

## Chapitre 1

### Introduction aux systèmes d'information géographiques

*« 80 % des données existantes  
ont une composante  
géographique »*

### Introduction aux SIG

- 1.1 – Modélisation des objets géographiques
- 1.2 – Acquisition des données
- 1.3 – Supports de sortie
- 1.4 – Requêtes spatiales
- 1.5 – Indexation spatiale
- 1.6 – Aspects juridiques et éthiques
- 1.7 – Conclusions

### 1.1 – 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

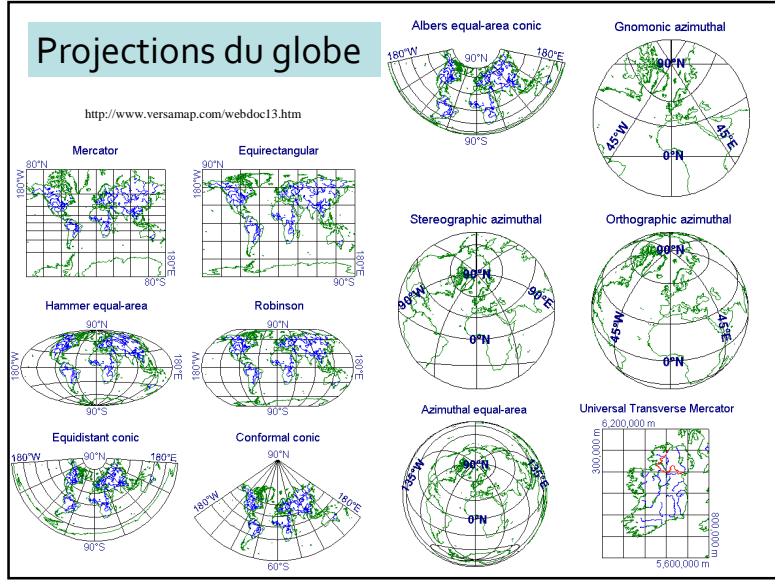
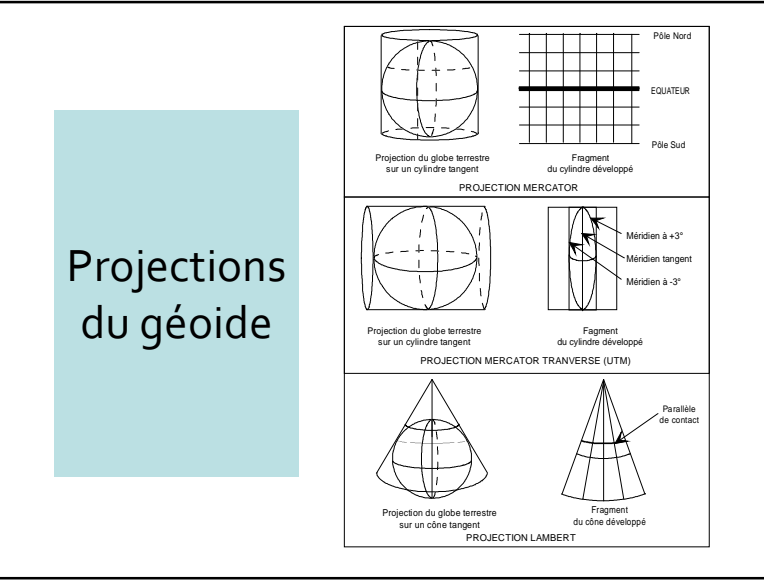
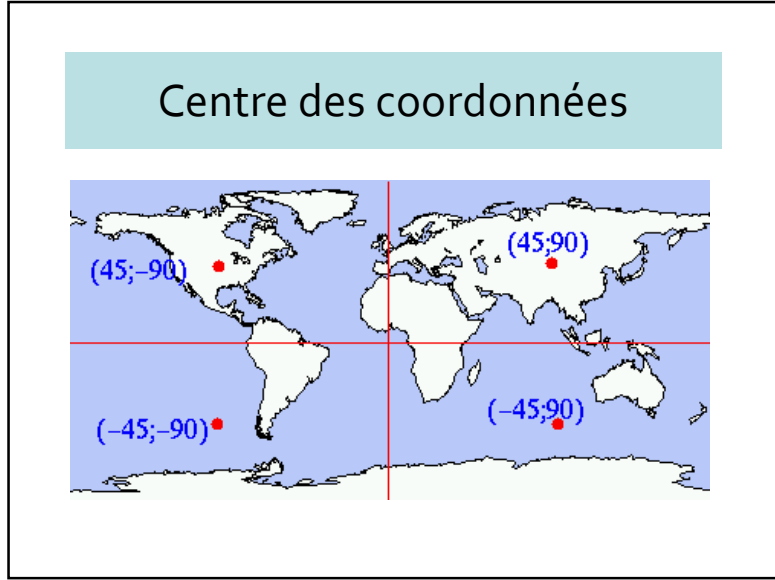
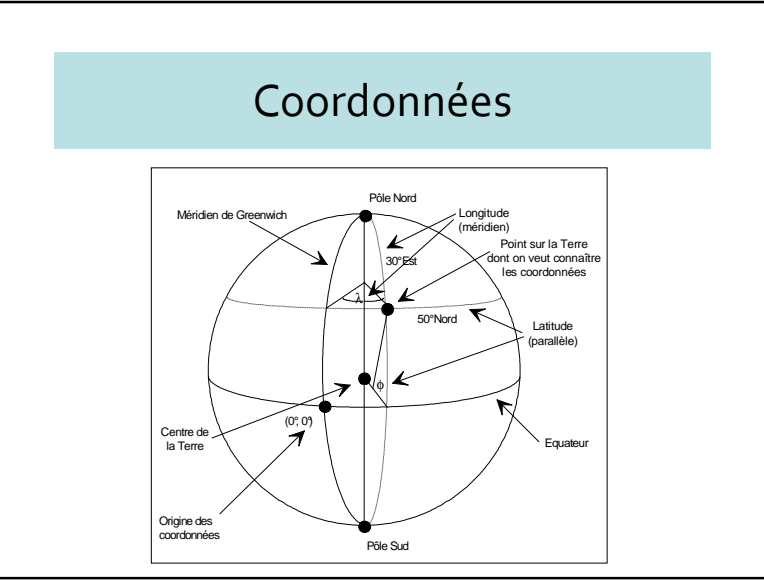
- en milieu urbain
- en aménagement
- gestion de l'espace rural et forestier
- milieu littoral et maritime
- infrastructures de transports
- ressources minières et industrie
- pour les sciences de la terre
- archéologie
- gestion de grandes propriétés
- etc

## Positionnement

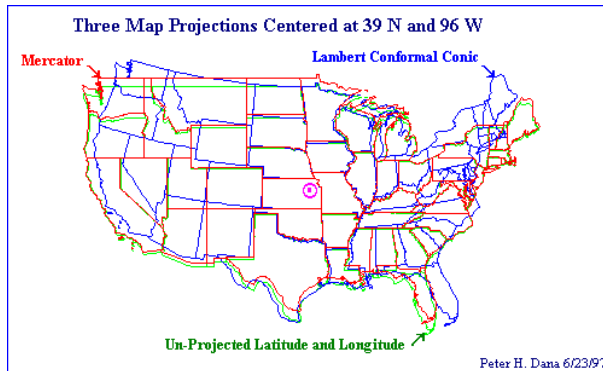
- Géodésie
- Les coordonnées
- Projections du globe terrestre

## Géodésie

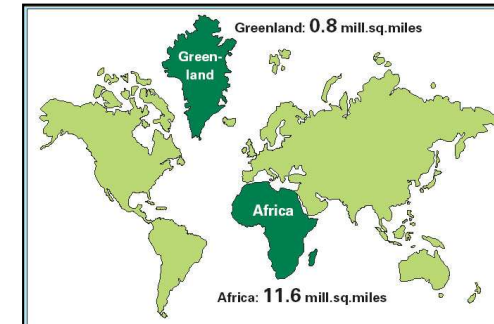
- La terre n'est pas tout à fait ronde
  - ellipsoïde
  - altitude
  - géoïde



