



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

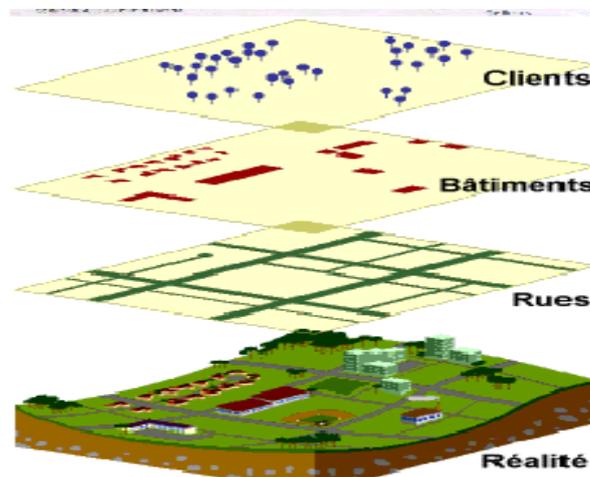


UNIVERSITE BATNA -2  
CHAHID MOSTEFA BEN BOULAID

Institutes sciences de la terre et de l'univers  
Département de géographie et aménagement du territoire  
Master I Géomatique pour l'action territoriale

Cours

# Les Systèmes d'Informations Géographiques I



Réalisé par :  
Dr. Akakba Ahmed

Année universitaire 2016/2017

**Destination et objectifs :**

Ce cours est destiné aux étudiants de Master I, spécialité géomatique pour l'action territoriale. L'objectif du cours est de donner aux étudiants un cadre théorique sur les notions de systèmes d'information géographiques et des bases de données géoréférencées, ainsi d'approfondir les connaissances et les compétences des étudiants dans les diverses techniques de recherche et la présentation des problématiques relative à la numérisation en Géomatique.

**Intitulé du Master :** Géomatique pour l'action territoriale

Semestre : 1

Intitulé de l'UEF2 : Géomatique

Intitulé de la matière 3 : SIG 01

Crédits : Crédits : 5

Coefficients :3

**Contenu de la matière :**

**1 Définition des concepts :**

- La géomatique , les Systèmes d'Informations Géographiques
- Les composants d'un SIG, l'information géographique

**2 SIG pour l'action territoriale**

- La démarche systémique
- Collectivités locales et mise en place d'un SIG

**3 Élaboration d'une base de données géographique**

- La modélisation spatiale
- la modélisation spatio-temporelle
- Dictionnaire de données
- Les éléments de modélisation
- Le diagramme de classe UML
- Les modèles relationnels : Entité-Relation, orienté-objet et le modèle objet-relationnel
- Le model conceptuel de données
- Modèle logique des données et les règles de passage
- Modèle physique de données
- Système de gestion de bases de données relationnelles

**4 Géoréférencement et système de projection**

- Les systèmes de coordonnées, Projections cartographiques
- Géoréférencement, géocodage, calage

**5 Intégration des données et mise en place**

- Les Logiciels (SIG - modélisation) : ARCGIS, Power AMC, Visio
- Importation et intégration des données
- La jointure spatiale et attributaire

**6 Exploitation et mise en œuvre**

- l' analyse par requête de sélection
- L'analyse spatiale
- L'analyse Network
- L'analyse statistique et géostatistique

**Mode d'évaluation :** par examen en salle (control continu).

## **Introduction :**

L'ensemble des collectivités territoriales algériennes éprouvent de grandes difficultés à mettre en œuvre des plans d'aménagement cohérents. Cette difficulté émane essentiellement de la faiblesse dans le contrôle de l'information et le manque de coordination entre les différents acteurs.

Dans le monde contemporain, 80 % des informations ont une base spatiale (Laurini, 2001). Ceci dénote l'importance des données géographiques dans nos sociétés, notamment des systèmes d'information spatiale pour les actualiser et les mettre à la disposition des usagers. (H.B. Nguendo et F. Pirot 2007),

C'est pourquoi la disponibilité d'une information spatialisée abondante, structurée, maniable et normalisée que permettent les techniques géomatiques, apparaît indispensable pour la maîtrise des espaces et l'amélioration des performances dans le management territorial.

L'approche de la géomatique dans la gestion du territoire sur une même portion permet de superposer plusieurs facettes d'information, afin de les consulter, les comparer et les analyser pour mieux comprendre la dynamique des changements dans le territoire. C'est pourquoi la vision des gestionnaires dans tout l'espace d'intervention et sa gestion va être mieux éclairée.

L'avantage offert par cette approche réside dans la possibilité d'exploiter des données géométriques et attributaires, afin d'accomplir toute une panoplie d'analyse en terme de proximité, superposition et auto corrélation.

Les SIG ont un but multiples capable de traiter, interroger, visualiser, analyser et gérer des couches d'informations concernant un ensemble de thèmes tels que : la topographie, le foncier, l'aménagement du milieu physique et urbain, l'occupation du sol agricole ou industriel. La qualité des résultats sectoriels obtenus nous facilite le développement d'une approche territoriale durable.

## **Cours 1 : Définition des concepts**

### **1. La géomatique :**

La géomatique est un domaine qui fait appel aux sciences, aux technologies de mesure de la terre ainsi qu'aux technologies de l'information pour faciliter l'acquisition, le traitement et la diffusion des données sur le territoire (aussi appelées "données spatiales", "données géospatiales" ou "données géographiques"). Le mot géomatique a été déterminé pour regrouper de façon cohérente l'ensemble des connaissances et technologies nécessaires à la production et au traitement des données numériques décrivant le territoire, ses ressources ou tout autre objet ou phénomène ayant une position géographique. Ses racines sont "Géo", qui veut dire Terre, et "matique" vient d'informatique, soit le traitement automatique de l'information. (Laval, 2007)

La géomatique est une discipline regroupant les pratiques, méthodes et technologies qui permettent de collecter, analyser et diffuser des données géographiques. L'objectif final de la géomatique est la représentation spatiale des données récoltées pour identifier, représenter et démontrer les résultats d'analyses. (ESRI France, 2014).

Finalement, voici la définition officielle de la géomatique selon l'Office de la Langue française : "Discipline ayant pour objet la gestion des données à référence spatiale et qui fait appel aux sciences et aux technologies reliées à leur acquisition, leur stockage, leur traitement et leur diffusion. La géomatique fait appel principalement à des disciplines comme la topométrie, la cartographie, la géodésie, la photogrammétrie, la télédétection et l'informatique".

## **2. Le système d'information**

Le système d'information est un ensemble structuré de services, de méthodes et d'outils, susceptibles de répondre à des questions relatives à une organisation ou un domaine particulier.

Système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace. (Société française de photogrammétrie et télédétection, 1989)

## **3. Les Systèmes d'Informations Géographiques**

Les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) désignent à la fois un ensemble de données repérées dans l'espace (géoréférencées), structurées de façon à pouvoir en extraire des synthèses utiles à la décision et les logiciels dédiés à la gestion et au traitement de ces bases de données.

On peut dire aussi qu'un SIG est un ensemble d'informations géographiques permettant l'implémentation des données décrivant le monde réel.

La société ISRI a subdivisé le SIG en trois volets permettant d'afficher et manipuler les informations géographiques, ces derniers sont appelées comme suit :

**Le volet géodonnées** : un SIG correspond à une base de données spatiales contenant des jeux de données qui représentent des informations géographiques selon un modèle de données SIG générique (entités, rasters, attributs, topologies, réseaux, etc.).

**Le volet géovisualisation** : un SIG est un ensemble de cartes intelligentes et de vues qui montrent des entités et leurs relations à la surface de la terre. Il est possible d'élaborer différentes vues cartographiques des informations géographiques sous-jacentes, qui s'utilisent comme des « fenêtres ouvertes sur la base de données géographique » afin d'effectuer des requêtes, des analyses et de modifier les informations géographiques. Chaque SIG intègre plusieurs applications cartographiques bidimensionnelles (2D) et tridimensionnelles (3D) offrant une gamme complète d'outils permettant de traiter les informations géographiques à l'aide de ces volets.

**Le volet géotraitement** : un SIG comprend des outils de transformation des informations qui produisent des informations à partir des jeux de données existants. Les fonctions de géotraitement partent des informations contenues dans les jeux de données existants, appliquent des fonctions analytiques et écrivent les résultats dans de nouveaux jeux de données.

ces trois éléments constituent le noyau d'un système d'information géographique complet et sont utilisés à différents niveaux de toute application et logiciel SIG.

## **4. Les composants d'un SIG**

Un Système d'Information Géographique est constitué de 5 composants majeurs :

### **4.1. Matériel:**

Les SIG fonctionnent aujourd'hui sur une très large gamme d'ordinateurs et leurs périphériques. Par ailleurs des serveurs de données puissants sont utilisés largement afin de gérer les Big data.

### **4.2. Logiciels:**

Les logiciels de SIG offrent les outils et les fonctions pour stocker, analyser et afficher toutes les informations. Sur le marché il y a une panoplie de logiciel SIG (ArcGis, Map info, QGis, etc).

#### **4.2.1. Principaux composants logiciel d'un SIG :**

- Outils pour saisir et manipuler les informations géographiques.
- Système de gestion de base de données.
- Outils géographiques de requête, analyse et visualisation.
- Interface graphique utilisateur pour une utilisation facile.

### **4.3. Données:**

Les données sont certainement les composantes les plus importantes des SIG. Les données géographiques et les données tabulaires associées peuvent, soit être constituées en interne, soit acquises auprès de producteurs de données.

### **4.4. Utilisateurs:**

Un SIG étant avant tout un outil, c'est bien ses utilisateurs qui gèrent le système et lui donnent la forme du travail à travers laquelle il sera exploité.

Les SIG s'adressent à une très grande communauté d'utilisateurs depuis ceux qui créent et maintiennent les systèmes, jusqu'aux personnes qui l'utilisent dans leur travail quotidien.

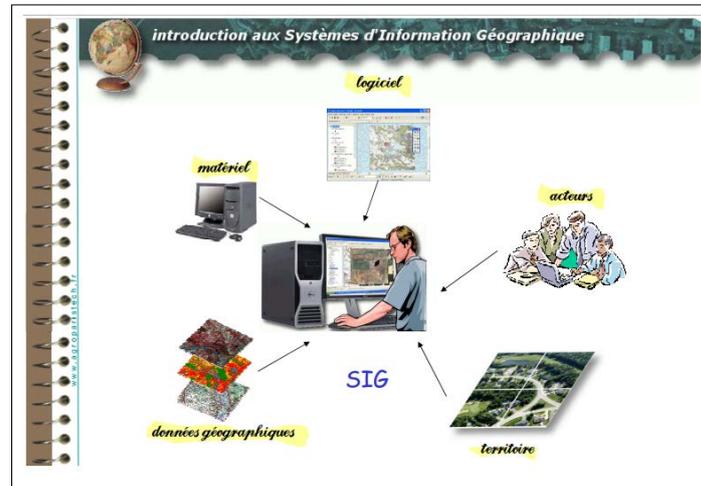
Avec l'avènement des SIG sur Internet, la communauté des utilisateurs de SIG s'agrandit de façon importante chaque jour.

### **4.5. Méthodes:**

La méthode présente l'intelligence de l'utilisateur et sa capacité de structurer le travail par un schéma logique afin d'étudier une thématique donnée. La mise en œuvre et l'exploitation d'un

SIG ne peut s'envisager sans le respect de certaines règles et procédures propres à chaque organisation.

**Fig.01** Les composants d'un SIG



## 5. L'information géographique

L'information géographique est la représentation d'un objet ou d'un phénomène réel ou imaginaire, présent, passé ou futur, localisé dans l'espace à un moment donné et quelles qu'en soient la dimension et l'échelle de représentation.

### 5.1. La donnée « raster »

Donnée où l'espace est divisé de manière régulière en ligne et en colonne; à chaque valeur ligne / colonne (pixel) sont associées une ou plusieurs valeurs décrivant les caractéristiques de l'espace (Exemple d'une carte topographique scannée).

### 5.2. La donnée « vecteur »

Pour représenter les objets à la surface du globe, les SIG utilisent trois objets géométriques qui sont le point, la ligne et la surface.

### 5.3. La donnée alphanumérique

La donnée alphanumérique ou attributive ou sémantique, est une information textuelle, qualitative ou quantitative. Elle décrit l'objet géométrique.

## Cours 2 : SIG pour l'action territoriale

### 1. La démarche systémique:

L'espace est considéré comme un ensemble cohérent structuré et dynamique. Il est composé d'éléments spatiaux, entretenant entre eux des rapports d'interdépendance. La dynamique du système est animée par les interactions que les composantes entretiennent entre elles, d'une part et avec l'environnement immédiat, d'autre part. Selon un ordre d'échelle que le système peut passer de contenu à contenant (Brahim, Benyoucef, 2010).

La démarche systémique part du principe qu'il faut d'abord chercher à identifier les problèmes à résoudre avant de modéliser le phénomène. La démarche systémique va donc chercher à produire un modèle projectif de référence à partir duquel le modélisateur va établir un projet de représentation du phénomène observé (Dominique, LEGROS, 2009).

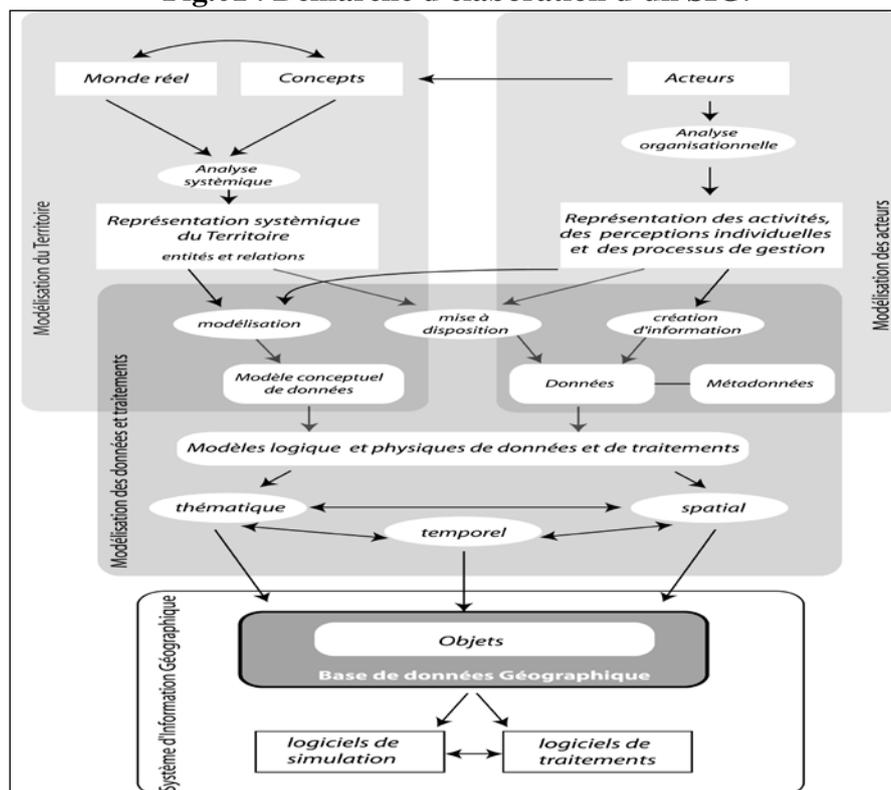
Sur ce point, l'approche systémique repose sur 3 principes :

- Un territoire modélisable présente une forme d'organisation, cette organisation n'est qu'une projection d'un projet maniable.
- L'action est le résultat d'un projet organisé qui reflète l'environnement au moment de l'action.
- Un système ne peut se définir par une image des objets à un instant donné.

De manière générale, l'approche systémique s'intéresse aux phénomènes, en posant que celui-ci est l'expression de la dynamique d'un système et se définit à partir d'un projet initial, ce projet initial étant lui-même un ensemble d'objets organisés projectivement à un projet d'action ( Dominique, LEGROS, 2009).

