

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE & POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR & DE LA RECHERCHE

UNIVERSITE TAHRI MOHAMED BECHAR

FACULTE DES SCIENCES EXACTES

DEPARTEMENT DES MATHEMATIQUES ET INFORMATIQUE



Spécialité : Informatique / Master

Option : Intelligence artificielle & Décision

Cours en ligne

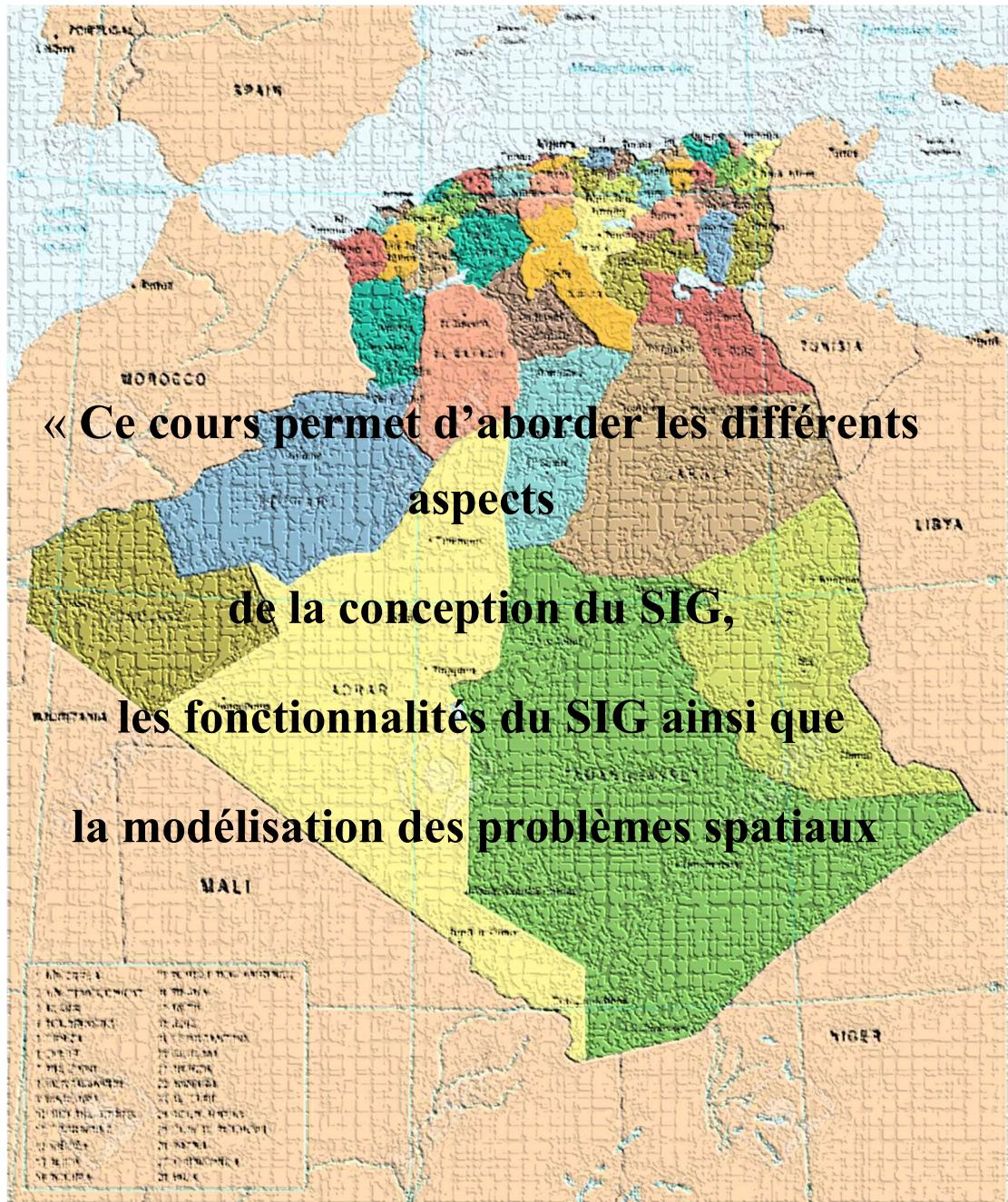
Système d'information géographique Cours 1: SIG

Présenté par :

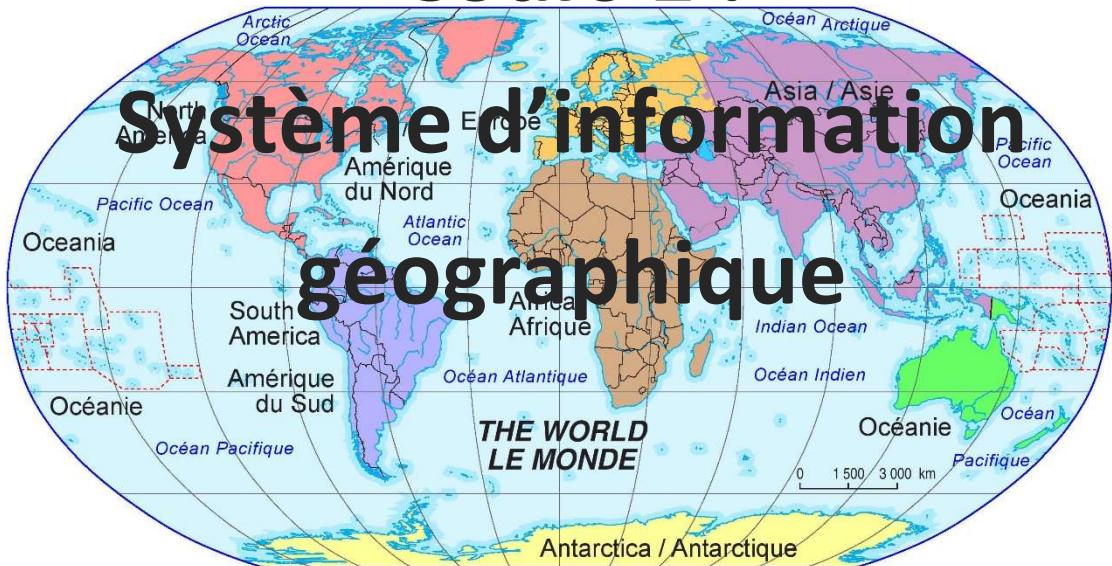
Dr. LARBI Abdelmadjid

Année Universitaire

2021/2022



Cours 1 : Système d'information géographique

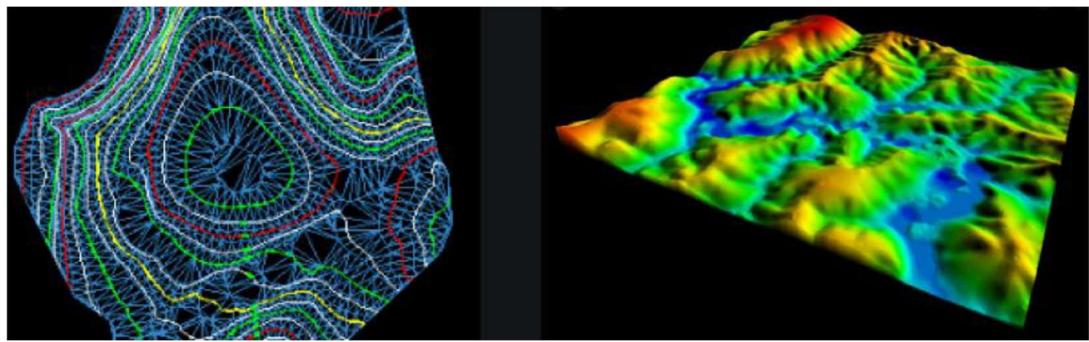


Sommaire

- I. Présentation du SIG, organisation et mise en place**
- II. Modèles de données spatio-temporelles et implémentation d'un SIG**
- III. Outils SIG**
- IV. . SIG & Modélisations 3D urbaines**

« 80 % des données existantes ont une composante géographique »

R.Laurini



I. Présentation du SIG, organisation et mise en place

I.1 Présentation du SIG, organisation et mise en place

Préambule

I.1 Présentation du SIG

I.2 Système d'information géographique

I.2.1 Définition d'un SIG

I.2.2 SIG et gestion spatio-temporelle

I.2.3 SIG & Géomatique

I.3 Composantes d'un SIG

I.4 Traitement dans les SIG

I.5 Domaines d'application d'un SIG

I.6 Propriétés d'un SIG

I.7 Base de données géographiques et métadonnées

II. Modèles de représentation des données spatiales

II.1 Modèle de raster (format matriciel)

