

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Republique Algérienne Démocratique et Pouplaire



Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département des sciences agronomiques

Cours

Première partie :

SYSTEMES D'INFORMATIONS GEOGRAPHIQUES (SIG)

SYSTEMES D'INFORMATIONS GEOGRAPHIQUES (SIG)

PARCOURS : Master 1^{ère} année

SPECIALITES :

✚ TECHNOLOGIE AVANCEES POUR L'AGRICULTURE DE PRECISION (TAAP),

ENSEIGNANT : FARAH T.

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2023/2024

Table des matières

Chapitre I : Généralités sur la géomatique	1
1.1. Introduction.....	1
1.2. Données de la géomatique	1
1.2.1. Bases techniques de la géomatique	3
1.2.2. Fonctionnalités de la géomatique.....	4
1.2.3. Outils de la géomatique	4
Chapitre II : Systèmes d'Informations Géographiques (SIG)	8
2.1. Définition	8
2.2. Historique.....	9
2.3. Fonctionnalités d'un SIG.....	10
2.3.1. Volets d'un SIG	11
2.3.1.1. Volet géodatabase.....	11
2.3.1.2. Volet géovisualisation:	11
2.3.1.3. Volet géotraitement.....	11
2.3.2. Structures des bases de données géographiques.....	13
2.3.3. Notions de SGBD	14
2.3.4. Objectifs du SGBD	14
2.3.5. Avantage du SGBD	14
2.3.6. Langage SQL	15
2.4. Mode de représentation des données géographiques	16
2.4.1. Mode objet (structure vecteur)	17
2.4.2. Mode image (structure raster)	20
2.4.2.1. Approches image ou objet	22
2.4.3. Conversion des données.....	23
2.4.3.1. Vectorisation	23
2.4.3.2. Rastérisation.....	23
2.5. Concepts généraux de base des données géographiques	24
2.6. Mode d'acquisition des données géographiques	25
2.6.1. Import des fichiers	26
2.6.2. Levés topographiques.....	26
2.6.3. Photographies aériennes	26
2.6.4. Images satellitales.....	26
2.6.5. Scannage des documents cartographiques	26
2.6.5.1. Géo référencement des documents.....	26
2.6.6. Digitalisation ou numérisation des données	28
2.7. Outils d'analyse thématique.....	28
2.7.1. Démarches d'analyses	28
2.8. Notions spatiales fondamentales.....	29
2.8.1. Notions de bases géodésiques.....	29
2.8.2. Notions de bases cartographiques	29
2.8.2.1. Projection cartographique.....	30
2.8.2.2. Coordonnées cartographiques	35
2.8.2.3. Angles de bases topographiques.....	36
2.8.2.4. Signes conventionnels	40
2.8.2.5. Variables visuelles	41
2.8.2.6. Expression des écritures cartographiques.....	41
2.8.2.7. Limites de perception visuelle.....	41
2.8.2.8. Orientation et direction de la carte.....	42
2.8.2.9. Echelle cartographique.....	43

2.8.2.10.	Toponymie.....	47
2.8.2.11.	Légende	47

Liste des tableaux

Tab. 1: Les périodes principales dans l'évolution des SIG	10
---	----

Liste des figures

Fig. 1 ; Structure de l'information géographique	2
Fig. 2: Facettes de la géomatique	3
Fig. 3: Outils et données de la géomatique.....	3
Fig. 4: Superposition des couches d'informations dans un environnement SIG	4
Fig. 5: Place des SIG dans la géomatique.....	5
Fig. 6: les composantes d'un SIG.....	9
Fig. 7: Les trois (03) volets d'un SIG	12
Fig. 8: Exemple de représentation schématique d'une base de données géographique	14
Fig. 9: schéma descriptif des intrants de la base de données géographiques	15
Fig. 10: Fonctionnalités d'un SIG.....	16
Fig. 11: Information géographique en mode objet et raster (d'après Lhomme., 2008).....	17
Fig. 12: Exemple de données vectorielles.....	19
Fig. 13: Types de représentations vectorielles (ponctuelle, linéaire et surfacique).....	19
Fig. 14: Exemple de représentation de types volumiques	20
Fig. 15: Exemples de données Raster	21
Fig. 16: Exemples de types de données raster	23
Fig. 17: techniques de vectorisation (ou droit de vectorisation).....	23
Fig. 18: techniques de scannérisation (ou droit de scannage)	24
Fig. 19: Exemple de sources des données	25
Fig. 20: comparaison entre les types de données raster et vecteur.....	25
Fig. 21: Systèmes de références (coordonnées géographiques et planimétriques)	27
Fig. 22: Différents types de projection (d'après Charbonnel, 2005).....	31
Fig. 23: Coordonnées (sur la carte) (d'après Charbonnel, 2005).....	31
Fig. 24: Coordonnées (sur le globe terrestre) (d'après Charbonnel, 2005).	32
Fig. 25: Projection de Mercator (d'après Charbonnel, 2005).	33
Fig. 26: Projection cylindrique conforme Mercator direct	33
Fig. 27: Coordonnées géographiques (sur la terre).....	35
Fig. 28: Coordonnées cartésiennes (sur plan)	35
Fig. 29: Coordonnées d'un point M	36
Fig. 30: Exemple d'orientation et calcul d'angles.....	37
Fig. 31: Exemple de l'angle de gisement	38
Fig. 32: Exemples de cheminements polygonaux	38
Fig. 39: Déclinaison négative (quand le NM est à l'ouest (par rapport au méridien) du nord vrai (NV)).....	39
Fig. 40: Déclinaison positive (quand le NM est à l'Est (par rapport au méridien) du nord vrai (NV))	39
Fig. 41: Variation des angles de déviation à l'Ouest	40
Fig. 42: Variation des angles de déviation à l'Est.....	40
Fig. 48: Quelques variables visuelles.....	41
Fig. 51 : Exemple d'échelle graphique.....	45
Fig. 52: Exemple d'un plan cadastral au 1/50.	47
Fig. 53: Nomenclature des codes de la classification Corine Land Cover (CLC) (CGDD, 2009).....	49
Fig. 54: Codes de classification Corine Land Cover (CLC) appliqués aux surfaces d'eau (CGDD, 2009).....	49

Chapitre I : Généralités sur la géomatique

1.1. Introduction

C'est une discipline qui repose sur un ensemble de connaissances théoriques et pratiques nécessaires pour comprendre la référence spatiale, l'implantation et l'analyse des bases de données relationnelles, les règles de cartographie thématique et les types de structures géométriques (vectorielles et matricielles). Notions sur l'acquisition de données (ex. GPS), la préparation et l'édition de données géospatiales. Expérimentation des opérations d'analyse spatiale métrique et topologique (Larrivée et al., 2019).

Le mot géomatique regroupe l'ensemble des connaissances et technologies nécessaires à la production et la gestion des données numériques décrivant le territoire et ses ressources. Ses racines étymologiques sont "Géo", qui veut dire Terre, et "matique" vient de l'informatique, soit le traitement automatique de l'information. C'est au début des années 70 qu'un ingénieur géographe employa pour la première fois le mot « géomatique » pour faire allusion au mariage des sciences de l'étude et des mesures de la Terre avec l'informatique (Laurencin, 2008).

C'est au Canada où le mot fait son apparition. Ainsi, en 1993, 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 ».

La géomatique est avant tout une activité à caractère opérationnel qui s'applique à de nombreux domaines énumérés comme suit :

- a. Les secteurs administratifs : agriculture et forêt, armée, équipement, environnement, etc.
- b. Les collectivités territoriales : gestion des réseaux techniques, aménagement et urbanisme, cadastre, gestion des déchets et des ressources naturelles, risque et environnement, transports, services d'urgence et de secours.
- c. Les secteurs commerciaux : géomarketing, immobilier, banques, assurances, etc.

1.2. Données de la géomatique

Lhomme (2008) définit l'information géographique comme étant la représentation d'un objet ou d'un phénomène réel ou imaginaire, présent, passé ou futur, localisé dans l'espace à un moment donné (quelles qu'en soient la dimension et l'échelle de représentation). Les deux principales composantes de l'information géographique sont :

- a. L'information relative à un objet décrit par sa nature, son aspect : c'est le niveau sémantique.
L'ensemble des attributs de l'objet forme ses attributs (comme par exemple : le numéro d'une

parcelle cadastrale, le nom d'une route, le nom d'une rivière, le nom d'une forêt, le nom d'une parcelle agricole, le nom d'une île, le nombre d'habitants d'une commune...),

- b. La forme et la localisation de l'objet sur la surface terrestre, exprimés dans un système de coordonnées explicite : c'est le niveau géométrique. Un système de coordonnées peut être valable sur tout ou partie de la surface terrestre ou autre (comme par exemple le système géodésique mondial WGS84). On peut aussi définir un système de « coordonnées relatives » par rapport à un point d'origine quelconque, comme c'est souvent le cas pour les relevés topographiques.

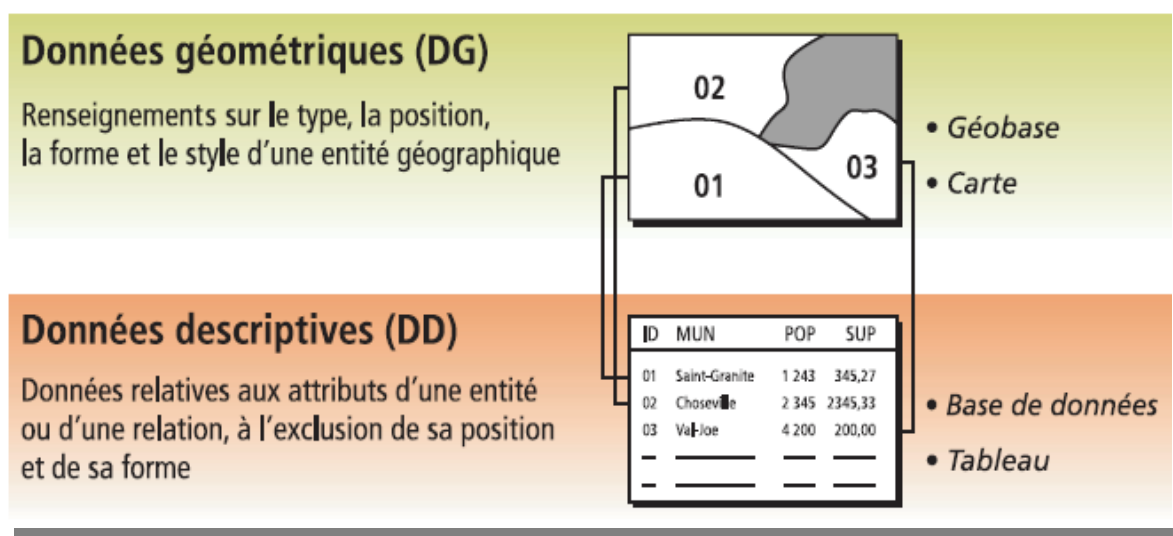
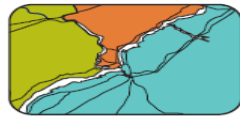


Fig. 1 ; Structure de l'information géographique

Il est possible d'associer à ces deux composantes une troisième composante qui concerne les relations d'un objet avec les autres. C'est le niveau topologique (comme par exemple : la contiguïté entre deux communes, l'inclusion d'une parcelle dans une commune, l'adjacence entre les différents nœuds des tronçons constituant des parcelles cadastrales, routes, limites, ...etc.).



LE CHOIX DES DONNÉES

Les données sont la matière première de la géomatique :

- le découpage administratif;
- le rôle d'évaluation;
- les zones à risque;
- les orientations de développement;
- la répartition de la population;
- les activités socioéconomiques.



L'EXPERTISE PROFESSIONNELLE

Un expert en géomatique est nécessaire au sein de l'organisation pour :

- réaliser l'intégration, le traitement et la mise à jour des données;
- soutenir la visualisation, la consultation, la comparaison, l'analyse et l'interprétation des données.



L'ENVIRONNEMENT TECHNOLOGIQUE

Les opérations d'intégration et de traitement exigent :

- des équipements informatiques;
- des logiciels;
- un réseau de télécommunications.



L'AIDE À LA PRISE DE DÉCISION

La prise de décision est soutenue par :

- une cartographie à jour;
- des inventaires complets;
- des statistiques appropriées;
- des tableaux révélateurs;
- des rapports concis.

Fig. 2: Facettes de la géomatique

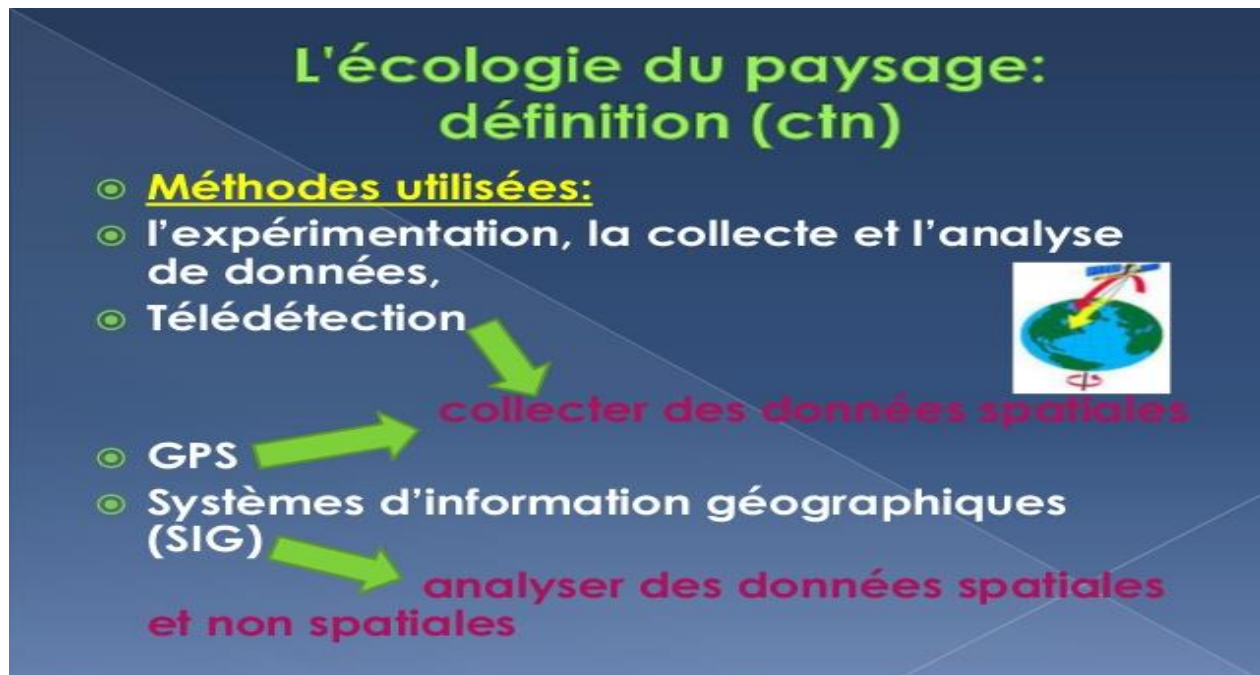


Fig. 3: Outils et données de la géomatique

1.2.1. Bases techniques de la géomatique

La géomatique couvre un ensemble de techniques telles que les levés cadastraux, la géodésie, la cartographie, la topographique, la thématique, l'hydrologie, la télédétection, le traitement d'images et les systèmes d'informations géographiques (SIG).

La géomatique est donc un outil moderne, qui représente actuellement un défi d'intégration au moindre coût de l'ensemble de l'information géographique disponible. Elle permet de faciliter le travail des gestionnaires et aider à la prise de décision.

1.2.2. Fonctionnalités de la géomatique

La géomatique permet :

- a. De lier des données descriptives à leur localisation sur le territoire,
- b. D'intégrer une masse considérable d'information à l'intérieur d'une structure organisée,
- c. De localiser, mesurer et représenter sur des cartes et plans les divers éléments du territoire,
- d. De mettre au point et d'utiliser des systèmes d'information géographique pour faciliter le traitement, le stockage et la diffusion de l'information servant de support à la prise de décision,
- e. De faciliter l'accès et l'analyse des données pour les activités de gestion,
- f. De fournir aux élus et gestionnaires un outil de gestion efficace et fiable de consultation de l'information,
- g. De faciliter les activités de mise à jour de l'information,
- h. De favoriser l'échange d'information avec des partenaires externes,
- i. De faciliter la diffusion des données, de mettre à profit ces connaissances et technologies pour aider diverses catégories de professionnels à résoudre des problèmes reliés à leur domaine d'intervention.

