

Systemes d'Information Géographique

Jean-Yves Antoine

Université François Rabelais de Tours

www.info.univ-tours.fr/~antoine



Systemes d'Information Géographique

2. INFORMATION GEOGRAPHIQUE

... et quelques réflexions sur sa représentation informatique

Sommaire

• Introduction : besoins	4
• Localisation	10
• Information géographique	17
• Format Raster	24
• Format vectoriel	27
• Organisation en couches	33
• Représentation du relief	35
• Synthèse	47

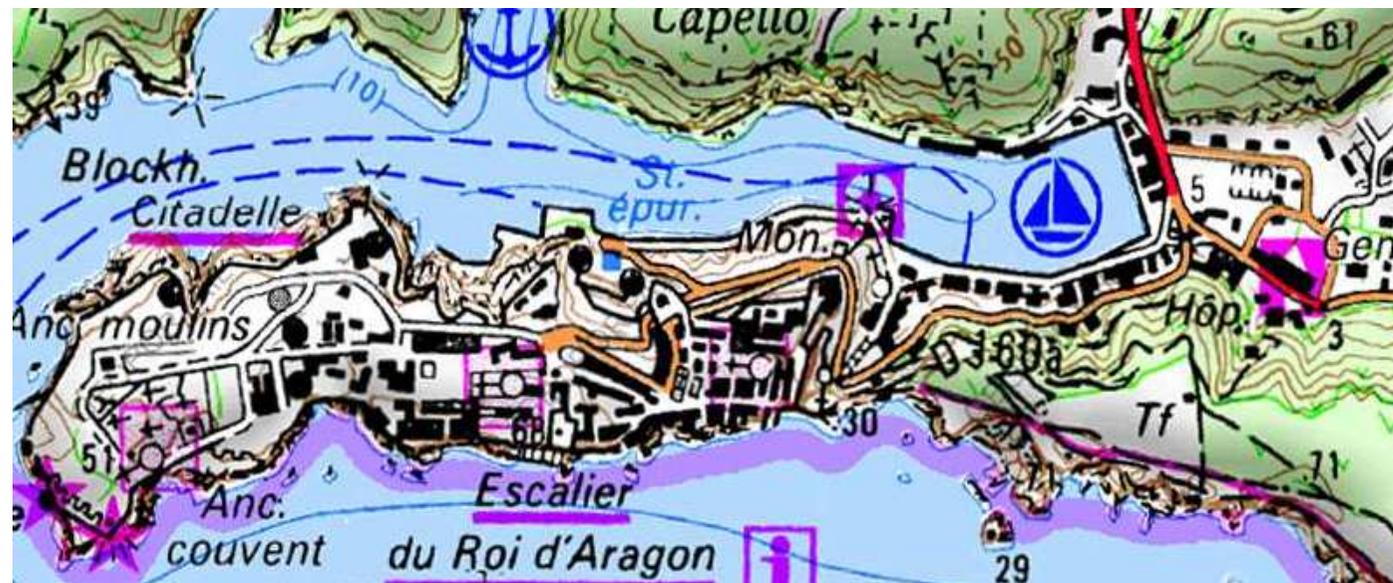
Information géographique : quelques besoins

Acquisition \neq abstraction

Photo
arienne



Carte



Information géographique : quelques besoins

Affichage

Changement d'échelle ≠ simple zoom

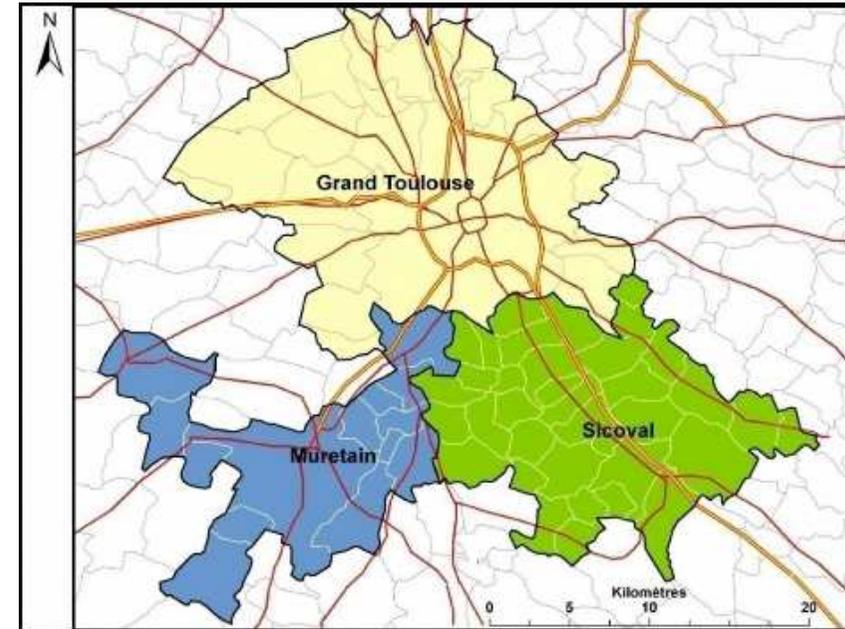
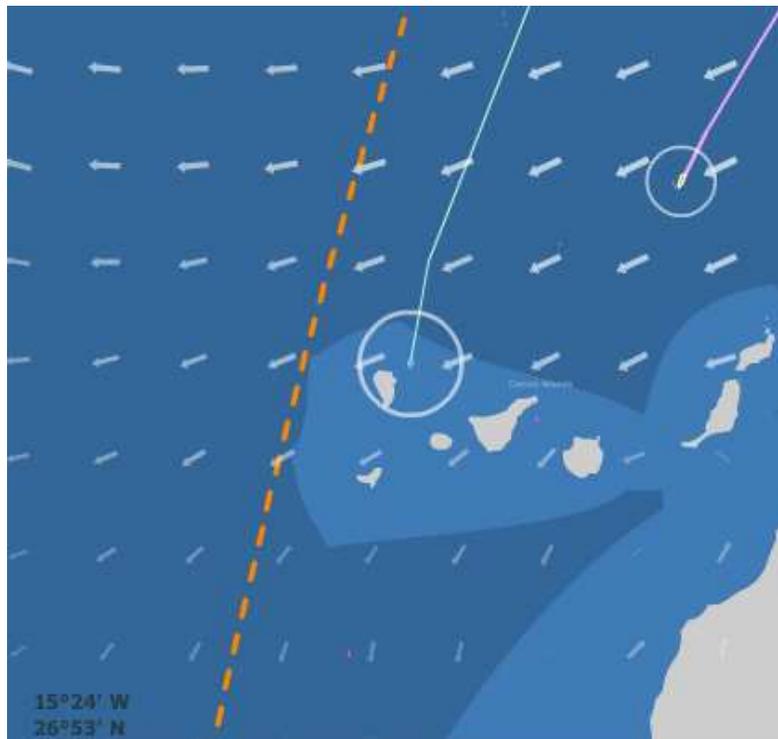


Information géographique : quelques besoins

Analyse : relations topologiques

- Adjacence

Exemple: communautés de communes limitrophes du « Grand Toulouse »



- Intersection

Exemple: la trajectoire de mon voilier va-t-elle me conduire sur une île des Canaries ?

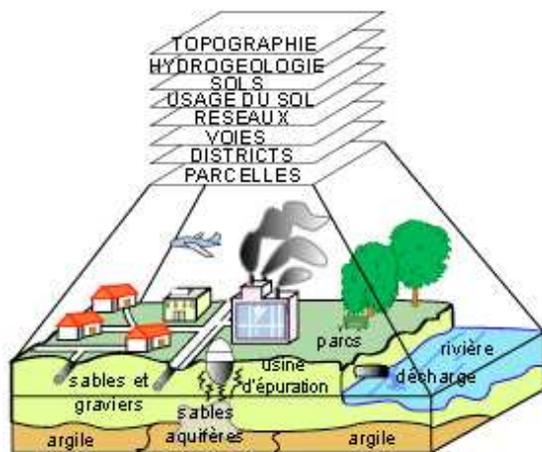
Virtual Regata

15°24' W
26°53' N

Information géographique : quelques besoins

Affichage et analyse : thèmes

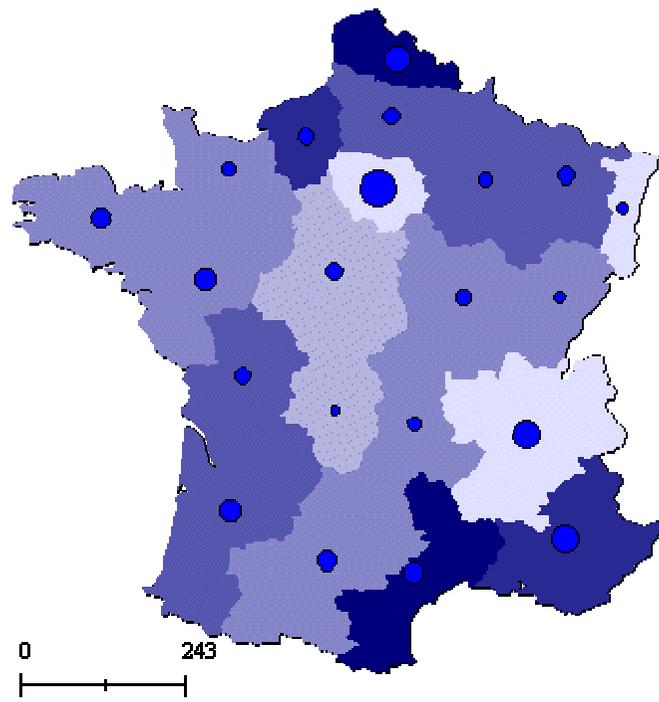
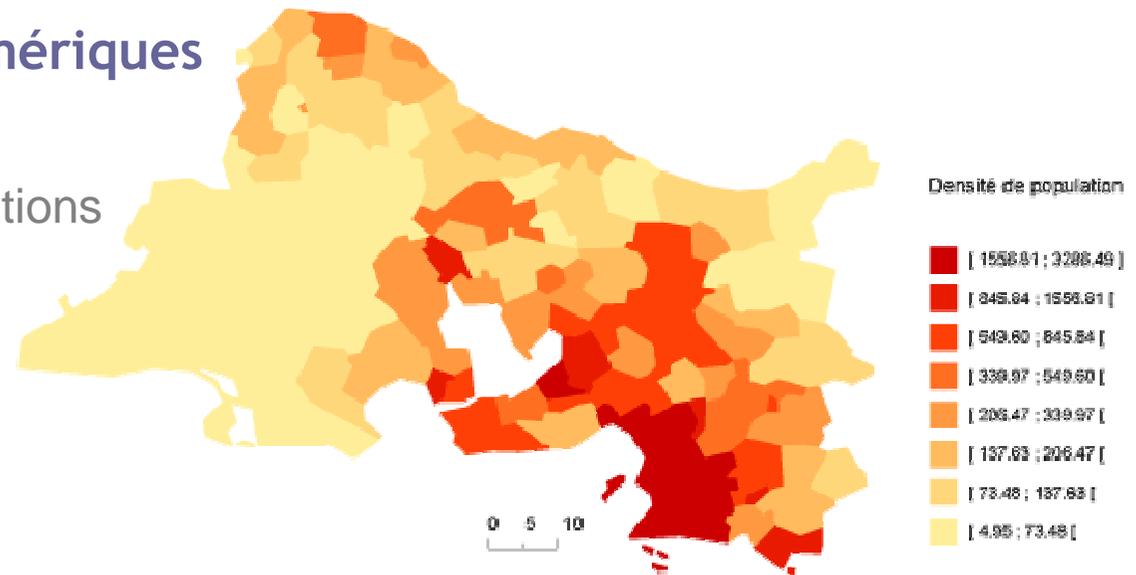
Superposition sur la représentation d'informations relevant de différents thèmes : couches



Information géographique : quelques besoins

Analyse et données numériques

Géolocalisation des informations
d'une base de données



CHOMAGE DES FEMMES

source : cartique France 2003

Taux de chômage

■	[19 ; 21]
■	[17 ; 19]
■	[16 ; 17]
■	[14 ; 16]
■	[13 ; 14]
■	[10 ; 13]

Nombre de chômeurs

●	244965
●	122483
●	61241

Information géographique : quelques besoins

Synthèse

- Localiser un point ou une zone géographique
- Gérer des images mais également des objets géographiques identifiés
- Considérer les relations spatiales entre objets (topologique)
- Lier information et référencement géographique et agréger les informations d'une base de données suivant des critères spatiaux



Information géographique



Représentation numérique

Localisation

Indirecte

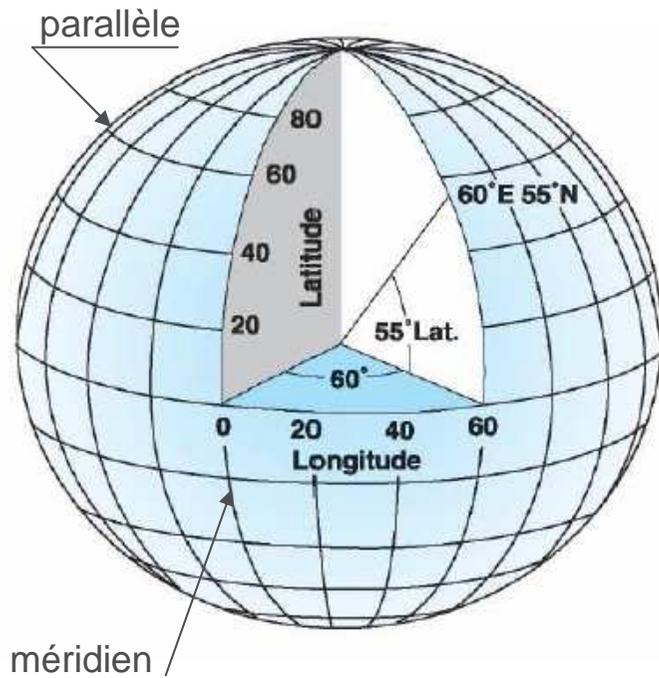
- Référence à un objet déjà géolocalisé

Exemples : code postal, code commune ou zone de référence IRIS (INSEE), parcelle cadastrale, route...

