ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES POSTES ET TELECOMMUNICATIONS (ENSPT)

Master M1 professionnel en Technologie de l'Information

Support de cours

CARTOGRAPHIE ET SIG

Dr Narcisse TALLA

Chargé de Cours
Département de Génie Informatique
IUT Fotso Victor de Bandjoun /
Université de Dschang
ntalla@gmail.com
Tel : +237 699 621 550

Juin 2015

SOMMAIRE

Chapitre 1. Introduction **3**
1.1. Présentation du Cours 3
1.1.1. Cartographie 3
1.1.2. Système d'information Géographique (SIG) 4
1.1.2.1. Définition 4
1.1.2.2. Caractéristiques 5
1.1.3. La géomatique 5
1.2. Objectifs du cours et résultats attendus 6
Chapitre 2. SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE **8**
2.1. Quelques définitions 8
2.2. Le Système d'Information géographique 8
2.2.1. Mission d'un SIG 8
2.2.2. Domaines d'utilisation des SIG 9
2.2.2.1. L'information géographique 9
2.2.2.2. Les données attributaires 9
2.2.2.3. Les objets géographiques 10
2.2.2.4. Modes de représentations possibles 10
2.2.2.5. Relation Objets/Données attributaires 11
2.2.2.6. Système de référence spatial 11
2.2.2.7. Les systèmes géodésiques 11
2.2.2.8. Ellipsoïde et systèmes de projection 12
2.2.2.9. L'analyse spatiale 12
2.3. Globe terrestre et Systèmes de projection 13
2.3.1. Coordonnées géographiques 13
2.3.1.1. La longitude 14
2.3.1.2. La latitude 14
2.3.2. Les systèmes de projection 14
2.3.2.1. Le Géoïde 15
2.3.2.2. L'ellipsoïde 15
2.3.2.3. Quelques systèmes de projections célèbres 16
2.4. Conception d'une BD à références spatiales 18
2.4.1. Le but 19
2.4.2. Entités et classe d'entité 19
2.4.3. Relations et classes de relation 20
2.4.4. La cardinalité 21
2.4.5. Les identifiants 22

2.5. Le modèle Logique de Données (MLD) 23
2.5.1. Description 23
2.5.2. Traduction d'une classe d'entités 23
2.5.3. Traduction d'une classe de relation 24
2.5.3.1. Transformation des associations de type un-à-un 24
2.5.3.2. Transformation des associations de type un-à-plusieurs 25
2.5.3.3. Transformation des associations de type plusieurs-à-plusieurs 25
2.5.4. Dictionnaire des données 26
2.6. Quelques données images pour SIG 27
2.6.1. LES POINTS : 29
2.6.2. LES LIGNES : 29
2.6.3. LES POLYGONES : 29
2.6.4. Les domaines d'application 29
2.6.5. Qu'est-ce que cela apporte ? 30
2.6.6. Quelques exemples de questions auxquelles un SIG peut répondre aux préoccupations suivantes : 30
2.6.7. Missions d'un Systèmes d'Information géographique 30
Chapitre 3. La cartographie 32
3.1. Fondamentaux de la cartographie 32
3.1.1. Description du sujet, cahier des charges 32
3.1.2. Description graphique de l'espace 32
3.1.3. Collecte et sélection des informations utiles 33
3.1.4. Conventions cartographiques 33
3.1.5. Assemblage graphique par calques 34
3.1.6. Autres astuces 34
3.2. Grandes familles cartographiques 34
3.3. Éléments fondamentaux d'une carte 35

CHAPITRE 1. INTRODUCTION

1.1. Présentation du Cours

1.1.1. Cartographie

La **cartographie** désigne la réalisation et l'étude des cartes géographiques et géologiques. Elle est très dépendante de la géodésie, science qui s'efforce de décrire, mesurer et rendre compte de la forme et des dimensions de la Terre. Le principe majeur de la cartographie est la représentation de données sur un support réduit représentant un espace généralement tenu pour réel. L'objectif de la carte, c'est une représentation concise et efficace, la simplification de phénomènes complexes (politiques, économiques, sociaux, militaires, etc.) à l'œuvre sur l'espace représenté afin de permettre une compréhension rapide et pertinente.

La création de carte débute avec la définition du projet cartographique. Ce projet intègre une phase de collecte d'informations organisée en deux parties :

1. le relevé des contours et de l'espace support à représenter (fond de carte) ;
2. le relevé des données statistiques à représenter sur cet espace.

