

Chapitre II

Introduction aux SIG

Introduction aux SIG

- 2.1 – Modélisation des objets géographiques
- 2.2 – Acquisition des données
- 2.3 – Eléments de cartographie
- 2.4 – Requêtes spatiales
- 2.5 – Indexation spatiale
- 2.6 – Cohérence des données spatiales
- 2.7 – Extensions d'XML
- 2.8 – Conclusions

2.1 – Modélisation des objets géographiques

- Objets discrets
 - Généralement modélisés par leurs contours
 - Problème du modèle mathématique à appliquer : Point, ligne, surface, volume
- Modélisation des attributs
- Phénomènes continus
 - Modélisés comme champs continus

Modélisation des objets géographiques

- Domaines d'application
- Positionnement à la surface de la terre
- Caractéristiques des données géographiques et cartographie
- Outils de modélisation des données

Domaines d'application

- en milieu urbain
- en aménagement
- gestion de l'espace rural et forestier
- milieu littoral et maritime
- infrastructures de transports
- ressources minières et industrie
- pour les sciences de la terre
- archéologie
- gestion de grandes propriétés
- etc

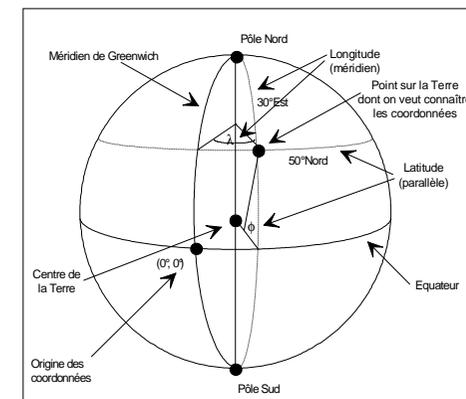
Positionnement

- Géodésie
- Les coordonnées
- Projections du globe terrestre

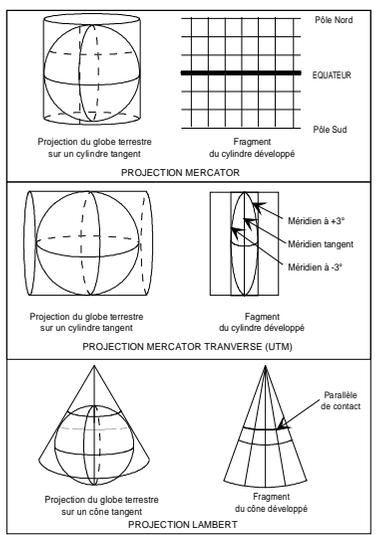
Géodésie

- La terre n'est pas tout à fait ronde
 - ellipsoïde
 - géoïde
 - altitude

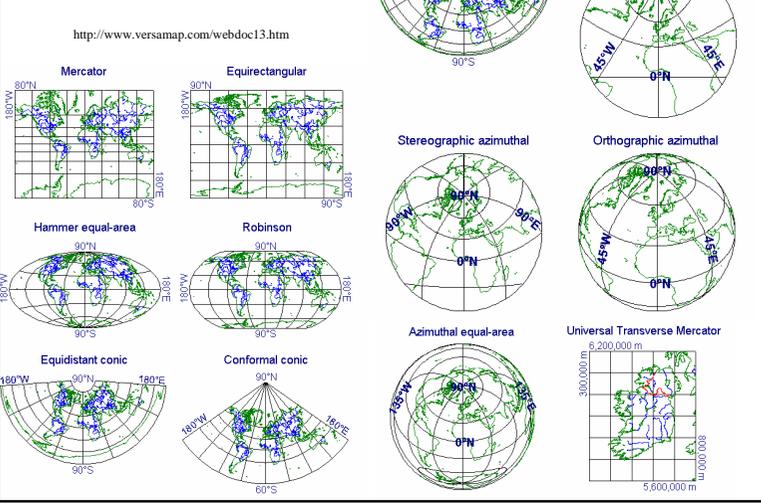
Coordonnées



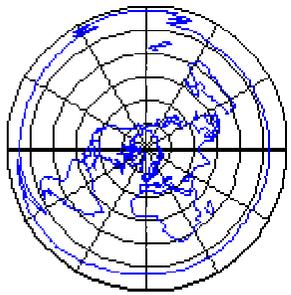
Projections du géoïde



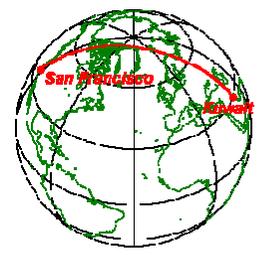
Projections du globe

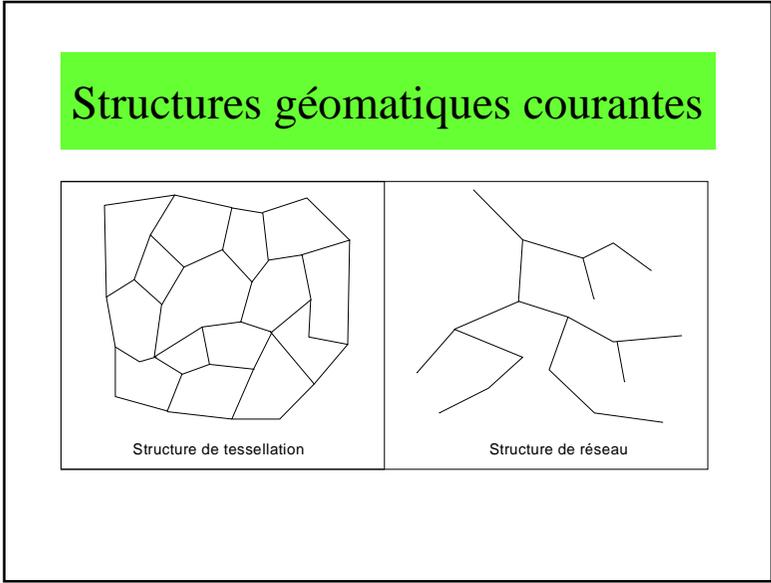
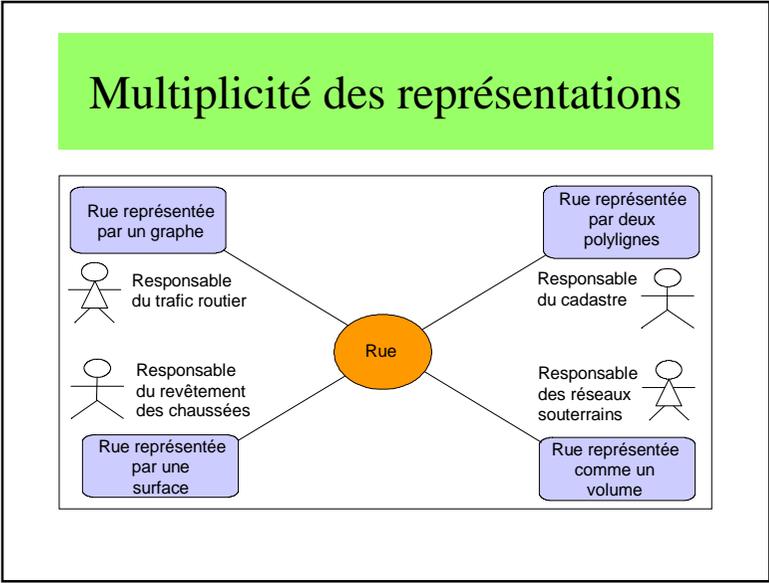
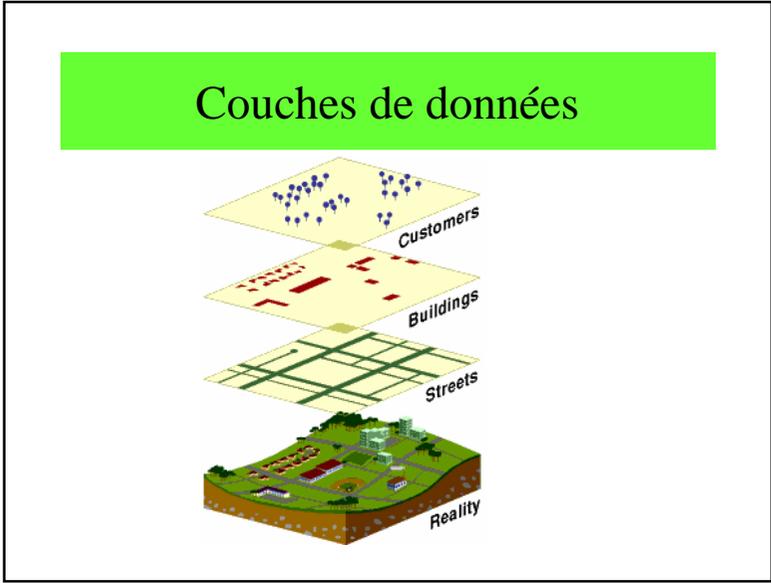
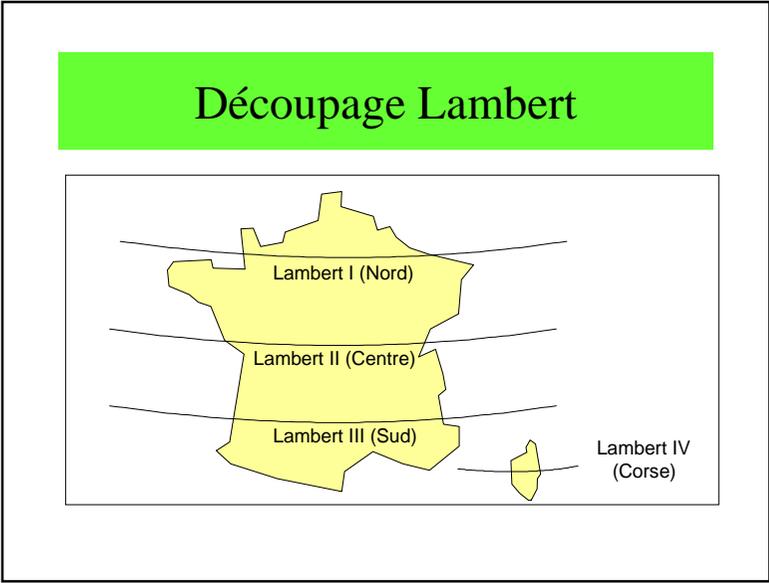


