

# Bases de données spatiales

C. Pierkot, JC. Desconnets

IRD

Février 2012

# Plan

- 1 Introduction
- 2 Les objets géographiques
- 3 Méthodes de modélisation conceptuelle
- 4 Normalisation

# Différents Objets à modéliser...



# ...Pour des besoins différents

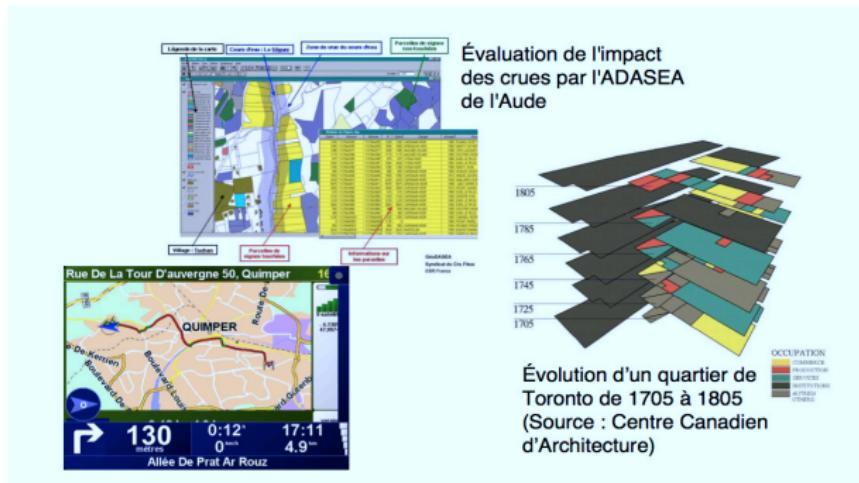


FIGURE: source : Cours Modelisation spatio - temporelle T. Devogele, 2009

# Représentation du monde réel

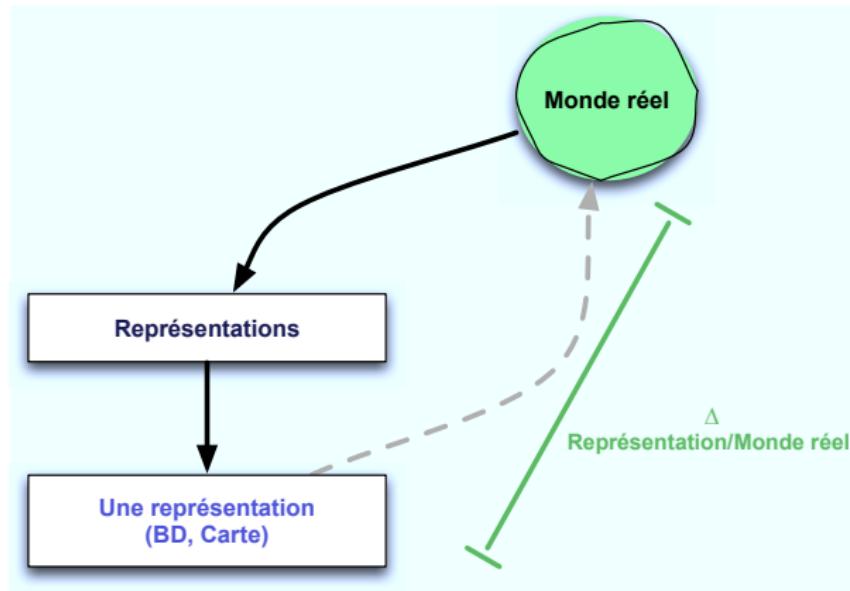
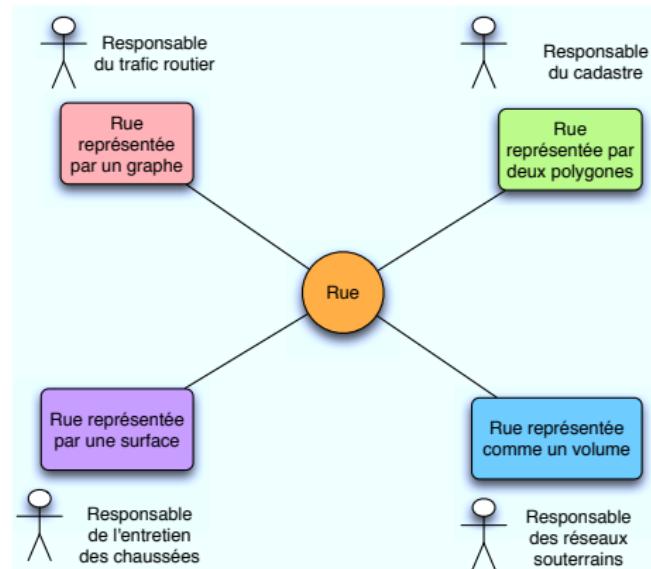


FIGURE: source : Cours Modelisation spatio - temporelle T. Devogele, 2009

# Multi-perceptions



# Multi-perceptions



Perception = Point de vue

Représenter l'espace et ses objets selon le point de vue et les objectifs visés par la modélisation