En adoptant une démarche systémique nous visons d'appréhender les interactions entre les différents plans sectoriels afin d'éviter les conflits entre ces derniers d'une part et de fournir d'autre part une plate-forme pour les l'analyse approfondie de chaque domaine d'application.

**Fig.01 : Démarche d'élaboration d'un SIG.**



Source : T saint-gérard (2005).

D'après la Fig. 01, L'approche systémique se base sur réception des aspirations de tous les secteurs. Cette approche vise à fournir les parcelles nécessaires pour chaque secteur et les actions territoriales selon une conception d'un projet de territoire.

La stratégie de développement constitue un bilan des interactions sectorielles d'un côté et de l'autre côté des directives de l'approche territoriale. Cette approche formulée dans un contexte de participation et de partenariat dans la prise de décision.

La mise en œuvre de l'approche systémique nécessite une modélisation spatio-temporelle de type orienté objets afin d'assurer la jointure spatiale et attributaire ainsi que l'agrégation de l'information en temps réel.

L'approche de la géomatique dans la gestion du territoire sur une même portion permet de superposer plusieurs facettes d'information, afin de les consulter, les comparer et les analyser pour mieux comprendre la dynamique des changements dans le territoire. C'est pourquoi la vision des gestionnaires dans tout l'espace d'intervention et sa gestion va être mieux éclairée.

L'avantage offert par cette approche réside dans la possibilité d'exploiter des données géométriques et attributaires, afin d'accomplir toute une panoplie d'analyse en terme de proximité, superposition et auto corrélation...etc.

## **2. Pourquoi un SIG pour une collectivité locale?**

Les collectivités locales en Algérie ont besoin des SIG, surtout qu'ils ont des missions de gestion, de planification et de communication qui doivent gérer. Les applications des SIG sont très large et touchent plusieurs domaines: urbanisme; voirie; transport; risques et environnement; patrimoine et socio-économiques...etc.

Donc pour une collectivité locale plusieurs arguments peuvent être avancés pour montrer l'intérêt d'un SIG:

- Grouper des informations géographiques, économiques et sociales dans un référentiel géographique commun à l'échelle de la commune pour permettre des analyses et visualiser les données.
- Une évaluation qui précise l'état des lieux de la commune.
- Faciliter l'analyse et la prise de décisions.
- Etablir des cartes d'aide à la décision, exemple l'état du réseau d'assainissement, la localisation des équipements et déterminer les zones à risques.
- la superposition de différentes cartes offre la possibilité d'exploiter toutes les données et leurs interactions.
- Effectuer des simulations en étudiant les avantages et les inconvénients d'un projet.
- Améliorer le service aux usagers: rapidité, fiabilité, qualité et cohérence des informations fournies.

## **3. Collectivités locales et mise en place d'un SIG**

En raison d'un grand nombre d'actions que les acteurs locaux sont confrontés chaque jour, et malgré la numérisation à travers les outils informatiques, les gestionnaire ont besoins d'autres outils qui lient le graphisme au descriptif capable de créer une base de données permettant de répondre aux questions suivantes :

- Quels sont les données et thématiques adéquates ?
- Existe-t-il des contraintes particulières?
- Quelles sont les attentes de l'application des SIG ?
- Quels problèmes le SIG résoudra-t-il ?
- Quels sont les précautions à prendre afin de préserver la banque de donnée SIG
- Quelles sont les sources de données déjà existantes ?
- Comment va être accepté le SIG ? Quels changements dans l'organisation impliquera-t-il ?

- la mise à jour des plans d'urbanisme.
- Synthèse annuelle par types d'aménagements urbains.
- Cartographie annuelle de l'ensemble des aménagements urbains.
- zonage, règlement, à partir des images satellitaires.
- la mutation de l'utilisation des sols avec un diagnostic du territorial.
- Prévion de scénario qui peuvent être surgir dans les projets.
- la corrélation entre les différents plans (voirie, collecte des déchets, circuits de transport, patrimoine bâti....etc)
- Gestion du foncier, de l'éclairage public, des espaces verts et des cimetières.
- Consultation numérique interactif du POS et règlement par le citoyen afin de faciliter l'action participative et consultative.
- Facilité la lecture cartographique et descriptive de l'espace dans les réunions multisectoriels.
- Consultation des PPR et PER.

### **Cours 3 : Élaboration d'une base de données géographique**

#### **1. Base de données géographiques**

C'est un ensemble des données spatiales et non spatiales structurées et organisées de manière à être interrogeables et analysables de façon interactive ou automatique. Une base de données géographique concerne habituellement une zone définie. Elle est gérée par un logiciel SIG. Elle intègre les données elles-mêmes ainsi que leurs métadonnées.

##### **1.1. La structure d'une base de données :**

Afin de construire une base de données géographique on doit :

- définir l'objectif et la thématique, récolter des données et déterminer la zone d'étude.
- Identifier les éléments clés contenus dans la base de données ou les trois structures SIG,
- Design conceptuel du système,
- Organiser l'information descriptive dans les tableaux.

L'approche SIG constitue un moyen cohérent de maîtrise d'information pour une mise en œuvre du plan d'aménagement en garantissant les éléments importants suivants :

- La disponibilité et la rapidité de l'information avec une possibilité de mise à jour et la prise de décision en temps réel à l'aide d'une justification requise.
- La détermination des déficits et les besoins dans le sens géométrique et fonctionnel.
- La facilité de la lecture du territoire dans les réunions du conseil communal et les concertations.

#### **2. Les étapes de l'utilisation de l'information géographique dans un SIG**

Pour la conception du SIG il est indispensable de passer par les étapes suivantes :

##### **Etape N01:**

Déterminé la source et les propriétés de l'information géographique concernée comme présenté dans le tableau ci-dessous

Tableau N °01 :Source et les propriétés de l'information géographique

Thème	Dimensions des unités spatiales			Echelles de mesure		Origine			Sources
	D.spatiale	D.thématique	D.temporelle	nominale	ordinaire	mesurée	dérivée	interprétée	
îlots urbain	Polygone Surface forme	Occupation Propriété population	Evolution géométrique et changement d'occupation	√ √	√	√ √			-Image satellitaire -ONS
Réseaux	Poly ligne Louangeur	Débit Pente Type	/	√	√ √		√	√ √	Raster DEM

Etape N02:

Représenter et intégrer toutes les informations géographiques selon trois structures SIG principales :

- ✓ Classes d'entités
- ✓ Tables attributaires
- ✓ Données raster

Etape N03:

- ✓ Géoréférencement (calage) par l'utilisation d'une image raster ;
- ✓ un système de projection (UTM /wgs84)
- ✓ un logiciel SIG (Arc Gis).

Etape N04:

- ✓ Manipuler les données raster sous forme de couches thématiques (MNA ; topographie ; pente...)
- ✓ Digitaliser les couches vectorielles (points, lignes, polygones).

Etape N05:

- ✓ Ajouter le niveau sémantique (tables, attributaires) comme indiqué dans le tableau précédent.

Etape N06 :

- ✓ Analyse par requête (thématiques ; topologique et géométrique).
- ✓ Développer des cartes, plans, diagrammes, courbes selon les objectifs.

**3. Le format du fichier raster :**

Les fichiers numériques Raster généralement sont des données présentant un support, leur intégration à travers les photos plans, les scans des plans papier permettent l'enrichissement de notre banque de données. Il existe environ 70 formats de fichiers pour les images raster.

Les formats le plus souvent retenus pour les fichiers images en noir et blanc et en couleurs sont :

– le **TIFF** (Tagged Image File Format), conçu par Aldus et Microsoft pour l'acquisition et la création d'images, est fréquemment proposé comme format par défaut dans des logiciels de numérisation. Ce format propriétaire est devenu un standard de fait. Il gère toutes les profondeurs de couleurs et intègre des informations de correction gamma. Il comporte de nombreuses variantes (les en-têtes de fichiers varient), il faut prendre garde que les visualiseurs et les logiciels de retouche ne puissent traiter la version choisie de ce format.

– **JFIF** (JPEG File Interchange Format). C'est le format adapté aux images compressées en JPEG.

– **GIF** l'un des plus courants pour les images. Cependant, il ne code pas plus de 256 couleurs par pixel, au-delà les images subissent une perte de qualité. GIF est très répandu sur l'internet.

– **PNG** (Portable Network graphics, prononcé "ping"). Ce format récent améliore la vitesse et la qualité d'affichage et il est bien adapté à une diffusion sur la Toile d'Araignée Mondiale (WWW). Il comporte également de nouvelles fonctions : la "signature électronique" inscrit dans le fichier le nom de l'auteur ou celui de l'oeuvre.

#### **Cours 4 : Élaboration d'une base de données géographique**

##### **1. La modélisation**

Le terme de modélisation conceptuelle, originaire des Sciences de l'Informatique, désigne la phase de conception de processus logiciels ou de bases de données (Muller&Gaertner, 2005).

Une base de données géographique nécessite une bonne modélisation des données géographiques à représenter (Laurini et Milleret-Raffort 93). Dans ce but, les données sont structurées au moyen d'un schéma de données (Gardarin, 2001). Ce schéma décrit le contenu de l'information et son organisation à l'aide d'un langage de description (par exemple UML). (Sylvain, B 2004),

##### **2. Dictionnaire de données**

Le dictionnaire de données a été établi en parallèle avec le modèle conceptuel de données, pour faciliter aux utilisateurs l'interprétation et la compréhension du (MCD). Il fournit des descriptions précises des données utilisées dans la base de données (Abdelkrim Bensaïd2006). Dans ce dictionnaire de données, nous trouvons les informations suivantes:

- la définition de l'entité ;
- le type de référence de chaque classe d'entité : surface, ligne, point;
- les attributs de chaque classe d'entité;
- les contraintes d'intégrité sur les données

##### **3. Le model conceptuel de données :**

La modélisation spatiale porte généralement sur les propriétés géométriques et topologiques, voire attributaires, des objets spatiaux. En effet, un modèle spatial traduit la perception du concepteur des objets spatiaux. (Chokri, Koussa2011).

La modélisation conceptuelle est un processus progressif et descendant où le concepteur s'attarde d'abord à identifier les données importantes, qualifiées de vitales, regroupées sous forme d'entités, puis y ajoute les associations pertinentes entre ces entités (Gilles 2009). Un modèle conceptuel de données est une représentation des besoins en matière de données pour

un système d'information. Il met en évidence les entités, leurs attributs, les associations et contraintes entre ces entités pour un domaine donné.

Modéliser des données, c'est réaliser un schéma. Structurer des données permet d'éviter des redondances non désirées, d'assurer leur sécurité et leur extensibilité. Les fonctionnalités des SIG sont globalement celles des SGBD auxquelles sont associées des fonctions d'affichage de carte, d'analyse spatiale et de traitement thématique. (Garnier, 2006).

**Tableau N °02 :Dictionnaire de données**

Les classes d'entités	Information de type alphanumérique					
Plan cadastral	N lot	Propriété	Surface	occupation		
Pédologie	N lot	Type de sol	occupation	surface	Rendement / hectare	Propriété
Géotechnique	N lot	Résistance	Lithologie	Pente	occupation	
Hydrographie	N oueds	nom	ordre	débit		
Limite des POS	N POS	surface	Intervention	SES	COS	occupation
Les secteurs réglementaires du PDAU	secteurs	surface	occupation	population		
Servitudes	type	surface	secteur	type		
Réseaux de voiries	Nom	classification	fonction	état		
Cadre bâti	N lot	Age	type	Etat	TOL	

#### 4. procédures d'élaboration d'une base de données géographique

Un SIG est un ensemble de procédures utilisées pour conserver et traiter l'information à référence géographique (Aronoff,1989), Le SIG est un système doté de fonctions de modélisation spatiale puissante (Koshkariov et al, 1989).

Les SIG permettent la création de bases de données a fin de stocker les informations sémantiques et spatiales ainsi que les relations topologiques des différentes entités. L'information géographique est traitée par des moyens d'analyses spatiales statistiques et géostatistiques indispensables pour la mise en œuvre d'une démarche systémique qui se décline comme suit:

- l'étude de l'existant (réalité) selon un découpage thématique des données traduisant des besoins et des objectifs ciblés.

- l'actualisation et la superposition des plans urbains basés sur l'apport des images satellitaires en utilisant le système de projection UTM (WGS84) pour normaliser le géo référencement de l'ensemble des plans.
- la sommation entre les données attributaires et les données géométriques dans des classes d'entités sous un modèle conceptuel des données.
- utilisation du modèle orienté objet permettant de classer les données sous forme d'entités liées entre eu en relation double, selon des cardinalités variées spécifiant la dépendance rationnelle des données.
- l'intégration des données géographiques selon les trois dimensions suivantes :
  - Intégration ou traçage de la dimension géométrique dans une couche d'information selon la signification des variables visuelles de la cartographie.
  - Insertion des règles topologiques entre les différentes entités telles que la relation de la disjonction entre les zones d'extension et les terrains agricoles : piétinement des constructions sur les terrains agricoles avec production d'un rapport topologique illustrant ces constructions comme anarchiques en rouges.
  - l'insertion de la dimension sémantique d'une classe d'entité dans des tableaux de sorte à concevoir une base des données relationnelles. Dans ces tableaux, chaque colonne signifie un attribut, chaque entité est identifiée par un(ID) non redondé et non nul, les tableaux sont liés entre eux par une clé primaire et des clés étrangères qui assurent la relation.

#### **4. Les concepts de base de la modélisation :**

Pour concevoir la base de données on doit passer par une première phase de modélisation conceptuelle qui consiste à déterminer quelles sont les structures de données pertinentes géographiques ou non (route, équipement, élève), et les relations qui existent entre ces dernières. Avant toute conception, le concepteur doit répondre aux questions suivantes :

- ✓ Comment élaborer un schéma de bases de données?
- ✓ Comment vérifier ce schéma?
- ✓ Quel est le formalisme adéquat ?
- ✓ Quel est la méthode d'implantation de la base de données dans un SIG ?

Un modèle conceptuel de données est un ensemble de concepts qui permettent de décrire et de manipuler des données du monde réel, et de règles d'utilisation de ces concepts. Les modèles comportent 2 parties : une partie statique qui décrit la structure des données (MCD) et les contraintes explicites sur ces données (CI), et une partie dynamique qui définit les traitements sur les données (MCT) (Dominique Schneuwly, Regis Caloz , 2013).

Les concepts de base de la modélisation sont :

- ✓ Les objets regroupés en classes et identifiés,
- ✓ Les liens entre objets avec leurs cardinalités,

- ✓ Les propriétés des objets,
- ✓ La représentation multiple des objets.

Un modèle conceptuel doit respecter les propriétés suivantes :

- ✓ Complétude (Description de tous phénomènes courants nécessaires à l'application)
- ✓ Fiabilité (formellement défini)
- ✓ Orientation utilisateur (compréhensible, clair, lisible)
- ✓ Orthogonalité (les concepts proposés doivent être indépendants)
- ✓ Compatibilité logiciel (traduisible en SGBD existant)
- ✓ Complètement opérationnel (capacités de manipulation des données)

### **5.1. Les éléments de modélisation :**

Le modèle spéciale qui va être numérisé est constitué des éléments suivant :

Objet = entité

Lien= association (relationship)

Propriété= attribut

On peut donner quelques définitions du langage SIG

**Objet** : entité qui a des propriétés structurelles et comportementales.

**Classe** : définition structurelle et comportementale d'un ensemble d'objets ayant les mêmes propriétés

**Un attribut** spatial est une propriété qui varie dans l'espace (ex : altitude, profondeur de la nappe...).

**Associations** : Le terme « relation » peut être défini comme « association naturelle, logique, ou virtuelle entre deux ou plusieurs entités qui sont liées l'une à l'autre ». Une relation binaire est un cas particulier où seulement deux objets sont impliqués. Ces dernières sont souvent les plus utilisées en raison de leur simplicité. (Moultazem, 2010). La relation spatiale est un type d'association liant au moins deux types d'entités spatiales et éventuellement des types d'entités non spatiales.