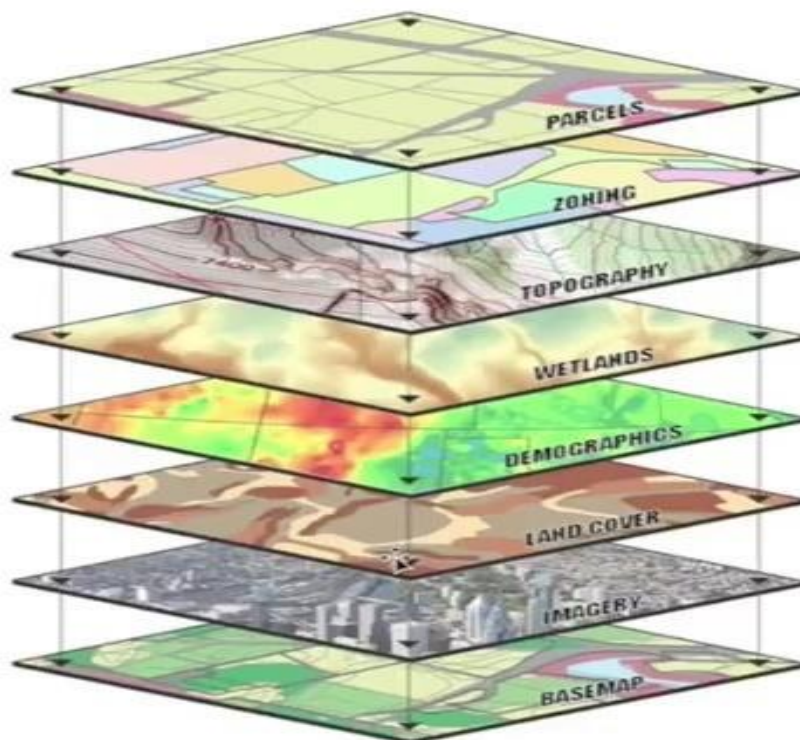


Fig. 4: Superposition des couches d'informations dans un environnement SIG

1.2.3. Outils de la géomatique

La géomatique est composé de deux mots :

Géo ; géographie c'est le lieu, l'endroit, localisation. Matique; informatique ou information automatique qui désigne l'ensemble des sciences et techniques en rapport avec le traitement de l'information. Géomatique désigne le traitement informatique des données géographiques (obtenues par la topométrie, la cartographie, la géodésie, la photogrammétrie, la télédétection...). (Petit-Robert, 2014).

Les cartes réalisées de manière traditionnelle ne sont plus adaptées aux besoins actuels. La complexité et la diversité des données relatives à l'environnement ont favorisé le développement de systèmes capables de répondre aux besoins de collecte, d'analyse et de représentation de phénomènes environnementaux. Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et la télédétection sont devenus des outils incontournables pour la compréhension et le suivi des phénomènes dynamiques et, une nécessité pour l'orientation d'investissement et disposer d'arguments valables pour la prise de décisions (Missoumi et Tadjerouni, 2003).

Parmi les outils qu'on peut les utiliser en géomatique on cite en particulier :

- a. Le Système d'Information Géographique (SIG),
- b. Le Système de Positionnement Global (GPS),
- c. Couches d'informations multi sources référencées,
- d. Différents logiciels d'analyse et de traitement des données.

L'outil central et fédérateur de la géomatique est les SIG qui est, pour résumer, la « réunion » d'un Système de Gestion d'une Base de Donnée (SGBD) avec un logiciel de cartographie automatique. L'objectif étant de pouvoir gérer avec sécurité une grande masse de données, tout en permettant de faire des sorties cartographiques associées à des requêtes sur ces données.

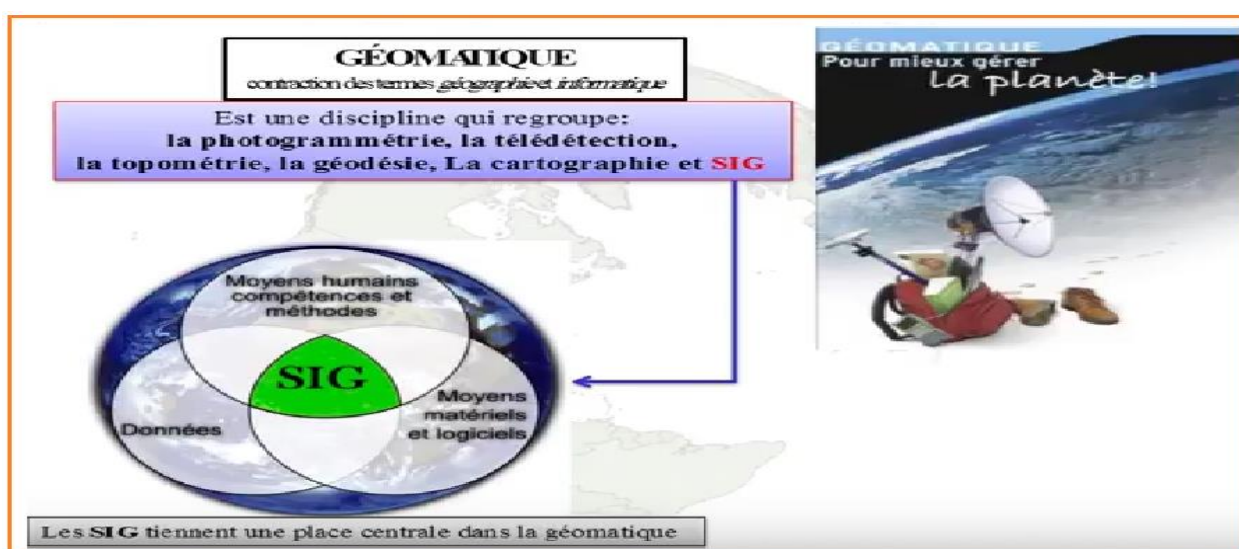


Fig. 5: Place des SIG dans la géomatique

Le SIG est un véritable outil de modélisation du terrain géographique, en particulier à travers la structuration topologique de l'information spatiale, permettant d'y adjoindre des fonctionnalités d'analyse spatiale. Ainsi le SIG, objet de recherche central de la géomatique, devient aussi outil pour la recherche en géographie. Le géographe alimente, par ses problématiques complexes sur l'espace, les travaux des « géomaticiens » pour adapter l'outil à ces nouvelles exigences, ouvrant aux géographes de nouvelles possibilités d'investigation de l'espace.

La confection des schémas d'aménagement et de développement du territoire exige la cueillette et le traitement d'une grande quantité d'information géographique, socioéconomique et textuelle. Par la méthode traditionnelle, cette information est collectée à partir d'inventaires sur le terrain et de lecture de plusieurs documents de référence. L'information ainsi recueillie servait à réaliser plusieurs types de cartes en représentant les différentes unités topographiques et thématiques d'occupation des sols, etc. L'analyse spatiale de cette information nécessite une superposition des cartes et la création de nouvelles cartes de synthèse déterminant les grandes affectations du territoire, les zones de contraintes, ...etc. Enfin la présentation d'information aux décideurs nécessite donc la manipulation d'un jeu de plusieurs cartes et de documents.

L'utilisation de la géomatique en aménagement et développement du territoire vient changer les façons de faire. Les cartes d'occupation du sol, d'inventaire, de potentiel et de contraintes peuvent être élaborées à partir des données de l'interprétation des photographies aériennes ou des images satellitaires. Les besoins en espace seront donc calculés de manière plus précise.

Cette nouvelle technique de géomatique permet de changer les options d'aménagement et d'en prévoir les impacts avec une grande précision. La géomatique est considérée comme étant un outil de synthèse précieux qui offre un potentiel d'utilisation très vaste surtout en sciences de la Terre. Elle a pour but principal de faciliter la compréhension de l'aménagement et la gestion des ressources naturelles.

La géomatique signifie tout simplement l'application de l'informatique à la géographie (par exemple sous la forme de SIG). Elle est un champ d'activités qui intègre, selon une approche systématique, l'ensemble des moyens d'acquisition et de gestion des données à référence spatiale requis pour effectuer les opérations scientifiques, administratives, légales et techniques dans le cadre du processus de production et de gestion de l'information sur le territoire (Paegelow, 2004).

La géomatique fait appel à des produits, des services et des outils pour collecter, intégrer et gérer des données géographiques. L'information géographique peut être obtenue de diverses sources, y compris de satellites en orbite terrestre, d'instruments terrestres, et de capteurs aéroportés et

maritimes. À l'aide d'une technologie de l'information de pointe, ces données sont transformées en cartes numériques et en d'autres formes utilisables.

La géomatique ; c'est « l'ensemble des applications de l'informatique au traitement des données géographiques, en particulier à la topographie et à la cartographie », « 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 ».

Les applications possibles peuvent concernées le module de cartographie, le traitement d'image de télédétection, le traitement statistique et d'analyse des données , de géostatistique, d'analyse spatiale, de modélisation 3D (Modèle Numérique de Terrain (MNT), hydrologie, urbanisme, ...etc.). On voit apparaître aussi des applications gérant le temps, soit à travers le SGBD.

Chapitre II : Systèmes d'Informations Géographiques (SIG)

Lier l'information à la localisation géographique est un processus qui s'applique à de très nombreux domaines d'activité. Choisir un site, gérer des ressources, planifier et déployer un réseau, cartographier une zone, ou gérer les espaces - tous ces problèmes impliquent des données d'ordre géographique.

Les SIG, peuvent être d'une grande utilité en répondant rapidement à toutes ces questions, de manière fiable et efficace en permettant de visualiser ou analyser l'information géographique.

2.1. Définition

Des expressions proches du mot SIG sont utilisées dans d'autres langues ; c'est le cas de l'anglais avec l'expression « Geographic Information System (GIS) » qui est souvent traduite en français par « Système d'Information Géographique (SIG) » ou « Système d'Information à Référence Spatiale (SIRS) » ou encore « Système d'Information sur le Territoire (SIT) (Laurencin, 2008).

Plusieurs définitions ont été adoptées, parmi les plus significatives nous citons ce qui suit :

- a. Définition française du Centre National d'Information Géographique (CNIG) "Système pour saisir, stocker, vérifier, intégrer, manipuler, analyser et visualiser des données qui sont référencées spatialement à la terre. Il comprend en principe une base de données localisées et les logiciels applicatifs appropriés. Une des premières fonctions d'un S.I.G. est sa capacité à intégrer des données de sources différentes." (Laurencin, 2008).
- b. Définition américaine du FICCDC- 1988 (Comité Fédéral de coordination inter-agences pour la cartographie numérique) : "Système informatique de matériels, de logiciels et de processus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion." (Laurencin, 2008).
- c. Définition d'un économiste (d'après Didier, 1990) :
 - a. Ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision.
 - b. Un système est un ensemble organisé globalement et comprenant des éléments qui se coordonnent pour concourir à un résultat. Les éléments du système sont liés entre eux par des relations déterminées. Le SIG est un ensemble d'équipements informatiques, de logiciels et de méthodologies pour la saisie des données, dont la

majorité est spatialement référencée, destiné à la simulation de comportement d'un phénomène naturel, à la gestion et à l'aide à la décision (Caloz, 1997).

Le SIG est un 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 (Koehl, 2006). Un SIG est un ensemble de matériels et de logiciels autorisant le recueil, la saisie, la codification, la correction, la manipulation, l'analyse et l'édition graphique des données géographiques spatiales de types ponctuels, linéaires et surfaciques ou polygonales et pixels de différentes valeurs. La gestion des données est un des autres aspects du système, qui prend toute son importance lorsque la base de données se doit d'être en phase avec l'actualité (Dargone et al., 1990).

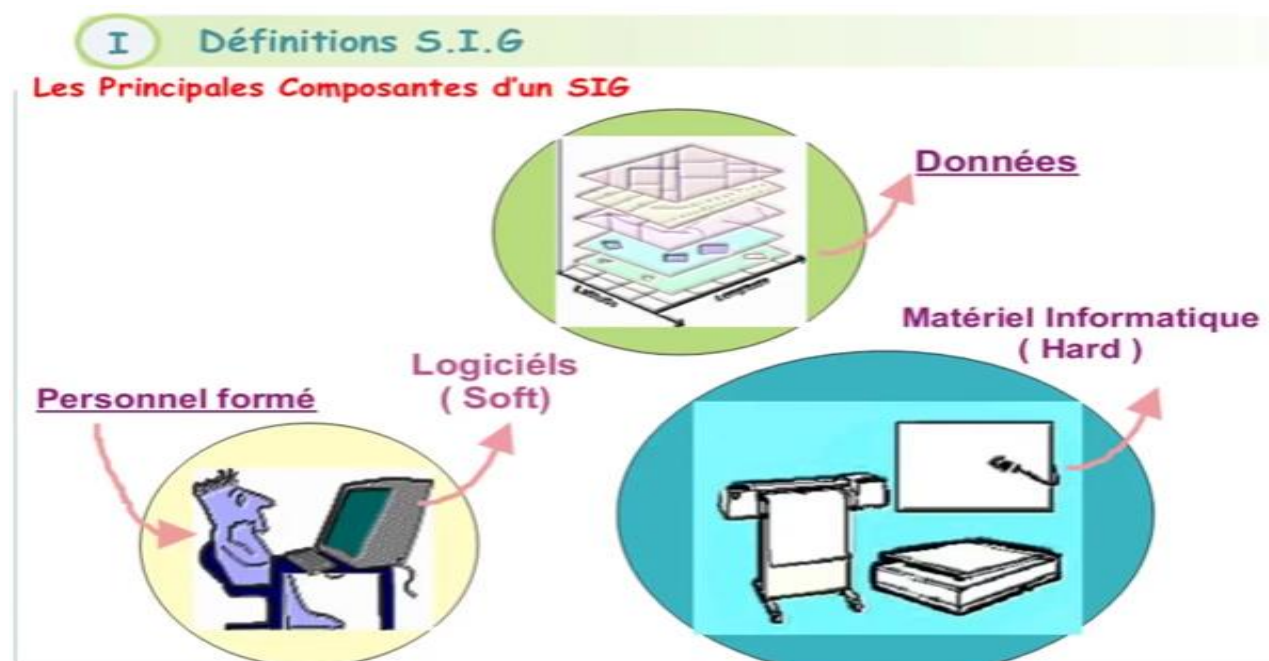


Fig. 6: les composantes d'un SIG

2.2. Historique

Les premiers SIG opérationnels sont apparus dans les années 1960 au Canada et aux Etats Unis. Le pionnier est indiscutablement 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. Deux autres réalisations avant-gardistes méritent d'être mentionnées : le New York Land Use Information System (1967) et le Minnesota Information System (1969). Depuis cette époque, les coûts et les difficultés techniques ont considérablement diminué (Chakroun, 2014). Les progrès récents réalisés dans le domaine des SIG ont permis d'emmagasiner, de compiler et de reproduire des données cartographiques à l'aide d'un ordinateur.

Cette technique permet de fournir des données numériques sur le spatial et d'autres attributs du milieu en relation directe avec leur emplacement.

Tab. 1: Les périodes principales dans l'évolution des SIG

N°	Périodes	Evolution des SIG
1	Fin des années 1950 milieu des années 1970	début de l'informatique, premières cartographies automatiques.
2	Milieu des années 1970 début des années 1980	diffusion des outils de cartographie automatique / SIG dans les organismes d'État (armée, cadastre, services topographiques, ...)
3	Depuis les années 1980	croissance du marché des logiciels, développements des applications sur PC, mise en réseau (bases de données)
4	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...)

2.3. Fonctionnalités d'un SIG

Selon ESRI (2004), un SIG doit répondre à cinq questions, quel que soit le domaine d'application :

- **Où** : où se situe le domaine d'étude et quelle est son étendue géographique ?
- **Quoi** : quels objets peut-on trouver sur l'espace étudié ?
- **Comment** : comment les objets sont-ils répartis dans l'espace étudié, et quelles sont leurs relations ? C'est l'analyse spatiale.
- **Quand** : quel est l'âge d'un objet ou d'un phénomène ? C'est l'analyse temporelle.
- **Et si** : que se passerait-il s'il se produisait tel événement ?

Les fonctions de gestion de données d'un SIG sont fondamentalement celles d'un système de gestion de la base des données (SGBD). Elles comprennent le stockage, l'édition, l'extraction des données et la mise à jour.

Un système d'information géographique (SIG) permet de gérer, d'analyser et d'afficher des informations géographiques. Celles-ci sont représentées par une série de jeux de données géographiques qui modélisent la géographie à l'aide de structures de données génériques simples.

De nombreux outils sont intégrés au SIG, afin de pouvoir travailler avec les données géographiques. En outre, les utilisateurs disposent de plusieurs volets pour afficher et manipuler les informations géographiques (ESRI, 2004).

2.3.1. Volets d'un SIG

2.3.1.1. Volet géodatabase

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, topologies, réseaux, etc.).

2.3.1.2. 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.

2.3.1.3. Volet géotraitement

Un SIG comprend des outils de transformation des informations qui produisent des jeux de données géographiques à partir des jeux de données existant.