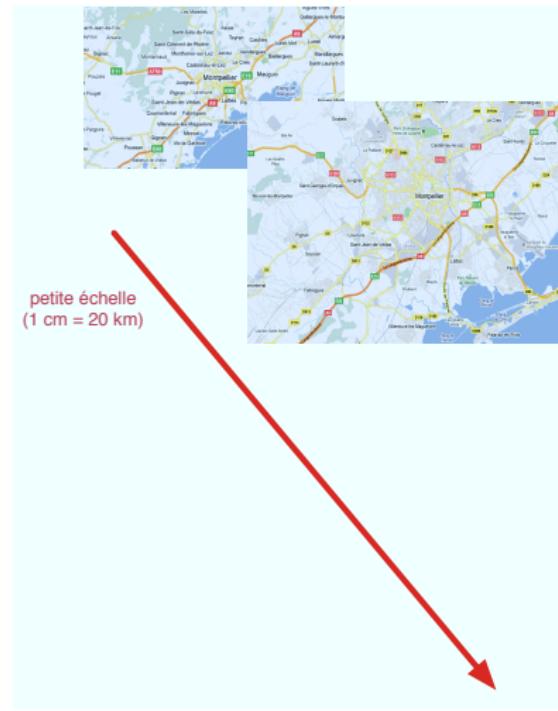
# Représentation multi-échelles

Un même territoire ou une portion peut être représenté à différentes échelles



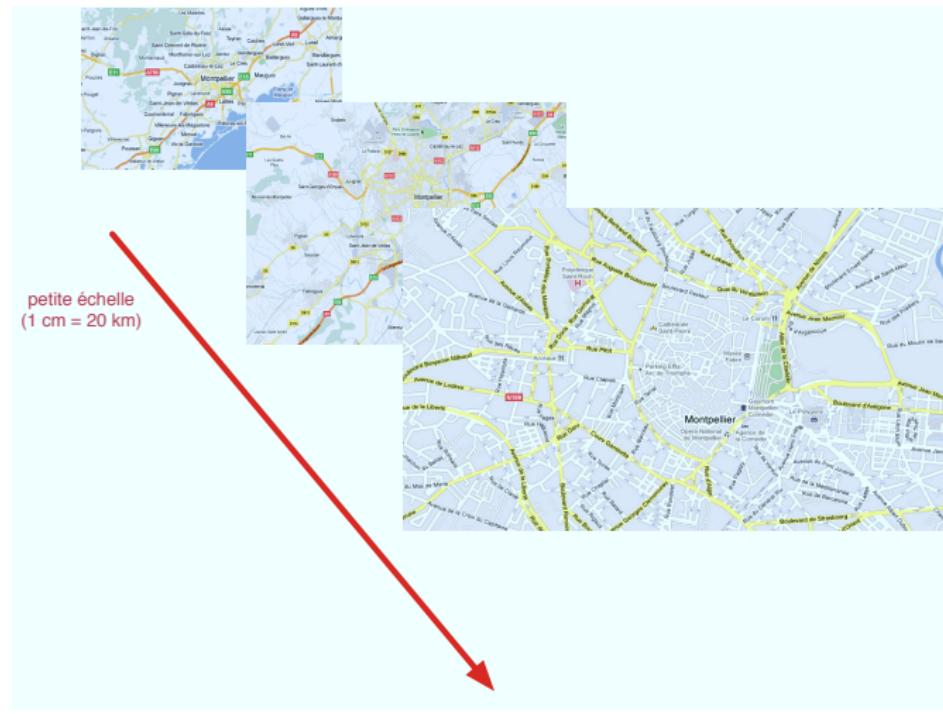
# Représentation multi-échelles

Un même territoire ou une portion peut être représenté à différentes échelles



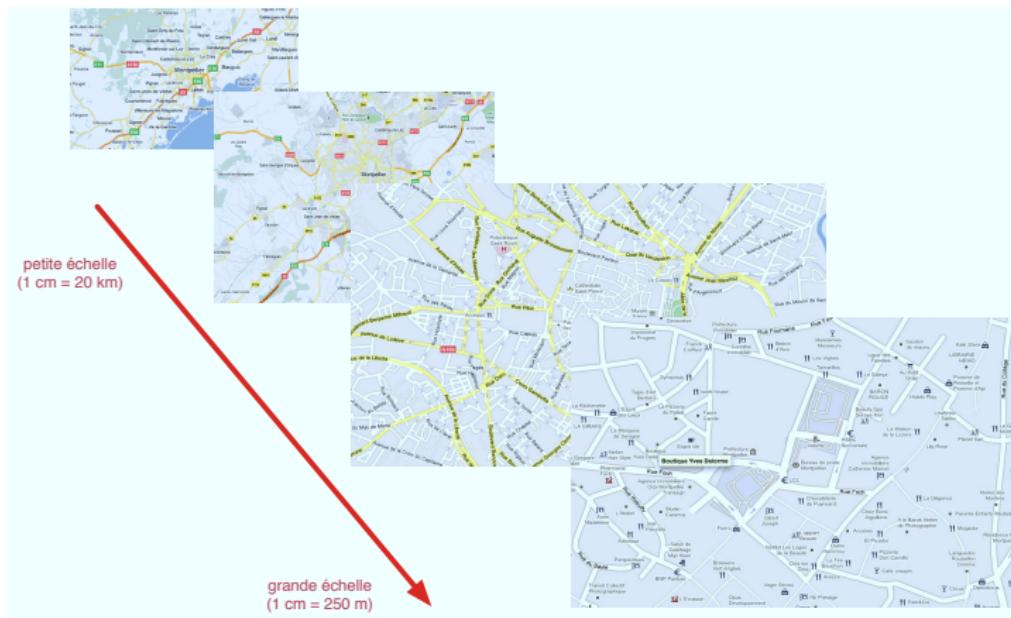
# Représentation multi-échelles

Un même territoire ou une portion peut être représenté à différentes échelles



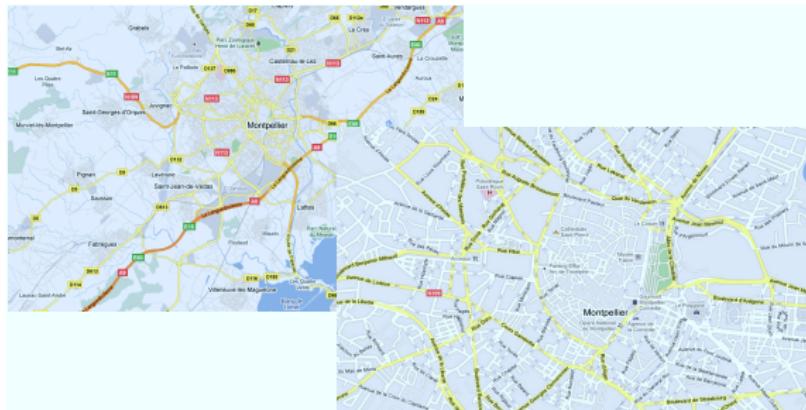
# Représentation multi-échelles

Un même territoire ou une portion peut être représenté à différentes échelles



# Représentation multi-échelles

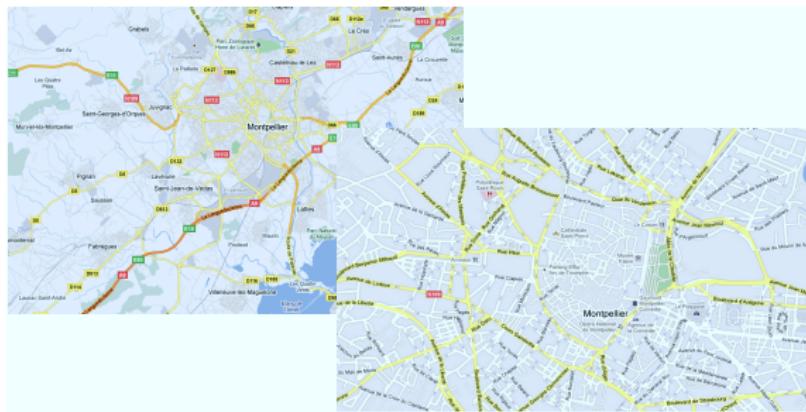
## Niveau de détail de la représentation (carte)



- Représentation cartographique
  - ▶ Contraintes d'affichage de l'information dans un espace limité
  - ▶ Impératifs guidés par les objectifs de la communication visuelle  
*exemple : voies de communication surdimensionnées dans une carte routière*

# Représentation multi-échelles

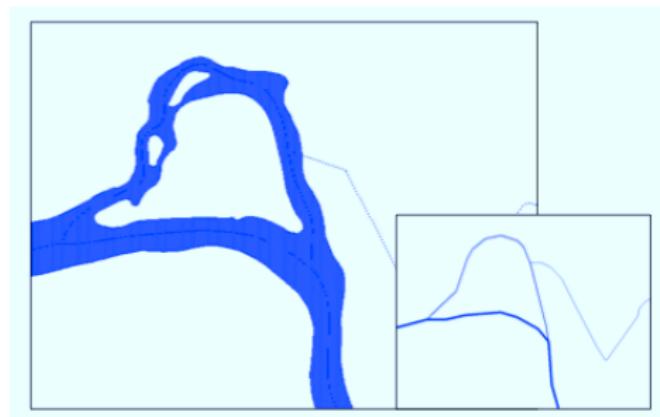
## Niveau de détail de la représentation (carte)



- Représentation à des fins d'analyse
  - ▶ Niveau de description le plus approprié à l'analyse du phénomène étudié. exemple : *synthèse au niveau d'une région des statistiques départementales d'accidents de la route*