Vient ensuite un travail de sélection des informations, de conception graphique (icônes, styles), puis d'assemblage (création de la carte), et de renseignement de la carte (légende, échelle).

Les théories de l'information graphique donnent des conseils quant au style nécessaire à un message graphique clair. Étant le fruit de sélections humaines, la carte peut omettre, nier ou tromper. L'étude comparative des cartes est ici intéressante, puisqu'elle révèle les biais le cas échéant.

Les acteurs principaux de la cartographie étaient traditionnellement les explorateurs et les cartographes, afin de définir l'espace des États, et les espaces des territoires explorés. Aujourd'hui, la cartographie moderne est transdisciplinaire et s'applique à presque toutes les sciences : la géologie, la biologie, l'urbanisme, la sociologie etc. nécessitent une

collaboration entre cartographes, experts, et analystes de données. Les données numériques et satellitaires font de l'informatique et de l'informaticien de nouveaux partenaires-clefs, tandis que les *netizens* ou *cybercitoyens* rejoignent depuis peu le groupe avec la cartographie 2.0 et la cartographie d'information.

De nos jours, rares sont les cartographes "purs". Effectivement, la géographie et l'informatique sont couplées : cet ensemble forme la géomatique. Les géomaticiens sont des professionnels capables de réaliser de la cartographie, mais aussi de gérer des systèmes d'information (données, bases de données, architectures informatiques etc.), spécifiquement appelés **système d'information géographique (SIG)**.

1.1.2. Système d'information Géographique (SIG)

1.1.2.1. Définition

Un SIG est un système d'information conçu pour recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter tous les types de données spatiales et géographiques. L'acronyme SIG est parfois utilisé pour définir les « sciences de l'information géographiques » ou « études sur l'information géo-spatiale ». Cela se réfère aux carrières ou aux métiers qui travaillent avec des systèmes d'information géographique et dans une plus large mesure avec les disciplines de la géo-informatique. Ce que l'on peut observer au-delà du simple concept de SIG a trait aux données de l'infrastructure spatiale.

Dans un sens plus général, le terme SIG décrit un système d'information qui intègre, stocke, analyse, et affiche l'information géographique. Les applications liées aux SIG sont des outils qui permettent aux utilisateurs de créer des requêtes interactives, d'analyser l'information spatiale, de modifier et d'éditer des données au travers de cartes et d'y répondre cartographiquement. La science de l'information géographique est la science qui sous-tend les applications, les concepts et les systèmes géographiques.

Le SIG est un terme général qui se réfère à un certain nombre de technologies, de processus et de méthodes. Celles-ci sont étroitement liées à l'aménagement du territoire, la gestion des

infrastructures et réseaux, le transport et la logistique, l'assurance, les télécommunications, l'ingénierie, la planification, l'éducation et la recherche, etc. C'est pour cette raison que les SIG sont à l'origine de nombreux services de géolocalisation basés sur l'analyse des données et leur visualisation.

1.1.2.2. Caractéristiques

Les SIG permettent également une mise en relation de données qui peuvent, sur le papier, sembler très éloignées. Quelle que soit la façon d'identifier et de représenter les objets et événements qui illustrent notre environnement (coordonnées, latitude & longitude, adresse, altitude, temps, médias sociaux, etc.), les SIG permettent de réunir toutes ces dimensions autour d'un même référentiel, véritable colonne vertébrale du système d'information. Cette caractéristique clé du SIG permet d'imaginer de nouvelles applications et de nouveaux débouchés en matière de recherche scientifique.

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 et à l'aménagement du territoire. Il fait partie intégrante d'un vaste ensemble appelé Géomatique.

1.1.3. La géomatique

La géomatique est un ensemble organisé de matériels informatiques, de logiciels, de données géographiques et de personnel capable de saisir, stocker, mettre à jour, manipuler, analyser et présenter toutes formes d'informations géographiquement référencées.

- Elle constitue :
  - un instrument technique de l'aménagement du territoire et de la gestion des ressources ;
  - une technologie incontournable dans la mise en œuvre des politiques relatives à l'aménagement du territoire, la planification économique, l'urbanisme, la décentralisation etc.