II.2 Modèle de Vecteur

III Outils SIG

III.1 Outils libres

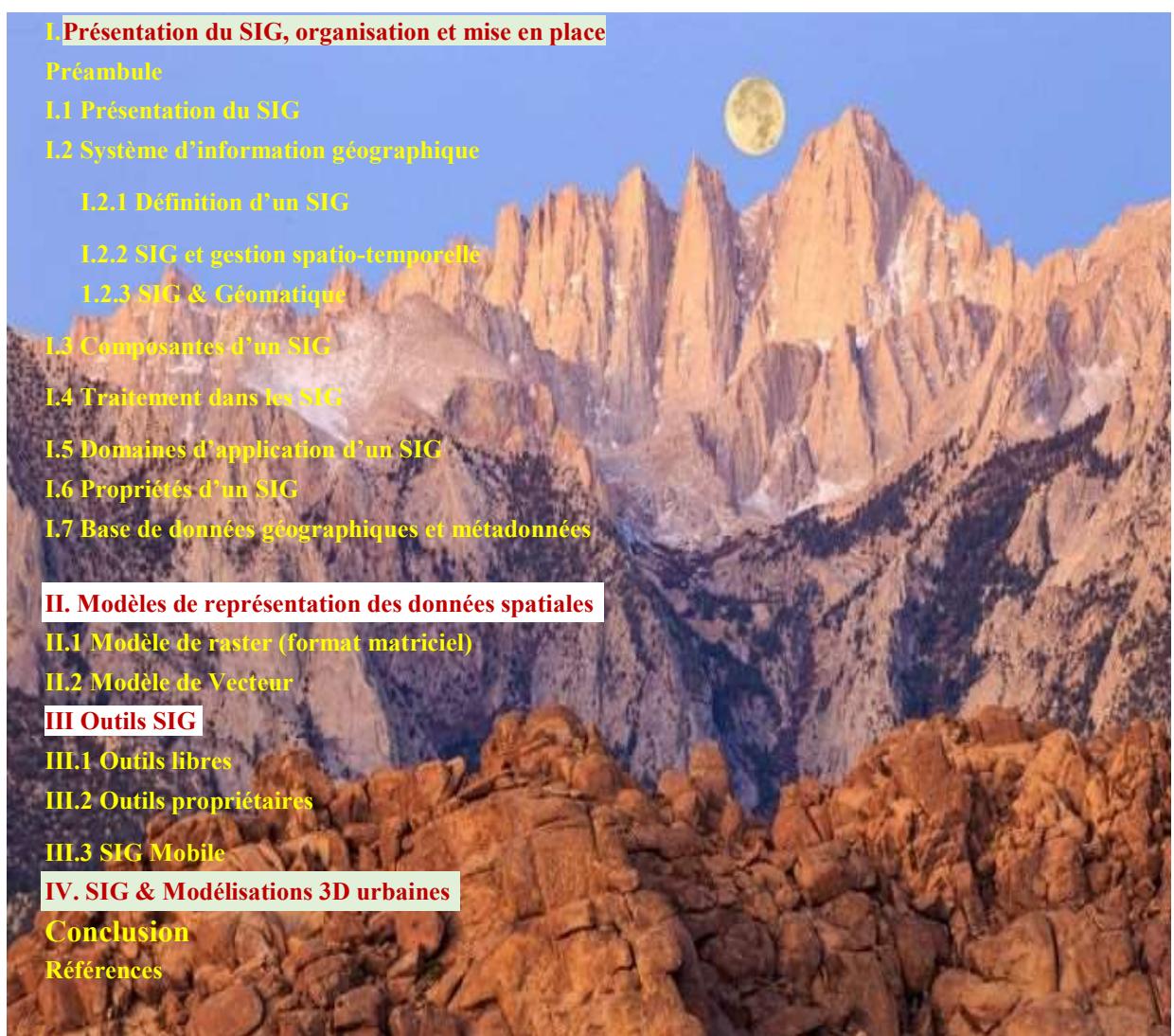
III.2 Outils propriétaires

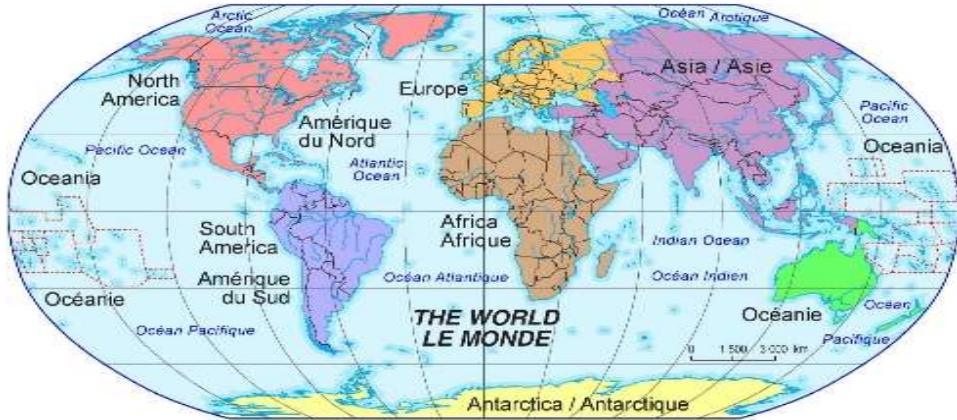
III.3 SIG Mobile

IV. SIG & Modélisations 3D urbaines

Conclusion

Références





I. Présentation du SIG, organisation et mise en place

Préambule : Un peu d'historique

Les premiers SIG opérationnels sont apparus dans les années 1960 au Canada et aux États-Unis. Le pionnier est le « Canadian Geographic Information System » (1964) qui rassemble des informations relatives à l'usage du sol et des données concernant l'environnement, sur une grande partie du territoire canadien [1].

Maguire *et al.* [2] distinguent trois périodes principales dans l'évolution des SIG :

Tableau 1: Les périodes principales dans l'évolution des SIG

(Système d'Informations Géographiques, Khaznadar, université Sétif, 2020)

Période	Evolution de SIG
fin des années 1950 milieu des années 1970	début de l'informatique, premières cartographies automatiques.
milieu des années 1970 début des années 1980	diffusion des outils de cartographie automatique / SIG dans les organismes d'État (armée, cadastre, services topographiques, ...)
depuis les années 1980	croissance du marché des logiciels, développements des applications sur PC, mise en réseau (bases de données)
depuis les années 1990	des applications sur Internet et une banalisation de l'usage de l'information géographique (cartographie sur Internet, calcul d'itinéraires routiers, utilisation d'outils embarqués liés au GPS...)

I.1 Présentation du SIG

a. Carte géographique [3]

Carte : On appelle carte toute représentation partielle ou complète dans le plan d'un objet plus complexe. On représente souvent sur ces plans différentes informations à l'aide de symboles ou de codes de couleurs.

La cartographie est l'ensemble des opérations d'élaboration, de dessin et d'édition des cartes.

La cartographie automatique est la cartographie assistée par ordinateur, faisant appel aux techniques informatiques.

Les cartes géographiques fournissent une représentation graphique du monde réel qui permet au lecteur de voir la localisation des objets ou des phénomènes qui l'intéressent. Elles sont une des formes de l'information géographique, ensemble plus vaste qui inclut aussi les photographies aériennes et les images satellitaires, les informations chiffrées ou textuelles de tous types et plus généralement toute information localisée à la surface de la Terre. Donc La carte constitue le principal support de l'information géographique.

b. Information géographique

Information géographique : toute information relative à un objet spatialement référencé à la surface de la terre [4]

Elle désigne toute information sur des objets ou des phénomènes (appelés entités géographiques) localisables à la surface de la terre. Elle est d'importance primordiale pour tous ceux qui ont à gérer un espace ou des objets dispersés dans un espace donné. On rassemble sous la dénomination d'informations spatiales des données aussi diverses que la distribution de ressource naturelles (sols, eaux, végétation), la localisation d'infrastructures (route, édifices, réseaux d'équipement divers), les limites administratives et politiques, même des données statistiques relatives à la population, à l'emploi, etc...

c. Composante de l'information géographique [5]

L'information géographique est constituée de plusieurs niveaux :

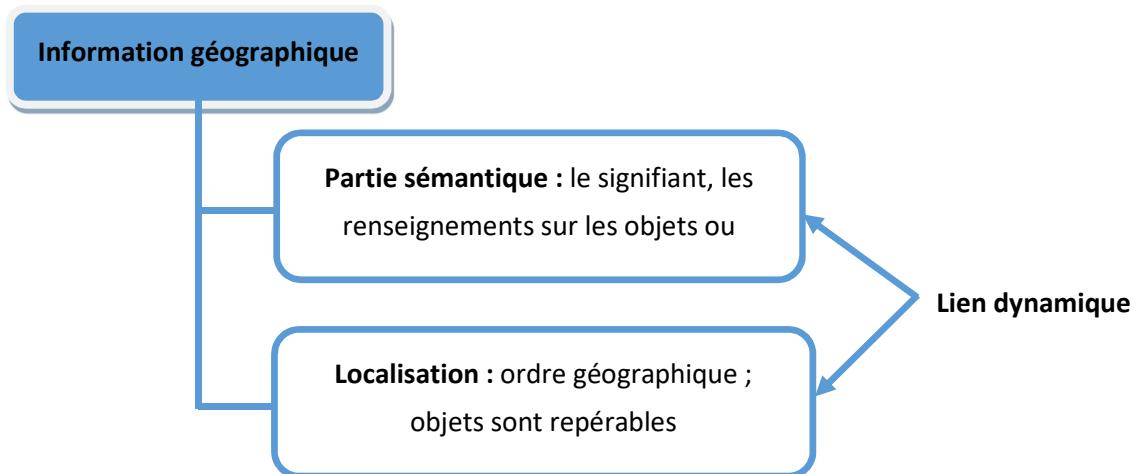


Figure 1 : Information Géographique

- **Niveau sémantique (descriptif)** : informations textuelles, qualitatives, quantitatives sur une entité, c'est l'ensemble des attributs de l'objet (ex. : le nom d'une route, d'une commune, etc.).
- **Niveau géométrique** : informations décrivant la forme et la localisation de l'objet sur la surface terrestre, exprimées dans un système de coordonnées explicite. (ex. : route, commune, station, etc.).
- **Niveau Topologique** : ces informations décrivent les relations entre les objets géographiques du même territoire. Elles portent sur les notions de superposition, d'adjacence, d'intersection, d'inclusion (ex. : l'inclusion d'une parcelle dans une commune, l'adjacence entre les différents nœuds des tronçons, etc.).

d. Source de l'information géographique [4]

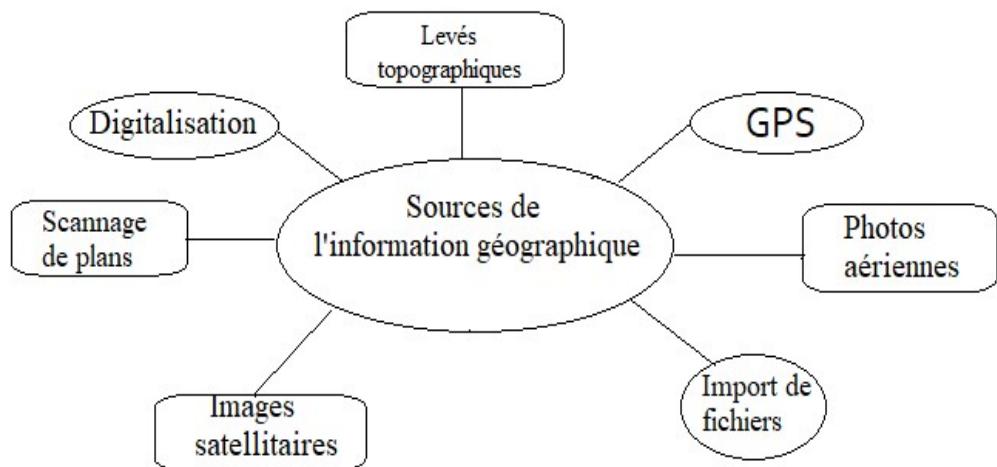
D'après la définition de l'information géographique Les sources de cette dernière sont nombreuses, parmi elles on trouve :

- **Les cartes** : c'est la source la plus ancienne, elles donnent une vue d'ensemble sur les objets et phénomènes présents sur la zone représentée. On associe toujours une légende à une carte qui nous permet d'interpréter les différents symboles utilisés pour représenter l'ensemble des composants de la zone concernée.

- **Les images** : Elles sont aussi une source importante de l'information géographique. Elles sont surtout utilisées pour la mise à jour des cartes et bases de données géographiques. Elles permettent une représentation précise et réaliste de la surface terrestre.
- **Les textes** : l'information géographique peut être obtenue à partir d'un texte ou d'un fichier de données. Elle peut être issue d'enquêtes, d'observations sur le terrain, de statistiques, de registres administratifs ou d'archives, etc.
- **Les bases de données numériques** : l'information géographique peut être obtenue à partir des bases de données numériques.
- Levés topographiques

En résumé, les sources de l'information géographique sont : [7]

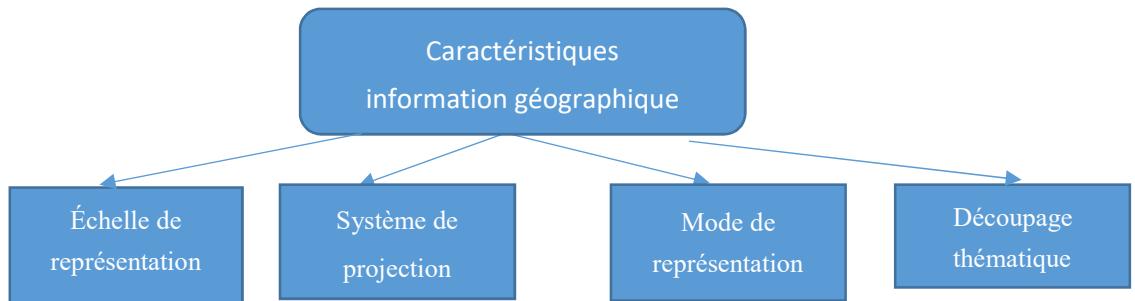
- Photos aériennes
- Images satellitaires
- GPS
- Digitalisation
- Scannage de plans
- Import de fichiers



Source de l'information géographique [7]

e. Caractéristiques de l'information géographique [7]

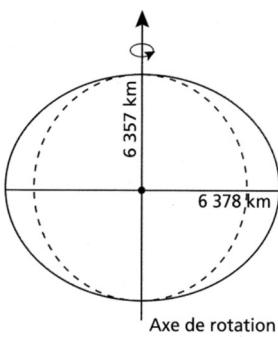
Toute information géographique doit répondre à un certain nombre de caractéristiques :



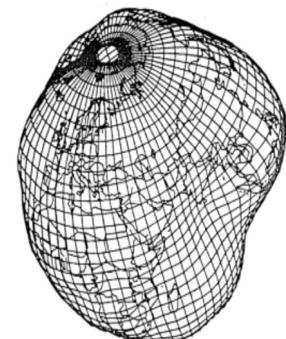
Échelle de représentation : C'est le ratio constant entre les distances mesurées sur la carte et les distances équivalentes sur le terrain réel », il représente : le rapport de représentation, le niveau d'analyse des phénomènes et la qualité (précision) géométrique de l'information.