**La cardinalité** ou multiplicité, dans les schémas relationnels en modélisation des données, sert à compter le nombre minimum et maximum de possibilités que chaque classe contient dans la relation liant 2 ou plusieurs objets. Cette notion est utilisée par la modélisation Merise et UML.

La cardinalité d'une relation définit le nombre de lignes d'une table liées aux lignes d'une autre table sur la base d'un ensemble (ou jointure) spécifique de clés.

#### **Associations topologiques :**

La topologie traite la notion de relation entre les objets spatiaux, la plupart de ses associations sont :

**Disjonction** : aucun partage (valable pour tout type d'objet spatial)

**Adjacence** : partage sans intérieur commun partage d'une partie de l'intérieur tel que la dimension de l'objet partagé est strictement inférieure à la plus grande dimension des deux objets en relation.

**Recouvrement** : partage d'une partie de l'intérieur tel que la dimension de l'objet partagé est égale à la plus grande dimension des deux objets en relation (valable pour des types spatiaux de même dimension)

**Inclusion** : la totalité de l'intérieur de l'un correspond à une partie de l'intérieur de l'autre

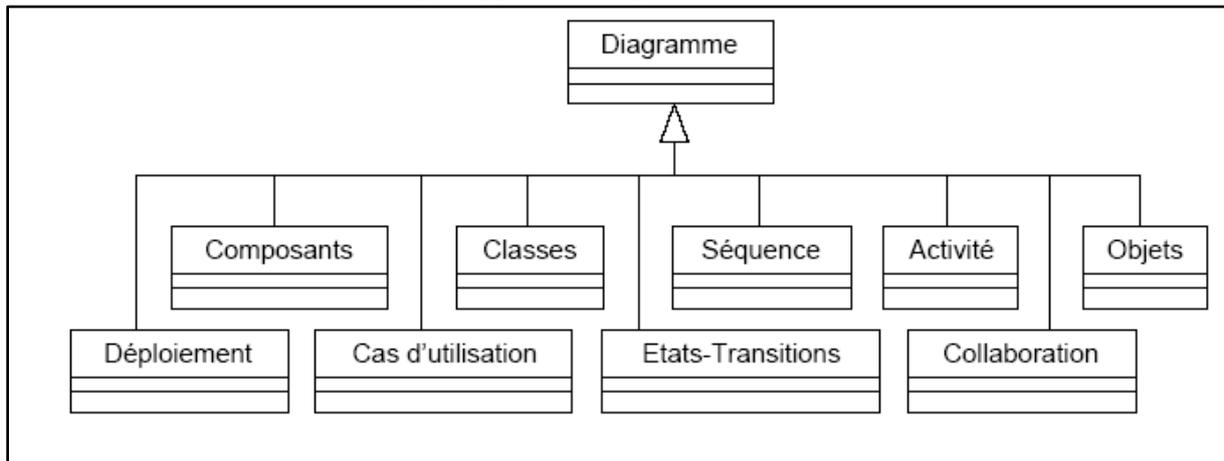
**Égalité** : partage de la totalité de l'intérieur et de la totalité de l'enveloppe (valable pour des types spatiaux de même dimension)

## 5.2. Le diagramme de classe UML

UML est un langage de modélisation de données orienté objet basé sur l'utilisation de neuf types de diagrammes: les diagrammes de classes, les diagrammes d'objets, les diagrammes de composants, les diagrammes de déploiement, les diagrammes de cas d'utilisation, les diagrammes de collaboration, les diagrammes de séquence, les diagrammes d'états-transitions et les diagrammes d'activités. (François, L, 2002)

Les quatre premiers diagrammes permettent de visualiser les parties statiques d'un système, tandis que les cinq autres aident à décrire le comportement dynamique du même système.

**Fig. :Types de diagrammes UML**



Le diagramme de classes est le diagramme de base permettant de décrire la structure d'un système. Il est constitué de paquets (éléments de regroupement), de classes, de relations (associations, généralisations, dépendances, agrégations ou compositions), d'interfaces (classes particulières ne contenant que des opérations), de stéréotypes (éléments permettant d'étendre le métamodèle), de notes et de contraintes. (François L 2002)

## 6. Les modèles relationnels :

Le formalisme: Un ensemble de règles de représentation permettant de formuler un modèle graphiquement. Il comporte un certain nombre de concepts de base permettant d'exprimer un modèle (Gilles 2009).

### 6.1. Entité-Relation :

Le formalisme Entité – Relation permet de représenter une structure de l'ensemble des liens, en termes de relations entre entités ou classes d'entités, se basant sur une analyse systémique. Cela permet de décrire finement les entités et les relations de manière générale.

Comme le note D. Pantazis (Pantazis, 2006), « L'idée de base du modèle E/R tient au fait que l'on peut décrire tout état d'une réalité par la collection des propriétés des entités et des associations qui la composent ».

Dans ce type de modèle, les entités apparaissent sous forme de rectangles qui contiennent le nom de l'entité et les associations sous forme d'ellipses contiennent souvent un verbe qualifiant la relation.

Exemple :



### **6.2. Orienté-objet :**

Il s'agit d'aller du monde réel à la représentation virtuelle par abstraction qui permet de relier le modèle d'étude au monde réel par la notion d'objet :

*Orienté objet = abstraire et décomposer le système informatique en objets*

La modélisation orientée objet est basée sur les points suivants :

- Le monde réel est constitué d'objets physiques ou immatériels,
- Tracer les objets virtuels de modélisation depuis les objets du monde réel,
- Relier les objets (réels) du problème et les objets (virtuels),
- Favoriser les abstractions naturelles du monde réel utilisables en modélisation,
- Objets vus comme des « boîtes noires » : seules les propriétés visibles de l'extérieur intéressent,
- Objets possédant un nom, qualifiables, classables, polymorphes, dé-/composables, interagissants avec d'autres objets, etc,
- Objectifs supplémentaires lors de la modélisation orientée objet,
- Meilleure indépendance du modèle par rapport aux fonctions demandées,
- Meilleure capacité d'adaptation et d'évolution du modèle lorsque des fonctionnalités sont modifiées ou ajoutées.

### **6.3. Modèle objet-relationnel :**

Le modèle objet-relationnel est, en informatique, une manière de modéliser les informations contenues dans une base de données qui reprend le modèle relationnel en ajoutant quelques notions empruntées au modèle objet, venant combler les plus grosses lacunes du modèle relationnel.

La technologie objet-relationnelle est née en 1992, elle est donc assez nouvelle sur le marché des SGBD, dominé depuis environ 1970 par les bases de données relationnelles.

## **Cours 5 : Modèle Logique de Donnée**

### **1. Algèbre relationnelle:**

L'algèbre relationnelle a été créée en 1970 par Edgar Frank Codd, le directeur de recherche du centre IBM de San José. Cette algèbre est constituée d'un ensemble d'opérations formelles sur les relations. Les opérations relationnelles permettent de créer une nouvelle relation (table) à partir d'opérations élémentaires sur d'autres tables (par exemple l'union, l'intersection, ou encore la différence).

- Ensemble d'opérateurs qui s'appliquent aux relations
- Résultat : nouvelle relation qui peut à son tour être manipulée
- L'algèbre relationnelle permet de faire des recherches dans les relations

### **2. Modèle logique de données :**

Le but du niveau logique est de proposer une organisation performante vis-à-vis de la future utilisation de la base de données. Autrement dit, il s'agit de trouver un compromis entre la suppression totale des redondances et la rapidité des opérations effectuées par l'utilisateur de la base de données.

Le même modèle conceptuel prend des formes logiques différentes pour des SGBD différents. Conformément aux choix effectués précédemment nous allons considérer le cas des SGBD relationnels. Sommairement, le passage du conceptuel au logique se fait de la manière suivante : les entités du modèle conceptuel deviennent des tables, alors que les relations sont exprimées soit par des tables, soit par la duplication d'un même attribut dans les deux tables. Les deux cas se distinguent par les cardinalités de la relation. L'opération d'association de tables est appelée une jointure (Hainaut, 1992).

Le Modèle Logique des Données (MLD) est une étape intermédiaire pour passer du modèle conceptuel, qui est un modèle sémantique, vers une représentation physique des données.

### **3. Modèle logique relationnel :**

Les relations utilisent des clés primaires et étrangères pour permettre aux bases de données de mettre en correspondance une ligne d'une table avec une ligne d'une table liée. On peut afficher ces relations dans un diagramme. En outre, les cardinalités peuvent être déterminées

Une table relationnelle correspond à un type d'entité ou d'association

Elle est composée d'**attributs** (colonnes) qui décrivent ce type.

Elle possède une **clé primaire** : ensemble minimum d'attributs qui permettent de repérer de manière univoque chaque (ligne) de la table.

Les liens entre tables sont exprimés par les **clés étrangères** ('foreignkey'). Une clé étrangère est un ensemble d'attributs d'une table T2 qui est clé primaire dans une table T1.

La clé étrangère doit correspondre à une clé primaire existante (contrainte d'intégrité référentielle).

#### **3.1 Association binaire :**

Association binaire (1/1) - (0/N) ou (1/1) - (1/N)

se traduit en ajoutant une clé étrangère (identifiant de l'entité de cardinalité (0,N) ou (1,N) ) à la table provenant de l'entité dont la cardinalité est (1,1).

Association binaire (1/1) - (0/1)

se traduit en ajoutant une clé étrangère (identifiant de l'entité de cardinalité (0,1) ) à la table provenant de l'entité dont la cardinalité est (1,1).

Association binaire (0/1) - (0/N) ou (0/1) - (1/N)

On peut prendre plusieurs scénarios

Solution 1: idem à association (1/1)-(0/N) ou (1/1)-(1/N).

Problème de clé étrangère pas toujours définie (certains SGBD supportent, d'autres non).

Solution 2: on crée une table ayant pour clé primaire les 2 identifiants. On ajoute les éventuelles propriétés de l'association à la table. Plus lourd.

Association binaire (0/N) ou (1/N) - (0/N) ou (1/N)

Se traduit par une nouvelle table dont la clé primaire est composée des identifiants des deux entités. Les éventuelles propriétés de l'association deviennent les attributs de cette table.

### **3.2. Le lien de généralisation :**

Parmi les avantages de l'approche SIG, le lien de généralisation de l'information entre les différentes classes d'entité en plusieurs niveaux d'analyse urbaine. À titre d'exemple, le PDAU est constitué de plusieurs POS, ce dernier est composé d'un ensemble d'îlots. Cette technique nous permet de travailler sur un seul support cartographique de haute résolution avec une fluidité d'information qui assure la cohérence entre les niveaux de planification et d'intervention opérationnelle.

### **3.3 La constitution d'un MLD :**

Le Modèle Logique de Données (MLD) est la modélisation logique des données qui tient compte du niveau organisationnel des données. Il s'agit d'une vue logique en terme d'organisation de données nécessaire à un traitement.

Le modèle logique de données découle du modèle conceptuel de données :

- Les entités deviennent des tables
- Les relations (0, n - 0, n) deviennent des tables
- On ajoute les clés étrangères dans les tables

#### **Remarque :**

Modèle Conceptuel de Données (MCD) :

- permet de modéliser la sémantique des informations d'une façon compréhensible par l'utilisateur de la future base de données
- ne permet pas d'implémentation informatique de la base de données dans un SGBD donné

Modèle Logique de Données (MLD) :

- permet de modéliser la structure selon laquelle les données seront stockées dans la future base de données est adapté à une famille de SGBD : ici les SGBD relationnels (MLD Relationnels ou MLD-R)
- permet d'implémenter la base de données dans un SGBD donné

### **4. Objectifs du MLD:**

- Éviter les incohérences dans les données :
  - Éviter la redondance d'information : La même information est stockée dans différentes relations
  - Anomalies: insertion, suppression, modification
  - Éviter les valeurs nulles: Difficiles à interpréter : inconnu, connu mais non disponible, inapplicable
- Rend les jointures difficiles à spécifier
- Éviter les jointures inutiles:

Améliorer les performances : la jointure est une opération coûteuse

## **5. Les règles de passage**

On passe du modèle conceptuel de données au modèle logique de données par une opération de TRADUCTION. Ce dernier est une représentation du système tel qu'il sera implémenté dans des ordinateurs. Il doit donc faire une hypothèse minimale sur l'état de l'art technologique qu'il prendra en considération. Il devra être tout de même indépendant d'une "plateforme" particulière (Oracle, Postgres, Mysql, etc...).

Quatre règles sont nécessaires pour passer du Modèle Conceptuel de Données au Modèle Logique Relationnel.

**Règle1:** Une propriété du MCD devient une colonne (attribut) de la relation

**Règle2:** une entité devient une table (relation)

**Règle3:** L'identifiant de l'entité devient clé primaire de la relation

**Règle4:** On inclue la clé primaire d'une relation comme clé étrangère dans l'autre relation.

## **Cours 6 : Modèle physiques des données**

### **1. Modèle physiques des données :**

Le niveau physique est le dernier niveau avant la base de données elle-même. Cette étape prend en compte non plus seulement le type de SGBD, mais directement le logiciel choisi. Le langage du modèle physique correspond au langage de programmation du logiciel de SGBD.

Le modèle physique est une image assez éloignée de la réalité. Sa lecture est relativement difficile et en l'absence d'un modèle logique et/Ou conceptuel, il est presque impossible de comprendre l'organisation de la base de données, à partir de ce seul schéma.

La géodatabase est un modèle de données permettant de représenter des informations géographiques à l'aide des technologies standard de bases de données relationnelles. Elle prend en charge le stockage et la gestion des informations géographiques dans les tables d'un Système de Gestion de Bases de Données Relationnelles (SGBDR) standard.

### **2. Système de gestion de base de données :**

Un SGBD, c'est une interface entre l'utilisateur (un utilisateur, un programme) et les mémoires de stockage, lui donnant l'illusion d'avoir à sa disposition des données stockées et assemblées comme il le souhaite, d'être le seul à les utiliser, et de pouvoir les manipuler à sa guise grâce à un langage spécial. C'est un outil de gestion efficace permettant de rechercher, modifier, ajouter des données dans une grande masse d'information, partagée par tous les usagers suivant leurs droits d'accès, chacun travaillant sur sa vision et sa propre structuration de l'information.

Pour les SIG, le plus utilisé est le SGBDR (Système de Gestion de Bases de Données Relationnel). Les données y sont représentées sous la forme de tables utilisant certains champs comme liens. Cette approche qui peut paraître simpliste offre une grande souplesse et une flexibilité permettant aux SIG de s'adapter à tous les cas de figure. Ce système

permet également d'économiser de la place mémoire car il évite les redondances entre les différentes tables. Des tables de données pourront ainsi servir à plusieurs projets, ou au sein d'un même projet, certains champs d'une table. (Clais Sébastien, 2003)

Un SGBD est un intermédiaire entre les utilisateurs et les fichiers physiques

Un SGBD facilite

- la gestion de données, avec une représentation intuitive simple sous forme de table par exemple
- la manipulation de données. On peut insérer, modifier les données et les structures sans modifier les programmes qui manipulent la base de données.

### 3. Particularités des SGBD géographiques (SGBDG) :

Les différences entre un SGBD et un SGBDG sont du même type que celles qui existent entre un SI (système d'information) et un SIG. Toutefois, nous n'allons pas comparer les fonctionnalités de ces deux systèmes. Nous nous pencherons plutôt sur les caractéristiques essentielles des informations géographiques et sur la gestion de ces caractéristiques par le SGBDG. Lorsque le système à modéliser est géoréférencé, les entités, aussi bien que les relations ou les attributs, peuvent être spatiaux. (Parent, C 1995). Donne une définition de ces trois notions. Une entité spatiale est une entité que l'on veut pouvoir représenter dans l'espace en définissant son emprise (est-ce une entité ponctuelle, linéaire ou surfacique, quelle est la forme exacte de sa ligne/surface ? ...) et sa situation (où est-elle située ?).

