l'objet est représenté

4.3.2 Structure en grille régulière ou (quadrillage régulier)

Les structures de type grille régulière divisent une partition de l'espace en cellules élémentaires de forme rectangulaire. Toutes les cellules de la grille ont la même taille [Scho 95].

a- Principe :

Le principe est simple. A chaque cellule de la grille est associée une page contenant l'ensemble des n uplets (REM, MARQ) où MARQ est l'identificateur d'un objet dont le REM est incluse dans la cellule ou la coupe. Un couple (REM, MARQ) peut donc apparaître dans plusieurs cellules voisines.

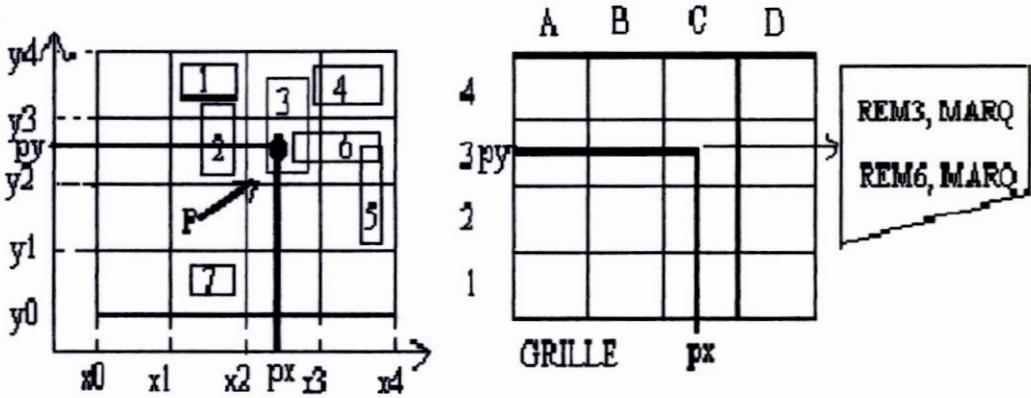


Figure 4.6 Quadrillage régulier

Dans l'exemple choisi (figure 4.6), le point de recherche P de coordonnées Px et Py est situé dans la cellule C3. qui contient l'adresse où se trouve les deux REM 6 et REM 7. Le test d'appartenance du point P au polygone lui-même doit être vérifié pour les deux objets.

En cas de non uniformité ou de croissance du nombre d'objets, les performances de cet index se dégradent très rapidement. C'est pourquoi de nombreuses améliorations en quadrillage régulier ont été proposées. Parmi celles-ci on citera le quadrillage adaptatif [Scho 95]. C'est une structure en grille où les cellules sont de tailles différentes. Le découpage est réalisé en fonction de la distribution des données dans l'espace. En contre-partie, la structure est plus complexe. Pour plus de détails voir [Schol 95].

4.3.3 Les arbres quaternaires l'arbre Q

Les arbres quaternaires sont basés sur une décomposition récursive de l'espace en quatre quadrants. Samet décrit un grand nombre de méthodes basés sur les arbres quaternaires [Scho 95] [Same 84]]. Certaines de ces méthodes gèrent des polygones. Dans ce cas, les objets indexés sont les rectangles englobants des polygones.

a- Principe :

L'espace rectangulaire initial est découpé en 4 quadrants suivant ses axes de symétrie vertical et horizontal. Puis chacun de ces quadrants est récursivement décomposé de la même manière. Un REM peut couper plusieurs quadrants voisins, il sera présent dans tous les quadrants qu'il coupe. Cette duplication accroît le volume de l'index mais accélère la recherche (figure 4.7) [Scho 95].

b- Structure de l'arbre Q

Les noeuds de l'arbre Q sont de deux types :

1. Noeud intermédiaire : admet 4 pointeurs vers ses noeuds fils;
2. Noeud feuille : correspond à un quadrant qui n'est plus divisé, contient un ensemble de couples (REM, MARQ). voir figure 4.7.

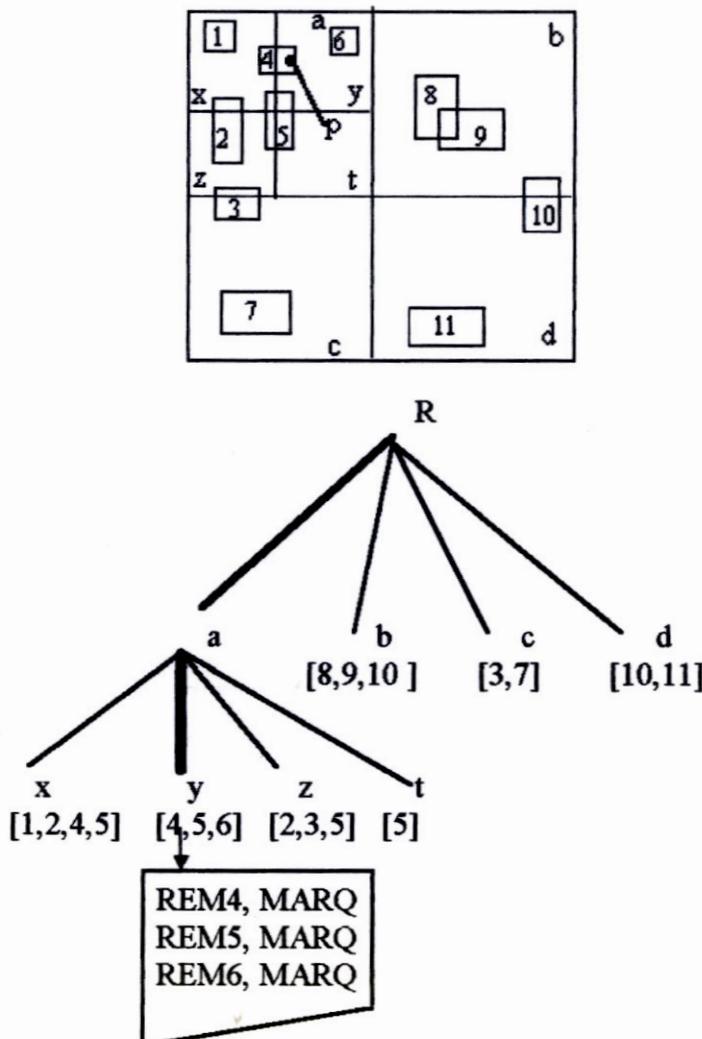


Figure 4.7 Arbre quaternaire

Pour trouver les objets contenant le point P, un chemin unique est suivi depuis la racine jusqu'à la feuille qui contient P.

A chaque noeud du chemin, le noeud suivant est déterminé par un calcul simple. C'est celui dont le quadrant contient P. Il est trouvé en examinant la position de P par rapport au centre du rectangle associé au noeud N.

L'arbre Q est une structure extrêmement simple à mettre en oeuvre. La façon dont l'arbre est partitionné a une influence considérable sur le temps de parcours de l'arbre. Mais un REM apparaît dans toutes les feuilles qui le coupent et ceci peut entraîner une duplication importante qui, à son tour peut conduire à une augmentation de la profondeur de l'arbre, d'où l'existence de l'arbre NQ qui est une variante de l'arbre Q. Où au lieu de découper l'espace en quatre quadrants, il est découpé en n^2 ($n \geq 2$) rectangles identiques, pour plus de détails voir SCHOLL [Scho 95].

4.3.4 Les arbres k-d

L'arbre k-d est une structure proposée pour l'indexation des données conventionnelles (non spatiales). Plusieurs structures destinées à l'indexation des données spatiales sont basées sur cette approche : l'arbre k-d spatial.

a- Principe :

Diviser l'espace en deux sous espaces contenant, si possible, le même nombre d'objets. Une ligne horizontale ou verticale de division est donc choisie (axe des x ou axe des y).

Un noeud intermédiaire de la structure arborescente est caractérisé par [Scho 95] :

1. Un axe de division dit discriminant (axe des x ou des axes y).
2. Une valeur discriminante $d = x_0$ ou $d = y_0$ qui fixe la position de l'axe de division.

3. Deux pointeurs vers chacun des fils droit et gauche. Le fils gauche identifie le sous-espace des points d'abscisse (ou d'ordonnée) inférieur ou égale à d , le fils droit, le sous-espace de points d'abscisse (ou d'ordonnée) supérieur à d .
4. Deux valeurs identifiant l'emprise atteinte par les REMs rangés dans chacun des sous-espaces. La première est la valeur maximale atteinte selon l'axe discriminant par les REMs dont le centre se trouve dans le sous-espace gauche. La deuxième est la valeur minimale atteinte selon ce même axe par les REMs dont le centre se trouve dans le sous-espace droit.

Une feuille de l'arbre k-d spatial contient les mêmes informations que celles d'un arbre Q. L'ensemble de couple (REM, MARQ) dont le REM a son centre dans le rectangle de la feuille.

b- Un exemple d'arbre k-d

Un exemple d'arbre k-d spatial est présenté dans la figure 4.8. Les noeuds feuilles sont étiquetés par les numéros des REM. et les noeuds intermédiaires par (A, B, C, D) où

- A: l'axe discriminant;
- B : valeur d'emprise maximal des REMs du fils gauche;
- C : la valeur discriminante d ;
- D : la valeur de l'emprise minimale des REMs du fils droit.

