

Introduction au Système d'Information Géographique

Concepts généraux des Systèmes d'information géographique

Introduction

I. Définitions

1. Géomatique
2. Information géographique
3. Système d'Information Géographique

Domaines d'utilisation des SIG

Composants des SIG

Fonctionnement du SIG

1. Le modèle vectoriel

1. 1. Les éléments ponctuels

1. 2. Les éléments linéaires

1. 3. Les éléments surfaciques (polygones).

1. 4. Intégration des données géographiques dans un SIG à modèle vectoriel

1. 4. 1. Notion de couches informatiques

1. 4. 2. Base de données

a. Définitions

b. Représentations informatique de chiffres et des caractères

c. SQL

2. Le modèle raster

2. 1. La couche matricielle

2. 2. La résolution

3. 2. Les zones et les classes

3. Fonctions de base d'un SIG

V. Systèmes de projections de la terre

1. Les surfaces de projections

1. 1. Les projections coniques

1. 2. Les projections cylindriques

1. 3. Les projections azimutales

2. Les systèmes de coordonnées

2. 1. Notion de géodésie

2. 1. Coordonnées liées au globe terrestre : latitude et longitude

2. 2. 1. Latitude Longitude

2. 2. 2. Les coordonnées cartésiennes géocentriques

2. 2. Coordonnées liées à un système de projection

2. 3. Coordonnées et projections utilisées au Maroc

2. 3. 1. Historique de la géodésie au Maroc

2. 3. 2. Présentation du réseau géodésique horizontal

Chapitre I.

Concepts généraux des Systèmes d'information géographique

Introduction

La cartographie a été considérée pendant longtemps comme un outil efficace de stockage, de mesures, de localisation et de dessin des données et des phénomènes géographiques. Ses objectifs, ses règles et ses méthodes ont été de tout temps et restent les principaux moyens de planifier des projets d'aménagements des villes, des bassins versants et des stratégies politiques et militaires. Cependant, les développements de la technologie et l'apparition de normes nouvelles dans l'aménagement du territoire posent un grand nombre de contraintes qui entravent et diminuent l'efficacité de la carte sur papier qui a commencé à montrer ses limites. Parmi ces contraintes citons ;

- La difficulté d'actualisation des données géographiques qui sont en constante évolution.
- La difficulté de la liaison entre les éléments géographiques et leurs bases de données généralement énormes.
- La difficulté d'analyse et de prise de décision rapide devant la quantité importante de données.

Devant ces difficultés, la géomatique a est intervenu d'une façon croissante dans le domaine des sciences de la terre. Dans un premiers temps, la géomatique a réussi à faciliter l'acquisition et le traitement des données géographique en produisant des cartes de meilleure qualité par des programmes qui sont des logiciels de dessin et de cartographie automatique (Autocad, Mapviewer, Surfer, Corel Draw, Canvas...), par la suite une génération de programmes beaucoup plus complets appelés les systèmes d'information géographique sont apparus (Mapinfo, Arcgis, Erdas, Idrissi, Géomédia, Sagagis, Quantum GIS...). Les systèmes d'information géographique sont apparus comme une nouvelle technologie où l'efficacité réside dans leur capacité d'acquérir, rassembler, stocker, manipuler, analyser, et afficher les données géographiquement référencées. Ces programmes sont à la fois des logiciels de dessins, de base de données et de traitement de textes capables de lier l'élément géographique dessiné à sa base de données dans laquelle les informations stockés et bien organisés peuvent être, logiques, sous forme de caractères ou numériques permettant l'application d'opérations mathématiques complexes et présentant les résultats sous forme de cartes, graphiquement ou simplement sous forme de tableaux.

Le développement de la télédétection au cours des deux dernières décennies a permis une analyse spatiale importante des phénomènes se produisant à la surface de la terre ce qui a poussé les géologues et les géomorphologues de développer ces programmes pour lire et analyser les résultats de la télédétection fournis par les instances spécialisées dans l'information spatiale de la surface de la terre.

Cette nouvelle technologie est devenue inévitable dans une large gamme de thèmes de la recherche scientifique. La part de la géologie et la géomorphologie est très importante dans ce domaine. Les modélisations mathématiques des phénomènes géologiques, le traitement de diverses données spatiales, l'utilisation des GPS (Global Positionning System) et le traitement des données de télédétection ont conduit les chercheurs à utiliser les SIG pour mettre en relation les diverses disciplines qui traite de la surface de la terre. La plupart des grandes

entreprises, administrations, et collectivités locales sont, à l'heure actuelle, équipées de logiciel SIG pour gérer l'information géographique sur leur territoire de compétence.

I. Définitions

1. Géomatique

C'est au Canada où le mot fait son apparition en 1993 quand l'Office de la langue française du Québec adopte le terme géomatique comme « *la 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* ». Dans ce pays, la géomatique apparaît comme une des quatre composantes du secteur des sciences de la terre au Ministère des Ressources Naturelles du Canada.

En France, Les lexiques des écoles de géographie la définissent comme une science qui regroupe l'ensemble des disciplines et moyens technologiques et surtout informatiques permettant de représenter, d'analyser et d'intégrer des données géographiques.

Pour le site "hypergeo.free.fr" La géomatique se réfère à un grand nombre d'outils, de technologies et de disciplines, reposant elles-mêmes sur des théories mathématiques sans lesquelles elles n'existeraient pas. Les connexions principales de l'outil "Système d'Information Géographique" décomposé selon ses fonctionnalités essentielles, d'abord vers les technologies informatiques, puis leur rattachement à des disciplines en sciences géographiques et à des théories mathématiques (ou autres), le graphe d'ensemble structurant ainsi le paradigme géomatique.

La *géomatique* consiste donc en au moins trois activités distinctes :

- La **collecte** des données géographiques représentant au mieux la réalité de terrain à partir de diverses sources d'informations :
 - la photographie aérienne, dont la version exploitable, après correction des aberrations optiques et erreurs s'appelle **orthophotographie**.
 - l'image satellite (type *Spot, Landsat, Ikonos...*) ;
 - le relevé direct sur le terrain, désormais effectué principalement à l'aide de GPS, qui permettent de saisir en même temps l'objet géographique et sa localisation.
- la **numérisation** des données et leur intégration dans les systèmes d'Information Géographique.
- Le **traitement** et l'**analyse** des données géographiques par les SIG (systèmes d'Information Géographique, en anglais *GIS*)
L'intérêt d'un SIG dépendant fortement des données. Le but de ces outils est non seulement de pouvoir afficher les informations géographiques mais aussi de réaliser des croisements, de créer des cartes synthétiques ou thématiques.