## Déformations selon les projections

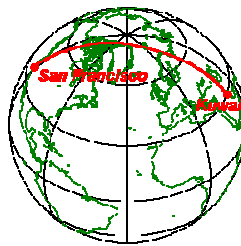


## Déformations selon les projections

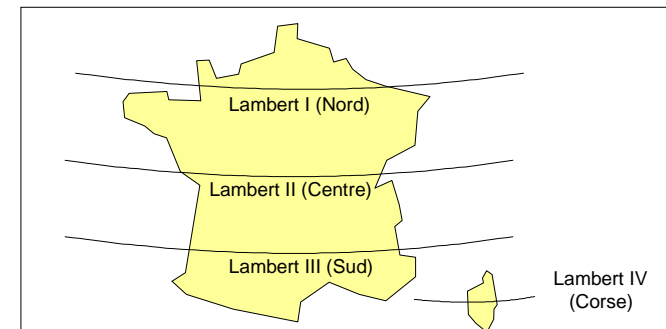


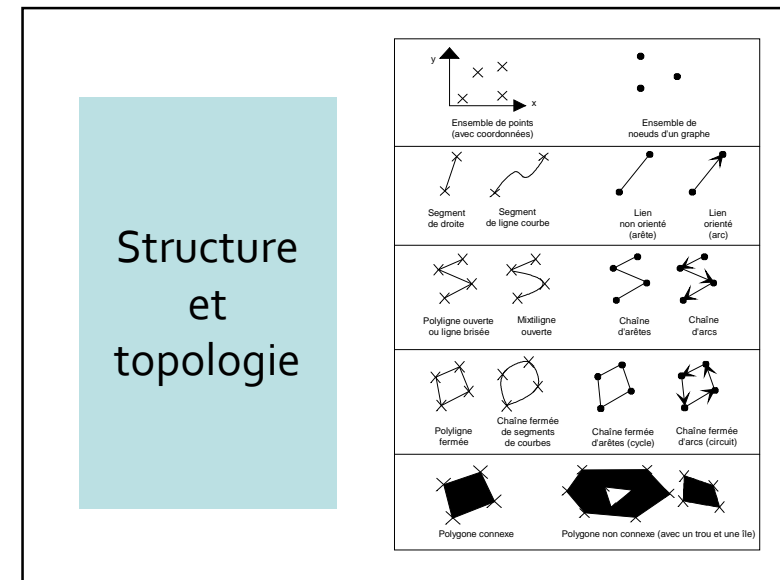
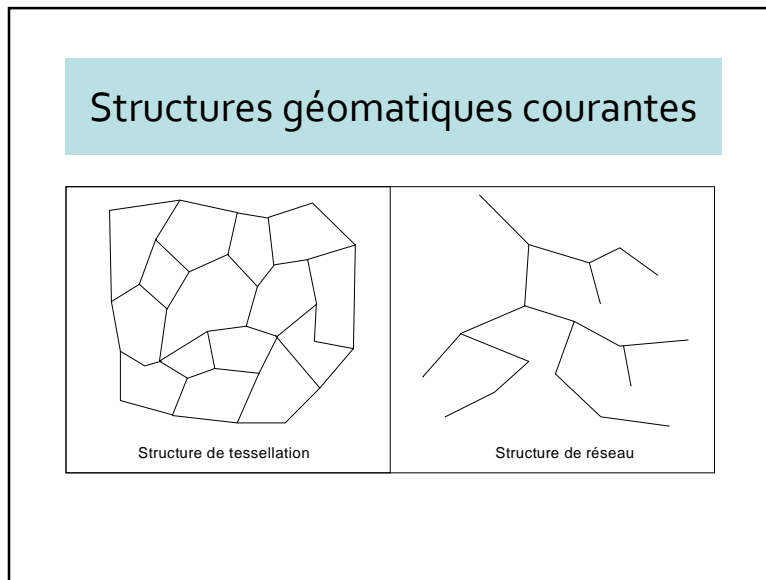
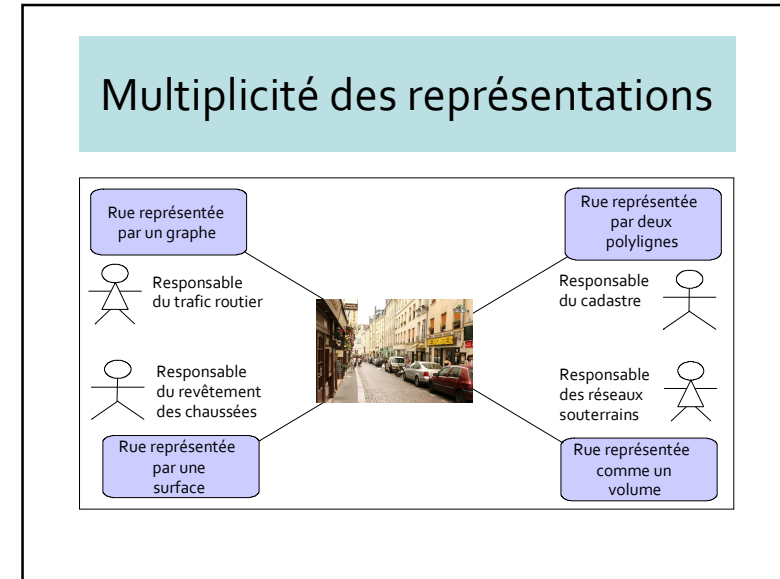
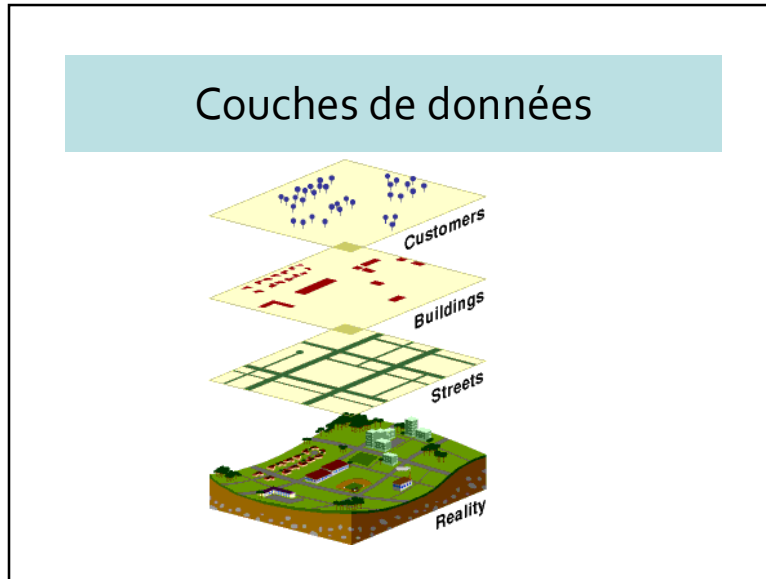
Le Goenland semble grand comme l'Afrique  
alors qu'il lui est 14 fois plus petit !!

## Chemin mimumum

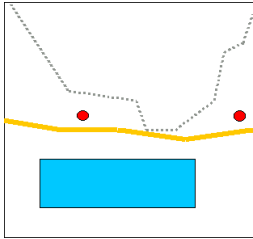


## Découpage Lambert





## Formats géographiques

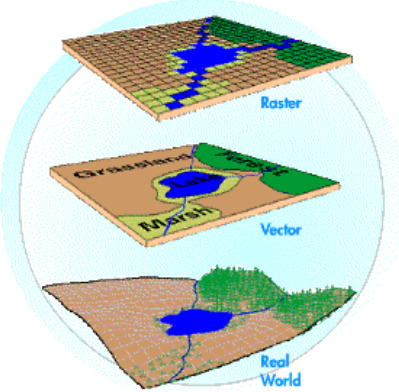


Format vecteur

R	T	T	T	T	T	R
L	R	L	L	L	L	R
L	L	R	R	L	R	L
L	L	R	L	L	R	R
L	R	L	L	L	L	R
L	L	L	L	L	L	L
L	L	L	L	L	L	L
L	L	L	L	L	L	L
L	L	L	L	L	L	L
L	L	L	L	L	L	L

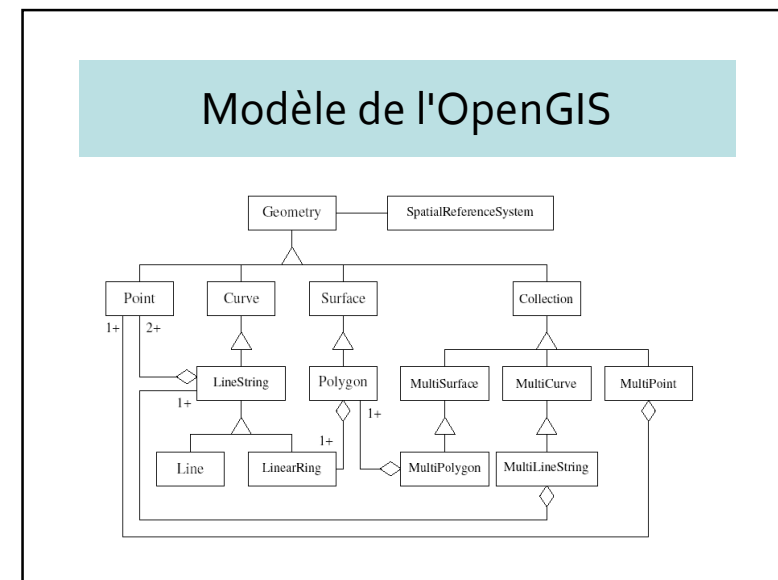
Format raster

## Modèles du monde réel

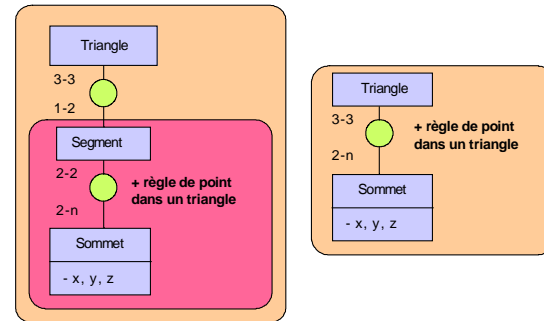
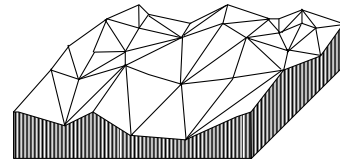