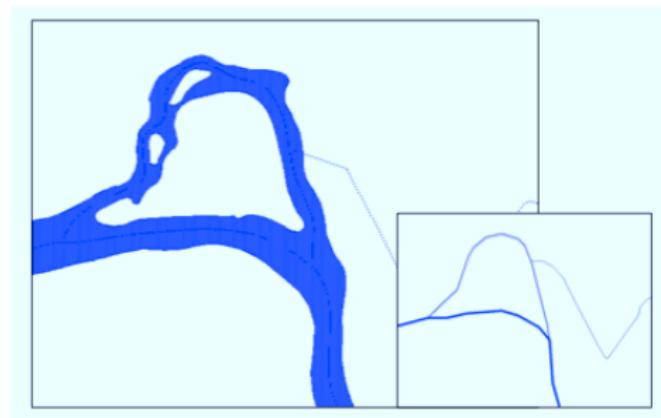
# Représentation multi-échelles

Importance du niveau de représentation



# Représentation multi-échelles

## Importance du niveau de représentation



### Niveau de représentation

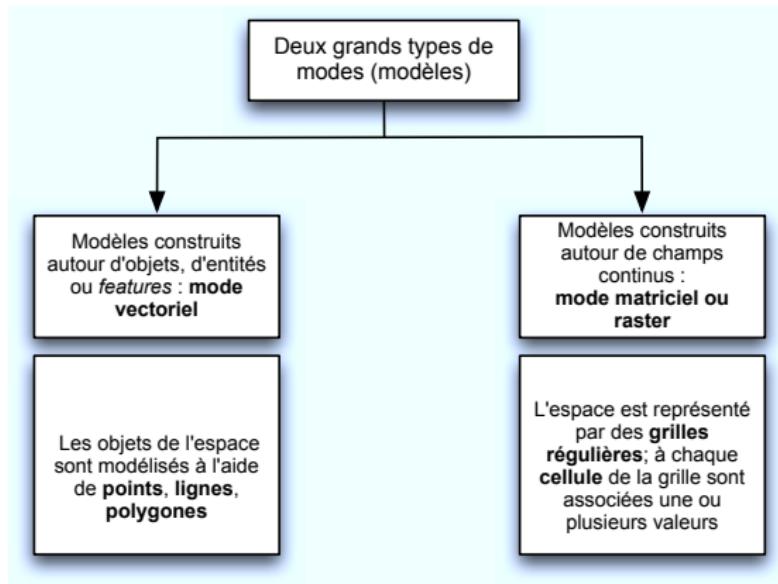
Certain types d'objets géographiques ont des représentations géométriques différentes selon l'échelle.

# Représentation multi-échelles

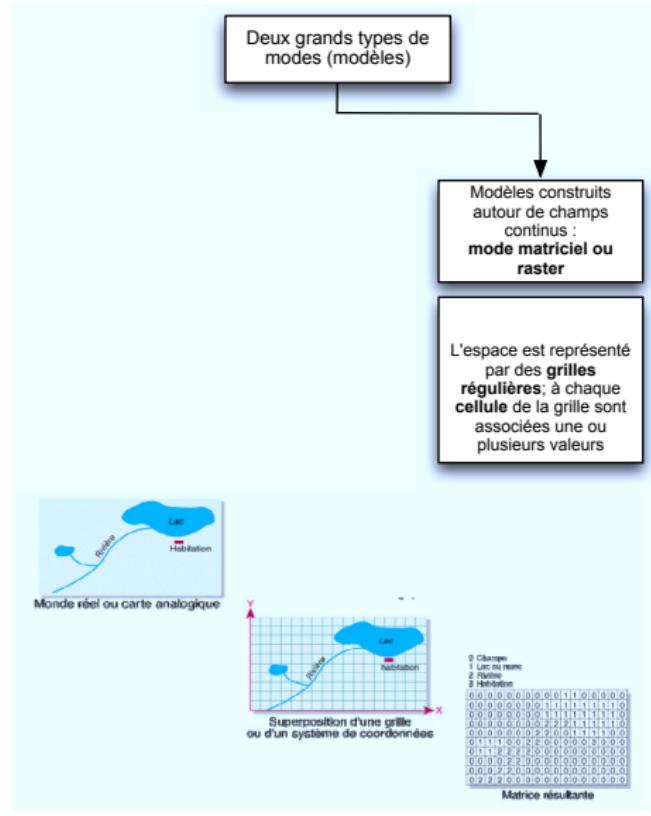
- Changement d'échelle

- ▶ **Généralisation** : simplification et abstraction pour éliminer les aspects spécifiques ou secondaires afin d'aboutir à une vision plus synthétique
- ▶ **Plusieurs opérations de généralisation** : simplification, agrégation, symbolisation, exagération

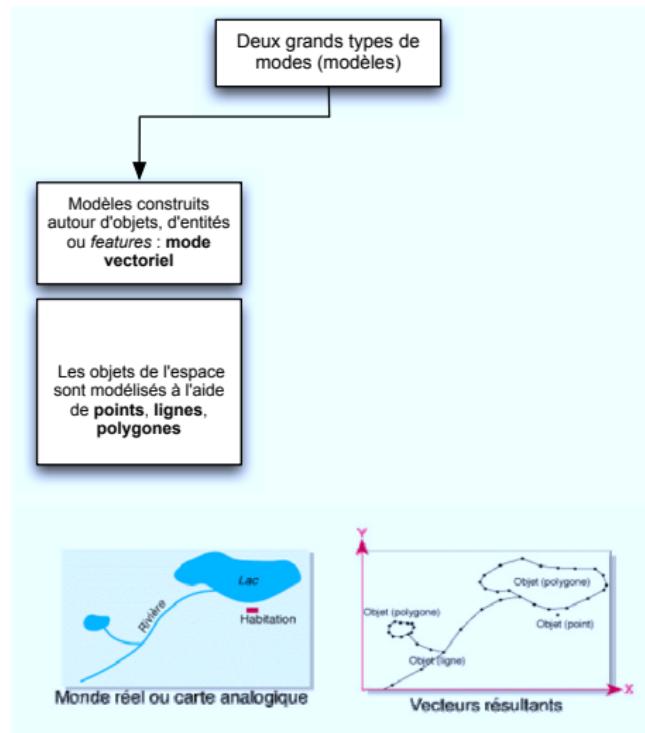
# Mode de représentation des données



# Mode de représentation des données



# Mode de représentation des données



# Le mode raster

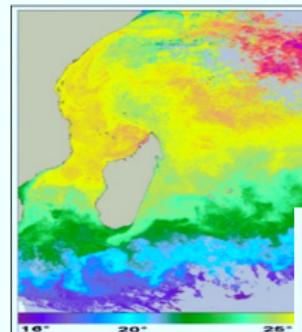
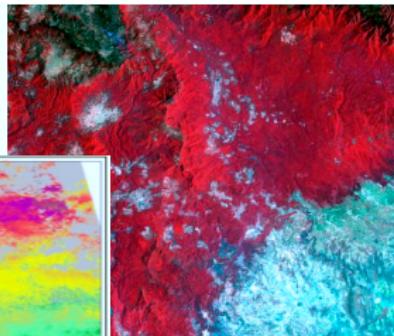
## Exemples de données Raster

- Photographie aérienne ou satellitaire (pixels)
- Modèles numériques de terrain (MNT : champ continu d'altitudes)
- Représentation de tout champ continu de valeurs

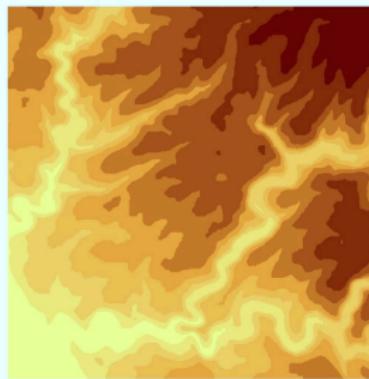
# Le mode raster

## Exemples de données Raster

Image Satellitaire (Spotimage)



Température de surface (SeasNet)



MNT (Modèle Numérique de Terrain)

Altitude (m)
60
65
70
80
90
100
110
120
130

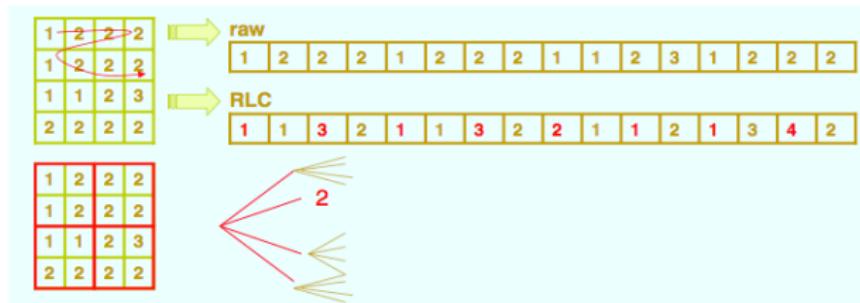
# Le mode raster

- Principe

- ▶ Espace géographique découpé en un maillage de résolution donnée
- ▶ A chaque point du maillage : une valeur unique correspondant à la dimension étudiée (altitude, type de végétation, numéro INSEE...)