2. L'information géographique appelée aussi "données spatiales » peut être définie comme l'ensemble de éléments descriptifs d'un objet et de sa position géographique à la surface de la Terre. Elle se divise en deux entités :

- **l'information spatiale**, représentée par des objets graphiques tels que des lignes, points ou polygones sur des cartes.
- **la donnée d'attributaire** ou descriptive (sous forme de statistiques ou de données alphanumériques telles que la pente, le type de sol, le couvert végétal, etc.). Cette information est structurée sous forme de table attributaire.

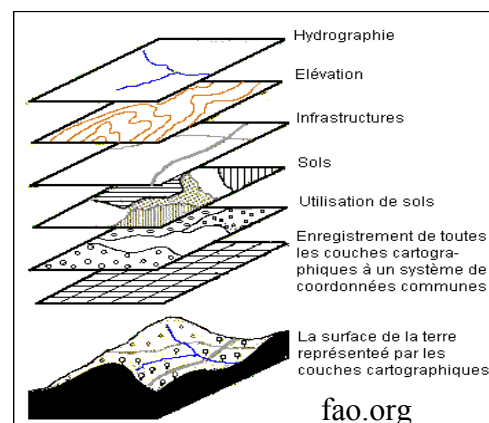
3. Système d'Information Géographique

Depuis la définition de Dueker 1979 en passant par Parker (1979), Burrough (1986), Smith et al (1987), Cowen (1988), CNIG (1990) pour arriver à celle de l'Institut ESRI (1990), La définition du système d'information géographique a connu une évolution continue qui a suivi le développement de ses applications et des objectifs recherchés selon les spécialités et les domaines d'application.

Les Systèmes d'Information Géographique sont des outils informatiques composés par du matériel (Hardware : Ordinateur, scanner, tables à digitaliser, imprimantes...) et de logiciels (software : Mapinfo, Arcgis, Erdas, Idrissi, Géomédia, Sagagis) capables d'acquérir, de rassembler, stocker, manipuler, analyser, et afficher les données géographiquement référencées. Ils permettent la liaison entre les éléments géographiques cartographiés et leurs bases de données généralement énorme.

Le rôle du système d'information est de proposer une représentation plus ou moins réaliste de **l'information spatial** des objets terrestres en se basant sur des éléments géométriques telles que des points, des arcs, des polygones (vecteurs : modèle vectoriel) ou des maillages (modèle raster). À ces éléments est associée la base de données ou les **données attributaires** sous forme de tableaux où sont rangés des informations qualitatives telles que la nature de l'objet (affleurement géologique, failles, route, voie ferrée, forêt...) ou quantitative (altitude, débit...) ou toute autre information géographique.

Les données spatiales sont généralement sous forme de couches d'information issues de carte thématique (voir la figure ci-dessous), qui peuvent décrire entre autres: la topographie, la disponibilité en eau, la nature du sol, le couvert végétal, le climat, la géologie, la population, la propriété foncière, les bornes administratives ou bien encore les infrastructures (route principales, voies ferrées, réseau électrique, etc).



III. Domaines d'utilisation des SIG

Suite à la prise de conscience de l'interrelation entre les différents phénomènes qui se déroulent à la surface de la terre, la nécessité de développer des outils de gestion global et pluridisciplinaire, s'est rapidement imposée.

La capacité des SIG de gérer l'information spatiale et à confronter des informations issues de cartes distincte a facilité la prise de décision. Les SIG ont pris une place croissante pour la proposition de solutions pratiques dans divers domaines :

- **Aménagement du territoire** : Schémas d'organisation territoriale, Plans d'urbanisme, choix de tracés routiers, autoroutiers ou ferroviaires, études d'impacts....
- **Gestion urbaine** : gestion de la voirie, des réseaux de distribution, des espaces verts, du patrimoine, de la sécurité, simulation d'insertion de projets architecturaux....
- **Circulation et conduite automobile** : choix d'itinéraires, suivi de flottes de véhicules, aide à la conduite assistée par ordinateur,
- **Agriculture** : génie rural, gestion des ressources en eau, suivi et prévision des récoltes, gestion des forêts, aide à la mise en œuvre de la Politique Agricole Commune,
- **Protection de l'environnement** : définition des zones sensibles, suivi des évolutions, alerte aux pollutions, protection des paysages, évaluation de l'impact des interventions
- **Risques naturels et technologiques majeurs** : définition et suivi des zones à risque, prévention de catastrophes, intervention en cas de sinistre, organisation des secours.

IV. Composants des SIG

Les composants nécessaires pour une bonne utilisation des SIG se répartissent en 3 ensembles :

- Le matériel :

Le matériel nécessaire pour l'utilisation d'un SIG se compose principalement de trois ensembles d'unités :



- unités d'intégration des informations

L'entrée de données implique la conversion des données cartographiques d'observations terrestres, d'images satellitaires ou bien encore de photographies aériennes dans des formats numériques compatibles avec le système. L'intégration des données géographiques se fait par la souris, le clavier, la table à digitaliser (table numérique) ou le scanner en précisant la nature des données et le degré de résolution souhaité par l'utilisateur.

La plupart de SIG sont équipés de table numériques qui permettent à l'aide d'un curseur (créé par une souris ou un stylo électronique), de tracer directement de nouveaux plans d'information à partir de cartes sur papiers. Ce travail nécessite une certaine expérience et requiert parfois un travail ultérieur de structuration et/ou de nettoyage des fichiers résultants (pour fermer par exemple les surfaces ou résoudre des intersections erronées).

L'utilisation de scanner est un moyen de plus en plus utilisé pour automatiser la numérisation de grandes quantités d'information. Ce système élimine le travail de digitalisation manuelle des lignes et assure une bonne qualité géométrique. Bien que cette méthode soit plus rapide que la digitalisation manuelle, elle n'est pas adaptée à tous les cas de figure et nécessite d'une carte d'origine peu chargée, au risque de numériser une partie des informations toponymique ou d'un long travail de nettoyage des fichiers scannés.

La qualité des sources des données et la méthode d'intégration choisie pour ces données, affecteront la qualité des produits finaux issus du SIG; et ceci quelque soit la sophistication du matériel ou des logiciels utilisés.

- unités de traitement et de stockage des informations

L'unité centrale de l'ordinateur est le principal élément qui permet le stockage, le traitement et l'analyse des données. La gestion de base de données comprend principalement les fonctions suivantes: structuration, requête, analyse et enregistrement des données attributaires. Le traitement des données couvre deux types d'exécution:

- la préparation des données par l'élimination d'erreurs ou la mise à jour
- l'analyse des données pour fournir des réponses aux questions que l'utilisateur pose au SIG.