Suivant l'exemple de la figure 4.8, la racine a pour discriminant l'axe x et pour valeur de discrimination x_1 . L'espace est divisé en deux sous-espaces. Le premier contient les objets 1, 2, 3, 4; 5, 6; 7 qui ont leur centre dans le sous-espace droit. L'abscisse maximale du fils gauche est a_2 : REM7. L'abscisse minimale du fils droit est a_1 : REM 14. Le fils gauche de la racine a pour discriminant l'axe y et pour valeur de discrimination y_1 et ainsi de suite.

c- Règles de parcours de l'arbre

Soit un noeud intermédiaire N de l'arbre, d'axe discriminante D et de valeur discriminante d . Si a désigne la projection sur l'axe D du point de recherche, b et c les valeurs extrémales des REM des fils gauche et droit du noeud; quatre cas peuvent se présenter :

1. $b < a$ et $a < c$, aucune recherche dans le sous arbre de racine N;
2. $b < a$ et $c \leq a$, la recherche se fait dans le sous arbre droit;
3. $a \leq b$ et $a < c$, la recherche se fait dans les deux sous arbres;
4. $a = b$ et $c \leq a$, la recherche se fait dans les deux sous arbres.

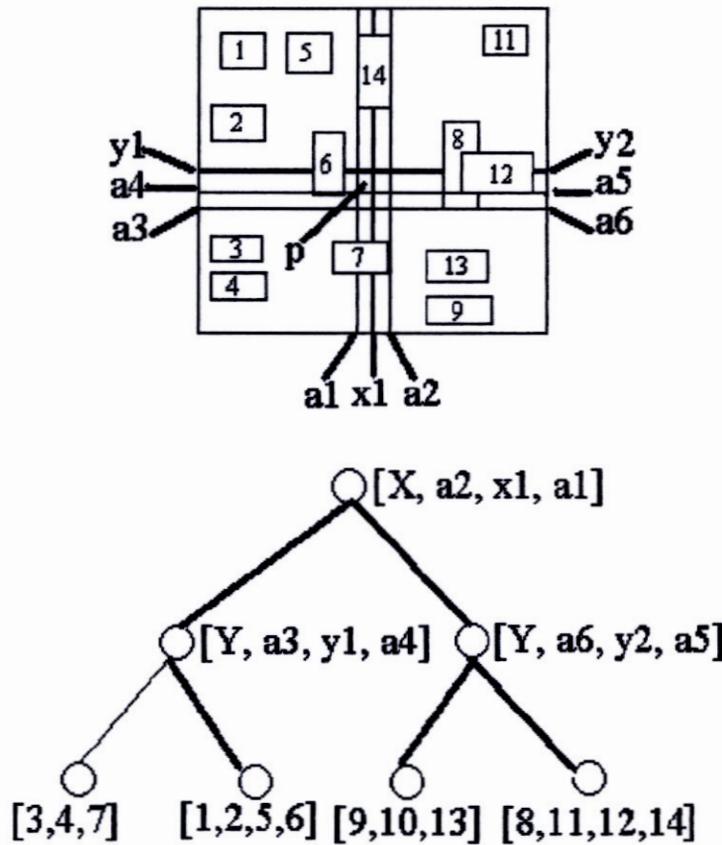


Figure 4.8 L'arbre k-d spatial

d- Recherche dans l'arbre k-d spatial

Le pointé avec l'arbre k-d spatial, nécessite comme avec l'arbre R, le parcours d'un ou plusieurs chemins de l'arborescence. La recherche dans une feuille est identique à celle de l'arbres Q. Dans la figure 4.8, le chemin parcouru pour le pointé P est indiqué en gras. L'abscisse de P comprise entre a_1 et a_2 , implique que les 2 sous-arbres de la racine doivent être parcourus. Dans le fils de gauche, seule la feuille droite est parcourue (ordonnée de P est supérieur à a_3 et a_4). Dans le fils droit de la racine, les deux feuilles doivent être parcourues (ordonnée de P est compris entre a_5 et a_6). Le résultat dans ce cas : aucun REM ne contient P.

4.3.5 Les R-Trees

L'arbre R-Tree est une structure en arbre proposée par Guttman [Gutt 84] pour l'indexation des objets de type polygone. C'est une extension de l'arbre B (B-Tree).

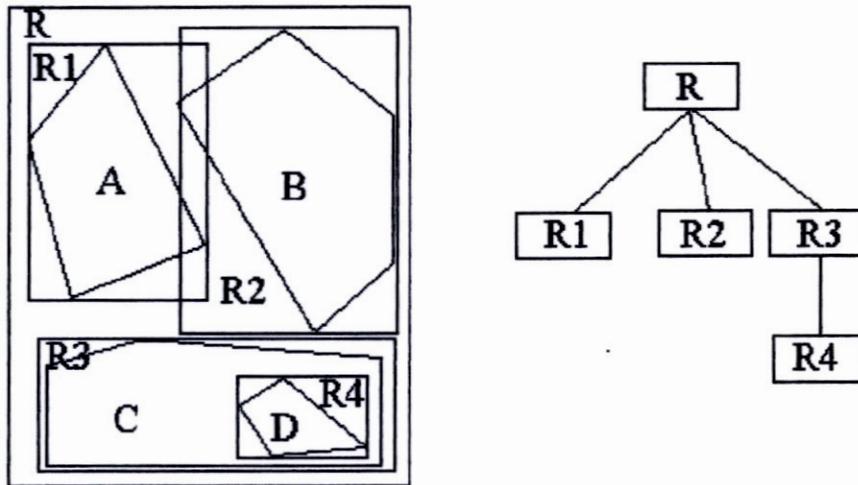


Figure 4.8 Exemple R-Tree

R1, R2, R3, R4 sont les rectangles englobants des objets urbains. A, B, C, D
R le rectangle englobant R1, R2, R3, R4 [Same 88] [Scho 95] [Benn 92].

4.3.5.1 Motivation pratique

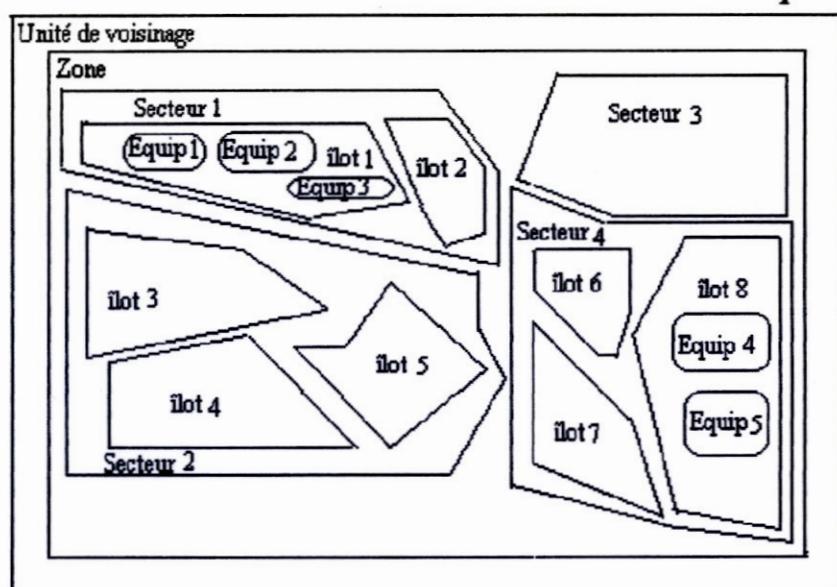
Supposons que l'on ait n objets, par conséquent leurs n rectangles englobants, il est clair sans organisation spécifique, le nombre de tests pour effectuer la recherche d'un rectangle (vérifier l'appartenance d'un point à un objet) sera proportionnel à n . Que conclure dans le cas d'un très grand nombre de rectangles ? Alors, l'idée est de regrouper les rectangles voisins dans un rectangle plus grand. En répétant cette opération, on construit une hiérarchie de rectangles basée sur la notion de rectangle emboîté. Cette structure est appelée R-Tree et le nombre de tests diminuera considérablement.

4.3.5.2 Principe :

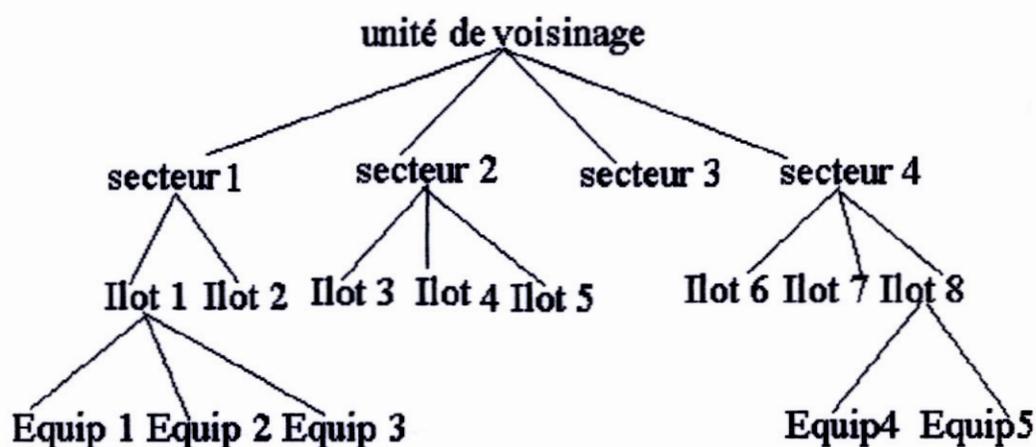
- la racine de l'arbre est associée au REM de l'objet tout entier.
- le rectangle associé à un noeud intermédiaire est le REM des rectangles associés à chacun de ses fils.
- le rectangle associé à une feuille est le REM des REMs des objets urbains qu'il contient