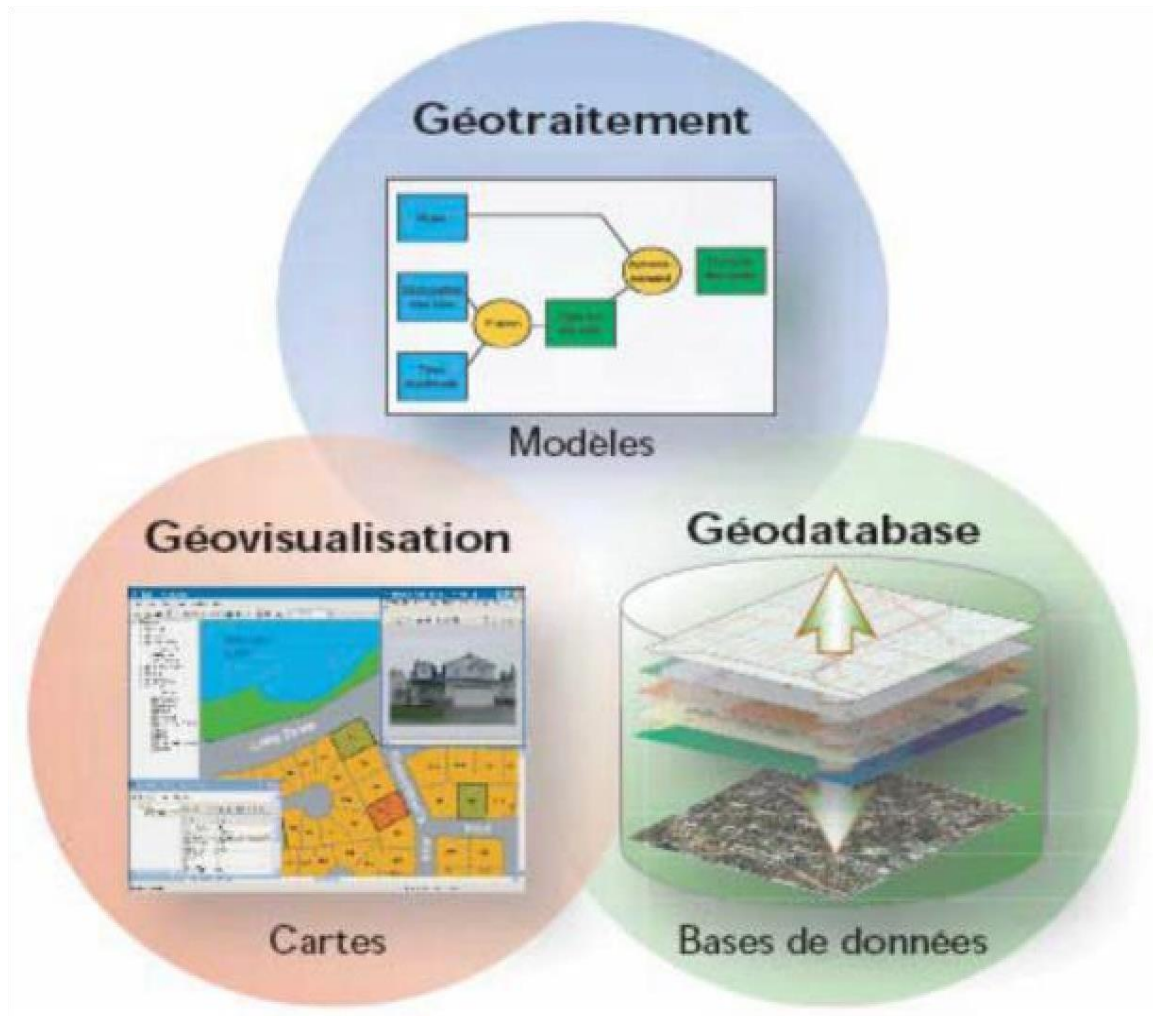


Fig. 7: Les trois (03) volets d'un SIG

La gestion de la base de données est assurée par un Système de Gestion de Base de Données (SGBD). Le SGBD doit assurer ce qui suit :

- Des fonctionnalités de gestion responsables du maintien et de l'exploitation d'une base de données (saisie, correction, suppression, extraction, interpolation...),
- Des tâches liées à la topologie (recherche sur la localisation, sur l'inclusion ...) mais aussi la gestion des droits d'accès.

Il y'a 5 fonctionnalités « on les appelle les 5A » que tous les SIG doivent assurer (Kouba, 2018) :

- Abstraire** ; concevoir un modèle qui arrange les données par constituants géométriques et par attributs descriptifs, et qui permet aussi d'établir des relations entre les objets.
- Acquérir** ; le logiciel doit posséder des fonctionnalités de digitalisation et d'importation de données.

- c. **Archiver** ; le logiciel doit avoir une grande capacité de stockage des données.
- d. **Analyser** ; capacité d'analyser les données géographiques (méthodes quantitatives et statistiques, opérateurs topologiques, etc.).
- e. **Afficher** ; capacité d'affichage de l'information géographique sous forme de Cartes, tables, graphes, etc.
- f. **Acquisition** de la base de données : la Base de Donnée Géographique (BDG) est constituée d'un ensemble numérique composé de cartes et d'informations associées. Cette dernière décrit les objets à la surface de la terre. Elle est formée de deux éléments : Une base de données décrivant les objets spatiaux (localisation, forme) par exemple, un groupe ou ensemble de parcelles ou sous parcelles.

Une autre définissant la superficie ou le volume de la parcelle ou la sous parcelle, la nature des éléments constitutifs du milieu (physique terrestre, physique marin, milieu biotique, milieu environnementale, etc.).

L'acquisition se fait par la saisie numérique d'une information à caractère spatial. Elle s'effectue généralement à partir des documents cartographiques. Celle-ci permet de convertir l'information analogique d'une carte en une information numérique.

2.3.2. Structures des bases de données géographiques

Les SIG stockent les données spatiales et les données attributaires sous forme d'une base de données géographique. Cette dernière est composée d'une série de couches d'information géographique ordonnées de manière efficace pour être utilisées par une ou plusieurs applications. Il faut noter que les données doivent être rendues « superposables », c'est-à-dire dans le même système de coordonnées ou dans des systèmes compatibles (une transformation géographique permettant de passer d'un système à l'autre) (Kouba, 2018).

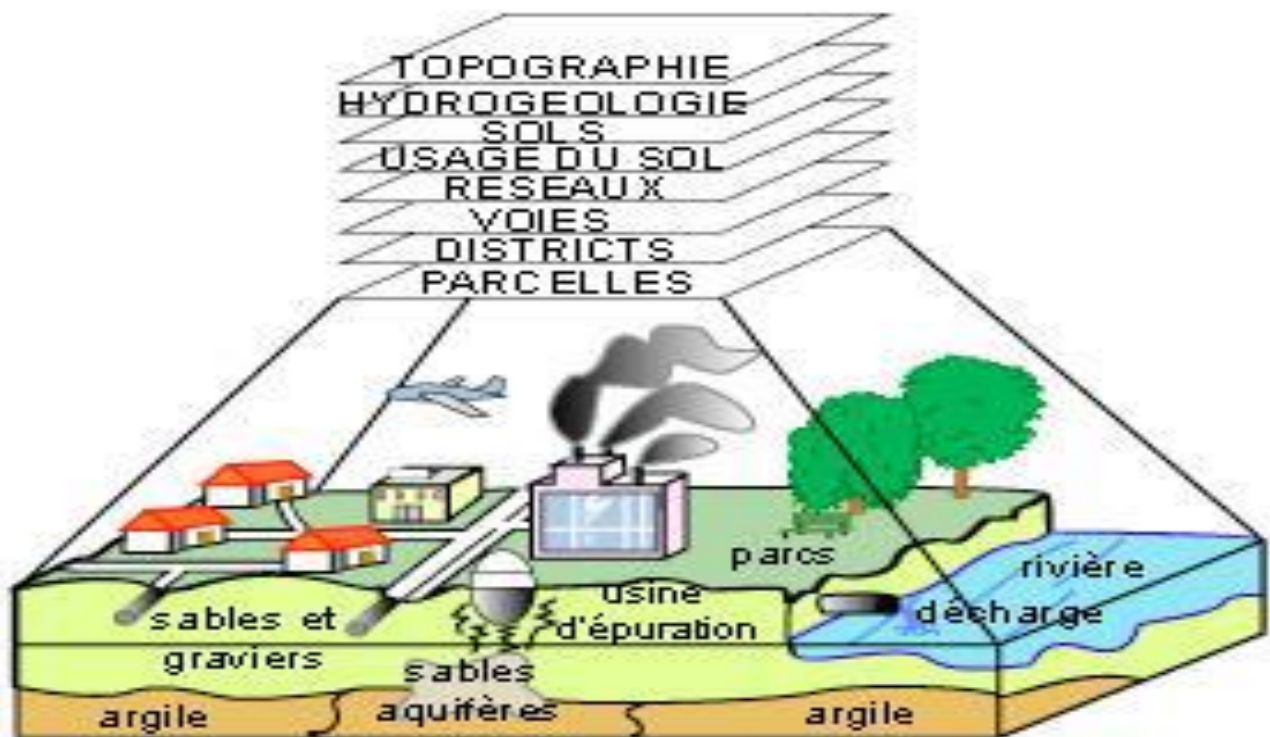


Fig. 8: Exemple de représentation schématique d'une base de données géographique

2.3.3. Notions de SGBD

Le Système de gestion de la BDG ; les SIG contiennent non seulement un SGBD traditionnel, mais aussi une variété d'outils capables de gérer à la fois les dimensions thématiques et spatiales de l'information.

A l'aide d'un SGBD, il est possible d'introduire des informations thématiques, sous forme de tables ou de statistiques et subséquemment pour extraire des éléments spécifiques sous les deux formes. Ce SGBD permet l'analyse du contenu thématique. Le produit final, la carte, sera certes spatiales, mais l'analyse elle-même n'a pas de caractéristique spatiale. Ainsi, la flèche bidirectionnelle qui lie le SGBD à la composante thématique de la BDG met en évidence ce caractère spatial de l'analyse.

2.3.4. Objectifs du SGBD

- Indépendance physique,
- Accès aux données,
- Non redondance des données,
- Partage des données,
- Sécurité des données.

2.3.5. Avantage du SGBD

- Meilleure prise en charge des données volumineuses,
- Exploitation de modèle de données complexes,
- Gestion des relations entre données géographiques et données attributives,
- Possible de disposer de "vues" lien fort avec logiciels SIG et fonctions spatiales.

2.3.6. Langage SQL

Le *Structure Query Langage* (SQL) est un langage informatique normalisé servant à exploiter des bases de données relationnelles.

Le SQL est caractérisé de :

- Un langage de définition de données : Create, Drop Alter,
- Un langage de manipulation de données : Insert info, Update, Set...where. Delete,
- Un langage d'interrogation de données : Select...fromwhere.

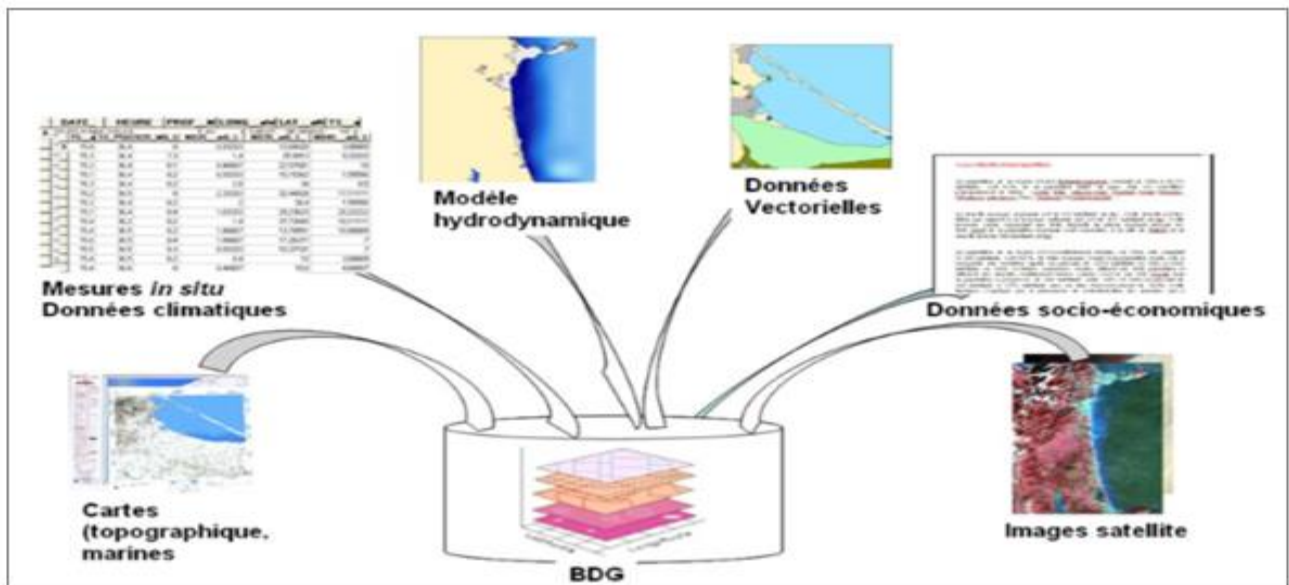


Fig. 9: schéma descriptif des intrants de la base de données géographiques

L'utilisation de la photogrammétrie (photographies aériennes ou d'images satellitaires) peut être une aide précieuse dans le maintien d'une base de données fiable et actualisée.

Le système d'analyse spatiale : l'analyse spatiale de l'information est une extension des capacités d'interrogation des bases de données traditionnelles, prenant en compte la localisation des observations.

Le système d'analyse spatiale a une liaison bidirectionnelle avec la BDG pour effectuer un traitement de type analytique. Ainsi, il prélève à la fois l'information de la BDG et la complète à l'aide des résultats de l'analyse. Les capacités analytiques d'un système d'analyse spatiale et du

SGBD jouent un rôle essentiel dans l'extension de la base de données, à travers les connaissances sur les relations qui existent entre les objets.

Les techniques de traitement d'images telles que les procédures de classification permettent de transformer les données optiques de télédétection en une information au contenu thématique exploitable.

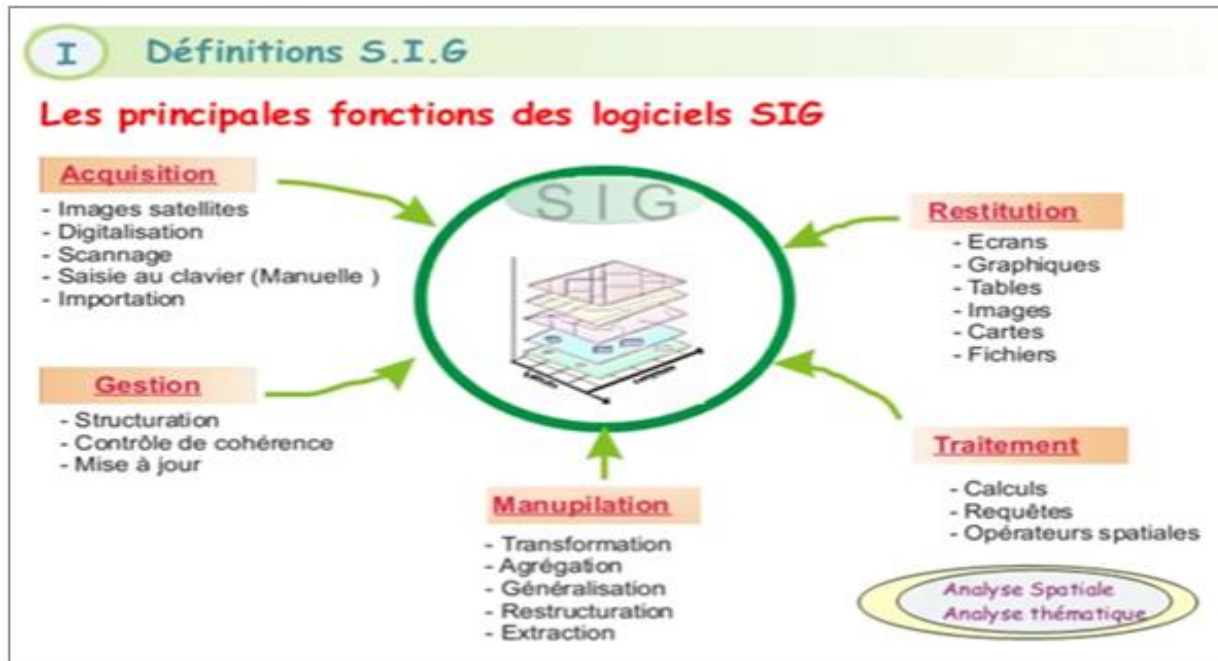


Fig. 10: Fonctionnalités d'un SIG

2.4. Mode de représentation des données géographiques

Les objets spatiaux peuvent être définis par ce qui suit :

1. Leur position à la surface de la terre,
2. Les relations spatiales qu'ils entretiennent avec d'autres objets,
3. Leurs attributs (caractères descriptifs non graphiques).

Ces trois propriétés peuvent avoir lieu quelle que soit la structure de données adoptée dans le SIG. Comme les attributs d'un objet peuvent changer dans le temps sans qu'il y ait modification de la position ou de la forme de l'objet.

Deux sources essentielles de données spatiales alimentent les SIG : les images numériques (ou raster) et les structures vectorielles cartographiques avec pour corollaire l'émergence de SIG dit raster ou vecteur (Balent et al., 1991).

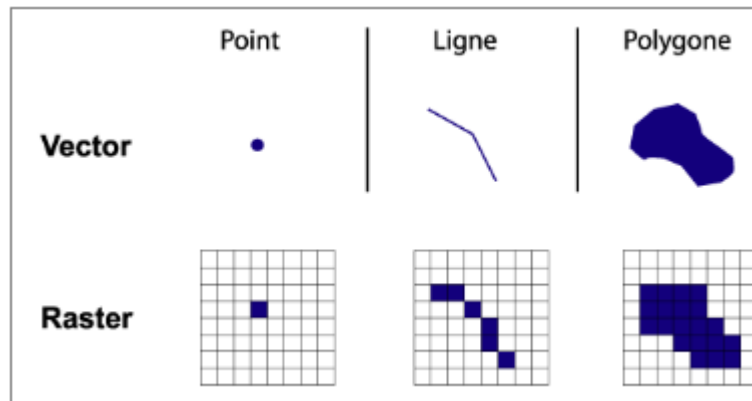


Fig. 11: Information géographique en mode objet et raster (d'après Lhomme., 2008).