Le traitement, selon sa nature, peut opérer conjointement sur les données spatiales et attributaires ou sur seulement l'un des types de données. On peut citer quelques traitements classiques tels que le croisement de différentes cartes thématiques, traitement des superficies et des distances, acquisition d'information statistique à partir de données attributaires; changement des légendes, le changement d'échelle et de projection, la création d'une zone tampon, ou bien encore la représentation en trois dimensions à partir d'un modèle numérique de données d'élévation de terrain.

- unités de restitution des données et de présentation des résultats

Le matériel nécessaire pour la restitution des données et de présentation des résultats comporte l'écran dont la netteté d'affichage dépend de la résolution choisie, de la taille de l'écran et de la carte graphique (super VGA de préférence). Cette visualisation peut être exportée sous forme de fichiers graphiques ou sous forme de sortie cartographique papier à l'aide d'imprimantes ou de tables traçantes.

- Les logiciels :

Les logiciels S.I.G offrent une panoplie d'outils et de fonctionnalités qui permettent d'acquérir, de stocker, d'analyser et d'afficher des données géographiques: les plus utilisés actuellement sont MapInfo, ArcInfo, Arcview, GRASS, IDRISI, GéoConcept... mais de nouveaux SIG apparaissent de plus en plus.

Un programme n'est considéré comme SIG que s'il comporte un ensemble de systèmes informatiques dont les principaux sont :

- un système de numérisation des cartes : c'est l'élément de base pour intégrer des données géographiquement référencés qu'elles soient des données spatiales localisées par des coordonnées (x,y,z) ou des données descriptives sous formes de texte (noms de régions, d'affleurements, type de sol...) ou numériques (débit de cours d'eau, précipitations...).

- un système de gestion des bases de données capable d'organiser les données sous forme de tableaux. Chaque tableau contenant des champs ou des colonnes ou sont emmagasinées les données descriptives liées aux différents éléments des couches de la carte. Le SIG permet d'analyser ces données et de répondre aux requêtes de l'utilisateur.

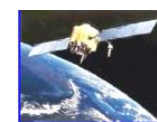
- un système d'analyse spatiale utilisant des outils statistiques et cartographique pour démêler la complexité et l'interdépendance des facteurs déterminants des phénomènes géographiques par croisements successifs des couches informatiques relatives aux cartes thématiques.

- Un système d'aide à la décision. Les décideurs se base sur cette fonction du SIG pour élaborer des scénarios futurs, voir l'impact des interventions sur l'environnement et prévoir les stratégies de développement sans nuire à l'environnement.

- un système riche en outils de réalisation de cartes pour exposer l'information géographique de manière simple et efficace.

- Les données :

Ce sont certainement les composantes les plus importantes d'un S.I.G. On différencie les données selon leur nature (numériques, descriptives en caractères, en image ou en schémas) Les données géographiques collectées directement sur le terrain ou acquises auprès de producteurs de données.



Photos satellites



Photos aériennes



Mesures de terrain



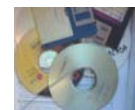
Cartes diverses



G P S



Données statistiques



Données numérisées

- Les méthodes

Une des manières les plus intuitives pour aborder les domaines d'application des SIG consiste à formuler les questions auxquelles serait confronté un utilisateur potentiel. Il est essentiel que ces utilisateurs potentiels définissent de manière la plus précise et exhaustive possible leurs besoins en information et leurs besoins en traitement de cette information (par exemple envisager les différents croisements).

Les champs d'application des SIG sont très divers et les besoins très différents. La manipulation d'un S.I.G ne peut donc s'effectuer sans l'application de méthodes, de règles et de procédures très strictes et propres à chaque application. Ces méthodes permettent une utilisation rigoureuse et cohérente du matériel, des logiciels et des données du S.I.G par

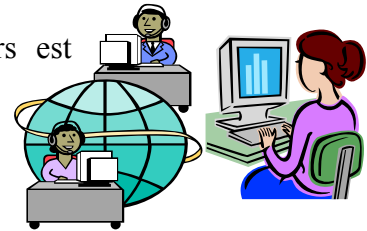
l'ensemble des utilisateurs et cela afin de répondre aux objectifs fixés au préalable dans tout projet.

- Les utilisateurs

Le composant humain est important. Un S.I.G étant avant tout un outil, ce sont ses utilisateurs (et le personnel qui entretient et gère le système) qui lui permettent d'exister et de donner toute l'efficacité dont il peut être porteur. Les utilisateurs doivent avoir différentes compétences :

- expérience dans les techniques informatiques de traitement de texte, de gestion des bases de données et de dessin assisté par ordinateur
- expérience dans la sémiologie cartographique

La coordination entre des spécialistes d'horizons divers est également un des éléments clés de la réussite d'un projet. L'expertise spécifique, apportée par des thématiciens devra être mise à profit tout au long du développement des applications et permettra aux informaticiens et spécialistes de base de données, de construire un modèle de données adapté à ces contraintes thématiques.



IV. Fonctionnement du SIG

Les SIG proposent une représentation plus ou moins réaliste de l'environnement spatial en se basant sur deux types de modèles.

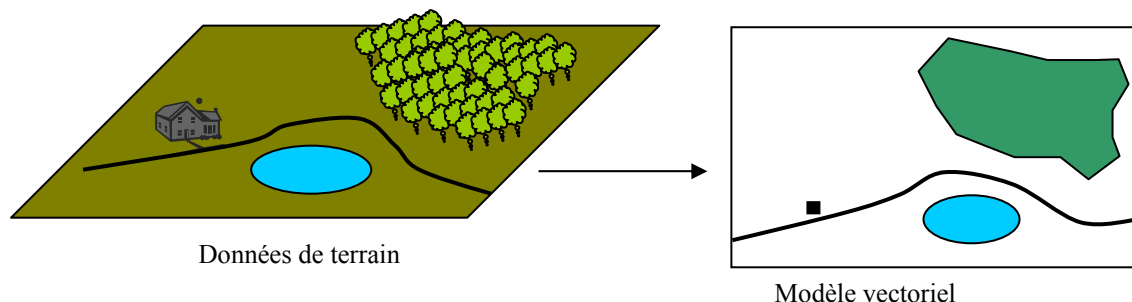
Le modèle vectoriel : l'ensemble des objets sont représentés par les éléments géométriques que sont les points, les lignes ou les polygones, définies en coordonnées réelles (X,Y).

Le modèle raster ou maillé : le monde réel est représenté par une succession régulière de cellules (surfaces élémentaires), selon un maillage défini. A chaque cellule est associée une valeur donnée

L'utilisation de l'un ou l'autre modèle dépend d'un ensemble de facteurs liés aux sources des données, au matériel disponible et aux objectifs de l'utilisation du SIG. La plupart des SIG ont la capacité de transformer les données d'un format à l'autre.