## Modèle de l'OpenGIS

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



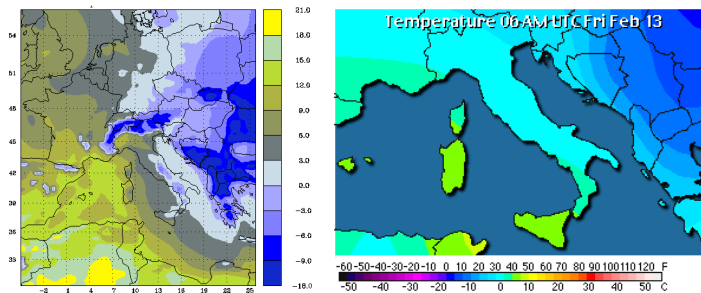
## Triangulation



## 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)

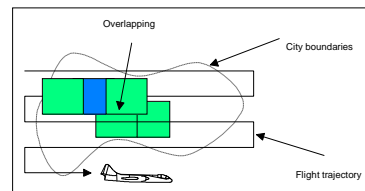
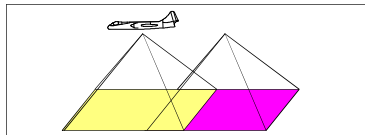
## 1.2 – Acquisition des données

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

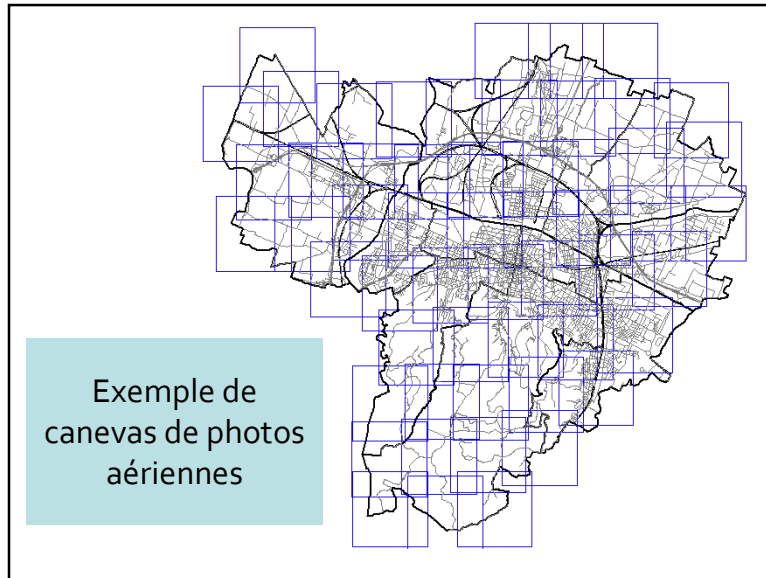
## Théodolite



## Photos aériennes

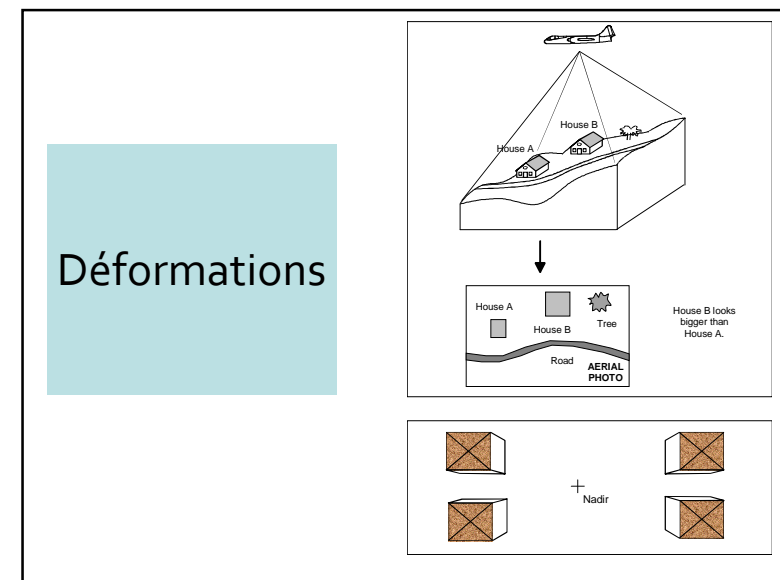
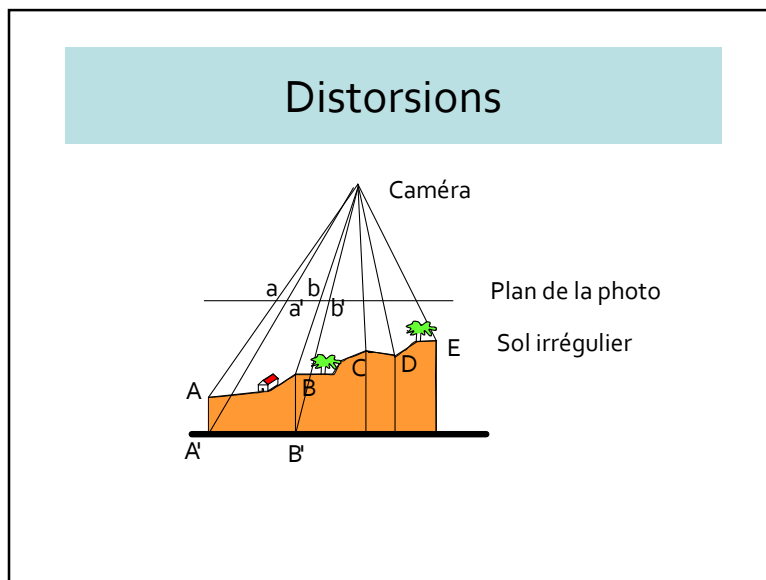




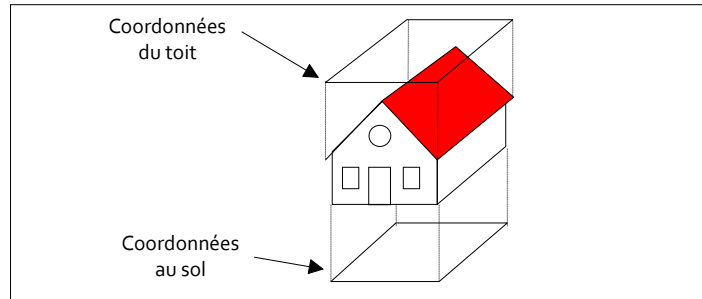


### Photos aériennes Caractéristiques

- 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)



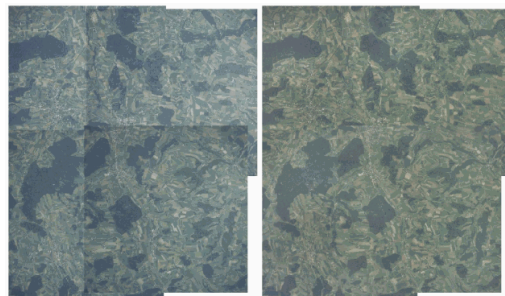
## Coordonnées au sol / coordonnées des toitures