4.3.5.3 Pourquoi le choix de R-Tree?

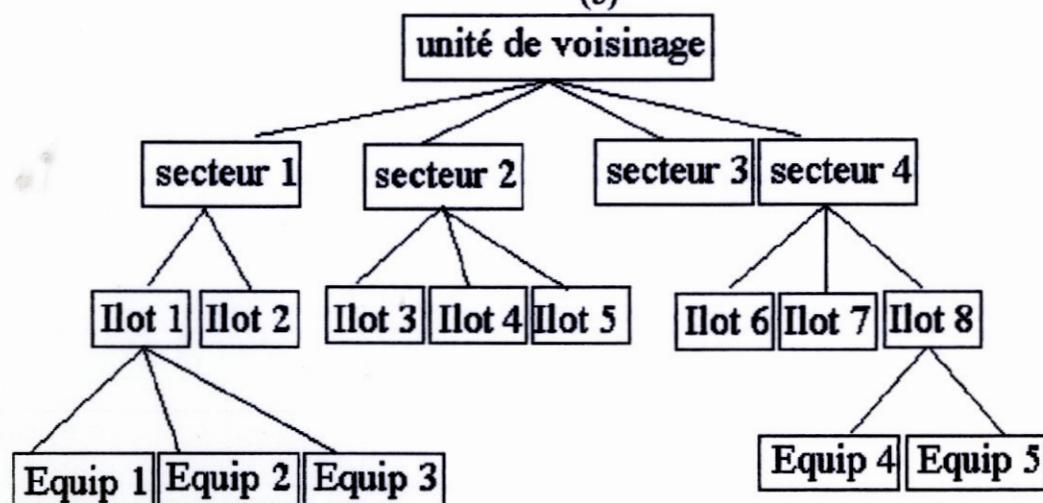
1. structure arborescente permet un accès rapide aux objets.
2. correspondance entre la structure de l'arbre R et la structure de la carte urbaine (figure 4.9). Chaque niveau de R-Tree correspond à un niveau urbain, ce qui implique que la structure R-Tree coïncide très bien avec la hiérarchie urbaine où le découpage urbain (Urbaco) à savoir une unité de voisinage est composée d'un ensemble de zones, une zone d'un ensemble de secteurs qui à son tour est composé d'un ensemble d'îlots. Un îlot comprend un ensemble d'équipements.
3. la structure R-TREE présente des avantages au niveau de la manipulation des objets :
 - accès rapide aux objets.
 - le mécanisme de la mise à jour (suppression, insertion) facile à réaliser.
4. la structure arborescente permet certaine déduction de type; l'objet urbain lycée appartient à l'îlot i , lequel se trouve dans le secteur s de la zone z (généralisation).



(a)



(b)



(c)

Figure 4.9 Représentation des objets urbains par la structure R-Tree

- (a) Exemple d'une carte urbaine,
- (b) Structure hiérarchique des objets urbains
- (c) R-Tree associé à la carte urbaine

4.3.5.4 Structure de R-Tree

- ◆ Un noeud intermédiaire permet d'adresser les noeuds du niveau suivant de l'arborescence.
- ◆ Un noeud feuille référence l'ensemble des équipements que son rectangles contient.

4.3.5.5 Construction de R-tree

La carte urbaine est composée essentiellement des objets urbains : zones, secteurs, îlots et équipements. Cette hiérarchie coïncide très bien avec la structure de R-Tree (figure 4.9). La construction des niveaux hiérarchiques de l'arbre R se fait suivant l'algorithme suivant :

En entrée : liste des objets urbains.

En sortie : la liste représentant les niveaux de l'arbre R.

1. Pour chaque objet urbain, donner son Rectangle Englobant Minimum :REM (figure 4.10), où REM à la forme suivante :

INFx	SUPx	INFy	SUPy
------	------	------	------
2. Trouver le plus grand REM (surface);
3. Ranger le rectangle en question au niveau i de la liste chaînée (racine de l'arbre);
4. Rechercher tous les rectangles contenus dans le rectangle rangé au niveau i ainsi que tous ses fils. Vérifier par la suite s'il existe des rectangles non inclus dans ce rectangle; alors ranger le(s) au niveau i ,
5. Recommencer les étapes 3 et 4 pour passer récursivement au niveau suivant $i+1$.

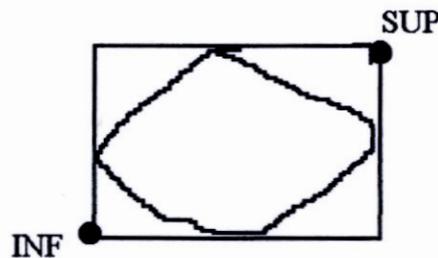


Figure 4.10 Rectangle englobant d'un polygone

Un élément de la liste comprend :

- nom de l'objet.
- REM de l'objet.
- nombre de ses fils.
- pointeur vers le premier fils.

4.3.5.6 Structure d'un objet urbain

Un objet urbain est décrit de la manière suivante

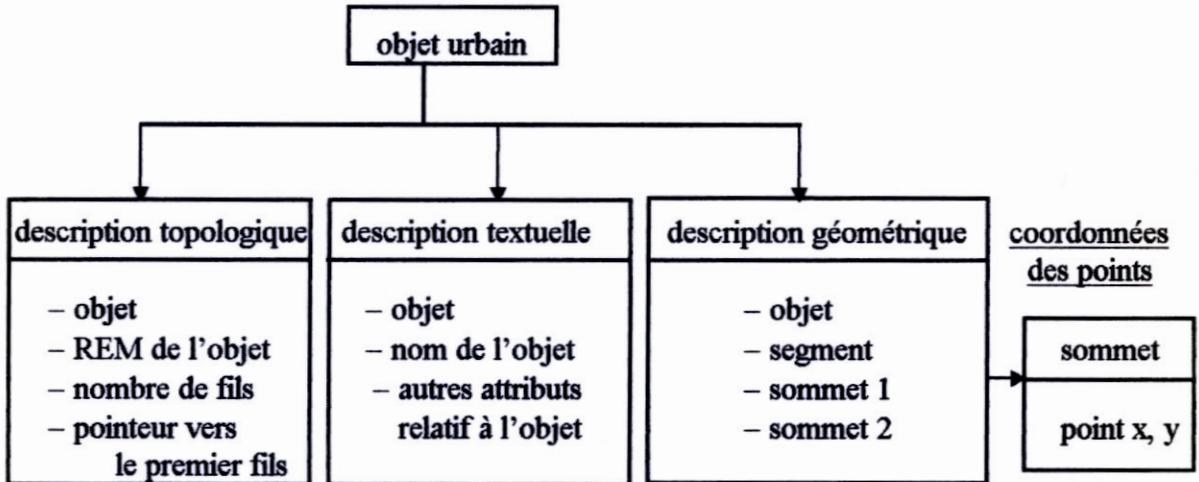


Figure 4.11 Structure d'un objet urbain

Lors de la construction de l'arbre R, certains noeuds d'un même niveau peuvent se chevaucher géométriquement. Cette caractéristique du R-tree nécessite un parcours de plusieurs sous-arbres.

Les performances de la recherche dépendent du nombre de noeuds parcourus. Plus le nombre de chevauchement est important, plus le nombre de noeuds à parcourir pour une opération de recherche risque d'être grand.

4.3.5.7 Différentes variantes de R-Tree

L'arbre a donné naissance à différentes variantes, pour plus de détails voir [Pama 96], parmi lesquelles on retiendra R-Trees+. R-Tree+ est une variante de R-Tree a pour objet de pallier le défaut majeur de R-Tree (chevauchement). Dans R-Tree+, le chevauchement des rectangles associés à des noeuds frères est supprimé. Une requête point nécessite un chemin unique de la racine à une feuille. R-Tree+ améliore les performances de la recherche [Sell 87] [Scho 95] [Benn 92].

L'arbre R+ est défini comme suit :

- * Racine de l'arborescence possède au moins deux fils.
- * Les rectangles associés à deux noeuds intermédiaires de même niveau de l'arborescence ne peuvent se chevaucher. Si N un noeud intermédiaire, N contient un objet de REM R si et seulement si R est inclus dans le REM R' de N.
- * Si N un noeud feuille, N de rectangle REM R' contient les objets de REM R pour lesquels R est inclus où coupe R'. Par conséquent, un objet peut apparaître dans plusieurs feuilles voisines (duplication dans les noeuds feuilles).
- Le R-tree+ a l'avantage de permettre seulement le parcours des chemins utiles à la localisation d'un objet car, dans un niveau intermédiaire quelconque, les REMs des noeuds sont disjoints.
- La contre partie de cet avantage est que la taille d'un R-Tree+ peut être plus importante que celle d'un R-Tree indexant les mêmes objets.

Les structures basées sur la duplication des objets dans les feuilles (R-Tree+) peuvent présenter certains inconvénients, en particulier, lorsqu'un point appartient à plusieurs équipements urbains.

Conclusion

Pour conclure un tableau récapitulatif des caractéristiques de chacune des structures présentées (voir tableau 4.1).

Structure	grille	arbre Q	arbre R	arbre k-d
mise en oeuvre	simple	simple	complexe	complexe
adaptation à la distribution des données	non si régulière faible si adaptatif	moyenne	excellente	moyenne
stockage en mémoire secondaire	problématique si gros volume	peu adapté	excellent	peu adapté
performances mise à jour	faibles	moyennes	bonnes	bonnes
performances pointé	bonnes	bonnes mais dépendent du point	moyennes	moyennes

Tableau 4.1 Comparaison des index (Scho 95) .

l'arbre R garantie de bonnes performances de recherche quelque soit la distribution des données (l'arbre est toujours équilibré).