- Lien avec un autre objet de la base
- **Représentation numérique**: table BD Relationnelle



IRIS-2000 : Paris



Directe

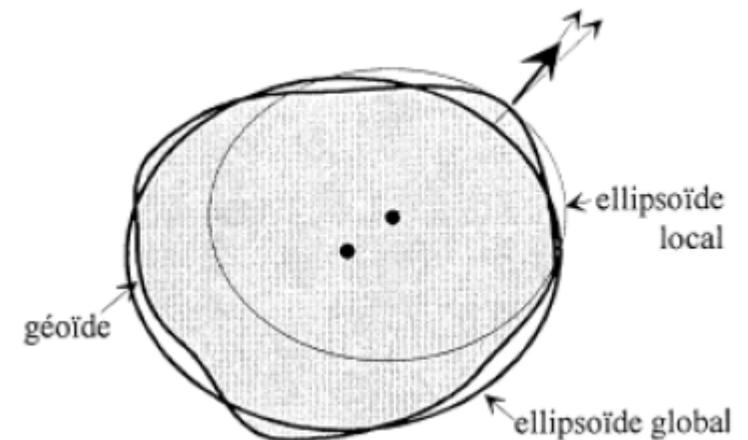
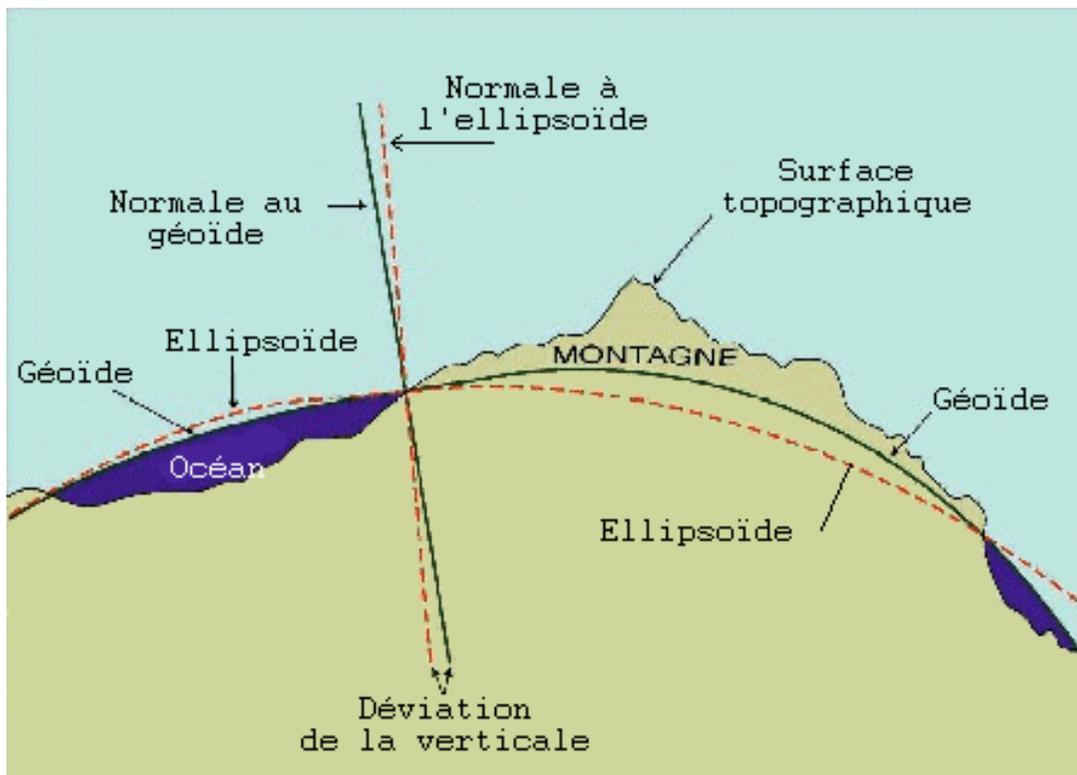
Position sur l'ellipsoïde géodésique modélisant la Terre : $O_{\lambda, \varphi, H}$

- Coordonnée géographique (longitude, latitude): λ, φ
- Altitude H
- **Représentation** : paire $[\lambda, \varphi]$ voire triplet $[\lambda, \varphi, H]$

Localisation

Altitude

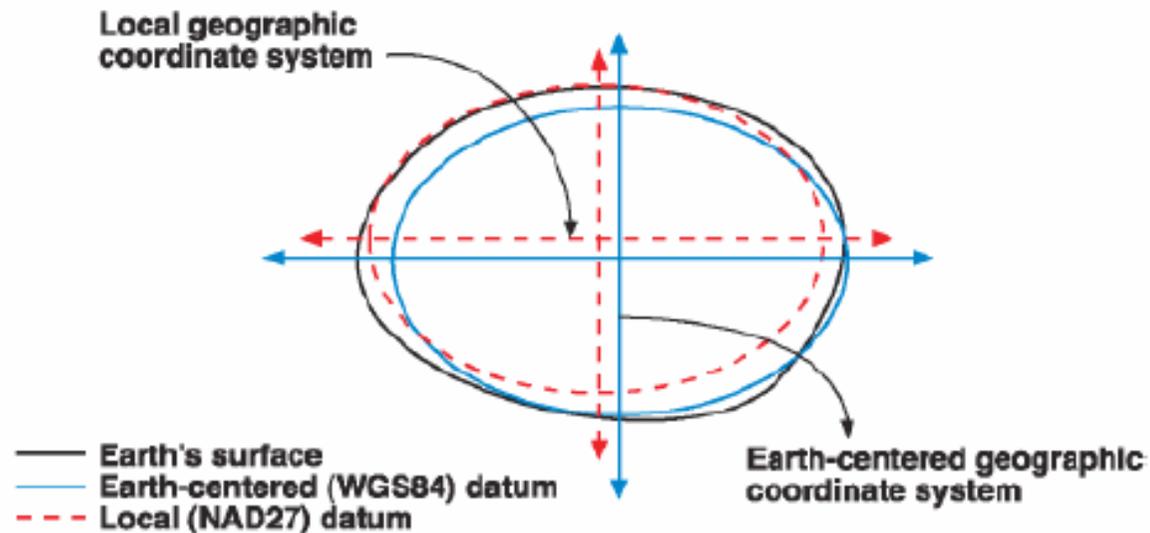
- **Altitude** \neq distance par rapport au centre de l'ellipsoïde
- **Géοïde** : surface équipotentielle du champ de pesanteur terrestre, très proche de la surface moyenne de la mer \neq **ellipsoïde** (abstraction mathématique)
- **Altitude** = distance au géοïde tel que défini au niveau de la mer



Localisation

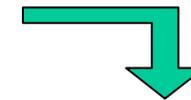
Système de référence géodésique : datum

Définit la position de l'ellipsoïde de référence par rapport au centre de la terre : cela permet de cadrer le géo-référencement entre différents référentiels locaux



Positionnement par satellite (GPS) : positionnement sans recours à un ellipsoïde géodésique.

Exemple : RGF93 (Référentiel Géodésique Français)
WGS 1984 (World Geodetic System)

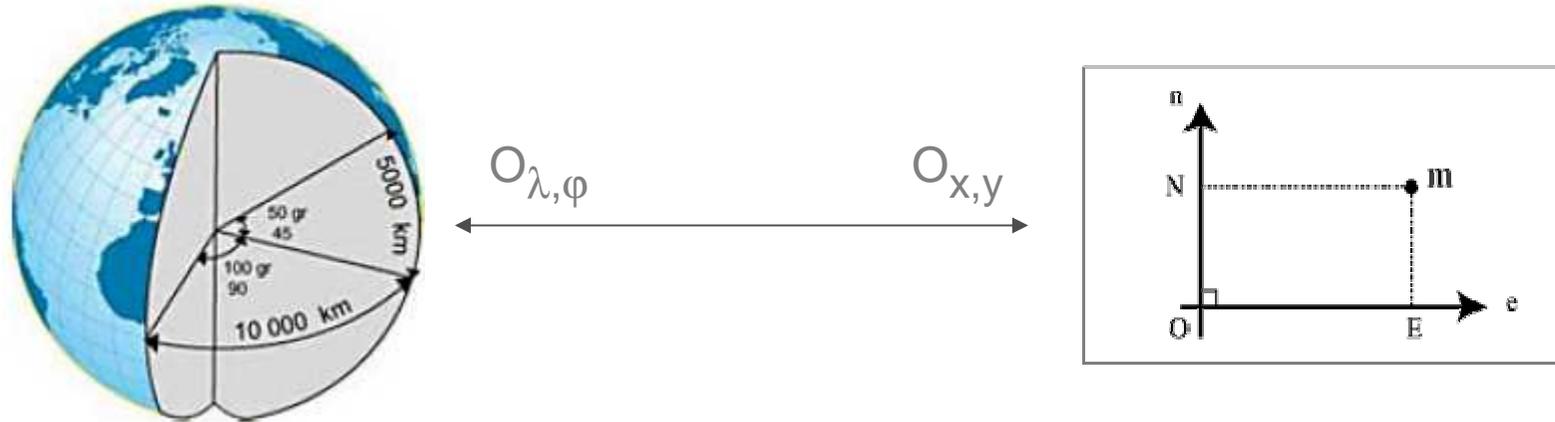


ITRF (International Terrestrial Reference System) <http://itrf.ensg.ign.fr>

Localisation et représentation cartographique

Projections

Problème : représenter sur une image 2D un espace géographique 3D



Projection conforme

Objectif : conserver les angles et directions :

Problème : déformations entraînant une modification des proportions

Projection équivalente

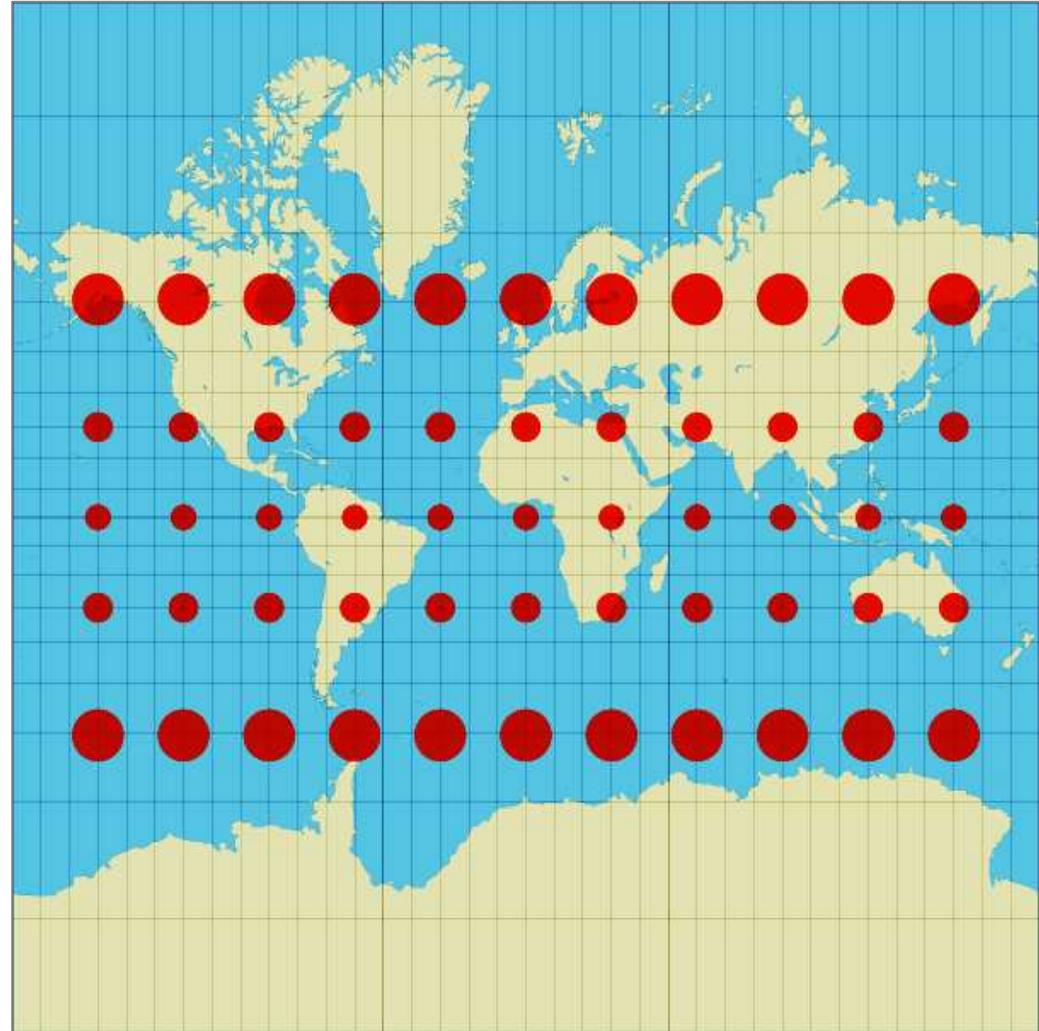
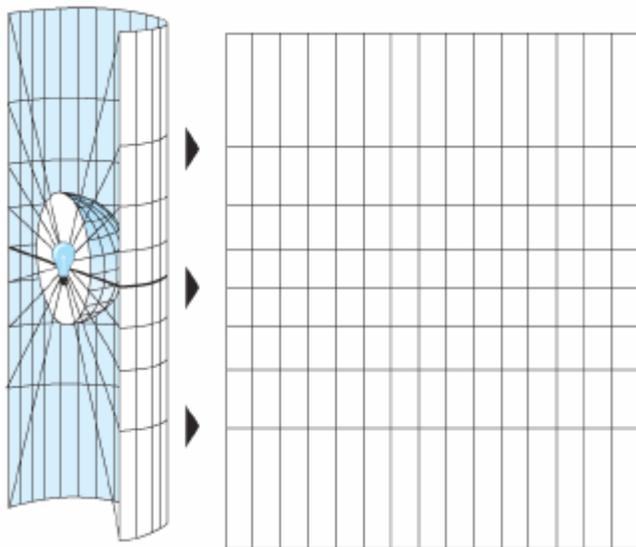
Objectif : conserver les surfaces et proportions