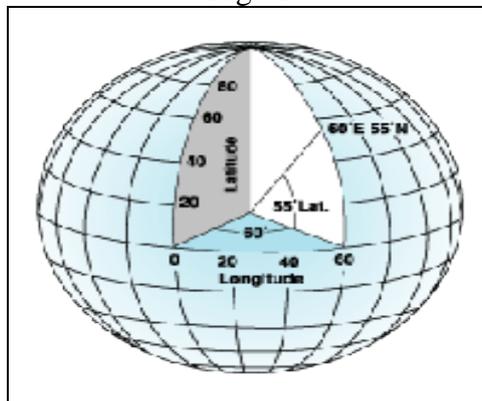
## Cours 7 : Géoréférencement et système de projection

### 1. Un système de coordonnées géographiques

Un système de coordonnées géographiques ( Geographic Coordinate System) utilise une surface sphérique à trois dimensions pour définir des emplacements sur la Terre. Un GCS est souvent confondu avec un datum,

Un point est référencé d'après ses valeurs de longitude et de latitude. La longitude et la latitude correspondent aux angles mesurés depuis le centre de la Terre vers un point de surface. Les angles sont souvent mesurés en degrés (ou en grades). L'illustration suivante projette le monde sous forme d'un globe avec des valeurs de longitude et de latitude.

Fig.01



Dans le système sphérique, les "lignes horizontales", ou lignes Est-Ouest, sont des lignes de latitude égale ou des parallèles. Les "lignes verticales", ou lignes Nord-Sud, sont des lignes de

longitude égale ou des méridiens. Ces lignes ceignent le globe et constituent un réseau quadrillé appelé un graticule.

La ligne de latitude qui sépare les pôles est appelée l'équateur. Il définit la ligne de latitude zéro. La ligne de longitude zéro est appelée méridien principal. Dans la plupart des systèmes de coordonnées géographiques, le méridien principal correspond à la longitude qui traverse Greenwich, L'origine du graticule (0,0) est définie d'après le point d'intersection de l'équateur et du méridien principal. Le globe est alors divisé en quatre quadrants géographiques calculés d'après les relèvements au compas effectués à partir de l'origine. Le nord et le sud se trouvent au-dessus et au-dessous de l'équateur, alors que l'ouest et l'est se situent respectivement à gauche et à droite du méridien principal.

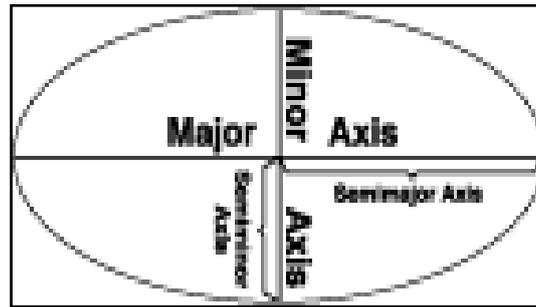
Traditionnellement, les valeurs de latitude et de longitude sont mesurées en degrés décimaux ou en degrés, minutes, secondes (DMS). Les valeurs de latitude sont mesurées par rapport à l'équateur et sont comprises entre  $-90^\circ$  au pôle Sud et  $+90^\circ$  au pôle Nord. Les valeurs de longitude sont mesurées par rapport au méridien principal. Elles vont de  $-180^\circ$  lorsqu'on va vers l'ouest jusqu'à  $180^\circ$  lorsqu'on va vers l'est. Si le méridien principal est à Greenwich, l'Australie, située au sud de l'équateur et à l'est de Greenwich, a des valeurs de longitude positives et des valeurs de latitude négatives.

## **2. Définition d'un ellipsoïde**

La forme et la taille de la surface d'un système de coordonnées géographiques sont définies par une sphère ou un ellipsoïde. Bien qu'un ellipsoïde constitue la meilleure représentation de la Terre, celle-ci est parfois traitée sous forme de sphère pour faciliter les calculs mathématiques. La supposition que la Terre est une sphère est possible pour les cartes à petite échelle (inférieure à 1:5 000 000). A cette échelle, la différence entre une sphère et un ellipsoïde n'est pas détectable sur une carte. Cependant, par souci de précision sur les cartes à grande échelle (échelles de 1:1 000 000 ou supérieures), un ellipsoïde est indispensable pour représenter la forme de la terre. Entre ces échelles, le choix d'une sphère ou d'un ellipsoïde dépend de l'usage qui sera fait de la carte et de la précision des données.

Une sphère est basée sur un cercle, un ellipsoïde sur une ellipse. Un ellipsoïde est une sphère aplatie aux pôles. La forme d'une ellipse est définie par deux rayons. Le rayon le plus long est appelé demi-grand axe et le plus court, demi-petit axe.

Fig02



Le demi-grand axe, ou rayon équatorial, représente la moitié du grand axe. Le demi-petit axe, ou rayon polaire, représente la moitié du petit axe.

La rotation de l'ellipse autour du demi-petit axe génère un ellipsoïde. Un ellipsoïde est également appelé ellipsoïde de révolution aplati. Le graphique suivant montre le demi-grand et le demi-petit axe d'un ellipsoïde.

Le demi-grand axe est dans le plan équatorial, tandis que le demi-petit axe est perpendiculaire au plan équatorial.

Un ellipsoïde est défini par le demi-grand axe,  $a$ , et le demi-petit axe,  $b$ , ou par  $a$  et l'aplatissement. L'aplatissement correspond à la différence de longueur entre les deux axes, exprimée par une fraction ou une décimale. L'aplatissement,  $f$ , est dérivé comme suit :

$$f = (a - b) / a$$

L'aplatissement étant une petite valeur, la quantité  $1/f$  lui est en général préférée. Paramètres de l'ellipsoïde pour le système géodésique mondial de 1984 (WGS 1984 ou WGS84) :

$$a = 6378137.0 \text{ m} \quad b = 6356752.31424 \text{ m} \quad 1/f = 298.257223563$$

L'aplatissement varie de 0 à 1. Une valeur d'aplatissement de 0 signifie que les deux axes sont égaux et qu'une sphère est obtenue. L'aplatissement de la Terre avoisine 0,003353. Une autre quantité qui, tout comme l'aplatissement, décrit la forme d'un ellipsoïde est le carré de l'excentricité,  $e^2$ . Il est représenté par la relation suivante :

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

Alors qu'un ellipsoïde représente approximativement la forme de la Terre, un datum définit la position de l'ellipsoïde par rapport au centre de celle-ci. Un datum fournit un cadre de référence permettant de mesurer des emplacements à la surface de la Terre. Il définit l'origine et l'orientation des lignes de latitude et de longitude.

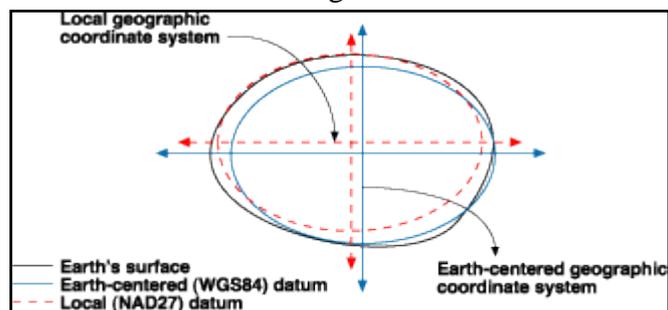
Chaque fois que vous changez le datum ou, plus exactement, le système de coordonnées géographiques, les coordonnées de vos données changent.

### 3. Datums géocentriques

Au cours des 15 dernières années, les données de satellite ont fourni aux géodésiens de nouvelles mesures pour définir l'ellipsoïde le plus adapté à la Terre, qui associe les coordonnées au centre de masse de la Terre. Un datum centré sur la terre ou géocentrique utilise comme origine le centre de masse de la terre. Le datum le plus récemment développé et le plus couramment utilisé est WGS 1984. Il sert de cadre pour les mesures d'emplacements partout dans le monde.

**Un datum local** aligne son ellipsoïde de façon à l'ajuster précisément à la surface de la terre dans une zone particulière. Un point sur la surface de l'ellipsoïde est mis en correspondance avec une position particulière sur la surface de la terre. Ce point est également désigné sous le nom de point d'origine du datum. Les coordonnées du point d'origine sont fixes et tous les autres points sont calculés d'après ce point d'origine.

Fig03



L'origine du système de coordonnées d'un datum local ne se trouve pas au centre de la terre. Le centre de l'ellipsoïde d'un datum local est décalé par rapport au centre de la terre. Le NAD 1927 et le datum européen de 1950 (ED 1950) sont des datums locaux. Le NAD 1927 est conçu de façon à s'ajuster autant que faire se peut à l'Amérique du Nord, l'ED 1950 a été créé exclusivement pour l'Europe. Puisqu'un datum local aligne son ellipsoïde très précisément sur une zone particulière de la surface de la Terre, il n'est pas adapté à une utilisation en dehors de la zone pour laquelle il a été conçu.

### 4. Les systèmes de coordonnées

Les systèmes de coordonnées permettent aux jeux de données géographiques d'utiliser des localisations communes pour l'intégration. Un système de coordonnées est un système de

référence permettant de représenter les localisations d'entités géographiques, l'imagerie et les observations telles que des positions GPS dans une structure géographique commune.

Il existe deux types de systèmes de coordonnées courants utilisés dans les systèmes d'information géographique (SIG) :

- Un système de coordonnées globales ou sphériques, tel que latitude-longitude. Elles sont souvent désignées *systèmes de coordonnées géographiques*.
- Un système de coordonnées projetées basé sur une projection cartographique telle que la projection de Mercator transverse, la projection équivalente d'Albers ou la projection de Robinson, qui proposent toutes (ainsi que de nombreux autres modèles de projection cartographique) diverses méthodes de projection de cartes représentant la surface sphérique de la Terre sur une surface de coordonnées cartésienne bidimensionnelle. Les systèmes de coordonnées projetées sont quelquefois désignés projections cartographiques.

### **5. Projections cartographiques :**

Les systèmes de coordonnées projetées sont des systèmes de coordonnées conçus pour des surfaces planes comme une carte imprimée ou un écran d'ordinateur.

Le système de coordonnées cartésien emploie deux axes : un axe horizontal est-ouest (x) et un axe vertical nord-sud (y). Le point d'intersection de ces axes s'appelle l'origine. Les emplacements des objets géographiques sont définis en fonction de l'origine à l'aide des notations (x,y), où x fait référence à la distance le long de l'axe horizontal et y à la distance le long de l'axe vertical. L'origine correspond à (0,0).

Les systèmes de coordonnées projetées utilisent également, et de plus en plus, une valeur Z pour mesurer l'altitude au-dessus ou en dessous du niveau moyen de la mer.

Un système de coordonnées projetées se définit sur une surface plane, bidimensionnelle. Des coordonnées projetées peuvent être définies pour des jeux de données en 2D (x,y) et 3D (x,y,z), où les mesures x,y représentent l'emplacement sur la surface de la Terre et z la hauteur au-dessus ou en dessous du niveau moyen de la mer.

Contrairement à un système de coordonnées géographiques, un système de coordonnées projetées possède des longueurs, des angles et des surfaces constants dans les deux dimensions. Cependant, toutes les projections cartographiques représentant la surface de la Terre sous forme de carte plane créent une distorsion de la surface, de la distance, de la forme ou de la direction.

De nombreuses projections cartographiques sont conçues pour des usages spécifiques. Une projection cartographique peut être utilisée pour conserver la forme, alors qu'une autre sera utilisée pour conserver la surface (projection conforme contre projection équivalente).

Ces propriétés, la projection cartographique (avec Éllipsoïde et Datum), deviennent des paramètres importants dans la définition du système de coordonnées pour chaque jeu de données SIG et chaque carte. En enregistrant des descriptions détaillées de ces propriétés pour chaque jeu de données SIG, Il est donc possible d'intégrer et de combiner des informations provenant de plusieurs couches SIG. C'est une fonction fondamentale du SIG. La précision de

la localisation sous-tend presque toutes les opérations SIG. ArcGIS utilise la projection de type cube et l'ellipsoïde WGS 1984.

### **6. Système Géodésique WGS84 :**

Les deux demi-grands axes qui joignent le centre à l'équateur ont une longueur de 6 378.137 km . Le demi-petit axe qui joint le centre a un pôle a une longueur de 6 356.752 314 km

Ce qui donne une circonférence à l'équateur de 40 075.017 km.

En passant par les pôles on a une ellipse de 40 007.863 km de longueur, cette ellipse a une excentricité de 0.081 8191 89 (l'excentricité d'une ellipse varie entre 0 et 1, pour une excentricité de 0 l'ellipse est devenue un cercle, et pour une excentricité de 1 elle est devenue une parabole).

Cet ellipsoïde de révolution d'axe Nord Sud qui est censé représenter au mieux la surface de notre planète est appelé le système géodésique WGS84, et les récepteurs GPS fournissent des points dans ce système sous forme d'angles  $\alpha$  pour la latitude et  $\lambda$  pour la longitude.

### **7. Transverse Universelle de Mercator ou UTM :**

L'UTM est un type de projection conforme de la surface de la terre. C'est une projection cylindrique où l'axe du cylindre croise perpendiculairement l'axe des pôles de l'ellipsoïde terrestre au centre de l'ellipsoïde. C'est un système de référence géospatiale qui permet d'identifier tous les points de la terre.

Pour couvrir la surface de la terre, on l'a découpée en 60 fuseaux de  $6^\circ$  en séparant l'hémisphère Nord et l'hémisphère Sud. Soit au total 120 zones (60 pour le Nord et 60 pour le Sud). On a alors développé le cylindre tangent à l'ellipsoïde le long d'un méridien pour obtenir une représentation plane.

Le territoire algérien est situé sur 4 fuseaux:

1. UTM Nord, fuseau 29 : entre 6 degrés Est et 12 degrés Est Greenwich.
2. UTM Nord, fuseau 30 : entre 6 degrés Ouest et 0 degrés Greenwich.
3. UTM Nord, fuseau 31 : entre 0 degrés et 6 degrés Est Greenwich.
4. UTM Nord, fuseau 32 : entre 6 degrés Est et 12 degrés Est Greenwich

**Fig04** : la projection cylindrique UTM



Chaque carré est lui-même divisé en carrés secondaires, eux-mêmes divisés à nouveau en carrés plus petits, et ainsi de suite. Il n'y a pas de limite théorique à la profondeur des divisions, celle-ci dépendant uniquement de la précision de l'outil utilisé (cartes, récepteur G.P.S., etc.).

## **8. Géoréférencement :**

Géoréférencement, géocodage, calage, chacun utilise un terme différent pour assigner des coordonnées spatiales à un raster plein de pixels.

Dans ArcGIS, le système de coordonnées est utilisé comme méthode d'intégration automatique des emplacements géographiques provenant de jeux de données différents dans une structure de coordonnées commune pour l'affichage et l'analyse.

Tous les éléments d'une couche de carte ont une localisation et une étendue géographiques spécifiques qui leur permettent d'être repérés sur la surface de la terre, ou près de celle-ci. La capacité de décrire avec précision des localisations géographiques est essentielle pour la cartographie et le SIG. Ce processus s'appelle le géoréférencement.

Tous les jeux de données géographiques utilisés dans ArcGIS sont supposés posséder un système de coordonnées bien défini qui permet leur localisation par rapport à la surface de la Terre.

Si les jeux de données possèdent un système de coordonnées bien défini, alors ArcGIS peut intégrer automatiquement les jeux de données avec les autres en les projetant à la volée sur la carte.