Systèmes de références géographiques et projections cartographiques [8]

- Forme de la terre : Pour établir les cartes on doit connaître la forme et les dimensions de la Terre, qui n'est pas sphérique mais légèrement aplatie aux pôles.
- Ellipsoïde : Quelle est la surface qui se rapproche le plus de la terre ?
Un ellipsoïde de référence. Un point à la surface de la terre peut donc avoir autant de coordonnées géographiques que de systèmes de références.
- Le géoïde : Il représente la terre débarrassée de son relief. Sur le géoïde tous les points ont une altitude nulle. C'est le niveau moyen de la mer prolongée sous les continents.



Ellipsoïde de référence



Le géoïde

- **Les types de coordonnées**
- Les coordonnées sont de deux types :
 - ✓ Coordonnées géographiques
 - ✓ Coordonnées cartographiques planes
- Les coordonnées géographiques (Longitude λ , Latitude ϕ) sont uniques pour un point, définies sur l'ellipsoïde géodésique et ayant comme unité angulaire le système décimal ou le système sexagésimal.

Les coordonnées cartographiques planes : Coordonnées cartésiennes

Les coordonnées cartésiennes (x, y) : Sont définies par des axes perpendiculaires abscisse (x) et ordonnée (y) qui se croise sur une origine

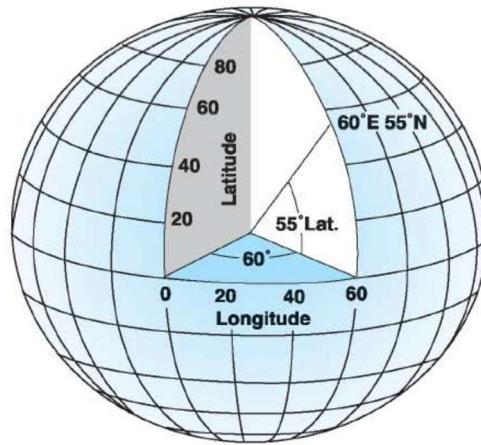
Système géodésique Nord Sahara 1959

Le NORD SAHARA est un système géodésique, créé par IGN (Institut géographique national) dans les années 50 pour l'Algérie. Parmi les projections cartographiques utilisées en Algérie :

Projection UTM (Universel Transverse Mercator):

La projection de Mercator, l'une des plus anciennes (1569), elle présente des distorsions importantes si on s'éloigne de l'équateur vers les deux pôles (Nord et Sud). Voici quelques caractéristiques de cette projection :

- Elle divise le monde en 60 fuseaux, chaque fuseau couvre 6° de longitude.
- C'est une projection cylindrique transverse conforme c'est-à-dire elle conserve les angles.
- Les coordonnées rectangulaires (cartésiennes) sont exprimées en mètre ou en Kilomètre.



On doit représenter sur une surface plane l'image de la terre assimilée à un ellipsoïde, ce qui nécessite l'utilisation d'une représentation plane (ou projection). Les coordonnées planes ainsi obtenues permettent des mesures directes sur la carte (angles, surfaces)

Donc une projection cartographique est une opération mathématique permettant de représenter une portion de l'ellipsoïde sur un plan, en estimant les déformations induites par cette opération sur les distances curvilignes, les angles, les directions, les surfaces curvilignes...etc.

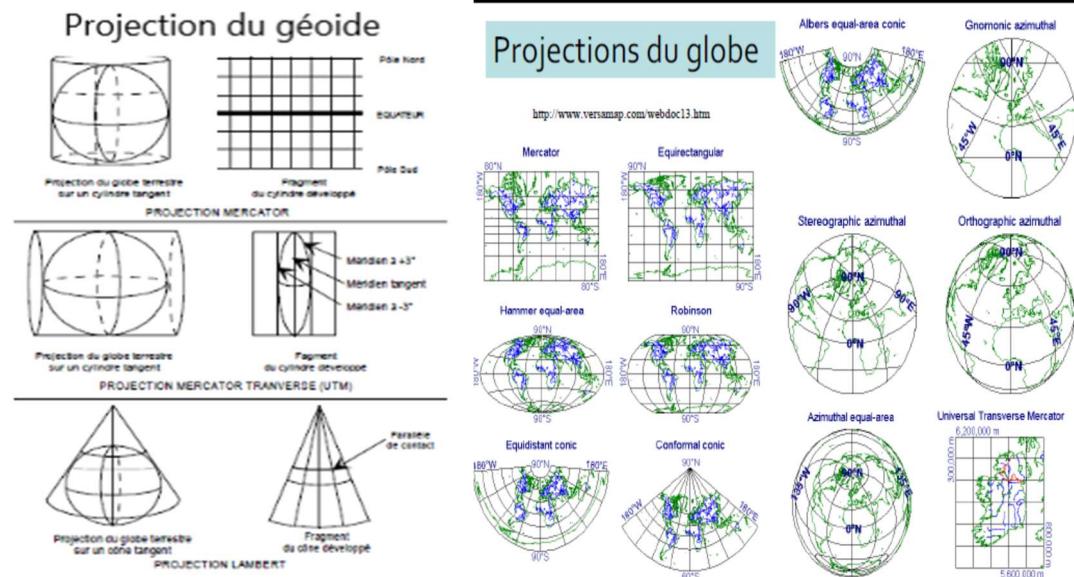
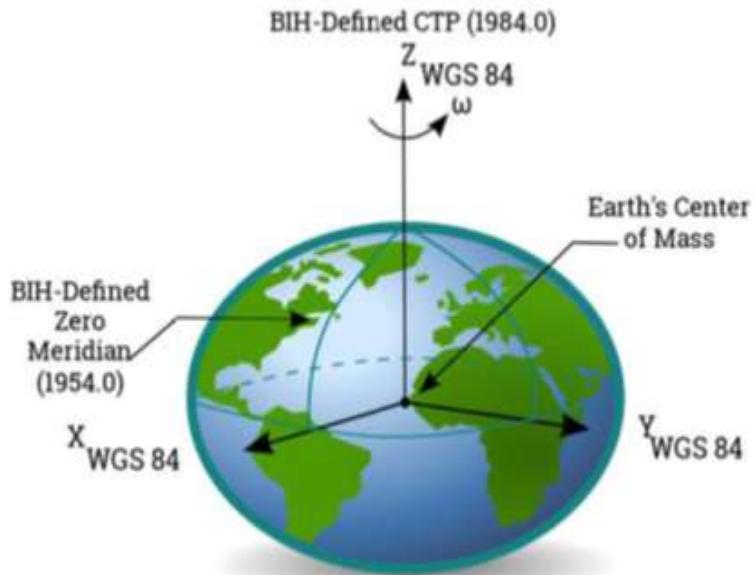


Figure 2 : Systèmes de projection [7]

Système géodésique le World Geodetic System 1984 (WGS84)

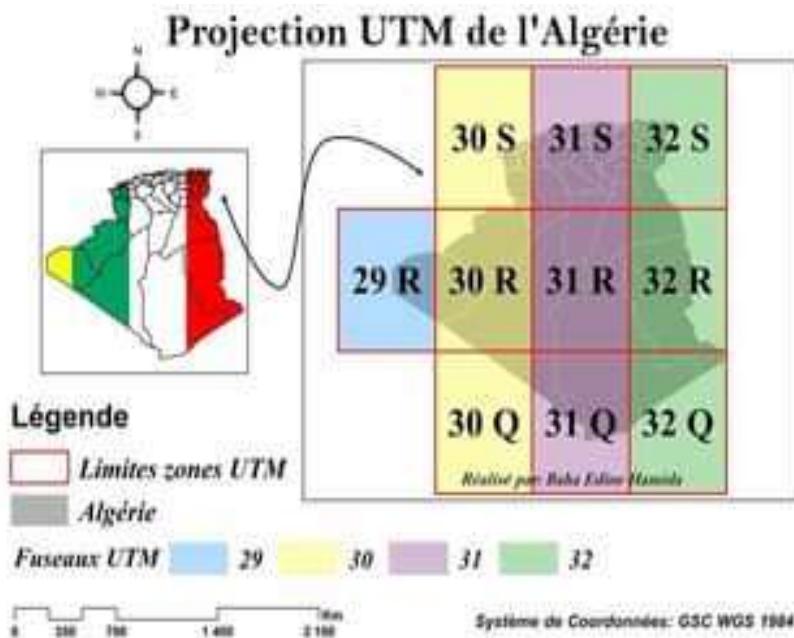
Le système de positionnement par satellites GPS a pour but de fournir la position $(x, y, z)_{WGS84}$

ou $(\lambda, \phi, h)_{WGS84}$ de l'utilisateur à chaque instant. Cette référence s'appelle WGS84 (World Geodetic System 84).



Pour l'Algérie, c'est la projection UTM qui est utilisée actuellement. Dont chaque zone UTM couvre 6° de longitude.

L'Algérie occupe 04 fuseaux : n°29, n°30, n°31 et n°32 Il y'a donc 4 zones (fuseaux).



I.2 Système d'information géographique [9]

Les besoins en cartographie dans le quotidien des décideurs ont fait apparaître les systèmes d'information géographique (SIG). Les objectifs du SIG étaient de produire des données géographiques dans le but d'effectuer des traitements sur les informations géo localisées pour visualiser des cartes et prendre des décisions. Les services Internet de localisation de position géographique ou de calcul d'itinéraires ont ainsi rapidement, trouvé leur public. Après avoir défini le concept de SIG, nous présenterons les concepts clés et les technologies SIG et nous bouclerons avec l'utilisation de ces outils dans notre vie quotidienne.

I.2.1 Définition d'un SIG

SIG = Système d'Information + Géographique

Un système est une "combinaison d'éléments réunis de manière à former un ensemble et visant un objectif déterminé.

Un **Système d'information** est un ensemble organisé de ressources (personnel, données, procédures, matériel, logiciel, ...) permettant d'acquérir, de stocker, de structurer et de communiquer des informations sous forme de textes, images, sons, ou de données codées dans des organisations.

Une information est un "élément de connaissance susceptible d'être codé pour être conservé, traité ou communiqué".

Géographique est "relatif à la géographie ayant pour objet la description de la surface de la terre".