Problème : déformation entraînant une modification des angles

Localisation et représentation cartographique

Projection de Mercator

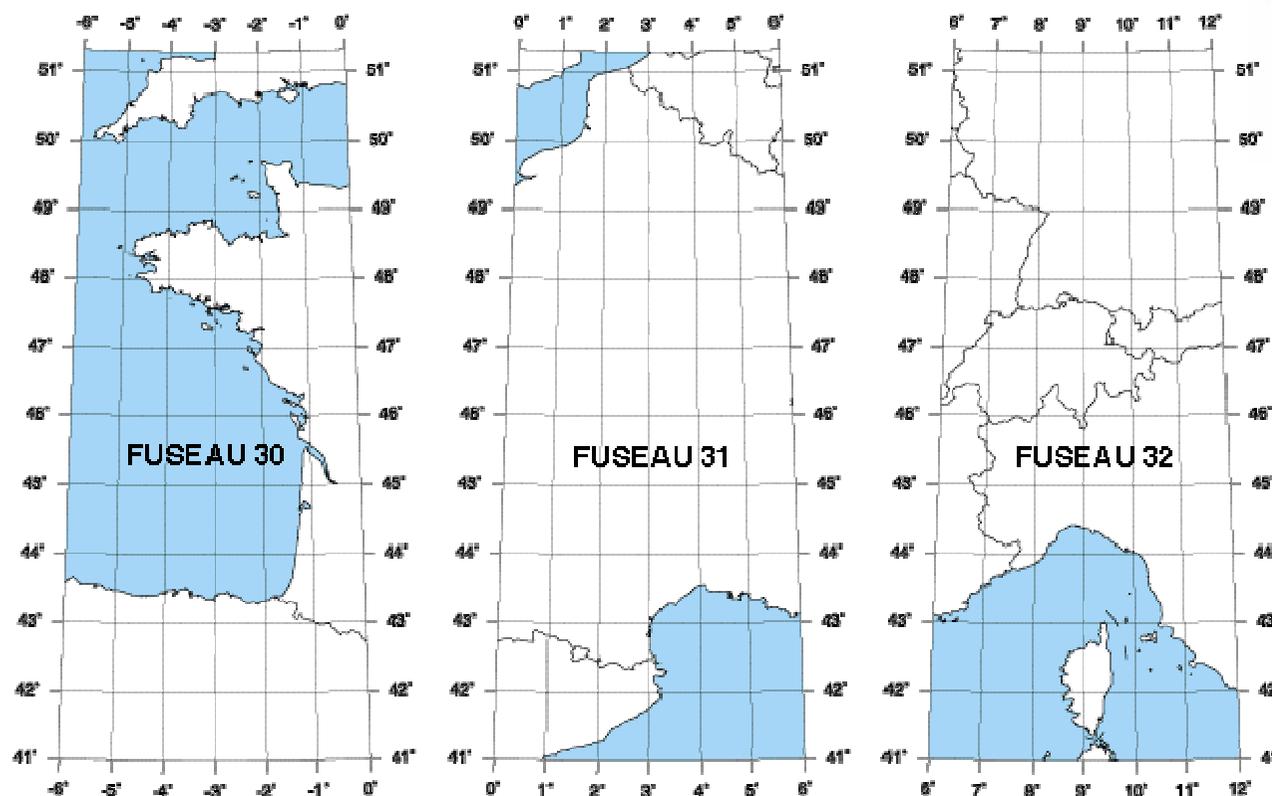
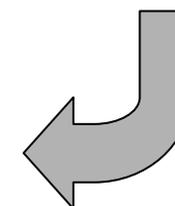
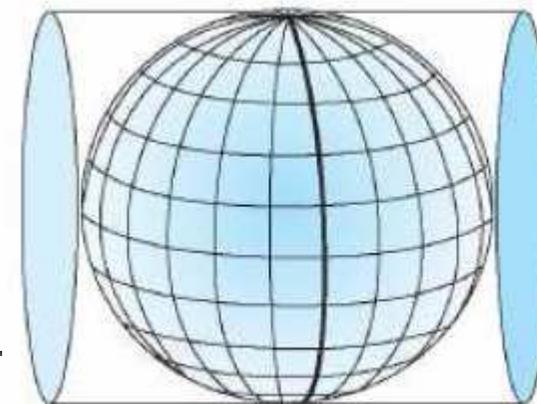
Projection cylindrique conforme



Localisation et représentation cartographique

Système UTM (Universal Transverse Mercator)

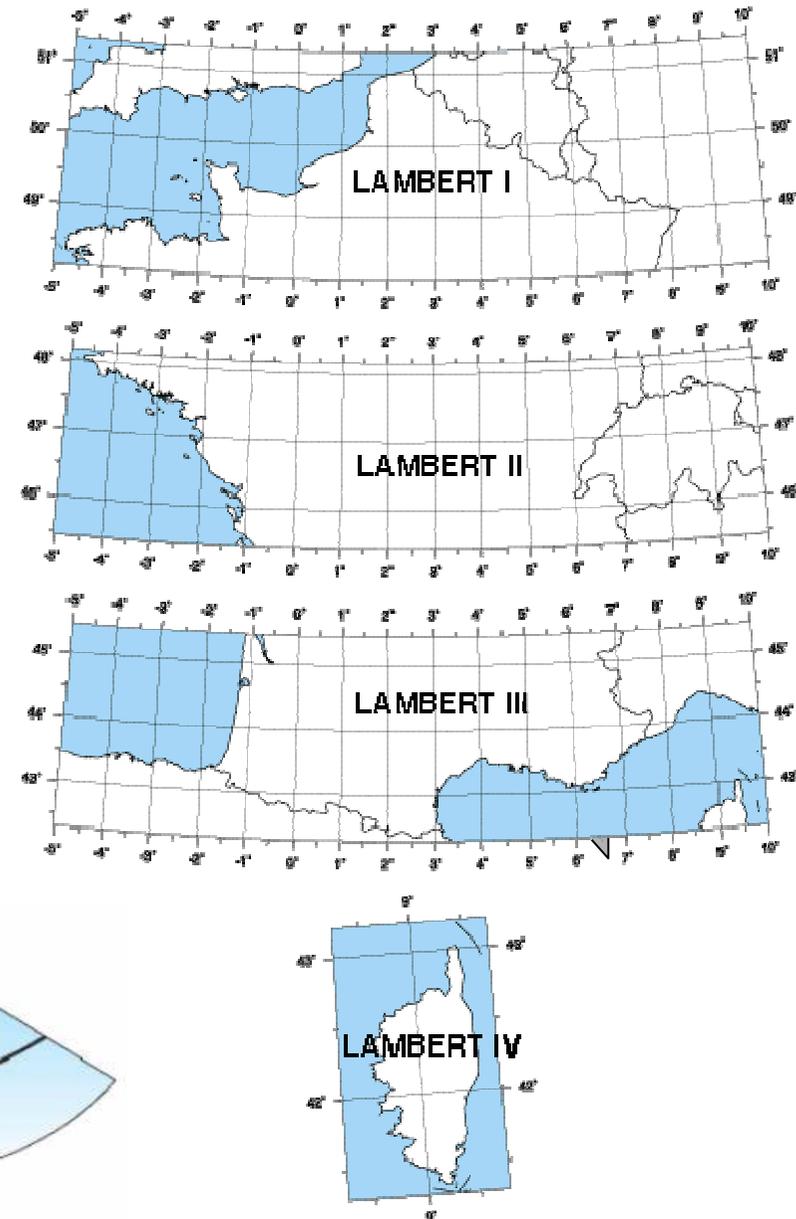
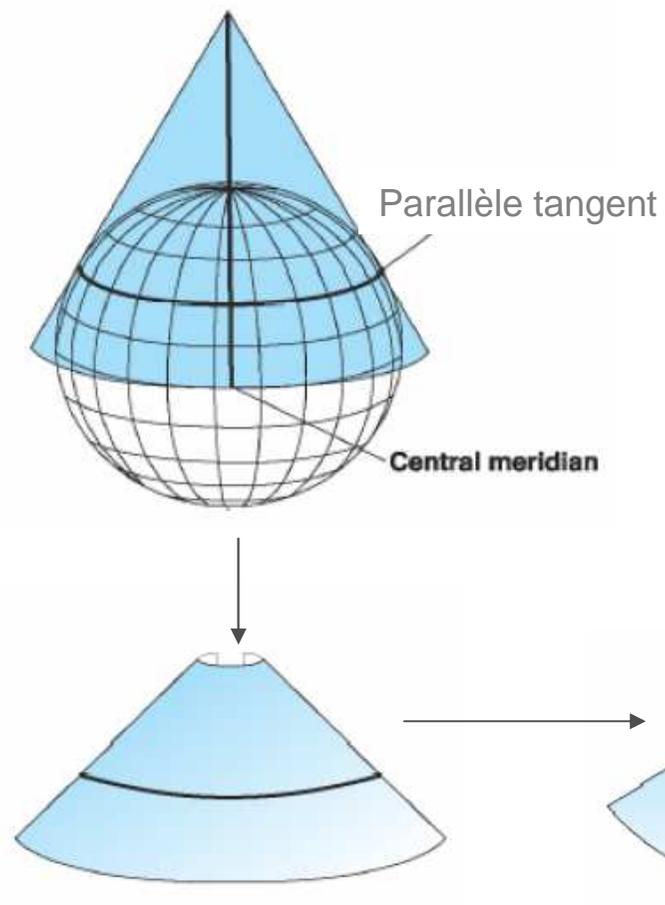
Projection cylindrique transverse conforme



Localisation et représentation cartographique

Système Lambert

- Projection conique tangente conforme
- Basé sur le référentiel RGF93



Information géographique

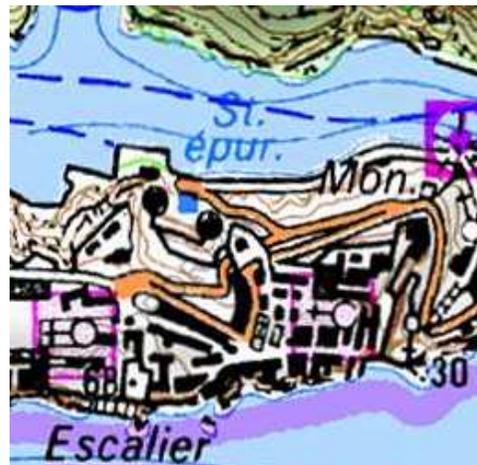
Types de données

Données Géographiques



Id	Nom	Pop
2A041	Bonifacio	2658
2A065	Cargèse	982
2B033	Bastia	42900
2A004	Ajaccio	52880

BD / Texte
Sémantique
sans géométrie



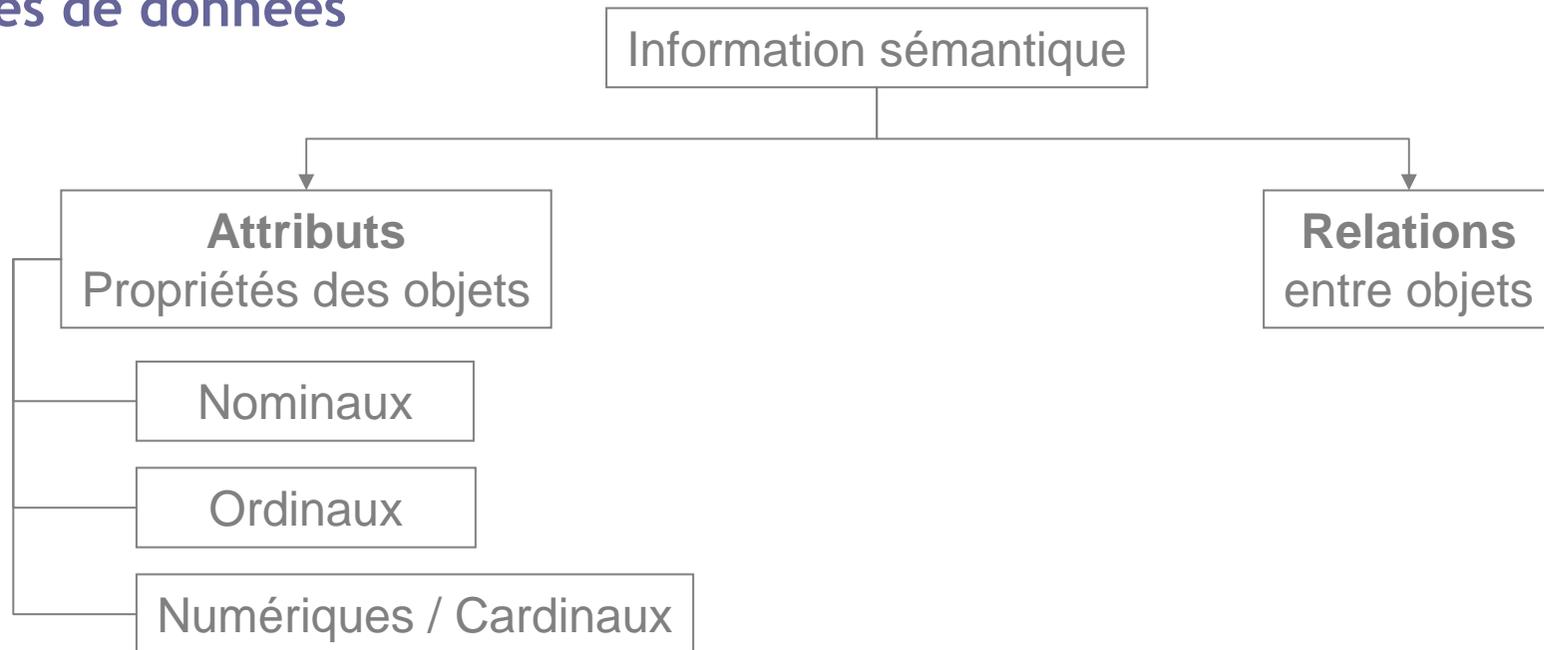
Carte
Sémantique
et géométrie



Image
Géométrie sans
sémantique

Information géographique : sémantique

Types de données



Données attributaires

- **Toponymes** : données nominales (*Paris, Loire, Mont Blanc...*)
- **Données ordinales** : importance d'un objet géographique suivant un critère
- **Données numériques** : valeurs, intervalles, ratios...

Données relatives

- Multiples relations entre objets : «*est chef-lieu de*», «*permet de franchir*» etc...

Information géographique : sémantique

Information sémantique : organisation

- **Base de données relationnelle** : tables avec données attributaires ou relatives sur les objets géo-référencés.
- Importance de la modélisation de cette BD sémantique : souvent, les données sémantiques sont plus volumineuses que les données géographiques.