## 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



Avant

Après

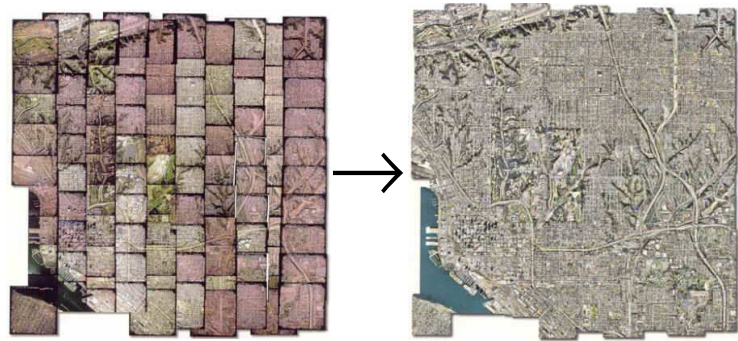
## Déformation des images



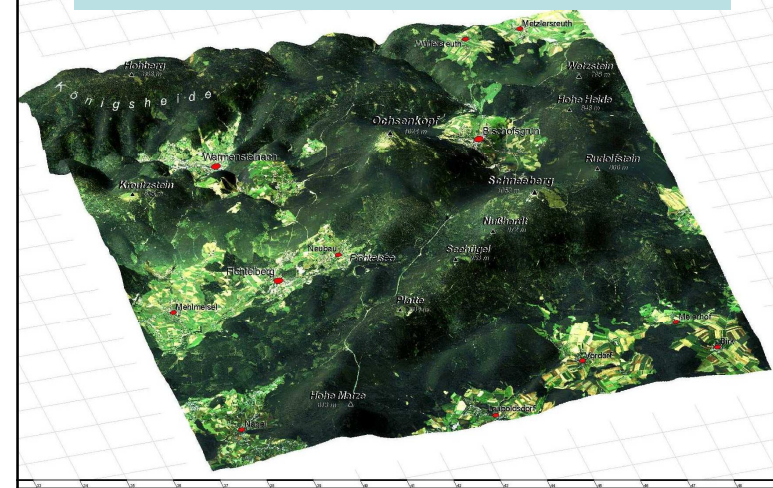
Avant

Après

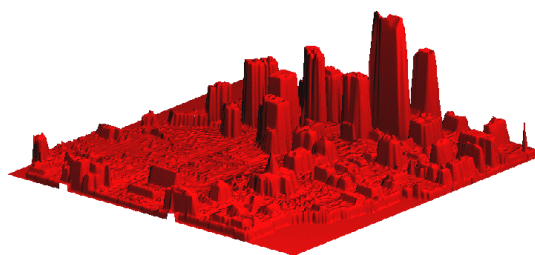
### Mosaïquage pour orthophoto



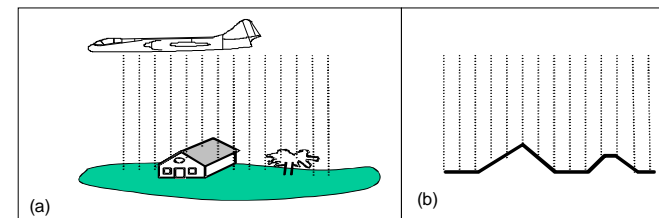
### Drapage sur MNT

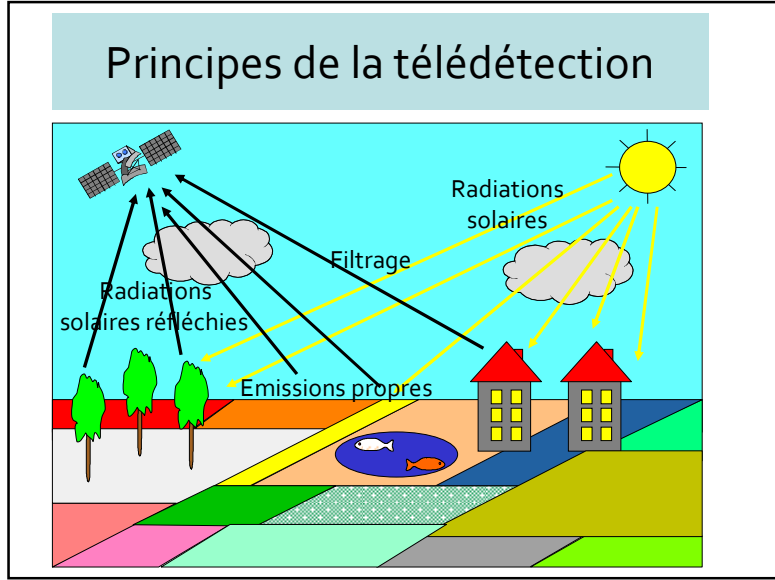
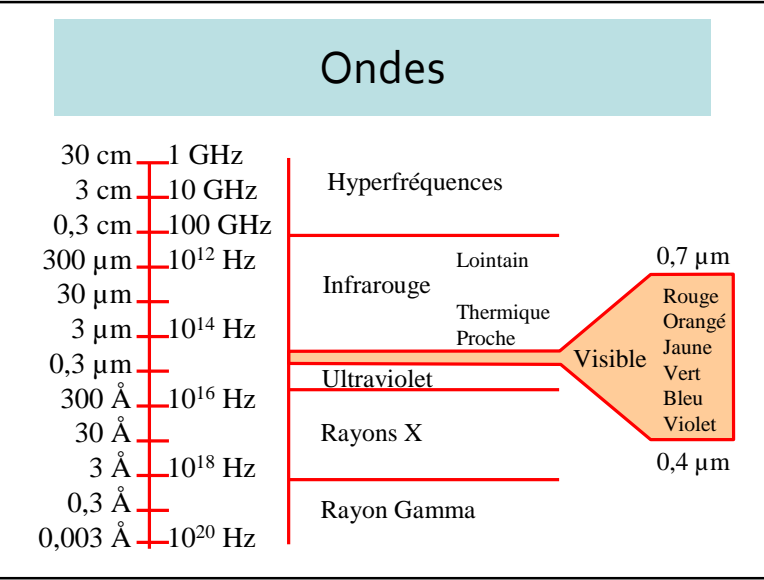
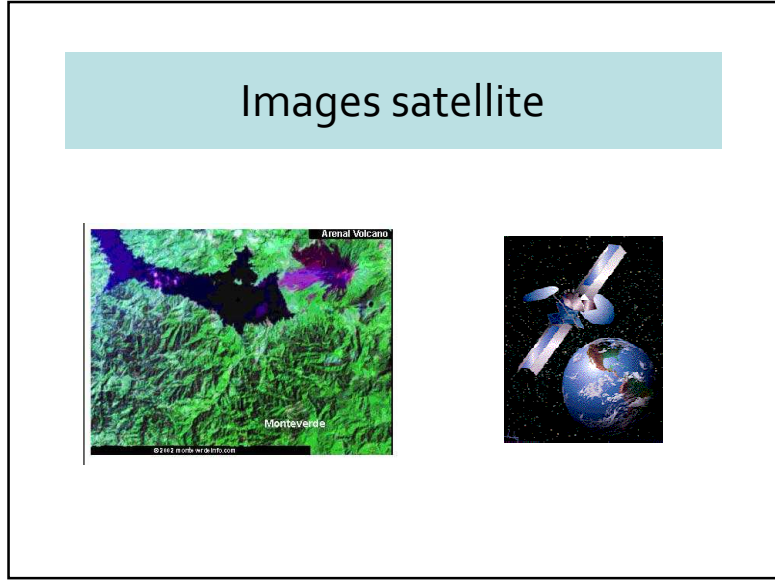
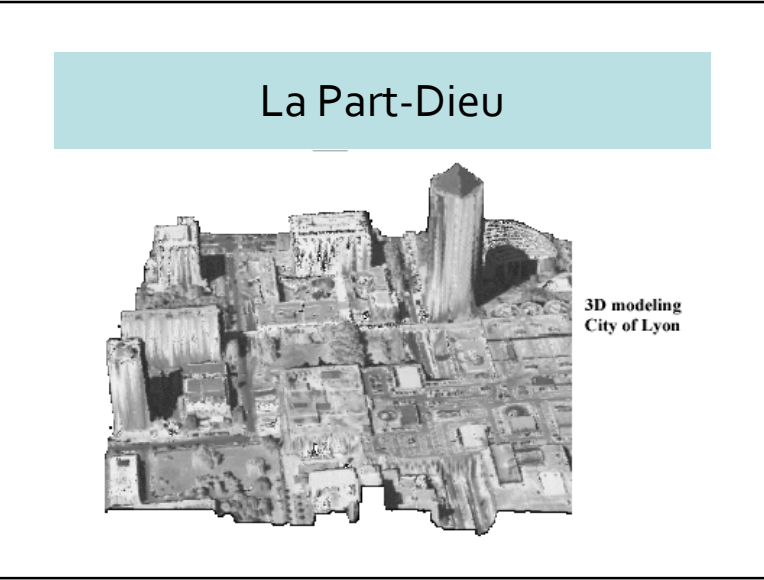


### Laser range scanning

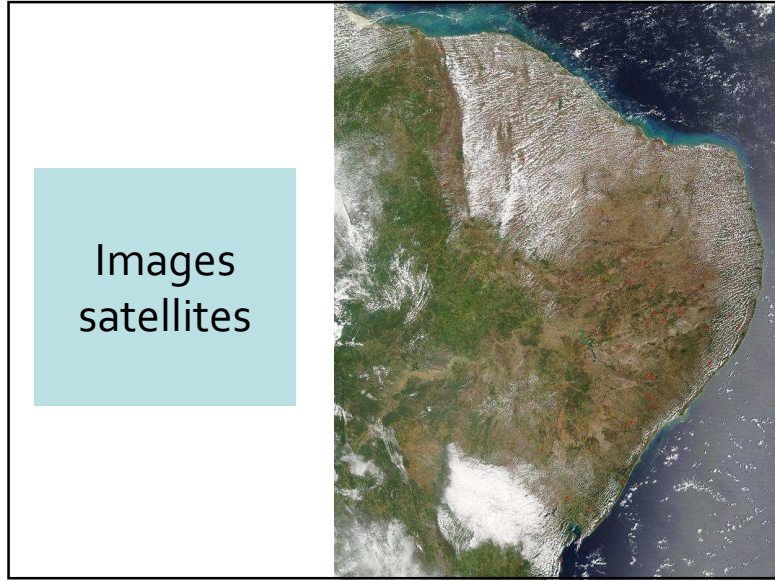
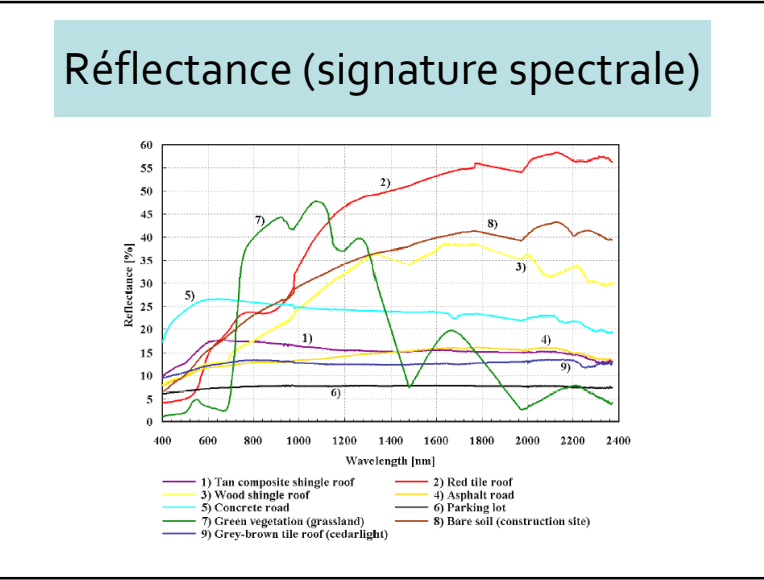
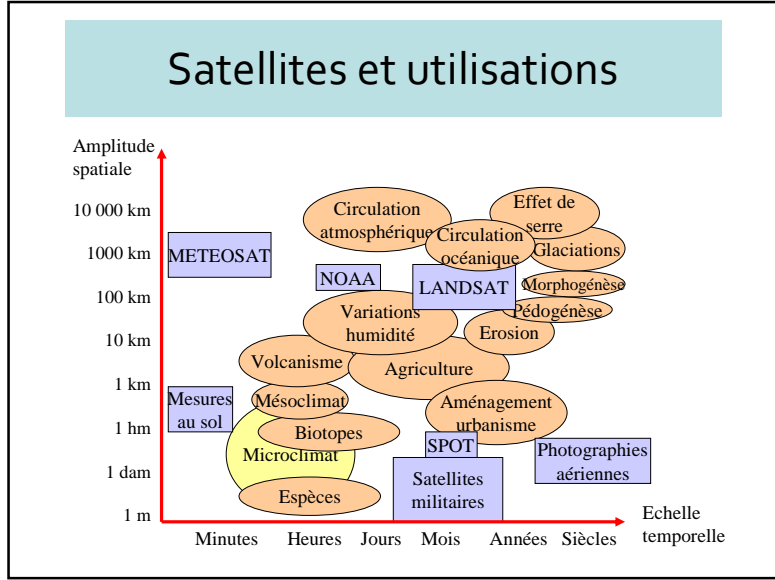
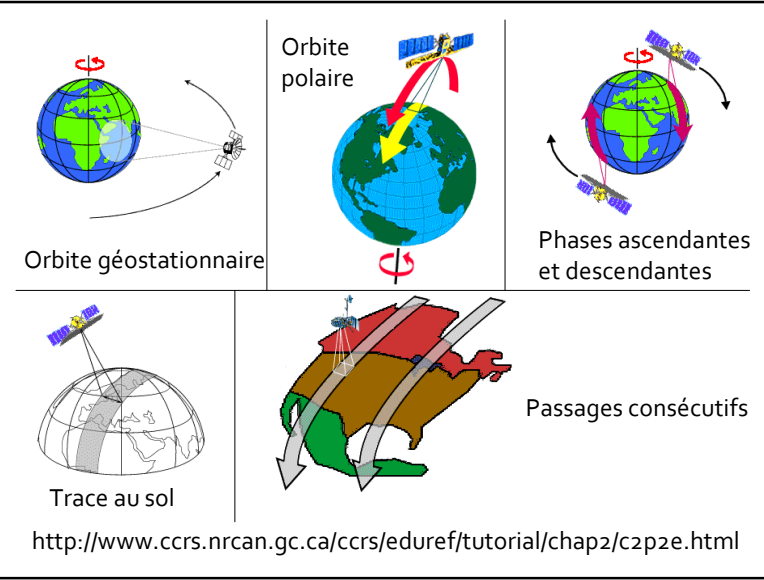