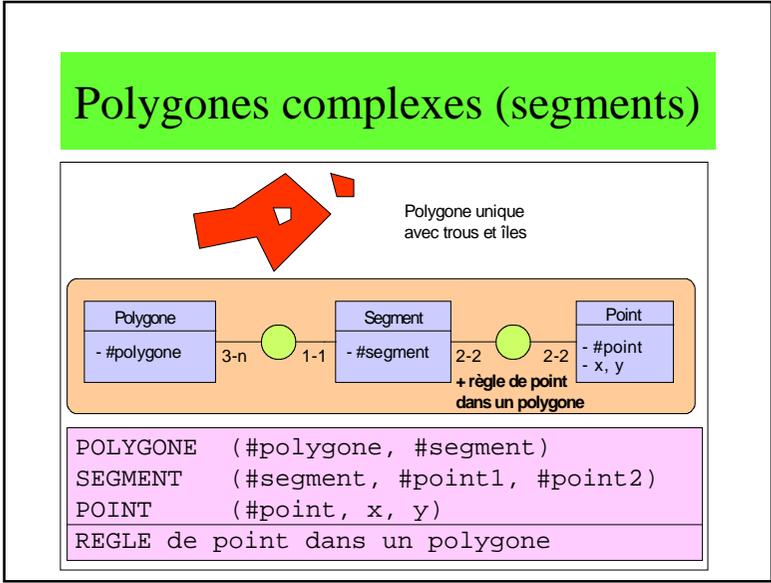
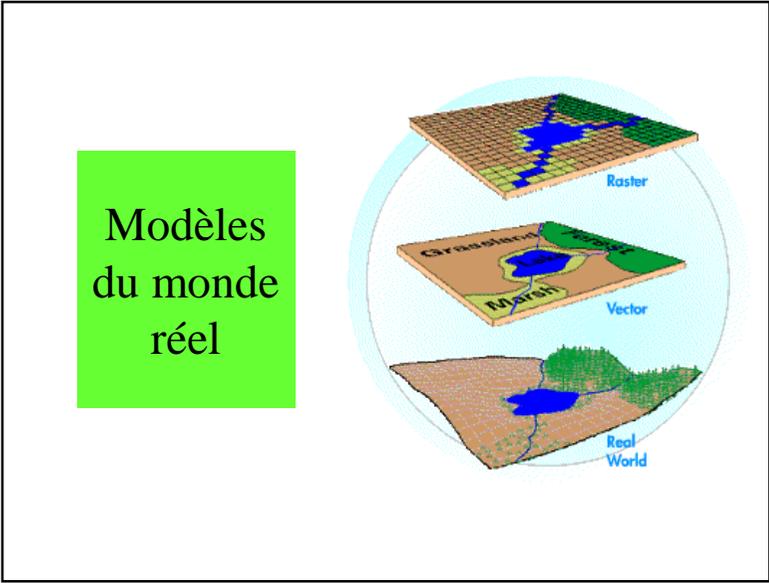
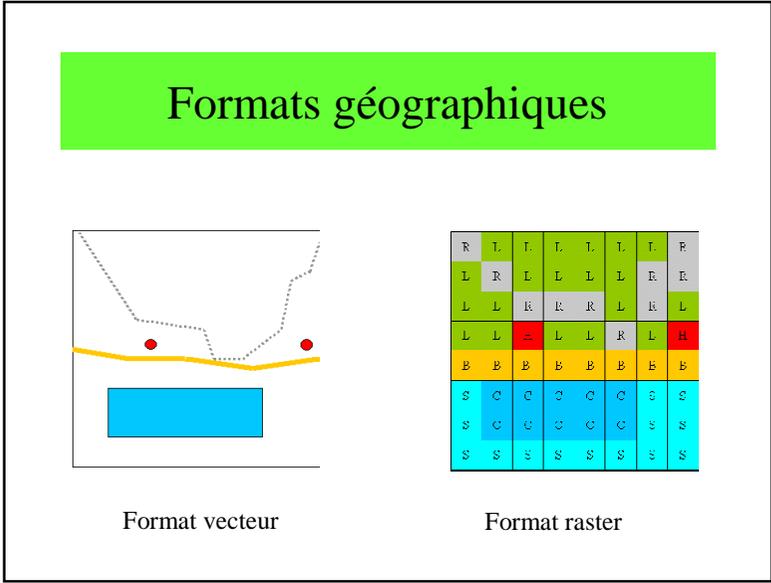
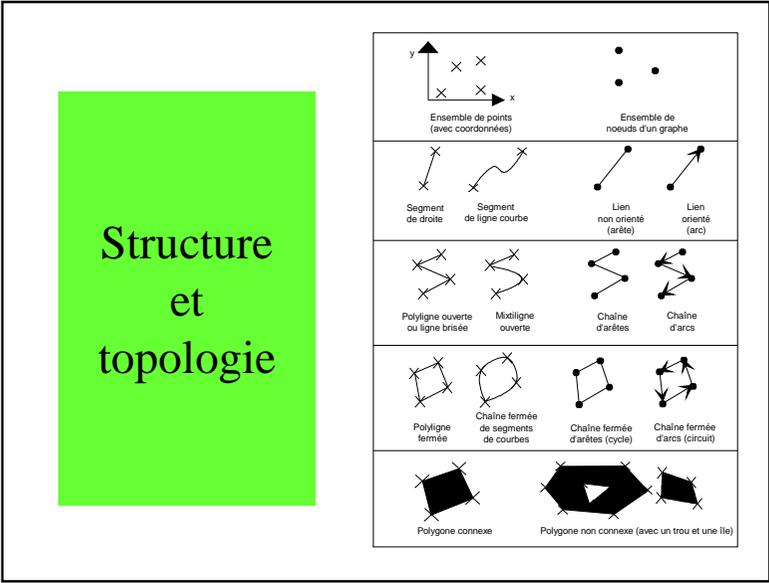
Déformation selon les projections

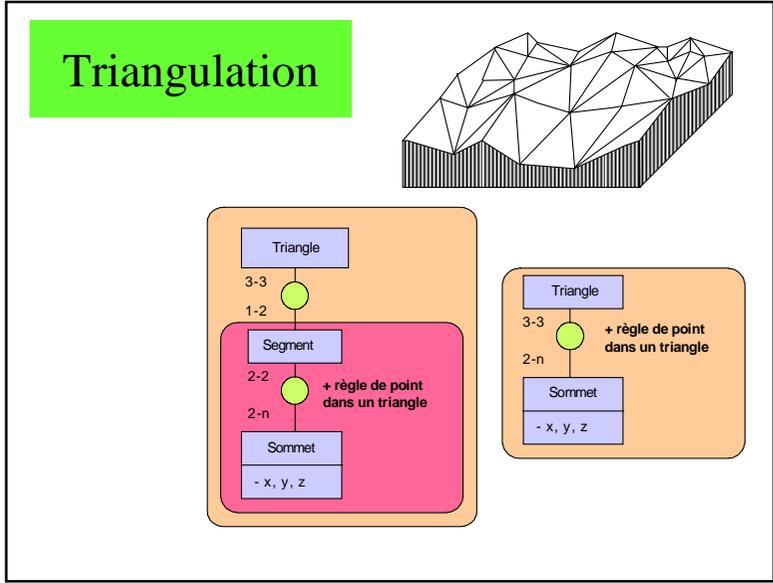
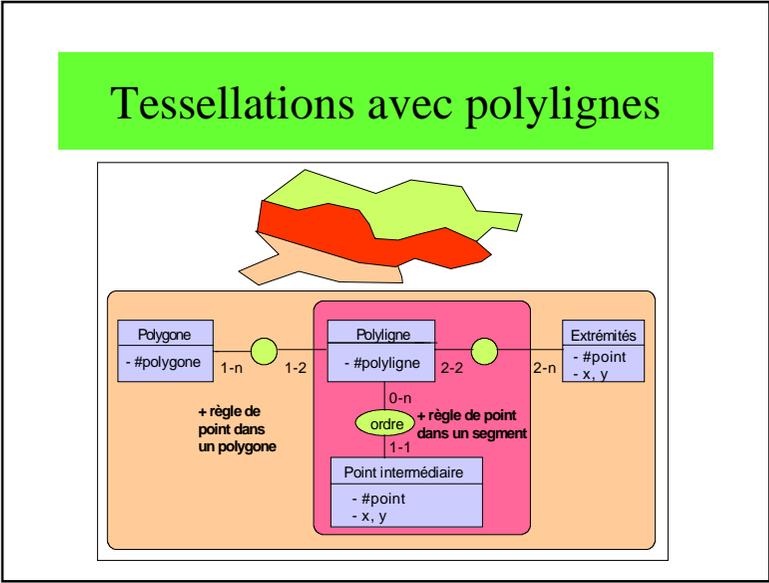
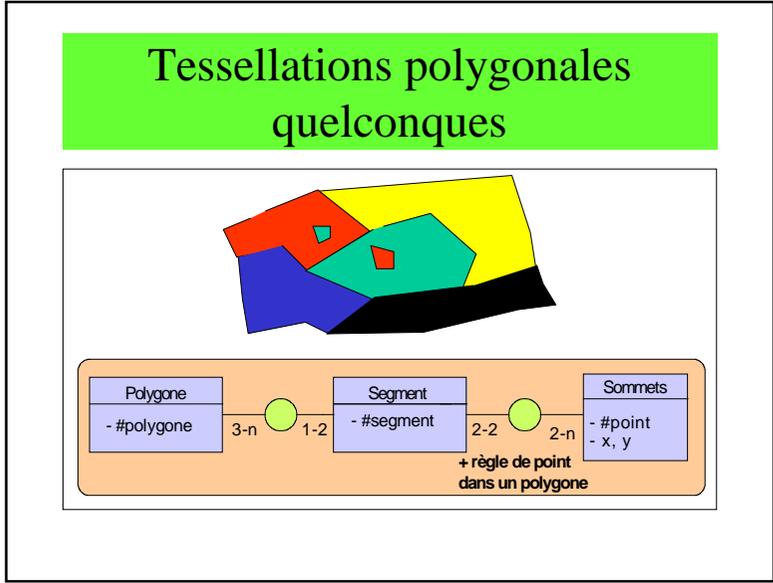
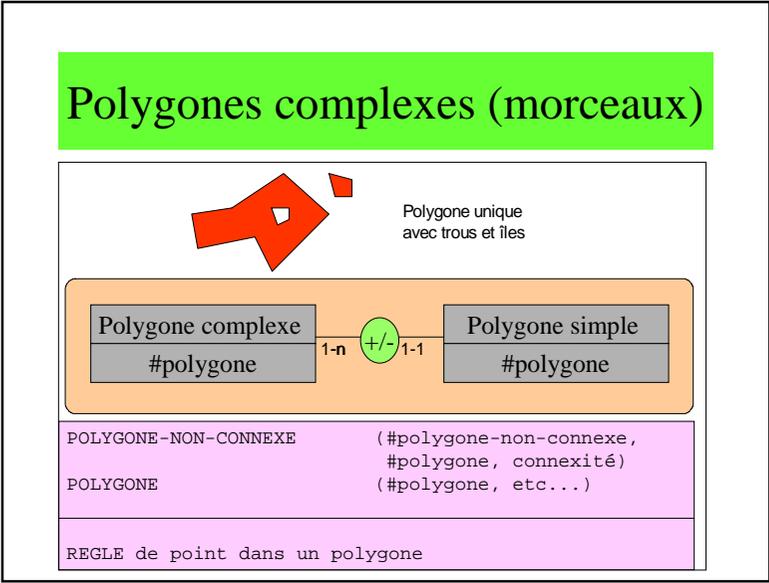


Chemin minimum









a/ représentation directe

```

TRIANGLE (#triangle, #somet1, #somet2, #somet3)
SOMMET (#somet, x, y, z)
et
REGLE de point dans un triangle
    
```

b/ représentation orientée segment

```

TRIANGLE (#triangle, #segment1, #segment2, #segment3)
SEGMENT (#segment, #point1, #point2)
SOMMET (#somet, x, y, z)
et
REGLE de point dans un triangle
    
```

en incluant davantage de topologie :

```

SEGMENT (#segment, #point1, #point2, #triangle-droit,
        #triangle-gauche)
    
```

Interpolation planaire pour estimer z

- Chaque triangle est situé dans un plan dont l'équation est :

$$z = Ax + By + C$$
- Comment connaître les 3 paramètres A, B et C ?
- Nous avons trois sommets donc :
 - 3 équations à 3 inconnues
 - Détermination de A, B et C

TRIANGLE (#triangle, #segment1, #segment2, #segment3, A, B, C)

Formalisme avec pictogrammes spatiaux et icones

- Petit dessin (symbole graphique) représentant un type géométrique
- Pictogrammes spatiaux

•	/	▣	◻
Point	Ligne	Surface	Volume
- Usage

▣	Région
- nom	

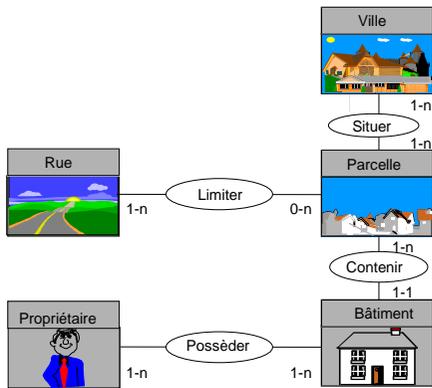
Autres exemples

▣	Parking	Pictogramme simple
- etc...		

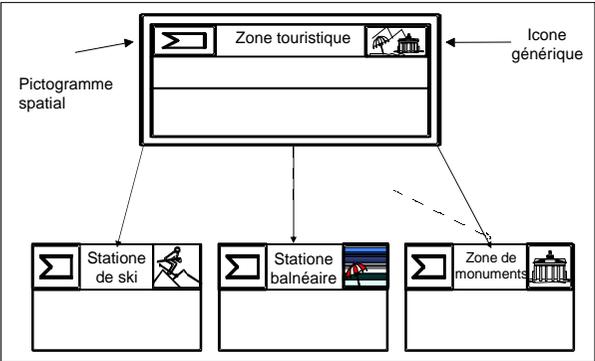
▣	Réseau d'eau	Pictogramme complexe
	Vanne	
	Tube	

▣	Ville	Pictogramme alternatif
- etc...		