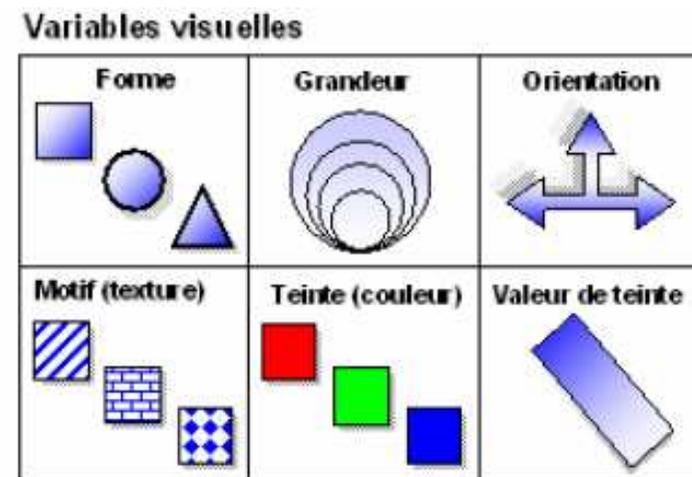
Id	Nom	Pop
2A041	Bonifacio	2658



Id	Long	Lat
2A041	9°20' E	41°15'N

Rendu visuel : sémiologie graphique

- **Légende** d'une carte : signification des symboles utilisés
- Construction des symboles à partir de primitives graphiques



Information géographique

Sémiologie graphique

Données ordinales

Point	Aéroports international national régional	Production de puits de pétrole élevée moyenne faible	Lieux habités grand moyen petit
Ligne	Routes autoroute principale locale	Hydrographie rivière cours d'eau ruisseau	Limites internationale provinciale comté
Supertficie	Qualité des sols bonne moyenne pauvre	Coût de la vie élevé moyen faible	Régions industrielles importante moins importante

Données nominales

Point	aéroport 	ville 	mine 	capitale
Ligne	rivière 	route 	limite 	pipeline
Supertficie	verger 	désert 	forêt 	eau

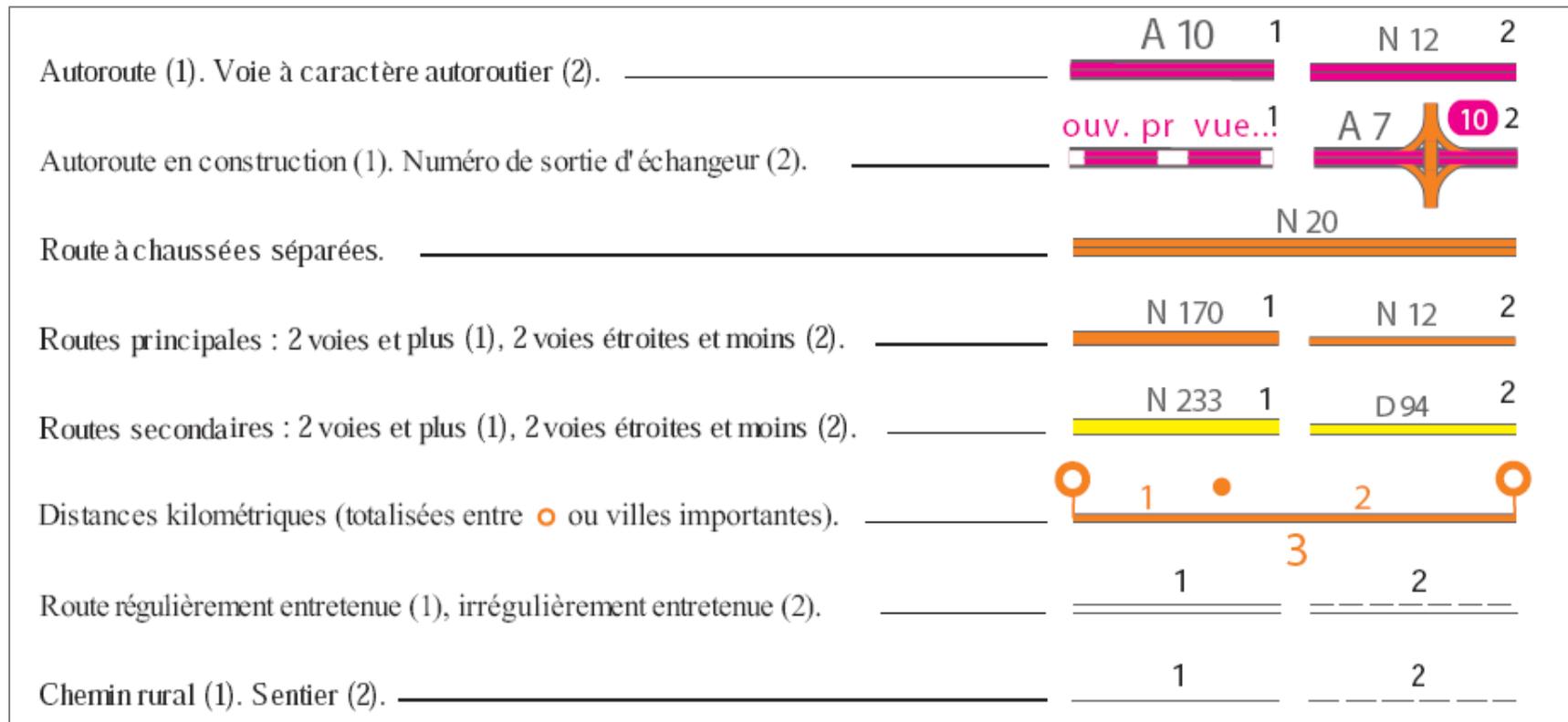
Données: intervalles et ratios

Point	Résultats d'élection % de votes 	Production de minerai <p>tonnes</p> <p>1 000 500 250 100</p>	Lieux habités <p>50 - 80 10 - 49 1 - 9</p>
Ligne	Routes: capac. charge <p>plus de 10 tonnes 5 à 10 tonnes</p>	Écoulement fluvial <p>1 500 1 000 500 0</p>	Altitude <p>80 40 20</p>
Surface	Précipitation <p>25 20 15 10 0 cm.</p>	Altitude <p>400 mètres 300 200 100 0 niveau de la mer</p>	Densité de la population <p>Personnes / km²</p> <p>50 - 80 10 - 49 1 - 9</p>

Information géographique

Sémiologie graphique

Exemple de données ordinales IGN carte touristique 1/100000°



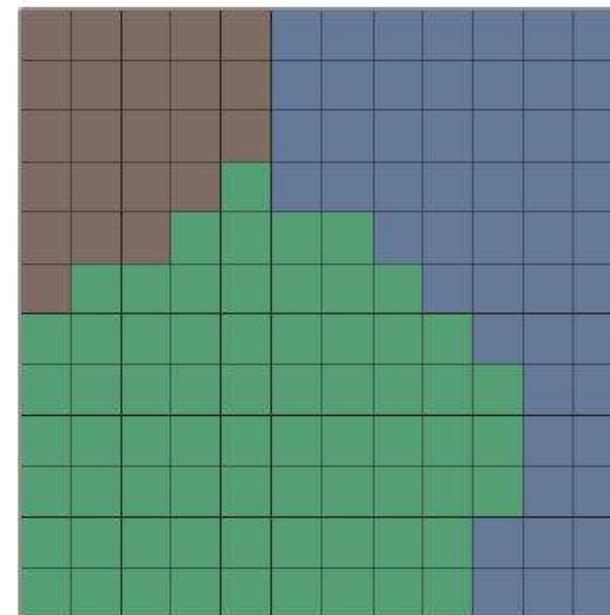
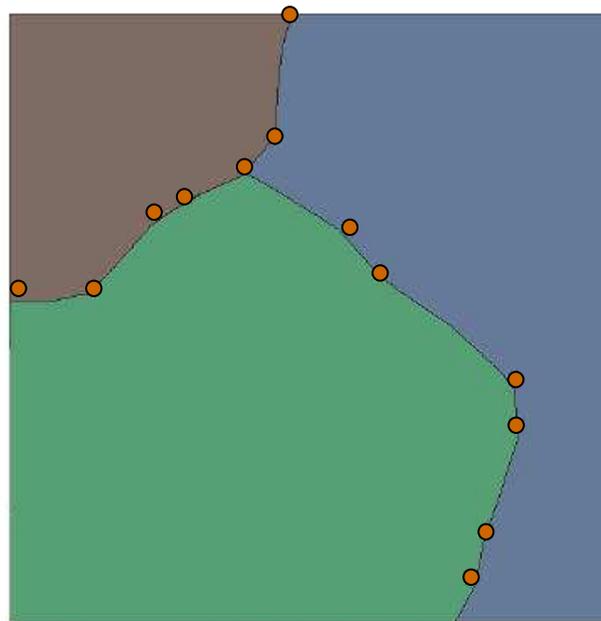
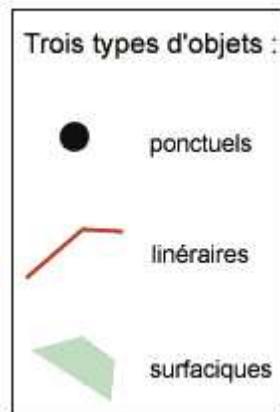
Information géographique

Géomatique : information géographique numérique

Deux formats de représentation géométrique

Vectorel : objets définis par des points

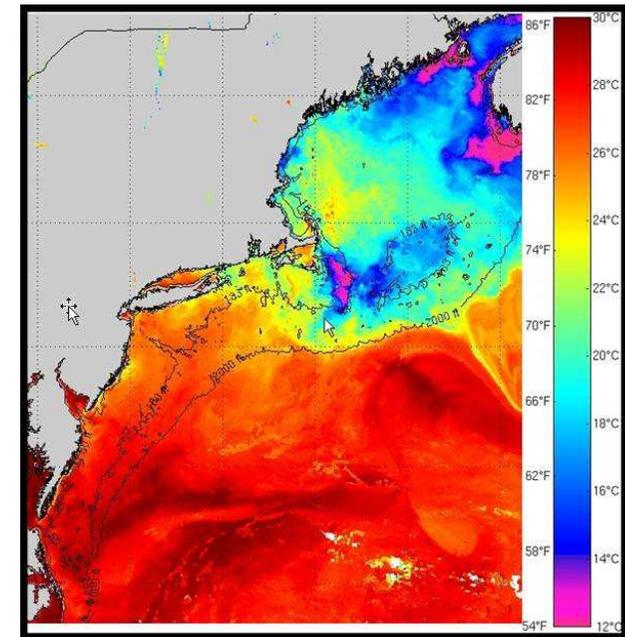
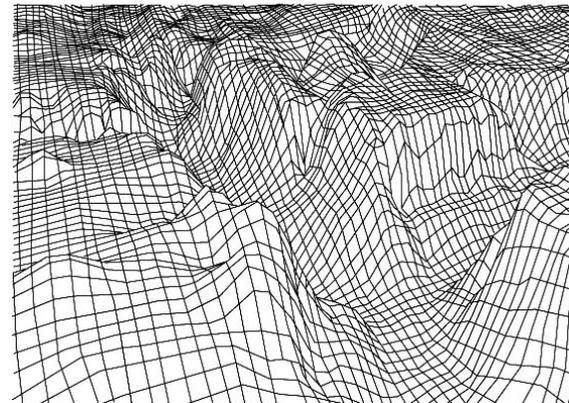
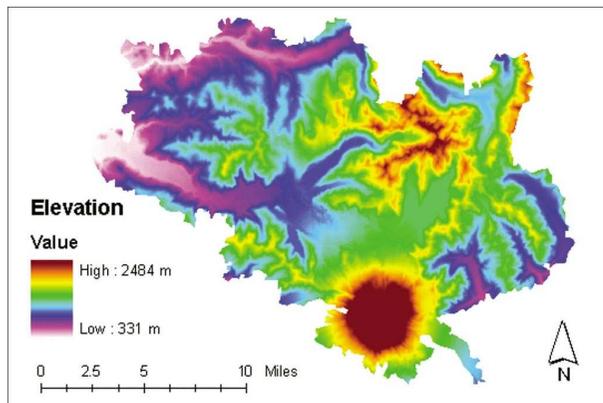
Raster : espace décrit par un maillage de points



Information géographique

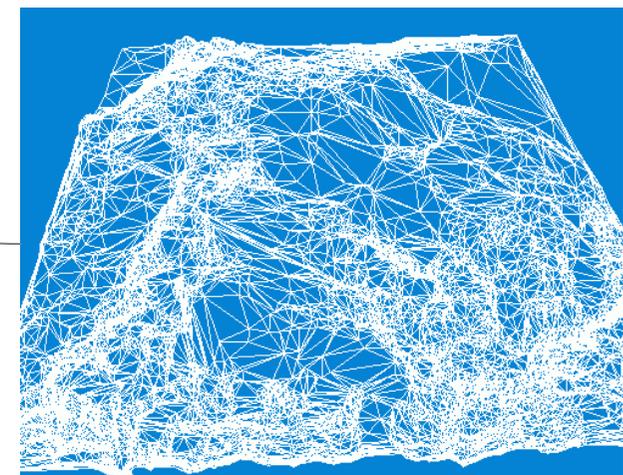
Format Raster

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



Format Vectoriel

- Cartes 2D
- Modèle vectoriel de relief (TIN = *Triangulated Irregular Network*)
- Information **discrète** (exemple : population ville)



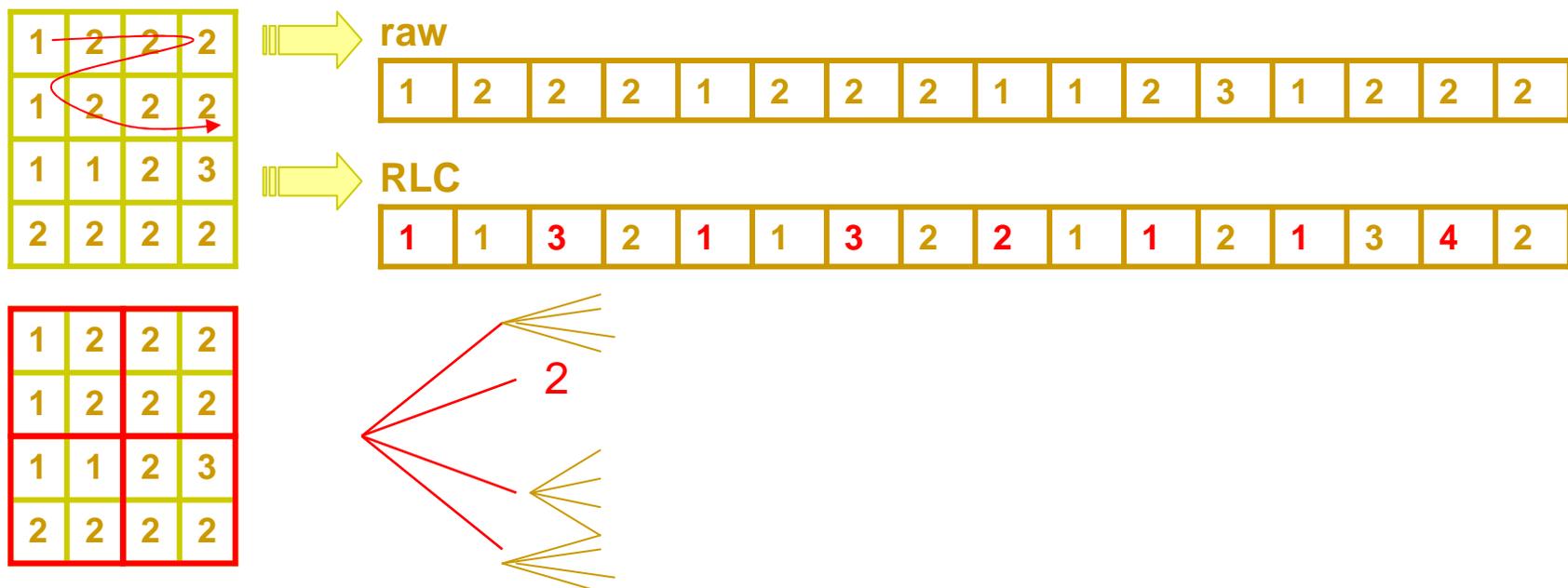
Format raster

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...)