Une information géographique décrit un objet, un phénomène ou encore une action du monde réel. Cette information apporte à la fois des renseignements sur l'objet lui-même (forme, couleur, nom, type de l'objet) et sur sa localisation dans l'espace par rapport à un référentiel ou par rapport à d'autres objets.

Un **système d'information géographique** ou **SIG** est un système d'information conçu pour recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter tous les types de données spatiales et géographiques. C'est un système d'information informatique traitant d'objets localisés dans l'espace. [10] Il désigne aussi les « sciences de l'information géographique ou de l'information géo spatiale ».

On retrouve encore une autre définition du SG : **Un Système d'Information Géographique (SIG)** est un logiciel informatique capable d'organiser et de présenter des données alphanumériques spatialement référencées.

Les définitions que divers auteurs et organismes donnent aux SIG sont assez voisines: Pour Burroughs (1986), « il s'agit d'un ensemble puissant d'outils pour rassembler, stocker, extraire à volonté et visualiser des données spatiales du monde réel pour un ensemble particulier d'objectifs ». [3]

« Un SIG est un ensemble de matériels, logiciels, données et personnes dont la fonction est d'exploiter de l'information géographique pour produire des résultats et atteindre un but » (Poron H., 1992). [4]

Des définitions plus étendues sont :

- ESRI [Web.1]: (Environmental Systems Research Institute) « Un SIG est un ensemble organisé de matériel informatique, de logiciels, de données géographiques et de personnels, conçu pour saisir efficacement, stocker, extraire, mettre à jour, interroger, analyser et afficher toute forme d'information géographique référencée »

Pour Michel Didier (1990): un système d'information géographique (SIG) est avant tout un système de gestion de base de données capable de gérer des données localisées, et donc capable de les saisir, les stocker, les extraire (et notamment sur des critères géographiques), les interroger et analyser, et enfin les représenter et les cartographier. L'objectif affiché est essentiellement un objectif de synthèse,

permettant à la fois la gestion des données comme l'aide à la décision [STAR, et al.,1990].

I.2.2 SIG et gestion spatio-temporelle [6] : L'introduction du temps dans les SIG permet d'effectuer des interrogations mêlant espace et temps, de manière à pouvoir gérer à la fois l'historique d'un objet et l'état d'un ensemble d'objet à une date donnée.

Les SIG ont donc également vocation à gérer les évolutions des objets géographiques. Mais les réalisations concrètes sont peu répandues, car la gestion de l'historique des modifications de la localisation d'un grand ensemble d'objets est complexe, aussi bien du point de vue informatique que de celui de la gestion des flux d'informations.

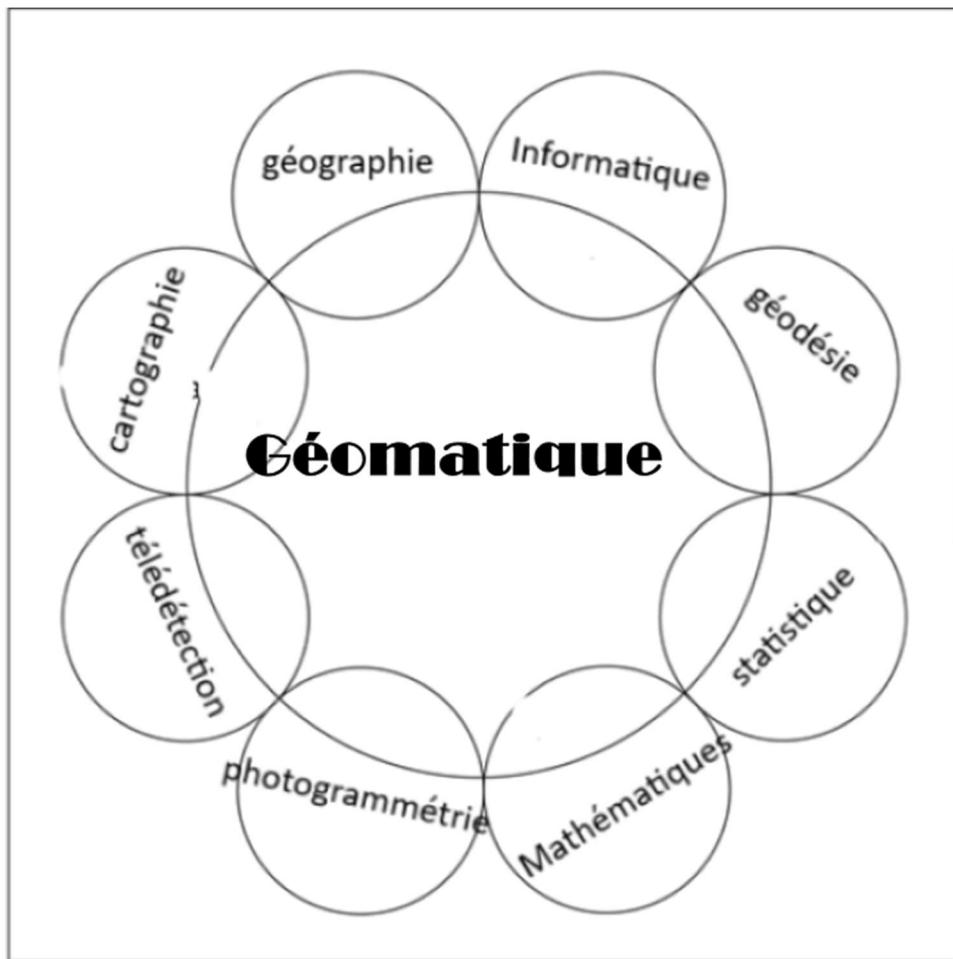


Figure : Schéma du Système d'Information Géographique (SIG) [11]

1.2.3 SIG & Géomatique : La géomatique (*géographie et informatique*), 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.

Disciplines de la géomatique [12]:

- ❖ La géographie
- ❖ La cartographie
- ❖ La télédétection
- ❖ La photogrammétrie
- ❖ La géodésie
- ❖ La statistique
- ❖ L'informatique
- ❖ Les mathématiques



Disciplines de la géomatique [12]

Le rôle du système d'information est de proposer une représentation plus ou moins réaliste de l'environnement spatial en se basant sur des primitives graphiques telles

que des points, des vecteurs (arcs), des polygones ou des maillages (raster). À ces primitives sont associées des informations qualitatives telles que la nature (route, voie ferrée, forêt, etc.) ou toute autre information contextuelle (nombre d'habitants, type ou superficie d'une commune par ex.).

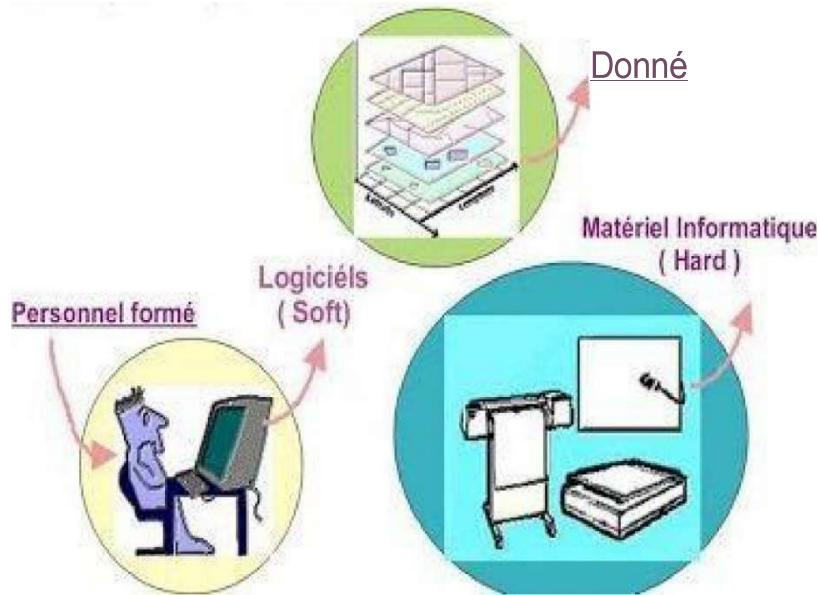
I.3 Composantes d'un SIG

Les SIG comportent plusieurs composantes :

- **Les matériels :** Les SIG fonctionnent aujourd'hui sur une très large gamme d'ordinateurs des serveurs de données aux ordinateurs de bureaux connectés en réseau ou utilisés de façon autonome. Des systèmes client-serveur en intranet, extranet voire via Internet facilitant ensuite et de plus en plus la diffusion des résultats et un ensemble de périphériques (scanners, traceurs, tables à digitaliser...).
- **Les logiciels :** ils assurent les 6 fonctions suivantes (parfois regroupées sous le terme des '6A'), saisie des informations géographiques sous forme numérique (*Acquisition*), gestion de base de données (*Archivage*), manipulation et interrogation des données géographiques (*Analyse*), mise en forme et visualisation (*Affichage*), représentation du monde réel (*Abstraction*), la prospective (*Anticipation*).
- **Les 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.
- **Les méthodes :** 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. Un SIG fait appel à une connaissance technique et à divers savoir-faire et donc divers métiers qui peuvent être effectués par une ou plusieurs personnes. Le « SIGiste » doit mobiliser des compétences en géodésie (connaissance des concepts de système de référence et de système de projection), en analyse des données, des

processus et de modélisation (analyse Merise, langage UML par exemple), en traitement statistique, en sémiologie graphique et cartographique, en traitement graphique. Il doit savoir traduire en requêtes informatiques les questions qu'on lui pose.

- **Les utilisateurs :** Un SIG étant avant tout un outil, c'est son utilisation (et donc, son ou ses utilisateurs) qui permet d'en exploiter la quintessence. Les SIG s'adressent à une très grande communauté d'utilisateurs depuis ceux qui créent et maintiennent les systèmes, jusqu'aux personnes utilisant dans leur travail quotidien la dimension géographique. Avec l'avènement des SIG sur Internet, la communauté des utilisateurs de SIG s'agrandit de façon importante chaque jour et il est raisonnable de penser qu'à brève échéance, nous serons tous à des niveaux différents des utilisateurs de SIG.
- **Le réseau :** Le composant réseau n'est pas une composante SIG classique, un SIG est généralement défini par cinq composantes, mais nous l'ajoutons dans cette étude car avec le développement rapide de l'informatique, aujourd'hui le plus fondamental de ces composantes est sans aucun doute le réseau, sans lequel aucune communication rapide ou partage de l'information digitale ne pourrait se produire. Les SIG aujourd'hui reposent largement sur Internet pour l'acquisition, l'exploitation et le partage de grands ensembles de données géographiques.