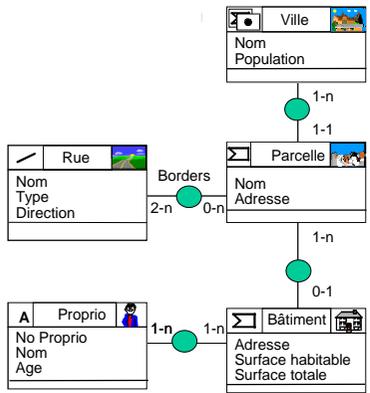
Modèle conceptuel avec icone



Pictogramme et icones



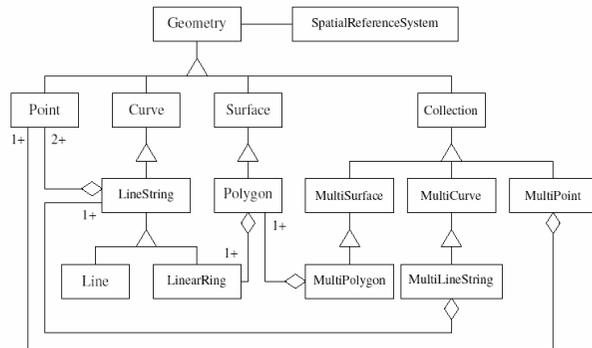
MC avec pictogrammes et icones



Modèle de l'OpenGIS

- Consortium de sociétés, de centres de recherches et d'administration
- Intéropérabilité des applications géographiques
- Propositions de normalisations
- <http://www.opengis.org>

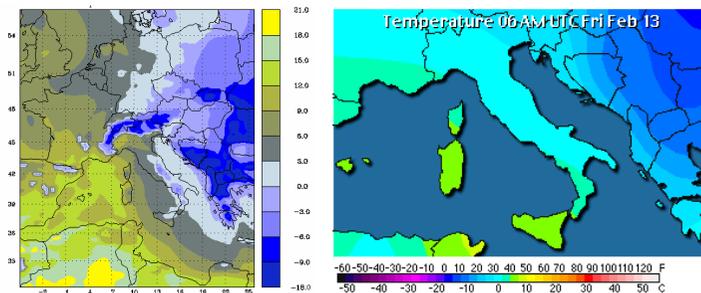
Modèle de l'OpenGIS



Phénomènes continus

- Théorie des champs continus
 - Champs scalaires
 - Champs vectoriels
- Applications
 - Météorologie
 - Mer
 - Terrains, sols
 - Etc.

Exemples



Modélisation des champs continus

- Impossible de connaître la fonction partout
- Existence de points échantillons
- Nécessité de fonctions d'interpolation
- Modélisation (deux niveaux)
 - Champ comme objet (ex Température d'une région)
 - Champ comme type abstrait de données (ex valeur de la température en un point)

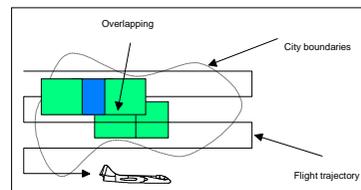
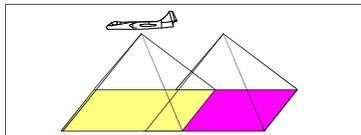
2.2 – Acquisition des données

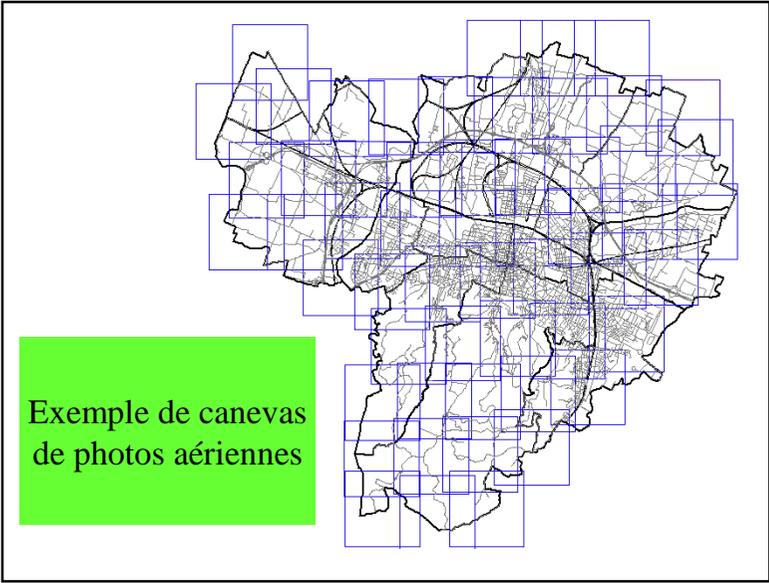
- Levés topographiques
- Photos aériennes
- Images satellitaires
- GPS
- Digitalisation
- Scannage de plans
- Import de fichiers

Théodolite



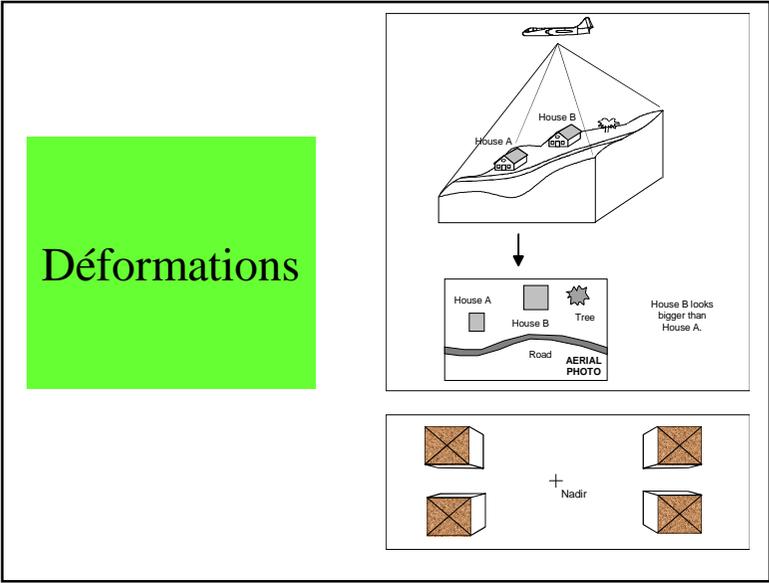
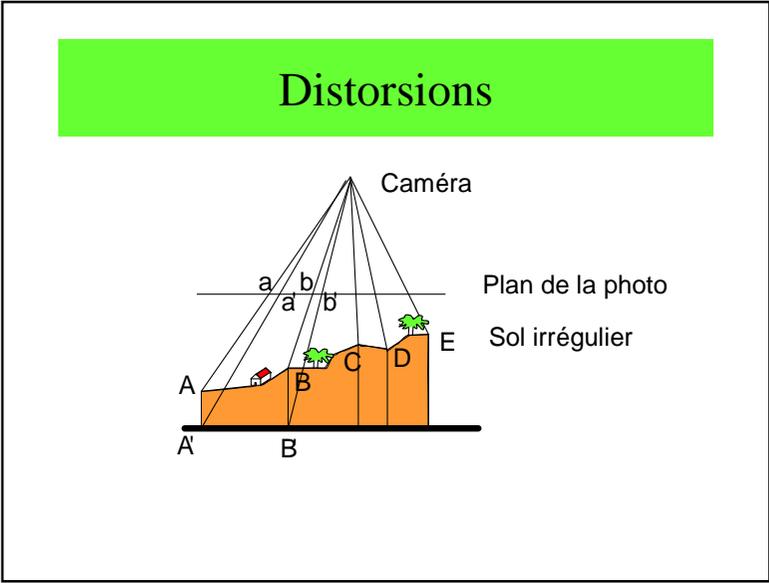
Photos aériennes



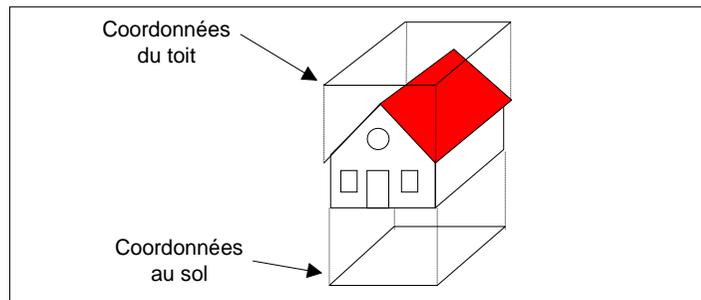


Photos aériennes Caractéristiques

- altitude : de 5 00 à 3 000 mètres
- taille des photos 23 cm × 23 cm
- Echelle du 1:3 000 au 1:25 000
- paire de photos ==> relief
- Parallaxe ==> détermination des altitudes
- Photo-interprétation
- Mosaïquage et Orthophotos (exemples)



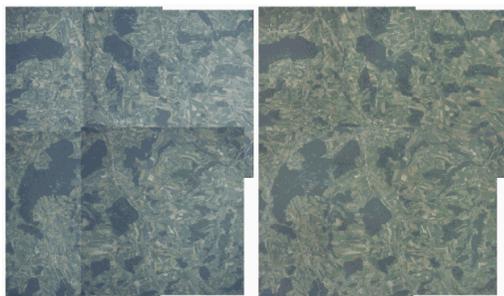
Coordonnées au sol / coordonnées des toitures