Codage numérique

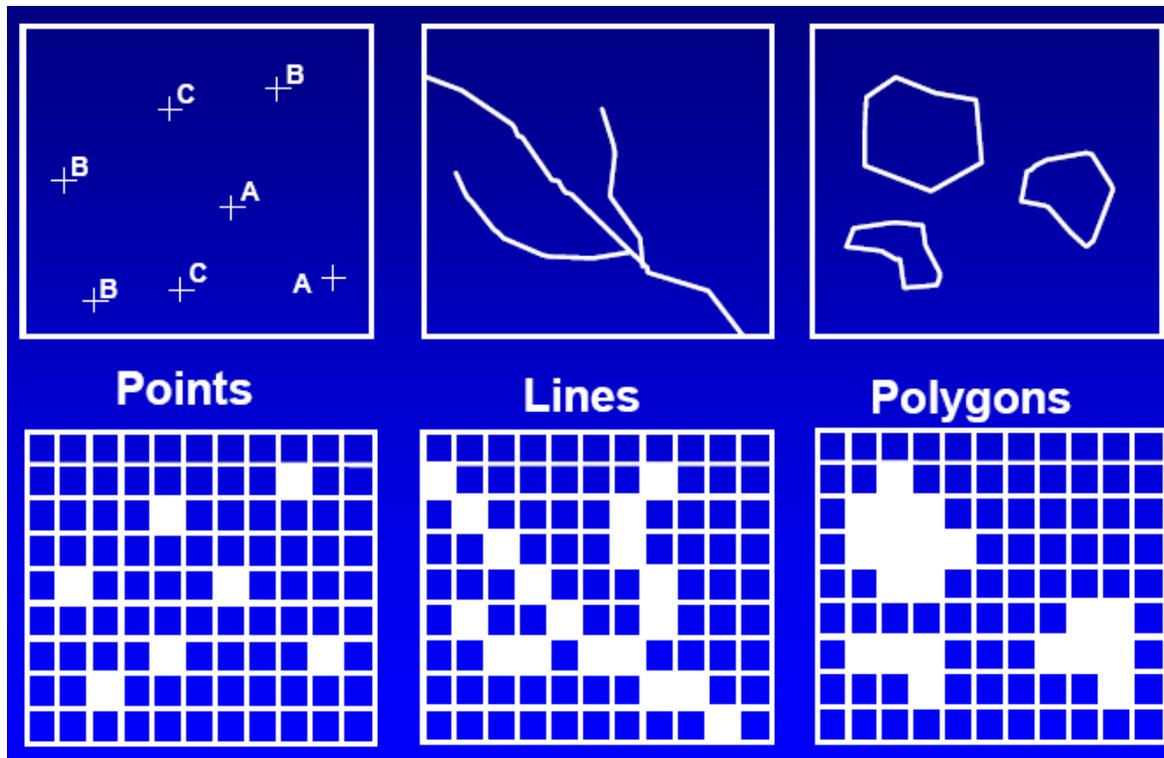
On retrouve les codages images : suite brute des valeurs pixels (*raw*) ou compression basique (*RLC* : *Run Length Code*) ou plus complexe (*QuadTree*)



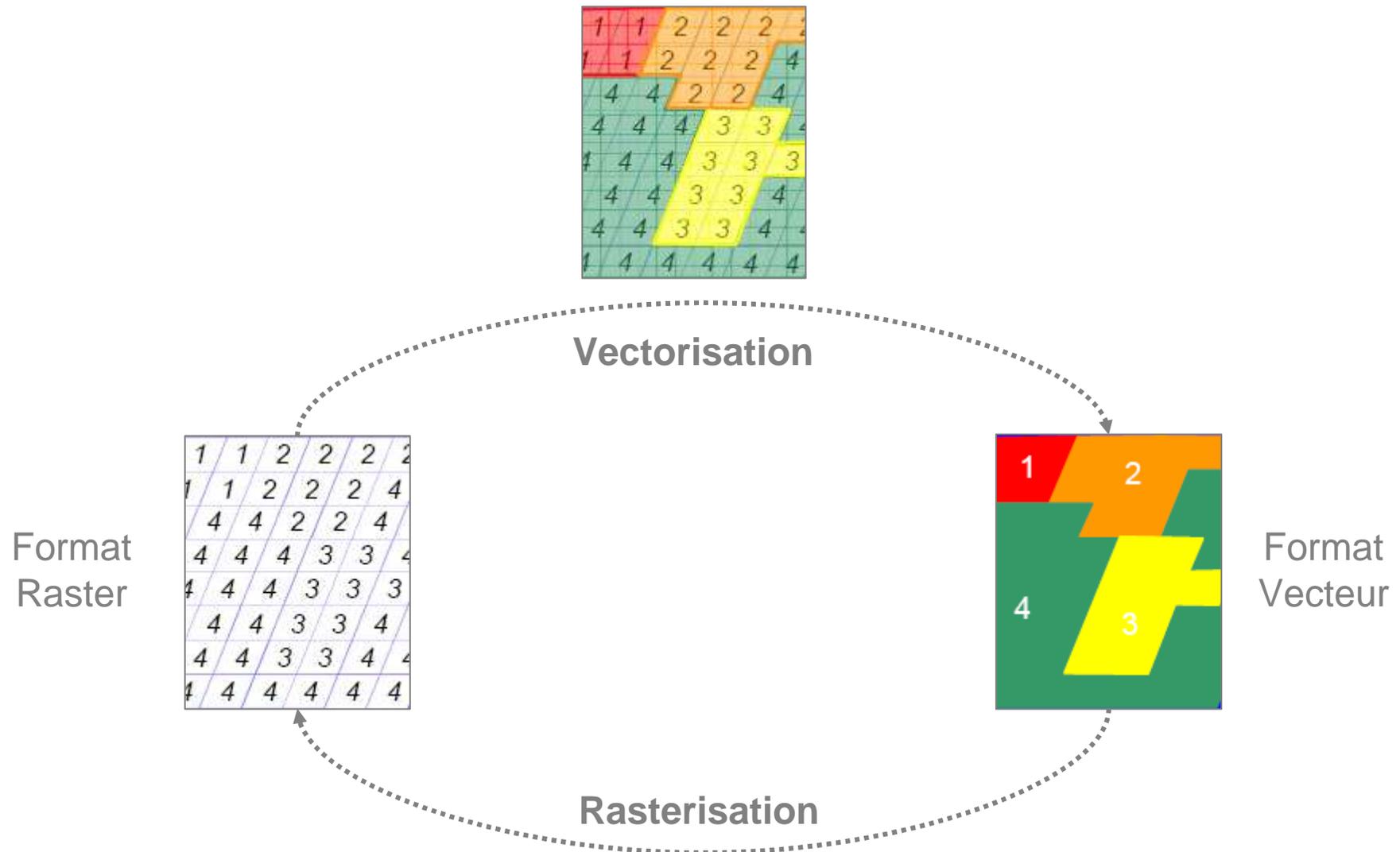
Format raster

Objets géographique

- Les objets géographique 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



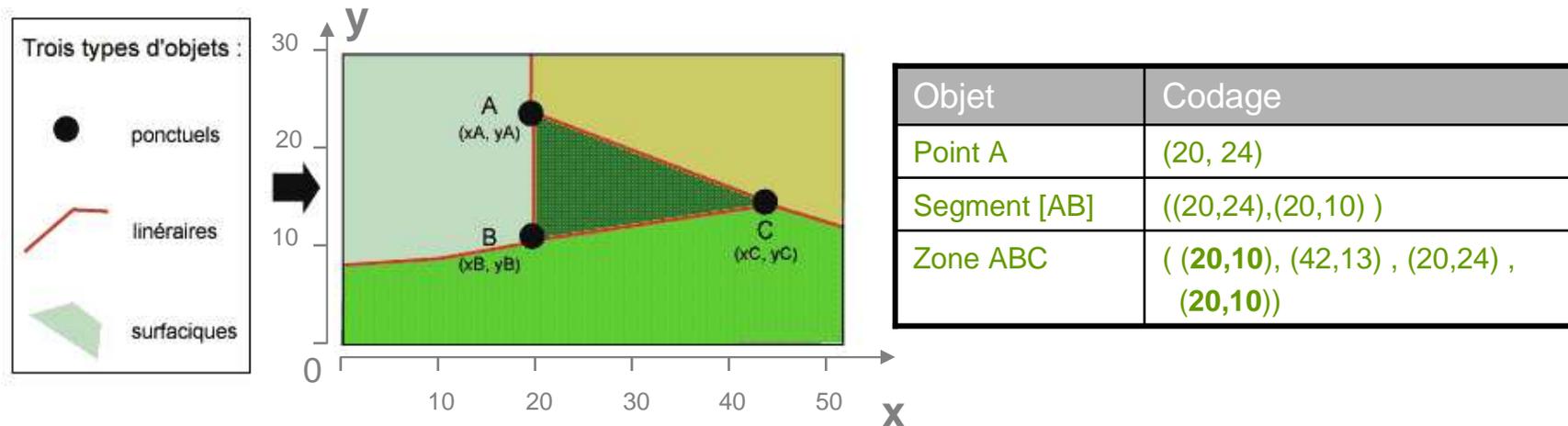
Format raster



Format vectoriel

Principe

- Information géographique intégralement représentée sous forme d'objets
- Trois types d'objets : point, ligne, zone (surface)



Codage numérique

- **Point** – Paire $[x,y]$ de coordonnées géographiques
- **Ligne** – Liste de points remarquables (polyligne ou mixiligne [Bartells et al. 87])
- **Zone** – Définie par sa frontière (polygone simple : ligne fermée)

Points remarquables \Leftrightarrow modèle spaghetti ou modèle topologique

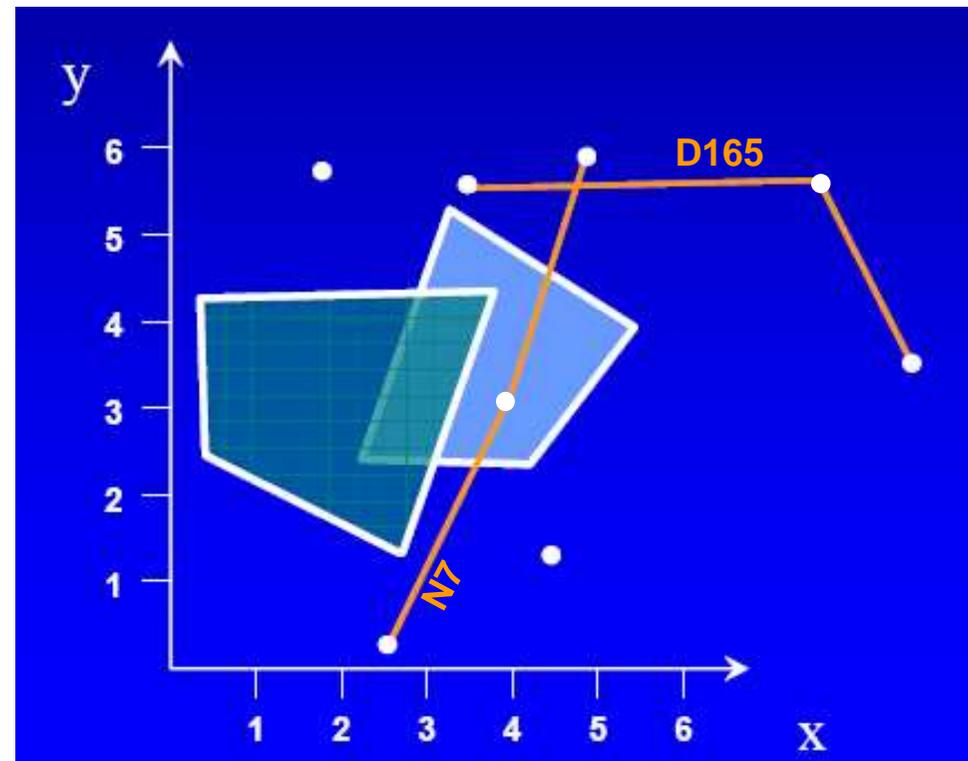
Format vectoriel

Modèle spaghetti

- **Points remarquables** : extrémités des segments de droite uniquement
- **Conséquence**
 - objets considérés isolément
 - pas de codage des relations topologiques

Exemple : La D165 et la N7 se croisent-elles ?