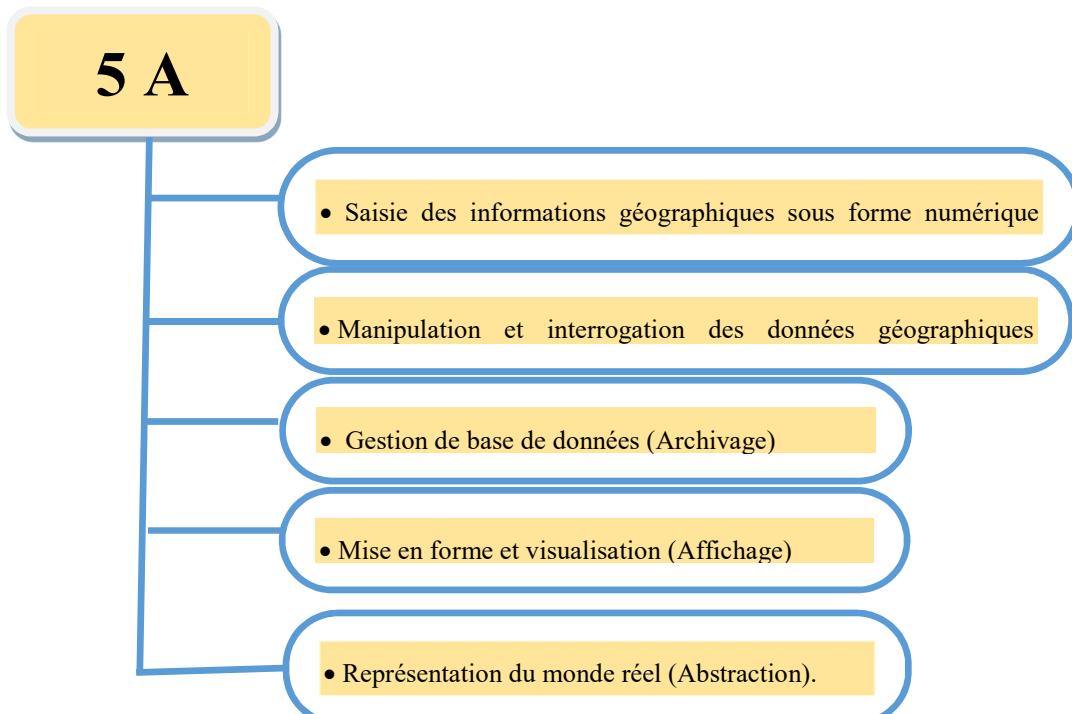
Composantes d'un SIG [5]

Un SIG est constitué de cinq composants majeurs [13] :

- logiciels,
- données,
- matériels informatiques,
- savoir-faire,
- utilisateur

Les logiciels

- Ils assurent les 5 fonctions suivantes (parfois regroupées sous le terme des ‘5A’):

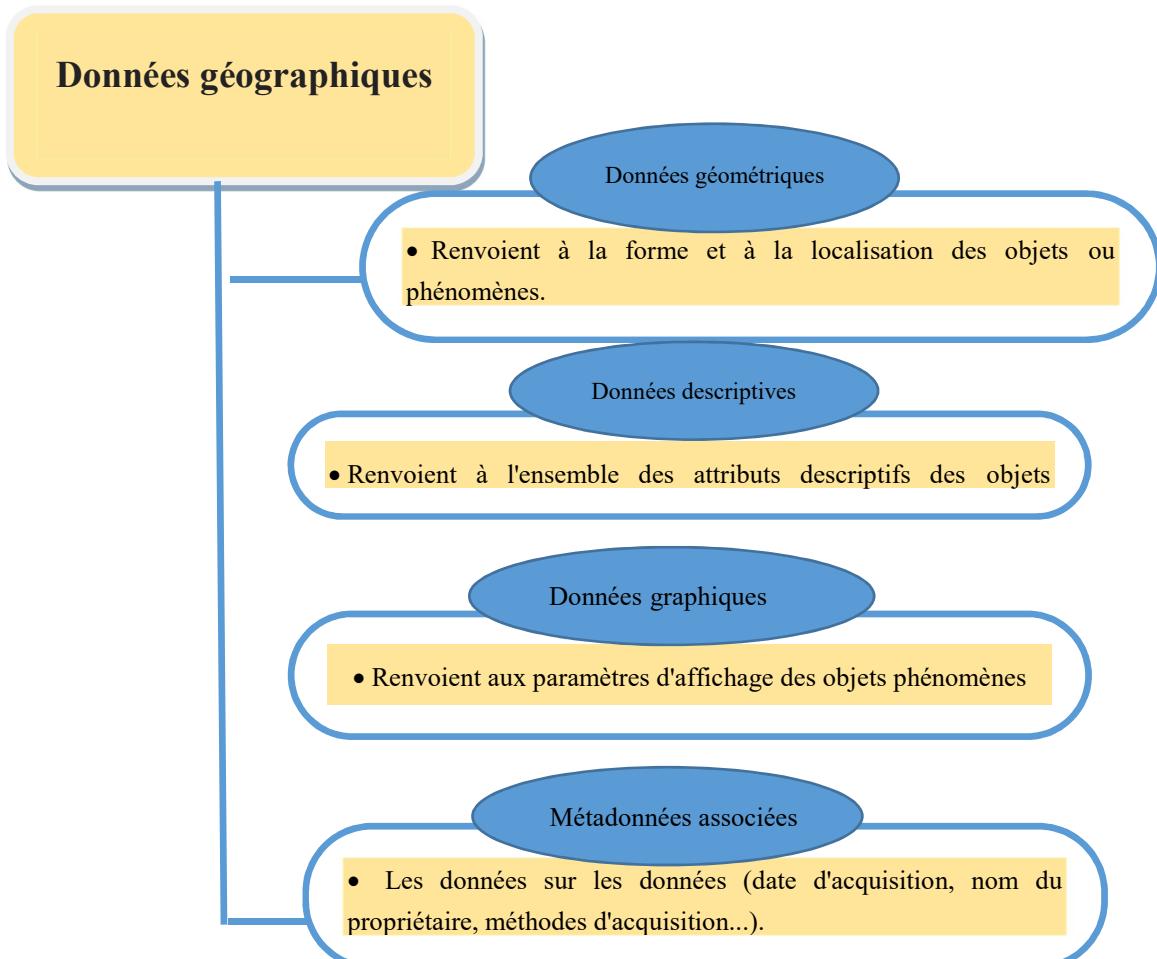


Les données : Elles sont la base des SIG. Les données géographiques sont importées à partir de fichiers ou introduit en saisie.

Plusieurs aspects sont donc sous-jacents à la notion des SIG. L'information qui est la donnée.

Le géographique, qui qualifie cette information, en la supposant localisée dans l'espace. Le système qui sous-entend que cette information est organisée au sein d'un système informatique. Toutefois cette description purement structurelle ne permet pas de cerner clairement la notion des SIG en particulier par rapport aux systèmes de cartographie automatique. En effet :

Les données géographiques possèdent quatre composantes :



les matériels informatiques : Le traitement des données se fait à l'aide des logiciels sur un ordinateur ou sur un réseau d'ordinateurs facilitant ainsi la diffusion des résultats.

Les savoir-faire : Un SIG fait appel à une connaissance technique et à divers savoir-faire et donc divers métiers qui peuvent être effectués par une ou plusieurs personnes.

Les utilisateurs : Comme tous les utilisateurs de SIG ne sont pas forcément des spécialistes, un SIG propose une série de boîtes à outils que l'utilisateur assemble pour réaliser son projet.

I.4 Traitement dans les SIG [14]

Selon ESRI (2004), les SIG servent à répondre à cinq questions principales.

Où ? : Cet objet, ce phénomène, où se trouve-t-il ?

Quoi ? : À cet endroit, que trouve-t-on ?

Comment ? : Quelles relations existent ou non entre ces objets ? (= analyse spatiale)

Quand ? : À quel moment des changements sont intervenus ? (= analyse temporelle)

Et si ? : Que se passerait-il si tel scénario d'évolution se produisait et quelles conséquences aurait ? (= projection dans l'avenir, simulation, étude de projet, étude d'impact...).

On a par exemple []

Quel est l'état des routes d'une ville ?

- Qu'est-ce qui a changé depuis 1990 ?
- Quelles sont les parcelles concernées par une inondation éventuelle ?
- Quelles sont les zones sensibles en cas de glissement de terrain ?
- Quel est le chemin le plus rapide pour aller de la caserne des pompiers à l'incendie ?
- Que se passe-t-il si une substance toxique se déverse à tel endroit ?
- Trouver les zones favorables à la culture de la pomme de terre ?

- Comment évolue la déforestation au nord du pays etc...?

Le but d'un SIG est d'offrir un système capable de répondre aux diverses questions de base sur les informations géographiques, et ce pour aider les utilisateurs des SIG à la prise de décision face à des problèmes ou à des situations critiques

Question	Objet d'étude	Exemple d'application
Où se trouve cet objet, ce phénomène ? Quoi ? : A cet endroit que trouve-t-on ?	Identification Localisation	Inventaire localisé Analyse thématique
Comment ?	Répartition	Analyse spatiale
Quand ?	Evolution	Analyse temporelle
Et si ?	Modélisation	Étude d'impact
Que se passe-t-il si on change ceci?	Simulation	Simulation
Comment atteindre ce but avec ces contraintes ?	Optimisation	Minimiser le chemin vers une destination

Tableau 2.1 : Tableau récapitulatif des cinq questions [14]

I.5 Domaines d'application d'un SIG [15] Voici quelques domaines d'application du SIG :

- ✓ Cadastre & parcellisation
- ✓ Logistique : aide à la navigation (GPS), suivi de flottes.
- ✓ Travaux publics, télécoms : travaux sur structure voirie ou sur réseaux.
- ✓ Militaire & Stratégie sécuritaire.
- ✓ Géopolitique.
- ✓ Aménagement du territoire, urbanisme.
- ✓ Risques majeurs : plan de prévention et d'intervention et gestion des crises/événements à risque majeure.
- ✓ Gestion des processus et des systèmes par similitude spatiale.
- ✓ Simulations & Prédition (IA)

Les domaines d'application des SIG sont aussi nombreux que variés ? Nous pouvons encore citer : [16,17]

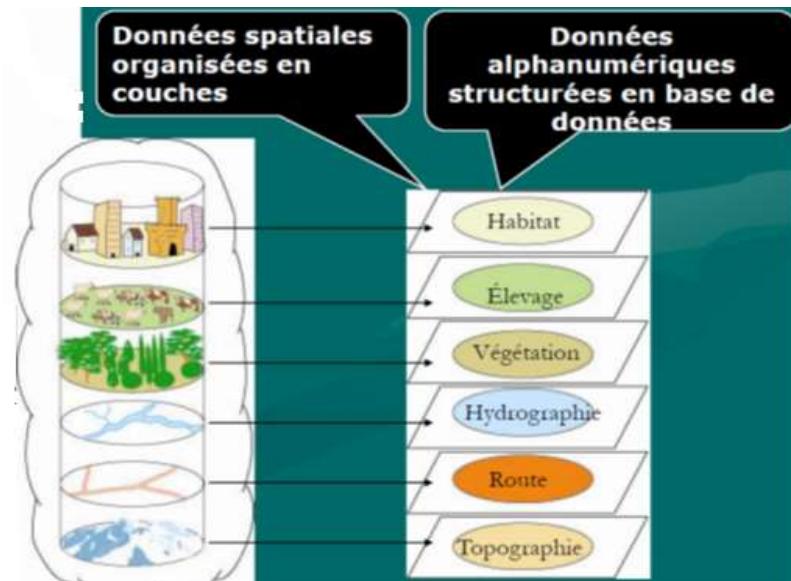
- Tourisme (gestion des infrastructures, itinéraires touristiques)
- Géomarketing (localisation des clients, analyse du site, présence de consommateurs potentiels d'un produit ou d'un service dans une région, Suivi d'expédition de paquets visualisés sur des cartes)
- Forêt (cartographie pour aménagement, gestion des coupes et sylviculture)
- Géologie (prospection minière)
- Biologie (études du déplacement des populations animales)
- Télécommunications (implantation d'antennes pour les téléphones mobiles)
- Réseaux urbains : localisation à partir des adresses civiques, planification des transports, développement de plan d'évacuation
- Administration municipale : zonage, évaluation foncière,
- Gestion des installations : localisation des câbles et tuyaux souterrains
- Commerce : analyse de la structure des marchés
- Santé : épidémiologie, répartition et évolution des maladies et des décès, distribution des services socio-sanitaires, plans d'urgence, etc.
- Protection de l'environnement : étude des changements globaux, suivi des changements climatiques, biologiques, morphologiques, océaniques, etc.
- La gestion foncière et cadastrale (recensement des propriétés, calcul de surfaces)
- La planification urbaine (plan d'occupation des sols et d'aménagement)
- La gestion des transports (voies de circulations, signalisation routière)
- La gestion des réseaux (assainissement, AEP, gaz, électricité, téléphone ...)
- La gestion du patrimoine (espaces verts, parcs, jardins ...)
- Les applications topographiques (travaux publics et génie civil)