2.4.1. Mode objet (structure vecteur)

Les données vectorielles sont un ensemble d'objets géographique représentés chacun par des primitives graphiques : le point, ligne et polygone (Kouba, 2018).

D'après Laurencin (2008), il y a quatre types d'objets élémentaires suivants :

- Objets ponctuels : pour des éléments localisés dont la représentation détaillée est illisible aux échelles demandées (les villes sur des cartes à petite échelle) ou pour des informations symbolisées (les puits sur la commune, les équipements),
- Objets linéaires : ils serviront pour les différents réseaux de communication, d'énergie. Elle peut être fictive en représentant un trajet ou même virtuelle en modélisant des flux, monétaires ou d'information. Ces objets seront constitués de segments de droite et d'arcs géométriques.
- Objets surfaciques : ceux sont des polygones si le modèle du SIG est de type "spaghetti" ou des régions s'il est du type topologique. Un modèle topologique ne duplique pas les côtés communs à deux régions alors qu'un modèle "spaghetti" traite indépendamment chaque polygone. Elle matérialise une entité abstraite comme la surface d'une parcelle ou d'une commune ou des entités ayant une existence géographique comme un lac, une forêt,
- Objets volumiques : des objets ayant une représentation dans les 3 dimensions sont aujourd'hui pris en compte dans certaines applications SIG visualisant et exploitant les notions d'altimétrie et de hauteur. Au-delà de l'information inscrite dans les coordonnées X, Y et Z de la forme décrivant l'objet, la 3^{ème} dimension peut être une information attributaire dans la table de la forme de l'objet.

Les données vectorielles sont utilisées préférentiellement pour représenter des objets géographiques discrets et des localisations précises. Les objets de types ponctuels sont dans ce cas représentés par un simple point. Les objets linéaires ou poly lignes (routes, fleuves...) sont eux représentés par une

succession de coordonnées X, Y. Les objets polygonaux ou surfaciques (territoire géographique, parcelle, ...etc.) sont, quant à eux, représentés par une succession de coordonnées délimitant une surface fermée.

Une image vectorielle est définie par un ensemble de données mathématiques (coordonnées, fonctions, attributs...). On peut facilement la redimensionner sans dégradation et le fichier correspondant est de petite taille.

Un dessin réalisé avec barre d'outils dessin des logiciels de bureautique ou un diagramme créé dans un logiciel de présentation sont des images vectorielles.

Les SIG de type vecteur permettent de représenter un objet de manière exacte que possible. Dans une représentation en mode objet, les limites ou les contours des objets sont décrits comme une séquence de points (ex : une roche isolée, un arbre, un phare, une balise, une borne,), des lignes (ex : réseaux hydrographiques, voies de communications, une jetée, un quai,) ou des polygones (ex : parcelle agricole, portion de forêt, zone de pêche, zone de pollution marine, zones humides...etc.).

Les points sont décrits par leurs coordonnées X, Y dans un système de référence global sous un type de projection connue. Les attributs ou caractéristiques thématiques de ces objets spatiaux sont stockés dans une base de données thématique contenant le numéro, le nom, le type, la nature, le volume ou la surface, la longueur, le périmètre, ainsi que les détails sur l'environnement. Le lien entre ces types d'information qui constituent deux fichiers de données consiste en un simple identificateur qui est un nombre unique assigné à chaque objet de la carte et que l'on retrouve dans le fichier des attributs.

Les modèles de données

Données vectorielles :

Les limites des objets spatiaux sont décrites à travers leurs constituants élémentaires, à savoir les points, les arcs, et les arcs des polygones. Chaque objet spatial est doté d'un identifiant qui permet de le relier à une table attributaire.



Fig. 12: Exemple de données vectorielles

Les modèles de données

DONNÉES VECTEURS : EXEMPLES

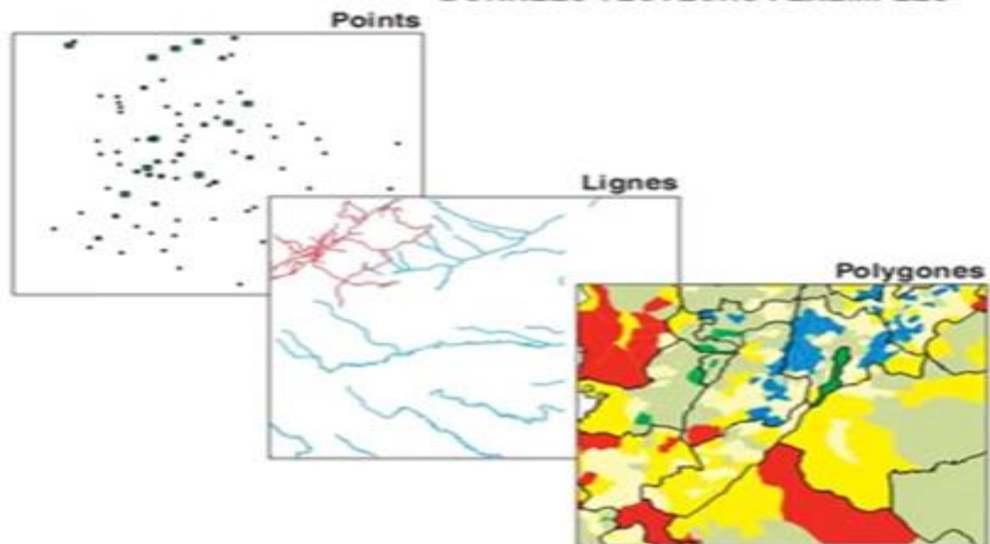


Fig. 13: Types de représentations vectorielles (ponctuelle, linéaire et surfacique)



Fig. 14: Exemple de représentation de types volumiques

2.4.2. Mode image (structure raster)

La valeur numérique attribuée à chaque cellule dans l'image correspond à la valeur d'attribut (Kouba, 2018). Il y a deux types de données raster :

- a. Les images (ex. photo aérienne), l'information contenue dans la matrice de pixel concerne la couleur de représentation de l'information. Cette information n'est pas directement accessible.
- b. Les grilles (ou grid) utilisés pour le calcul et la modélisation de l'information contenue dans la matrice de pixel concerne une valeur quantitative (ex. altitude dans un Modèle Numérique de Terrain (MNT)). Cette information peut être vue et modifiée dans la table attributaire.

Les données Raster sont utilisées pour représenter des variables continues dans l'espace. Ces données fournissent l'information spatiale dans une grille (Grid) régulière, caractérisée par un certain nombre de lignes et de colonnes. Chaque cellule (Cell ou pixel en anglais) de cette grille possède une valeur représentant un attribut géographique particulier.

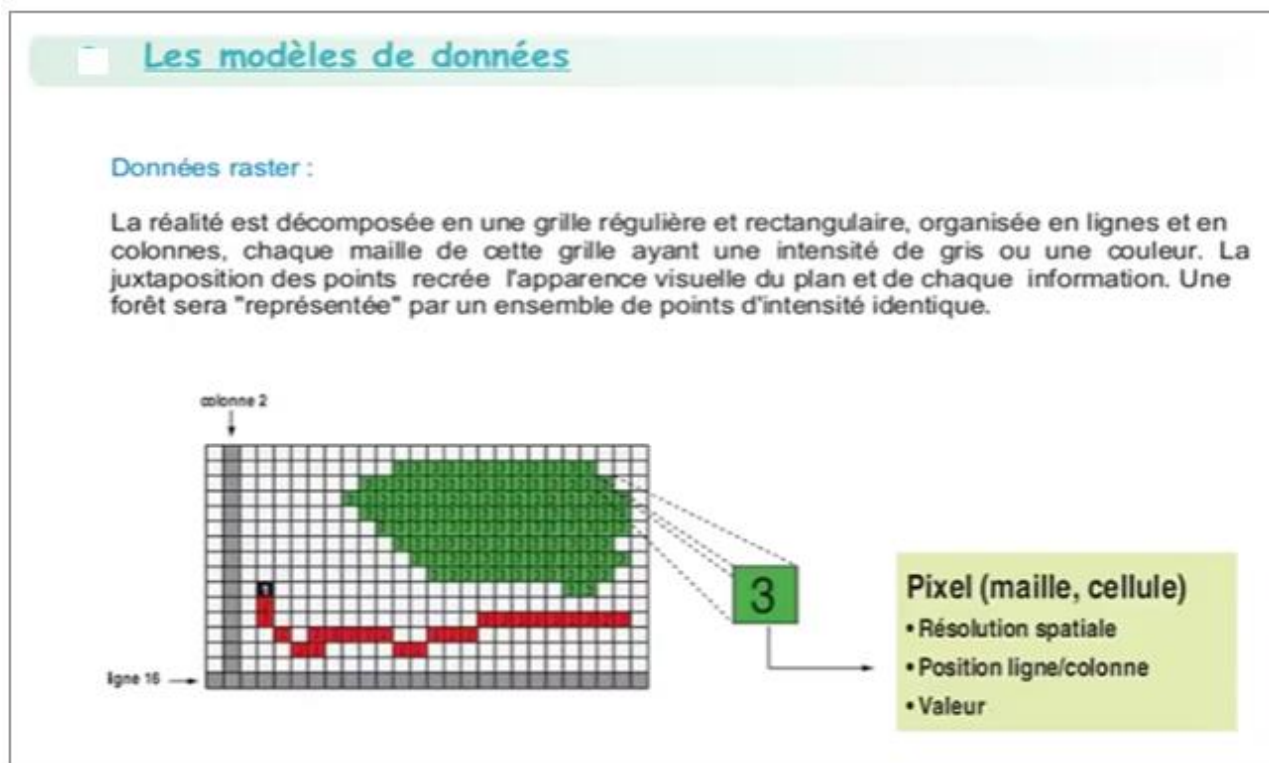


Fig. 15: Exemples de données Raster

Une image matricielle est définie par une grille de points ou pixels auxquels on attribue une couleur. En fonction de la taille de l'image et du nombre de couleurs utilisées, le fichier correspondant peut devenir important. En cas d'agrandissement, l'image se dégrade (la pixélisation devient visible).

Dans ce mode image, la description des objets et celles de leurs caractéristiques thématiques constituent des fichiers à structure unique. En fait, Les entités spatiales décrites ne sont pas à proprement parlé des objets spatiaux, mais des unités d'observation qui résultent de la subdivision de la zone d'étude en un maillage de cellules rectangulaires. Les informations de type raster sont issues de traitements élaborés d'images satellitaires (télédétection), de photographies numériques aériennes ou du processus de scannérisation de documents cartographiques. Une image raster prend la forme d'une matrice à deux dimensions où le pas de la maille (cellule) représente l'indicateur de résolution spatiale (ex. résolution = 20 m pour les images Spot HRV, 30 m pour les images Landsat TM et 10 m pour images Sentinel 2). Chaque cellule (pixel) est répertoriée en ligne et en colonne.

Le mode raster reproduit de manière satisfaisante une variable à distribution continue (Caloz, 1990). Cette variable est en général numérique et entière. Chaque cellule contient une valeur numérique qui peut représenter soit un identificateur d'appartenance à un objet spatial, soit une catégorie, classe ou valeur thématique. Bien que l'information stockée dans cette structure en maille (raster) ne soit pas nécessairement visible dans le paysage. Elle est appelée image et les éléments qui la

constituent (les cellules) sont appelés pixels. Pour visualiser ces images à l'écran ou sur support papier, les valeurs de leurs pixels sont simplement remplacées par les symboles graphiques tels que des couleurs, des tons de gris ou des textures.

2.4.2.1. Approches image ou objet

Les systèmes d'approche image gèrent de grandes quantités d'information (bien que des techniques efficaces de compression existent). Ils stockent l'information de toutes les cellules des images, quel que soit son intérêt. Par contre, l'avantage est que la zone d'étude est découpée de manière régulière et uniforme en unités d'observations arbitraires. De ce fait, ces systèmes sont plus performants que l'approche alternative objet ; pour des tâches d'analyse, et particulièrement pour l'analyse de distributions spatialement continues telles que l'altitude, la distribution de quantité de précipitation ou de biomasse. Le second avantage de la structure raster est sa similitude avec l'architecture interne des ordinateurs ; ainsi l'évaluation de problèmes faisant appel à la combinaison mathématique de plusieurs grilles (images) est rapide. Cette approche est efficace pour l'application de modèles numériques environnementaux tels que l'aptitude à la gestion du fond topographique ou bathymétrique (fond marin). De plus, comme les données de télédétection ont cette structure raster, elles peuvent être directement traitées par un tel système.

Les systèmes en mode objet offrent une plus grande efficacité dans la gestion de cette information spatiale.

Ces derniers stockent l'information de manière compacte car ils ne retiennent que la description des contours des objets et non celle de leur intérieur. Comme la représentation cartographique des objets est directement liée à leurs contenus thématiques stockés dans la base de données, les systèmes vecteurs permettent d'interroger chaque objet spatial de manière interactive à l'écran en pointant dessus pour connaître ses caractéristiques spatiales et thématiques. Ils produisent des cartes thématiques simples à partir d'interrogations.

On voit que ces deux systèmes ont des points forts inhérents à leur manière de représenter et de gérer l'information spatiale.



Fig. 16: Exemples de types de données raster

2.4.3. Conversion des données

2.4.3.1. Vectorisation

La conversion de raster à vecteur (ou vectorisation) est beaucoup plus délicate, complexe et coûteuse. Il existe des algorithmes qui permettent de lisser les contours crénelés obtenus après vectorisation.



Fig. 17: techniques de vectorisation (ou droit de vectorisation)

2.4.3.2. Rastérisation

La conversion de vecteur à raster (ou rastérisation) est très facile et fait appel à des algorithmes simples. Il en résulte une modification des contours des polygones qui peut conduire à une perte d'information.



Fig. 18: techniques de scannérisation (ou droit de scannage)

2.5. Concepts généraux de base des données géographiques

On observe qu'une base de données géographique ou données complètes sur une région d'étude, est organisée de façon comparable à un ensemble de cartes. Les systèmes en mode objet s'approchent encore plus de cette logique avec le concept de couvertures (couches) correspondant à un ensemble de cartes qui contiennent la description d'objets spatiaux et leurs tables d'attributs associés. Ces couvertures se différencient cependant des cartes de deux manières, d'abord parce qu'elles ne contiennent généralement qu'un seul type d'objets spatiaux (ex. courbes de niveau, courbes bathymétriques, voies d'accès, ...etc. Ensuite, parce qu'à chaque objet peut être associée une série d'attributs décrivant les différentes caractéristiques thématiques (ex. valeur d'altitude, valeur de profondeur, numéro de la voie, ...etc.).

Les systèmes en mode image utilisent eux aussi cette logique des cartes, mais subdivisent l'information en une série de couches. Chaque couche contient les variations spatiales d'un seul phénomène - une seule variable. Ainsi, on aura une couche (ex. occupation du sol, une autre pour le nom des catégories thématiques, leurs caractéristiques, ...etc.), (ex. fond marin, une autre pour la surface d'eau, et une autre pour sa qualité biologique, physico-chimique et environnementale). Dans certains cas, les systèmes raster peuvent associer une couche identifiant les objets spatiaux à une table d'attributs (chaque cellule aura la valeur correspondante à l'objet spatial auquel elle appartient). Habituellement, on a une couche par variable et la représentation cartographique fait appel à une combinaison de ces couches.

Au-delà des différences qui existent entre l'approche image par couches et celle objet par couverture, on retrouve une organisation de la base donnée en carte thématiques élémentaires.

Les structures en couches ou en couvertures se distinguent des cartes traditionnelles par un aspect important : lorsque des cartes sont codées numériquement (dans l'étape de numérisation), les différences d'échelle de projection sont éliminées et les données font référence à l'unité de terrain. Les couches peuvent être combinées aisément, sans problèmes pour l'impression sur papier. Le problème de la résolution de l'information reste cependant entier et de ce fait les résultats obtenus par un SIG sont sensibles aux erreurs et leurs combinaisons ainsi qu'à la précision de l'information dans chaque couche.



Fig. 19: Exemple de sources des données



Fig. 20: comparaison entre les types de données raster et vecteur

2.6. Mode d'acquisition des données géographiques

L'opération d'acquisition des données consiste à réunir les différentes sources d'information aux fins d'intégration dans un environnement SIG. Parmi les méthodes d'acquisition nous citons ceux qui suivent :

2.6.1. Import des fichiers

Kouba (2018), définit qu'il y a généralement trois manières pour importer les données spatiales lesquelles sont énumérées comme suit :

- a. Importer une base de données arrangée dans un format interne à un SIG,
- b. Importer un fichier texte (txt) contenant tous les renseignements structurés de manière primitive,
- c. Passer par une des normes d'échange disponible sur le marché. Ce troisième moyen est le plus économique à long terme.

2.6.2. Levés topographiques

Prise de mesure de distances et d'angles sur le terrain à l'aide des appareils topographiques (ex. théodolite, ...etc.). L'outil GPS permet le calcul à l'aide des stellites la position géographique de l'objet (coordonnées avec une précision de quelques centimètres voire même quelques millimètres).