Objet	Codage
D165	((3, 5.5), (7.5, 5.5), (8.5, 4))
N7	((2.5, 0.25), (4, 3), (5, 6))



Format vectoriel

Modèle topologique

- **Points remarquables** : extrémités des segments de droite + **intersections**
- **Conséquence** : représentation explicite des relations topologiques

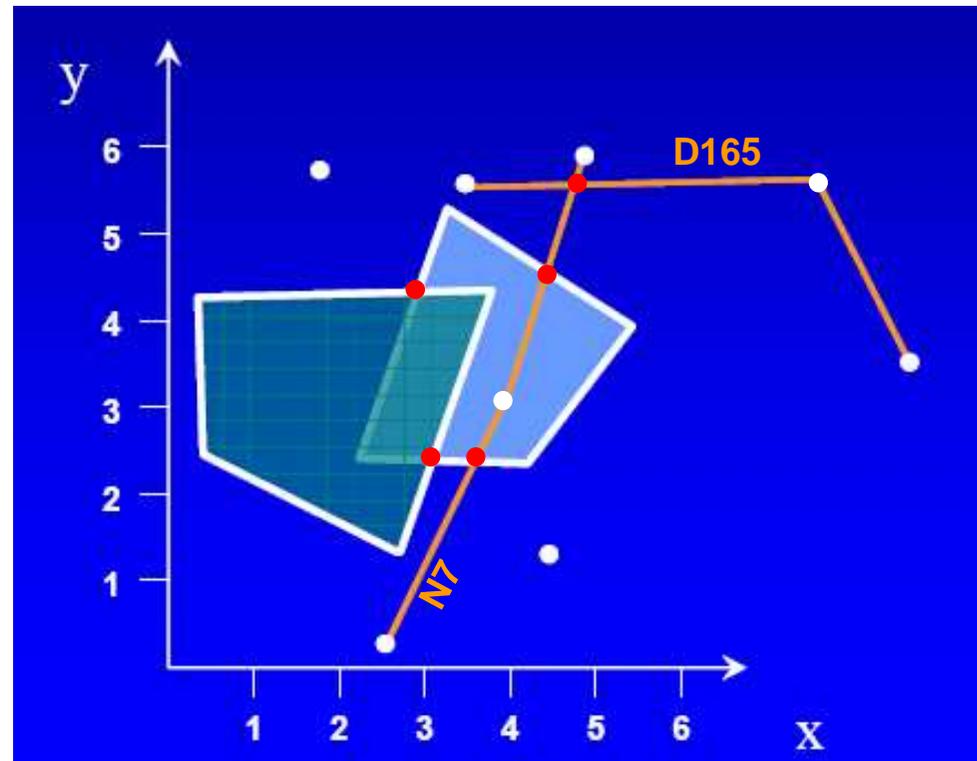
Codage

Première idée : simple ajout des points d'intersection au modèle spaghetti

Exemple: La D165 et la N7 se croisent-elles ?

Objet	Codage
D165	((3, 5.5), (4.75, 5.5) , (7.5, 5.5), (8.5, 4))
N7	((2.5, 0.25), (3.5, 2.5), (4, 3), (4.5, 4.5), (4.75, 5.5) , (5, 6))

Exemple – Quelles sont les zones adjacentes ?



Format vectoriel

Modèle topologique : codage réel

- **Structuration hiérarchique de données** – les arcs (segments) sont codés à partir des points, puis les polygones à partir des arcs.
- **Codage explicite des principales relations topologiques** :
 - Relation point-arc : « *a pour sommet initial* », « *a pour sommet final* »
 - Relation arc-zone : « *a pour zone gauche* », « *a pour zone droite* »
 - Relations point-zone : « *est inclus dans* »

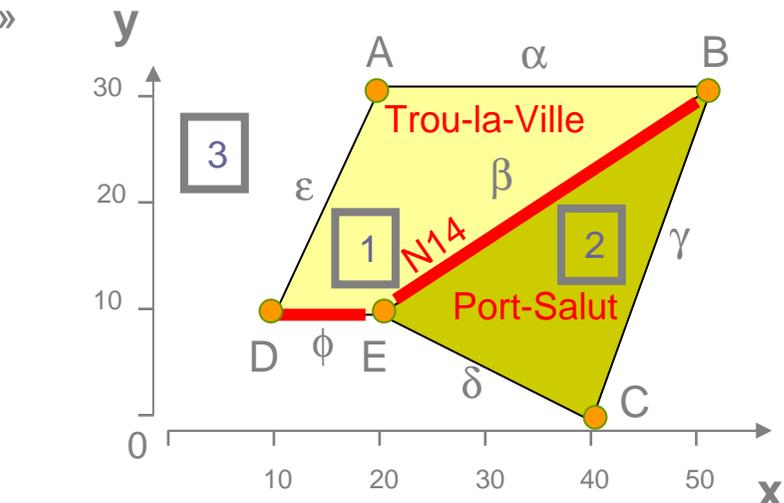
Objet point	Codage
A	(20,30)
...	...

Objet arc	Codage
α	(A,B)
β	(B,E)

Objet zone	Codage
1	($\alpha, \beta, \phi, \epsilon$)
2	(β, δ, γ)

A gauche	A droite
3	1
1	2

Inclus
F



Element géographique	Objet
N14	(β, ϕ)
Port-Salut	(2)


 Localisation

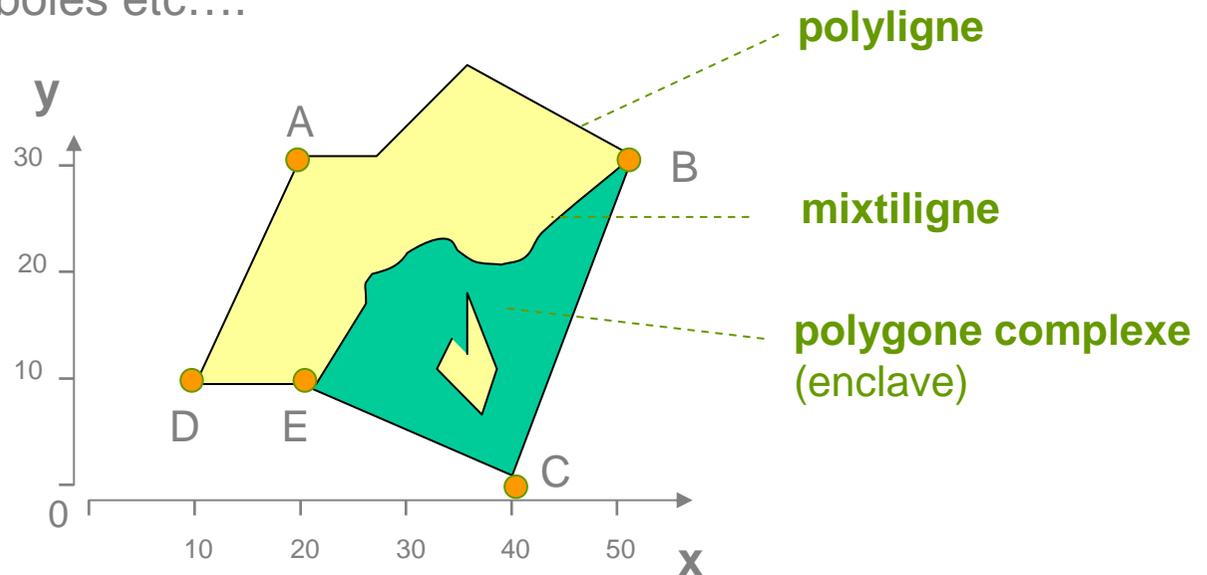
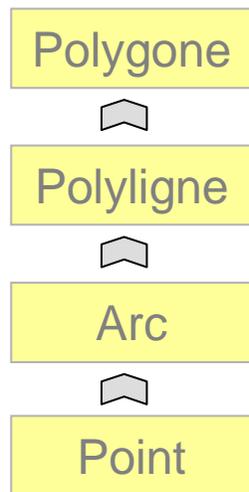

 Topologie


 Géo-référencement de la BD

Format vectoriel (modèle topologique)

Polylignes et mixtilignes

- **Polyligne** – un segment peut correspondre à une suite d'arcs rectilignes.
- **Mixtiligne** – un segments peut comporter des courbes approximées par des arcs de cercle, des paraboles etc....



Pavage polygonal de l'espace

- **Polygones complexes** – zones avec îles ou segments : représentation par plusieurs suites de segments frontières
- **Tessellation** – Pavage complet de l'espace par des polygones (zones administratives par exemple)

Format vectoriel

Modèle spaghetti

- Structure de données plus simple
- Manipulation graphiques de base bien gérées
- Calcul nécessaire des relations topologiques



Modèle topologique

- La représentation code déjà les relations topologiques
- Pas de redondance de l'information (exemple : un arc n'est codé qu'une fois)
- Structure de données plus complexes
- Nécessité de recalculer les relations topologiques lors de toute mise à jour du SIG (modification d'objets)



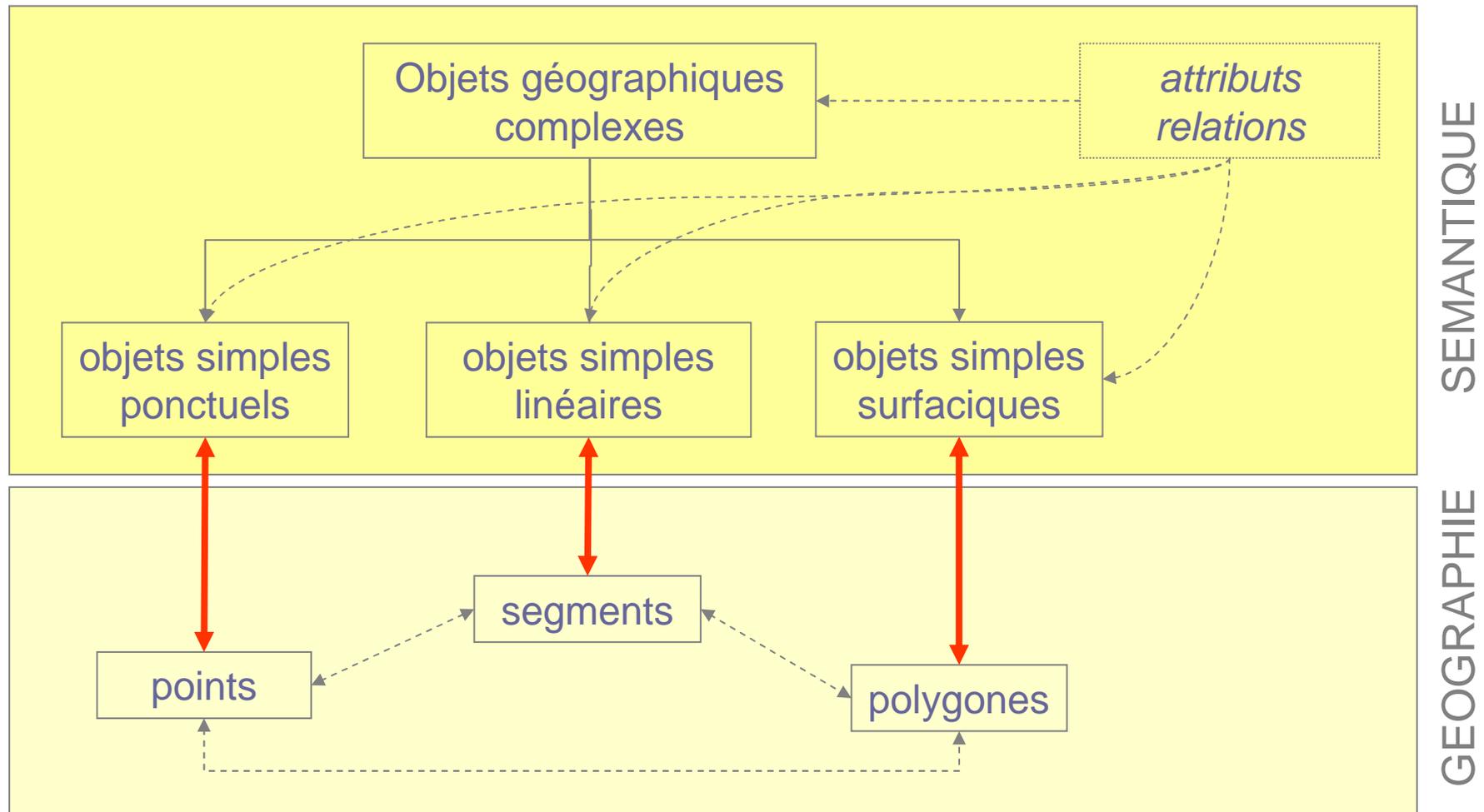
Lien entre infos sémantiques et géographiques

Sémantique

Objets de l'univers : simples ou complexes

Géographie

Format vectoriel : points, segments/polygones, polygones



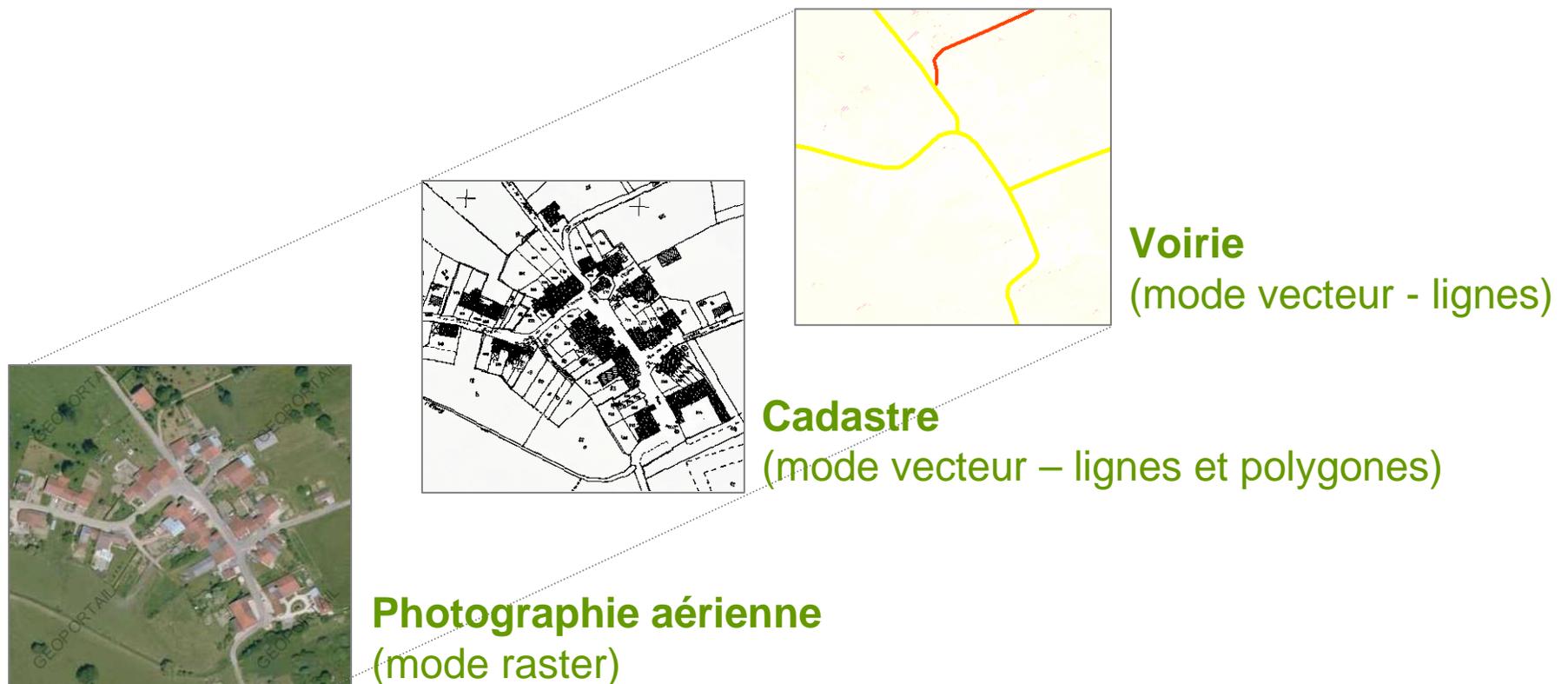
Organisation en couches

Principe

Structurer l'information par thème

Intérêts

- L'utilisateur est souvent intéressé uniquement par un thème donné
- Les relations topologiques n'ont souvent de sens qu'au sein d'un même thème
- Intégration transparente des mode raster et vectoriel