I.6 Propriétés d'un SIG [18]

- **Territoire du SIG** : Le territoire concerné par le SIG peut être une unité administrative (commune, subdivision, département) ou une aire géographique quelconque (zone sensible, bande d'étude, ...). Cependant il n'est souvent ni utile ni économiquement faisable de disposer d'informations détaillés sur un grand territoire ; un emboîtement des territoires selon le niveau de résolution utile doit alors être envisagé. Les dimensions du territoire ont une incidence directe sur le niveau de détail ou de résolution et donc sur les volumes des données à traiter.
- **Taille** : La taille d'un SIG peut s'apprécier par le nombre de classes d'objets, le volume de la base de données, le flux d'échange d'informations, le nombre et la complexité des traitements spécifiques, le nombre de postes de travail. La taille du SIG a une incidence sur les coûts et plus généralement sur les moyens nécessaires.
- **Durée de vie** : La durée de vie d'un SIG peut être différente d'un type SIG à l'autre, et peut aller de quelques mois à plusieurs années. L'incidence de la durée de vie se mesure en besoin d'actualisation des données et donc en coût.
- **Traitements** : De nombreux traitements peuvent être réalisés avec un SIG. Les progiciels SIG proposent des fonctions d'intérêt général qu'il peut être nécessaire de compléter, selon les besoins de l'application, par des développements spécifiques. Parmi les fonctions les plus couramment mise en œuvre, citons :
 - Le croisement de thèmes d'information différents,
 - L'analyse spatiale,
 - La localisation automatique d'objets sur un référentiel (routier, postal, ...)
 - Le découpage d'un territoire,
 - La production de cartes thématiques.

I.7 Base de données géographiques et métadonnées [19]

Les bases de données géographiques stockent des données localisées, c'est -à-dire que ce sont des informations à références spatiales.

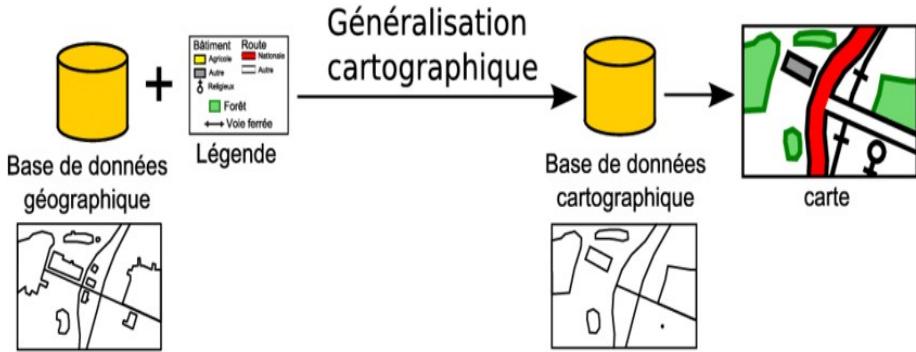


BD Géographiques= ensemble de couches superposables

Aussi, une base de données géographique est une base de données qui définit les types de données spéciales pour les objets géométriques et permet de stocker des données géométriques (généralement de nature géographique) dans les tables de la base régulière. Il fournit des fonctions spéciales et des index pour l'interrogation et la manipulation de ces données en utilisant quelque chose comme le Structured Query Language (SQL). La nature même des informations, leur volume et la spécificité des traitements impliquent des modélisations et des structurations particulières dans lesquelles la géométrie occupe une place primordiale [LAURINI, 1998]. La gestion des informations géographiques est assurée par le système de gestion de base de données (SGBD). D'une façon générale, les SGBD se consacrent à toutes les tâches de gestion de l'information, ces derniers ont des fonctionnalités leur permettant :

- Le maintien de la qualité et de la cohérence des données, ceci est garantie par les contraintes d'intégrité qui vérifient que les mises à jour réalisées n'introduisent pas d'incohérence et de redondance.
- L'interrogation des données, ce qui permet entre autres de sélectionner les données qui doivent être mises à jour.
- La diffusion de l'information.

Les données géographiques manipulées par un SIG proviennent généralement de source différentes, raison pour laquelle celles-ci sont souvent accompagnées par ce qu'on appelle les métadonnées, ce sont les données des données (ex : date d'acquisition, nom du propriétaire, méthodes d'acquisition, ... etc.). Ces métadonnées caractérisent la source d'information elle-même.



I.2 Modèles de représentation des données spatiales

Il existe actuellement deux principaux modes de représentation des données spatiales Vecteur et Raster.

Le mode vecteur répond au souci de représenter un objet de manière aussi exacte que possible. Les objets spatiaux peuvent être représentés sur une carte par des points, des lignes ou des polygones.

Avant de pouvoir stocker l'information géographique, il faut tout d'abord la numériser. Deux structures de stockage permettent de conserver l'information géographique : le format raster et le format vecteur. Chacune de ces structures permet de définir les propriétés géométriques et topologiques de l'information géographique. **[Hrri 2008]**

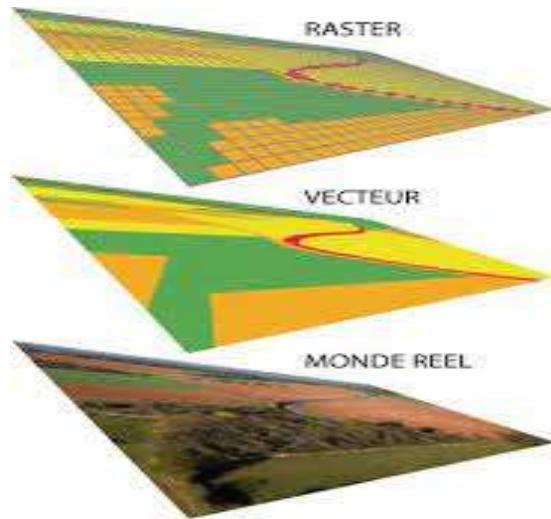


Figure II.1 : Mode de présentation des données spatial dans un SIG

II.1 Modèle de raster (format matriciel)

Le modèle raster (ou format matriciel) est le modèle le plus simple d'utilisation. Il divise l'ensemble de la zone étudiée en une grille de cellules régulières. Cette grille représente une subdivision continue et régulière de la zone. Chaque cellule est un carré de taille fixée appelé pixel, représentant l'unité élémentaire de ce type de stockage. Chaque pixel est identifié par une valeur particulière modélisant un ensemble d'attributs (alphanumériques) de l'information géographique étudiée. Chaque pixel possède des coordonnées de la forme (i,j) (indice de la ligne et indice de la colonne). La saisie des données se fait par l'intermédiaire d'un scannérisation de la surface de la Terre en utilisant des satellites ou des caméras numériques ou à partir d'un scannérisation d'autres supports de données (photographies aériennes, orthophotographies, cartes, etc...) [Ngu 04].



Figure II.2 : photo aérienne

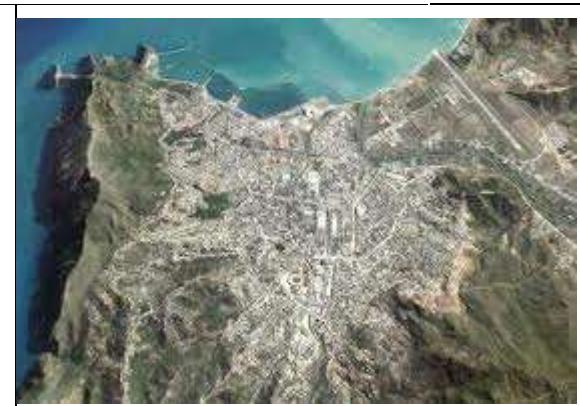
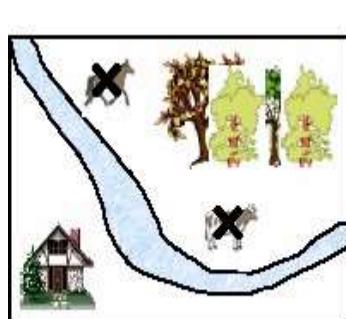


Figure II.3 : image satellite



Objets du monde réel

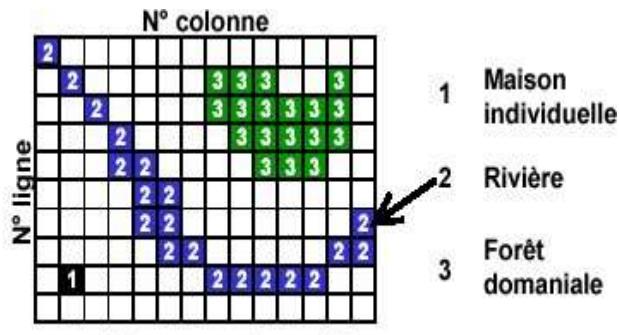


Figure 4 : Représentation d'objets du monde réel en mode Raster [4]

Les avantages du mode raster sont :

- Meilleure adaptation à la représentation des détails surfaciques ;
- Acquisition des données à partir d'un scanner à balayage ;
- Meilleure adaptation à certains types de traitements numérique : filtres, classifications.