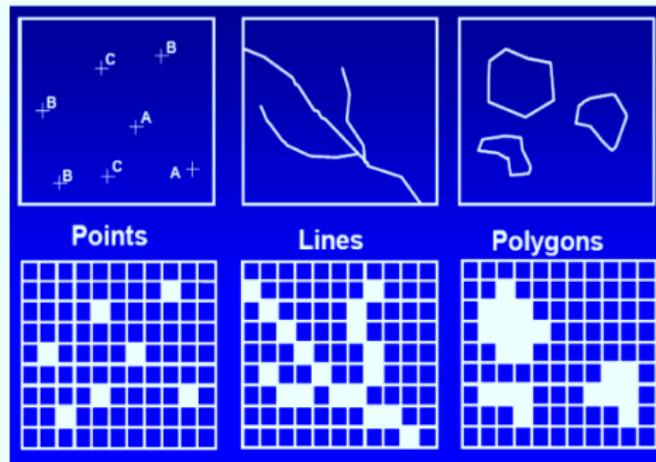
- Encodage des données

- ▶ Différents encodages des matrices : suite brute des valeurs pixels (raw) ou compression basique (RLC : Run Length Code) ou plus complexe (QuadTree)



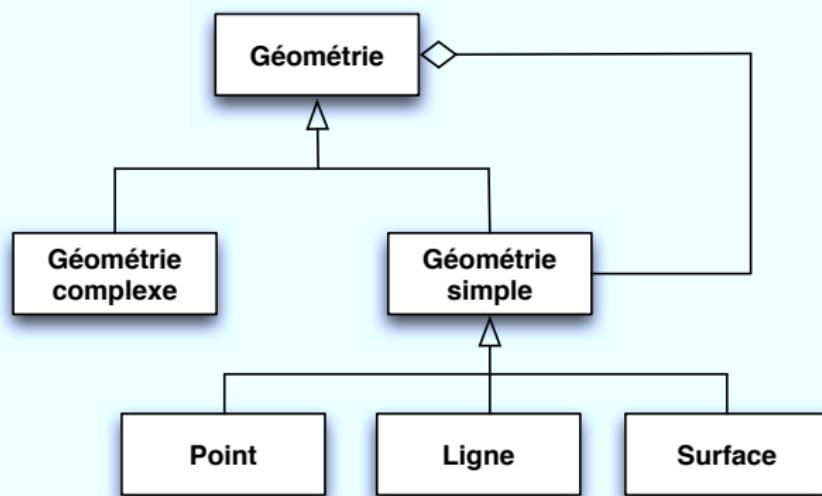
# Le mode raster

- Les objets géographiques ne sont pas décrits explicitement
- Il est toutefois possible d'identifier des objets :
  - ▶ Élément particulier = point d'une valeur donnée
  - ▶ Ligne = suite de mailles adjacentes de mêmes valeurs
  - ▶ Zone = ensemble connexe de mailles de mêmes valeurs



## Le mode vectoriel

Les objets de l'espace sont modélisés à l'aide de *points*, de *ligne* et de *polygones* (surface). On parle d'**objets géométriques**



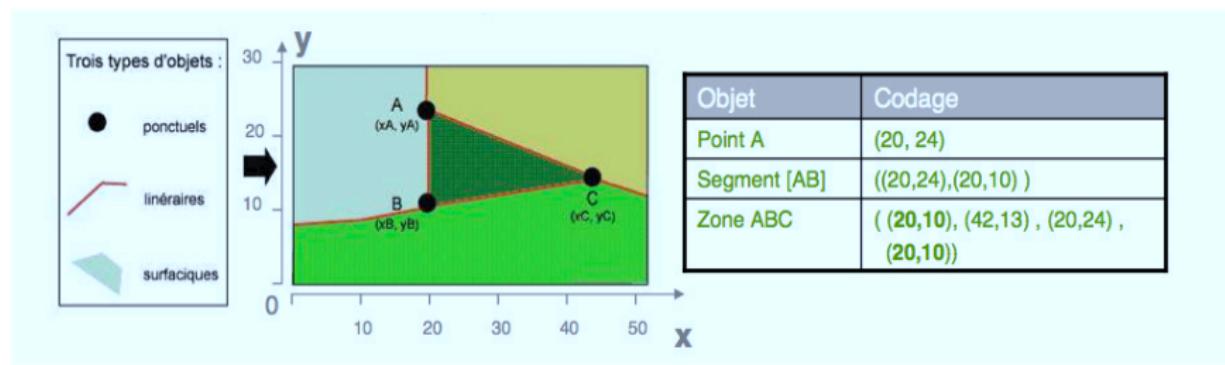
# Le mode vectoriel

- Géometrie simple

- ▶ Point : objet à zéro Dimension
- ▶ Ligne =objet à 1 Dimension
- ▶ Surface (polygone) = Objet à 2 Dimensions

- Géometrie complexe

- ▶ Agrégats (composite) de géométrie simple



# Les modèles d'encodage de la géométrie

Trois grands types de modèles de données vectorielles

- Modèle non topologique dit "**modèle spaghetti**"
- Modèle topologique en réseau
- Modèle topologique de surface

# Modèle "spaghetti"

## Eléments du modèle

**Point :** Id,x,y +

**Ligne:** Id,

$x_0, y_0$

$x_1, y_1$

$x_2, y_2$

-----

$x_n, y_n$

**Surface :** Id,

$x_0, y_0$

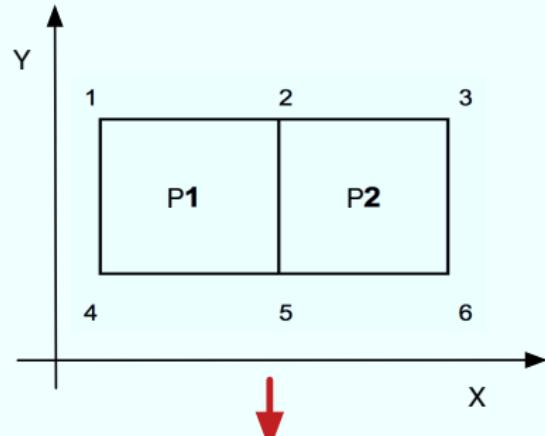
$x_1, y_1$

$x_2, y_2$

-----

$x_n, y_n$

( $x_0, y_0$ )



P1	P2
$x_1, y_1$	$x_2, y_2$
$x_2, y_2$	$x_3, y_3$
$x_5, y_5$	$x_6, y_6$
$x_4, y_4$	$x_5, y_5$
$x_1, y_1$	$x_2, y_2$

# Modèle "*spaghetti*"

- Structure de données simple
- Relations entre objets non définies (Calcul des relations nécessaires)
- Redondance des données