CHAPITRE 5

APPLICATION & MISE EN OEUVRE DU SYSTEME

Nous donnons un aperçu des possibilités de notre prototype ainsi que les techniques de manipulation et de raisonnement sur les objets urbains pour la mise en place de notre système. Ceci s'explique par les requêtes spatiales.

5.1 Objectif du prototype

Il s'agit en fait de construire une base de connaissance à partir d'une image cartographique permettant des raisonnements graphiques, afin :

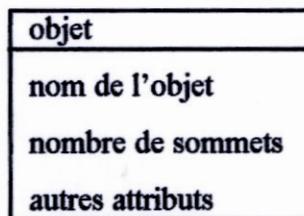
- D'identifier l'objet urbain pointé par un point P de coordonnées x et y;
- De retrouver les attributs d'un objet urbain;
- De lister tous les objets urbains appartenant à une même région;
- De lister tous les objets urbains voisins d'un autre objet urbain par rapport à une distance;
- Etc.

Ces nouvelles connaissances peuvent être insérées dans la base de connaissance pour une éventuelle réutilisation.

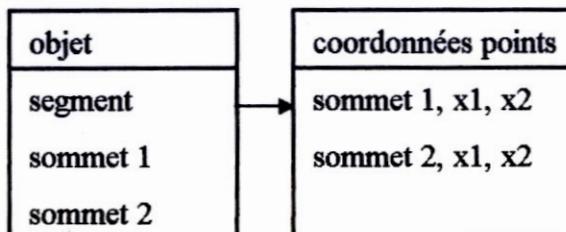
5.2 Base de connaissance

La base de connaissances cartographiques qu'on a développé sous l'environnement AutoCAD, est constituée d'une base de faits. La base de faits comporte des faits sémantiques et des faits géométriques.

* Faits sémantiques :



* Faits géométriques :



Il est important de connaître les relations spatiales qui lient deux objets urbains et qui sont nécessaires dans la résolution des requêtes spatiales :

- * de localisation;
- * de voisinage;
- * de distance.

Elles constituent les règles de la base de connaissance.

5.3 Environnement de développement du prototype

Notre prototype est développé sous AutoCAD. AutoCAD est l'un des systèmes de conception assisté par ordinateur (C A O) le plus répandu sur les P C. Il a une interface très conviviale. Il possède une architecture très ouverte et peut être adapté à n'importe quel domaine technologique entre autres :

- l'électronique,
 - l'architecture,
 - le génie civil,
 - le génie mécanique,
 - la cartographie,
- etc.

De nos jours, il est utilisé comme un noyau graphique destiné à des domaines cités précédemment. Vu la nature de l'application traitée à savoir la cartographie urbaine, l'environnement AutoCAD a été utilisé comme outil d'implémentation du système proposé.

5.3.1 Environnement AutoCAD

AutoCAD est un programme de C A O, vectoriel, modulaire et évolutif. Il permet de créer des dessins complexes, de les sauvegarder puis de les recharger une autre fois, ceci grâce à un éditeur graphique très puissant. L'écran de celui-ci est divisé en quatre parties :

1. La plus grande partie de l'écran est réservée au dessin : zone de dessin.
2. La partie inférieure de l'écran est réservée à la communication entre l'utilisateur et la machine : zone de commande.
3. A droite de l'écran s'affiche les commandes et les options qui s'y rapportent dans un menu écran
4. La partie supérieure de l'écran est la ligne de l'état du dessin courant. Une barre de menus déroulants occupe cette partie. Ces menus sont activés avec une souris qui assure de sa part une bonne gestion.

Une panoplie de commandes a amené les concepteurs d'AutoCAD de les répartir en plusieurs groupes de fonctions semblables. Parmi eux :

- **Bloc** : C'est une partie d'un dessin qui, souvent, se compose de plusieurs éléments géométriques fondamentaux. Ces derniers peuvent être combinés en une entité indépendante. Cette nouvelle entité appelée « bloc », reçoit un nom grâce auquel elle peut être réutilisée indéfiniment dans d'autres créations. Un bloc peut aussi comporter des informations supplémentaires appelées attributs.
- **Ecran** : Les commandes de ce groupe permettent d'agrandir le dessin pour y mettre plus de détails.
- **Dessin** : Dans cette rubrique, toutes les formes géométriques fondamentales sont présentées telles que ligne, arc, cercle, polyligne ainsi que les formes complexes à savoir : ellipse, polygone, etc.
- **Edition** : Effacer, déplacer, copier et bien d'autres sont des commandes très puissantes qui aident énormément l'utilisateur dans la réalisation de son dessin.
Renseign : Grâce aux commandes de cette rubrique, des informations très précises sont obtenues sur le dessin en cours.
- **Plan** : Ce groupe permet la manipulation des différentes couches et niveaux du dessin. A un moment donnée, toutes les couches peuvent être activées ce qui implique une superposition totale.

5.3.2 Le langage AutoLISP

AutoLISP est une implémentation du langage de programmation LISP intégrée dans l'extension AD-3 d'AutoCAD. AutoLISP permet aux utilisateurs d'AutoCAD d'écrire des macro-programmes et macro-fonctions dans un langage évolué extrêmement puissant et bien adaptés aux applications graphiques.

5.3.3 Choix de l'environnement

Vu les avantages déjà cités dans la section 1.2; d'autres raisons nous ont permis de choisir AutoCAD comme noyau graphique adéquat pour cette application. Parmi ces raisons :

- AutoCAD est un programme de dessin et de conception assistée par ordinateur, il va offrir sans aucun doute une très grande aide pour les architectes, les dessinateurs, les géographes, les cartographes à concevoir leurs cartes.
- AutoCAD est un outil graphique facile à apprendre.
- AutoCAD permet de reproduire l'esquisse d'une carte avec une très grande précision.
- L'utilisation de la notion des couches par AutoCAD, permet la superposition de plusieurs plans, chaque plan étant dans une couche, pour former à la fin une carte complète avec plusieurs thèmes
- AutoCAD permet de regrouper en un seul objet l'ensemble des entités graphiques et leurs informations textuelles en se basant sur la notion de bloc.
- L'intégration des langages évolués dans AutoCAD tels que AutoLISP en version 10 et AutoC dans la version 12 facilite le développement des applications efficaces.

5.3.4 Choix du langage

AutoLISP est le premier langage intégré dans AutoCAD. Les raisons pour lesquelles ce langage a été choisi sont :

- L'adaptation du langage au raisonnement logique.
- La manipulation de toutes les commandes appartenant à AutoCAD à partir de ce langage.
- La manipulation des différents menus de l'interface d'AutoCAD.
- La facilité du langage.

- L'intégration de ce langage dans AutoCAD permet de programmer sans quitter l'environnement.

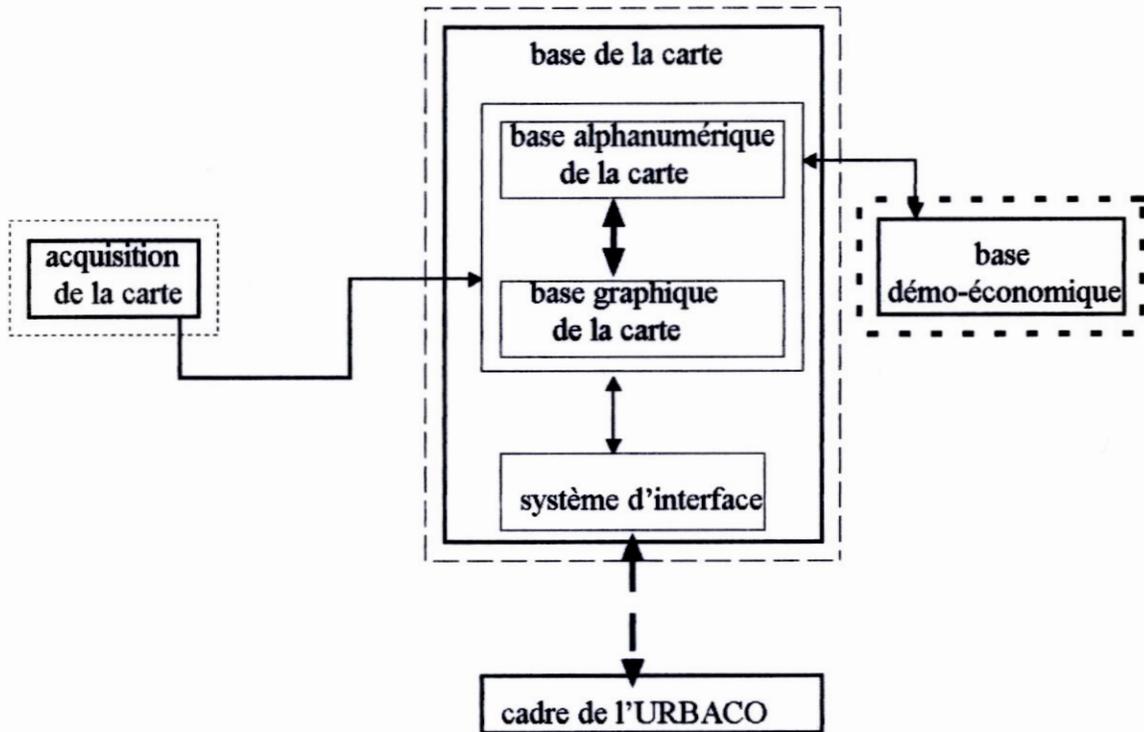


Figure 5.1 Liens entre la base de la carte et le système d'interface

- environnement AutoCAD.
- environnement turbo c.
- - - - - environnement clipper.
- ↔ concordance des données des deux bases.
- ↔ l'interaction entre le cadre de l'URBACO et le système d'interface.
- ↳ l'utilisation du format DXF pour recevoir la carte.
- ↔ l'interaction entre la base de la carte et le système d'interface en utilisant le langage AutoLISP et les concepts de base de l'environnement AutoCAD.