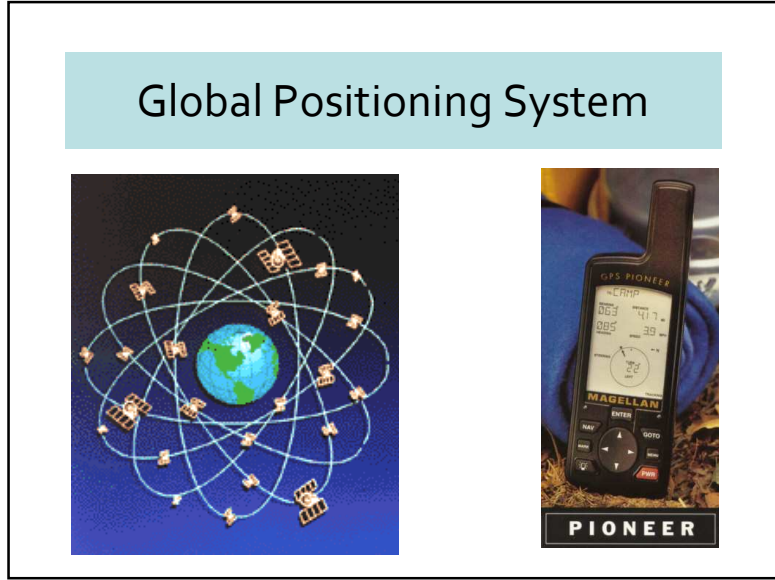
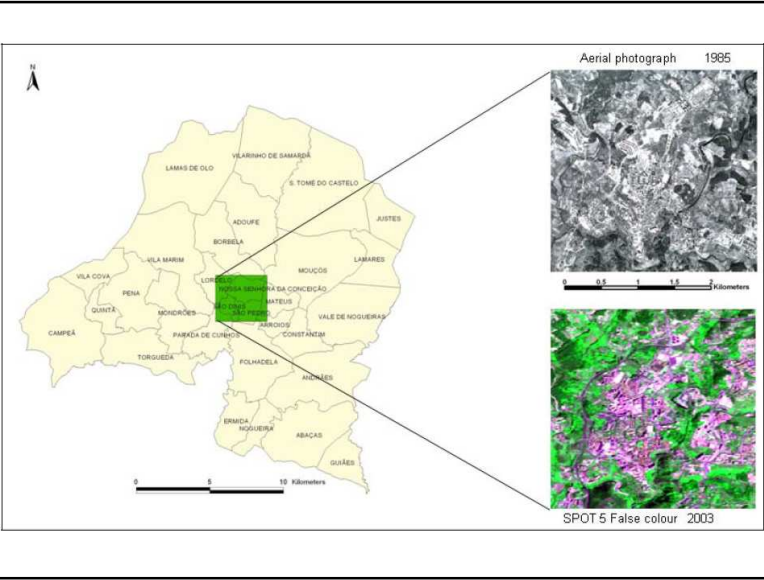
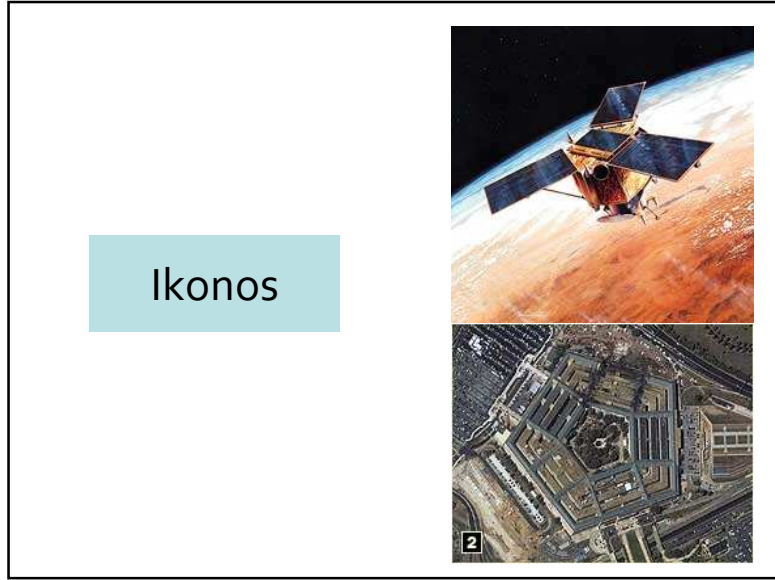
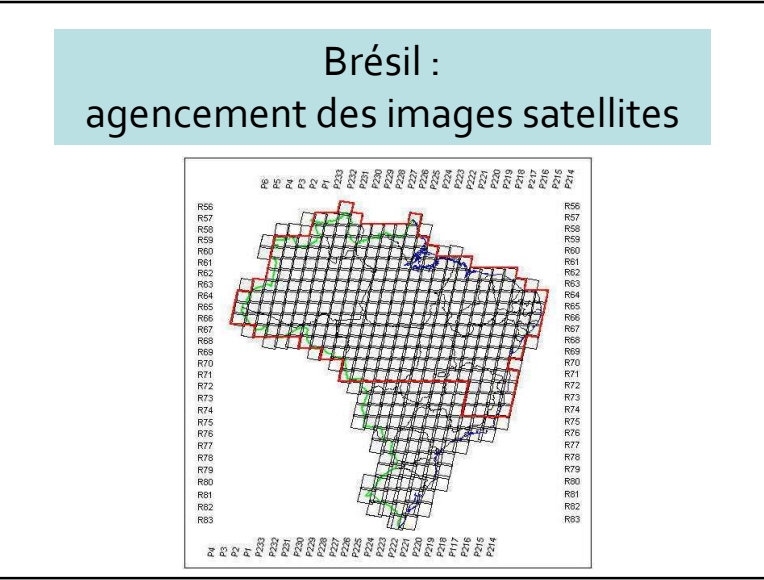
### Principe