# Modèle topologique de réseau

## *Eléments du modèle*

Point : Id,x,y +

Ligne: Id, (L)

N<sub>a</sub>

x<sub>1</sub>,y<sub>1</sub>

x<sub>2</sub>,y<sub>2</sub>

----

N<sub>b</sub>

Noeud: Id,x,y

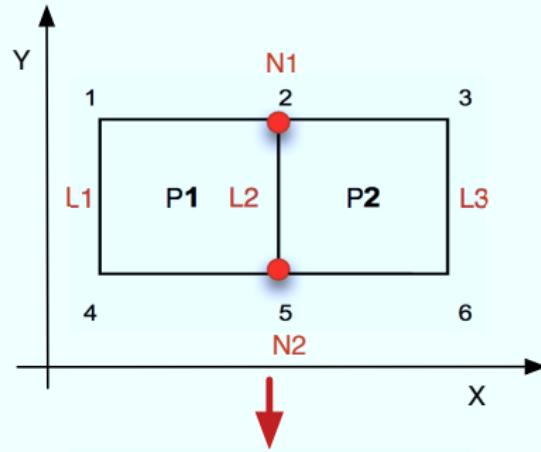
Surface : Id,

L<sub>1</sub>

L<sub>2</sub>

----

L<sub>n</sub>



L<sub>1</sub>

N<sub>1</sub>

x<sub>1</sub>,y<sub>1</sub>

x<sub>4</sub>,y<sub>4</sub>

N<sub>2</sub>

L<sub>2</sub>

N<sub>1</sub>

x<sub>1</sub>,y<sub>1</sub>

x<sub>6</sub>,y<sub>6</sub>

N<sub>2</sub>

L<sub>3</sub>

N<sub>1</sub>

x<sub>3</sub>,y<sub>3</sub>

x<sub>6</sub>,y<sub>6</sub>

N<sub>2</sub>

P<sub>1</sub>

L<sub>1</sub>

x<sub>1</sub>,y<sub>1</sub>

x<sub>4</sub>,y<sub>4</sub>

N<sub>2</sub>

P<sub>2</sub>

L<sub>2</sub>

x<sub>1</sub>,y<sub>1</sub>

x<sub>6</sub>,y<sub>6</sub>

N<sub>2</sub>

N<sub>1</sub>

x<sub>2</sub>,y<sub>2</sub>

N<sub>2</sub>

x<sub>5</sub>,y<sub>5</sub>

# Modèle topologique de réseau

- Pas de redondance
- Gestion de la connexité

# Modèle topologique de surface

## *Eléments du modèle*

Point : Id,x,y +

Ligne: Id, (L)

N<sub>a</sub>

x<sub>1</sub>,y<sub>1</sub>

x<sub>2</sub>,y<sub>2</sub>

---

N<sub>b</sub>



Noeud: Id,x,y

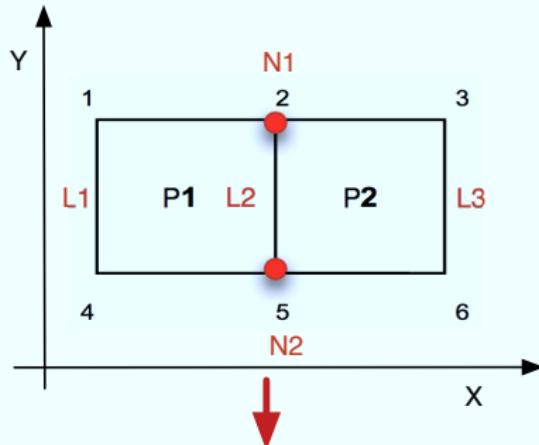
Surface : Id,

L<sub>1</sub>

L<sub>2</sub>

---

L<sub>n</sub>



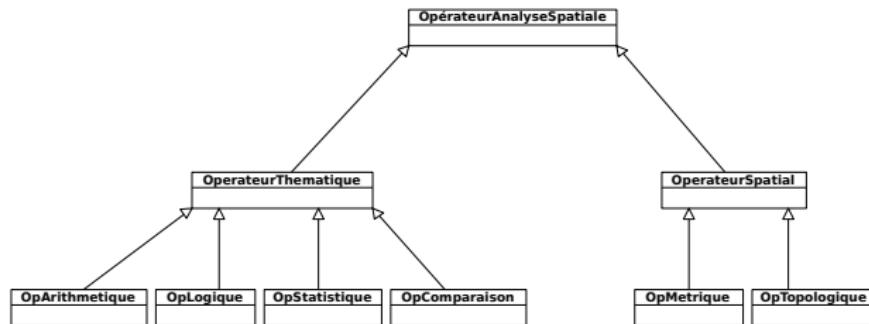
L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>
N <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>
N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>

N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>
x <sub>2</sub> ,y <sub>2</sub>	x <sub>5</sub> ,y <sub>5</sub>

# Modèle topologique de surface

- Pas de redondance
- Gestion de la connexité
- Gestion de la contiguïté

# Principaux opérateurs



# Opérateurs thématiques

## Opérations sur les attributs non spatiaux des objets

- **Opérateurs arithmétiques**
  - ▶  $+, -, *, /$ , puissance, modulo
- **Opérateurs statistiques**
  - ▶ Maximum, Minimum, Nombre d'entité, Moyenne, Somme, ...
- **Opérateurs de comparaison**
  - ▶  $<, >, <=, >=, =, <>$
- **Opérateurs logiques**
  - ▶ Et, ou , non, ou exclusif

# Opérateurs spatiaux

## Opérations sur la composante spatiale des objets

- **Opérateurs métriques** : Notion de distance, de localisation, de forme
  - ▶ Position, Longueur, Surface, Distance, Périmètre.
- **Opérateurs topologiques** : Relation entre les objets géographiques
  - ▶ Disjonction, Adjacence, Intersection, Inclusion, Couverture, Egalité,...

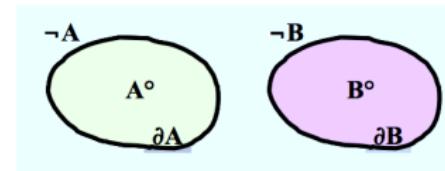
# Les relations spatiales

## Trois grands types de relations

- **Relations métriques :**
  - ▶ *Calcul de distance dans un espace euclidien*
- **Relations d'ordre ou ordinaires :**
  - ▶ *Représentation basée sur les relations cardinales ou angulaires [Frank]*
- **Relations topologiques**
  - ▶ *décrivent des relations qualitatives entre objets ("touche", "intersecte", etc.)*
  - ▶ *Calcul d'adjacence, de contiguïté entre objets*

# Relations topologiques : Modèle 9 intersections

- Défini par [Egenhofer et Hering, 1990]
- Modèle d'algèbre topologique basé sur :
  - ▶ Primitives géométriques : point (ou noeud), ligne, surface (ou polygone)
  - ▶ Primitives topologiques : intérieur, frontière, extérieur



- 9 combinaisons représentées sous la forme d'une matrice 3x3

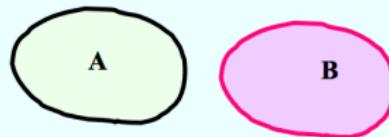
$$R(A, B) = \begin{pmatrix} A^o \cap B^o & A^o \cap \partial B & A^o \cap B^- \\ \partial A \cap B^o & \partial A \cap \partial B & \partial A \cap B^- \\ A^- \cap B^o & A^- \cap \partial B & A^- \cap B^- \end{pmatrix}$$