Réalisation des orthophotoplans

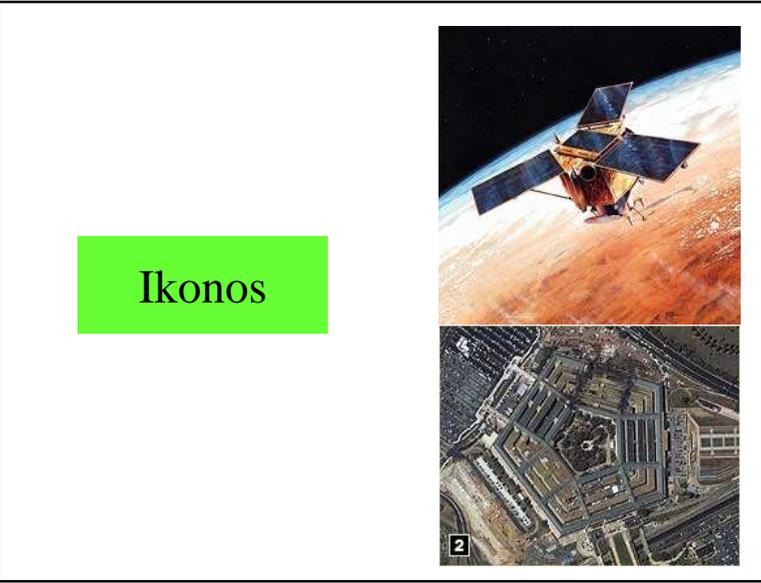
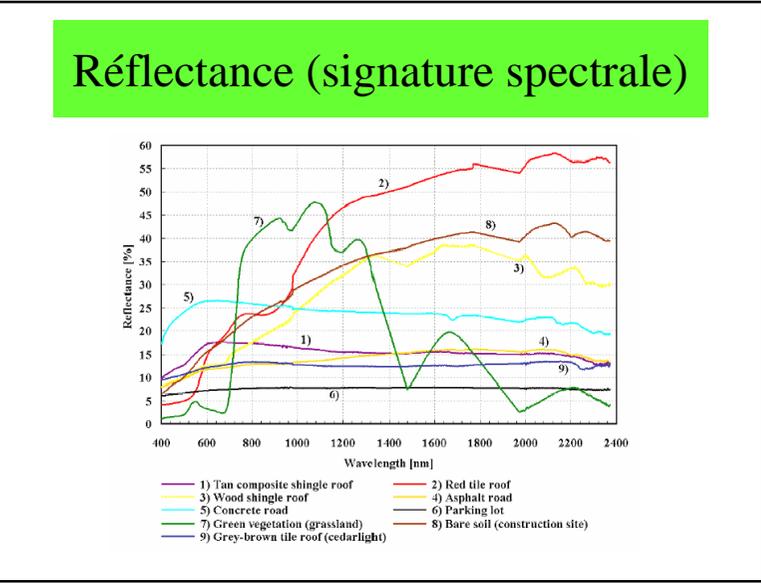
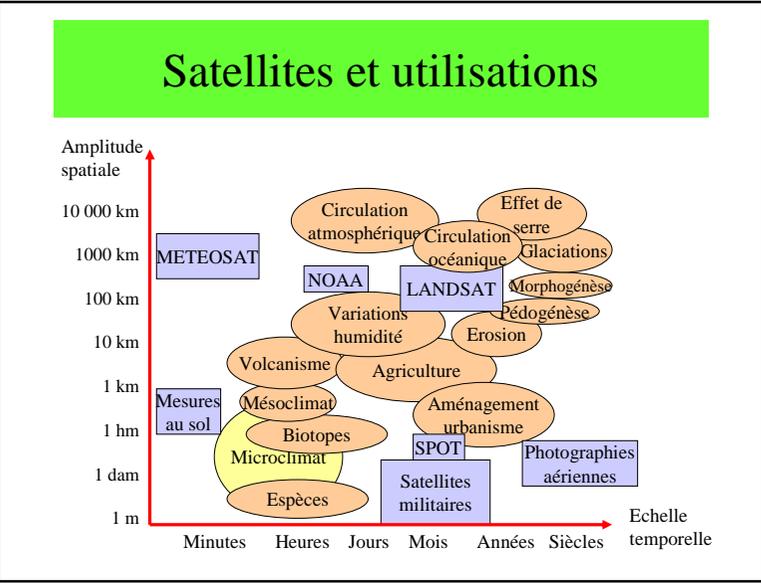
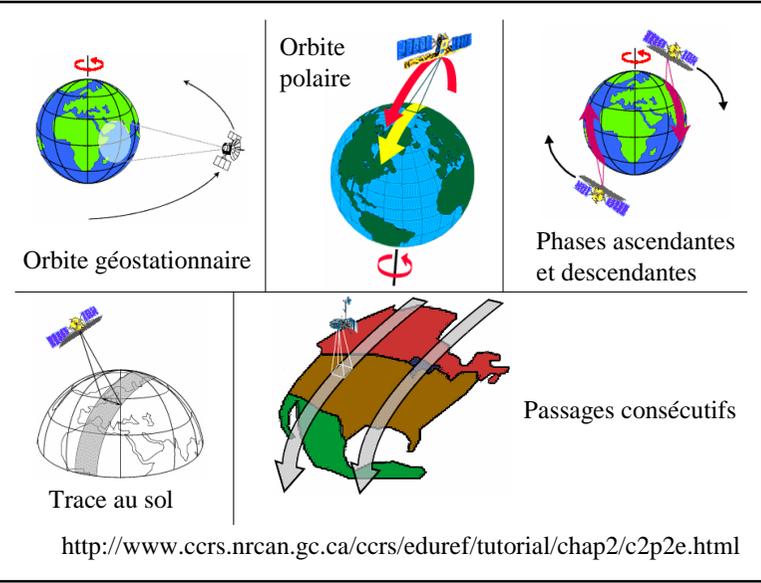
- Recouvrement : 60 % longitudinal
- 25 % latéral
- Sélection des points de contrôle
- Transformations élastiques
- Correction des distorsions
- Coupage le long des routes, rivières, etc.

Rééquilibrage des couleurs



Mosaiquage pour orthophoto

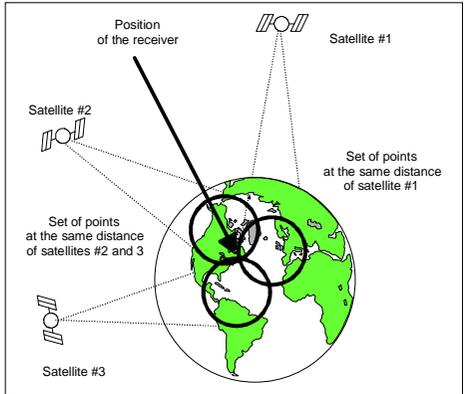




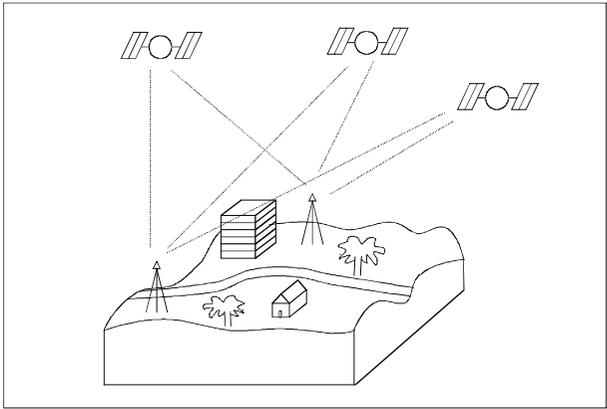
Global Positioning System



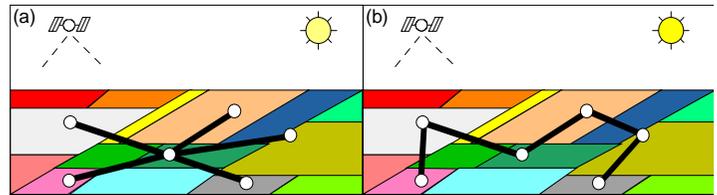
Principes de GPS



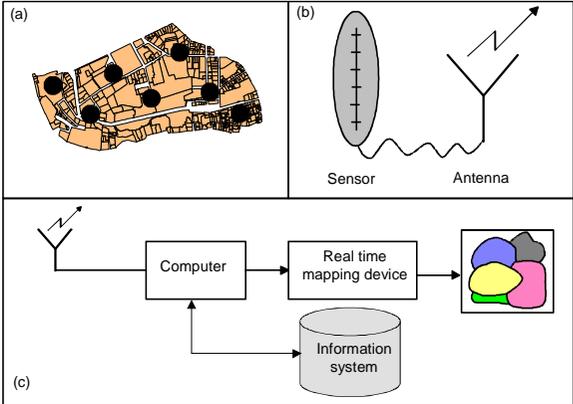
GPS différentiel



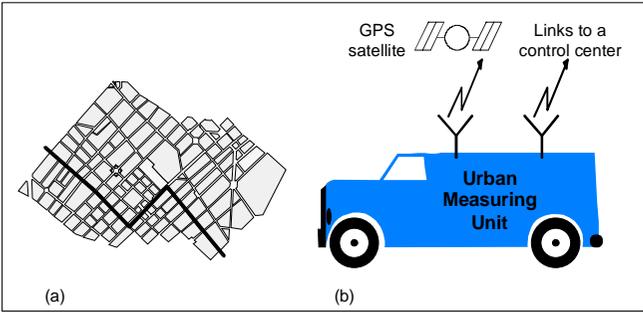
Mesures par GPS



Mesures par capteurs fixes



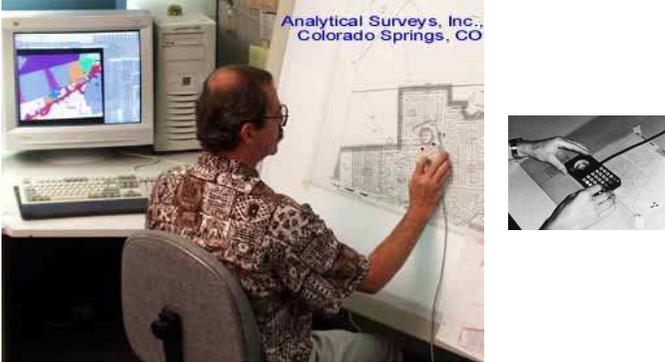
Mesures par capteurs mobiles



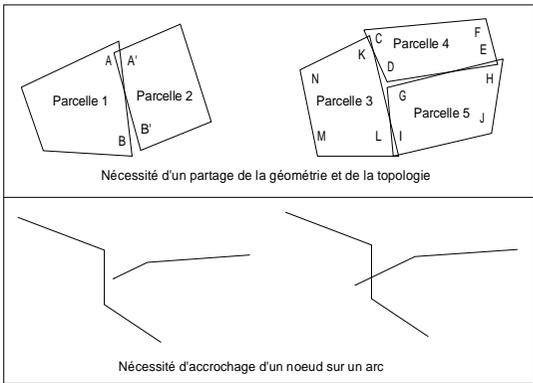
Voix localisée



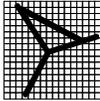
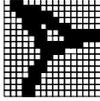
Digitalisation



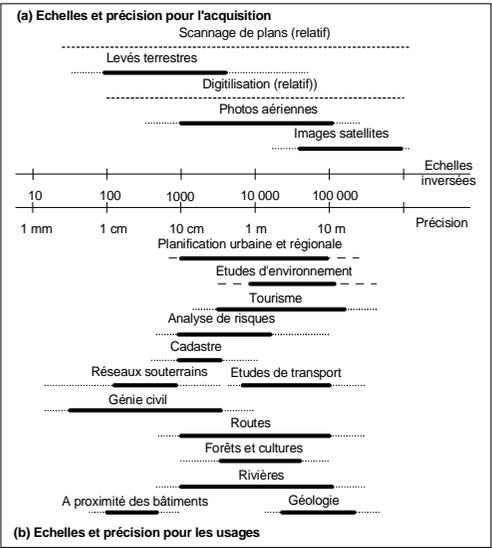
Erreurs courantes en digitalisation



Scannage de plans

Segments originaux	
Apparence après scannage (Format raster)	
Après squelettisation et vectorisation (format vecteur)	

Choix des échelles



2.3 – Périphériques de sortie

- Différents périphériques
- Niveau interactif
- Sémiologie graphique

Traceurs à plat



Table traçante à rouleau



Salle de contrôle NASA



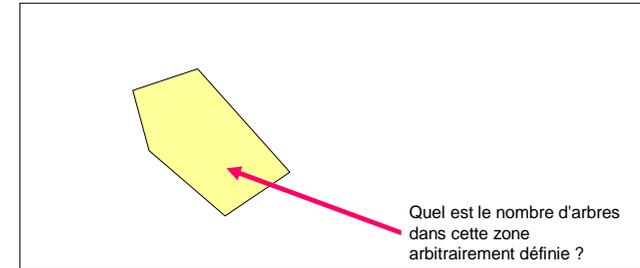
2.4 – Requêtes spatiales

- 2.4.1. Exemple de requêtes spatiales
- 2.4.2. Requêtes spatiales élémentaires.
- 2.4.3. Requêtes d'analyse spatiale
- 2.4.4. Requêtes topologiques
- 2.4.5. Conclusion

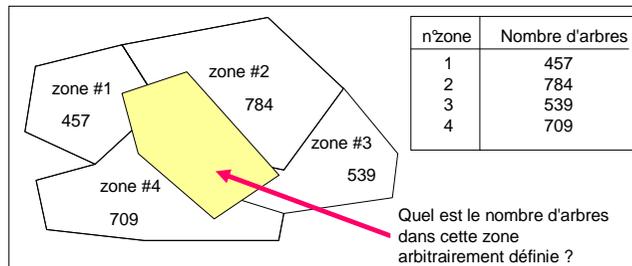
2.4.1. Exemple de requêtes spatiales

- Qui y a-t-il en ce point ?
- Qui y a-t-il dans cette zone ?
- Quel est le meilleur chemin de Lisbonne à Varsovie ?
- Quels sont les pays frontaliers de l'Autriche ?
- Quels sont les départements traversés par la Garonne ?
- Quel est l'endroit le plus pollué ?

Exemple de requête spatiale



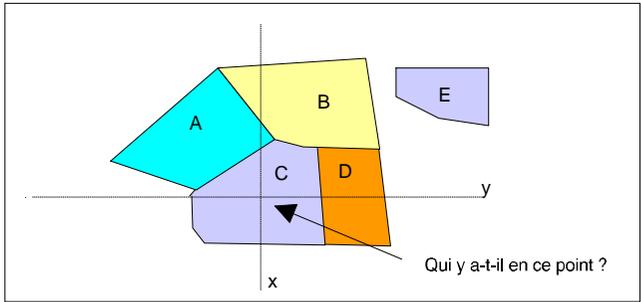
Exemple de requête spatiale



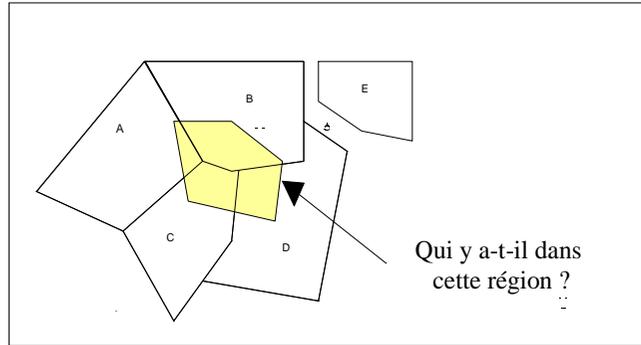
2.4.2. Requêtes spatiales élémentaires.