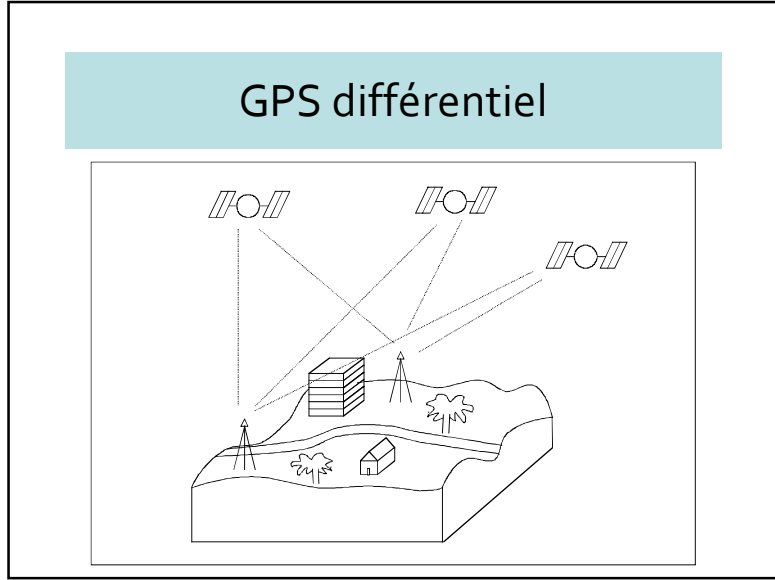
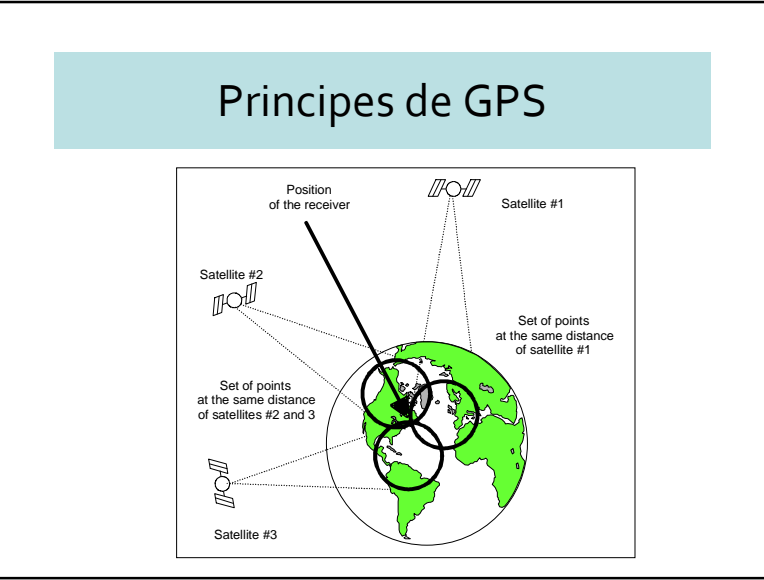










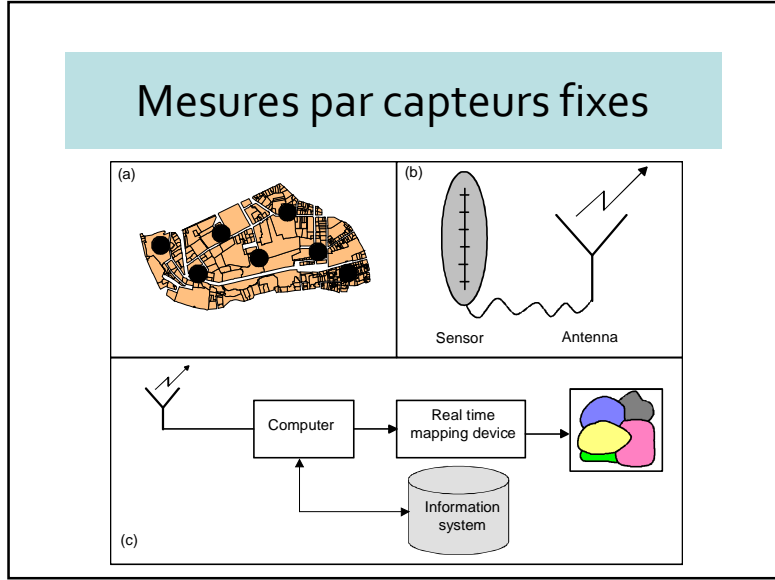


### Mesures par GPS

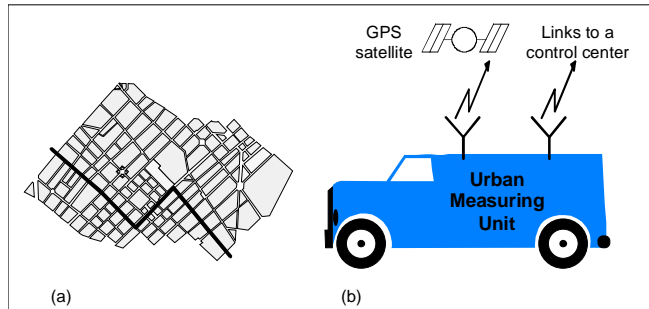
Measurement Science, Inc. Englewood, CO

(a)

(b)



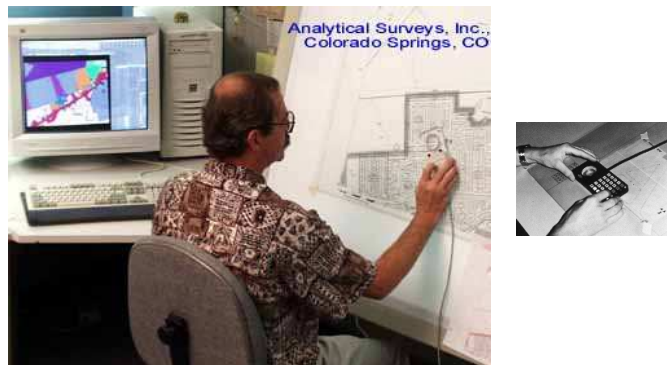
## Mesures par capteurs mobiles



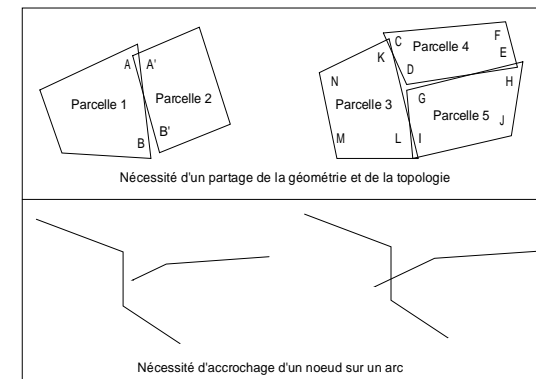
## Voix localisée



## Digitalisation

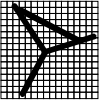
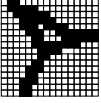



## Erreurs courantes en digitalisation





## Scannage de plans

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

## Choix des échelles

**(a) Echelles et précision pour l'acquisition**  
Scannage de plans (relatif)

Levés terrestres  
Digitilisation (relatif)  
Photos aériennes  
Images satellites

Echelles inversées

10 100 1000 10 000 100 000  
1 mm 1 cm 10 cm 1 m 10 m  
Précision

Planification urbaine et régionale  
Etudes d'environnement  
Tourisme  
Analyse de risques  
Cadastre  
Réseaux souterrains Etudes de transport  
Génie civil  
Routes  
Forêts et cultures  
Rivières  
A proximité des bâtiments Géologie

**(b) Echelles et précision pour les usages**

## 1.3 – Supports de sortie

- Qu'est ce qu'une carte ?
- Différents périphériques
- Niveau interactivité
- Sémiologie graphique

## Qu'est ce qu'une carte ?

**La carte**

**Une représentation géométrique**

- d'une planète (terre)
- avec des positions relatives
- avec des attributs non-spatiaux

**Un modèle construit impliquant**

- une réduction (d'échelle)
- une sélection
- une généralisation
- une projection

**Des choix**

- scientifiques
- subjectifs
- empiriques

**Un modèle graphique utilisant des signes**

- visuels
- sonores
- tactiles

**Des buts spécifiques**

- présenter et transmettre un message
- fournir des localisations
- explorer des répartitions
- révéler des relations visibles ou non visibles
- échanger, se concerter

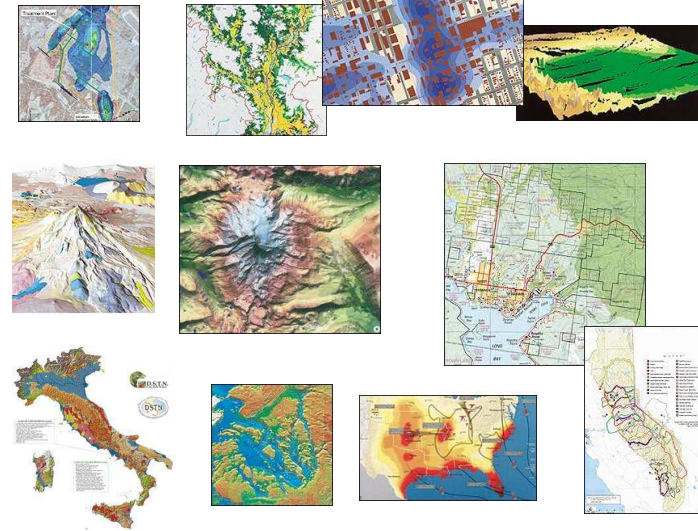
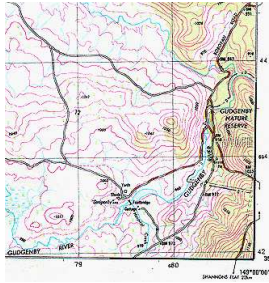
**Un support**

- permanent (papier, mur)
- temporaire (écran)
- virtuel

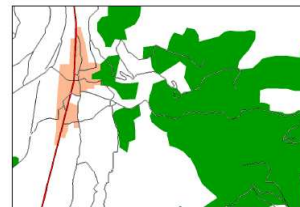
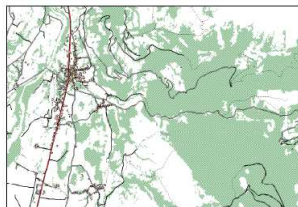
**Un temps donné t avec un contexte**