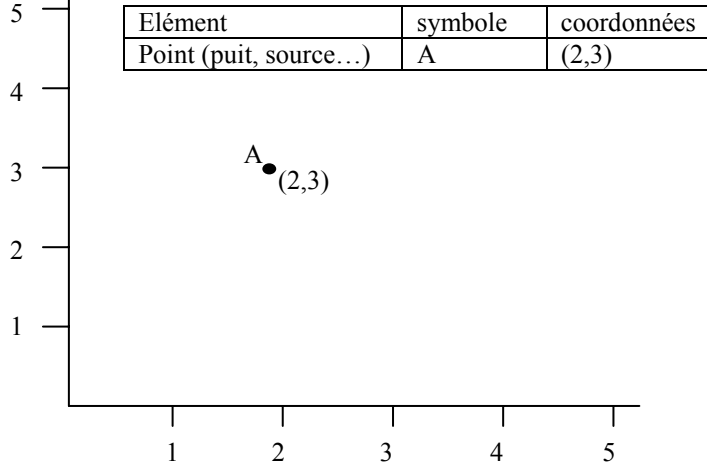
1. Le modèle vectoriel

Trois types d'éléments géographiques peuvent être intégrés dans le modèle vectoriel ; les éléments ponctuels, les éléments linéaires et les éléments surfaciques.



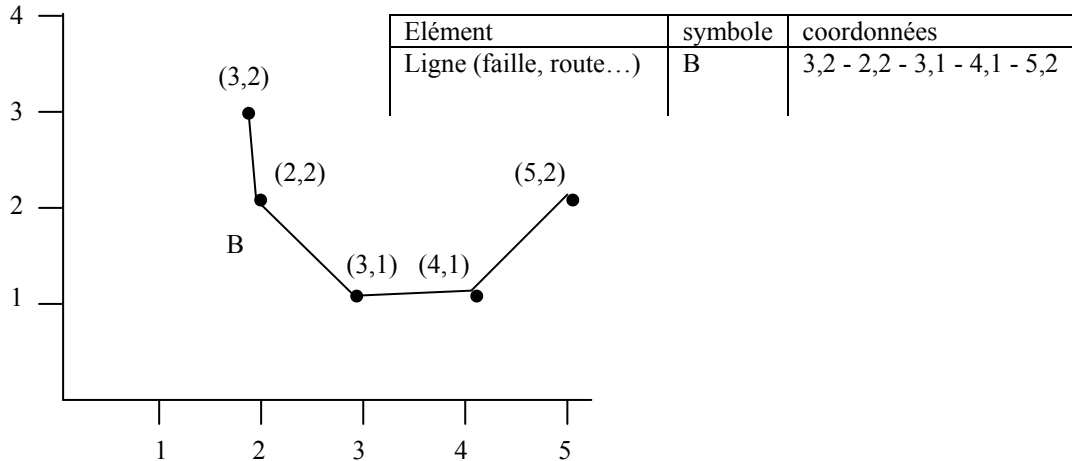
1. 1. Les éléments ponctuels

Ce sont des éléments représentés sur une carte par des points qui ont des coordonnées x,y (puit, source, localité...)



1. 2. Les éléments linéaires

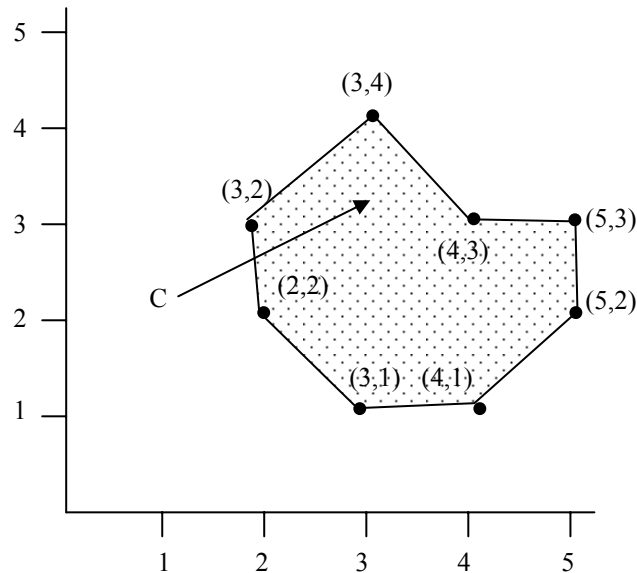
Ce sont des éléments représentés sur la carte par un trait. Ils sont réalisés en joignant une série de points. (Faille, réseau hydrographique, route ...). Chaque point a des coordonnées x,y



1. 3. Les éléments surfaciques (polygones)

Ils constituent des surfaces limitées par un trait fermé (polygones), où les coordonnées du point de départ coïncident avec celles du point d'arrivée.

Elément	symbole	coordonnées
Polygone (formation géologique, forêt...)	C	3,2 - 2,2 - 3,1 - 4,1 - 5,2 - 5,3 - 4,3 - 3,4 - 3,2



La représentation de la topographie nécessite l'ajout d'un troisième paramètre (z) ou coordonné réel représentant les valeurs d'altitude.

1.4 Intégration des données géographiques dans un SIG à modèle vectoriel

Dans le modèle vectoriel, les éléments sont intégrés par ;

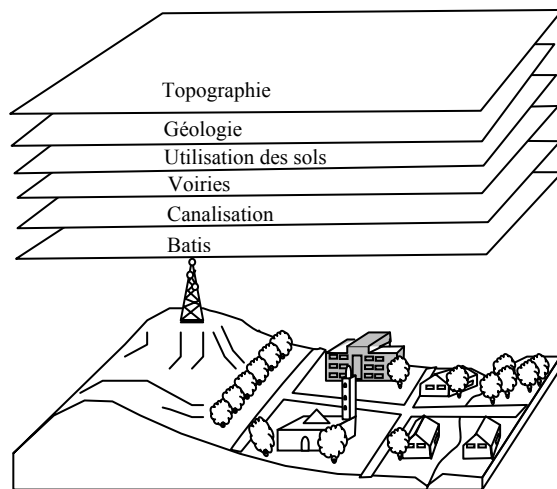
- une table à digitalisation qui transforme les données imprimées en données numériques
- en les important directement de supports informatiques
- en digitalisant directement sur une image géoréférencée (image raster)

1.4.1. Notion de couches informatiques

Les données spatiales sont généralement intégrées dans un SIG sous forme de couches. Une couche informatique est un plan sur le quelle sont représenté un ensemble d'entités géographiques indiquant un thème donné.

Chaque couche représente un sous ensemble thématique. C'est un espace à cartographier où on regroupe les éléments géographiques du même thème.