Le géoréférencement est l'opération d'attribution des coordonnées géographiques à un fichier image ou raster de provenance aérienne ou satellite. Le géoréférencement reste l'une des tâches principales pour un analyste SIG ou un cartographe.

## **Cours 8 : Intégration des données et mise en place**

### **1. Les Logiciels**

Il est préférable d'avoir des connaissances requises de différents logiciels SIG, permettant de faire des transferts des fichiers parce qu'il n'est pas évident de travailler avec un seul logiciel. Il est souhaitable d'avoir une idée sur l'ensemble des logiciels suivants : **ArcGis 10.1, Power AMC, GlobalMapper 13, AUTO CAD 2008, ENVI4.5.**

**1.1. ArcGis** dans ses versions 9.3 ou 10.1 est un logiciel de système d'information géographique développé par la société ESRI (Environmental Systems Research Institute). C'est un outil pour gérer, visualiser, cartographier, interroger et analyser toutes les données disposant d'une composante spatiale. (ESRI France 2007). Le choix du logiciel Arc Gis nous offre des possibilités d'intégration des données dans un support géodatabase Arc catalogue pour une modélisation spatio-temporelle orientée objet.

Il peut être acquis sous différents produits soit ArcInfo, ArcEditor, ArcView et ArcReader.

Ces différents produits utilisent les trois mêmes applications formant le cœur d'ArcGIS, soit :

- **ArcMap**: qui permet de créer des cartes et faire des analyses spatiales.
- **ArcCatalog**: qui permet de visualiser rapidement les jeux de données, d'effectuer la gestion des fichiers et de les décrire à l'aide de métadonnées.
- **ArcToolbox**: qui permet d'effectuer des transferts de format et de projection.
- **Arc GIS Diagrammer**: Arc GIS Diagrammer est une application autonome qui permet de consulter, de modifier ou de créer le schéma d'une Géodatabase. Les schémas sont présentés graphiquement et chaque élément peut être modifié au travers d'une série de propriétés via une interface très simple. Tous les éléments d'une Géodatabase peuvent être ainsi modélisés et des fonctions de validation permettent de vérifier la cohérence du schéma par rapport aux contraintes du type de Géodatabase cible (GDB personnelle, GDB fichier, GDB ArcSDE, ...).

ArcGISDiagrammer est tout simplement un éditeur graphique de document XML de Géodatabase. C'est le format principal de fichier qu'utilise l'application en écrivant et en lisant directement les documents XML générés par les produits ArcGIS depuis plusieurs versions déjà et dont la structure est publiée par ESRI depuis 2004. Ces fichiers contiennent la description de la structure des Géodatabases et parfois également les données. L'application est donc capable de restituer graphiquement (à la volée) le schéma de la Géodatabase pas l'intermédiaire de ce fichier XML généré par les commandes standards d'ArcCatalog. Une fois le schéma modifié, le document XML peut être utilisé pour recréer tout ou partie de la structure d'une Géodatabase en utilisant les commandes standards d'ArcCatalog.

ArcGISDiagrammer permet également, à partir des documents XML de Géodatabase, de générer des rapports (HTML) récapitulant les propriétés des différents éléments d'une Géodatabase (classes d'entités, tables, relations, domaines, sous-types, règles de topologies, versions, ...). Des rapports concernant les données (type, nombre d'entités par classe, ...) peuvent aussi être construits automatiquement à partir d'une Géodatabase.

**1.2. Microsoft Excel** (officiellement Microsoft Office Excel) est un tableur composé de 65 536 lignes, 256 colonnes (jusqu'à la version 2007), dont le maximum des feuilles par classeur est limité par la quantité de mémoire disponible, développé au départ par Microsoft pour le Macintosh et porté ensuite sur Microsoft Windows. Il fait partie de la suite Microsoft Office et est depuis sa version 5 (1993) le tableur dominant sur ces plates-formes. Les fichiers produits à l'aide du logiciel portent l'extension xls.

### **1.3. PowerAMC :**

Power AMC est un environnement graphique de modélisation très simple d'emploi qui permet d'effectuer les tâches suivantes :

◆ Modélisation intégrée via l'utilisation de méthodologies et de notations standard :

Données (E/R, Merise)

Métiers (BPMN, BPEL, et XML)

Application (UML)

◆ Génération automatique de code via des templates personnalisables :

SQL (avec plus de 50 SGBD)

Java -NET

◆ Une solution de référentiel avec des fonctionnalités de sécurité et de gestion des versions très complètes pour permettre un développement multiutilisateur

◆ Fonctionnalités de génération et de gestion de rapports automatisés et personnalisables

◆ Un environnement extensible, qui vous permet d'ajouter des règles, des commandes, des concepts et des attributs à vos méthodologies de modélisation et de codage

### **1.3.1 Modélisation à l'aide de PowerAMC :**

Power AMC fournit un jeu unique d'outils de modélisation professionnels qui associent les techniques et notations standard de la modélisation de processus métiers, de la modélisation des données et de la modélisation d'applications UML et d'autres fonctionnalités puissantes nous aide à analyser, concevoir, construire et maintenir les applications, en utilisant les techniques les plus élaborées d'ingénierie logicielle.

La solution de modélisation PowerAMC permet d'intégrer étroitement la conception et la maintenance des couches de données centrales de nos application et exigences de projet, processus métiers, code orienté objet, vocabulaires XML et informations de répllication de base de données.

PowerAMC n'impose aucune méthodologie ou aucun processus d'ingénierie logicielle. Chaque société peut mettre en oeuvre sa propre organisation, en définissant les responsabilités et les rôles, en indiquant quels outils utiliser et quelles sont les validations requises, et en spécifiant les documents à produire à chaque stade du processus.

Une équipe de développement va comprendre plusieurs rôles d'utilisateurs, incluant les analystes métier, les analystes et concepteurs, les administrateurs de base de données, les développeurs et des testeurs, chacun utilisant une combinaison différente de composants de PowerAMC.

### **1.4. Visio :**

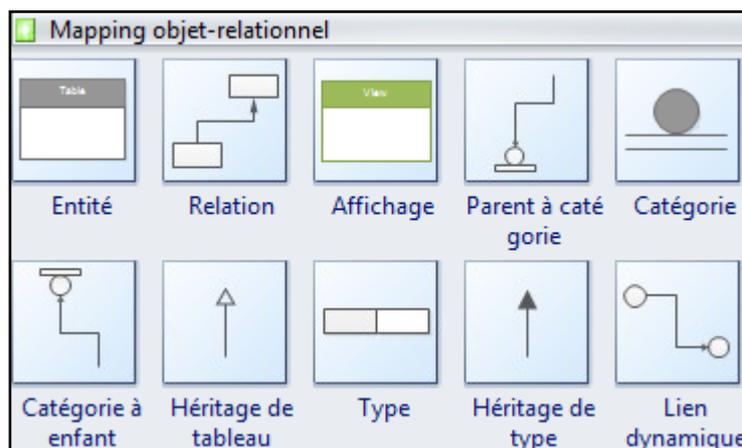
Microsoft Office Visio est un logiciel de diagrammes et de synoptiques pour Windows qui fait partie de la suite bureautique Microsoft Office mais se vend séparément.

On peut choisir d'utiliser le diagramme simple et les formes de dessin simples pour dessiner les diagrammes de modèle de données, mais comme il est un modèle spécial pour diagrammes de modèle de données,

Pour le concept de modélisation objet-relationnel (Modèle de relation d'objet).

Utilisez les formes objet-relationnel, qui ont des formes supplémentaires pour travailler avec les types, pour modéliser des bases de données. Le modèle de relation d'objet comprend l'entité, la relation, le type, l'affichage, la catégorie et le lien.

**Fig.01** : la modélisation objet-relationnel (les formes de dessin)



## 2. La jointure spatiale et attributaire

Il s'agit d'ajouter à une table (dite d'accueil) des champs issus d'une autre table (dite à joindre). Il faut bien sûr indiquer une condition de jointure, qui peut porter sur la valeur de deux champs (dits champs de jointure), ou sur une relation spatiale entre les entités.

(IUTSTID, 2012).

### 2.1. Jointure attributaire :

Une jointure attributaire permet comme son nom l'indique de joindre deux tables attributaires décrivant des entités communes et partageant un champ commun. L'opération produit une seule table juxtaposant les champs de la table à joindre à ceux de la table d'origine. Dans un Système d'Information Géographique la table d'origine est souvent celle associée aux entités localisées d'une couche géographique, ce qui permet par exemple de cartographier les données d'un tableau statistique sans dimension spatiale. Les jointures attributaires sont utilisées lorsque l'on souhaite introduire des informations nouvelles dans une couche géographique, par exemple: on dispose d'une couche école primaire, identifiés par le code\_ilot et d'une table ilot, également identifiés par le code\_ilot. Pour disposer des écoles primaires dans la table attributaire d'ilot, on peut faire une jointure attributaire de POS avec école primaire sur le code\_ilot.

- pour réaliser la jointure: clic droit sur la couche d'accueil, Jointures et Relations, Joindre..., méthode "Joindre les attributs d'une table"

La table résultante remplace la table d'accueil. Il n'y a pas de modification physique des données (les fichiers originels sont inchangés).

## **2.2. Jointure spatiale :**

Le même principe que la jointure attributaire s'applique mais au lieu que la jointure entre les tables s'appuie sur une relation logique (le partage d'un même champ) c'est une relation spatiale qui joue, c'est à dire une caractéristique de positionnement relatif des deux entités. Par exemple, une table des écoles pourra être jointe à une table des communes en fonction d'une relation spatiale de type inclusion géométrique.

Dans une jointure spatiale entre deux tables carto+données, le critère de jointure porte sur une relation spatiale entre les entités (inclusion ou intersection)

## **Cours 9 Exploitation et mise en œuvre**

### **1. Analyse par requêtes:**

Les requêtes de sélections (thématique, topologique et géométrique), soulève plusieurs questions concernant essentiellement l'extension urbaine, le réaménagement des quartiers et les risques associés, les différents types de requêtes se basent sur : la Localisation, la distribution, l'évolution et la répartition des objets.

Le but de concevoir un système d'information géographique n'est pas seulement de réaliser des cartes ou des plans, mais d'avoir une banque de donnée consultable en tout moment par les services concerné.

Une requête est définie comme une opération d'interrogation effectuée sur une partie de base de données. Dans le logiciel, elle est présentée sous forme d'une « sélection » par requête, c'est-à-dire qu'elle permet de sélectionner les objets en fonction de leurs caractéristiques ou de leur situation géographique. En effet, cet outil peut porter aussi bien sur les données attributaires que géographiques des objets. Leur sémiologie peut également être questionnée.

On peut distinguer les questions dites « simples » des questions dites « complexes » qui vont permettre de définir le type de requête appropriée pour répondre à la question posée, pour pouvoir résoudre le problème initial (Antonio2005).

L'objectif des requêtes est de sélectionner, de localiser, ou de manipuler des objets répondant à un ou plusieurs critères.

#### **1.1. Contexte :**

L'organisation et la normalisation des données garantissent la qualité et la faisabilité de l'interrogation (requêtes de sélection).

La fermeté de la saisie de l'information géographique garantit la bonne mise en œuvre des requêtes (Abram Pointet2006).

Le processus d'introduire une requête est basé sur le principe de question – réponse, la démarche du travail suit les étapes suivantes :

- Création d'une requête
- Soumission de la requête
- Contrôle d'intégrité de la requête
- Réponse
- 

## **1.2. Langage SQL :**

On va utiliser le logiciel ArcGis10 pour notre base de données relationnelle dans ce cours, cette version nous permet d'introduire nos requêtes en utilisant le langage SQL.

SQL (StructuredQueryLanguage) c'est-à-dire « langage d'interrogation structuré ». En fait SQL est un langage complet de gestion de bases de données relationnelles. Il a été conçu par IBM dans les années 70. Il est devenu le langage standard des systèmes de gestion de bases de données relationnelles. (Antonio2005)

SQL (StructuredQueryLanguage) regroupe un ensemble d'expressions définies et une syntaxe afin d'interroger et de manipuler des données dans les systèmes de gestion de bases de données relationnelles (SGBDR).

L'institut ANSI (American National Standards Institute) définit une norme pour SQL. La plupart des SGBDR font appel à cette norme et l'ont étendue, ce qui a rendu la syntaxe SQL légèrement différente d'un SGBDR à l'autre.

## **1.3. Les requêtes géométriques:**

La requête géométrique considère la sélection d'objets sur la base de caractéristiques géométriques. Les classes d'entités (vecteur) offrent plus de possibilités pour les requêtes portant sur la géométrie.

La position est la première caractéristique géométrique des objets. Elle permet de sélectionner ou manipuler les objets en fonction de leur position (x, y) dans l'espace géographique.

Exemple : sélection des terres situées au nord d'un lieu (Retenu collinaire)

```
SELECT [terre agricole]
FROM [terre agricole]
WHERE [y] > 2347m
```

Cette requête nous permet de déterminer les terres agricoles qui sont au-dessus de la ligne de forage afin de déterminer les surfaces qui seront irriguées par pompage ou par la gravité.

La longueur et l'aire sont les deuxièmes caractéristiques géométriques des objets. Elles permettent de sélectionner ou manipuler les objets en fonction de leur taille.

Exemple : sélection des objets d'une taille supérieure à un seuil

```
SELECT [lots terrain]
FROM [lots terrain]
WHERE [AREA] > 2000
```

La distance est la troisième caractéristique géométrique des objets. Elle permet de sélectionner ou manipuler les objets en fonction de leur distance à d'autres objets.

Exemple : sélection des objets à une distance à 200 m de la route

```
SELECT [habitats]
FROM [habitats], [route]
WHERE Distance ([habitats]. ID, "m") < 200
```

#### **1.4. Les requêtes topologiques :**

La topologie considère l'objet dans son contexte spatial. Elle permet l'analyse des relations spatiales entre objets. Le modèle topologique considère trois éléments de l'objet :

Le bord, Le corps intérieur, La matrice

Les opérateurs topologiques considèrent certaines relations évoquées

DISJOINT aucune intersection

ADJACENT intersection des bords uniquement

INTERSECT intersection des bords et des corps

CONTENANT corps du premier contient les bords du second

COUVRANT corps du premier est enveloppé par le corps du second

EQUAL les bords et les corps sont identiques

**Exemple** : pour proposer un plan d'évacuation des personnes en cas d'inondation il est indispensable de déterminer les ilots qui avoisinent l'oued.

La requête correspond alors à :

```
SELECT [ilotsurbain]. *
```

```
FROM [ilotsurbain], [ouade]
```

```
WHERE Adjacent ([ilotsurbain]. ID [ouade].ID
```

**Exemple** : pour déterminer les ilots exposés au risque technologique d'une unité industrielle, il est nécessaire de déterminer l'intersection entre les ilots urbains et le champ de risque

La requête correspond alors à :

```
SELECT [ilotsurbain]. *
```

```
FROM [ilotsurbain], [servitudes]
```

```
WHERE Intersect ([ilotsurbain]. ID [servitudes]. ID
```

#### **1.5. Les requêtes thématiques :**

La requête thématique a pour objectif de sélectionner ou utiliser des objets spatiaux sur la base de leurs attributs. Le formalisme général d'une requête de sélection dépend de trois éléments.

SELECT : Les classes d'entités qui nous affichera la réponse

FROM : Les classes d'entités sur lesquelles se trouve l'information concernée

WHERE : Les critères de sélection (attribut choisi)

On distingue quatre types d'opérateurs pouvant composer une requête, les opérateurs de comparaison, les opérateurs arithmétiques, les opérateurs logiques, et les opérateurs statistiques.

#### **1.6 Les Opérateurs de comparaison :**

Les opérateurs de comparaison sont utilisés pour confronter les valeurs d'attribut d'un objet à un critère de sélection. La comparaison peut porter sur des attributs.