- historique
- social
- technique
- scientifique

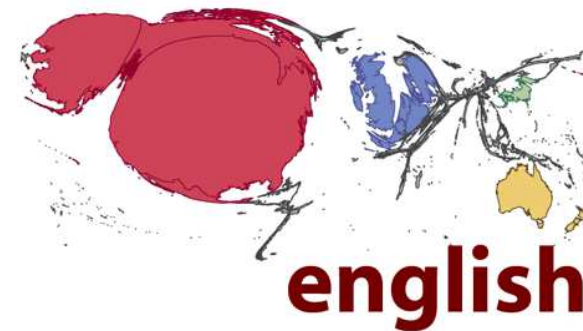
## Exemples



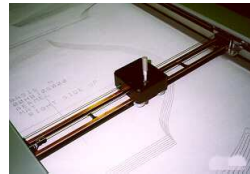
## Généralisation des formes géographiques



## Cartogrammes



## Traceurs à plat



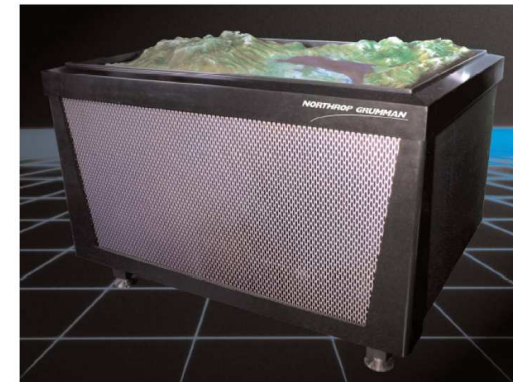
## Table traçante à rouleau



## Salle de contrôle NASA



## Génératrice de maquettes de terrain



<http://www.touchtable.nl>

## Interface tangible de Geodan

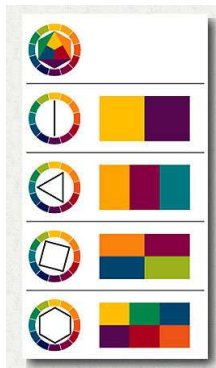


[http://www.geodan.nl/uk/project/virtual\\_maquette/HPCfeb05\\_small.wmv](http://www.geodan.nl/uk/project/virtual_maquette/HPCfeb05_small.wmv)

## Cartographie

- Théorie d'Itten sur le choix des couleurs
- Sémiologie graphique de Bertin
- Cartes
  - animées
  - interactives
  - etc.

## Harmonie des couleurs selon Itten

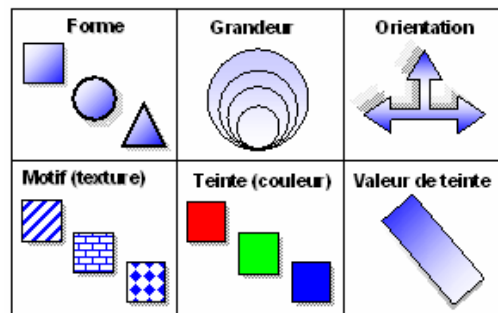


## Symboles des Jeux Olympiques

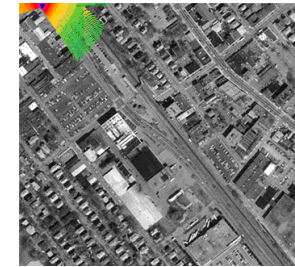


## Variables visuelles de Bertin

### Variables visuelles



## Bruit d'une mobylette



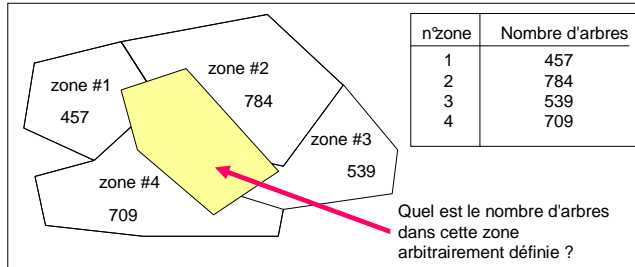
## 1.4 – Requêtes spatiales

- 1.4.1. Exemple de requêtes spatiales
- 1.4.2. Requêtes spatiales élémentaires.
- 1.4.3. Requêtes d'analyse spatiale
- 1.4.4. Requêtes topologiques
- 1.4.5. Conclusion

### 1.4.1. 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 ?

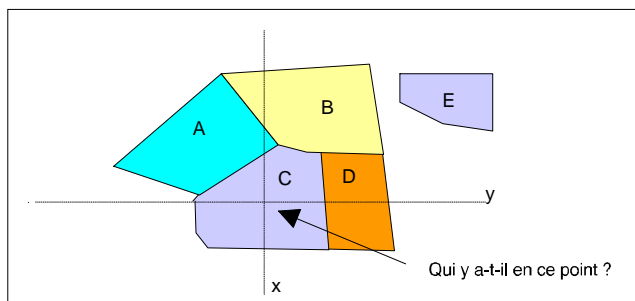
## Exemple de requête spatiale



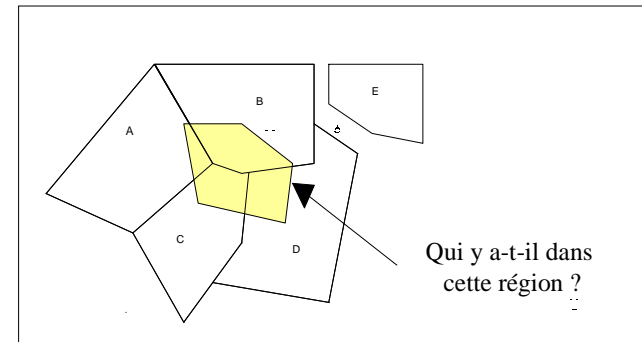
## 1.4.2. Requêtes spatiales élémentaires

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

## Requête ponctuelle

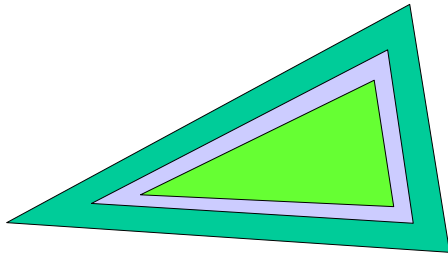


## Requête de région

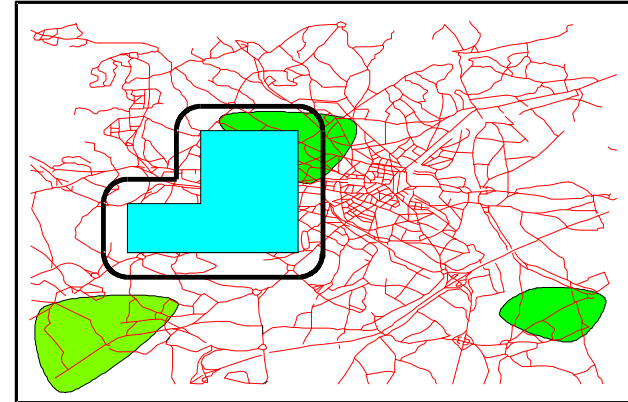




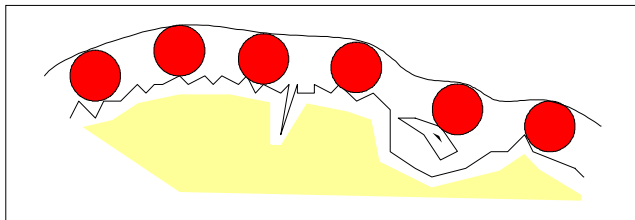
Zone tampon définie à partir de lignes parallèles