- Requête de point
- Requête de ligne
- Requête de région
- Requête de région tridimensionnelle
- Délimitation de zones tampon

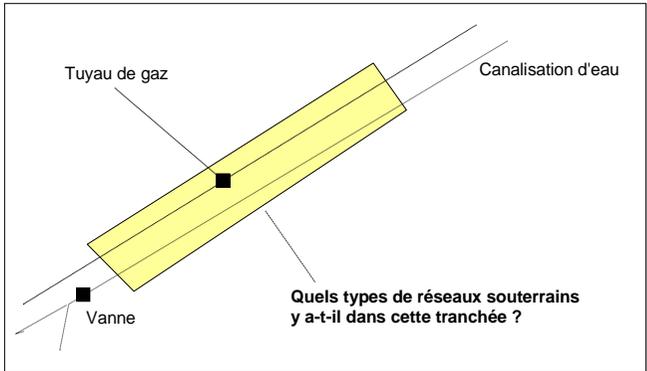
Requête ponctuelle



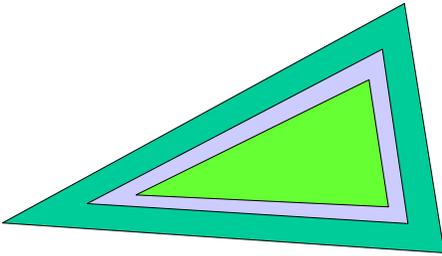
Requête de région



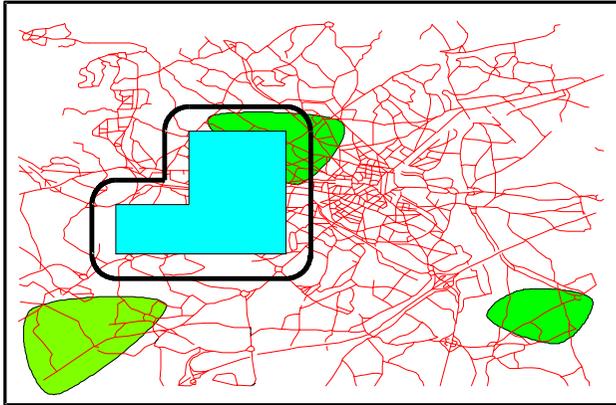
Requête de tranchée



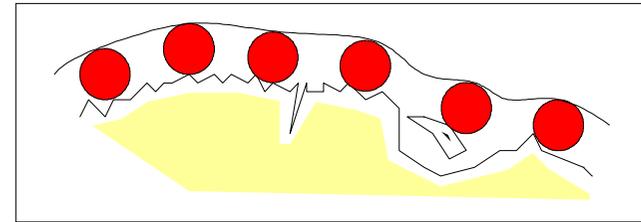
Zone tampon définie à partir de lignes parallèles



Zone tampon



Définition de zone tampon pour un polygone dentelé

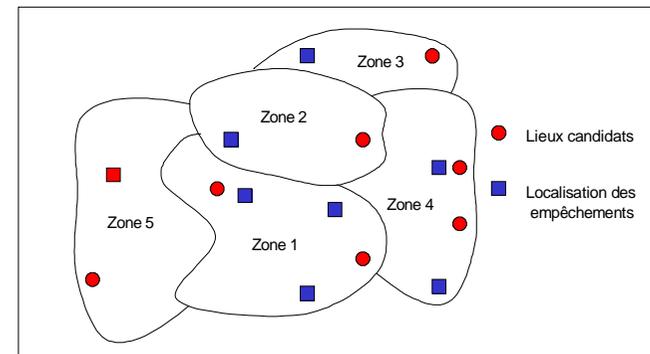


Exemple : délimitation des eaux territoriales

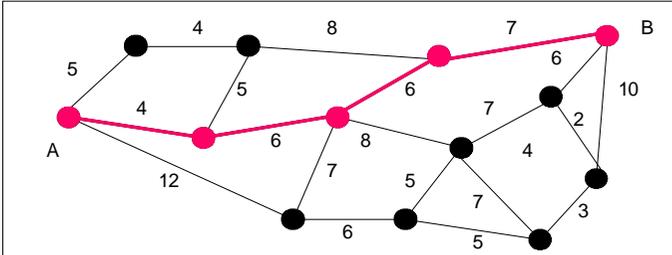
2.4.3. Requêtes d'analyse spatiale

- Recherche d'un point optimal
- Cheminement
- Découpages de zones

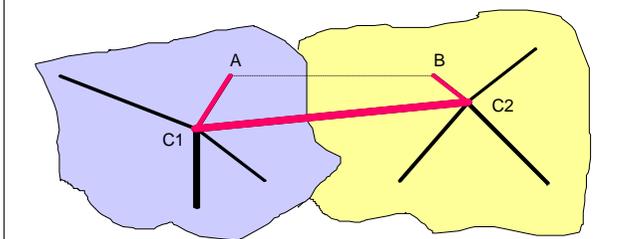
Implantation d'un nouvel hôpital



Recherche du plus court chemin dans un graphe

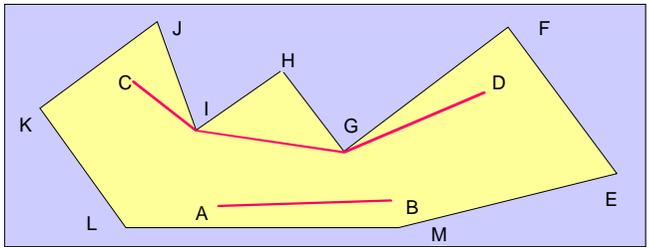


Chemin dans un graphe hiérarchisé



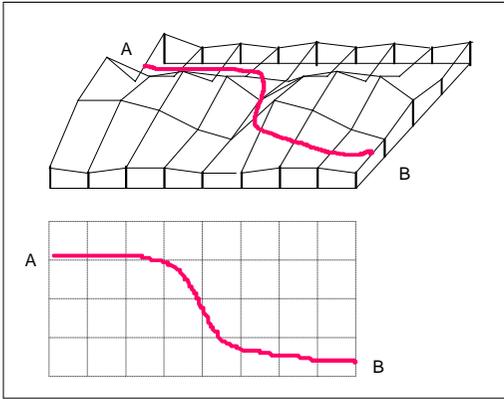
Comment aller de A à B ?

Chemins minimaux dans un polygone

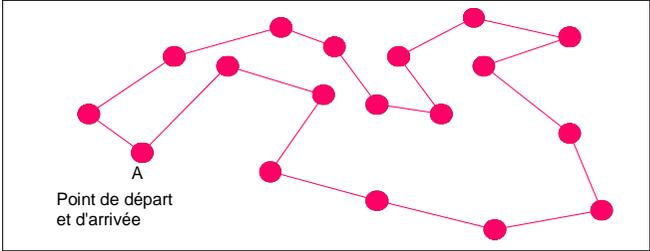


Comment aller de A à B ?
Comment aller de C à D ?

Chemin dans un terrain



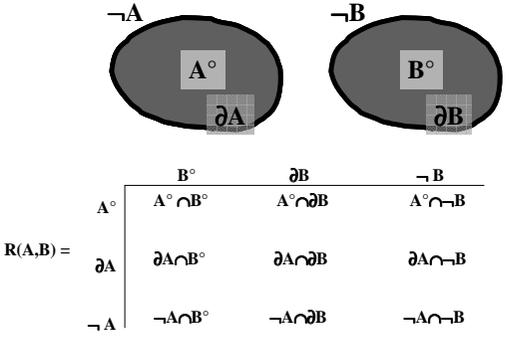
Circuit du représentant de commerce



2.4.4. Requêtes topologiques

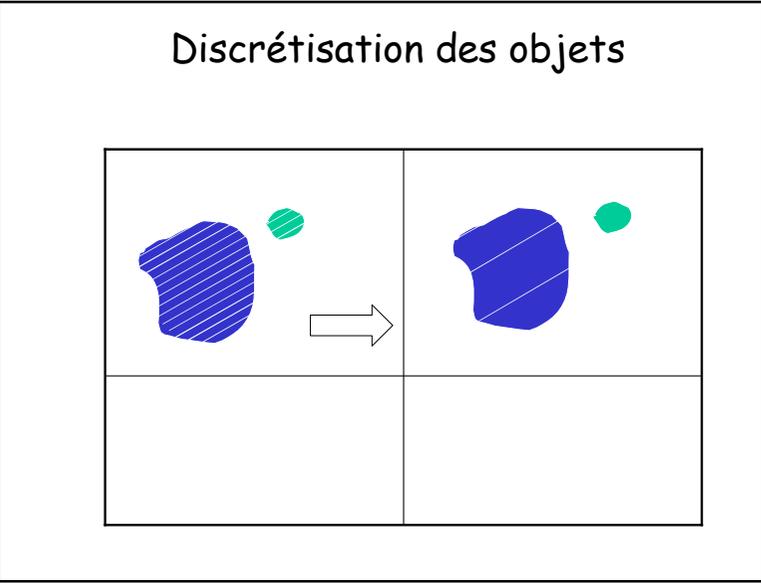
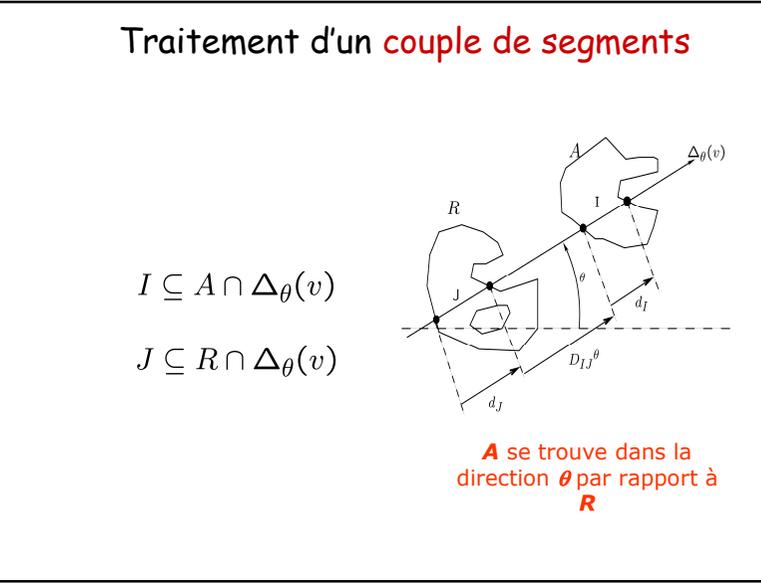
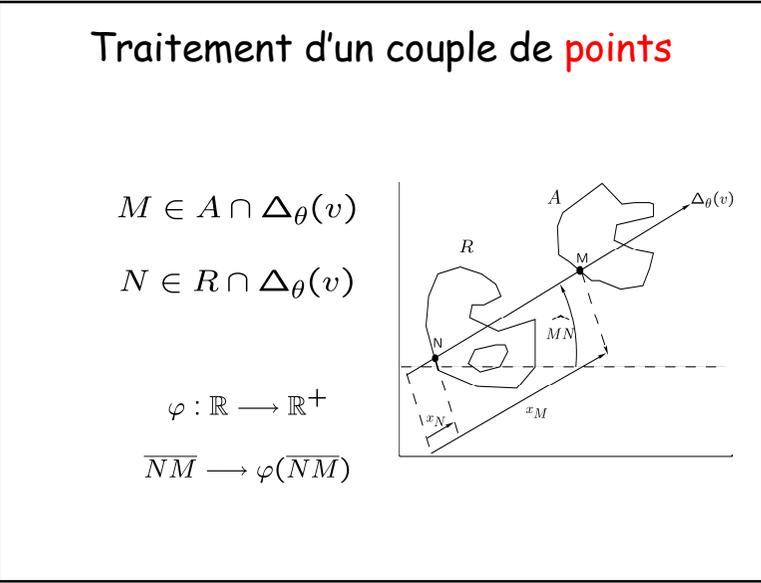
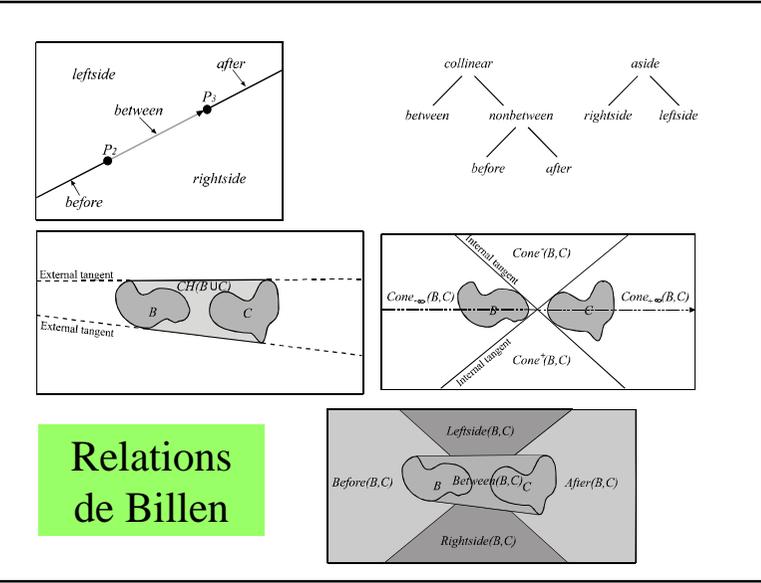
- Requêtes sur le positionnement et le voisinage des objets
- "touche", "intersecte", etc.
- Objet A :
 - intérieur : A°
 - extérieur : $\neg A$
 - frontière : δA