5.4 Exemples d'exécutions

Les requêtes spatiales permettent de résoudre des problèmes de localisation des objets urbains sur la carte (exemple de carte : figure 5.2). Il existe différents types de requêtes, tels que : requête de point dans un polygone, requête de région, requête de filtrage (filtering query), requête de voisinage, requête de distance et mise à jour des cartes.

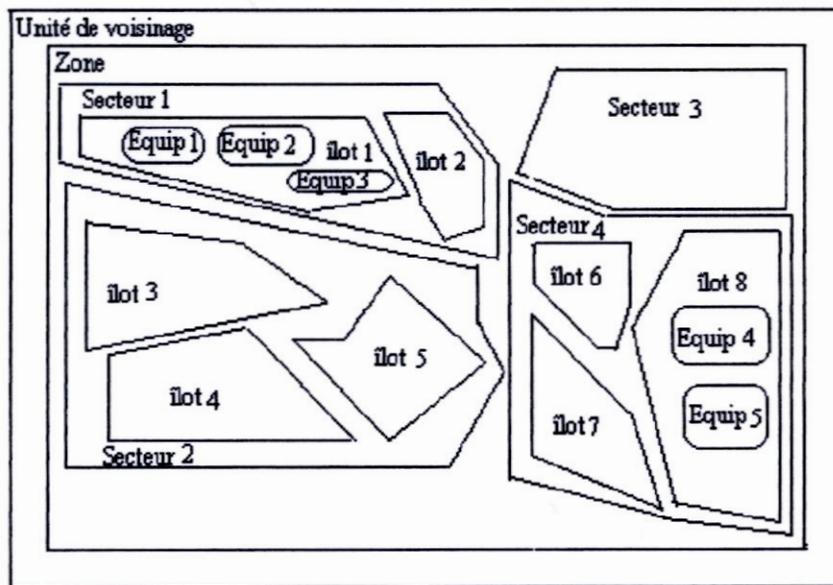


Figure 5.2 Exemple d'une carte urbaine

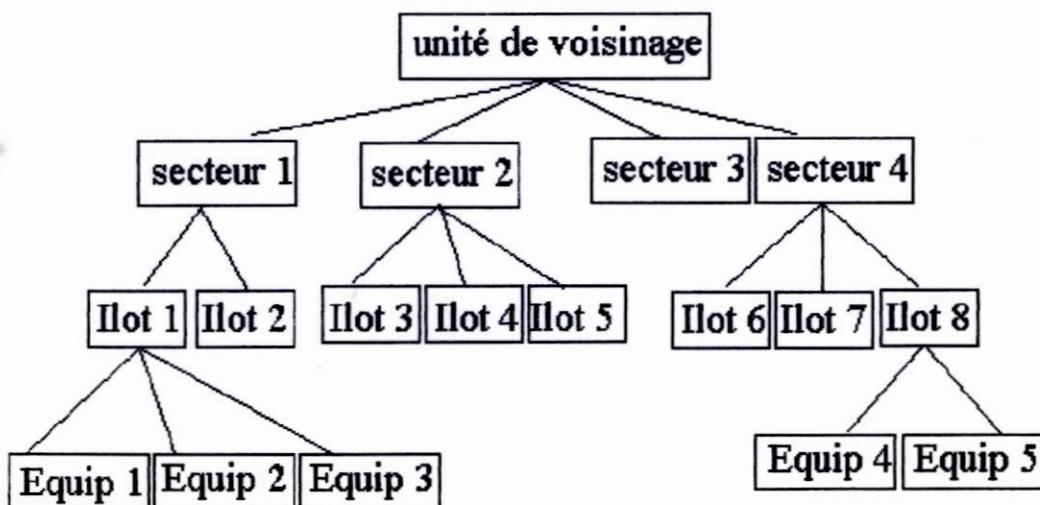
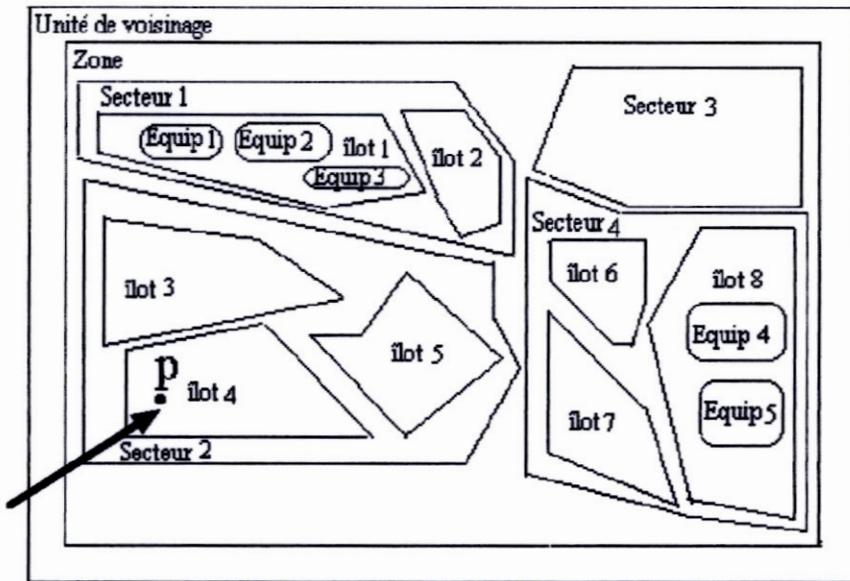


Figure 5.3 R-Tree associé à la carte urbaine

5.4.1 Requête point dans un polygone

Cette requête identifie l'objet urbain, après avoir cliqué sur celui-ci en utilisant la souris. Cette identification est caractérisée par les éléments suivants :

- le nom de l'objet pointé,
- les informations textuelles associées à cet objet.



Principe :

Entrée : point P de coordonnées (x,y)

- Une liste de tous les rectangles contenant le point P est déterminée;
- Sélectionner le plus petit rectangle de la liste;
- Tester si le point P appartient à l'objet urbain en question; (appliquer l'algorithme de Jordan : algorithme de la demi-droite);

Sortie : - nom de l'objet pointé (îlot 4 suivant l'exemple de la figure 5.4);

: - information textuelle associées à cet objet (si désiré);

Remarque : cette requête permet aussi la modification des attributs des objets existants.

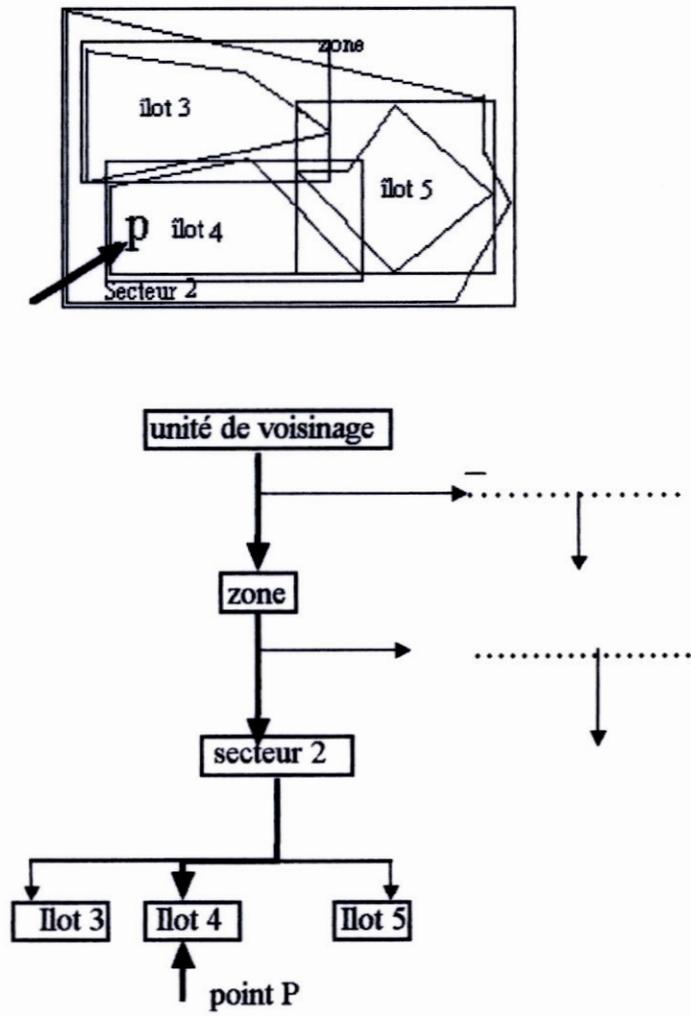
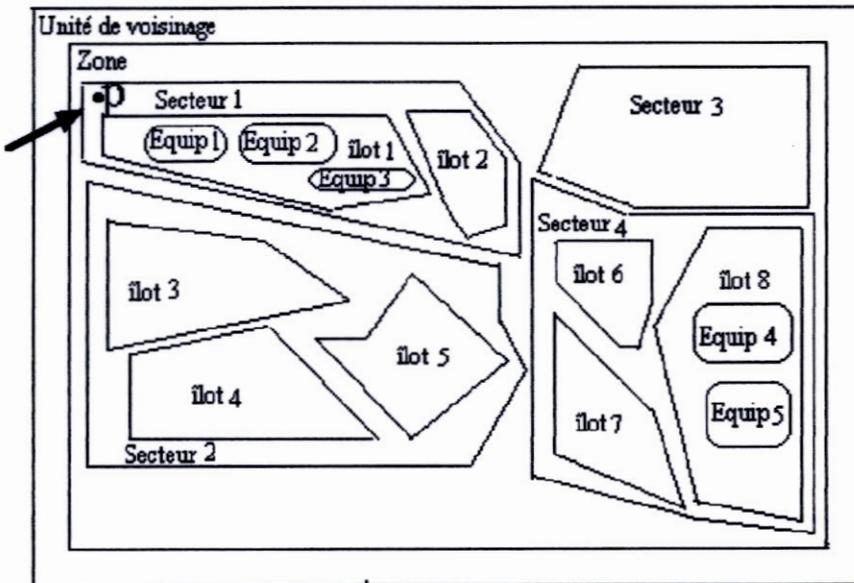