2.6.3. Photographies aériennes

Les clichés photographiques obtenus après leur fusion nous permettent de déterminer les coordonnées et l'altimétrie des points présents sur la photographie aérienne.

2.6.4. Images satellitaires

Les données résultantes des traitements d'images satellitaires (correction, segmentation et classification automatique) peuvent être intégrées dans un environnement SIG.

2.6.5. Scannage des documents cartographiques

Convient parfaitement à la représentation raster. Ce mode de saisie est rapide et peu coûteux. Si la donnée est scannée et géo référencée c'est de la donnée « raster ». Le seul problème de cette méthode est la réécriture des erreurs dues au support d'origine.

2.6.5.1. Géo référencement des documents

- a. Le géo-référencement consiste en l'attribution de coordonnées X et Y (notées en Degré Minutes Secondes (DMS) "dd mm ss.ss", DD "dd.dd" ou en coordonnées projetées (mmmm.mm) qui correspondent au point sélectionné sur le support pris comme base, deux procédures peuvent être suivies. Par l'image raster saisies manuellement (ex., les graticules - latitude et longitude).
- b. Relativement à des données déjà géo-référencées. Il peut s'agir de données vecteur ou raster où figurent les mêmes objets / entités que sur le support à géo-référencer et dans le même

système de projection. Dans ce cas, vous pouvez renseigner les coordonnées en cliquant sur les données de référence chargées dans la carte principale du logiciel SIG.

La procédure standard pour le géoréférencement d'une image implique la sélection de plusieurs points sur le raster, en spécifiant leurs coordonnées et en choisissant la transformation appropriée. En se basant sur les paramètres et les données, l'extension calculera les paramètres du fichier "world" (Espace de référence). Plus il y a de coordonnées fournies, meilleurs seront les résultats (Tamali, 2013). Dans un SIG, tous les fichiers d'information spatiale doivent être géo référencée. Le géo référencement est la définition du lien qui existe entre une couche et sa position à la terre définie par un système de coordonnées de référence. Pour des images, dans un système raster, le géo référencement s'effectue habituellement en définissant le système de référence (ex. Latitude/longitude), l'unité de référence (ex. degrés, minute et seconde) et les coordonnées des quatre coins bien répartis sur l'image. Il en est de même pour les fichiers à structure vecteur, avec la précision que les quatre coins font référence au rectangle inscrivant tous les objets de la couverture (appelé aussi zone rectangulaire de saisie). Cette zone de saisie est habituellement commune à toutes les couvertures et correspond à la région d'étude.



Fig. 21: Systèmes de références (coordonnées géographiques et planimétriques)

L'information sur la géo référencement est vitale dans le cadre d'un SIG intégré car il garantit l'intégration et le passage d'une information d'un mode à l'autre de façon cohérente. Elle est aussi importante pour établir la relation entre les données et leur localisation sur le terrain.

Les outils les plus fondamentaux d'un SIG sont certainement ceux qui permettent l'interrogation de la base de données géographiques. Cela consiste à récupérer une information déjà existante.

L'interrogation peut se faire sur des critères spatiaux ou sur des critères thématiques (ex. Quel est la nature du relief du fond marin à cet endroit ?), (ex. Quelles zones ont le plus grand potentiel halieutique ?). (Ex. Quel est le type de sol sous ce peuplement de résineux ?). Ces critères d'interrogation peuvent être simples comme dans les exemples précédents ou alors composés de conditions plus complexes (ex. Quelles sont les zones riches dont la superficie est supérieure à un hectare et qui sont adjacentes aux zones côtières ?).

2.6.6. Digitalisation ou numérisation des données

La digitalisation est adaptée à la représentation vectorielle. Cette technique assure la préservation des informations présentées dans le document de base. Un traitement préalable sur les documents de base peut s'avérer nécessaire si ceux-ci sont trop chargés.

2.7. Outils d'analyse thématique

Le deuxième type d'outils est celui qui permet de combiner des couches d'information avec des opérateurs mathématique.

Opérateur de distance ; est un groupe d'outils constitué par les opérateurs de distance. C'est l'ensemble des techniques capables d'intégrer la notion de distance dans l'analyse de l'information.

Opérateurs contextuels ; à l'aide de ces opérateurs contextuels on crée une nouvelle couche d'information sur la base d'une couche existante et du contexte spatiale de chacune des unités d'observation (cellule) ou chacun des objets spatiaux.

2.7.1. Démarches d'analyses

L'interrogation de la BDG consiste simplement à sélectionner différentes combinaisons de variables et de zones pour examen.

Dans la plupart des systèmes, les opérations d'interrogation sont réalisées en deux étapes. La première appelée classification, consiste à constituer une nouvelle couche d'information pour chacune des conditions de la requête. Par exemple, si on recherche les zones géographiques (parcelle agricole, forestière ou de pêche) situées sur des fonds topographiques ou bathymétriques accessibles, il faudra dans un premier temps créer une couche des zones riches en reclassant tous les milieux en deux catégories, en assignant 1 à la zone riche et 0 aux autres. La couche résultante est appelée couche booléenne, car elle ne retient que les zones qui satisfont au critère mentionné (1 = vrai ou zones riches) et assigne les autres à 0 (0 = faux nulles ou dangereuses).

Ces couches booléennes sont aussi appelées couches logiques ou couches binaires. Ce dernier terme est à éviter car il décrit aussi une forme de stockage particulière de l'information (format binaire) ;

on conservera le terme booléen. Une fois la couche des zones riches et celles pauvres ou dangereuses réalisées, il est possible de les combiner en utilisant l'opération de superposition.

La superposition est un des points forts des SIG dans la mesure où ils sont les seuls à permettre la combinaison de deux informations à caractère spatial. Cette combinaison fait appel à des opérateurs logiques ou mathématiques appliqués sur deux ou plusieurs couches, dans le cas d'interrogation respectivement l'intersection et la réunion de deux conditions. Dans l'exemple abordé ici, nous nous sommes intéressés aux zones qui sont à la fois riches et situées sur fonds accessibles, c'est-à-dire l'intersection logique des deux couches booléennes.

2.8. Notions spatiales fondamentales

2.8.1. Notions de bases géodésiques

La géodésie s'occupe de la détermination mathématique de la forme de la Terre. Les observations géodésiques conduisent à des données numériques : forme et dimensions de la Terre, coordonnées géographiques des points, altitudes, déviations de la verticale, longueurs d'arcs de méridiens et de parallèles, ...etc.

La géodésie est l'ensemble des techniques ayant pour but de déterminer les positions planimétriques et altimétriques d'un certain nombre de points ou repères. Chacun de ces repères aura des coordonnées connues très précisément dans le système géodésique sous-jacent (système local, Lambert, UTM, ...etc.). Le but du système géodésique est de fournir à tous les utilisateurs potentiels des points stables et matérialisés (bornes, plaquettes scellées, ...etc.) dont on a déterminé les coordonnées dans l'espace. Elle a pour but donc d'améliorer les résultats des mesures.

Le système géodésique ; est un système dont l'origine est proche ou voisine du centre des masses de la terre et est lié à un ellipsoïde local ou mondial, appelé parfois Datum géodésique. Le Datum ou système géodésique ; est un système de référence permettant d'exprimer les positions au voisinage de la Terre.

Le système cartographique en Afrique est basé sur l'ellipsoïde de Clarke 1880 (recommandé à la conférence de Bukavu en 1953). Les cartes sahariennes sont établies sur un canevas astronomique.

Le système de coordonnées qui répond à ces conditions est le système géodésique Nord-Sahara.

Le système de référence géodésique utilisé en Algérie est donc le Nord Sahara 1959 basé sur l'ellipsoïde de Clarke 1880 Anglais ($a = 6378249.145$ m, $b = 6356514.870$ m, $e = 0.082483400$).

2.8.2. Notions de bases cartographiques

Les géodésiens effectuaient les observations détaillées et les calculs qui définissaient la forme fondamentale de la Terre et celles des pays. À partir de ces informations, les topographes

mesuraient les détails au sol ou des photogrammètres analysaient des photographies aériennes ou images satellitaires. Ces mesures permettaient aux cartographes d'établir des cartes alliant une grande élégance graphique à une présentation efficace. Chacun trouvait ensuite lui-même dans la carte ce qu'il cherchait.

La cartographie désigne la réalisation et l'étude des cartes géographiques. Le principe majeur de la cartographie est la représentation des données sur un support réduit représentant un espace généralement réel. La cartographie ; c'est l'ensemble des études et opérations scientifiques et techniques intervenant à partir d'observations directes ou de l'exploitation d'un document en vue d'élaborer des cartes, plans et autres moyens d'expression. La cartographie proprement dite est l'art d'élaborer, de dessiner les cartes, et ne doit pas être confondue avec la topographie.

La cartographie numérique est un outil puissant pour illustrer des projets, présenter des hypothèses, communiquer et informer.

La représentation d'événement à travers la cartographie permet une visualisation d'ensemble circonstancielle et donne des informations rapidement interprétables. Une carte ou une feuille est désignée par ses coordonnées dans son système adapté.

Exemple de carte topographique terrestre ; on attribue un numéro de 1 à n à chaque coupure de carte en effectuant une numérotation de l'ouest à l'Est et du nord au sud (ex. feuille n° 200 (B-10, c-24) c.-à-d. n° de la feuille c'est 200, (B-10, c-24) c'est la référence d'emplacement sur la carte mondiale.

2.8.2.1. Projection cartographique

Pour passer de la représentation en 3D de la terre (globe terrestre) à une représentation en 2D (la carte), on utilise des projections de différents types. Dans les projections cartographiques les plus simples, la terre est projetée sur un plan, un cylindre ou un cône. Une fois la projection réalisée, le cône et le cylindre sont développés et mis à plat. Néanmoins toute projection génère de manière inévitable des distorsions. Le type de projection est donc choisi en fonction de ses qualités géométriques et de la future utilisation de la carte (Charbonnel, 2005).

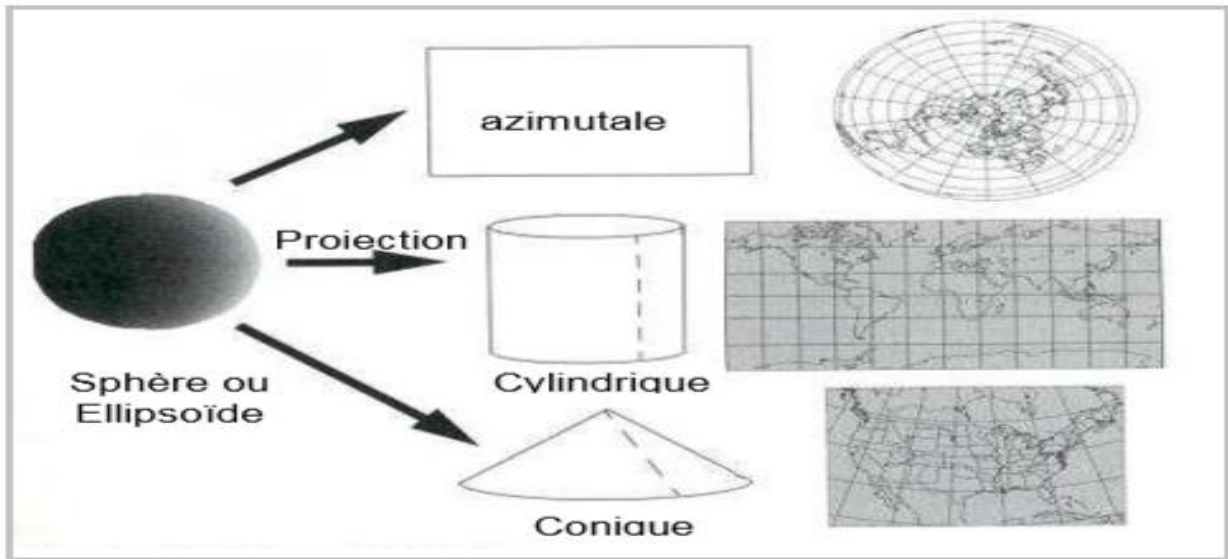


Fig. 22: Différents types de projection (d'après Charbonnel, 2005).

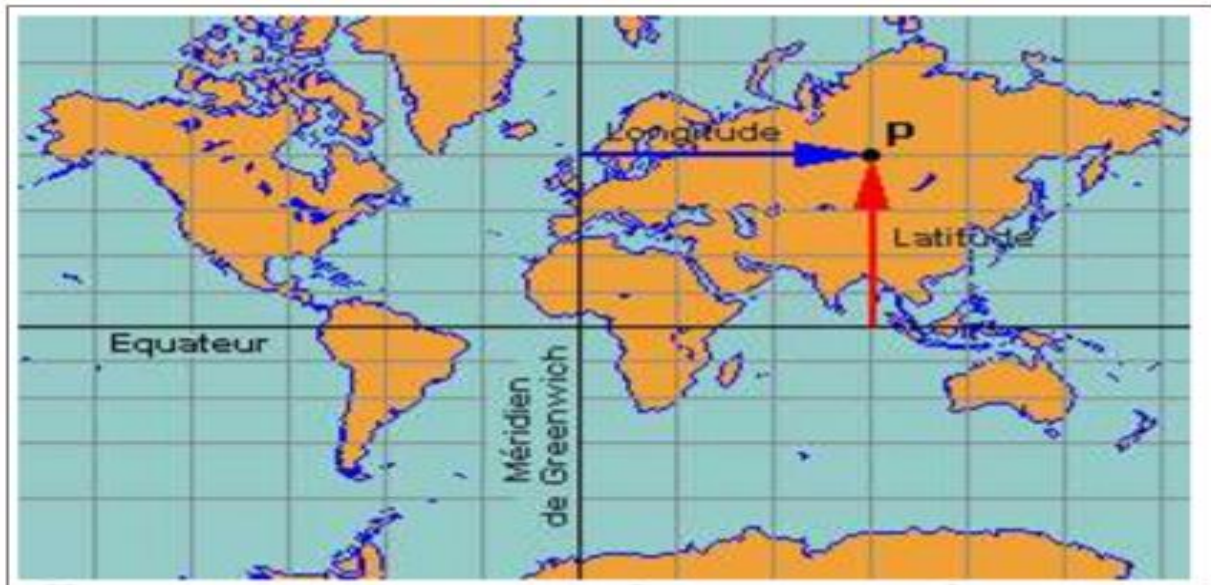


Fig. 23: Coordonnées (sur la carte) (d'après Charbonnel, 2005).

La position d'un mobile sur le globe terrestre est repérée par un système de coordonnées en latitude (ϕ) et longitude (G).

Ligne des pôles : ligne qui matérialise l'axe de rotation de la terre ; c'est la ligne qui passe par le pôle Nord et le pôle Sud.

Equateur ; grand cercle perpendiculaire à la ligne des pôles et partageant le globe en deux hémisphères égaux.

Méridien ; demi-cercle joignant le pôle Nord et le pôle Sud.

Parralèle; petit cercle parallèle à l'équateur.

Latitude ; angle que fait la verticale d'un point de la surface terrestre avec le plan de l'équateur, compté de 0 à 90° vers le Nord ou le Sud.

Longitude ; angle dièdre formé par le plan méridien d'un lieu avec le plan méridien de Greenwich, compté généralement de 0 à 180 degrés Est ou Ouest.

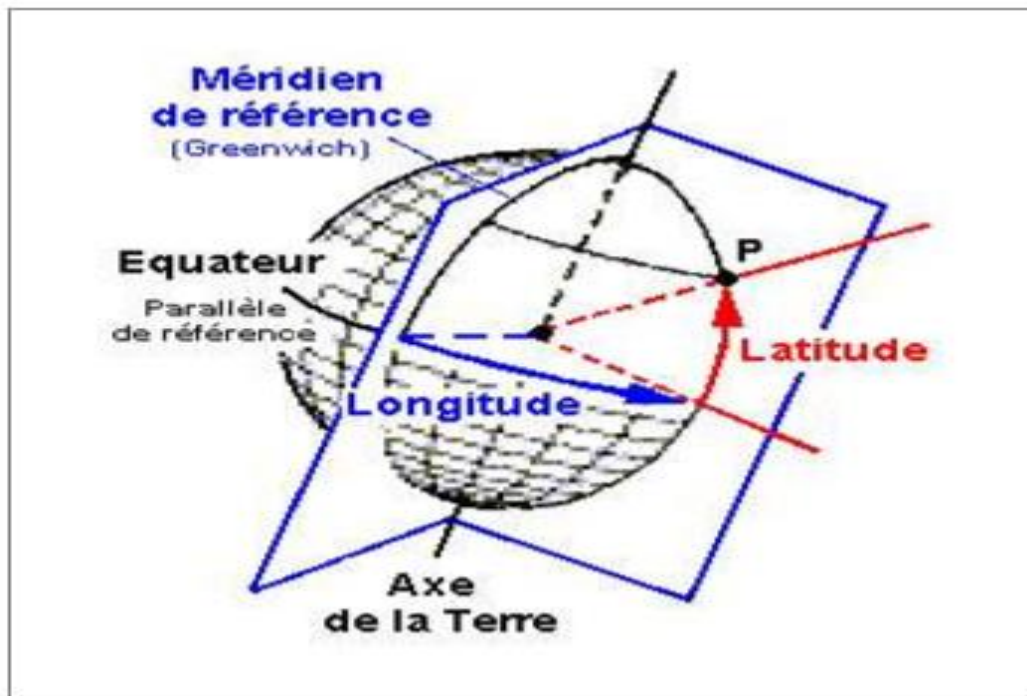


Fig. 24: Coordonnées (sur le globe terrestre) (d'après Charbonnel, 2005).