- Elle permet :
  - d'avoir une meilleure connaissance du territoire ;
  - d'anticiper sur les perspectives d'aménagement en s'appuyant sur une optimisation et une mise en cohérence des données du monde réel ;
  - de fournir des informations fiables référencées partiellement (local, région, pays, etc.) ou totalement à la Terre ;
- Elle contribue à :
  - la gestion des entités territoriales ;
  - la proposition des scénarii d'aménagement et de gestion des ressources naturelles et humaines ;

Le Système d'Information Géographique est basé sur trois mots clés :

- **« Système »** qui désigne dans ce contexte une collection d'éléments satisfaisant une relation ;
- **« Information »** qui, dans ce contexte, est la signification potentielle attachée à des données qui sont elles-mêmes une représentation conventionnelle d'un fait, d'une notion ou d'un phénomène convenant à une communication, une interprétation ou un traitement ;
- **« Géographique »** qui qualifie ce qui est relatif à la Terre, aux hommes et à leurs activités à la surface de la Terre.

1.2. Objectifs du cours et résultats attendus

Ce cours vise à donner aux étudiants des bases pour la conception et la réalisation d'une bonne cartographie d'une part et d'un bon système d'information géographique d'autre part. Plus spécifiquement, il vise à présenter aux étudiants les concepts fondamentaux, les outils et les techniques de conception et de réalisation d'une carte géographique d'une part et d'un système d'information géographique d'autre part.

À l'issue de ce cours, chaque étudiant devra être en mesure de :

- Définir les différents concepts fondamentaux de la conception des cartes et des SIG ;
- Présenter les fondamentaux pour la réalisation d'une carte ;
- Présenter les fondamentaux pour la réalisation d'un SIG ;

- Identifier les méthodes de représentation des données en cartographie et SIG ;
- Décrire les éléments fondamentaux d'une carte géographique ;
- Présenter la chaîne de production d'une carte géographique ;
- Présenter la chaîne de production d'un SIG ;
- Présenter quelques environnements de développement de SIG ;
- Concevoir et réaliser une carte géographique ;
- Concevoir une base de données à références spatiales ;
- Concevoir et réaliser un SIG ;

CHAPITRE 2. SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

2.1. Quelques définitions

- Une **information** est le résultat d'un processus de mise en forme et de matérialisation visant à communiquer un fait ou un ensemble de faits à un public donné.
- Un **système** est un ensemble d'éléments, en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but.
- Un **système d'information** peut alors se définir comme un ensemble d'entités en interaction, visant à stocker, modifier, supprimer et restituer des données aux utilisateurs habiletés.

Tout système présente deux aspects :

- L'**aspect structural** qui décrit structurellement ou spatialement le système. C'est la partie statique du système, puisqu'il ne change pas.
- L'**aspect fonctionnel** qui décrit temporellement le système. C'est ce qui rend dynamique le système.

2.2. Le Système d'Information géographique

2.2.1. Mission d'un SIG

Un **SIG** permet de gérer des données **alphanumériques spatialement localisées**. Il offre des outils puissants pour l'exploitation et la visualisation des données géo localisées. Toutefois, ces solutions le plus souvent propriétaires sont généralement onéreuses, et non standardisées, ce qui limite les possibilités dans les échanges de données.

Les **bases de données spatiales** sont des bases de données dont au moins une partie des objets est **localisée dans l'espace**. Elles permettent un stockage structuré de ce type de données.

Le rôle du SIG est de proposer une représentation plus ou moins réaliste de **l'environnement spatial** en se basant sur des **primitives géographiques** telles que des **points**, des **arcs**, des **polygones** (vecteurs) ou des **maillages** (raster). À ces primitives sont associées des informations qualitatives telles que la nature (route, voie ferrée, forêt...) ou toute autre information contextuelle.

L'information géographique peut être définie comme l'ensemble de la description d'un objet et de sa position géographique à la surface de la Terre. On parle également de **Système d'Information à Référence Spatiale (SIRS)** pour les données et leur structuration.

2.2.2. Domaines d'utilisation des SIG

Le but d'un SIG est de fournir une aide à la décision dans des domaines divers. Il peut aussi servir à produire des cartes répondant à un besoin spécifique. Les domaines d'application des SIG sont aussi nombreux que variés :

- Tourisme (gestion des infrastructures, itinéraires touristiques) ;
- Marketing (localisation des clients, analyse du site) ;
- Planification urbaine (cadastre, voirie, réseaux assainissement) ;
- Protection civile (gestion et prévention des catastrophes) ;
- Transport (planification des transports urbains, optimisation d'itinéraires) ;
- Forêt (cartographie pour aménagement, gestion des coupes et sylviculture) ;
- Géologie (prospection minière) ;
- Biologie (études du déplacement des populations animales) ;
- Télecoms (implantation d'antennes pour les téléphones mobiles).