Exemple, tous les éléments indiquant la topographie (courbes de niveau, points cotés,...) sont représentées sur une seul couches. Les éléments indiquant l'hydrographie (cours d'eaux temporaires, ou pérennes, les lacs...) sont représentés sur une autre couche...



Le SIG peut, par la superposition des couches, élaborer une carte thématique dans laquelle les bases de données des différentes couches fusionnent en une seule.

1. 4. 2. Base de données

Les données descriptives (qualitatives ou quantitatives) en relation avec les différentes entités géographiques sont organisées selon un mode relationnel. Ce mode consiste à placer les données dans des tableaux où les différentes colonnes constituent un ensemble d'attributs.

a. Définitions

Enregistrement ou tuple

Le tuple ou l'enregistrement est l'élément fondamental de la base de données. Chaque tuple représente un fait, un ensemble de valeur d'un attribut (l'ensemble des faciès lithologiques affleurant dans une carte ; marnes, calcaire, grès, schiste représentent tous des tuples de l'attribut lithologie)

Champ ou Attribut

C'est une variable qui renseigne sur une caractéristique d'une entité. L'attribut correspond au champ. Dans une table géologie, les attributs des différents affleurements peuvent être la lithologie, l'étage, les fossiles... (la lithologie est l'attribut de l'ensemble des tuples ; marnes, calcaire, grès, schiste)

b. Représentations informatique des chiffres et des caractères

Pour qu'ils soient enregistrés dans le fichier informatique de la base de données, les attributs doivent être exprimés d'après des types préétablis selon qu'il s'agit de données exclusivement numériques ou numériques et alphabétiques:

Les nombres sont exprimés selon plusieurs catégories (entiers, réels avec des décimales...) avec des longueurs variables.

Les caractères alphanumériques représentent des chiffres et des lettres.

Les types préétablis des données doivent être préparés lors de la structuration de la base de données.

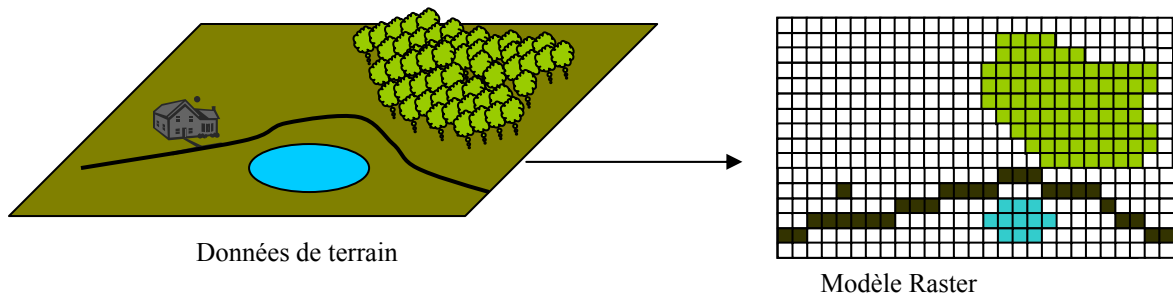
c. SQL

Le SQL de son appellation anglaise "structured Query Language" c'est-à-dire langage structuré de requête est un langage qui fut développé pour gérer et interroger les base de données.

Les différents SIG disposent d'un langage relativement commun pour établir un lien entre l'utilisateur et la base de données. Ce langage permet de modifier, sélectionner ou créer des données.

2. Le modèle raster ou matriciel

Le modèle raster traite les données par une grille (grid) de surfaces élémentaires (ou cellule) appelées "pixel" de l'anglais "picture element" qu'on intègre à l'ordinateur à l'aide d'un scanner, par l'importation à partir de fichiers de satellites ou par la conversion de modèle vectoriel.



Dans ce modèle l'élément ponctuel est représenté par un carré, l'élément linéaire par une série de carrés qui se succèdent, l'élément surfacique par un ensemble de carrés voisins dans deux directions de l'espace. Selon le type de données, les valeurs conservées dans les cellules peuvent être des nombres entiers, des nombres réels ou des caractères alphanumériques.

2. 1. La couche matricielle

Les valeurs entières, réelles ou alphanumériques liées aux différents pixels d'une couche correspondent souvent à des codes enregistrés dans un tableau ou dans une légende. Les données correspondant à un terrain peuvent être visualisées comme un ensemble de couches thématiques superposables.

2. 2. La résolution

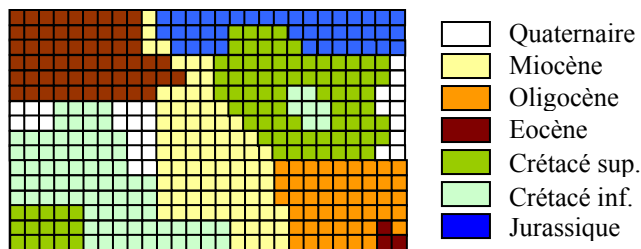
La précision de l'information géographique dans ce modèle est lié au degré de résolution (taille des pixels et nombre de pixels dans une surface donnée). Selon l'échelle, le pixel peut avoir une taille de quelques m² à plusieurs hectares. Chaque pixel contient une seule valeur, ce qui entraîne souvent une perte de précision pour des résolution faible puisque la limites entre deux classes de sols peut se situer au milieu d'un pixel.

2.3. Les zones et les classes

Sur une couche, les cellules contiguës possédant la même valeur (ou même code) forment une zone. Ces zones correspondent à des entités géographiques surfaciques (sols, affleurements géologiques, lacs, ...). Ces surfaces peuvent être discontinues ou continues

2.3.1. Surfaces discontinues

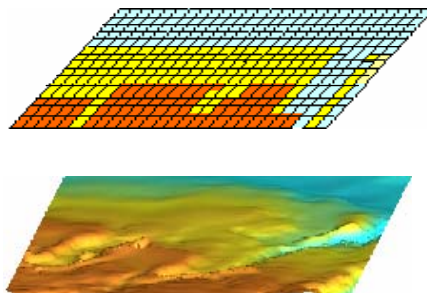
Les pixels isolés et les zones non contiguës utilisant le même code ou possédant la même valeur forme une classe thématiques (Exemple, une couche d'affleurements géologiques).



2.3.2. Surfaces continues

Il existe deux types de surfaces continues représentées par les modèles matriciels.

a. Chaque point de la surface représentée résulte de la concentration ou de l'intensité du phénomène étudié (topographie, précipitations, températures...)



b. La relation par rapport à une source de diffusion d'un phénomène (modélisation de pollution par les margines des barrages ou par les marées noires sur l'océan, de propagations de maladies...)