Organisation en couches

Format raster

Le maillage porte lui-même l'information de la couche

Format vecteur et information sémantique

En règle générale, données attributaires définies par couche

Id_parcelle	Proprietaire	Superficie
2A041_345	Antoine_1_66_12	483



Cadastre

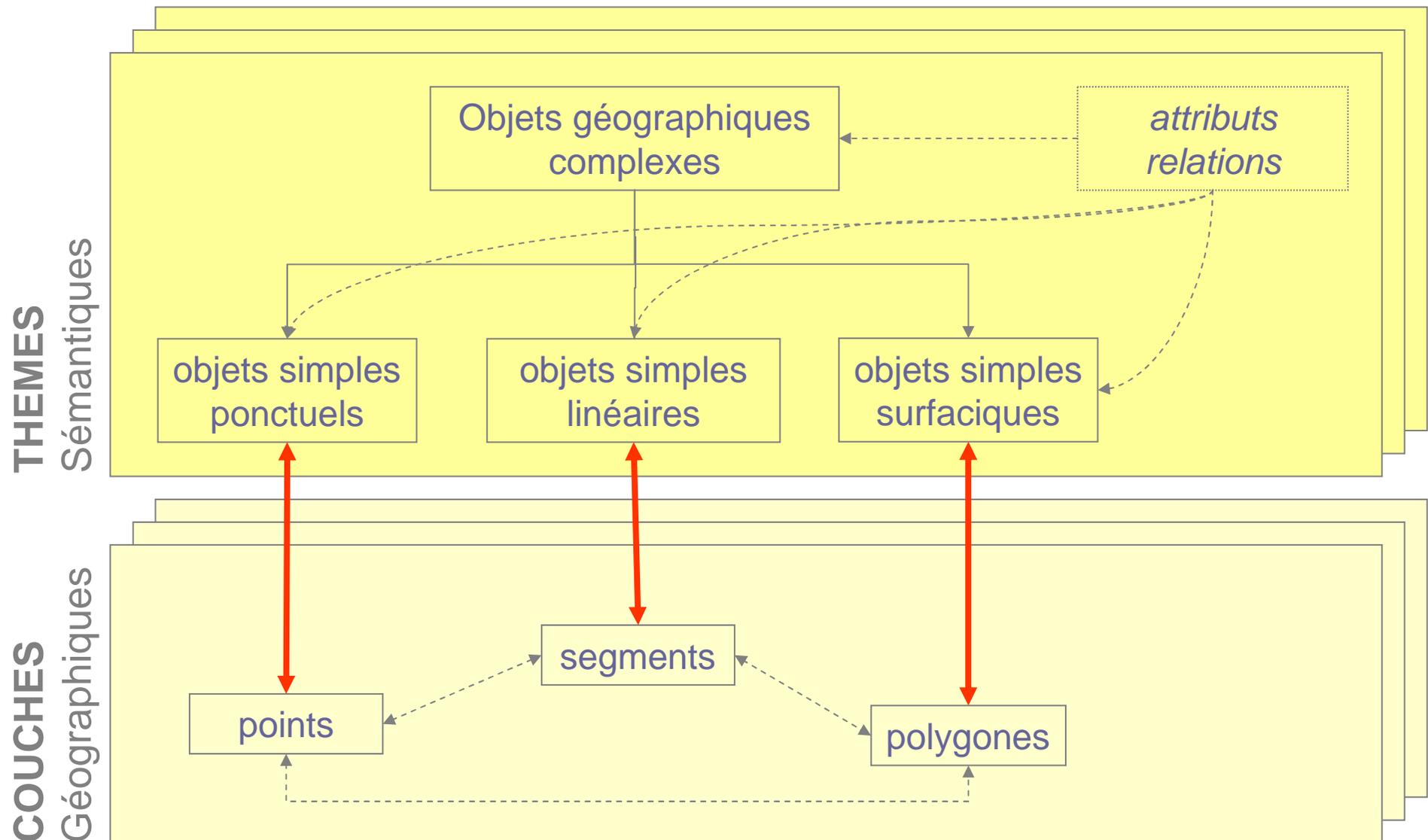
Id	Long
N14	173



Voirie

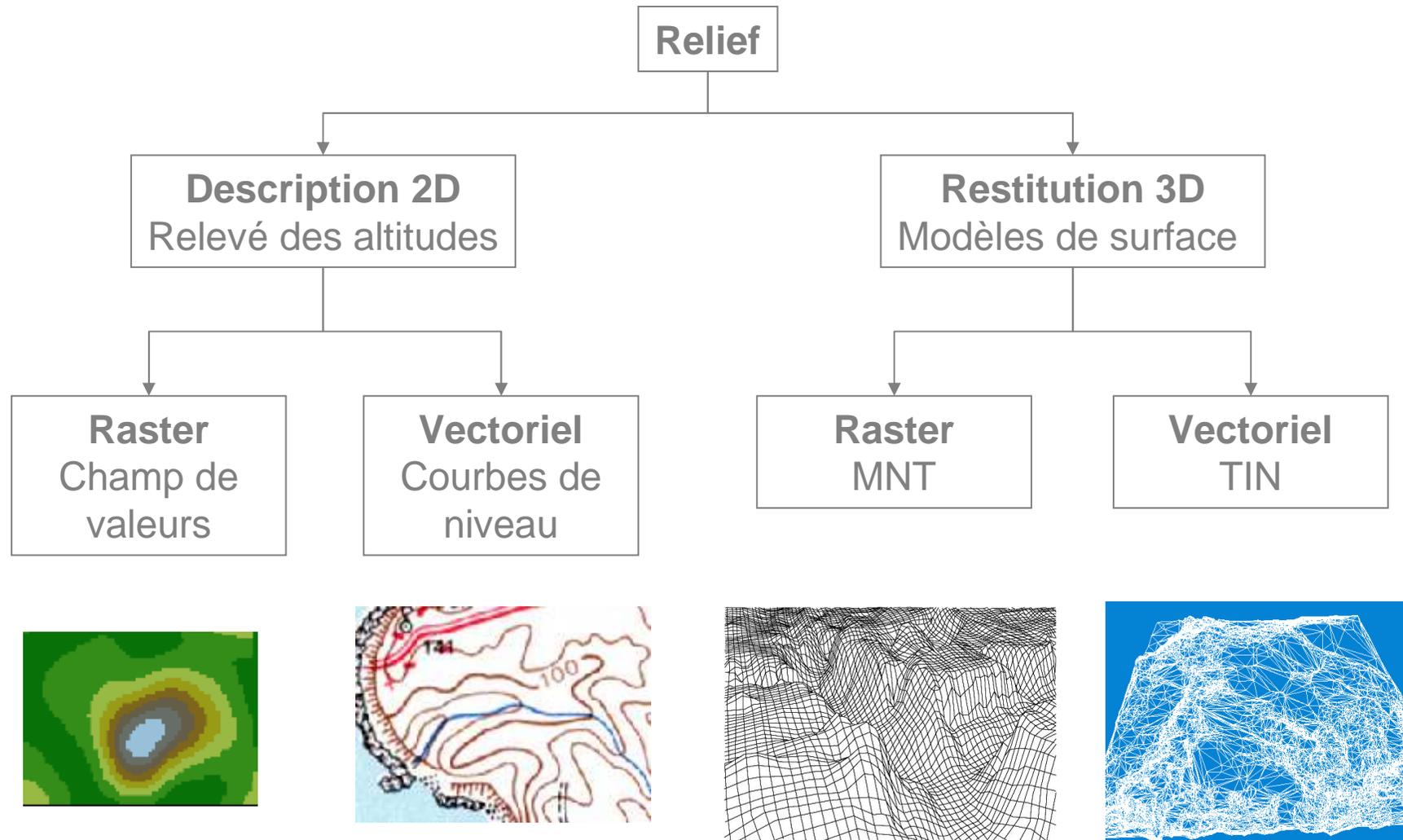
Organisation en couches : modélisation

Format vectoriel



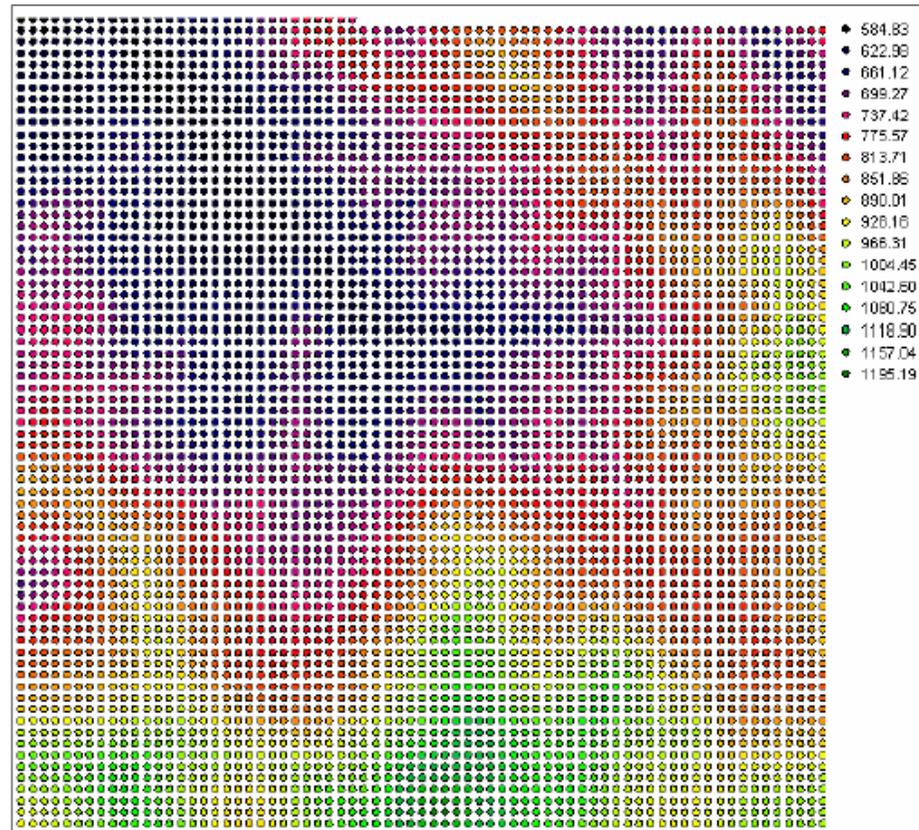
Représentation du relief

Problématiques

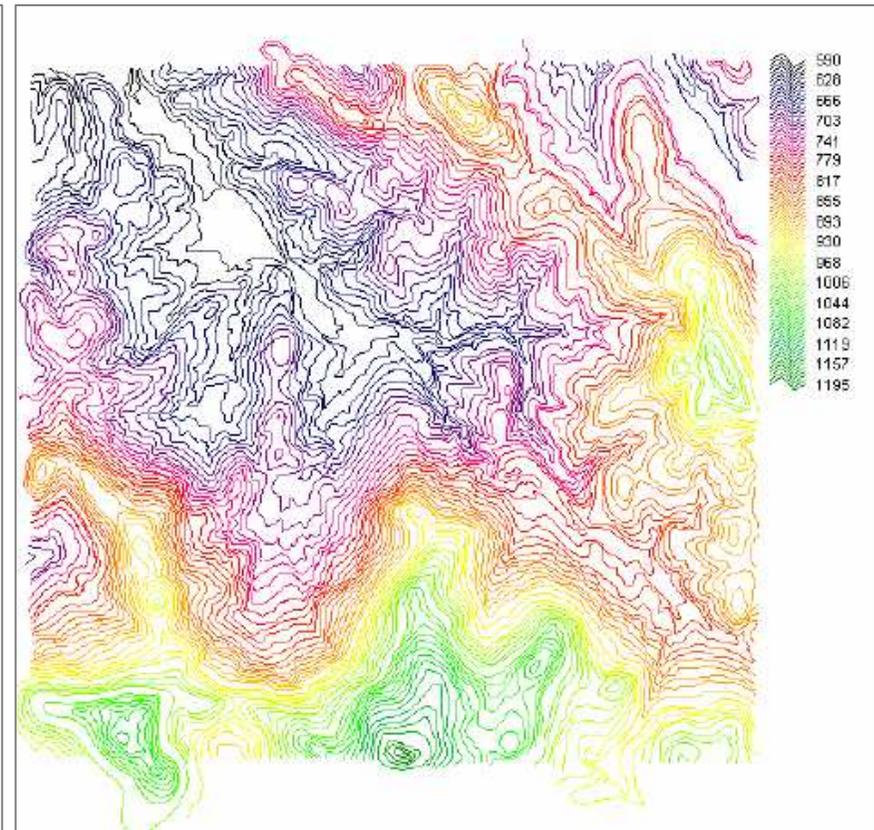


Représentation du relief : description

Description des altitudes et du nivellement



Raster – Champ de valeurs
(pseudo) continu

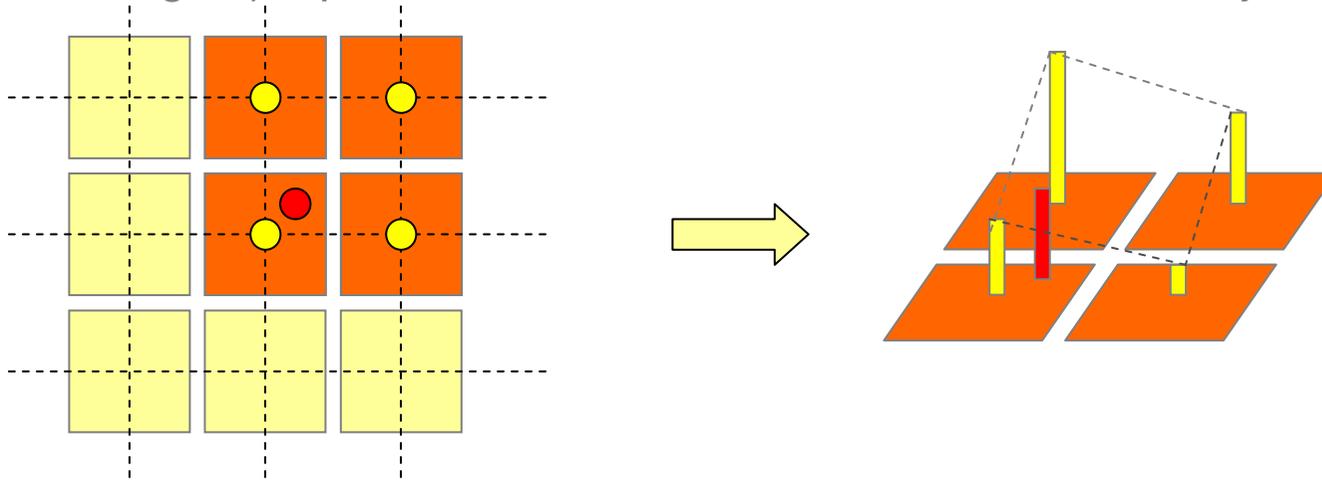


Vectoriel – Courbes de niveau :
polygones

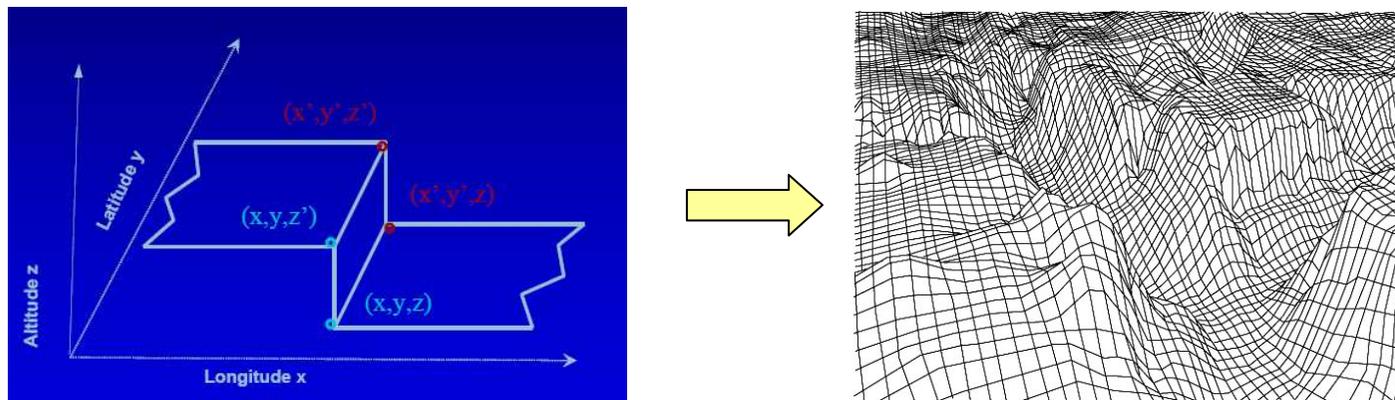
Représentation du relief : restitution

Raster : Modèles Numériques de Terrain (MNT)

- **Altitude à un point donné** – valeur à la maille ou interpolation bilinéaire (surface réglée) à partir des valeurs des différentes mailles adjacentes



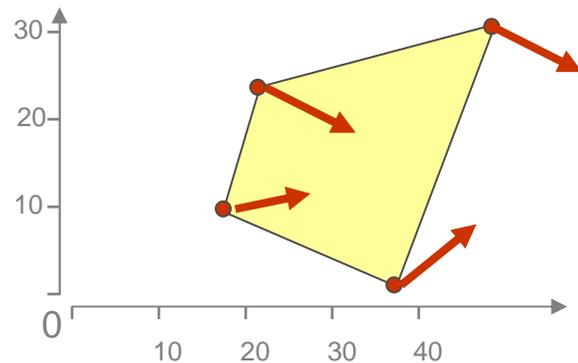
- **Restitution de surface 3D** – Lissage du maillage par interpolation



Représentation du relief : restitution

Modèle vectoriel : point côtelé

- Ajout d'un attribut altitude aux points connus du modèle
- Ajout éventuel d'une valeur de gradient (G_x, G_y, G_z) dirigé vers la ligne de plus grande pente



Modèle vectoriel : courbes de niveaux

- **Modélisation** – Polygones ou plutôt mixtilignes
- **Estimation de l'altitude d'un point particulier**
Interpolation à partir des courbes de niveau supérieures et inférieures

Point côtelé

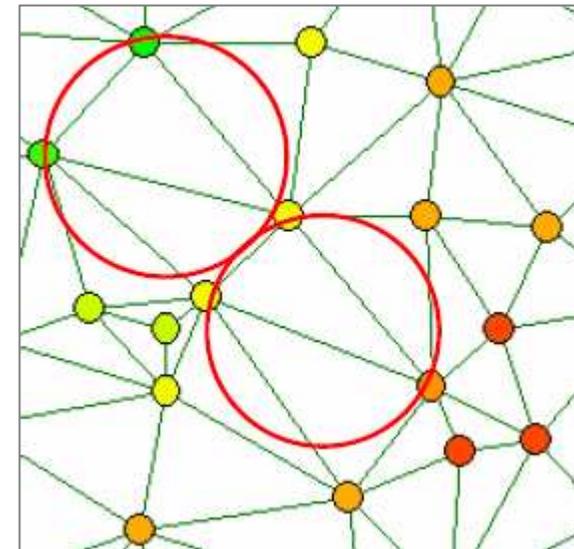
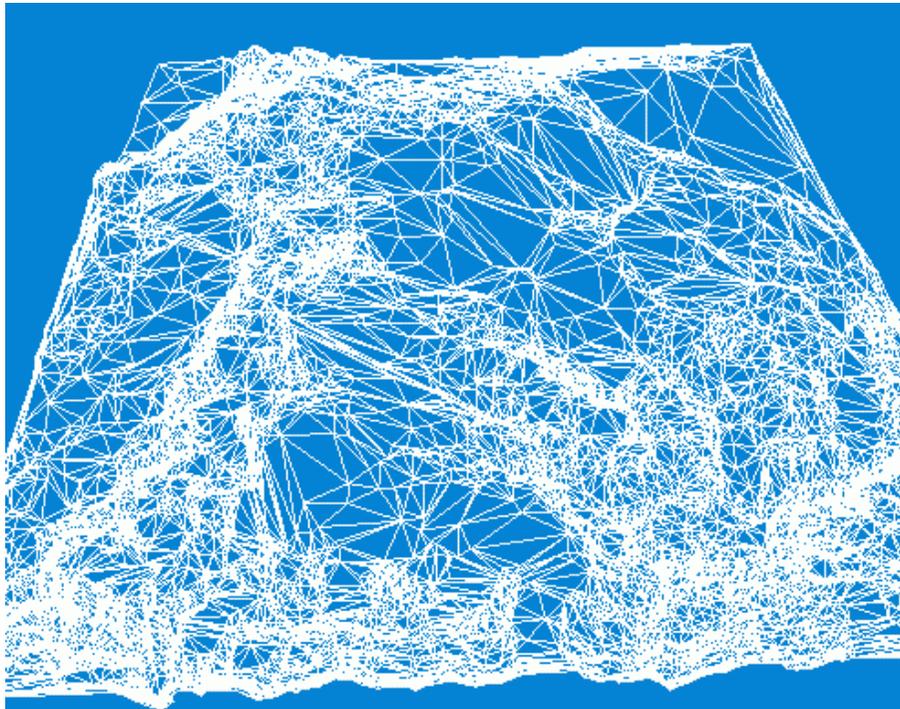
Courbe de niveau



Représentation du relief : restitution

Modèle TIN (*Triangulated irregular networks*)

Principe – Tessellation de l'espace à l'aide de polygones triangulaires adjacents décrits dans l'espace 3D



Propriétés – La triangulation satisfait à deux contraintes (*critères de Delaunay*)

- Pas de sommet intérieur aux cercles circonscrits aux triangles
- Maximisation de l'angle intérieur à tous les triangles

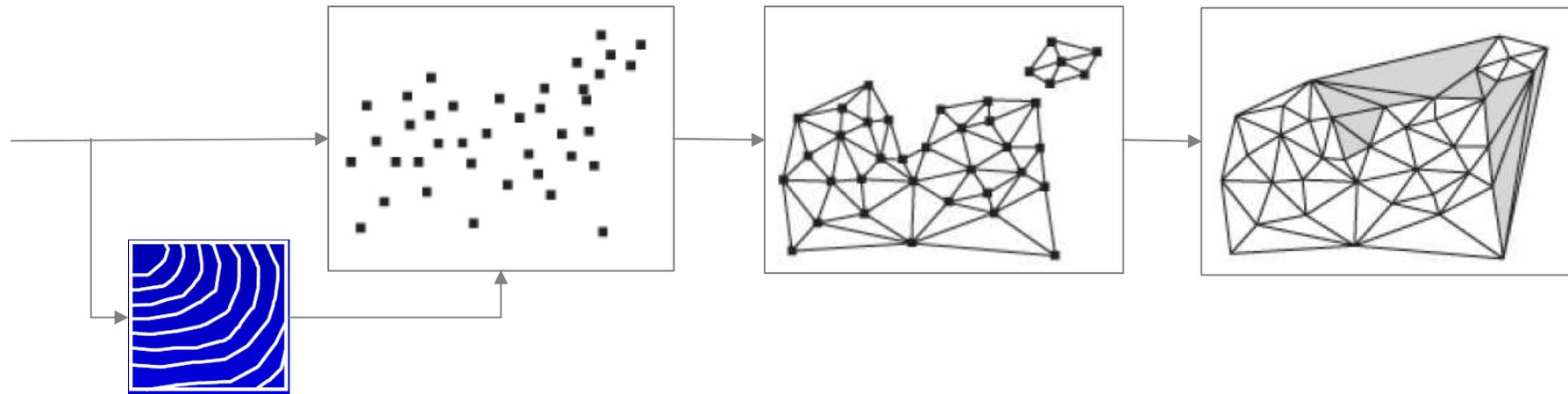
Représentation du relief : restitution

Modèle TIN (*Triangulated irregular networks*)

Représentation – Un modèle TIN se compose au minimum :

- Des points correspondant aux sommets des triangles
- Des segments correspondant aux arêtes des triangles
- Des facettes triangulaires, avec informations sur la pente, l'éclairement...
- D'une topologie comme pour tout modèle vectoriel

Construction – Soit à partir de points cotés ou de courbes de niveau du modèle vectoriel, en respectant les critères de Delaunay.



Représentation du relief : restitution

Modèle TIN (*Triangulated irregular networks*)

Intérêt – Taille adaptable des triangles en fonction du relief : permet une description bien plus fine des zones à fort relief (cassures...) qu'un MNT Raster à maille constante.

Limitation – Modèle plus lourd qu'un MNT, à la fois pour sa construction et pour les masses de données mises en jeu.

Applications – modélisation de haute précision sur zones restreintes