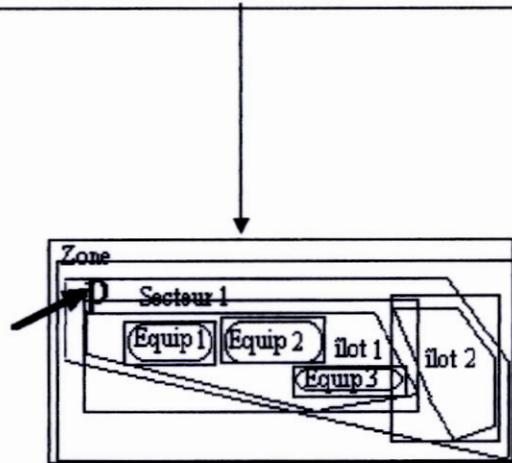
Figure 5.4 Requête point

dans la figure 5.4, le chemin parcouru pour le pointé P est indiqué en gras.

5.4.2 Requête région



Principe :



- déterminer le rectangle englobant de la région pointé par P;
- déterminer tous les rectangles contenus dans la région pointée (procédure parcours 2);
- pour chaque rectangle, répéter ce processus jusqu'à atteindre le niveau feuille de R-Tree (procédure parcours 2);
- Une liste de tous les objets urbains contenus dans la région en question est déterminée (figure 5.5);

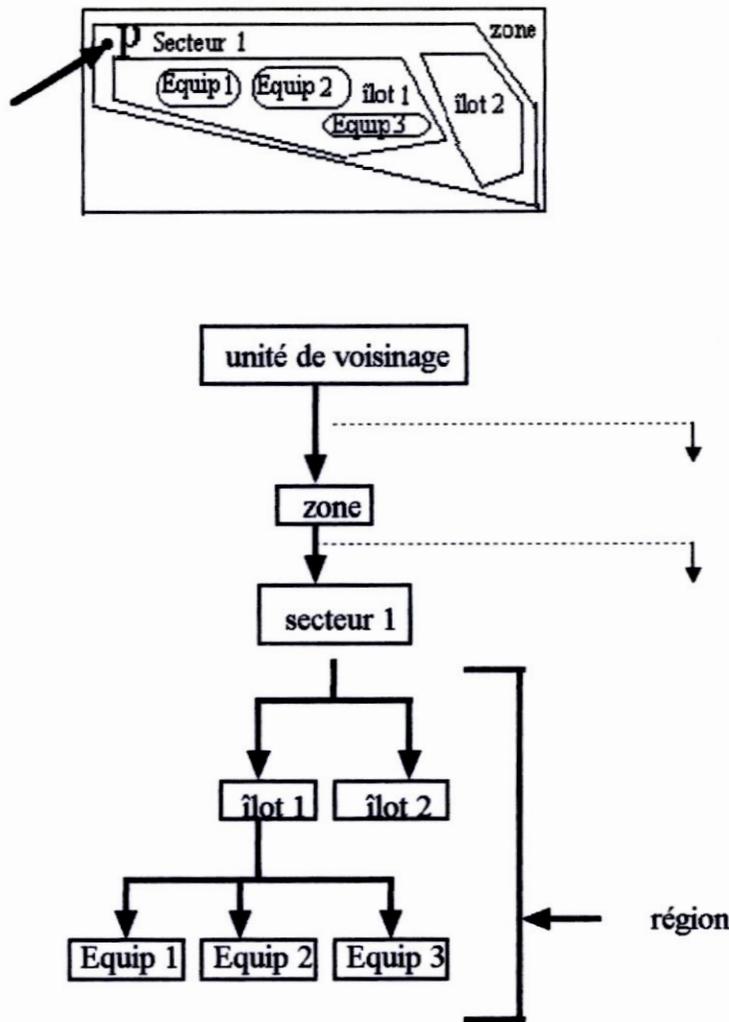


Figure 5.5 Requête région

Ici, la région pointé est secteur 1.

Et les objets appartenant au secteur 1 sont : îlot1, îlot2, Equip1, Equip2, Equip3.

5.4.3 Requête de filtrage (filtrng query)

Le but de cette requête est de présenter (visualiser) un ensemble d'objets urbains spécifiés.

Principe :

- Prendre le nom de l'objet urbain;
- Créer une couche pour filtrer les objets en question indépendamment de tous les autres objets;
- Visualiser l'ensemble des objets;

Exemple : localisation de tous les écoles de la région

soient Equip1, Equip2, Equip3, Equip4, Equip5 écoles de la région.

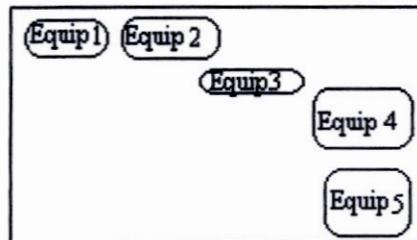


Figure 5.6 Ensemble d'objets sélectionnés

5.4.4 Requête de voisinage

Différentes applications urbaines nécessitent des requêtes de voisinage pour localiser des objets urbains se trouvant à une certaine distance d d'un objet de référence. La question posée ici est l'objet urbain A est-il voisin de l'objet B par rapport à une distance d ? Pour résoudre ce type de requête on a besoin de vérifier la proximité avec tous les autres objets. L'utilisation de la structure R-Tree réduit énormément le nombre de test.

Principe :

1. déterminer l'objet urbain pointé (voir requête point)
2. tracer des lignes parallèles aux cotés du polygone pour recouvrir tout l'espace de voisinage défini par la distance d comme le montre la figure 5.7.

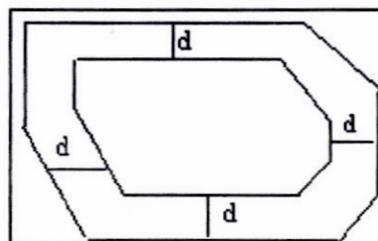


Figure 5.7 espace défini par "d"

3. Appliquer l'algorithme parcours 2 (requête de région) pour le nouveau polygone ainsi obtenu (figure 5.7) Une liste d'objets urbains est déterminée (figure 5.8).

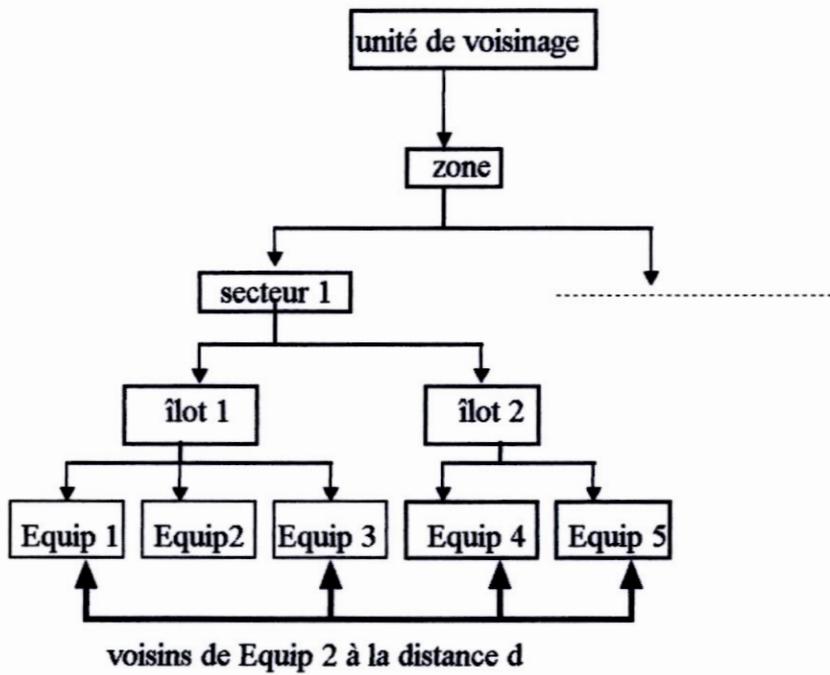
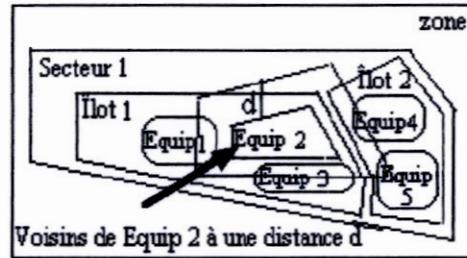


Figure 5.8 Requête de voisinage

Après avoir obtenu l'espace défini par la distance d , notre requête se ramène à la requête région. Ensuite, une liste d'objets urbains est déterminée. Dans l'exemple de la figure 5.8, les équipements voisins de l'objet Equip2 sont : Equip1, Equip3, Equip4, Equip5.