La majorité des cartes marines aux basses latitudes (c'est à dire à nos latitudes) est réalisée à partir de la projection de Mercator: la projection de Mercator correspond à une projection du globe terrestre sur un cylindre tangent à l'équateur et que l'on déroulerait pour obtenir la carte (Charbonnel, 2005). Dans ce type de projection :

- Les méridiens apparaissent parallèles (verticaux) entre eux (ce qui n'est pas le cas dans la réalité), l'échelle des longitudes ne doit donc pas être utilisée pour des mesures de distances.
- Les parallèles apparaissent parallèles (horizontaux) entre eux (comme dans la réalité) mais avec des espacements variables : la minute de latitude (un mille marins soit 1,852m) est d'autant plus grande que l'on s'approche des pôles. On utilisera l'échelle des latitudes pour la détermination des distances.
- les angles sont conservés.

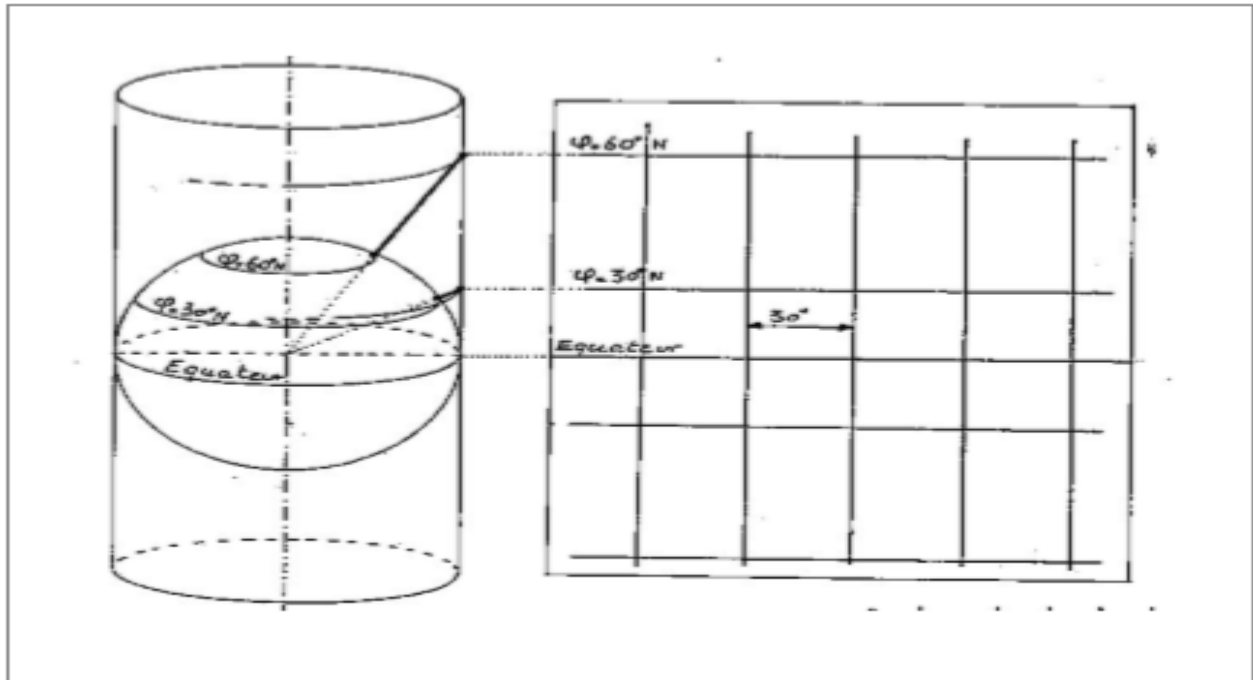


Fig. 25: Projection de Mercator (d'après Charbonnel, 2005).

La projection cartographique est un ensemble de techniques géodésiques permettant de représenter la surface de la Terre dans son ensemble ou en partie sur la surface plane d'une carte. C'est une transformation mathématique faisant correspondre un point de l'ellipsoïde à un point d'un plan : représentation de l'ellipsoïde sur un plan.



Fig. 26: Projection cylindrique conforme Mercator direct

Les représentations dites *Universel Transverse Mercator* (U.T.M.) forment un ensemble de 120 représentations transverses de Mercator de l'ellipsoïde conçues par l'armée américaine dans les années 1940. Le système UTM est le système de représentations utilisé par l'OTAN, et, entre autres, par l'armée française en France métropolitaine. C'est pourquoi le canevas UTM apparaît en surcharge sur les cartes de base à 1 /50 000. L'UTM est une projection Mercator transverse de l'ellipsoïde développée par le service géographique de l'US Armée dans le but de fournir une projection unique utilisable en tout point du globe à partir de « tables de la représentation UTM » préalablement calculées pour chaque ellipsoïde.

En pratique ; il faut toujours mentionner la projection utilisée.

Exemple en Algérie :

- a. L'Algérie s'étend sur les fuseaux 30, 31 et 32. Exemple la localité de Mostaganem est située dans la zone géographique n°31.
- b. La carte topographique de l'Algérie établie avec l'échelle 1/25 000 est dressée avec une projection conforme cylindrique (*Mercator Transverse Universel "MTU"* 1880). La projection *MTU* a été réalisée à 80° Nord et 80° Sud, c'est une projection conforme cylindrique.
- c. La carte topographique de l'Algérie établie avec l'échelle 1/50 000 est dressée avec une projection conique Lambert Nord Algérie.

Le système d'origine spatial, est défini par le traitement de mesures de géodésie spatiale suivant une méthode dynamique en considérant le champ de pesanteur terrestre.

Le *World Geodetic System* (WGS) 1984, est développé par le DOD-US. Depuis WGS 60, l'approximation de la figure de la terre et de son champ de gravité a évolué pour aboutir à la définition actuelle du WGS 84 qui est le système de référence pour les éphémérides GPS radiodiffusées et précises. Ce système est une version améliorée du WGS 72 qu'il doit remplacer dans toutes les applications.

Le WGS 84, est employée par défaut dans tous les matériels courants de positionnement.

Les systèmes issus de mesures spatiales, de par la nature même du mouvement des satellites, fournissent des coordonnées dans un repère centré précisément au centre de gravité de la Terre. En outre, la géodésie spatiale permet d'obtenir les coordonnées dans l'espace (X, Y, Z) ou (*i,j,h*). De tels réseaux déterminés par mesures spatiales sont dits tridimensionnels.

Les systèmes de coordonnées ; toute carte topographique présente les informations sur les différents systèmes de coordonnées, qui permettent de définir la position d'un point. La localisation exacte des objets topographiques dans l'espace se fait à l'aide de ces coordonnées.

2.8.2.2. Coordonnées cartographiques

Les coordonnées d'un point peuvent être exprimées de différentes façons :

Les coordonnées géographiques (sur la terre) ce sont des valeurs angulaires (latitude et longitude) exprimées en degrés, minutes, secondes et se rapportent au méridien de Greenwich ainsi qu'à l'équateur. Elles sont définies à partir d'un ellipsoïde de référence,

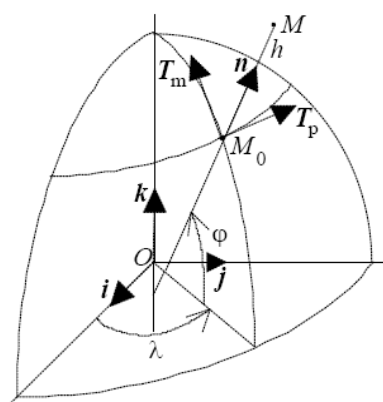


Fig. 27: Coordonnées géographiques (sur la terre)

Les coordonnées cartésiennes ou coordonnées du plan (sur plan) ou représentation cartographique plane sont exprimées dans un référentiel géocentrique (valeurs métriques).

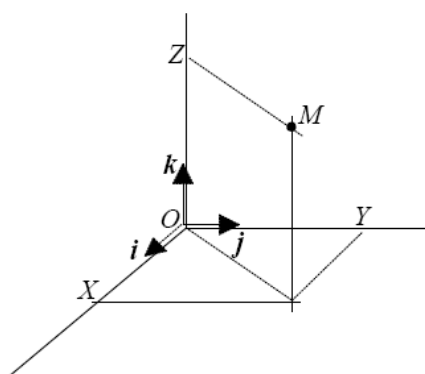


Fig. 28: Coordonnées cartésiennes (sur plan)

Généralement, les coordonnées géocentriques ne servent que d'étapes de calcul pour les changements de système géodésique.

Pour résumer ; plusieurs surfaces sont accessibles au topographe pour déterminer les coordonnées d'un point, qui peuvent être exprimées de façon différente selon le type d'application. Le lien entre le type de coordonnées et la surface de référence est primordial. Connaître ces deux éléments constitue une obligation pour exploiter la localisation des points.

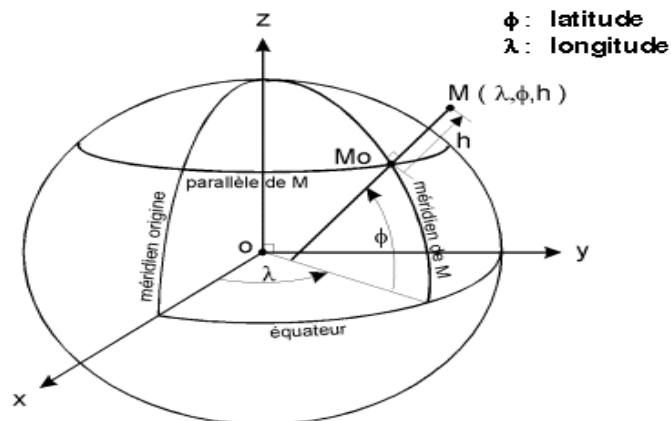


Fig. 29: Coordonnées d'un point M

Pour pouvoir confectionner une carte ou un plan à partir des données mesurées, on calcule une projection mathématique. Les projections Mercator introduisaient les premières projections sur globe et par ainsi les corrections de courbure de la terre sur les plans.

Couture en 1994 définit la carte comme étant une représentation plane d'une partie ou de l'ensemble de la terre ou d'un corps céleste. Les cartes sont des représentations du monde et de l'espace. Utilisée par le géographe, la carte lui permet de situer son objet d'étude et de le représenter (Le Clech, 2017).

La première question que doit se poser le cartographe ou le topographe est la suivante : quelles sont les informations que l'on souhaite obtenir du terrain ?

Ceci doit permettre de définir le plus petit objet qui devra être visible sur la carte ou le plan, conditionnant ainsi l'échelle du document. On en détermine ainsi la teneur en information.

2.8.2.3. Angles de bases topographiques

Du grec « topos » : lieu, endroit et « graphein » : écrire, tracer, dessiner. La topographie est une technique qui a pour objet la représentation graphique sur plan des caractéristiques des terrains (Calsat, 1993), et plus précisément, l'exécution et l'exploitation des observations concernant la position (planimétrique et altimétrique), la forme, les dimensions, et l'identification des éléments concrets fixes et durables existant à la surface du plan à un moment donné (George, 1993). De

manière générale, la topographie a pour objet l'établissement et l'emploi de cartes (Calsat, 1993). On distingue alors la topographie à petite échelle (géodésie et cartographie) et de la topographie à grande échelle (plans, documents d'étude, parcellaire).

Angles verticaux et horizontaux

Modes opératoires en milieu terrestre

Exemple d'orientation et de détermination d'angles

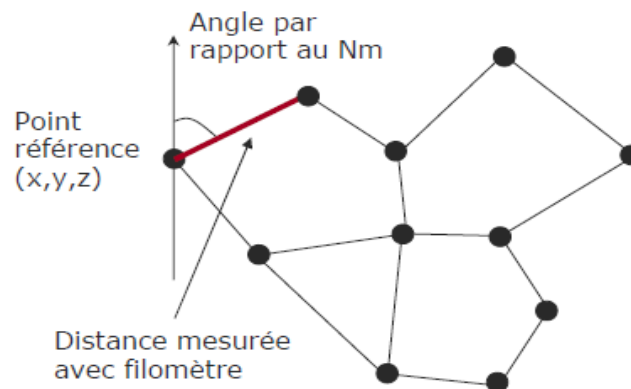


Fig. 30: Exemple d'orientation et calcul d'angles

- Calcul de l'angle par rapport au nord magnétique à l'aide d'une boussole,
- Détermination de la distance entre deux points à l'aide d'un filomètre ou décamètre,
- Calcul de la variation de la pente à l'aide d'un clisimètre.

Détermination des distances

Le calcul de la distance horizontale ou non, entre deux points de coordonnées connues est extrêmement simple puisqu'il résulte de l'application stricte du théorème de Pythagore.

Orientation (angle de gisement)

On définit le gisement comme l'angle, dans le plan horizontal, entre un vecteur, défini par deux points connus en coordonnées, et la direction du nord cartographique. Il est compté dans le sens horaire.

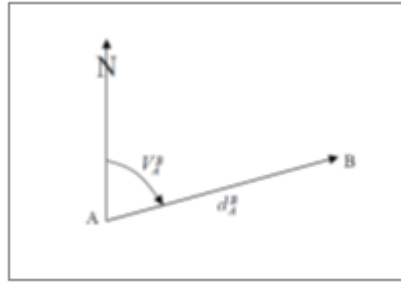


Fig. 31: Exemple de l'angle de gisement

Exemples pratiques de transmission de gisements

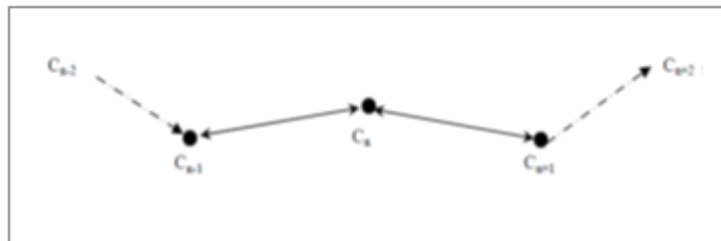


Fig. 32: Exemples de cheminements polygonaux

Déclinaison magnétique

L'angle entre la direction du NM et la direction du NG est appelé déclinaison magnétique. Elle n'est donc pas constante dans le temps (le nord magnétique se déplaçant) et dépend du lieu où la mesure est effectuée. Pour être utilisées sans erreurs, les valeurs de déclinaison indiquées sur les cartes doivent être actualisées afin de tenir compte de la variation séculaire (période).

Exemple sur les cartes topographiques les cartographes mentionnent la déclinaison magnétique diminue chaque année de 15 mn Centésimales.