Nominaux (nom, ...), Ordinaux (classes, ...), Cardinaux (valeur, ...) Abram, Pointet (2006)

Les opérateurs de comparaison principaux sont

= Égalité

< Infériorité

> Supériorité

<= Infériorité ou Égalité

>= Supériorité ou Égalité

<> Inégalité

### 1.7. Les Opérateurs arithmétiques :

Les opérateurs arithmétiques sont utilisés pour calculer de nouvelles valeurs d'attribut d'un objet. Ils s'appliquent en règle générale à des attributs de type cardinal, cependant, il est possible de les utiliser pour des valeurs nominales ou ordinaires.

La séquence des opérateurs suit les règles mathématiques traditionnelles, de telles sortes que les opérateurs arithmétiques principales sont : Addition, Soustraction, Multiplication et Division (Abram, Pointet2006).

### 1.8. Les Opérateurs logique :

Les opérateurs logiques permettent de combiner plusieurs critères au sein d'une requête, les opérateurs principaux sont:

- AND opérateur « et »
- OR opérateur « ou inclusif »
- XOR opérateur « ou exclusif »
- NOT opérateur « et non »

**Exemples :** pour déterminer les secteurs d'urbanisation future d'une ville on doit utiliser un opérateur logique AND qui combinera entre différents attributs selon nos critères définies  
SELECT \*

FROM [les secteurs]

WHERE [Rendement] = « faible » AND [risque] = « faible » AND [résistance] = « élevé »

### 1.9. Les Opérateurs statistiques :

Les opérateurs statistiques permettent de calculer une variable synthétique d'attributsa travers des outils qui permettent l'établissement d'une relation entre l'analyse de variables (calcul de la moyenne, densité ....) sur les objets géographiques, on présente les principaux opérateurs statistiques comme suit :

MAX : renvoi à la valeur maximale rencontrée

MIN : renvoi à la valeur minimale

MIEAN : renvoi à la moyenne

StdDev : renvoi à l'écart-type

VAR : renvoi à la variance

SUM : renvoi à la somme

Afin de faire une Synthèse sur les différents types de requêtes on s'est basé sur le tableau N°27 récapitulatif qui illustre l'usage et le type de traitement de chaque exemple de requête.

Tableau N°01 :Lestypes de traitements avec des données spatiales

Traitements	Usages	Exemples de requêtes
Localisation	Inventaire localisé	Qu'y a-t-il à tel endroit ?
Distribution	Analyse thématique	Où trouve-t-on tel genre de phénomène ?
Evolution	Analyse temporelle	Qu'est-ce qui a changé depuis ?
Répartition	Analyse spatiale	Quelle est la forme, la structure ou l'organisation fonctionnelle de ... ?
Modélisation	Simulation des processus	Que se produirait-il si... ?
Optimisation	Aide à la décision	Quelle est la meilleure façon de... ?

Source : florentjoerin Décider sur le territoire, Proposition d'une approche par utilisation de SIG et de méthodes d'analyse multicritère

## Cours 10 : L'analyse spatiale, Network et géostatistique

L'outil SIG nous offre plusieurs analyse et méthodes d'interrogation conformes aux besoins de l'étude en l'occurrence :

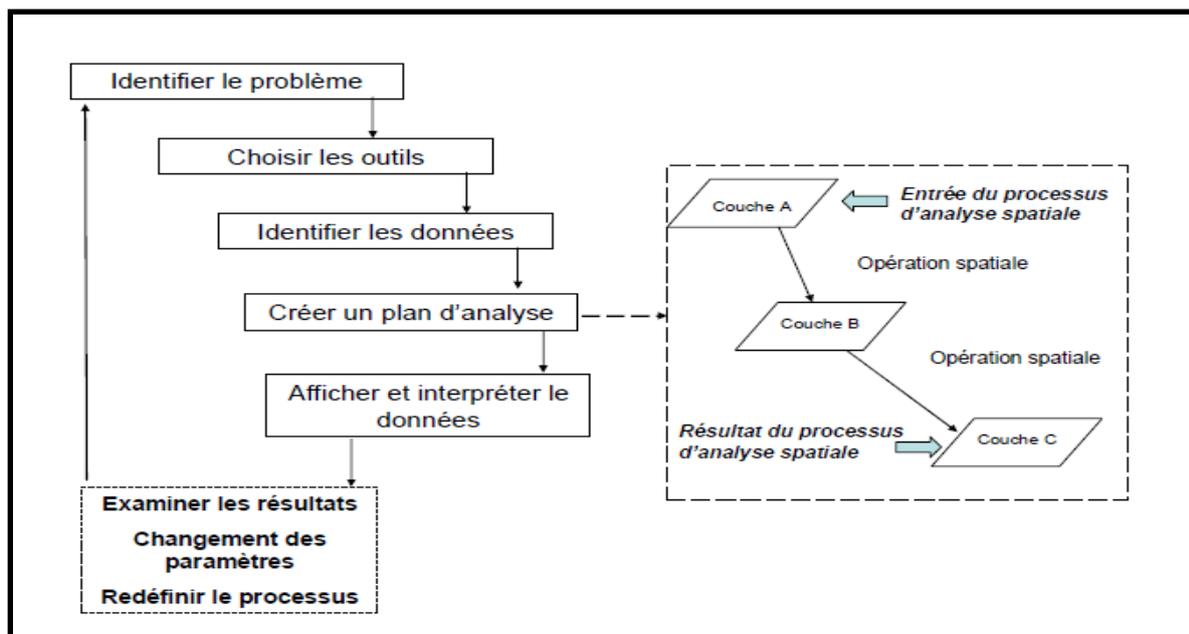
- L'analyse Network nous permet de réaliser des analyses spatiales sur les réseaux notamment calculs d'itinéraires, recherches de proximité, zones de desserte et emplacement-allocation...etc.
- L'analyse spatiale consiste à décrire une disposition particulière de certains objets, leur organisation spatiale, de repérer des structures et de justifier le choix d'une localisation par d'autres.
- L'analyse statistique concerne l'exploration des données afin d'examiner la distribution des valeurs d'un attribut, elle est utile de disposer des informations d'une classes d'entité sur une carte, courbe ou un diagramme, elle sert aussi à la récapitulation des données. Elle se fait pour les catégories, pour calculer la surface totale de chaque catégorie d'objet.

### 1. L'analyse spatiale :

L'objectif de l'analyse spatiale consiste à décrire une disposition particulière de certains objets, leur organisation spatiale, repérer des structures, expliquer une localisation par d'autres. Son but est de déceler en quoi la localisation apporte un élément utile à la connaissance des objets étudiés (Pumain et Saint-Julien, 2004).

La figure N01 montre bien le processus d'analyse spatial en utilisant l'outil SIG de l'identification du problème jusqu'aux résultats. Par ailleurs, le même processus d'analyse nous permet de traiter plusieurs problématiques au niveau du périmètre d'étude.

**Fig.01: Processus d'analyse spatiale**



Source :Processus d'analyse spatiale (Mitchell, 2005).

L'analyse spatiale est une démarche qui inclut des techniques formelles qui étudient des objets géographiques en utilisant leurs propriétés topologiques ou géométriques.

Donc c'est une activité qui constitue souvent une finalité du SIG, notamment au niveau de la préparation de la décision (Essevaz-Roulet et al, 2008).

A titre d'exemple l'analyse spatiale des équipements (écoles primaires) fait apparaître clairement l'utilité de l'analyse de proximité dans la détermination du taux de couverture. L'analyse statistique des équipements par le voisin le plus proche et l'indice de Moran nous a permis la spatialisation des équipements et une corrélation aléatoire avec la population.

L'introduction d'une approche de risque urbain par la superposition entre l'aléa et les enjeux exposés permet d'évaluer le degré de vulnérabilité.

La répartition d'un phénomène est une question essentielle dans l'analyse dès que l'on décide de prendre en compte la localisation de ce phénomène ; elle permet de répondre aux questions en terme de : Où ? Comment ? Pourquoi

Les outils d'analyse sont nombreux, il convient de réfléchir à l'objectif du travail avant de se lancer dans les modifications. Dans ArcGis, les outils d'analyse sont dans ArcToolbox

Exemples d'outils d'analyse courants

- Découpage (analysis tools extract clip)
- Superposition (analysis tools overlay intersect) pour assembler uniquement les portion d'entités qui se superposent
- Superposition (analysis tools overlay union) pour assembler toutes les entités qui se superposent
- Zone tampon (analysis tools proximity buffer) créer une zone tampon autour des entités sélectionnées

### **1.1.Utilisation du ModelBuilder pour l'analyse spatiale :**

Model Builder est une application de géotraitement dans laquelle on peut schématiser un processus d'analyse. Les modèles sont assemblés graphiquement sous la forme d'une séquence logique d'outils dans laquelle les sorties d'un outil sont introduites dans des opérations suivantes.

Pour créer un modèle de géotraitement dans ModelBuilder, ajoutez des outils et des données dans une vue de modèle, puis établissez des connexions entre eux afin de définir leur ordre d'exécution.

Les éléments de modèle sont les composants de base des modèles. Il existe trois principaux types d'éléments de modèle : les outils de géotraitement, les variables et les connecteurs.

On peut résumer les étapes permettant la création d'un ModelBuilder suivant les étapes suivantes :

Ouvrir ModelBuilder

Ajouter les données

Ajouter des outils de géotraitement

Connecter des données et des outils

Modifier les paramètres d'outil

Définir les paramètres du modèle

Exécution du modèle

Des applications permettant aux étudiants une bonne compréhension de cette méthode sur les logiciels est à développer dans les séances de travaux pratiques.

## **2. L'analyse Network :**

Les objets géographique présentant une géométrie poly-ligne notamment les routes et les réseaux divers qui sont structuré et traité par un mode d'analyse spécifique " L'analyse Network "

Arc GIS Network Analyst effectue des analyses spatiales sur les réseaux routiers, notamment calculs d'itinéraires, tournées de véhicules, feuilles de route, recherches de proximité, zones de desserte et emplacement-allocation. (ESRI France 2008.)

Grâce à un modèle de données réseau évolué, les utilisateurs peuvent facilement créer des jeux de données réseaux à partir de leurs données SIG.(ESRI France 2008.)

ArcGIS Network Analyst permet de modéliser de manière dynamique des conditions de réseau réalistes, notamment des rues à sens unique, des restrictions de tournant et de hauteur, des limitations de vitesse et des conditions de circulation à différentes heures de la journée.(ESRI France 2008.)

Avec ArcGIS Network Analyst, on peut :

- rechercher le chemin le plus court,
- générer les itinéraires les plus efficaces pour une flotte de véhicules dont la tournée inclut de nombreux points d'arrêt,
- utiliser les fenêtres de temps pour limiter l'heure d'arrivée des véhicules,
- localiser les ressources les plus proches,
- déterminer l'emplacement optimal d'une ressource via une analyse emplacement-allocation,
- définir des zones de desserte selon le temps de trajet ou la distance,
- utiliser vos données SIG existantes pour créer rapidement un réseau,
- générer une matrice de coût de déplacement sur le réseau de chaque origine vers toutes les destinations. (ESRI France 2008).

## **3. L'analyse statistique**

Les informations relatives aux attributs d'entités et à leur localisation sont inséparables aux données SIG. Ces informations servent à créer des cartes qui peuvent être analysées visuellement. L'analyse statistique vous aide à extraire de vos données SIG des informations complémentaires qui peuvent ne pas être évidentes en regardant une carte. Il s'agit par exemple de la façon dont les valeurs attributaires sont distribuées, s'il y a des tendances spatiales dans les données ou si les entités forment des modèles spatiaux. A la différence des fonctions de requête (comme identifier ou sélection, qui fournissent des informations au sujet d'entités individuelles), l'analyse statistique révèle les caractéristiques d'un ensemble d'entités dans son intégralité.

### **3.1. Utilisations de l'analyse statistique**

L'analyse statistique est souvent utilisée pour explorer les données : par exemple, pour examiner la distribution des valeurs d'un attribut particulier ou pour repérer des points

aberrants (valeurs très élevées ou très basses). Il est utile de disposer de ces informations lors de la définition de classes et de plages sur une carte, de la reclassification de données ou de la recherche d'erreurs dans les données.

L'analyse statistique sert aussi à la récapitulation des données. Elle se fait souvent pour les catégories, par exemple pour calculer la surface totale de chaque catégorie d'utilisation du sol. Vous pouvez aussi créer des résumés spatiaux, par exemple calculer l'altitude moyenne de chaque bassin versant. Les données récapitulatives permettent de mieux appréhender les conditions d'une zone d'étude

### 3.2. Fonctions d'analyse statistique sous ArcGis

Les fonctions statistiques d'ArcGIS for Desktop se trouvent dans ArcMap, ArcCatalog et le géotraitement, ainsi que dans deux extensions : ArcGIS Spatial Analyst et GeoStatisticalAnalyst.

#### 3.2.1. Statistiques de table

Un ensemble principal de statistiques descriptives qui récapitulent les valeurs pour un seul champ est disponible à plusieurs emplacements d'ArcGIS for Desktop, la fenêtre de la table d'ArcMap, l'onglet d'aperçu de la table d'ArcCatalog, et le jeu d'outils Statistiques (dans la boîte à outils d'analyse).

**Tableau N(01) :** principales fonctions de résumés statistiques pour un champ unique

Fonction	Emplacement	Statistiques	Sortie
Option du <u>menu Statistiques</u>	Fenêtre de table d'ArcMap ou onglet d'aperçu de table d'ArcCatalog	Total, Minimum, Maximum, Somme, Moyenne, Ecart type, Histogramme de fréquence	Les résultats s'affichent dans une fenêtre.
Outil <u>Résumés statistiques</u>	<u>Boîte à outils Analyse/jeu d'outils Statistiques</u>	Minimum, Maximum, Somme, Moyenne, Ecart type, Plage, Premier, Dernier	Les résultats sont écrits dans une nouvelle table.

Source :Esri France 2011

Pour récapituler un champ par un ou plusieurs autres champs (par exemple, pour compter le nombre de parcelles dans chaque classe d'utilisation du sol, additionner la surface dans chaque classe d'utilisation du sol ou trouver la taille moyenne de parcelle dans chaque classe), utilisez l'option Récapituler de la fenêtre de table d'ArcMap, ou l'outil Fréquence du jeu d'outils Statistiques de la boîte à outils Analyse.

**Tableau (02) : principales fonctions de résumés statistiques pour plusieurs champs**

Fonction	Emplacement	Statistiques	Sortie
Option du <u>menu</u> <u>Récapituler</u>	Fenêtre de table d'ArcMap (cliquer avec le bouton droit sur un nom de champ)	Minimum, Maximum, Moyenne, Somme, Ecart type, Variance	Les résultats sont écrits dans une nouvelle table.
Outil <u>Fréquence</u>	<u>Boîte à outils Analyse/jeu d'outils</u> <u>Statistiques</u>	Total, Somme	Les résultats sont écrits dans une nouvelle table.

Source :Esri France 2011

### 3.2.2. Statistiques spatiales :

La boîte à outils Statistiques spatiales contient un certain nombre de routines statistiques pour l'analyse de la distribution d'un ensemble d'entités, l'analyse de modèles et l'identification d'agrégats.