2.2.2.1. L'information géographique

L'information géographique se compose de données descriptives ou attributaires (sémantiques, tabulaires ou attributaires) et d'objets géographiques.

2.2.2.2. Les données attributaires

Il s'agit essentiellement de variables décrivant un objet géographique : nom d'une route, type d'un bâtiment, nombre d'habitants d'un immeuble, débit d'un cours d'eau, tension d'une ligne de transport d'énergie, type d'arbres dans un verger, etc. Les attributs ne sont pas *stricto sensu* des informations géographiques, mais contribuent à les qualifier.

2.2.2.3. Les objets géographiques

Un système de coordonnées terrestres (sphérique ou projectif) permet de référencer les objets dans l'espace et de positionner l'ensemble des objets les uns par rapport aux autres. Les objets géographiques sont organisés en couches. Généralement, une couche fait référence à un thème : par exemple, la couche des eaux superficielles référence l'ensemble des rivières d'une région.

Trois types d'entités géographiques peuvent être représentés :

- le point (x, y) ou ponctuel ;
- la ligne $((x_1,y_1), ..., (x_n, y_n))$ ou linéaire ;
- le polygone ou surfacique.

À l'heure actuelle, aucun SIG ne gère complètement les polyèdres, ou *volumiques*. Dans le meilleur des cas, celui des logiciels dits *2D½*, à un point (x, y) peut être associé une cote (z) et une seule.

2.2.2.4. Modes de représentations possibles

On distingue deux modes de représentation de l'information : le mode vectoriel et le mode matriciel ou raster.

Dans le **mode vecteur**, les objets sont représentés par des points, des lignes, des polygones ou des polygones à trous. Les limites (contours) 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.

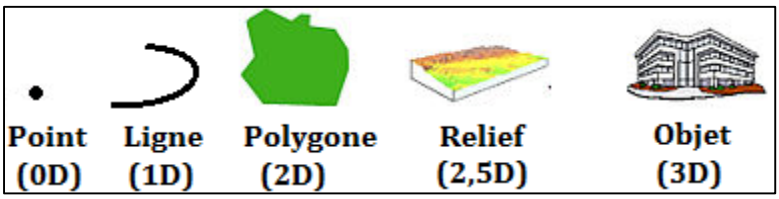


Figure 2.1. Représentations des objets Vecteurs.

Dans le **mode raster**, les objets sont représentés sous forme d'images, d'un plan ou d'une photo numérisés et affichés dans le SIG en tant qu'image. La réalité est décomposée en une grille régulière et rectangulaire, organisée en lignes et en colonnes, chaque maille de cette grille ayant une intensité de gris ou une couleur. La juxtaposition des points recrée l'apparence visuelle du plan et de chaque information. Une forêt sera "représentée" par un ensemble de points d'intensité identique.

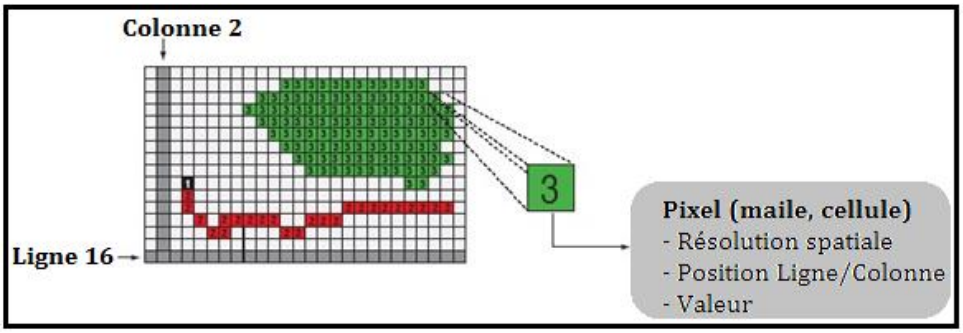


Figure 2.2. Représentation des données raster

2.2.2.5. Relation Objets/Données attributaires

Un des avantages des SIG est que les relations entre les objets peuvent être calculées et donner naissance à des points d'intersection. C'est la topologie. Ceci permet d'éviter la répétition d'objets superposés. Une parcelle bordant une route aura les mêmes sommets que ceux définis pour la route.