Chaque modèle a ses propres avantages et inconvénients (Tableau ci-dessous):

	Avantages	Inconvénients
Raster	<ul style="list-style-type: none"> - Il est plus facile d'écrire des programmes pour traiter les données - Modèle assurant une meilleure compatibilité avec les données maillées telles que images satellitaires numériques - Meilleure compatibilité avec certaines sorties du type traceurs à jet d'encre ou terminaux graphiques 	<ul style="list-style-type: none"> - Requier beaucoup de mémoire pour des bases de données contenant beaucoup d'attributs - Difficultés à représenter exactement les lignes (lignes topographiques, route, chemins de fer, etc.) à moins que la taille de la cellule soit petite. - Nécessité de disposer d'un dispositif de conversion vecteur raster pour intégrer des données vecteur
Vecteur	<ul style="list-style-type: none"> - Beaucoup moins de mémoire requise - Possibilité de représenter la carte dans sa résolution initiale - Possibilité de représentation d'attributs multiples. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les fonctions spatiales d'analyse sont beaucoup plus complexes - Certaines données de variable continues (ex: altitude, images satellitaires) ne peuvent être représentées sans traitement préalable.

3. Fonctions de base d'un SIG

Le SIG facilite l'intégration de données spatiales diverses sous formes de couches. Il permet de les croiser, de les analyser et enfin d'afficher le résultat de ces analyses sous forme cartographique. Les fonctionnalités de base des SIG sont les suivantes:

- production de cartes synthétiques, à différentes échelles, et selon différents systèmes de projections,
- changement d'échelle, de projections, de légendes, d'annotations, etc.
- extraction de cartes issues du croisement de plusieurs informations et qui représente l'ensemble des attributs issus de différentes cartes thématiques.
- création de zones tampon ou de proximité, correspondant à la distance par rapport à des objets graphique de type linéaire ou surfacique. Cette technique est utilisée notamment pour la recherche de zones favorables à une distance donnée de réseaux de communication (voies ferrées, autoroutes, routes, etc.) ou de ressources hydriques (fleuves, canaux d'irrigation). Ces zones tampons peuvent alors être utilisées dans de nouveaux croisements.
- requête de type spatiale ou attributaire, ou conjointe.

V. Systèmes de projections de la terre

Pour les besoins cartographiques, 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).

Toute représentation sur une surface bidimensionnelle de la Terre, s'obtient par une projection, opération cartographique permettant de représenter l'ellipsoïde terrestre sur une surface plane, dite plan de projection, suivant certaines règles géométriques. Or, de cette projection dépend l'ensemble de la carte. Le fait de projeter une chose courbe sur un plan, entraîne des déformations. Aucune représentation en plan n'est donc conforme à la réalité.

Ainsi, il existe 2 types de déformations (Altérations):

- celle des longueurs, qui entraîne une variation de l'échelle de la carte d'un point à un autre
- celle des angles, le passage de la sphère au plan entraînant une déformation des angles, des formes, des surfaces et des directions

Pour réduire ces altérations, on distingue deux types de projections : les projections **conformes** qui permettent la conservation des rapport d'**angles** sur la carte par rapport à la Terre et les projections **équivalentes** qui assurent la conservation des rapport de **surfaces**.

1. Les surfaces de projections

Il existe 3 principaux modèles de projections :

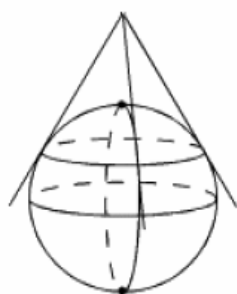
- les projections coniques
- les projections cylindriques
- les projections azimutales

On rencontre cependant de nombreuses autres projections toutes plus différentes et originales les unes que les autres.

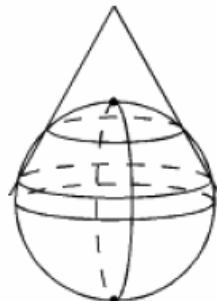
1. 1. Les projections coniques

La surface de projection est un cône tangent ou sécant.

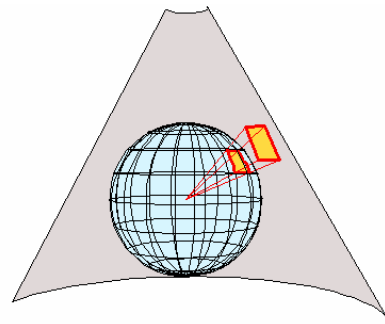
Les projections Lambert et Lambert-93 utilisent ce type de projection.



Représentation
conique tangente

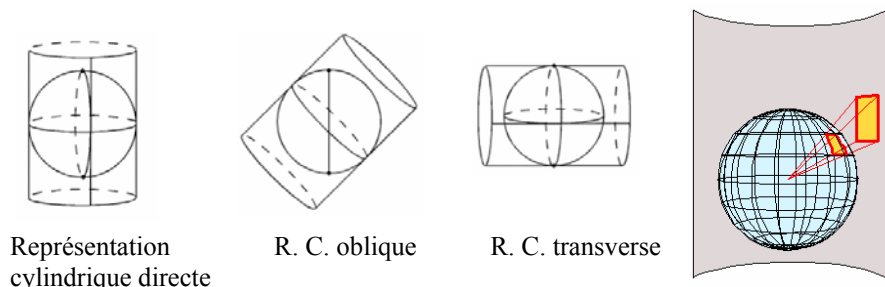


Représentation
conique sécante



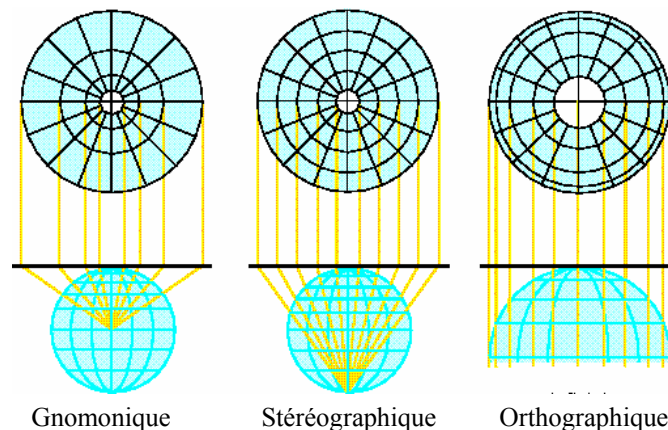
1. 2. Les projections cylindriques

La surface de projection est un cylindre tangent ou sécant au modèle de la Terre. Les projections UTM, Gauss,... utilisent ce type de projection.



1. 3. Les projections azimutales

Le plan lui même est tangent au modèle de la terre. La stéréographie polaire est un exemple de ce type de projection (carte du ciel, cartes des régions polaires,...). Les intersections entre le plan de projection et l'ellipsoïde forment des lignes appelées automécoïque.