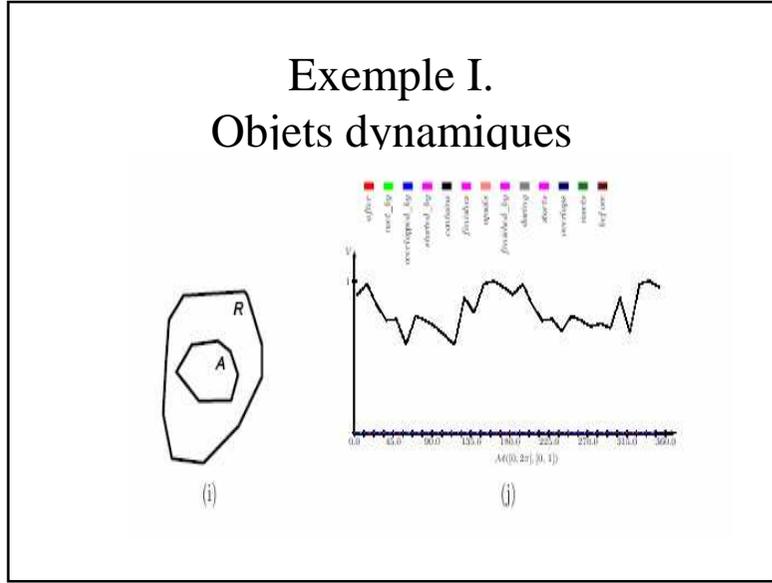
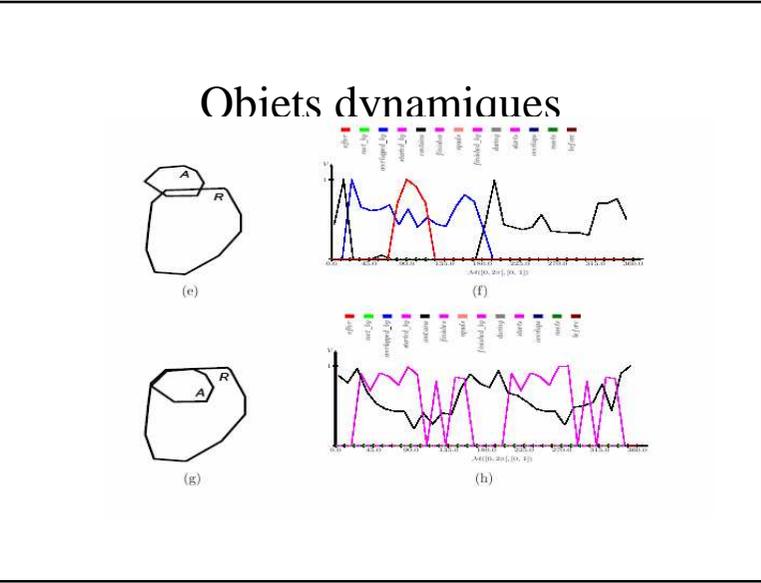
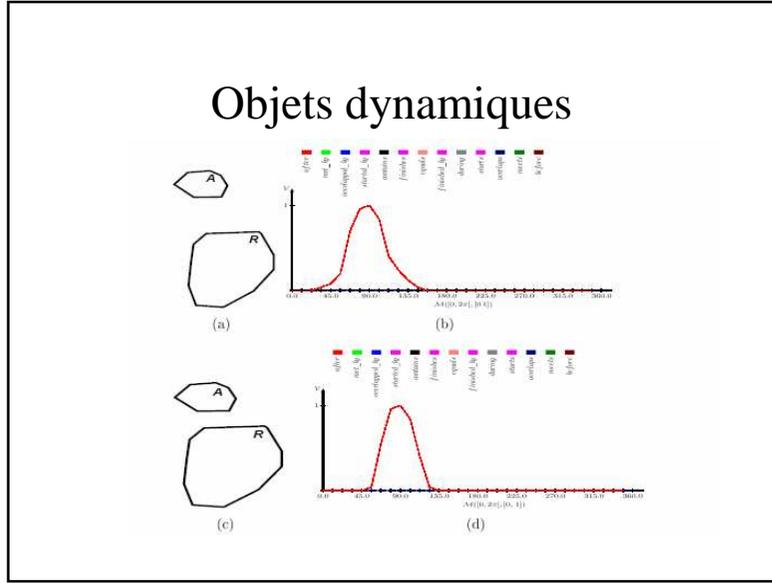
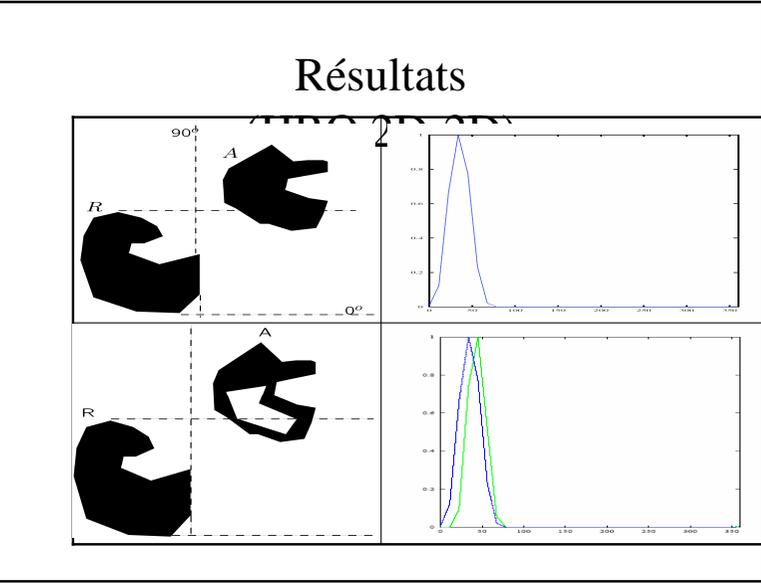
Modèle des 9 intersections d'Egenhofer



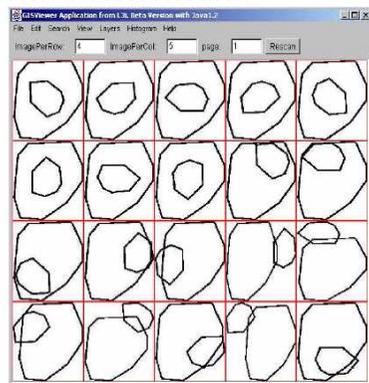
$$R(A,B) = \begin{pmatrix} A^\circ \cap B^\circ & A^\circ \cap \partial B & A^\circ \cap \neg B \\ \partial A \cap B^\circ & \partial A \cap \partial B & \partial A \cap \neg B \\ \neg A \cap B^\circ & \neg A \cap \partial B & \neg A \cap \neg B \end{pmatrix}$$

disjoint $\begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset & \neg \emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg \emptyset \\ \neg \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset \end{pmatrix}$	meet $\begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset & \neg \emptyset \\ \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset \\ \neg \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset \end{pmatrix}$	overlap $\begin{pmatrix} \neg \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset \\ \neg \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset \\ \neg \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset \end{pmatrix}$	contains $\begin{pmatrix} \neg \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg \emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg \emptyset \end{pmatrix}$
equal $\begin{pmatrix} \neg \emptyset & \emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \neg \emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg \emptyset \end{pmatrix}$	coveredBy $\begin{pmatrix} \neg \emptyset & \emptyset & \emptyset \\ \neg \emptyset & \neg \emptyset & \emptyset \\ \neg \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset \end{pmatrix}$	inside $\begin{pmatrix} \neg \emptyset & \emptyset & \emptyset \\ \neg \emptyset & \emptyset & \emptyset \\ \neg \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset \end{pmatrix}$	covers $\begin{pmatrix} \neg \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset \\ \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg \emptyset \end{pmatrix}$

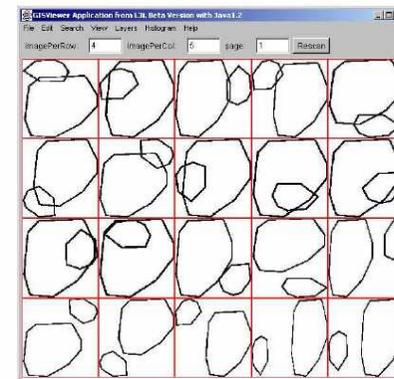




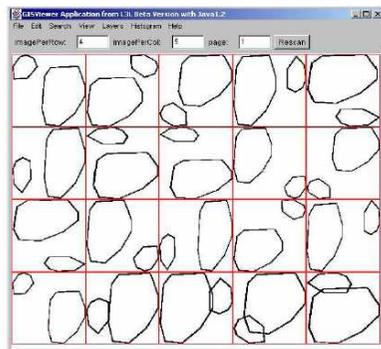
Recherche de configurations spatiales similaires



Recherche de configurations spatiales similaires



Recherche de configurations spatiales similaires



2.4.5. Conclusion

- Importance des requêtes spatiales
- Typologie des requêtes
- Importance des temps de réponse
- Nécessité de système d'indexation
- Usage pour SIG et bases d'images

2.5 - Indexation spatiale

- L'indexation dans les BD relationnelles
- Généralités sur l'indexation spatiale
- Indexation par courbes emplissant tout un espace
- Indexation par quadtree
- Indexation par arbres de rectangles
- Indexation dans les SIG

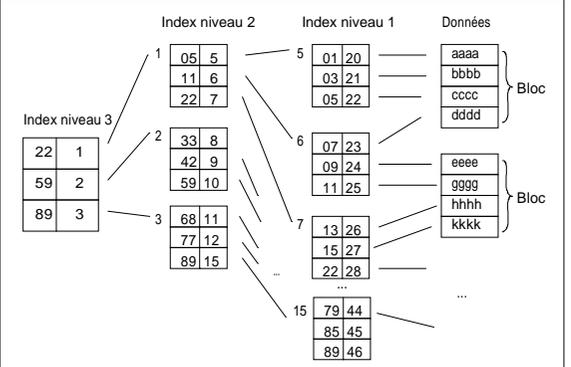
L'indexation dans les bases de données relationnelles

- Accélérateur d'accès
- Sans index :
 - balayage séquentiel de toute la BD
 - très consommateur de temps
- Nécessité de structure de données adéquates et de procédures d'accès