Les inconvénients du mode raster sont :

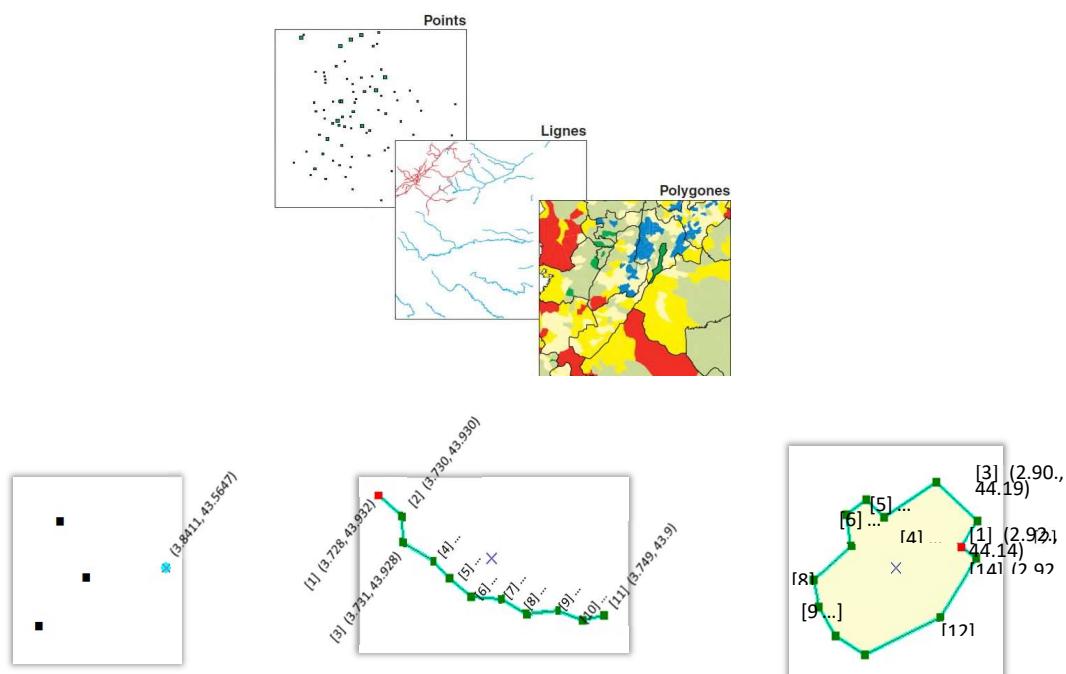
- Mauvaise adaptation à la représentation des détails linéaires ;
- Obligation de parcourir toute la surface pour extraire un détail ;
- Impossibilité de réaliser certaines opérations topologiques, la recherche du plus court chemin dans un réseau par exemple.

II.2 Modèle de Vecteur

Dans les données vectorielles, la partie spatiale de l'information est codée sous forme de points, de lignes ou de polygones géo référencés.

- Point : est désigné par ses coordonnées et à la dimension spatiale la plus petite.
- Ligne : a une dimension spatiale constituée d'une succession de points proches les uns des autres.

Polygone (zone ou surface): est un élément de surface défini par une ligne fermée ou la ligne qui le délimite. [20]



Point situé par ses coordonnées
points reliés géographique et clos
ordre bien défini

Hrri 2008]

Ligne: ensemble de points reliés
dans un ordre bien défini

Polygone: ensemble de
points reliés
dans un

- Les avantages du mode vecteur sont :*
- Une meilleure adaptation à la description des entités ponctuelles et linéaires ;
 - Une facilité d'extraction de détails ;
 - Une simplicité dans la transformation de coordonnées.

Les inconvénients du mode vecteur sont :

- Les croisements de couches d'information sont délicats et nécessitent une topologie parfaite.

Le mode trame ou raster est également appelé modèle matriciel. Contrairement au mode vecteur qui ne décrit que les contours, le mode raster décrit la totalité de la surface cartographique point par point. Il est utilisé principalement dans les systèmes à balayage (scanners, capteurs en télédétection ...)

- **Découpage thématique :** La diversité des applications géomatiques suggère de structurer les informations géographiques en couches (réseau routier, topographie, hydrographie, orographie ...). On appelle couche un ensemble d'objets géographiques homogènes, par exemple la couche des communes : Chaque commune est décrite par les mêmes attributs textuels (nom de la commune, nombre d'habitants, etc.) et géométriques (sa forme sur le plan).

On appelle « thème », un ensemble de couches ayant la même couverture spatiale (par exemple : réseau routier, lignes téléphoniques, ...etc.)

La figure qui suit représente des couches thématiques, raster et vecteur

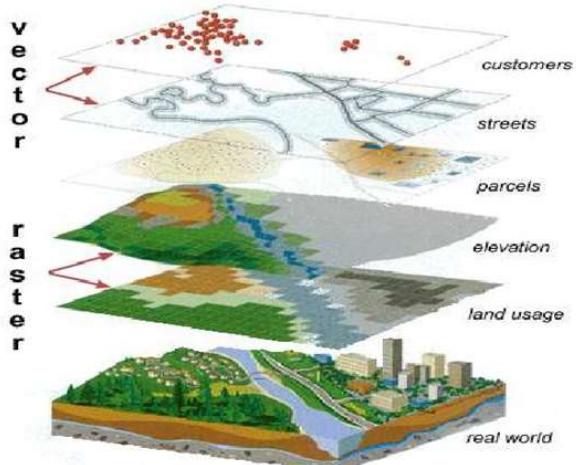


Figure 5 : Découpage thématique et couches de données

Actuellement, l'information géographique permet la connaissance du territoire, de son occupation ainsi que le suivi des différents phénomènes naturels. Elle joue

donc un rôle très important dans le développement d'un pays. Le développement de l'information géographique est une conséquence du développement des outils et logiciels. La réduction des coûts (logiciels et matériels), l'amélioration de leurs performances et le progrès dans le domaine de communication a permis l'utilisation de l'information géographique dans différents domaines.

Avantage de l'utilisation des SIG [8]

- Pour intégrer des données multi-sources (cartes thématique, photographie aérienne, images satellite, etc....)
- Le gain en temps et en précision
- Permet de réaliser des projets multidisciplinaires.
- Pour faire des requêtes spatiales et visualiser les résultats
- Pour faire de l'analyse spatiale

III. Outils SIG

Logiciels pour l'acquisition de données

- Logiciels traitement d'images raster ; – Logiciels d'import de données GPS
 - Logiciels de transformation de coordonnées ; – Logiciels de DAO
- **Logiciels SIG** (ArcGIS, Mapinfo, ..) • Extensions de logiciels SIG (3D ou spatial analyst)
 - **Logiciels SGBD** (Access, Oracle, Postgre/Postgis)
 - **Outils de traitement d'image** (Erdas Imagine, Ermapper)
 - **Diffusion : outils de publication sur le Web** (Mapserver, Cartoweb, Geoserver...)
 - **Outils de développement** (Python, Visual Basic, Java...)
 - **Outils de dessin** (Adobe illustrator)

Connaissance géographique (Geographic knowledge)

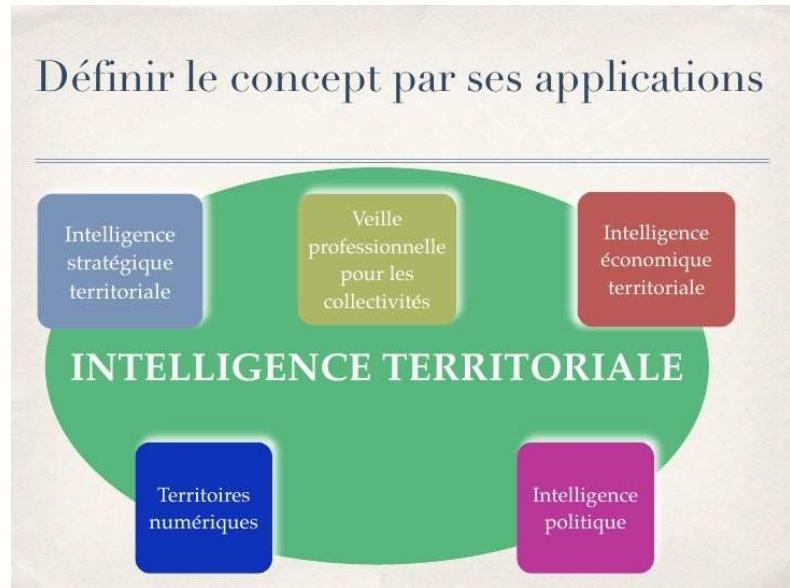
L'intelligence territoriale est l'ensemble des connaissances pluridisciplinaires qui améliorent la compréhension de la structure et la dynamique des territoires. Elle mobilise les technologies de l'information et de la communication (TIC) pour aider les acteurs territoriaux à projeter, définir, animer et évaluer les politiques et les actions de développement territorial durable » (Girardot, 2000).

L'intelligence territoriale est la science ayant pour objet le développement durable des territoires et ayant pour sujets les collectivités territoriales » Girardot (2010)

Intelligence territoriale ou intelligence géographique : Elle combine l'intelligence collective humaine avec l'intelligence informatique pour atteindre le développement durable de n'importe quel territoire, pays, région ou ville.
(Exemple : Smart City)

Dans le contexte actuel caractérisé par des changements multiples, la recherche et la diffusion d'informations stratégiques deviennent une nécessité pour une meilleure prise de décision que ce soit pour les entreprises comme pour les territoires.

Le nouvel enjeu n'est pas tant de savoir comment accéder à l'information mais comment sélectionner et combiner les informations permettant de prendre de bonnes décisions stratégiques dans un environnement concurrentiel évoluant rapidement.



III.1 OUTILS LIBRES

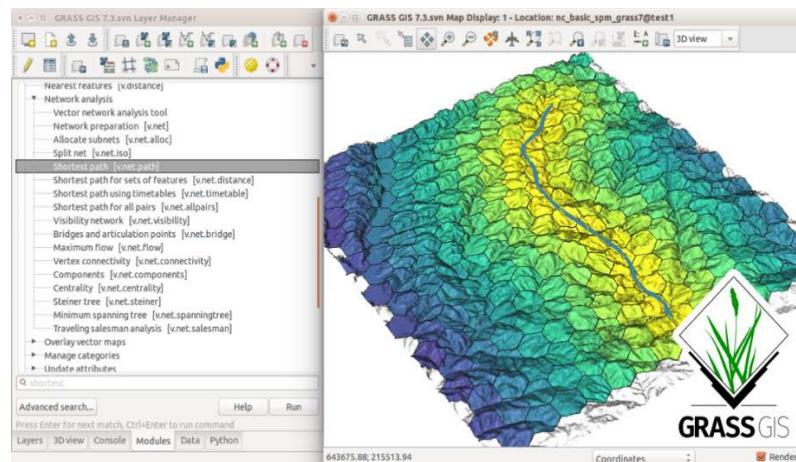
QGIS : Quantum GIS ou QGIS est un SIG libre et open-source, compatible Windows, Mac, Linux, BSD et également Android.

QGIS rassemble une des plus grosses communautés SIG au monde. Ce logiciel permet d'ouvrir beaucoup de formats propriétaires. Il est très utilisé dans le domaine de la formation et de la recherche. Il possède de nombreux plugins. QGIS exporte des cartes au format vectoriel SVG qui peuvent être retouchées dans Inkscape.

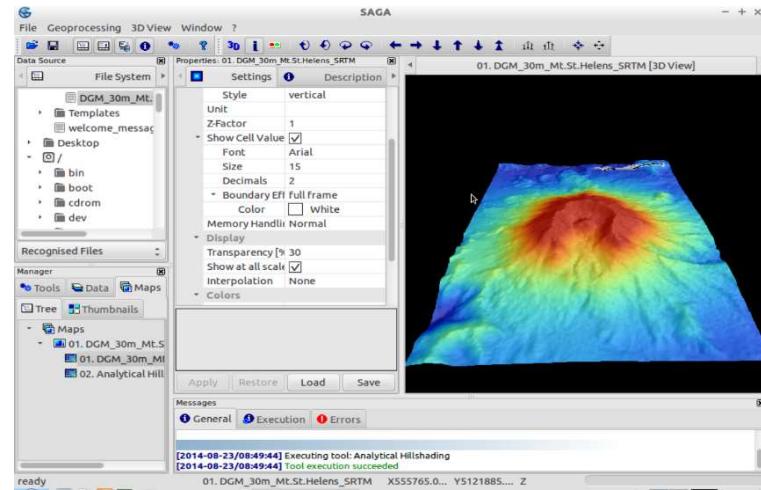


GRASS : *Geographic Resources Analysis Support System* ou GRASS est un SIG gratuit, open source et multiplateforme, qui est utilisé pour la gestion et l'analyse de données géo spatiales ainsi que pour la visualisation et le traitement d'images.

il s'intègre désormais sous forme de plug-in dans QGIS.