*Unités des angles*Unités centésimales ; c'est le grade : $\text{Gr} = 100'$

$$1' \text{ C} = 100''$$

Unités sexagésimales ; c'est les degrés : $1^\circ = 60' \text{ s} = 0^\circ 60'$

$$0^\circ 1' = 0^\circ 60''$$

$$0^\circ 1' = 100/100 \text{ de la seconde sexagésimale.}$$

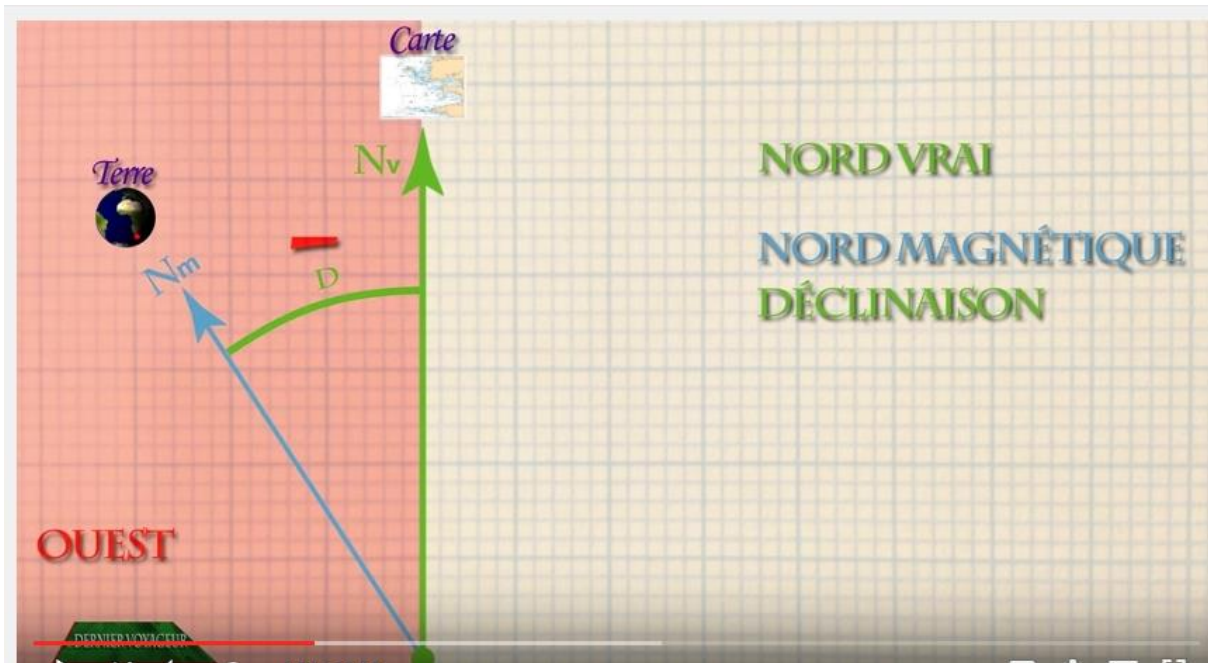


Fig. 33: Déclinaison négative (quand le NM est à l'ouest (par rapport au méridien) du nord vrai (NV))

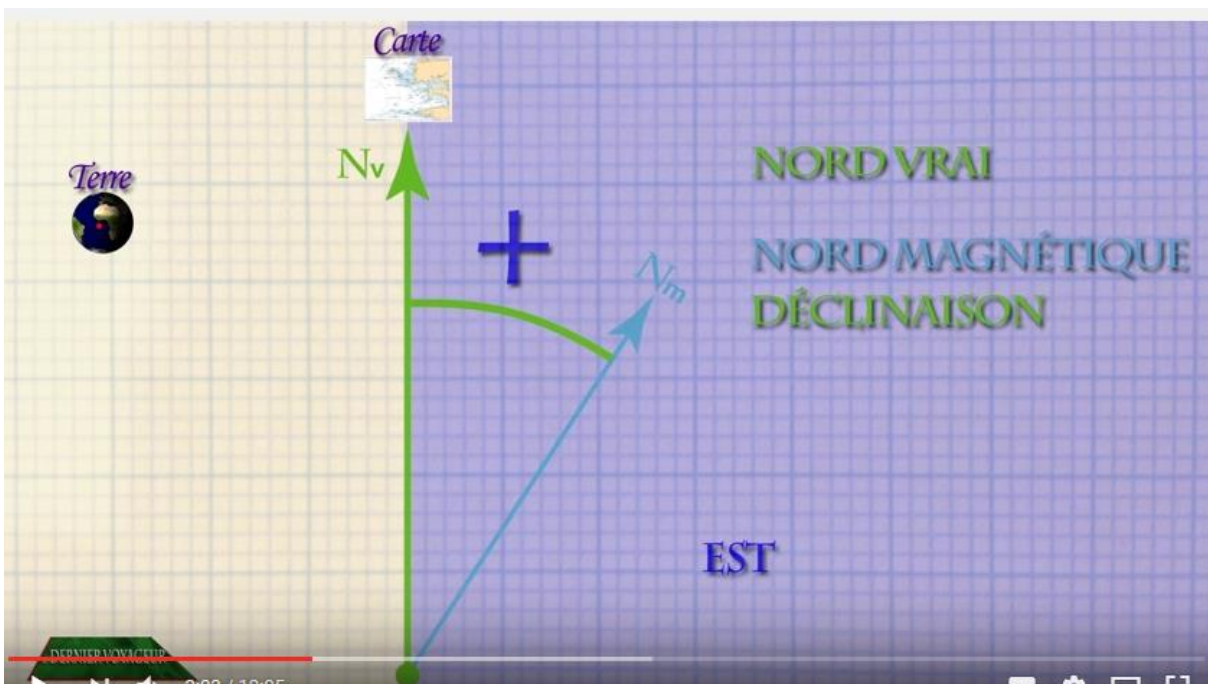


Fig. 34: Déclinaison positive (quand le NM est à l'Est (par rapport au méridien) du nord vrai (NV))

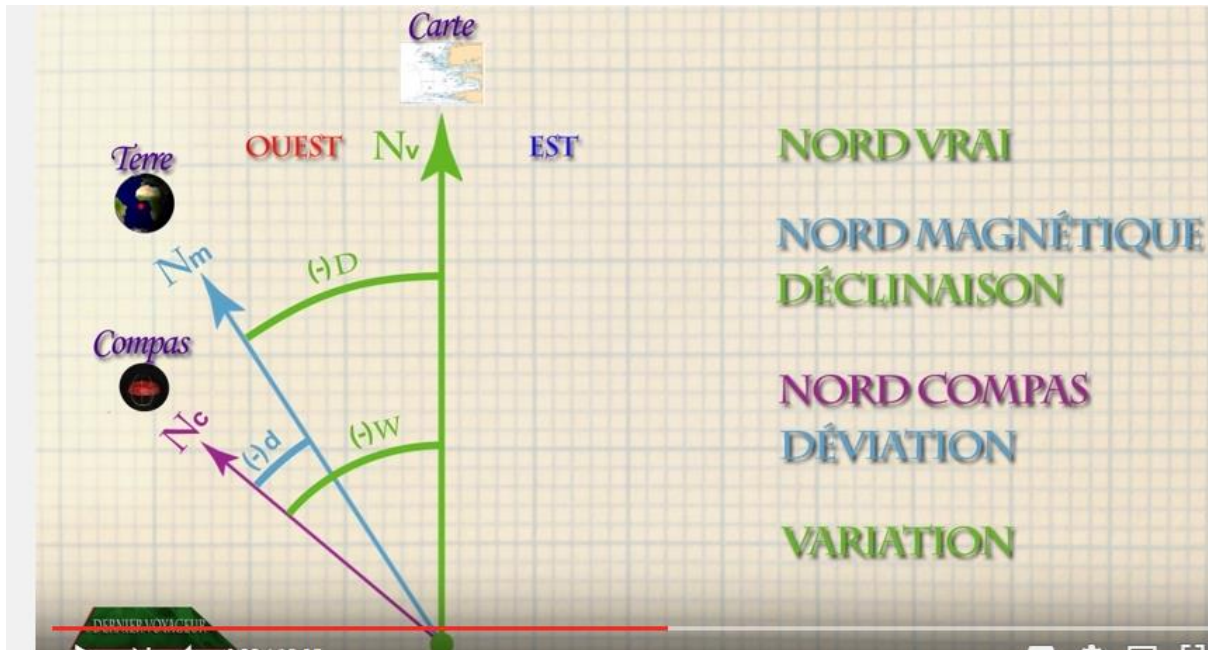


Fig. 35: Variation des angles de déviation à l'Ouest

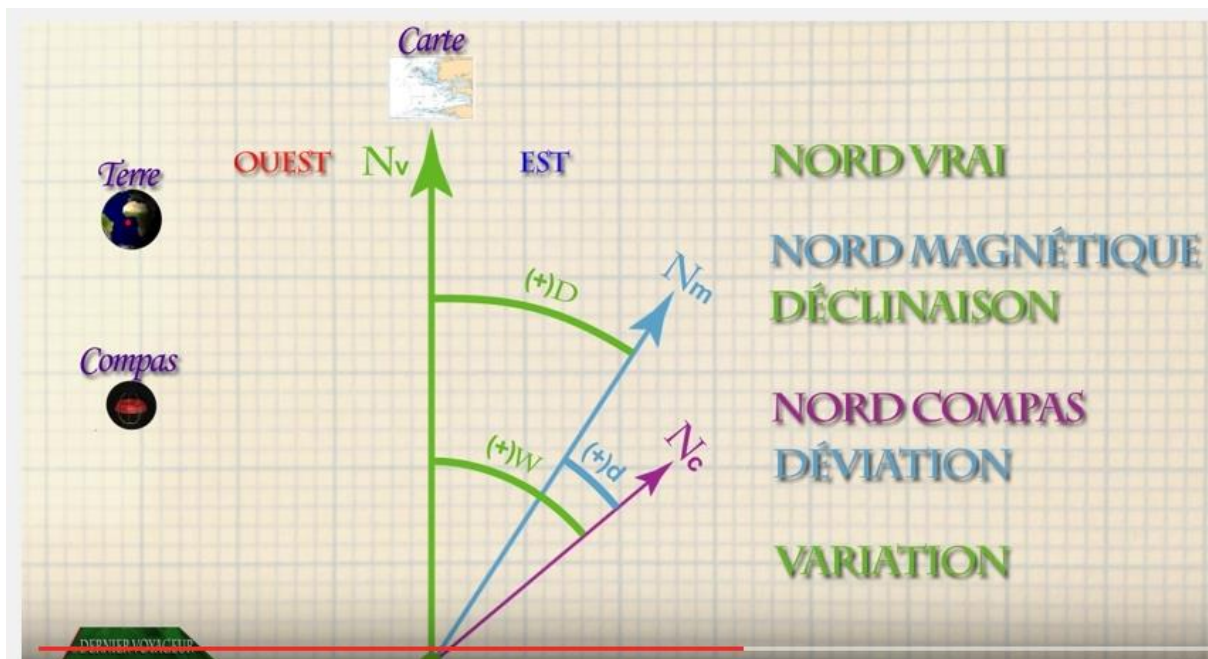


Fig. 36: Variation des angles de déviation à l'Est

2.8.2.4. Signes conventionnels

Mode d'implantation : Il y a trois modes d'implantation résumés comme suit :

Mode ponctuel ; un point connu par ses coordonnées (x,y) (ex. un arbre, un pylône, un phare, une balise, une borne,...etc.),

Mode vectoriel ; on a besoin d'un axe (ex. structure d'une route, piste, voirie, quai, ...etc.)

Mode zonal ; une zone donnée (parcelle agricole, forestière, zone de culture marine, zone aquacole, zone de pêche).

2.8.2.5. Variables visuelles

La forme ; est une variable géométrique (carrée, triangle, cercle) élémentaire symbolique idéogramme (ex. symbole d'un arbre, un sol, un poste de vigie, ferme, maison, phare, borne, balise, etc.) ou figurative ou pictogramme (ex. route, voirie, piste, sentier, quai, jetée, ...etc.).

La couleur ; il faut que la tonalité soit nettement différente.

La valeur ; ou nuance de couleur, du foncé au moins foncé.

Le grain ; niveau de gris entre le noir et le blanc. Le grain a une limite inférieure à 0,1 mm.

La taille ; elle ne dépasse pas la taille de surface de l'objet.

Orientation ; pas de grands cercles, car il y a plusieurs orientations même le carré a plusieurs orientations,

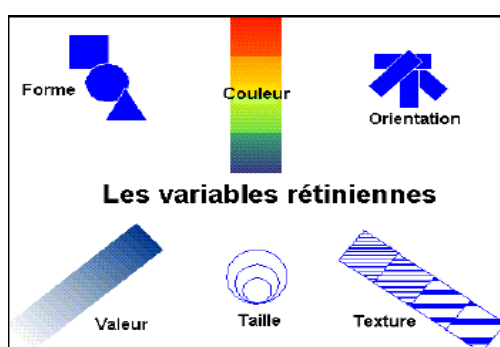


Fig. 37: Quelques variables visuelles

2.8.2.6. Expression des écritures cartographiques

Tous les détails naturels (relief, le substrat géologique ou sédimentaire, l'hydrographie) sont représentés par les caractères Italiques. Les autres non naturels sont exprimés en caractères Romain. La couleur est associée à la nature des objets (verte pour la végétation, bleu pour l'eau, ...etc.). La taille exprime la grandeur des phénomènes.

Exemple de pratiques

Objets linéaires (oueds, cours d'eau permanent ou temporaire, conduite et canalisation, ...etc.).

Objets surfaciques (forêt, sol, mer, zones humides (lacs, sebkha, chotts, lagunes, estuaire, embouchures, ... etc.).

Objets ponctuels (arbre, borne fontaine, phare, balise, pylône, poteaux télégraphique, roches, glaci, ...etc.).

Limites administratives (limites d'état, de wilaya, de commune, de lignes de base, des eaux sous juridiction nationale et internationale, de zone économique exclusive (ZEE), ...etc.).

2.8.2.7. Limites de perception visuelle

La carte doit être lue sans effort, il y a 3 niveaux qui définissent les règles de visibilité :

- Le seuil de perception : c'est la dimension des éléments graphiques permettant leur vision à l'œil nu dans les conditions normales d'observation ; exemple : un point quelconque sur la carte.
Point : son seuil de perception égal à 2/10 mm (erreur graphique) , pour que l'objet soit visible.
Ligne : un seuil de perception à 1/10 mm.
Un carré : un seuil de perception à 6/10 mm.
Un carré plein : un seuil de perception à 4/10 mm.
- Le seuil de séparation ; c'est la distance minimale entre 2 éléments graphiques permettant de les distinguer à l'œil nu dans les conditions normales d'observation, c'est-à-dire le pouvoir séparateur de l'œil normal est de l'ordre de 2/10 mm c'est-à-dire quand on trace une voirie on doit respecter l'écart entre les 2 lignes qui est de 2/10 mm (0,2 mm). En résumé pour voir et distinguer entre les petits objets sur carte il faut que ces derniers soient séparés entre eux de + de 2/10 mm.
- Le seuil de différenciation ; il y a un lien avec le seuil de perception ; c'est l'écart minimum permettant d'apprécier à l'œil nu, dans les conditions normales d'observation. Les différences existantes entre deux éléments graphiques des figures voisines.

2.8.2.8. Orientation et direction de la carte

Il s'agit d'effectuer une correspondance entre le lieu où l'on se trouve et un point sur la carte. Cette démarche est nécessaire pour se rendre en un point repéré sur la carte, retrouver son chemin, sa direction ou identifier les éléments caractéristiques du milieu.

Orienter la carte en direction du Nord ; cela revient à faire coïncider la direction du Nord de la carte avec la direction du Nord sur le terrain. Sur une carte on distingue deux Nord :

- a. Nord Géographique (NG) ; il correspond à la direction des méridiens,
- b. Nord Magnétique (NM) ; il correspond à la direction donnée par la boussole.

Ce dernier est légèrement différent du NG, l'écart entre les deux s'appelle la déclinaison magnétique dont la valeur peut figurer (graphiquement) en marge de la carte topographique.

Orienter la carte avec une boussole

Pour orienter approximativement la carte, on peut simplement aligner l'aiguille de la boussole avec le bord de la carte. Pour une meilleure précision, il faut alors superposer la boussole avec le schéma

de la déclinaison magnétique et faire pivoter l'ensemble jusqu'à coïncidence de l'aiguille Nord de la boussole avec le NM du schéma.

Orienter la carte sans boussole

On peut trouver approximativement le Nord (sans boussole). Pendant le jour avec une montre, en orientant la petite aiguille de la montre vers le soleil, le sud sera repéré par la bissectrice de l'angle formé par la petite aiguille et par la direction de 13 h 00 en hiver et de 14 h00 en été. Le nord est donc l'opposé du sud. Si la montre ne possède pas d'aiguille, il vous suffit de dessiner un cadran et des aiguilles sur une feuille de papier. Pendant le soir (nuit) à l'aide de l'étoile polaire, l'étoile polaire ne s'écarte pas plus de 1 degré de la direction du pôle nord, et sa position par rapport à la constellation de la grande Ourse est facilement reconnaissable la nuit, lorsque le temps est clair. En reportant 5 fois la distance entre les deux étoiles a et b de la grande Ourse, vous trouverez l'étoile polaire.

Le Nord est l'un des quatre points cardinaux. Si l'on considère le globe terrestre comme une sphère de centre O, le nord est l'une des deux extrémités de l'axe de rotation de la terre, l'autre étant le sud. Ce sont les pôles géographiques.

Le NG ; la direction du Nord géographique c'est la direction du pôle nord à partir d'un point donné ; du moment que le pôle nord est un point fixe, cette direction ne change pas. Le NG c'est la direction vers le pôle nord. (Y ou NG : Nord linéaire. Y : c'est le nord qui est donné par le cartographe à sa carte.)

Le NM ; est une direction qui est donnée par l'aiguille de la boussole sous l'influence de la masse magnétique qui existe au sein de la terre qui est attirée par le pôle (aimant) qui attire cette aiguille de la boussole. Cette direction qui est donnée par la boussole s'appelle le Nord magnétique (NM).

Le NM change dans le temps et dans l'espace à cause du mouvement ou de la rotation de la terre ainsi que plusieurs facteurs atmosphériques.

2.8.2.9. Echelle cartographique

Echelle de carte

L'échelle est un rapport entre les dimensions représentées sur une carte et les dimensions dans la réalité. L'échelle sert à la représentation graphique. L'échelle d'une carte exprime le rapport de réduction entre la réalité et la représentation sur la carte. L'échelle est le rapport de la longueur entre deux points sur la carte et la longueur couplée horizontalement entre les deux points correspondants sur le terrain. Agrandir l'échelle veut dire diminuer le dénominateur.

L'échelle d'un plan est le rapport constant entre la longueur graphique sur le plan et la même longueur horizontale sur le terrain, dans la même unité. Plus l'échelle sera petite, c'est à dire plus le dénominateur sera grand, plus le dessin sera petit. L'échelle est définie par la formule suivante :

$$E = Lc / Lt$$

Avec ;

E : Echelle

Lc: Longueur sur carte

Lt: Longueur sur terrain

Les unités employées doivent être les mêmes au numérateur et au dénominateur.

Une carte à grande échelle permet de représenter beaucoup de détails, tandis qu'une carte à petite échelle nous donne un meilleur aperçu général sur toute une région.

Une petite échelle permet de représenter les grands territoires mais avec pas beaucoup de détails.

Une grande échelle permet de représenter les petits territoires mais avec beaucoup de détails.