Représentation du relief : restitution

Restitution 3D

1. Créer une surface réglée à partir d'un modèle de terrain (MNT ou TIN)
2. Drapage d'images redressées ou de texture réalistes sur la surface réglée



Représentation du relief : restitution

Restitution 3D

3. Extrusion d'objets artificiels 3D (bâtiments)



© Google Earth

Représentation du relief : restitution

Restitution 3D

4. Extrusion d'objets naturels 2D ou 3D
5. Définir les conditions d'éclairage



© B. Dupuis
(CRENAM)

Synthèse : retour sur les 5 A

Abstraire

MCD (Modèle Conceptuel de Données)

Acquérir

- Création ex-nihilo d'une description vecteur (éventuellement sur images)
- Numérisation + vectorisation + redressement
- Importation : formats d'échange normalisés

Archiver

- Enregistrement de la base pour optimiser l'interrogation : indexation spatiale.

Afficher

- Sémiologie graphique et règles ergonomiques

Analyser

- Manipulation simple (changement d'orientation, superposition de couches...)
- Synthèse d'information (regroupements pour changement d'échelles)
- Analyse attributaire : calculs quantitatifs (statistique)
- Analyse spatiale : relations entre zones

Synthèse: sources d'information géographique

RGE : Référentiel à Grande Echelle

4 composantes superposables (système IGN de localisation)

Nom	Format	Composante	Description
BD TOPO	Vecteur	Topographique	Nombreuses couches. Utilisable jusqu'au 1/500
BD ORTHO	Raster	Ortho- photographique	Photos aériennes ou satellitaires redressées 1 px = 0.25 m en ville, 1m en campagne
BD Parcellaire	Vecteur/Raster	Cadastre	Vectorisation complète en cours. Deux couches (parcelles bâties ou non) + données attributaires (DGI)
BD Adresses	BD-R	Adresses, route...	Sources multiples : La Poste, INSEE, DDE.

Synthèse: source d'information géographique

Référentiel à Moyenne Echelle

2 composantes superposables

Nom	Format	Composante	Description
BD CARTO	Vecteur	Cartographique	Numérisation & vectorisation des cartes IGN /12500 et 1/5000
GEOROUTE	BD-R	Voirie	Voies, sens de direction, adresses postales des carrefours ⇒GPS

Hydrographie et Océanographie

Nom	Format	Composante	Description
ARCAN	Vecteur	Carte marine	Bathymétrie, amers, balisage des côtes

BD métiers

- Nature du sol et sous-sol BRGM (cartes géologiques)
- Routes Michelin France (1/200000) et Europe (1/400000)
- Forêts IFN : Inventaire Forestier National
- Agriculture RGA : Recensement Général de l'Agriculture

Bibliographie

Ouvrages de référence

- **Servigne S.** Concepts de base, In **Servigne S., Libourel T.** (2006) *Fondements des bases de données spatiales*. Hermes / Lavoisier, Paris, France. p. 21-36.

Travaux cités

- **Bartells R.H., Beatty J.C., Barsky B.A.** (1987) An introduction to splines for use in computer graphics and geometric modeling. Morgan Kaufmann, CA.
- **Caron C., Bedard Y., Gagnon P.** (1993) MODUL-R : un formalisme individuel adapté pour les SIRS. *Revue Internationale de Géomatique*. 3(3). pp. 283-306.
- **Lbath A., Pinet F.** (2000) Automatic generation of geographic urban applications for the web with the CASE-tool AIGLE. *Proc. 22nd Urban and Regional Data Management Symposium*. Delft, NL, sept. 2000.