5.4.5 Requête de distance

Une telle requête est aussi très utilisée dans les application urbaines. Le problème ici, est de déterminer la distance euclidienne séparant deux objets urbains.

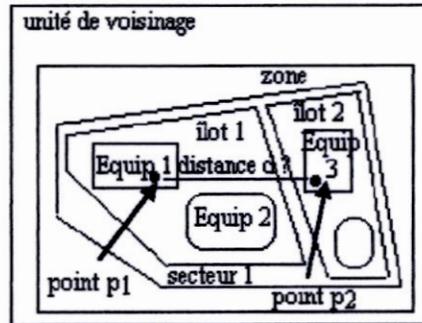


Figure 5.9 Requête de distance

Principe :

1. Déterminer les deux objets pointés respectivement par les points P_1 et P_2 (figure 5.9) en utilisant le R-Tree et en appliquant la procédure parcours 1;
2. L'information géométrique concernant ces deux objets est utilisée pour calculer la distance euclidienne entre les deux polygones;

5.4.6 Mise à jour des cartes urbaines

Les opérations utilisées lors d'une mise à jour sont essentiellement :

- * Insertion d'un nouveau objet urbain dans la carte,
- * Suppression d'un objet urbain de la carte;

L'utilisation de la structure R-Tree rend les procédures de l'insertion et de la suppression facile à réaliser. Vouloir insérer un objet dans l'îlot i , revient à insérer le rectangle englobant comme une nouvelle feuille de l'arbre à une position bien définie (figure 5.10). Puis ajouter dans la base les attributs relatifs à l'objet en question.

Exemple insérer l'objet Equip dans l'îlot 2.

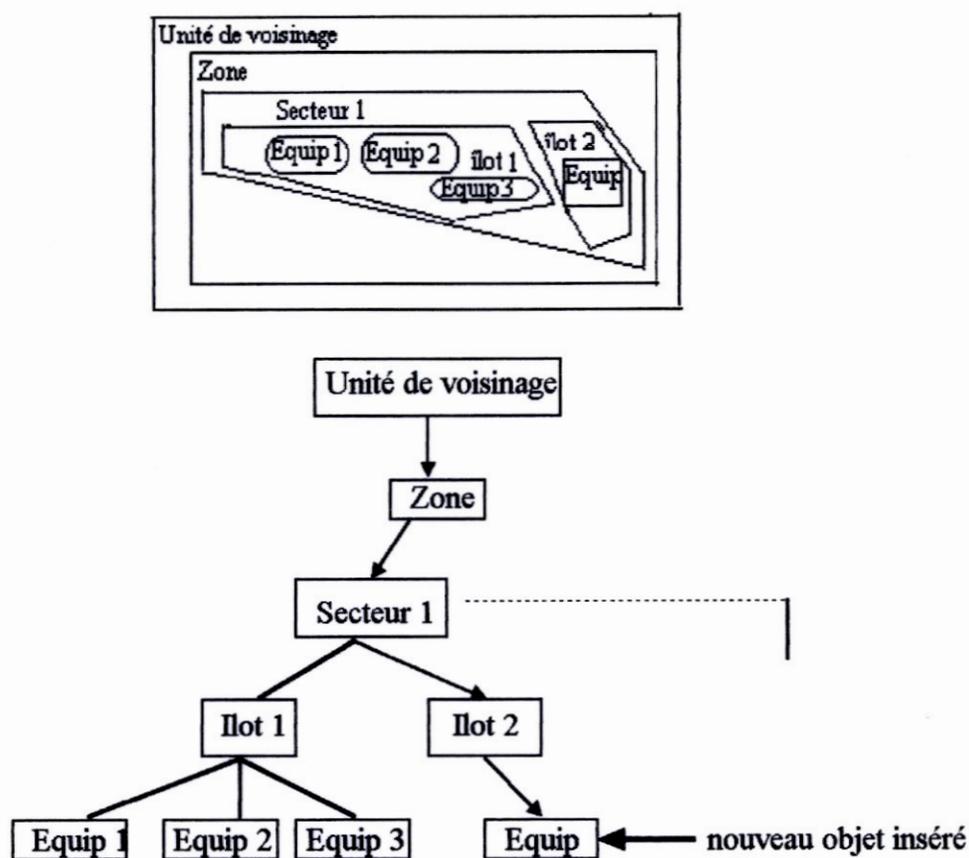


Figure 5.10 Insertion d'un nouveau objet

La suppression d'un objet urbain consiste seulement à couper le lien du noeud, voir figure 5.11. Puis supprimer les attributs géométriques et textuelles de l'objet de la base.

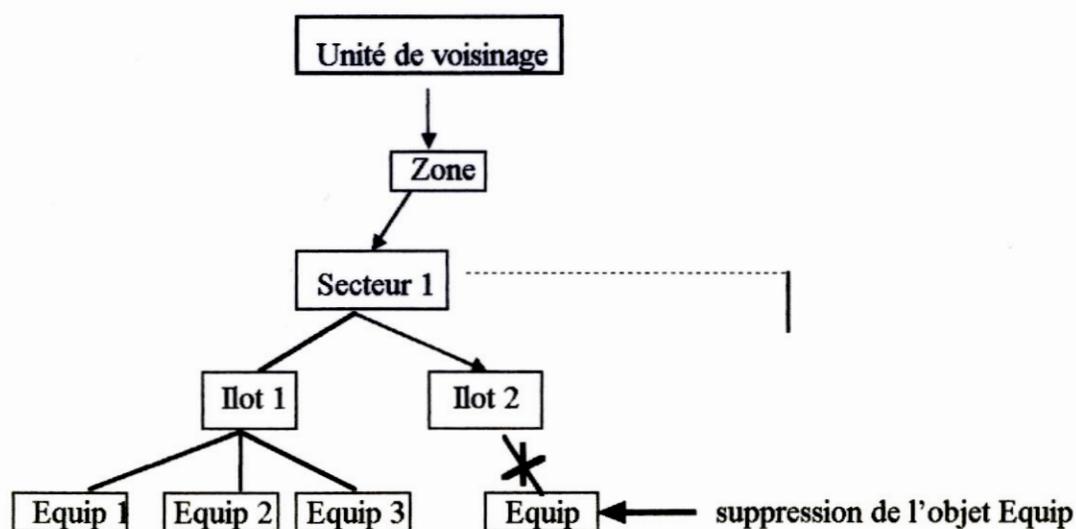


Figure 5.11 Suppression d'un objet

Procédure parcours 1 (point p, niveau, pointeur-niveau, nbr-fils)

(point p : point sélectionné;
 niveau : niveau hiérarchique dans R-Tree;
 pointeur-niveau : accès a un noeud de R-Tree;
 nbr-fils : nombre de fils)

```

début
    trouve ::= faux;
    noeud ::= nbr-fils;
    tant que noeud > 0 et not trouve faire
        prendre le rectangle englobant REM (  $x_{min}$ ,  $x_{max}$ ,  $y_{min}$ ,  $y_{max}$  );
        si point p « est dans REM » alors
            appliquer l'algorithme de la demi-droite; ( algorithme de Jordan )
            si point p « est dans le polygone » ( objet en question ) alors
                réponse ::= nom-objet.pointeur-niveau;
                nbr-fils ::= nbr-fils.pointeur-niveau;
                si niveau < 6 et nbr-fils  $\neq$  0 alors
                    pointeur-niveau ::= pointeur-fils.pointeur-niveau;
                    ( pointeur-fils : adresse du premier fils );
                    parcours (point p, niveau+1, pointeur-niveau, nbr-fils );
                sinon
                    trouve ::= vrai;
                finsi
            finsi
        finsi
        pointeur-niveau ::= next.pointeur-niveau;
        noeud ::= noeud - 1,
    fintantque
fin parcours 1.
    
```

Procédure parcours 2 (niveau, pointeur-niveau)

début

fin-parcours ::= faux;

tant que not fin-parcours faire

tant que niveau <= et pointeur-niveau \diamond nil faire

réponse ::= nom-objet.pointeur-niveau;

sauvegarder (niveau, pointeur-fils.pointeur-niveau);

pointeur.niveau ::= pointeur-fils.pointeur-niveau;

niveau ::= niveau + 1;

fin tantque

restituer (niveau, pointeur-niveau);

tant que pointeur-niveau \diamond nil faire

réponse ::= nom-objet.pointeur-niveau;

pointeur-niveau ::= pointeur-niveau.next;

fin tant que

si reste des rectangles à visiter alors

restituer (niveau, pointeur-niveau.next)

si pointeur-niveau.next \diamond nil alors

sauvegarder(niveau, pointeur-niveau.next);

finsi

niveau ::= niveau +1;

pointeur-niveau ::= pointeur-niveau.next;

sinon

fin-parcours ::= vrai;

finsi

fintantque

fin parcours 2

Conclusion

Nous avons montré à travers des exemples d'exécutions l'intérêt de la structure R-Tree dans la localisation des objets urbains et dans la résolution des requêtes spatiales qui répondent aux besoins des urbanistes.