( $\emptyset$ )	Vide
( $\neg\emptyset$ )	Non Vide

- Résultat : vide ou non vide

# Modèle 9 intersections

- Permet de définir les principaux opérateurs topologiques
- Ex : Disjonction*

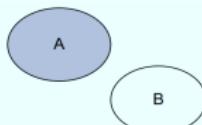


$$\begin{pmatrix} A^o \cap B^o & A^o \cap \partial B & A^o \cap B^- \\ \partial A \cap B^o & \partial A \cap \partial B & \partial A \cap B^- \\ A^- \cap B^o & A^- \cap \partial B & A^- \cap B^- \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix}$$

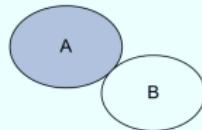
- Utilisé dans les SGBD spatiaux

# Les relations topologiques

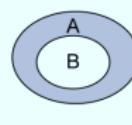
8 relations topologiques possibles entre deux régions A et B



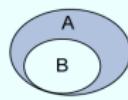
$$R_{disjoint}(A, B) = \begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix}$$



$$R_{meet}(A, B) = \begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix}$$



$$R_{contains}(A, B) = \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix}$$



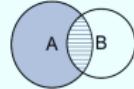
$$R_{covers}(A, B) = \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix}$$

A Disjoint de B

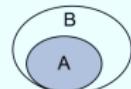
A est voisin de B

A Contient B

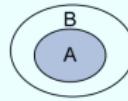
A Couvre B



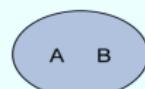
$$R_{overlap}(A, B) = \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix}$$



$$R_{coveredBy}(A, B) = \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \emptyset & \emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset & \emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix}$$



$$R_{inside}(A, B) = \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \emptyset & \emptyset \\ \neg\emptyset & \emptyset & \emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix}$$



$$R_{equal}(A, B) = \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \neg\emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix}$$

A intersecte B

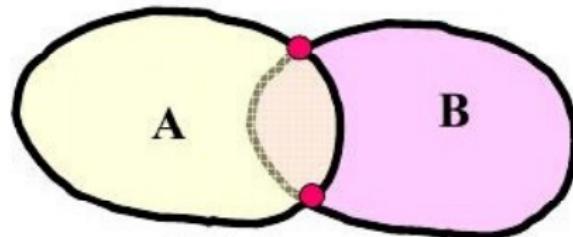
A est couvert par B

A est dedans B

A égal B

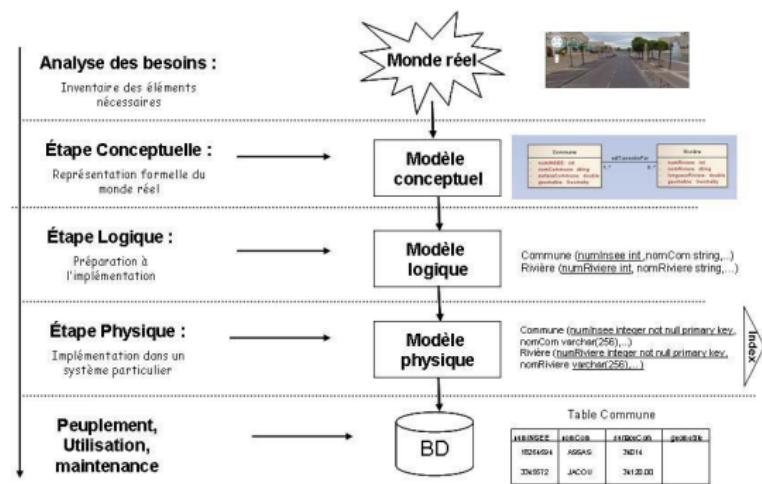
## Modèle 9 intersections étendu

- Amélioration définie par [Clémentini et al. 1993]
- Résultat : dimension de l'intersection (vide, 0, 1, 2)



$$\begin{pmatrix} \partial A \cap \partial B & \partial A \cap B^0 & \partial A \cap B^- \\ A^0 \cap \partial B & A^0 \cap B^0 & A^0 \cap B^- \\ A^- \cap \partial B & A^- \cap B^0 & A^- \cap B^- \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \textcolor{red}{0} & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 2 \end{pmatrix}$$

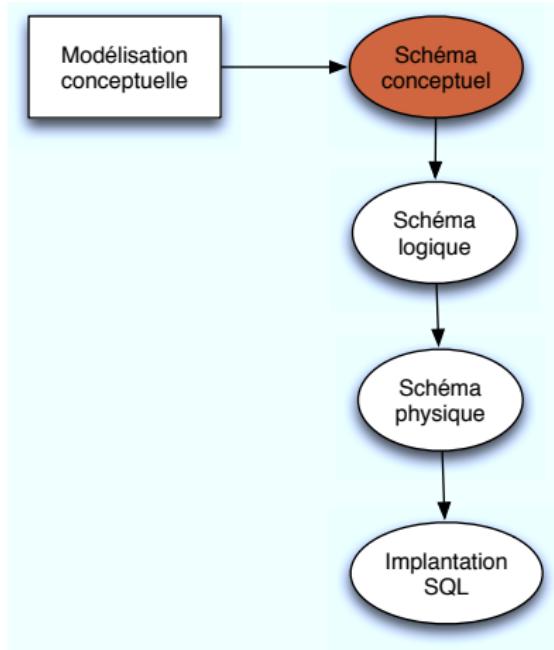
# Modélisation d'une base de données spatiales



# Modélisation conceptuelle

## Objectifs

- Elaborer un **modèle** qui décrit de manière **abstraite** le monde réel selon le point de vue que l'on adopte (ce que l'on veut résoudre)
- Au travers d'un **schéma conceptuel** qui représente graphiquement le modèle mental du point de vue adopté, les entités, leurs propriétés et les relations qu'elles entretiennent



# Méthodes de Modélisation

On distingue :

- Méthodes généralistes
  - ▶ Entité - relation (MERISE)
  - ▶ Approche Objet avec le formalisme UML
- Méthodes dédiées au domaine de l'information géographique
  - ▶ MADS
  - ▶ Perceptory
  - ▶ Congoo
  - ▶ ...

# UML : Unified Modelling Language (OMG)

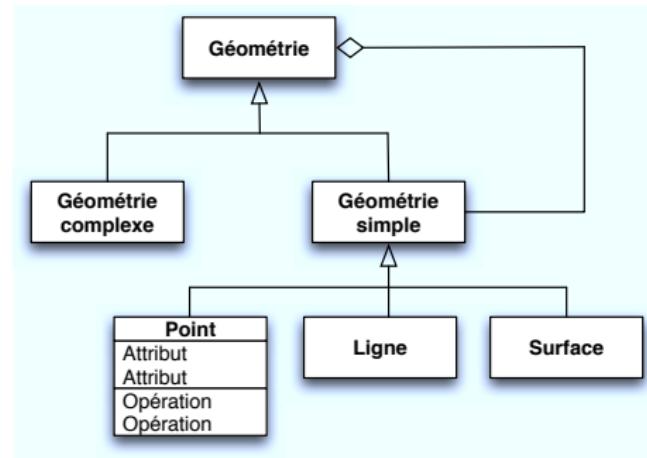
## Rappels

- Langage de modélisation Orienté Objet
- Indépendant du SGBD ou du langage de programmation
- Le modèle est représenté par un diagramme
- Plusieurs diagrammes statiques ou dynamiques classe, objet, cas d'utilisation, séquence, ...