2.2.2.6. Système de référence spatial

Il s'agit d'un système permettant la représentation de la Terre et de sa surface. Les différents composants d'un système de référence spatial sont :

- le **référentiel géodésique** qui situe et oriente la Terre dans l'espace ;
- l'**ellipsoïde** qui modélise la Terre sous la forme d'un volume de révolution (sphère aplatie) ;
- le **système de projection** qui exprime mathématiquement la position sur une carte plane de tout point de la surface étudiée de la Terre.

2.2.2.7. Les systèmes géodésiques

Le but des systèmes géodésiques est de définir un système de coordonnées, permettant la localisation exacte d'un point dans l'espace. Pour toute application, il y a un système particulier qui répond aux besoins. Ainsi, si on veut décrire la localisation d'un arbre dans un verger, on utilisera un autre système de coordonnées que pour décrire le mouvement des planètes dans le système solaire.

La position ou localisation d'un point est donnée par ses coordonnées. Or ces coordonnées sont ambiguës tant qu'il n'est pas précisé à quel système de référence elles appartiennent. En effet, les coordonnées d'un même point diffèrent suivant le référentiel dans lequel elles sont exprimées. Or il existe de très nombreux systèmes géodésiques, adaptés à une zone d'application. Il est donc important que ce système de coordonnées soit bien décrit ; d'une part pour exploiter correctement les positions géographiques et d'autre part pour être capable de passer d'un référentiel à un autre (conversion des données d'un système à un autre).

2.2.2.8. Ellipsoïde et systèmes de projection

Dans la plupart des projets SIG, on procède tout d'abord à un découpage géographique de l'espace, qui délimite la zone d'étude. La première étape est de géoréférencer cet espace, c'est à dire le délimiter précisément par des coordonnées cartographiques (ou géographiques). C'est cette conformité qui permettra de superposer des plans de diverses natures. Pour assurer cette superposition, les différentes couches d'informations géographiques doivent avoir le même système de projection.

La Terre est un géoïde (en prenant le niveau moyen des mers), c'est à dire une sphère irrégulière. Pour la représenter, il faut trouver un modèle mathématique qui corresponde le mieux à la surface topographique de la Terre. La surface mathématique utilisée est donc un ellipsoïde (dit de révolution), un volume géométrique régulier proche du géoïde. Les Ellipsoïdes de référence sont celui de Newton au 17e, puis de Clarke dès 1880 et de Hayford depuis 1924.

2.2.2.9. L'analyse spatiale

Les données contenues dans un SIG décrivent un terrain et donc, permettent d'appréhender les évènements potentiels pouvant survenir. L'utilisation des données dans la résolution de problématiques variées valorisera d'avantage un système d'information. Les principales possibilités offertes par la mise à disposition de renseignements géométriques et de renseignements sémantiques concernent la mise en relation mutuelle d'objets localisés ayant certaines propriétés.

Les différentes relations que l'on peut mettre en œuvre concernent la proximité (trouver les objets proches d'un autre), la topologie (objets jointifs, inclus, partiellement inclus, exclus…) ou la forme (taille, type…). Comme les objets possèdent aussi des attributs traduisant des propriétés autres que géométriques, les analyses faites dans les systèmes d'information classiques, c'est à dire sans utiliser de fonction géométrique, peuvent être réalisées. Il est ensuite naturel d'utiliser une combinaison entre les propriétés géométriques et les propriétés sémantiques afin de réaliser une analyse complète.

Il est ainsi possible de rechercher les objets ayant certaines propriétés, situés dans une zone donnée ou à une distance maximale d'un lieu fixé. Les informations supplémentaires amenées par les propriétés géométriques sont utilisées pour effectuer des traitements complexes qui affinent des analyses et qui accélèrent leur mise à disposition car elles peuvent souvent être réalisées avec un seul outil.

2.3. Globe terrestre et Systèmes de projection

2.3.1. Coordonnées géographiques

Les **coordonnées géographiques** servent à repérer un point à la surface de la Terre. Elles sont définies selon les Méridiens et les Parallèles.