**Tableau (03) : Fonctions et emplacements des outils de statistiques spatiales**

Domaine fonctionnel	Jeu d'outils	Outils
Mesures de distribution géographique	<u>Mesure de</u> <u>distributions</u> <u>géographiques</u>	Centre moyen, Entité centrale, Standard Distance, Directional Distribution (Standard Deviational Ellipse), Direction moyenne linéaire
Analyse de modèle géographique	<u>Analyse de modèles</u>	Average Nearest Neighbor, Spatial Autocorrelation (Moran's I), High/Low Clustering (Getis-Ord General G)
Analyse d'agrégats géographiques	<u>Appariement</u> <u>d'agrégats</u>	Cluster and Outlier Analysis (Anselin Local Moran's I), Hot Spot Analysis (Getis-OrdGi*)
Analyse de régression	<u>Modélisation de</u> <u>relations spatiales</u>	Moindres carrés ordinaires, Régression exploratoire, Régression pondérée géographiquement

Source :Esri France 2011

**3.2.3. Statistiques raster**

L'extension ArcGIS Spatial Analyst comprend plusieurs fonctions statistiques servant à analyser des rasters, principalement pour récapituler des valeurs attributaires et attribuer les résumés statistiques aux cellules dans une nouvelle couche raster. Celles-ci se trouvent dans plusieurs jeux d'outils différents de la boîte à outils ArcGIS Spatial Analyst.

**Tableau (04) :** Tableau récapitulatif des outils de statistique raster

Outil	Emplacement	Entrée	Sortie	Utilité
<u>Statistiques de cellule</u>	<u>Jeu d'outils Local</u>	Rasters multiples	Raster	Calcule les statistiques spécifiées pour chaque cellule en fonction de plusieurs entrées
<u>Statistiques focales</u>	<u>Jeu d'outils Voisinage</u>	Raster	Raster	Récapitule les valeurs d'un raster dans un voisinage défini autour de chaque cellule et attribue la valeur à cette cellule dans le raster en sortie
<u>Statistiques de points</u>	<u>Jeu d'outils Voisinage</u>	Entités ponctuelles	Raster	Récapitule les valeurs pour des attributs d'entités ponctuelles dans un voisinage défini et attribue des valeurs aux cellules dans le raster en sortie
<u>Statistiques de lignes</u>	<u>Jeu d'outils Voisinage</u>	Entités linéaires	Raster	Récapitule les valeurs pour des attributs d'entités de lignes dans un voisinage défini et attribue des valeurs aux cellules dans le raster en sortie
<u>Statistiques zonales</u>	<u>Jeu d'outils Zonaux</u>	Raster ou entités surfaciques	Raster ou table récapitulative	Récapitule les valeurs d'une surface raster par catégories ou classes (zones) du raster en entrée ou de jeu de données de polygone

Source :Esri France 2011

#### **4. L'analyse géostatistique :**

Le but principal de la géostatistique est d'estimer ou de prédire la valeur d'un paramètre dans l'espace. Elle permet de le faire sans tendance et avec une erreur minimale (Webster et Oliver, 2007). Cette branche de la statistique appliquée met l'accent sur le contexte spatial et les relations spatiales entre les données. Elle fournit des outils pour la quantification et l'exploitation de l'autocorrélation spatiale, et des algorithmes pour l'interpolation des données et la quantification des incertitudes (Isaaks et Srivastava, 1989).

##### **4.1. Méthodes d'interpolation**

Burrough et Mcdonnell (1998) ont classé les méthodes de l'interpolation en deux approches: l'approche globale et l'approche déterministe.

La méthode globale de l'interpolation utilise toutes les données disponibles pour fournir la prédiction pour l'ensemble de la zone d'intérêt. Alors que la méthode locale est faite dans une petite zone autour des données interpolées, les estimations sont faites uniquement pour la zone contenant les données.

Il existe trois principales méthodes d'interpolation dans l'extension spatial analyst d'ArcGIS: (1) le krigeage, (2) la pondération par distance inverse IDW et (3) la triangulation.

##### **4.2. Krigeage**

Lorsque les données sont abondantes, la plupart des techniques d'interpolation donnent des résultats similaires, mais quand il y a un manque de données, le choix de la méthode et de ses paramètres peuvent être crucial si l'on veut éviter de faux résultats (Burrough et Mcdonnell, 1998). Les méthodes géostatistiques du type krigeage, tentent d'optimiser l'interpolation en utilisant le variogramme pour calculer les poids des échantillons (Chaaban, 2011). Le krigeage est une méthode d'interpolation qui porte le nom de son précurseur, l'ingénieur minier d'Afrique du Sud DG Krige, qui a développé une série de méthodes statistiques empiriques afin de déterminer et de prédire avec plus de précision une réserve de minerais (Krige, 1951; Cressie, 1986 ; 1990). Cette méthode utilise le variogramme qui exprime la variation spatiale de la distribution d'une ou plusieurs valeurs attributaires tout en minimisant l'erreur de prédiction entre les valeurs en entrée et celles qui sont prévues (Chaaban, 2011).

##### **4.3. Pondération par l'Inverse de la Distance IDW**

Lorsque la densité des points d'échantillonnage varie peu sur le secteur étudié (maillage régulier des échantillons), la méthode IDW est adaptée (Mueller et al, 2004). Cette méthode consiste à calculer les valeurs des nœuds d'une grille en utilisant une moyenne pondérée des valeurs contenus dans le semi de points d'échantillonnage de la valeur à interpoler. Dans le calcul IDW, les pondérations sont inversement proportionnelles aux distances séparant le nœud considéré et les différents points de données (Rousseaux, 2006). Pour l'exemple du calcul d'un MNT, les points particuliers du terrain (sommets, vallées) et les irrégularités du relief peuvent être insuffisamment renseignés; le modèle de terrain obtenu par IDW serait donc peu réaliste (Chaaban, 2011).

##### **4.4. Triangulation TIN**

Cette méthode consiste à définir un maillage triangulaire sur la surface concernée, ou l'échantillon de données sous forme de semis de points définit les sommets de triangles (Zhou et al, 2008).

À l'intérieur de chaque facette triangulaire, les interpolations linéaires peuvent ainsi être calculées. La triangulation de Delaunay est la méthode classique pour construire cette triangulation. Cette méthode (triangulation de Delaunay) s'appuie principalement sur le critère suivant : Soit T un triangle du maillage, alors aucun point du semis (sauf ceux de T), n'est contenu dans le cercle circonscrit de T (Speckmann et Snoeyink, 2001). Un modèle numérique obtenu par la méthode TIN est assez proche de la réalité si le nombre de points d'échantillonnage est suffisant (Ali et Mehrabian, 2009).

### ***Conclusion du cours :***

Ce cours regroupe des expertises variées relative à l'application des SIG en se basant sur un ensemble de technologies et les logiciels SIG permettant de modéliser, de représenter et d'analyser le territoire pour en faire des représentations cartographiques. L'évolution des technologies de l'information géographique ces dernières années est à l'origine des changements importants dans l'usage de la cartographie pour la gestion des territoires. Par ailleurs, La création de cartes et l'analyse géographique ne sont pas des procédés nouveaux.

La banalisation des logiciels SIG à rendu accessibles, aux utilisateurs potentiels à concevoir des cartes thématiques et aux professionnels (Géomaticiens) à concevoir des Bases de données SIG avec les méthodes et les outils de la Géomatique.

Dans le cadre de ce cours, l'étudiant sera capable à concevoir et à développer des solutions à travers une base de données pour le traitement et l'analyse des thématiques ayant une composante spatiale. En effet, les SIG procurent une plus grande vitesse et proposent des outils sans cesse innovant dans l'analyse, la compréhension et l'aide à la décision. Ces solutions devront notamment s'appuyer sur une fouille automatique de données à travers des requêtes.

Ce cours permettra aux étudiants d'arriver à développer un esprit scientifique en analyse spatiale couplé aux sciences appliquées à l'action territoriale. C'est à travers des exercices pratiques dans chaque chapitre de ce cours que l'étudiant mettra ses connaissances pour une modélisation adéquate de l'espace et conduite de projets.

### **Insertion professionnelle**

Après la fin du cours l'étudiant pourra valoriser ses compétences au sein de tout organisme professionnel utilisateur de systèmes d'information géographique (SIG) : secteur de l'aménagement des territoires et urbanisme, secteur de l'environnement, collectivités locales (APC) et territoriales (Daira et wilaya), bureau d'études, ADE, SonalGaz et direction des de transport, etc.

**Exercice corrigé :**

**Exercice01**

Vous été chargé d'établir une base de données sous SIG qui permettra de gérer un continuum d'information concernant la gestion de risque industriel au niveau de la zone industrielle de Batna.

Les unités industrielles ont un identificateur, une adresse, type d'activité et un effectif de travailleurs.

Les unités sont situées sur des parcelles identifiées par leurs numéros. Les parcelles sont limitées par des frontières, la frontière d'une parcelle est chevauchée par une voirie qui se caractérise par un classement, une largeur et un état.

Ces unités sont alimentées par un réseau de gaz, et un réseau d'Alimentation en Eau Potable.

Le réseau de gaz est composé d'un ensemble d'arc caractérisés par numéro, un diamètre et type de matériel, certains arcs sont connectés par une vanne de coupure. Le réseau d'AEP est alimenté par un réservoir d'une capacité connue, ce réseau est constitué par des segments de conduites qui se caractérisent par un numéro, type de matériaux, diamètre et pression, certains de ces segments sont équipés par des poteaux d'incendie identifiés par leur numéro.

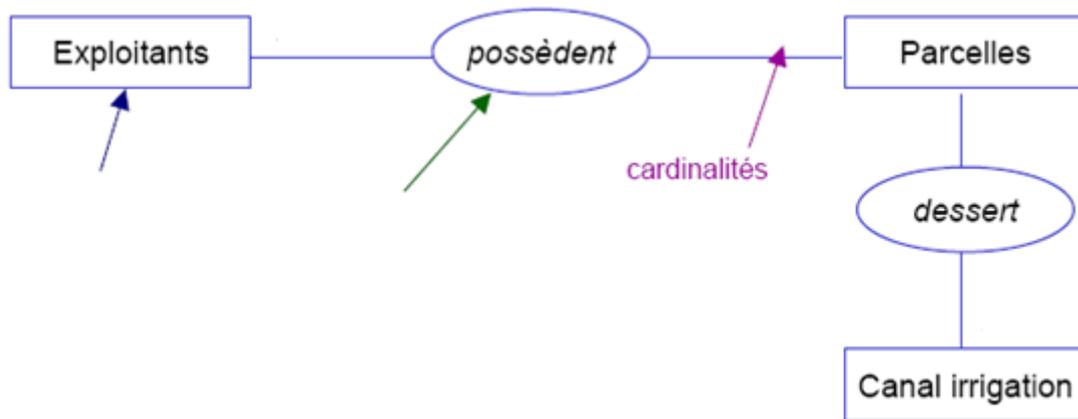
L'ensemble des unités industrielle constitue les limites de la zone industrielle créée en 1972, qui se situe au voisinage du milieu urbain. Cette proximité ville zone industrielle a engendré un aléa industriel qui confronte les ilots urbains. Ces ilots contiennent des habitations avec un nombre de population, et des équipements de type et d'activité différentes

Question : Réalisez un modèle conceptuel de données orienté – objet par la méthode MADS pour la gestion du risque industriel.



**Exercice02:**

1/ Compléter le modèle conceptuel ci-dessous :



2/ Transformer le modèle conceptuel en modèle logique relationnel.

En utilisant les attributs suivants :

**Exploitants** : IDexpl, nom, âge

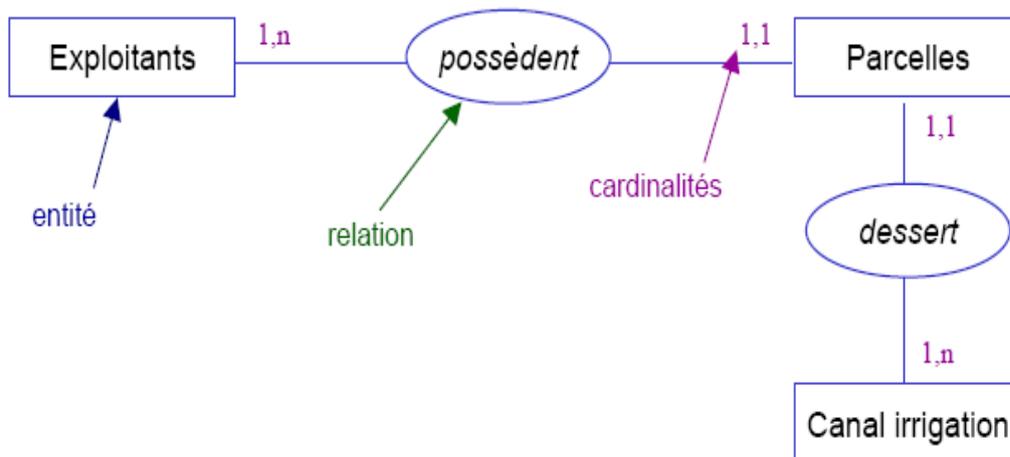
**Canal irrigation** : IDcanal, long, prof, Matériaux

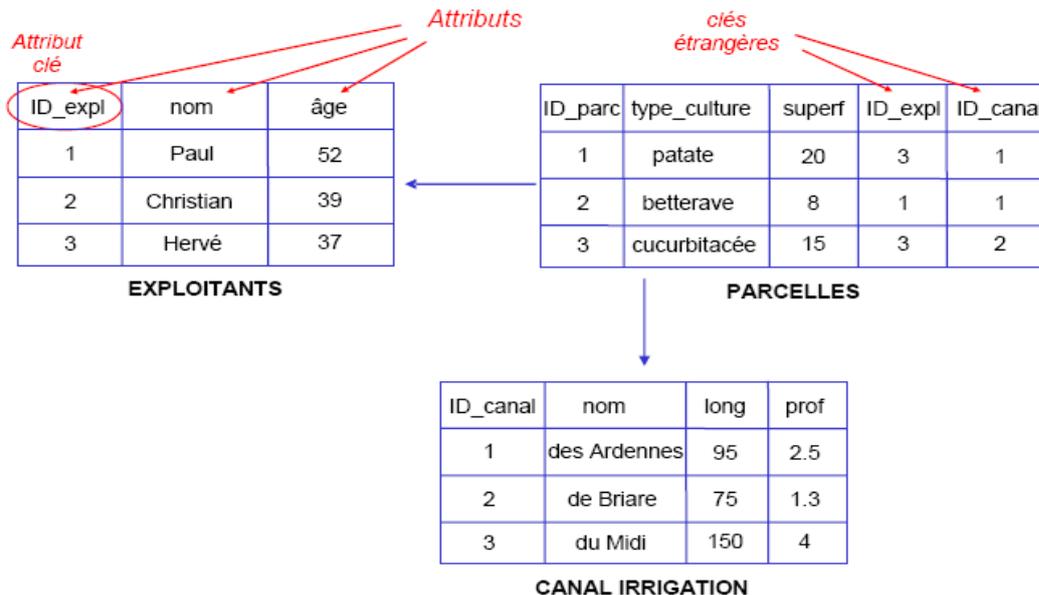
**Parcelles** : IDparcel, type\_culture

Quelles sont les règles de passage du modèle conceptuel au modèle logique ?

**Solution02:**

Modèle conceptuel de données



**Modèle logique des données****Les règles de passage**

On passe du modèle conceptuel de données au modèle logique de données par une opération de TRADUCTION. Ce dernier est une représentation du système tel qu'il sera implémenté dans des ordinateurs. Il doit donc faire une hypothèse minimale sur l'état de l'art technologique qu'il prendra en considération. Il devra être tout de même indépendant d'une "plateforme" particulière (Oracle, Postgres, Mysql, etc...).

04 règles sont nécessaires pour passer du Modèle Conceptuel de Données au Modèle Logique Relationnel.

Règle1: Une propriété du MCD devient une colonne (attribut) de la relation

Règle2: une entité devient une table (relation)

Règle3: L'identifiant de l'entité devient clé primaire de la relation

Règle4: On inclue la clé primaire d'une relations comme clé étrangère dans l'autre relation.

**Exercice03:**

Un service du cadastre gère son réseau d'eau potable, en particulier les conduites et les réservoirs qui alimentent les parcelles et les bâtiments. Vous êtes chargé d'établir une base de données qui permettra le stockage de toutes les informations sur ce réseau.