# UML : Unified Modelling Language (OMG)

Diagramme de classe très utilisé comme modèle conceptuel

- Représentation statique du système modélisé
- représenter les classes et les relations entre celles-ci
- Le modèle est représenté par un diagramme



# UML et les bases spatiales

- **Besoin de types abstraits**

- ▶ Pour gérer le temps
- ▶ pour gérer la géométrie des objets géographiques

- **Modélisation et gestion de la géométrie : Faible**

- ▶ Pas de type spécifique pour la géométrie
- ▶ Pas d'opérateurs spécifiques (inclusion, intersection,...)

- **Modélisation et gestion du temps : Moyenne**

- ▶ Quelques types abstraits (TimeStamp, Date, ...) en fonction des environnements
- ▶ Opérateurs arithmétiques

# Méthodes de conception dédiées au spatio-temporel

- **MADS**

- ▶ proposé par l'EPFL [Parent C., Spaccapietra S., Zhimani E., 2006]
- ▶ intégré à Oracle, ArcView, MapInfo

- **Perceptory**

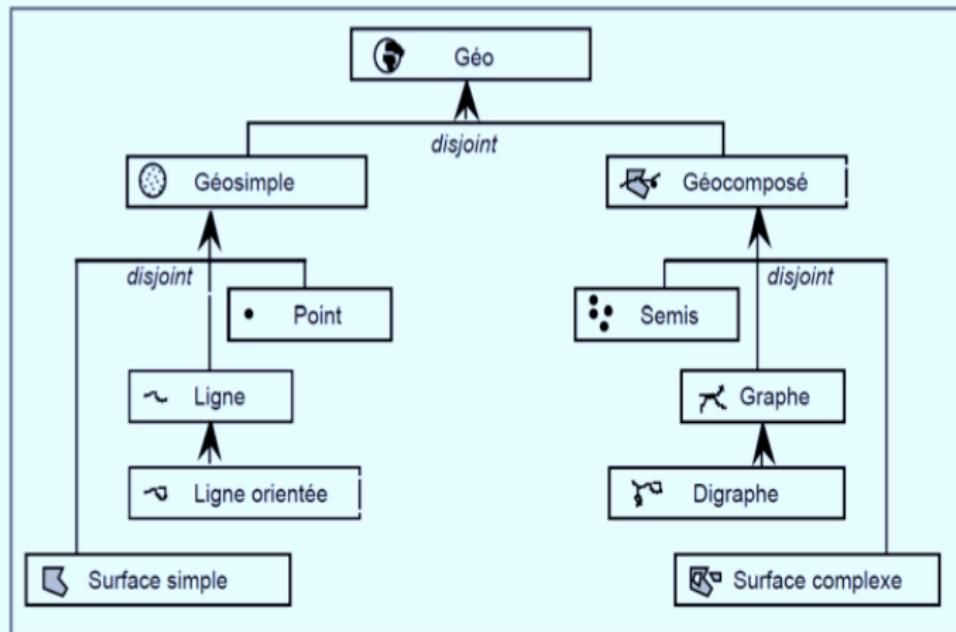
- ▶ Département des sciences de la géomatique, Univ Laval Québec [Bédard Y., 1999]
- ▶ plug-in de Visio (logiciel de Microsoft qui permet de réaliser des diagrammes UML)

- Deux modèles proches

- ▶ MADS : formalisation plus aboutie
- ▶ Perceptory : environnement logiciel plus abouti et plus proche d'UML

# MADS

## Types géométriques proposés



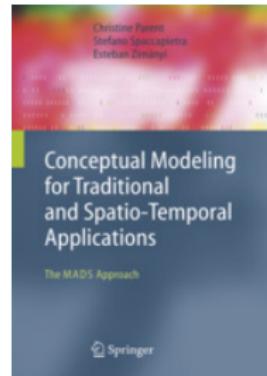
# MADS

## Conceptual Modeling for Traditional and Spatio-Temporal Application

The MADS Approach

Parent C., Spaccapietra S.,Zhimani E., 2006 466p.

- Téléchargements des outils de mise en oeuvre : [http://cs.ulb.ac.be/mads\\_tools/](http://cs.ulb.ac.be/mads_tools/)



# Perceptory

## Plug-in for Visual Language (PVL)

- Vient compléter UML avec des extensions spatiales ou spatio-temporelles
- Dans sa version actuelle, plug-in de Visio
- Permet d'ajouter à un diagramme UML des **pictogrammes décrivant une géométrie** (ou une temporalité)
- Comme un AGL, permet de :
  - ▶ Générer automatiquement différents rapports sur le contenu du dictionnaire
  - ▶ Générer le squelette du code de programmation pour Oracle avec le module spatial

# Perceptory

s'appuie sur le formalisme UML

- Avec les **extensions PVL** (Plugin for Visual Language) pour tenir compte des aspects spatiaux et spatio-temporels
- **Utilisation des stéréotypes d'UML** = extensions prévues pour enrichir UML par la création de nouveaux éléments de modélisation (associés à des domaines particuliers) et, éventuellement, la définition d'une représentation graphique particulière (pictogramme)

# Perceptory

## PVL Spatial

- Les trois primitives de base du PVL avec leur notations graphiques (pictogramme) :

<input checked="" type="checkbox"/>	0-dimensional shape (example for hydrants when they are all represented by a point)
<input checked="" type="checkbox"/>	1-dimensional shape (example for road segments when they are all represented by a line)
<input checked="" type="checkbox"/>	2-dimensional shape (example for lakes when they are all represented by a polygon)

- les sept variantes de base du PVL Spatial avec des exemples de notations graphique :

<input checked="" type="checkbox"/>	Complex shape (example for hydrographic networks composed of 1-D rivers AND 2-D lakes)
<input checked="" type="checkbox"/>	Alternate shape (example for buildings having a 0-D shape if < 1 hectare OR a 2-D shape if > 1 hectare)
<input checked="" type="checkbox"/>	Quantity of shapes for an instance (a cardinality of 0,1 means a facultative shape; 1,N a group of shapes; etc. default is 1,1)
<input checked="" type="checkbox"/>	Multiple shapes for an instance (example for polygonal municipalities having a non-derivable point located downtown)
<input checked="" type="checkbox"/>	Any possible shape
<input checked="" type="checkbox"/>	Complicated shape (explained textually in the dictionary)
<input checked="" type="checkbox"/>	Derived shape (example for a municipality centroid derived from other geometric information, i.e. the municipality polygon)

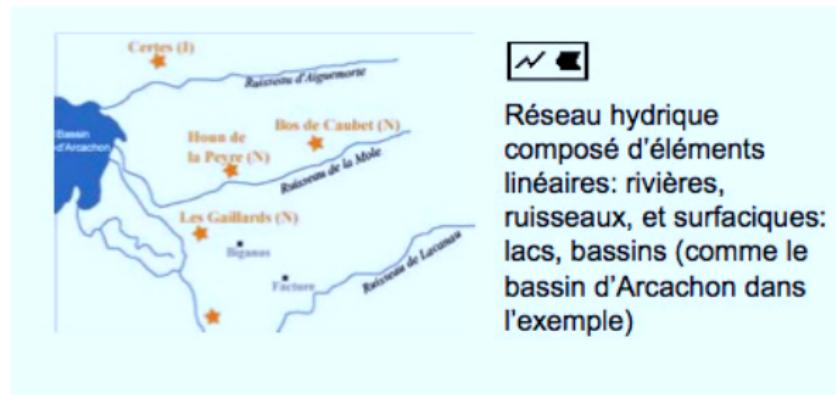
# Perceptory

Géométrie simple : Cas des objets représentés chacun par une seule primitive



# Perceptor

Géométrie complexe : Cas des objets représentés simultanément par plusieurs primitives



# D'UML à Perceptory

## Géométries associées aux classes



ou



Dans ce cas, un bâtiment est représenté soit par un point (si  $\text{surface\_bâtiment} < 500 \text{ m}^2$ ) soit par une surface (si  $\text{surface\_bâtiment} > 500 \text{ m}^2$ )