2. Les systèmes de coordonnées

Pour se localiser sur la terre, il est nécessaire d'utiliser un système géodésique duquel découlent les coordonnées géographiques.

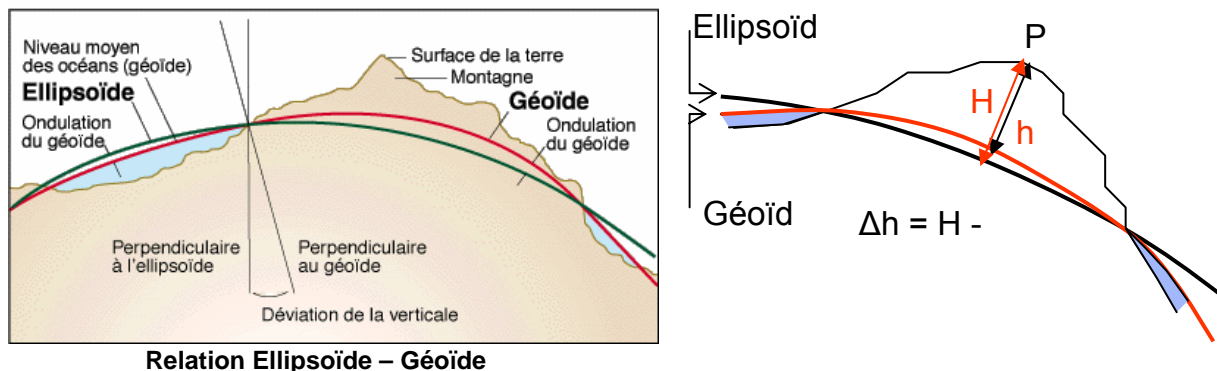
2. 1. Notion de géodésie

Historiquement la compréhension de la forme de la terre est passée par plusieurs étape:

- la Terre est plate
- la Terre est ronde (sphérique)

- la Terre est un Ellipsoïde aplati aux pôles (ellipsoïde de révolution avec un grand axe, un axe moyen et un petit axe)
- la Terre est un Géoïde, (une surface équipotentielle de pesanteur, passant par l'origine du nivellement, c'est à dire ajustée au niveau moyen des mers)

Le géoïde n'a pas de représentation géométrique simple, à cause de l'irrégularité de répartition des masses constituant la terre.



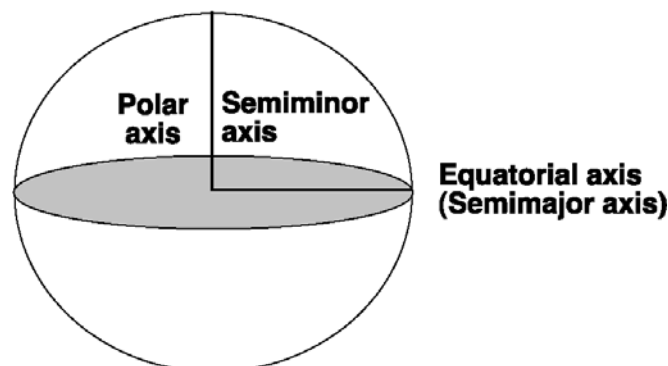
Relation Ellipsoïde – Géoïde

Grâce au développement des satellites et notamment à la mesure des déviations de leur trajectoires, la forme du géoïde global est maintenant très bien connue et l'ellipsoïde le plus proche du géoïde est parfaitement défini : c'est le WGS84 (World Geodetic System 1984).

La grande particularité de cet ellipsoïde est qu'il est géocentré : son centre est confondu avec le centre de masse de la Terre. Ses caractéristiques approximatives sont les suivantes:

- Demi grand axe, ou axe équatorial: $a = 6400\text{km}$
- Aplatissement: $\alpha = 1/300$

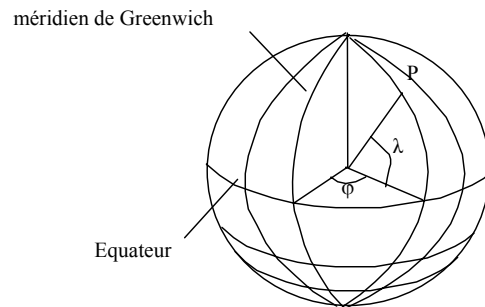
L'aplatissement donne un écart entre le demi grand axe (ou axe équatorial) et le demi petit axe (ou axe polaire), de 22km environs.



2. 2. Coordonnées liées au globe terrestre :

2. 2. 1. latitude et longitude

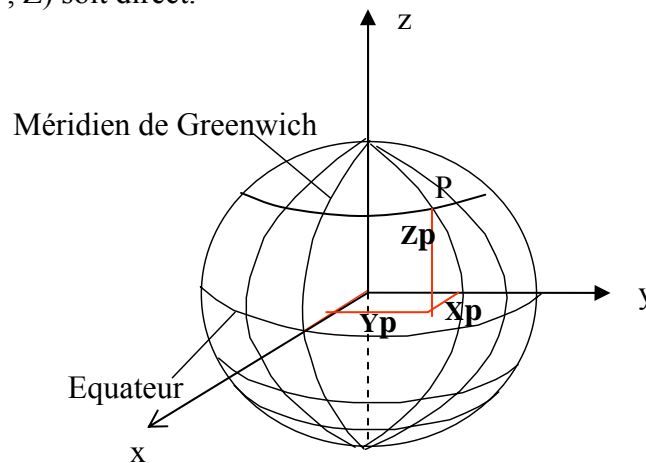
La latitude d'un lieu (P) sur la surface de la terre est l'angle (λ) entre la verticale en ce lieu et le plan de l'équateur. La latitude est une mesure angulaire (expression du positionnement nord-sud) s'étendant de 0° à l'équateur à 90° aux pôles.



La longitude du lieu P est l'angle (ϕ) entre le plan méridien passant par la verticale et le plan méridien passant par la verticale d'un lieu de référence. La longitude est donc une mesure angulaire sur 360° par rapport à un *méridien de référence*, avec une étendue de $+180^\circ$ à -180° ou 180° Est à 180° Ouest. Le méridien de référence est le méridien de Greenwich. L'unité des angles employée est le degré ou le grade.

2. 2. 2. Les coordonnées cartésiennes géocentriques

Pour un ellipsoïde, on définit trois axes rectangulaires d'origines le centre de l'ellipsoïde. L'axe des Z est confondu avec l'axe des pôles dans le sens sud - nord. L'axe des X est dans le plan équatorial, et appartient au plan du méridien d'origine. L'axe des Y est défini de façon que le système (O, X, Y, Z) soit direct.