Les bâtiments ont un numéro qui les identifie et une adresse. On souhaite connaître le ou les propriétaires de ces bâtiments dont on stocke le numéro, le nom, la liste des prénoms et l'adresse. On veut aussi conserver la date d'achat d'un bâtiment par son propriétaire. Les bâtiments sont situés sur des parcelles identifiées par leur numéro.

Ces bâtiments peuvent avoir des compteurs d'eau. Ces compteurs ont un diamètre et un nombre de chiffre, un numéro d'identifiant, une date de pose et une marque.

Les bâtiments peuvent être raccordés à des segments de conduite en eau potable, qui possède un numéro, un secteur, une date de pose, un type de matériau, l'état (bon, à réparer, à changer) et un diamètre. Notons que les segments sont numérotés par secteur. Il peut exister un même numéro de segment pour deux secteurs différents (par ex on peut trouver un segment numéro 441 dans les secteurs 16 et 28).

On distinguera les bâtiments selon les catégories suivantes : maison individuelle, immeuble, bâtiment industriel. Les maisons individuelles ont la particularité de n'être connectés qu'à un

seul segment de conduite, ou pas du tout. Les immeubles et les bâtiments industriels sont connectés à un ou plusieurs segments.

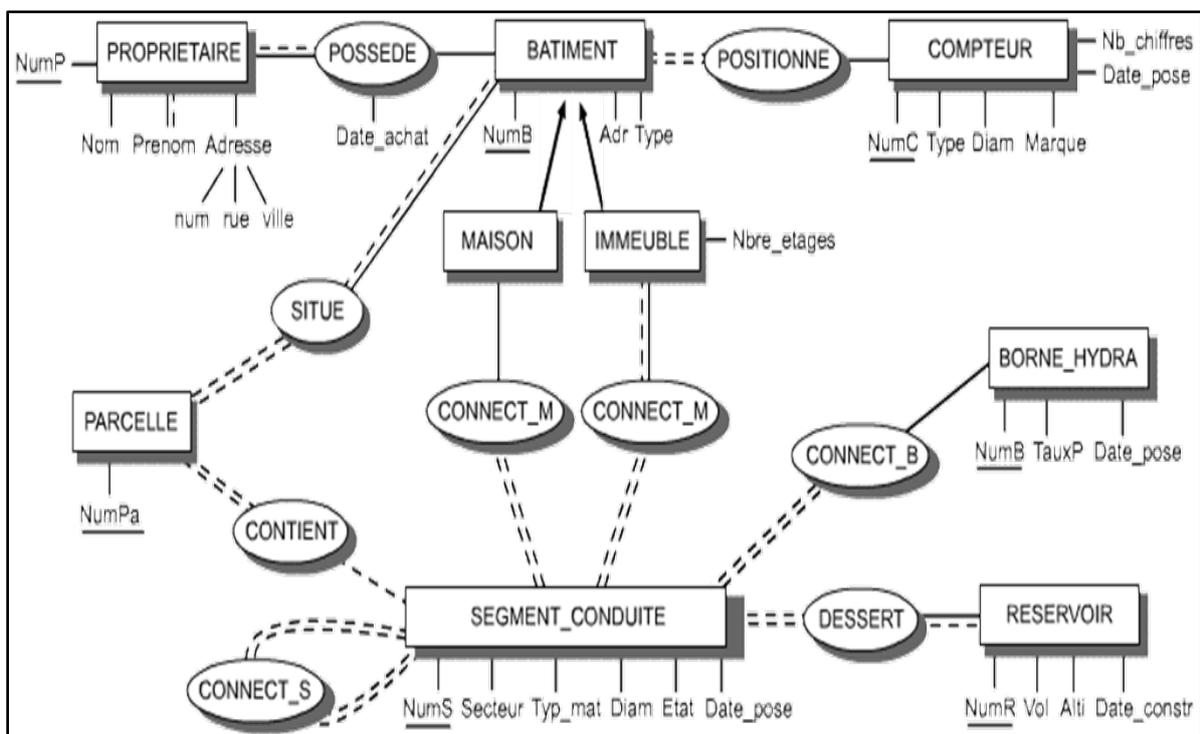
Ces segments d'eau potable peuvent être desservis par un réservoir dont on connaît le numéro, le volume, l'altitude et la date de construction. Ils peuvent également être liés à des bornes hydrante, qui ont un numéro, un taux de pression et une date de pose.

Pour chaque segment d'eau potable, il est indispensable de connaître la pression d'eau. Pour cela on devra être capable de trouver à travers le réseau pour retrouver les segments connectés à un réservoir.

**Question :**

Etablissez un schéma E/A pour cette base de données ?

**Solution03 :**



**Exercice04 :**

Vous êtes chargé (ées) d'établir une base de données sous SIG qui permettrait de gérer un continuum d'information concernant la gestion de l'indemnisation des sinistrés une assurance CATnat (catastrophe naturelle).

Le risque naturel a un identificateur et une typologie, et se produit dans la commune de Batna, qui de son côté a un identificateur, un nom, une population et une surface.

Les sinistrés qui habitent la commune de batna ont un identificateur, un nom et une adresse.

Une assurance CATnat avec un identificateur et une date a été effectuée par le sinistré.

Cette dernière (l'assurance) est composée d'un contrat avec un identificateur, nom de l'assureur, nom de l'assuré et la date du contrat.

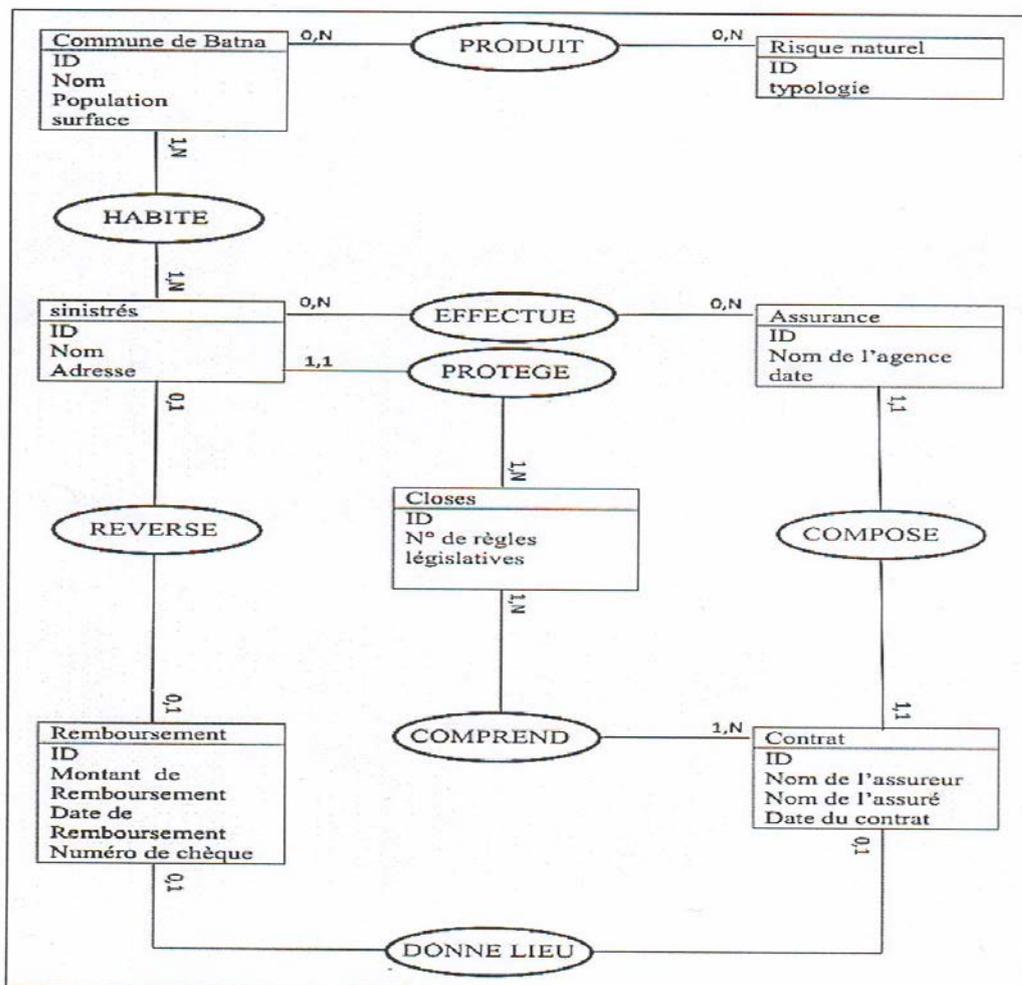
De son côté le contrat comprend des clauses avec identificateur et les numéros de règles législatives qui protègent les droits du sinistré.

De plus le contrat effectué donne lieu à un remboursement avec un identificateur, le montant de remboursement, la date de remboursement et le numéro de chèque.

Le remboursement de côté est réservé aux sinistrés.

**Question :** Réaliser un modèle conceptuel de données orienté-object pour la gestion l'indemnisation des sinistrés ayant une assurance CATnat.

**Solution03 :**



## **BIBLIOGRAPHIE**

Abdelkrim Bensaid(2006), SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de Naâma (Algérie). Thèse de doctorat en géographie, l'Université Joseph Fourier-Grenoble1, P249

Abram Pointet(2006) Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, laboratoire de système d'information géographique, requêtes spatiales.

Ali, T.,Mehrabian, A. (2009). A novel computational paradigm for creating a Triangular Irregular Network (TIN) from LiDAR data. *Nonlinear Analysis*, 71 (12), e624-e629.

Antonio Da Cunha,PeterKnoepfel,Jean-Philippe Leresche,StéphaneNahrath(2005), Enjeux du développement urbain durable, presses polytechniques et universitaires romandes lausanne  
Florent Joerin(1997), Décider sur le territoire, Proposition d'une approche par utilisation de SIG et de méthodes d'analyse multicritère, thèse de doctorat, École polytechnique fédérale de Lausanne. p 25.

Aronoff, S. (1989), *Geographic Information System:A Management Perspective*, Ottawa, WDL Publications.

Brahim Benyoucef, (2010) , analyse urbaine, éléments de méthodologie, office des publications universitaires , ISBN 978.9961.0.0013.7 , p18, 48

Burrough, P. A., Mcdonnell, R. A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*.New York: Oxford UniversityPress, 356p.

Chaaban. F (2011). Apport potentiel des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) pour une meilleure gestion d'un littoral dans une optique de développement durable. Thèse de doctorat. Université des sciences et technologies de Lille.

ChokriKoussa(2011), Implantation d'un système d'information géographique 3D sur internet pour la gestion des modèles urbain, thèse de doctorat , spécialité géomatique- informatique, université de Strasbourg P29

Clais, Sébastien(2003), Etude comparative des systèmes de gestion de bases de données spatiales, Rapport de stage en génie mathématique et informatique, Université Montpellier II, P11.

Cressie, N. (1986). Krigingnonstationary data. *Journal of the American Statistical Association*, 81(395), p. 625-634.

Cressie, N. (1990). The origins of kriging. *MathematicalGeology*, 22(3), p. 239-252.

Département des sciences géomatiques - Université Laval (2007)  
<http://www.scg.ulaval.ca/page.php?nom=geomatique>

Dominique LEGROS,(2009) Maîtrise des risques dans les systèmes de transport :Proposition d'une nouvelle approche de modélisation dynamique, thèse de doctorat, l'école nationale supérieure des mines de paris,p 76

Essevaz-Roulet, M., Iratchet, B. (2008), La mise en œuvre d'un SIG dans les collectivités territoriales, Territorial Editions, p. 35.

Esri France 2011,  
<https://www.esrifrance.fr/Logiciel-SIG.aspx>

ESRI France (2014), [esrifrance.fr/networkanalyst](http://www.esrifrance.fr/geomatique.aspx)  
<http://www.esrifrance.fr/geomatique.aspx>

François, Laplanche(2002), conception de projet SIG avec UML, Bulletin de la Société géographique de Liège, 42, 2002, 19-25, P22

Hainaut J.-L., (1992). Analyse de l'information et conception de bases de données relationnelles, Notes de cours, Séminaire du 30 nov. au 2 Déc., Département d'Informatique, Laboratoire de Bases de Données, 1015 Lausanne, CH.

H.B. NguendoYongsi et C.R. Bryant, F. Pirot (2007), Contribution des SIG à l'analyse du paysage urbain d'une métropole d'Afrique tropicale humide(Yaoundé – Cameroun), Canadian Journal of Regional Science/Revue canadienne des sciences régionales, (Spring/printemps 2007), 133-154.ISSN: 0705-4580

Isaaks, E. H., Srivastava, R. M. (1989). An Introduction to Applied Geostatistics.New York: Oxford UnivPress, 561 p.

Gardarin G. 2001. Bases de données : Objet et Relationnel, Edition Eyrolles.

Garnier, B. (2006), Etude de mise en œuvre d'un système d'information géographique partagé au sein des services du conseil général de Haute Loire, mémoire master, Université Jean Monnet Saint-Etienne, P 69.

Gilles, R. (2009), Conception de bases de données avec UML, Edition Presses de l'Université du Québec, p. 30, p. 31.

Koshkariov A-V., V-S.Tikunoveet A-M. Trofimov (1989), The current state and the main trends in the Development Geographical Information Systems in the USSR, International Journal of Geographical Information Systems 3-3: pp. 215-232.

Krige, D. G. (1951). A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa.52, 119-139.

Laurini R. et Milleret-Raffort F. 1993. Les bases de données en géomatique, Hermès, Paris.

Laurini, R. 2001. "Real Time Spatio-Temporal Databases".Transactions on Geographic Information Systems, Guest Editorial, 5: 87-98

Moultazem, G. (2010), Contribution à la gestion des données géographiques: modélisation et interrogation par croquis, thèse de doctorat en informatique, Université de Toulouse III-Paul Sabatier, p. 29.

Muller P.A. & Gaertner N., 2005, Modélisation Objet avec UML, Eyrolles Editions, Paris, France, 514p

Mueller, T. G., Pusuluri, N. B., Mathias, K. K., Cornelius, P. L., Barnhisel, R. I., Shearer, S. A. (2004). Map Quality for Ordinary Kriging and Inverse Distance Weighted Interpolation. Soil Science Society of America Journal, 68, 2042–2047.

Rousseaux, F. (2006). B9 Caractérisation d'erreurs sur un modèle numérique de terrain en fonction de zones morphologiques. Bulletin d'information scientifique et technique de l'IGN n° 75 (2006/1).

Saint Gérard T., 2005, Comprendre pour mesurer...ou mesurer pour comprendre ? HBDS : pour une approche conceptuelle de la modélisation géographique du monde réel, In Guermond

Y. (Dir.), 2005, Modélisations en Géographie, déterminismes et complexités, Traité Information Géographique et Aménagement du territoire, Hermès Lavoisier Editions, Paris, France, 389p, pp 261-298.

Speckmann, B., Snoeyink, J. (2001). Easy triangle strips for TIN terrain models. International Journal of Geographical Information Science, 15 (4), 379- 386.

Sylvain, B (2004), Méthode d'évaluation de la qualité de données géographiques généralisées, Application aux données urbaines, these de doctorat de l'universite de paris 6, Spécialité Informatique, P21

Parent C., Claramunt C. & Rognon N., 1995, Concepts pour un modèle conceptuel, rapport interne, projet MADS, non publié, url : [www.epfl.ch/e/publications/](http://www.epfl.ch/e/publications/)

Pumain D. et Saint-Julien T. (2004), L'analyse spatiale, Paris, Arman Colin.

Webster, R., Oliver, M. A. (2007). Geostatistics for Environmental Scientists (éd. Second Edition). Chichester, UK: Wiley, 330 p.

Zhou, Q., Lees, B., Tang, G. (2008). Advances in Digital Terrain Analysis. Springer, 462p.