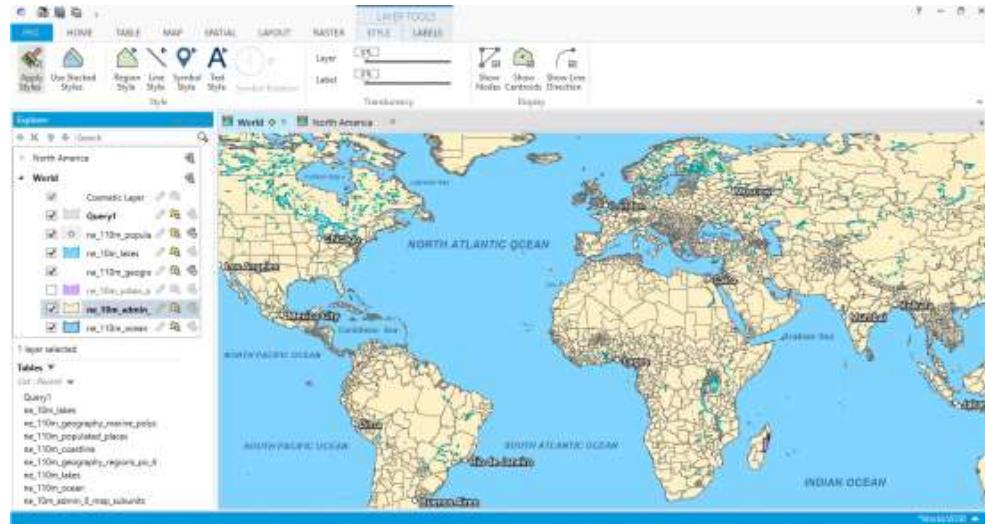


SAGA GIS : *System for Automated Geoscientific Analyses* ou SAGA est un outil libre et open source qui a été développé par le département de géographie physique de Göttingen, puis d'Hambourg. Il fonctionne sous Windows et Linux. Il s'adresse au départ aux (géo) scientifiques, mais il intègre une interface utilisateur qui en facilite l'usage grand public et il comporte de nombreux modules additionnels des plus simples aux plus complexes. En raison de l'origine de SAGA, il existe de nombreux modules axés sur les modèles numériques de terrain (MNT).

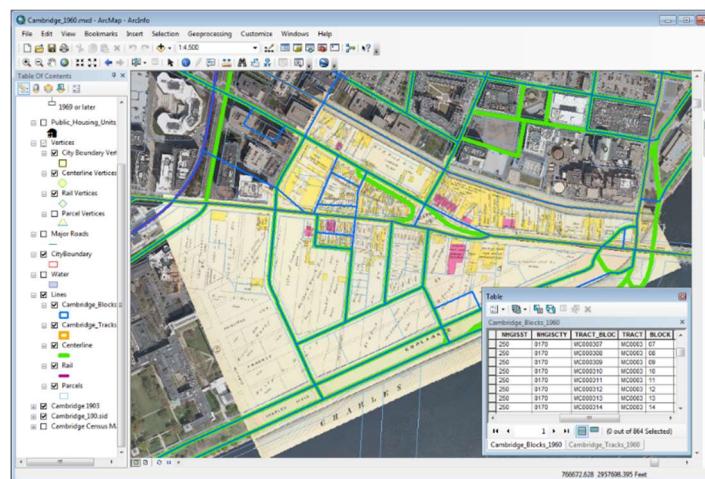
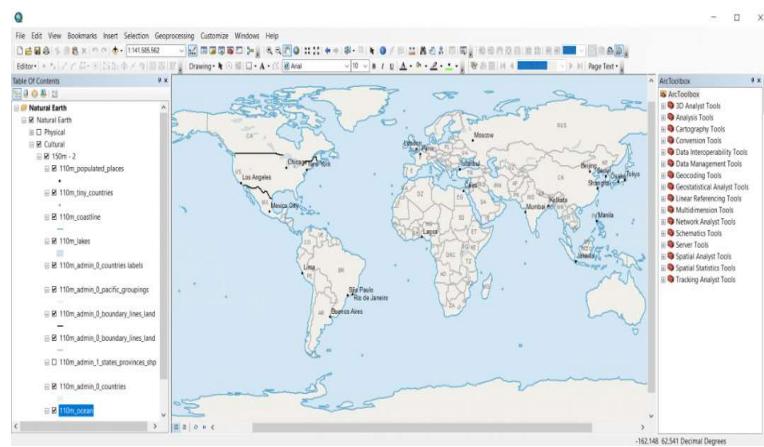


III.2 OUTILS PROPRIÉTAIRES

Mapinfo : C'est est un logiciel professionnel utilisé dans les administrations et pour la recherche. Ce logiciel SIG payant et propriétaire est présenté par son éditeur Pitney Bowes comme une solution dans le domaine de l'intelligence géo décisionnelle.



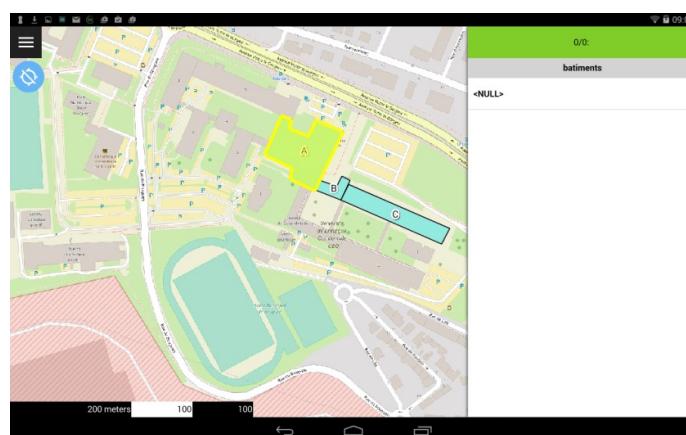
ArcGIS (ESRI) : L'un des logiciels SIG les plus connus et les plus utilisés au monde. Depuis février 2018, la société ESRI propose un pack Arcgis gratuit pour les établissements d'enseignement primaire et secondaire.



III.3 SIG Mobile

QField, le dispositif mobile de QGis pour Android

QField permet de travailler sur des projets QGis à partir de téléphones portables ou de tablettes équipés d'Android, pour réaliser du travail de terrain.



V. SIG & Modélisations 3D urbaines [21]

Après les SIG à deux dimensions, arrivent maintenant des outils à trois dimensions, non pas pour gérer un objet urbain comme un bâtiment isolé, mais pour la gestion d'un territoire complet. En parallèle avec l'évolution des nouveaux besoins exprimés par les utilisateurs, cette évolution a été rendue possible par l'arrivée de nouvelles technologies. Dès lors plutôt que des SIG à trois dimensions, on préférera l'appellation de modèle virtuel 3D. Parmi ces technologies, la photogrammétrie tient une place importante.

Exemple : Google (Google Earth) et Microsoft (Virtual Earth) qui ont pour objectif de décrire, avec un haut niveau de réalisme, toutes les villes du monde entier afin de pouvoir y naviguer, y localiser des services et effectuer des simulations.

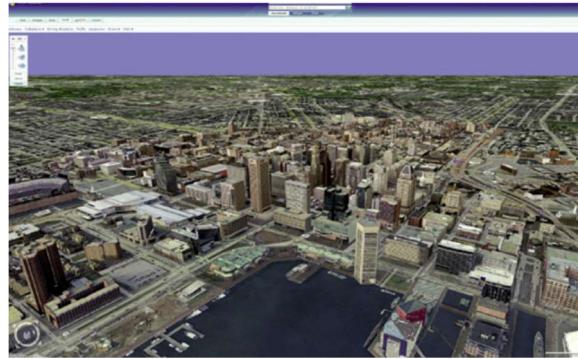


© http://www.ifp.uni-stuttgart.de/forschung/ photo/VirtualCity/VirtualCity_en.htm

Figure 1. Modèle virtuel 3D de la ville d'Heidelberg.



Extrait d'un modèle de la ville de Berlin



Exemple de modèle de ville virtuel (Baltimore) avec Virtual Earth.

Conclusion

Après avoir défini le SIG, on a évoqué dans ce chapitre les différentes fonctionnalités d'un SIG. Certaines sont traditionnelles aux systèmes d'information : le stockage des données, leur mise à jour, la consultation et la recherche d'information. D'autres comme l'analyse spatiale ou la production cartographique sont spécifiques au SIG.

Références

- [1] SIG : de 1960 à aujourd'hui, comment ont-ils évolué ?
<https://www.gismartware.com/blog/histoire-cartographie-sig/> consulté le 01/04/2022
- [2] Maguire, D. J. (1991). An overview and definition of GIS. *Geographical information systems : Principles and applications*, 1(1), 9-20.
- [3] Gestionnaire d'agence de voyages, CQRHT - Conseil québécois des ressources humaines en tourisme, www.cqrht.cq.ca
- [4] Introduction aux Systèmes d'Information Géographique avec Arcview 3.3, [Cours SIG – foretcommunale-cameroun.org](http://foretcommunale-cameroun.org) , consulté le 01/04/2022
- [5] KALLA Mohamed Issam, (2021), Introduction aux systèmes d'informations géographiques (SIG), Université de Batna
- [6] Marc Souris, Les principes des systèmes d'information géographique, Thèse, 2002
- [7] R. Laurini, Cours : Introduction aux systèmes d'information géographiques, Master Info ; Lyon , 2010
- [8] Nabed Abdelkader Nadir, (2020), S.I.G appliqué aux sciences de l'eau, UHBC
- [9] Driouche, M., initiation aux systèmes d'information géographiques, ENSH, Mars 2003
- [10] Les systèmes d'information géographiques Formation QGIS, module 1-1
- [12] Abdelouahab NEJJARI, L'information géographique au service de la meilleure décision. Université My Ismaïl, Revue Interdisciplinaire Vol1, n°3 (2016)
- [13] Système d'information géographique : définition et explications (techno-science.net))
<https://www.techno-science.net/definition/4962.html>

- [14] Abdelbaki C., Contribution à la gestion d'un réseau d'alimentation en eau potable à l'aide d'un SIG application à la ville Birtouta, Thèse Magister, ENSH, 2000
- [15] Mohammed Tamali. Système d'Information Géographique. Master. Algérie. 2013. ffcel-01445409v2f
- [16] Système d'information pour l'aide à la décision spatiale basé sur une ontologie, Belhadef Houcine, Thèse, Université Mentouri Constantine, , 2010
- [17] H. Chakroun, (2104), Département GC, ENIT Cours SIG-Télédétection, 2^{ème} GC, Introduction aux SIG et à la télédétection en génie civil, Ecole nationale d'ingénieurs Tunis
- [19] LAURINI, 1998
- [20] Boukli Hacène Chérifa, Rabah Fissa Amina, SIG: Cours et travaux pratiques, Polycopie , Université Belkaid Tlemcen, 2016
- [21] Panorama des potentialités SIG en 3 dimensions : vers des modèles virtuels 3D de villes, Robert LAURINI - Sylvie SERVIGNE, Revue XYZ • N° 114 – 1er trimestre 2008