Les coordonnées cartésiennes sont Ce sont X_p , Y_p et Z_p . Elles ne sont pas pratiques à l'usage. Mais ces coordonnées peuvent être utilisées comme intermédiaire lors de calculs de changement de systèmes géodésiques de références.

2. 3. Coordonnées liées à un système de projection

A la base il s'agit du quadrillage régulier d'une carte construite selon un système de projection donné.

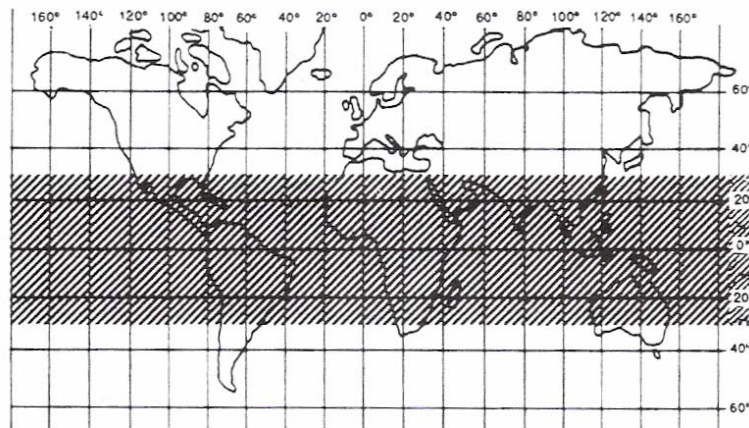
Par exemple :

- des coordonnées Lambert sont des X, Y mesurés en mètres, en tenant compte de l'échelle, sur une carte en projection Lambert (une projection conique),



Projection conique conforme

- des coordonnées UTM (Universal Transverse Mercator) sont des X, Y mesurés en mètres sur une carte en projection Mercator Transverse (une projection cylindrique sur un cylindre d'axe perpendiculaire à l'axe de rotation terrestre)



Projection de Mercator

2. 3. Coordonnées et projections utilisées au Maroc

2. 3.1. Historique de la géodésie au Maroc

La première infrastructure géodésique marocaine a été mise en place par la France durant la période du protectorat .Elle est passée par les étapes suivantes :

- Entre 1907 et 1924, il y a eu la mise en place d'une géodésie expédiée dans l'oriental et la région de Casablanca qui servait comme base pour une cartographie de reconnaissance.

- A partir de 1924, La géodésie s'est caractérisée par l'extension du réseau de triangulation de 1er ordre et sa densification.

- La diversité des systèmes de coordonnées. Après l'indépendance et plus particulièrement en 1975,
- Compensation du réseau de 1er ordre en un seul bloc ce qui a révélé une discordance de l'ordre du mètre par rapport aux premières déterminations. En 1983-84, il y a eu détermination de 28 stations Doppler en collaboration avec la DMA (Defense Mapping Agency des USA).
- L'année 1995 s'est marquée par la détermination de 12 stations GPS absolues uniformément réparties sur le territoire en collaboration avec la DMA (Defense Mapping Agency des USA).
- En gravimétrie, des campagnes ont été réalisées en 1987 (4000 points levés) suivies par la détermination de trois stations absolues en 1993 en collaboration avec la DMA (El Fettah 2003).

2. 3. 2. Présentation du réseau géodésique horizontal

Le réseau géodésique horizontal date de 1924. Il se caractérise par son hétérogénéité qui est due à la diversité des systèmes de coordonnées et une géodésie locale sur tout dans le sud Ce réseau est fondé sur le datum Géodésique suivant:

- Ellipsoïde de référence: Clarke 1880 dont les paramètres sont les suivants :
 - Demi grand axe a = 6378249,145 m
 - Demi petit axe b = 6356514,869m
 - Aplatissement f = 1/293,465
- Point fondamental : Merchich (près de Casablanca) ayant pour coordonnées :
 - $\varphi = 37^{\text{gr}} 1665'' 654$
 - $\lambda = 8^{\text{gr}} 3973'' 133$
 - h = 243,42m
- Orientation au point fondamental: direction Merchich-Berchid.

- Le Systèmes de projection en vigueur:

Projection conique conforme de Lambert en quatre zones.

Projection UTM dans le sud pour des fins cartographiques.

Les paramètres de la Projection conique conforme de Lambert en vigueur sont les suivants :

origine	Paramètres de la projection Lambert
Nord (Zone I, Merchich)	Latitude origine : 33° 18' 0".00 Nord ou 33°.3 Longitude origine : 5° 24' 0".00 Ouest ou 5°.4 1 ^{er} standard parallèle : 31° 43' 30".00 Nord ou 31°.725 2 ^{ème} standard parallèle : 34° 51' 57".60 Nord ou 34°.866 Constante X : 500000.00 m Constante Y : 300000.00 m Facteur d'échelle à l'origine : 0.999625769
Sud (Zone II, Agadir)	Latitude origine : 29° 42' 0".00 Nord ou 29°.7 Longitude origine : 5° 24' 0".00 Ouest ou 5°.4 1 ^{er} standard parallèle : 28° 05' 52".80 Nord ou 28°.098 2 ^{ème} standard parallèle : 31° 16' 30".00 Nord ou 31°.275 Constante X : 500000.00 m Constante Y : 300000.00 m Facteur d'échelle à l'origine : 0.999615569

Extrême Sud (Zone III, Laayoun)	Latitude origine : 26° 06' 0".00 Nord Longitude origine : 5° 24' 0".00 Ouest 1 ^{er} standard parallèle : 24 29' 52".80 Nord 2 ^{ème} standard parallèle : 27 41' 02".40 Nord Constante X : 1200000.00 m Constante Y : 400000.00 m Facteur d'échelle à l'origine : 0.999616304
Extrême Extrême Sud (Zone IV dakhla)	Latitude origine : 22° 30' 0".00 Nord Longitude origine : 5° 24' 0".00 Ouest 1 ^{er} standard parallèle : 20° 53' 52".80 Nord 2 ^{ème} standard parallèle : 24° 05' 02".40 Nord Constante X : 1500000.00 m Constante Y : 400000.00 m Facteur d'échelle à l'origine : 0.999616437

Le passage du système de référence géodésique WGS84 utilisé par GPS au système marocain Merchich

Tenant compte seulement des 3 paramètres de translation (DMA, 1987)

$$\Delta X = X_{WGS84} - X_{MERCICH} = 31 \text{ m}$$

$$\Delta Y = Y_{WGS84} - Y_{MERCICH} = 146 \text{ m}$$

$$\Delta Z = Z_{WGS84} - Z_{MERCICH} = 47 \text{ m}$$