- Les **Méridiens** sont de grands cercles passant par les pôles de la Terre,
- Les **Parallèles** sont de grandes lignes circulaires parallèles à l'équateur qui est la Parallèle origine

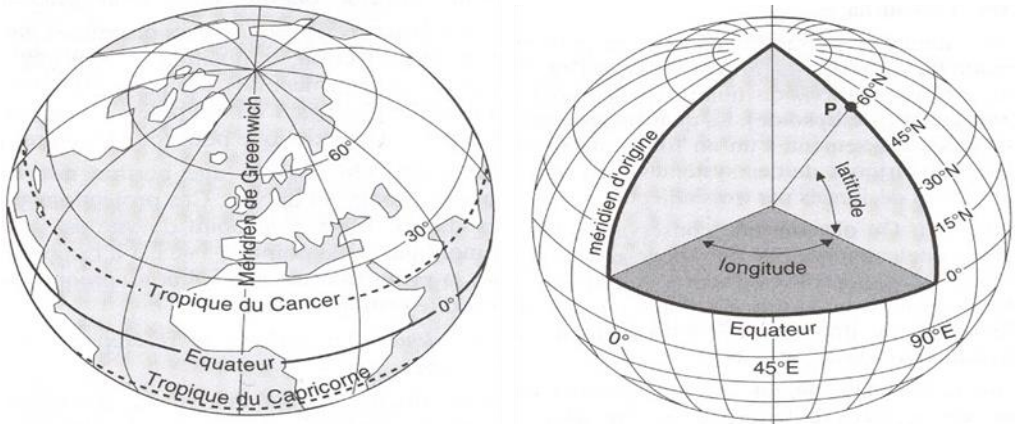


Figure 2.3. Représentation d'un point géographique.

2.3.1.1. La longitude

La **Longitude d'un point** est la mesure de l'arc de l'équateur entre le méridien qui traverse ce point et le méridien d'origine. De 0 à 180° ou de 0 à 200 grades de part et d'autre du Méridien de Greenwich défini depuis 1884 comme Méridien d'origine pour la production des cartes géographiques. Elle est définie selon deux directions :

- l'Est pour les points situés à gauche du Méridien de Greenwich (Longitude Est) ;
- l'Ouest pour les points situés à droite du Méridien de Greenwich (Longitude Ouest).

2.3.1.2. La latitude

La **latitude d'un point** est la mesure de l'arc du méridien passant par ce point, compris entre l'équateur et la Parallèle de ce point. De 0 à 90° ou de 0 à 100 grades de part et d'autres de l'équateur. Tout comme la longitude, elle est définie selon deux directions :

- le Nord pour les points situés au-dessus de l'équateur (Latitude nord) ;
- le Sud pour les points situés en dessous de l'équateur (Latitude Sud).

2.3.2. Les systèmes de projection

Les **systèmes de projection** servent à transcrire, sur un plan ou carte, une surface courbe, notamment celle de la Terre, sans trop altérer ou provoquer des déformations de distances, d'angles et de surfaces.

On distingue plusieurs formes de projections cartographiques, classés selon deux types de critères :

- **La réduction des altérations**

Ce critère regroupe d'une part les **projections conformes** qui permettent la conservation des rapports d'angles sur la carte par rapport à la Terre, ce qui autorise notamment leur utilisation pour la navigation maritime et aérienne. D'autre part, il regroupe les **projections équivalentes** qui préservent les rapports de surfaces.

- **Les surfaces de projection**

Ce critère regroupe les projections **cylindriques**; les projections **coniques** et les projections **azimutales** ou stéréographiques.

Globalement, la projection sert à passer de la forme sphérique à la forme « plane ». Elle s'appuie sur deux éléments : le géoïde et l'ellipsoïde.

2.3.2.1. Le Géoïde

Le **Géoïde** est la surface théorique déterminée par des mesures et qui se rapproche le plus possible de la forme de la Terre. La surface des océans (3/4 de la surface de la Terre) se confond avec le géoïde et est considérée comme l'origine des altitudes.

La surface de la partie terrestre de la Terre s'écarte davantage du géoïde (8846 m d'altitude pour le mont Everest et 4 100m d'altitude pour le mont Cameroun) que la surface océanique. Mais cette élévation est insignifiante à l'échelle de la Terre compte tenu de sa taille.