Zone tampon



Définition de zone tampon pour un polygone dentelé

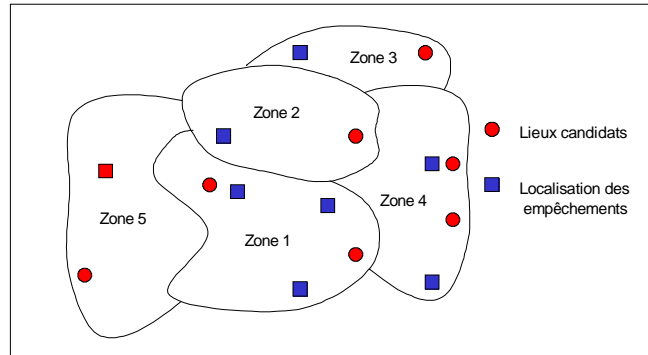


Exemple : délimitation des eaux territoriales

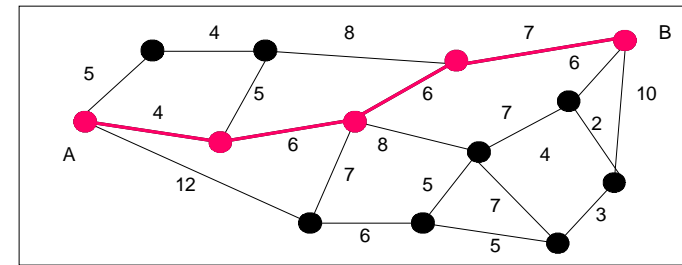
### 1.4.3. Requêtes d'analyse spatiale

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

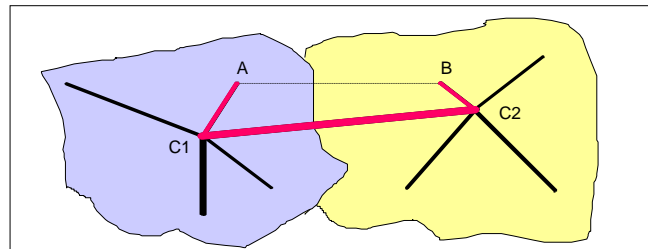
### Implantation d'un nouvel hôpital



### Recherche du plus court chemin dans un graphe

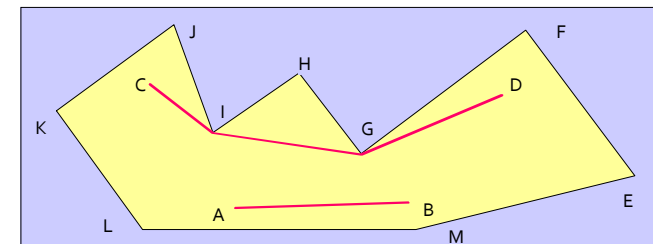


### Chemin dans un graphe hiérarchisé



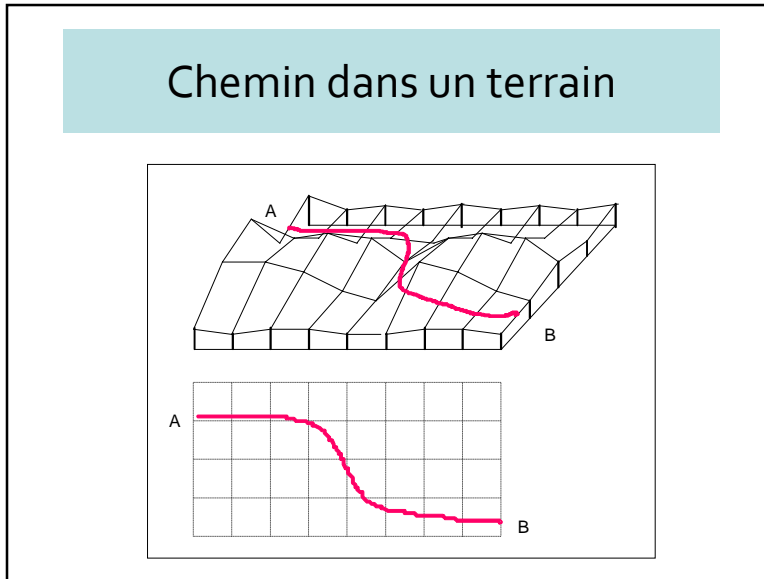
Comment aller de A à B ?

### Chemins minimaux dans un polygone



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





### 1.4.4. Requêtes topologiques

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

### Modèle des 9 intersections d'Egenhofer

The diagram shows two overlapping regions, A and B. Region A is shaded light gray, and region B is shaded dark gray. Labels indicate the interior ( $A^\circ$ ,  $B^\circ$ ), boundary ( $\partial A$ ,  $\partial B$ ), and exterior ( $\neg A$ ,  $\neg B$ ) of each region.

	$B^\circ$	$\partial B$	$\neg B$
$A^\circ$	$A^\circ \cap B^\circ$	$A^\circ \cap \partial B$	$A^\circ \cap \neg B$
$\partial A$	$\partial A \cap B^\circ$	$\partial A \cap \partial B$	$\partial A \cap \neg B$
$\neg A$	$\neg A \cap B^\circ$	$\neg A \cap \partial B$	$\neg A \cap \neg B$

$R(A,B) =$

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

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  $\begin{pmatrix} \neg \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset \\ \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg \emptyset \end{pmatrix}$

### 1.4.5. 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

### 1.5 – Indexation spatiale

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

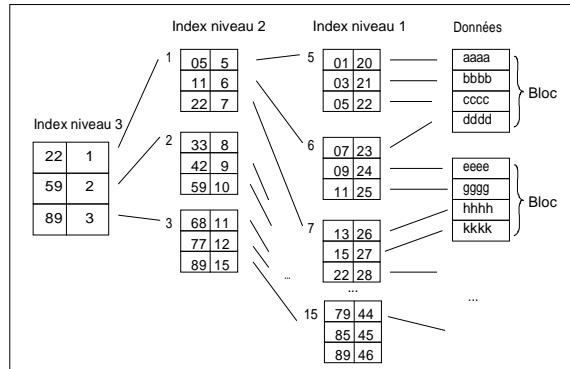
### L'indexation dans les bases de données relationnelles

- 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

Clés	Adresses
....	→
.....	→
.....	→
....	→
.....	→
.....	→
.....	→

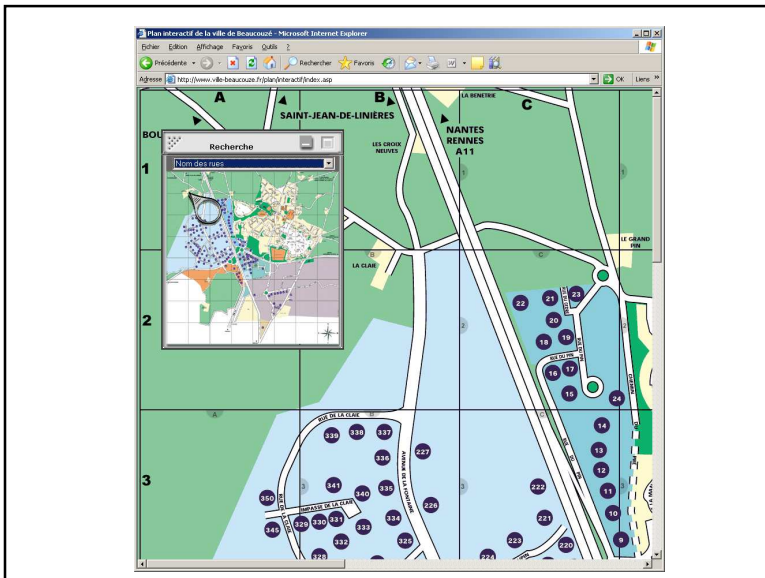
## Hiérarchie d'index



## 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

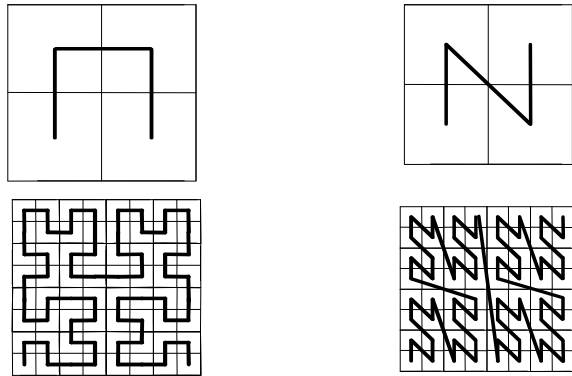
<http://www.ville-beaucouze.fr/plan/interactif/index.asp>



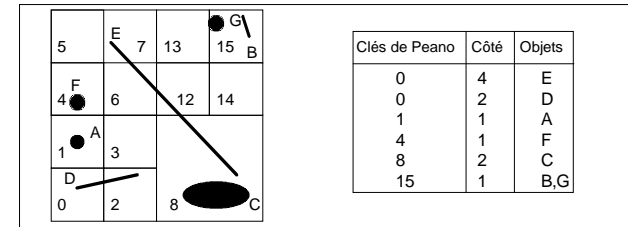
## Indexation par courbes emplissant tout un espace

- 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 (Morton), ou d'Hilbert

## Courbes de Hilbert et de Peano



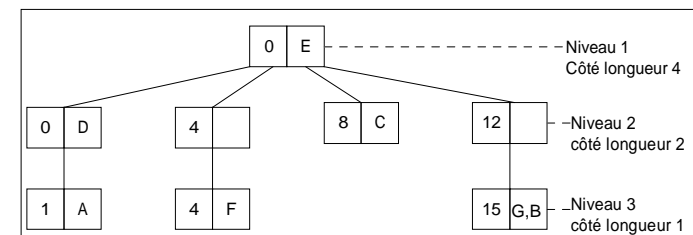
## Exemple d'indexation spatiale pour un petit territoire



## Indexation par quadtree

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

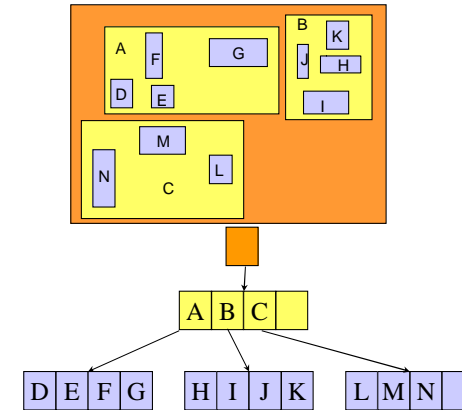
## Exemple d'index spatial organisé avec des quadtrees hiérarchiques



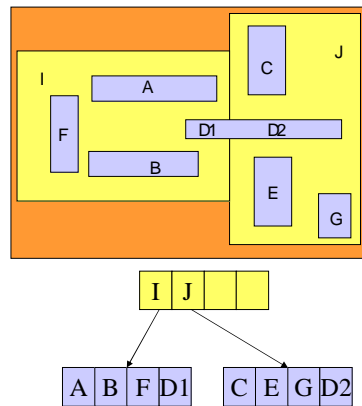
## Indexation par arbres de rectangles

- Arbres de rectangles (r-arbres)
- Arbres améliorés de rectangles (r<sup>+</sup>-arbres)

## Exemple de r-arbre



## Exemple de r<sup>+</sup>-arbre



## Conclusion sur l'indexation spatiale

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

## 1.6 – Aspects juridiques et éthiques

- Existence de lieux sensibles
- Propriétés des données
  - Acquisition, Usage
  - Modèle économique : Gratuit / payant
- Confidentialité
- Responsabilités (qualité)
- Ambivalence
  - Big Brother / participation des citoyens

## 1.7 – 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
  - Systèmes d'information pervasifs