Indexation



Hierarchie d'index



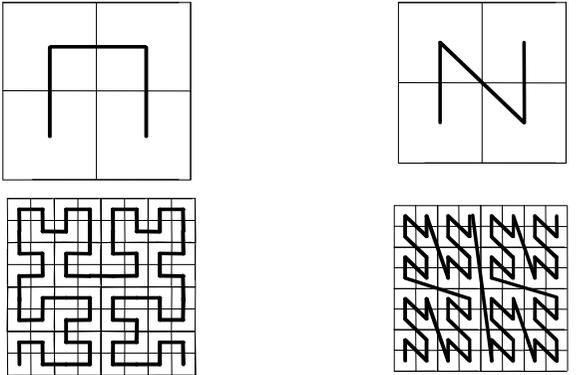
Généralités sur l'indexation spatiale

- Accélérateur d'accès aux données spatiales
- Exemple initial : plan de ville
 - localisation de type mots croisés
 - « rue bleue » en C5
 - Exemple

Indexation par courbes emplissant tout un espace

- Courbe passant par tous les points d'un espace
- Impossible en géométrie euclidienne
- Vrai en géométrie de Peano où
 - l'espace à couvrir est 2D
 - un point est une petite surface (carrée)
 - une ligne a une « épaisseur »
- Courbes en N de Peano, ou d'Hilbert

Courbes de Hilbert et de Peano

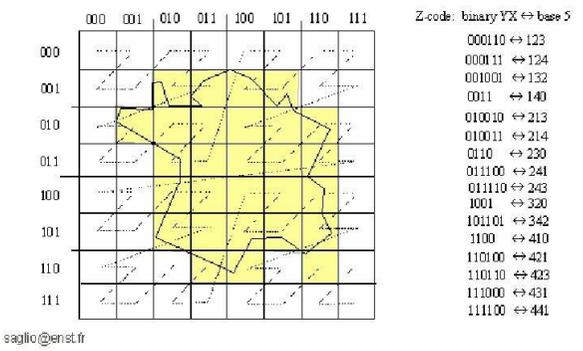


Exemple d'indexation spatiale pour un petit territoire

5	E	7	13	15	G
4	F	6	12	14	B
1	A	3			
D					
0	2	8			C

Clés de Peano	Côté	Objets
0	4	E
0	2	D
1	1	A
4	1	F
8	2	C
15	1	B,G

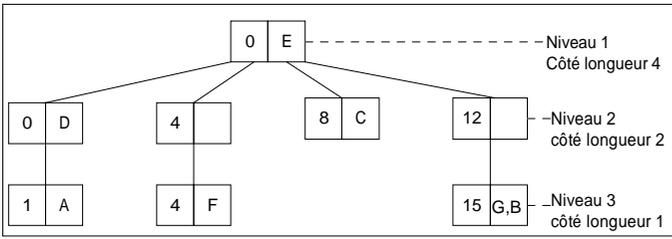
Ordre en Z (Saglio)



Indexation par quadtree

- Quadtree = subdivision récursive d'un carré en quatre carrés plus petits
- Arbre quaternaire
- Arbre quadratiques
- Tétra-arbres
- Quadrants arborescents

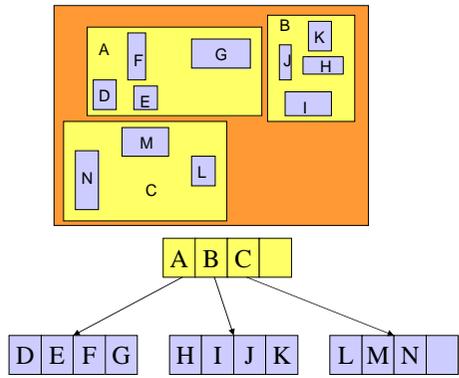
Exemple d'index spatial organisé avec des quadtrees hiérarchiques



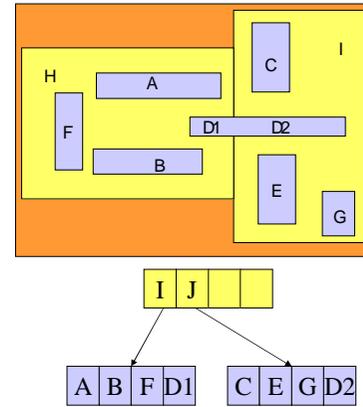
Indexation par arbres de rectangles

- Arbres de rectangles (r-arbres)
- Arbres améliorés de rectangles (r⁺-arbres)

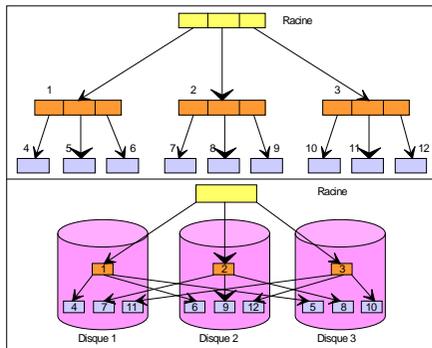
Exemple d'arbre de rectangles



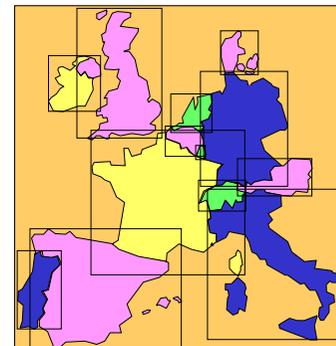
Exemple de r⁺-arbre



Exemple de r-arbre multiplexé et organisation sur disque



Indexation par rectangles d'une carte de l'Europe



Conclusion sur l'indexation spatiale

- Importance des methodes d'accès spatial
- Organisation des données
- Evolution vers le spatio-temporel
- Evolution vers le 3D
- Evolution vers les champs continus

2.6 - Cohérence des données spatiales

- Les contraintes d'intégrité spatiales
- Sémantique des contraintes d'intégrité spatiales
- Contrôle de qualité
- Conclusion

Les contraintes d'intégrité spatiales

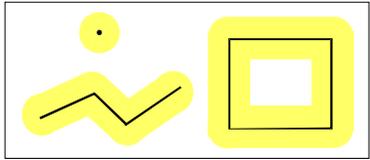
- Rappel sur les contraintes de données dans les bases de données
- Cohérence et précision
- Insuffisance sémantique des structures de données
- Définition des contraintes d'intégrité spatiales
- Exemples de modèles de terrains
- Contraintes et données spatiales dérivées

Rappel sur les contraintes de données dans les bases de données

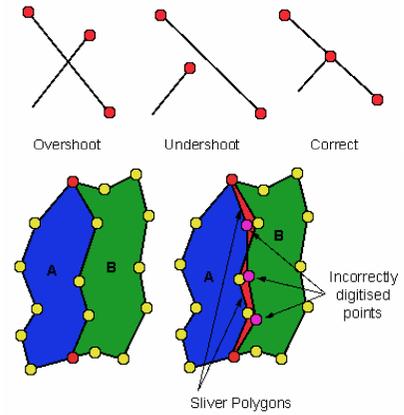
- contrôle de vraisemblance des valeurs
- intégrité existentielle
- intégrité référentielle
- contraintes définies par l'utilisateur

Cohérence et précision

- Contrôle de qualité
- Précision et exactitude



Erreurs communes



Insuffisance sémantique des structures de données

- Une structure qui se prétend être un carré, est-elle vraiment un carré ?
- $R1(\#carré, xorigine, yorigine, côté)$
- $R2(\#carre, x1, y1, x2, y2, x3, y3, x4, y4)$
- Nécessité d'effectuer des contrôles
- Dans certains cas, ajout d'information complémentaire

Représentation de la sémantique d'objets géomatiques différents

ensemble de points		$R(\#objet, (\#point)^*)$ Pas de règle Pas de CIS
polygône fermée		$R(\#polygône, (\#point)^*)$ Règle: Point-dans-polygône CIS: 2 points de suite différents
polygône		$R(\#polygône, (\#point)^*)$ Règle: Point-dans-polygône CIS: fermeture et non dégénérescence

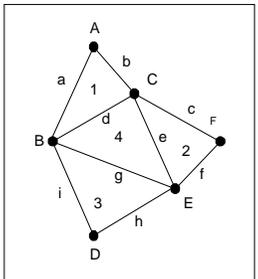
Définition des contraintes d'intégrité spatiales

- CI = Prédicat sur la base de données
- CIS = Prédicat dans lequel interviennent des conditions spatiales (spatio-temporelles)

Exemples de modèles de terrains

- R0 (#terrain, #triangle)
- R1 (#triangle, #segment1, #segment2, #segment3)
- R2 (#segment, #point1, #point2, #triangle1, #triangle2)
- R3 (#point, x, y, z)

Exemple de modèle de terrain avec les tables correspondantes



R1	#triangle	#segment1	#segment2	#segment3
1	a	b	d	
2	e	c	f	
3	g	h	i	
4	d	e	g	

R2	#segment	#point1	#point2	#triangle1	#triangle2
a	A	B	1	null	
b	A	C	1	null	
c	C	F	2	null	
d	B	C	1	4	
e	C	E	2	4	
f	E	F	null	2	
g	B	E	4	3	
h	D	E	null	3	
i	D	B	3	null	

R3	#point	x	y	z
A	2	5	10	
B	1	3	3	
C	3	4	12	
D	2	1	3	
E	4	2	8	
F	5	3	15	

Exemples d'incohérences dans un modèle de terrains

R1	#triangle	#segment1	#segment2	#segment3
1	a	null	d	segment 2 inconnu
2	e	c	f	segment 3 modifié
3	g	h	h	triangle 4 manquant

R2	#segment	#point1	#point2	#triangle1	#triangle2
a	A	B	1	null	double null
b	A	C	2	null	point1 change
c	C	F	1	4	point2 change
d	B	C	1	4	mêmes triangles
e	C	E	2	4	mêmes triangles
f	E	F	null	2	erreur triangle2
g	B	E	4	3	null
h	D	B	3	null	segment en trsp
i	D	B	3	null	segment manquant

R3	#point	x	y	z
A	4	3	10	sommet dans triangle 2
B	1	3	3	coordonnées inconnues
C	null	4	12	coordonnées inconnues
D	2	1	3	coordonnées hors du cadre
E	0	2	8	coordonnées hors du cadre
F	5	3	15	coordonnées hors du cadre
1	5	5	18	point balisateur

Contraintes et données spatiales dérivées

Soit un ensemble de triangles rectangles :

Modèle 1

$R1$ (*#triangle*, (*#sommet*)³)

$R2$ (*#sommet*, *x*, *y*).

Modèle 2

$R1bis$ (*#triangle*, (*#angle*)³)

$R2bis$ (*#angle*, *valeur-en-degrés*).