Comme, nous l'avons déjà signalé, la structure R-Tree est basée sur le principe des rectangles englobants, ainsi pour accélérer la procédure de recherche du pointé, nous utilisons directement les rectangles minimums englobants des objets urbains. Il est facile de tester si un point appartient à l'extérieur d'un rectangle; si le point appartient à l'intérieur du rectangle; alors dans ce cas nous appliquons le théorème de la demi-droite pour tester son appartenance à l'objet lui-même (polygone).

Le R-Tree révèle des qualités théoriques intéressantes dans le cas de notre application. Cependant, un point faible de cette structure est le chevauchement de quelques rectangles, entraînant un ralentissement de la recherche.

Conclusion générale

Conclusion générale

Nous avons développé un système sous l'environnement Autocad pour la représentation, la modélisation, et la manipulation des objets urbains via des cartes thématiques. Nous avons également développé un algorithme de construction de l'arbre R à partir des listes chaînées. Ainsi nous avons montré l'intérêt de l'indexage par arbre rectangle «R-tree » dans l'optimisation de la résolution des requêtes spatiales soit pour accéder aux objets, soit pour les manipuler.

Les opérations de recherche des objets urbains; en utilisant l'index R, s'effectue essentiellement en deux phases :

1. parcours de l'index pour trouver les REMs candidats (les REMs contenant le point P).
2. identification des objets urbains qui contiennent eux-mêmes le point en question.

Les études menées durant notre travail dans le cadre de ce mémoire, nous ont permis d'acquérir et d'approfondir nos connaissances dans le domaine des systèmes d'information géographiques et surtout dans le domaine de l'urbanisme.

Nous avons effectué une rétrospective des moyens informatiques à mettre en oeuvre pour une meilleure adaptation des moyens par la mise à disposition des requêtes spatiales facilitant l'accès et la manipulation des objets géographiques dans le cadre d'une application urbaine. Ce qui constitue avec l'état de l'art notre contribution dans ce domaine.

Aussi, notre contribution essentielle consiste à l'enrichissement des structures de données mortes (des cartes) en des structures de données à sémantiques très riches, permettant des raisonnements graphiques intelligents.

En perspective, il reste à développer un interface graphique intelligent permettant aux utilisateurs de spécifier les caractéristiques de ses objets d'une manière graphique via une bibliothèque d'objets déjà construite, ce qui va faciliter le travail par la suite. Car, à ce moment là, l'utilisateur n'accède à notre système que via cette interface. On peut dire qu'il sera débarrassé des problèmes liés à l'implémentation physique de ses objets spécifiques à un domaine d'application donnée. Ce qui veut dire que le niveau d'abstraction sera certainement très élevé. Seule une étude très approfondie dans ce contexte dans le cadre d'une thèse d'état pourra mesurer avec précision son impact.

BIBLIOGRAPHIE

[Badj 89]

N. BADJI, R. LAURINT ``Requêtes spatiales dans les bases de données géomatiques : application à l'analyse spatiale de marché`` SIGEO, Rouen 1989, pp 1-12

[Benn 92]

K. BENNIS, M.FREVILLE ``Méthode de construction d'un index spatial R-Tree+ pour l'organisation des données géométriques`` Rapport interne dans le cadre du projet Esprit Tropics, Labo MASI Université Pierre et Marie Curie, 1992, p 22.

[BenT 95]

BENTRIX de Cambridge ``Données géographiques multidimensionnelles (2D, relief et 3D) dans un SIG 3D`` Revue internationale de Géomatique vol 5, n°1/ 1995, pp 7-36.

[Bonn 84]

A. BONNET ``L'intelligence artificielle promesses et réalités`` Ed inter-éditions, Paris 84.

[Bour 90]

P. BOURSIER ``Planification et Aménagement au niveau régional : l'apport des SIG, leurs limites`` SIG-GIS Europe 90, Conférence et Exposition Européennes sur les SIG, 19-22 Juin, pp 67-75.

[Buis 89]

L. BUISSON ``Bases de connaissances et information géographique`` SIGEO, Rouen 1992, p 13.

[Chau 85]

B.B. CHAUDHURI ``Applications of quadtree, octree and binary tree décomposition technics to shope analysis and pattern`` IEEE, vol 7, n°5/ November 1985, pp 652- 660.

[Chen 88]

T. CHEN ``The frame based spatial knowledge representation image processing`` IEEE 1988, pp 69-73.

[Comb 92]

M.C. COMBES, F.DE DINECHIE ``Méthodes et outils d'acquisition des données`` Rapport interne, Institut Géographique National, 16 Novembre 1992, p 8.

[Fole 93]

FOLEY, VAN DAM, FEINER, HEIGHES ``Computer graphics, principles and practice`` Second Edition, november 1993, p 1151.

[Gunt 87]

O. GUNTHER, E. WONG ``A dual space representation for geometric data`` Proceeding of the 13 th VLDB Conference, Brighton 1987, pp 501-506.

[Heyn 92]

J. HEYNAL, M. BISHOP ``Urban and regional planning : spatial socio-economic data`` Delivered to the 15 th urban data management symposium, Lyon, on the 18 th November 1992.

[Idri 96]

L . IDRISSE ``Le système d'information géographique développé pour le schéma Directeur Routier National`` 2 ème congrès algérien de la route Annaba 8-9-10 Décembre 1996, Tome 1, pp 105-116.

[Joci 95]

F. JOCINE `` Méthodes multicritères d'aide à la décision et SIG pour la recherche d'un site`` Revue internationale de Géomatique vol 5, n°1/ 1995, pp 37-51.

[Kast 89]

R. KASTURI, R. FERNANDEZ , M. AMLANI,W-C. FENG ``Map data processing in geographic information systems`` IEEE, Computer, December 1989, pp 10-20.

[Khol 86]

M. K. KHOLLADI ``Représentation et manipulation des connaissances géométriques spatiales en 2D par le modèle filaire`` Mémoire de DEA d'Informatique et d'Automatisation, INSA de Lyon, Octobre 1986, p 80.

[Khol 91]

M. K. KHOLLADI ``Représentation, Modélisation et Manipulation des connaissances spatiales en géomatique 'G.R.E.M.A.C.O.S' `` Thèse pour l'obtention du diplôme de doctorat en Informatique et automatique appliquée, INSA, Lyon, Décembre 1991, p 221.

[Laur 80]

R. LAURINI ``Contribution systémiques et informatiques au multipilotage des villes`` Thèse pour obtenir le grade de Docteur d'Etat Es-sciences, 19 Décembre 1980, p 399.

[Laur 89a]

R. LAURINI, M. K. KHOLLADI ``Base de connaissances spatiales pour la reconnaissance des objets, cas des objets géologiques`` Première conférence Maghrébine sur l'intelligence artificielle et le génie logiciel, 24, 27, Septembre, Constantine 1989.

[Laur 89b]

R. LAURINI, F. MILLERET-RAFFORT ``L'ingénierie des connaissances spatiales`` Ed. Hermes, Paris 1989, p 53.

[Laur 93a]

R. LAURINI, F. MILLERET-RAFFORT ``Les bases de données en géomatique`` Ed. Hermes, Paris 1993, p 339.

[Laur 93b]

R. LAURINI, F. MILLERET-RAFFORT ``Les contraintes d'intégrité dans les bases de données spatiales : panorama des problématiques`` Bases de données spatiales, Journées de Beaume, 5-6 Novembre 1993, pp 87-103.

[Laur 95]

R. LAURINI ``Programme de recherche en bases de données géographiques`` Revue internationale de géomatique vol 5, n°3/1995 pp 83-99.

[Mesh 96]

S. MESHOUL ``Modélisation des solides : Représentation par arbre octal`` Diplôme de Magister en informatique, Université de Constantine, 1996, p 160.

[MILL 94]

F..MILLERET-RAFFORT ``Veille technologie dans les SIG``Rapport interne, INSA de Lyon, 1994, p 18.

[FIRE 93]

M W. FIREBAUGH ``Artificial intelligence a knowledge-based approach`` America, 1993, p 725.

[Same 84]

H.SAMET ``The quadtree and related hierarchical data structures. ACM computer surveys, vol 16, June 2, 1984, pp 437-464

[Same 88]

H. SAMET ``Hierarchical representation of collectins of small rectangles`` ACM Computing surveys, vol 20, n°4/ December 1988, pp 271-309.

[Scho 95]

M. SHOLL, P..M. RIGAUX, J.THORETTE ``Systèmes d'informatique géographiques``, Emit's 95, 3ème Ecole Maghrébine de télécommunications, Tunis, 1995.

[Sell 87]

T. SELLIS, N. ROUSSOPOU, C. FALOUTSOS ``The R-Tree+ : A dynamic index for multi-dimensional objects`` Proceedings of the 13 th VLDB Conference, Brighton 1987, pp 507-518.

[Pana 96]

G. PANAGOPOULOU, S. SIRMAKESSIS, A.TSAKALIDIS ``A new approche to spatial data structures : evaluation and redefinition of their properties`` Second joint European conference & exhibition on geographical information, Barcelona, Spain 1996, pp 34-44.

[Varm 90]

H. P. VARMA, H. BOUDREAU, W. PRIM ``Structure de données pour bases de données spatio-temporelles`` Revue hydrographique international, Monaco LXVII, Janvier 1990, pp 71-93.