Image: Larivée-Bédard

# D'UML à Perceptory

## Géométries associées aux attributs

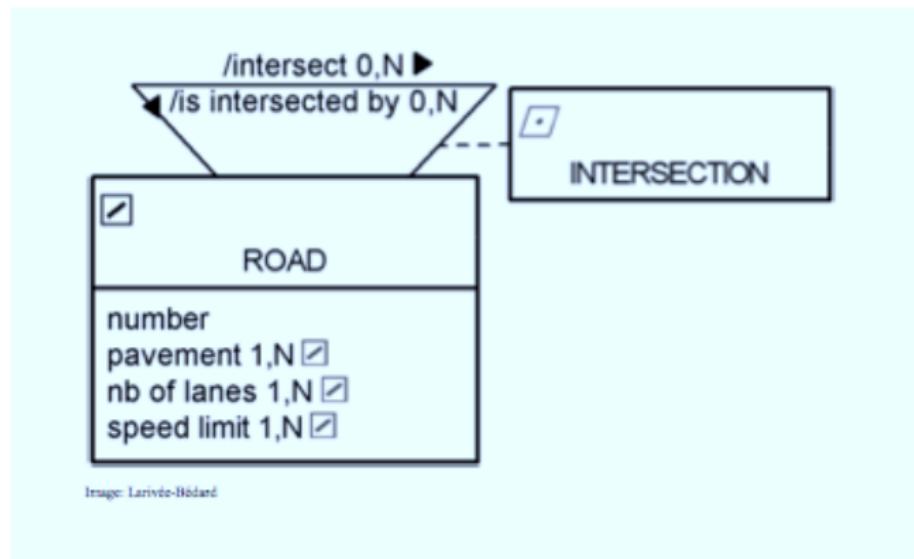
<input checked="" type="checkbox"/> Segment_Route
Identificateur
Nom
Nombre de voies <input checked="" type="checkbox"/>

Un segment de route linéaire peut avoir un nombre de voies qui varie (2 voies puis 3 voies puis 2 voies) et l'usager vouloir connaître les endroits où cela se produit à l'intérieur des segments de route

L'implantation physique sera propre au logiciel utilisé: par exemple réalisation par segmentation dynamique avec ArcGIS

# D'UML à Perceptory

## Géométries associées aux associations



# Normes des données géographiques

Deux acteurs majeurs de la normalisation de l'information géographique

- Consortium OGC (Open Geospatial Consortium)
- ISO TC/211 : International Standardisation Organisation Technical Committee 211



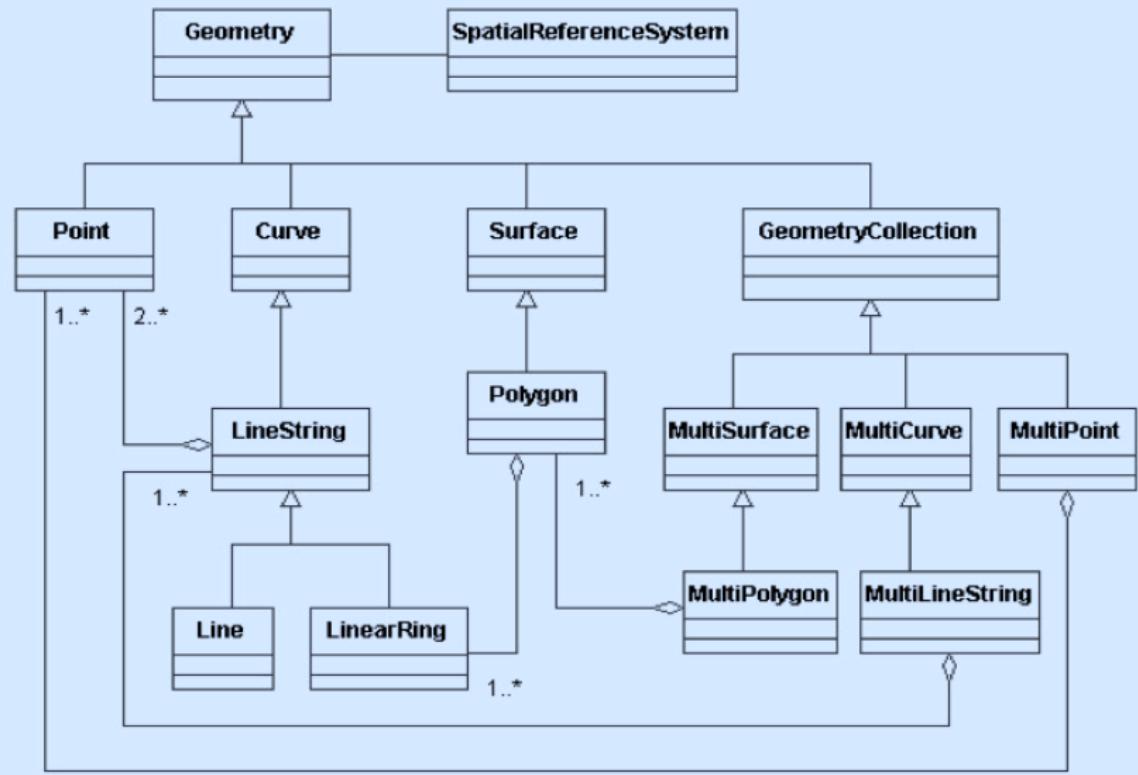
# Normes des données géographiques

## Représentation des données à l'aide d'un schéma des géométries des objets géographiques

- Norme ISO 19107 : Information géographique – Schéma spatial
- Norme ISO 19125-1 : Information géographique – Accès aux entités

*"specifies conceptual schemas for describing the spatial characteristics of geographic features, and a set of spatial operations ...[], It treats vector geometry and topology ... It defines standard spatial operations for use in access, query, management, processing ...[]"*

# Modèle de données OGC/ISO



# Modèle de données OGC/ISO

- Employé par plusieurs SIG, SGBD et plateforme web
  - ▶ PostGIS (Cartouche spatiale PostgreSQL)
  - ▶ Oracle Spatial
  - ▶ Bibliothèques C++, Java : GDAL, OGR, GeoAPI, Geotoolkit,...
- Étendu
  - ▶ Raster
  - ▶ Image géoréférencées
- Implémenté
  - ▶ ISO 19136 Geographic Markup Language (GML) : implémentation XML des types définis dans ISO 19107, 19125

# Références

Ce cours s'est inspiré des présentations, livres et sites suivants :

- Vers la représentation multiple : le projet MurMur . Bulletin d'information IGN n°73 (Sandrine Balley,2002)
- Cours modélisation spatio-temporelle (volet 1), école d'été du GDR MAGIS, Thomas Devegole, septembre 2009
- Cours modélisation spatio-temporelle (volet 2), école d'été du GDR MAGIS, Anne Ruas, septembre 2009
- Introduction à Perceptory, Claudine Metral. Université de Génève
- Cours requêtes spatio-temporelles, Sylvie Servigné
- Cours Systèmes d'Information Géographique, université François Rabelais, Jean Yves Antoine
- Relations spatio - temporelles dans un espace primitif : un essai de simplification de l'analyse spatio-temporelle. Hallot P. 2006
- Egenhofer et Herring 1990 : Categorizing Binary Topological Relations between Regions, Lines and Points in Geographic Databases
- Clementini et al. 1993 : A Small Set of Formal Topological Relationships Suitable for End-User Interaction.
- SQL :2008 : Information technology – Database languages – SQL
- OGC : OpenGis Simple Features Specification for SQL
- Manuel PostGis Manuel