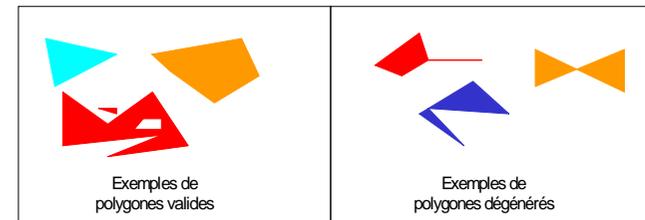
Sémantique des contraintes d'intégrité spatiales

- Géométrie et topologie
- Exemple d'enchaînement de vérification de contraintes
- Contraintes et multiplicité des représentations

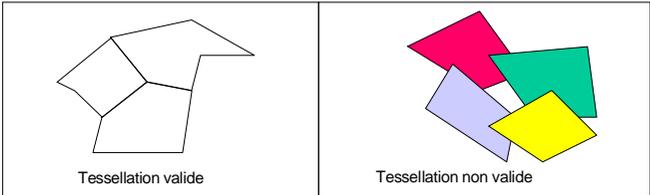
Géométrie et topologie

- Usage de la topologie
- Usage de la trigonométrie
- Usage de certains théorèmes

Exemples de polygones valides et de polygones dégénérés



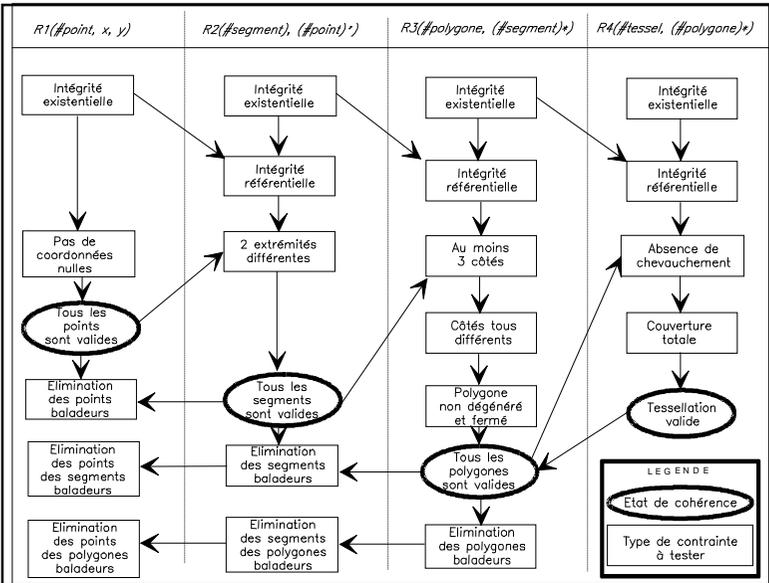
Exemples de tessellations valides et tessellations non valides



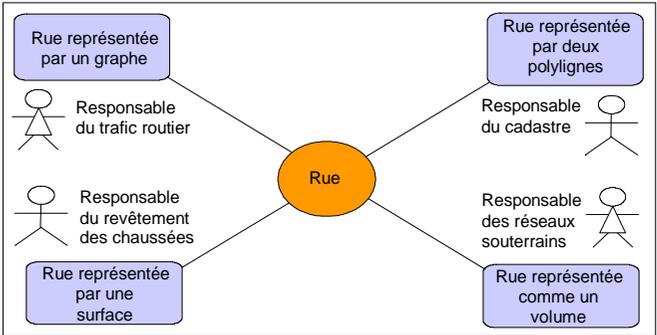
Exemple d'enchaînement de vérification de contraintes

Soit la base de données suivantes

- $R1$ (#point, x, y)
- $R2$ (#segment, ($\#point$)²)
- $R3$ (#polygone, ($\#segment$)^{*})
- $R4$ (#tessellation, ($\#polygone$)^{*})



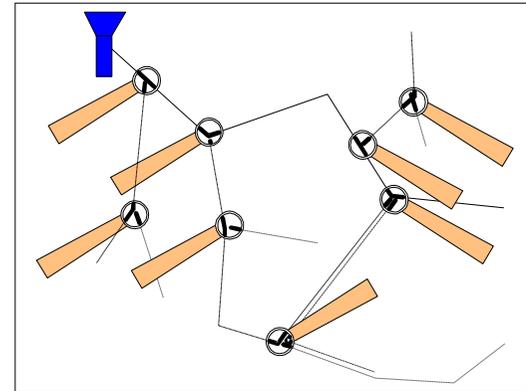
Contraintes et multiplicité des représentations



Géométrie et topologie

- Validité des réseaux.
- Validité des tessellations polygonales

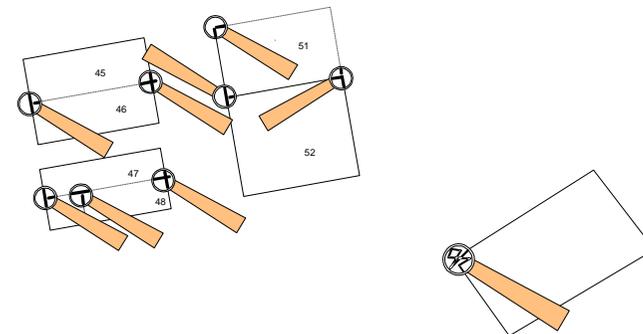
Exemple de réseau avec erreurs



Validité des réseaux

- 1 - validité des nœuds
- 2 - validité des arêtes / arc
- 3 - connexité des réseaux
- 4 - orientation du réseau (si graphe orienté)

Exemple de cadastre



Validité des tessellations polygonales

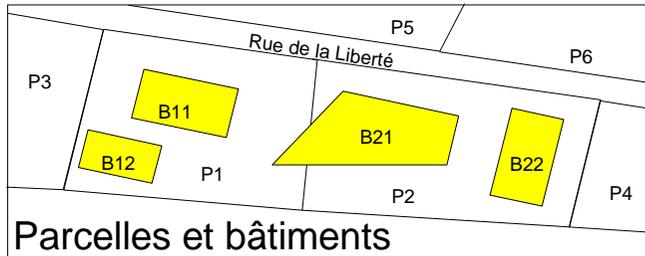
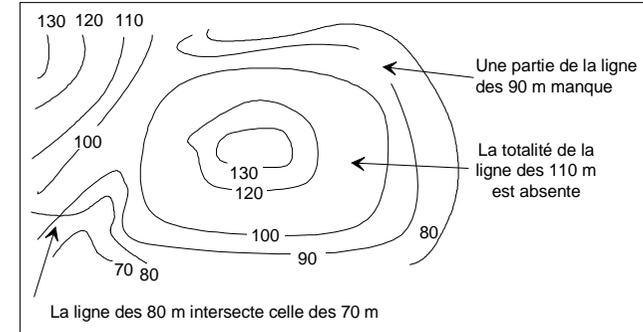
- 1 - validité des points
- 2 - validité des segments
- 3 - validité des polygones
- 4 - validité de la tessellation
- 5 - formules d'Euler-Poincaré : $P+V = S+I$

P : nombre de Polygones

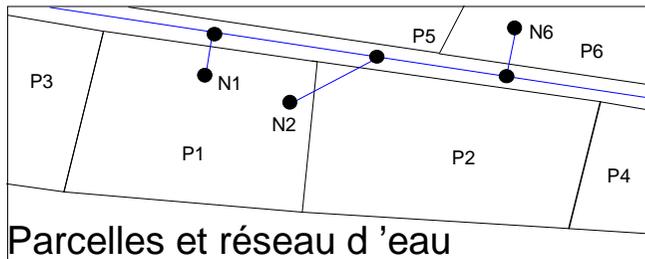
V : nombre de sommets

S : Nombre de segments

Exemple de courbes de niveau



Parcelles et bâtiments

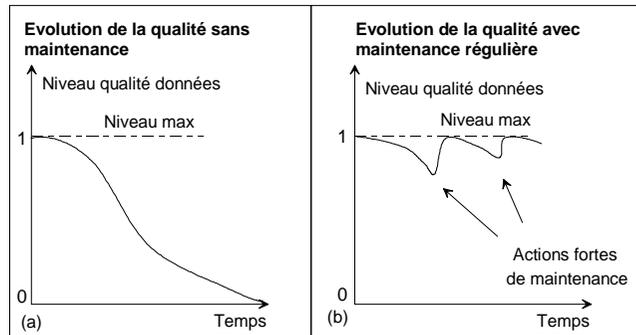


Parcelles et réseau d'eau

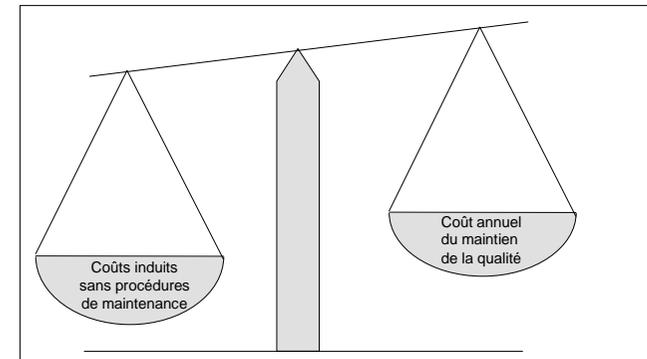
Contrôle de qualité

- Bases nouvelles
 - à la création de la BD
 - vérification après chaque mise à jour, adjonction et effacement
- Anciennes bases
 - procédures puissantes de contrôle
 - correction des objets erronés
 - vérification après chaque mise à jour, adjonction et effacement

Evolution de la qualité



Equilibre des coûts



Composants de la qualité

- Précision (espace/temps/paramètres)
- Résolution
- Cohérence topologique
- Exhaustivité
- Fraîcheur (mise à jour)
- Historique

Conclusion sur la cohérence

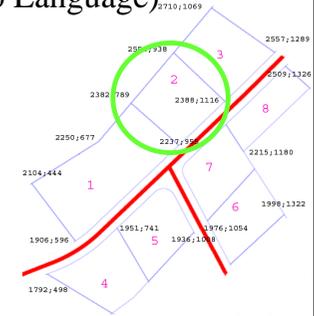
- Importance du contrôle de qualité
- Compromis des coûts
- Coûts d'une erreur ???
- Contrôle de qualité à la création
- Contrôle de qualité durant le cycle de vie

2.7 – Extensions d'XML

- Objectif : traitement des données vecteur sur Internet
- Intérêt :
 - alléger la charge des serveurs
 - alléger les échanges client-serveur
 - permettre des requêtes-client
 - installer des traitements locaux au niveau client

Extensions

- SVG (Scalable Vector Graphic)
- GML (Geography Markup Language)
- LandXML



SVG

- Accroître les fonctionnalités graphiques d'XML
- Non prévu originellement pour la cartographie
- Possibilité d'interactivité
- Possibilité de changement d'attributs des dessins

SVG

```
<desc>Parcel Lot #2</desc>
<g>
  <polyline points="938.15,-2556,24
    789.84,-2382,09"/>
  <polyline points="789.84,-2382,09
    955.92,-2237,08"/>
  <polyline points="955.92,-2237,08
    1116.15,-2388,54"/>
  <polyline points="1116.15,-2388,54
    938.15,-2556,24"/>
</g>
```

GML

- Codage des informations géographiques
- Traitements visés : cartographie et analyse spatiale
- Création de petit SIG sur Internet incrémentale et modulaire
- Traitement efficace de la géométrie
- Capacité de lier les éléments spatiaux et non-spatiaux
- Ouverture vers l'interopérabilité

```

<exMember>
  <Parcel>
    <gml:name>Lot #2</gml:name>
    <area>52129.7703</area>
    <gml:centerOf>
      <gml:Point>
        <gml:coordinates>2392.91 950.79</gml:coordinates>
      </gml:Point>
    </gml:centerOf>
    <gml:extentOf>
      <gml:Polygon srsName="http://www.opengis.net/gml/srs/epsg.xml#4326">
        <gml:outerBoundaryIs>
          <gml:LinearRing>
            <gml:coordinates>
              2556.24 938.15 2382.09 789.84 2382.09 789.84 2237.08 955.92
              2237.08 955.92 2388.54 1116.15 2388.54 1116.15 2556.24 938.15
            </gml:coordinates>
          </gml:LinearRing>
        </gml:outerBoundaryIs>
      </gml:Polygon>
    </gml:extentOf>
  </Parcel>
</exMember>
    
```

GML

LandXML

- Spécification d'un format pour le génie civil et l'arpentage
- Facilité de transfert entre les acteurs
- Archivage à long terme
- Format standard pour les échanges électroniques et le web

```

<Parcel name="Lot #2" area="52129.77" >
  <Center>2392.91 950.79</Center>
  <CoordGeom>
    <Line length="228.74" dir="229.58" >
      <Start>2556.24 938.15</Start>
      <End>2382.09 789.84</End>
    </Line>
    <Line length="220.48" dir="318.87" >
      <Start>2382.09 789.84</Start>
      <End>2237.08 955.92</End>
    </Line>
    <Line length="220.49" dir="43.38" >
      <Start>2237.08 955.92</Start>
      <End>2388.54 1116.15</End>
    </Line>
    <Line length="244.56" dir="136.70" >
      <Start>2388.54 1116.15</Start>
      <End>2556.24 938.15</End>
    </Line>
  </CoordGeom>
</Parcel>
    
```

LandXML

Comparaison - usage

	GML	SVG	LandXML
Urbanisme	X	X	XX
Environnement (montagne, riviere,...)	X	X	
Photos aeriennes	X	X	X
Cadastre	XX	X	XX
Carte statistique		XX	
3D	X		X

2.8 – Conclusions

- 80 % des informations dans le monde ont une composante spatiale
- Les BD géographiques parmi les plus grosses du monde
- Infrastructures de données
- Elargissement à d'autres domaines d'application
 - Géomarketing
 - Gestion de bâtiment, de grandes propriétés
 - Location-Based Services
 - Systemes d'information pervasifs