On parle de grande échelle (ex.1/5 000), si on dispose d'une grande surface pour représenter une partie définie du territoire.

Echelle au 1/20 000, signifie que 1 cm sur la carte est égale à 20 000 cm ou 200 m sur le terrain.

Echelle au 1/ 50 000 signifie que 1 cm sur la carte représente 50 000 cm ou 500 m sur le terrain.

Les échelles les plus courantes sont : le 1/25 000, 1/50 000, 1/100 000 et au-delà.

En Algérie ; les échelles utilisées par ordre décroissant par l'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT) sont 1/1 000 000, 1/500 000, 1/100 000, 1/50 000, 1/25 000.

(10-100-1000), (20-200-2000), (25-250-2500), (50-500-5000).

L'échelle est d'autant plus grande que le dénominateur est plus petit.

Les grandes échelles sont de l'ordre de : 1/25 000

Les moyennes échelles sont de l'ordre de : 1/50 000, 1/100 000 et même 1/200 000

Les petites échelles sont de l'ordre de : 1/250 000 Jusqu'au 1/1000 000.

Il existe plusieurs séries de cartes de l'Inventaire Général National (IGN) sur l'Algérie, à différentes échelles :

1/25 000 ; ces cartes sont en projection *Mercator Transverse Universel (MTU)* sur l'ellipsoïde de Clarke 1880.

1/50 000 ; ces cartes sont dressées sur l'ellipsoïde de Clarke 1880, en projection de Bonne jusqu'en 1942, puis en projection conique conforme de Lambert 2 zones, Lambert Nord Algérie ou Lambert Sud Algérie.

1/100 000 ; ces cartes sont basées sur le système de référence géodésique Voiron 1875, l'ellipsoïde associé étant Clarke 1880 IGN. Les cartes sont de type 1956 sauf les 5 coupures de la région de Colomb-Béchar, qui sont de type 1922. Les projections utilisées sont Lambert Nord Algérie ou Lambert Sud Algérie.

1/200 000 ; lorsqu'elles sont accompagnées de l'indication type 1960, ces cartes sont basées sur le système de référence géodésique Nord Sahara 1959, auquel est associé l'ellipsoïde Clarke 1880 Anglais.

1/500 000 ; ces cartes utilisent l'ellipsoïde et la projection de la carte internationale du monde sur l'ellipsoïde international (Hayford, 1909). A cette échelle et avec un GPS de navigation, leurs coordonnées peuvent être assimilées à du WGS84.

1/500 000 Afrique ; ces cartes d'Afrique utilisent la projection Lambert à petit champ.

Types d'échelles

Représentation de l'échelle sur la carte : trois formes possibles, verbale, numérique ou graphique, d'où il y a trois types d'échelles :

- a. Echelle verbale,
- b. Echelle linéaire ou graphique,
- c. Echelle numérique (aussi appelé échelle fractionnaire)

L'échelle verbale ; énoncé très simple ; un centimètre équivaut à dix kilomètres. Il peut être abrégé : 1cm = 10 km, Ex. 1Cm= 500 mètres (échelle verbale),

L'échelle graphique : c'est une ligne graduée. Elle indique le rapport entre la distance séparant deux points sur la carte. Échelle graphique (droite subdivisée en segments).

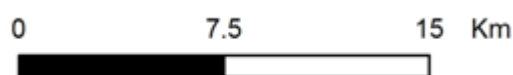


Fig. 38 : Exemple d'échelle graphique

L'échelle numérique ; elle est inscrite en chiffres et apparaît sous forme de fraction (ex. 1 :100 000 ou 1/100 000). Cela signifie que la longueur sur la carte est égale à cette longueur 100 000 fois plus grande dans la réalité, c'est-à-dire que chaque centimètre mesuré sur la carte équivaut à 100 000 cm sur le terrain (ou 10 km).

Les cartes topographiques sont une représentation géométrique, en général plane, d'une partie de la Terre. Elles sont une représentation aussi fidèle que possible de la réalité. Pour y arriver, le cartographe transforme les informations en une image cartographique lisible et compréhensible. Ses instruments sont des symboles, des signatures, des couleurs et des textes.

Éléments et parties de la carte

Deux parties constituent la carte :

- a. Une partie qui représente le relief (ou surface utile). Dans cette partie en plus des objets graphiques, on peut trouver des écritures cartographiques telles que la toponymie, termes génériques (noms des oueds, sommets des versants, noms des lieux de proximité côtière, des phares, réseaux hydrographiques, port mixte, ...etc.), désignations, abréviation (ex. balise, borne, quai, jetée, ...etc.) et renseignements complémentaires (ex. altitude du terrain (valeur des courbes de niveau), distance nautique (Mille marin), élévation bathymétrique, ...).
- b. Une partie (ou hors surface utile) qui représente les marges qui contiennent des informations qui nous aident à lire la carte telles que le titre de la carte, référence de la carte, sous-titre, la légende, l'échelle, la projection, date d'édition, déclinaison magnétique, l'auteur, le Nord et autres informations jugées utiles.

Les détails géographiques sont représentés sur la carte comme suit :

- a. Détails naturels (surfaces de bois, vergers, d'eau, cours d'eau, relief terrestre, fond marin ou courbes isobathes, faune et flore terrestres et marines, substrats géologiques et sédimentaires, activités biologiques,), détails rapportés (phares, jetées, quais, balises, bornes, voies d'accès, ...),
- b. Détails abstraits (détails imaginaires, limites géographiques et administratives).

Echelle de plans

Les cartes à plus grande échelle sont les plans du cadastre.

Nous obtenons les relations suivantes entre les échelles classiques des documents et le type de détails représentés :

Exemple d'un plan de masse à l'échelle 1/50

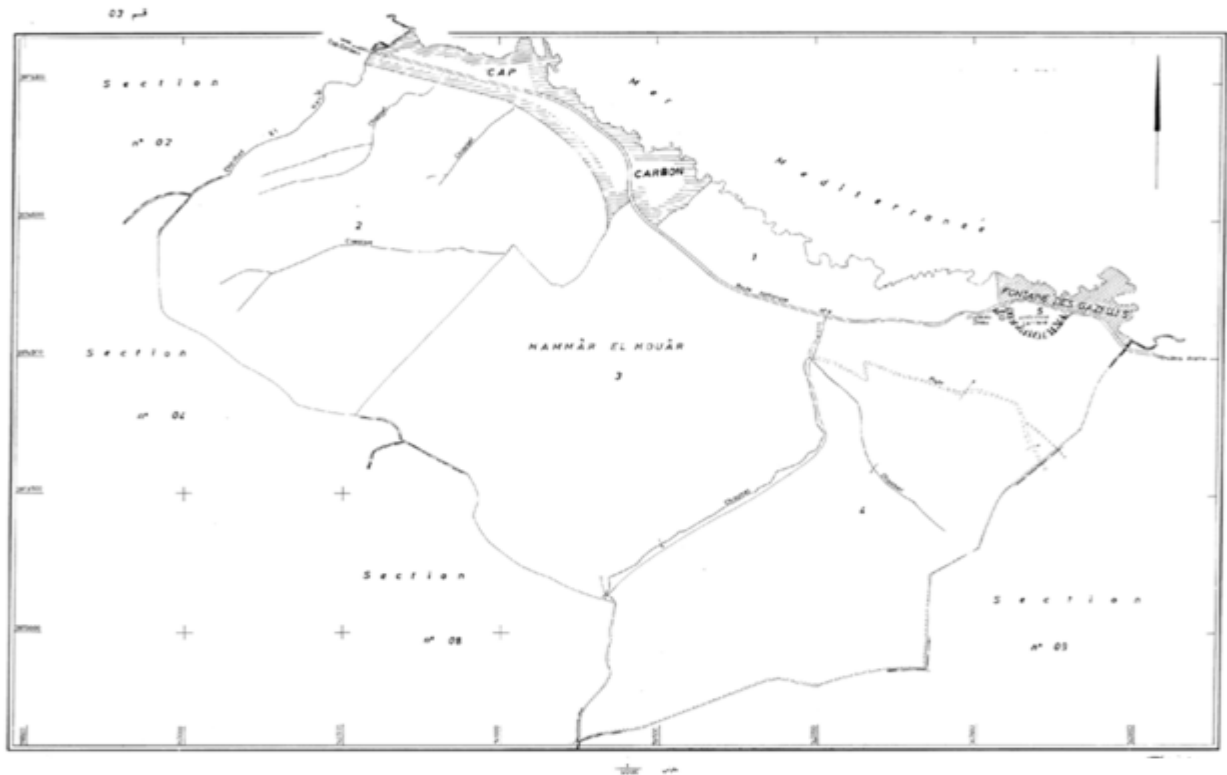


Fig. 39: Exemple d'un plan cadastral au 1/50.

Exemple d'un plan de localisation d'équipements (poste de vigie, point d'eau, phare, quai, jetée...) au 1/200 à 1/500.

Exemple de plan de morcellement, d'occupation des sols, cadastre au 1/1000 à 1/2000.

La notion d'échelle n'a plus grand sens quand on utilise les SIG. Il faut la remplacer par plusieurs notions (INRA, 1991).

Niveau de précision des données : type et nature des données, quantité de données signification spatiale et sémantique de chaque donnée.

Champ d'étude : étendue sur laquelle portent les données acquises, ou sur laquelle porte l'étude.

Résolution spatiale : surface sur laquelle on dispose d'une donnée. C'est aussi l'inverse de la densité d'observations.

2.8.2.10. Toponymie

Sont les noms des lieux, ils sont faits à partir de la carte 1/200 000 en 1932. L'ajout de toponymes ainsi que la variation des types d'écritures permet de différencier les objets suivant leur importance.

2.8.2.11. Légende

La légende est en fait la clé de lecture d'une carte. Elle doit donner tous les renseignements nécessaires à la bonne compréhension de l'information de la carte, et ne pas induire en erreur le lecteur par des informations incomplètes ou ambiguës. Les éléments graphiques utilisés dans la carte sont regroupés et expliqués dans la légende de la carte.

Une légende doit donc comporter :

Un titre précisant l'unité dans laquelle est exprimée la variable.

Une présentation graphique de la liaison variable / surface de symbole pour quelques valeurs représentatives de la variable, si possible comprenant le minimum et le maximum.

Le choix des symboles et des couleurs est guidé par le principe de rapprocher au mieux la représentation graphique à la réalité ; On adopte en générale les conventions suivantes :

- a. Le bleu est pour l'humidité (courbes isobathes (bathymétrie),
- b. Le noir est attribué à tout ce qui résulte de l'activité humaine, ainsi qu'à la toponymie (noms des lieux de proximité),
- c. Le vert à la végétation,

La représentation graphique reflète donc la réalité comme suit :

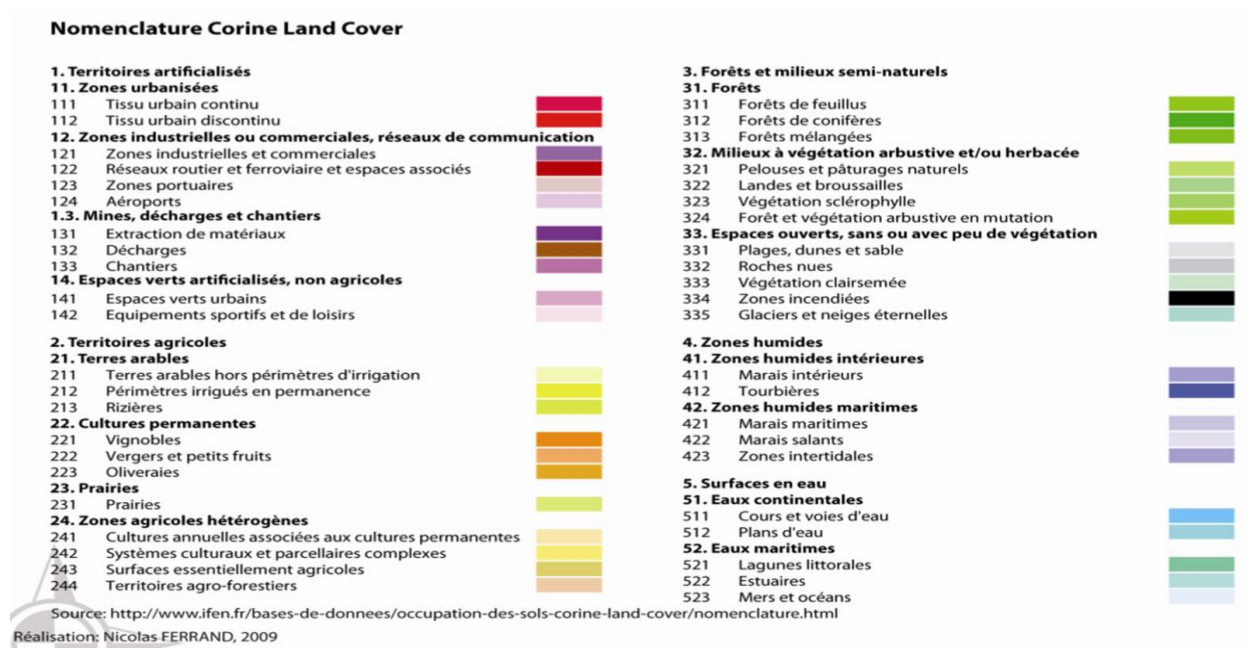
Utilisation du bleu pour l'eau du vert pour la végétation marine de symboles pour les objets isolés (ex. phare, borne, balise, quai, point d'eau, ...etc.)

Différents objets d'une même catégorie sont représentés par différentes couleurs (suivant leur utilisation).

Les symboles et pictogrammes permettent d'enrichir la carte par des informations descriptives ou thématiques.

La bonne lisibilité de la carte résulte d'une combinaison adéquate des outils cartographiques.

En effet, une carte scientifique se doit d'être simple et claire, donnant toutes les clés de lecture dans le titre et dans la légende, sans commentaires superflus.

Fig. 40: Nomenclature des codes de la classification *Corine Land Cover* (CLC) (CGDD, 2009)

40	5	5	Surfaces en eau	Surfaces en eau
40	5	51	Surfaces en eau	Eaux continentales
40	5	511	Surfaces en eau	Cours d'eau et voies d'eau
40	5	5111	Surfaces en eau	Deltas intérieurs permanents
40	5	5112	Surfaces en eau	Rivières/cours d'eau/ruisseaux permanents; y compris cascades
40	5	5113	Surfaces en eau	Rivières/cours d'eau/ruisseaux saisonniers/intermittents/irréguliers
42	5	5114	Surfaces en eau	Canaux et fossés de drainage, rigoles
40	5	512	Surfaces en eau	Plans d'eau
40	5	5121	Surfaces en eau	Lacs d'eau douce permanents (plus de 8 hectares); y compris grands lacs de méandres
40	5	5122	Surfaces en eau	Lacs d'eau douce saisonniers/intermittents (plus de 8 hectares); y compris lacs des plaines d'inondation
40	5	5123	Surfaces en eau	Lacs salés/saumâtres/alcalins permanents
40	5	5124	Surfaces en eau	Lacs salés et étendues/saumâtres/alcalins saisonniers/intermittents
40	5	5125	Surfaces en eau	Lacs d'eau douce permanents (plus de 8 hectares); avec végétation benthique; y compris grands lacs de méandres avec végétation benthique
40	5	5126	Surfaces en eau	Lacs d'eau douce saisonniers/intermittents (plus de 8 hectares); avec végétation benthique; y compris lacs des plaines d'inondation avec végétation benthique
40	5	5127	Surfaces en eau	Lacs salés/saumâtres/alcalins permanents avec végétation benthique
40	5	5128	Surfaces en eau	Lacs salés et étendues/saumâtres/alcalins saisonniers/intermittents avec végétation benthique
42	5	5129	Surfaces en eau	Étangs d'aquaculture (par ex. poissons, crevettes)
42	5	5130	Surfaces en eau	Étangs; y compris étangs agricoles, étangs pour le bétail, petits réservoirs; (généralement moins de 8 hectares)
42	5	5131	Surfaces en eau	Zones de stockage de l'eau; réservoirs/barrages/retenues de barrages/retenues d'eau; (généralement plus de 8 hectares)
42	5	5132	Surfaces en eau	Sites de traitement des eaux usées; y compris champs d'épandage, étangs de sédimentation, bassins d'oxydation, etc
40	5	52	Surfaces en eau	Eaux maritimes
40	5	521	Surfaces en eau	Lagunes littorales
40	5	5211	Surfaces en eau	Lagunes côtières saumâtres/salées; y compris lagunes saumâtres à salées reliées à la mer par un chenal relativement étroit au moins
40	5	5212	Surfaces en eau	Lagunes côtières d'eau douce; y compris lagunes deltaïques d'eau douce
40	5	522	Surfaces en eau	Estuaire
40	5	523	Surfaces en eau	Mers et océans
40	5	5231	Surfaces en eau	Eaux marines peu profondes et permanentes, dans la plupart des cas d'une profondeur inférieure à six mètres à marée basse; y compris baies marines et détroits
40	5	5232	Surfaces en eau	Lits marins aquatiques subtidaux; y compris lits de varech, herbiers marins, prairies marines tropicales

Fig. 41: Codes de classification *Corine Land Cover* (CLC) appliqués aux surfaces d'eau (CGDD, 2009)