2.3.2.2. L'ellipsoïde

L'**Ellipsoïde** est une surface mathématique, c'est-à-dire théorique, qui se rapproche le plus du géoïde. La Terre est assimilée à un ellipsoïde de révolution aplati aux pôles.

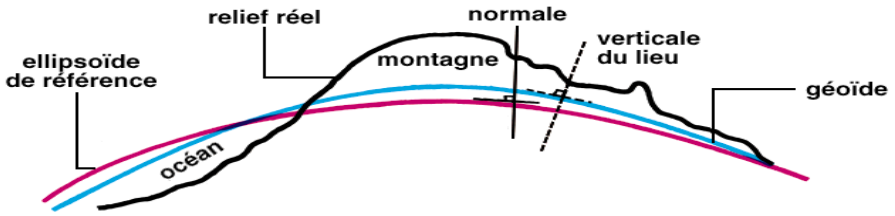


Figure 2.2. Illustration du géoïde, de l'ellipsoïde et du relief naturel.

Parmi les ellipsoïdes couramment utilisés, on distingue le **WGS84** qui signifie *World Geodetic System*, créé en 1984, à la suite de WGS72 et WGS66. Ce géoïde, reconnu comme système mondial et utilisé dans les GPS, est similaire à IAG-GRS80 (*International Association of Geodesy - Geodetic Reference System*) et NAD83, développé à la suite de NAD27.

Une fois un ellipsoïde fixé, on peut choisir le type de projection à appliquer pour obtenir une carte. Ce choix est conduit par l'usage qui sera fait de la carte mais aussi de la position de la région à cartographier sur le globe. Les projections peuvent avoir diverses propriétés :

- La projection **équivalente** : conserve localement les surfaces ;
- La projection **conforme** : conserve localement les angles, donc les formes ;
- La projection **aphylactique** : elle n'est ni conforme ni équivalente, mais peut être équidistante, c'est-à-dire conserver les distances sur les méridiens.

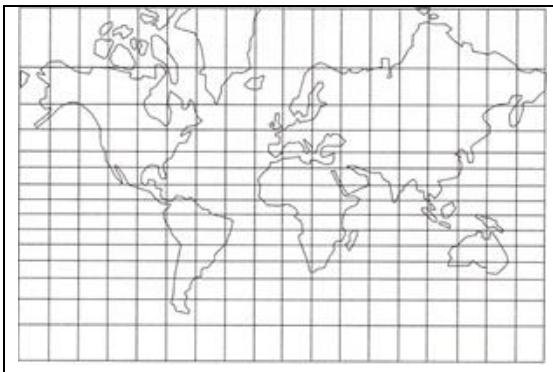
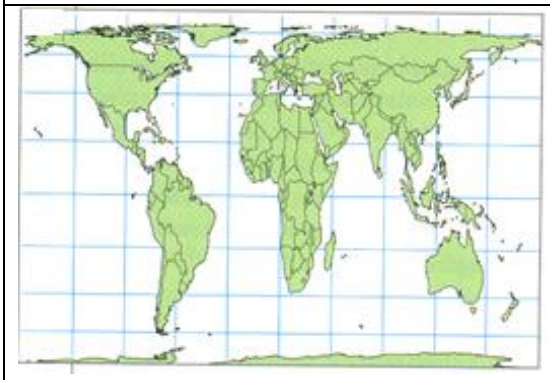
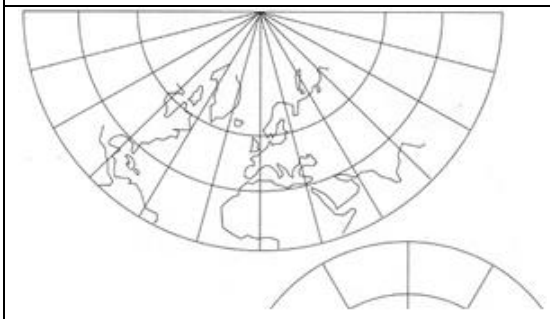
Une projection ne peut pas être à la fois conforme et équivalente. Elle passe généralement par la représentation de la totalité ou d'une partie de l'ellipsoïde sur une surface développable, c'est-à-dire une surface qui peut être étalée sans déformation sur un plan.

Les trois formes mathématiques courantes qui répondent à ce critère donnent lieu aux trois types principaux de projections :

- la projection **cylindrique** ;
- la projection **conique** ;
- la projection **azimutale**.

2.3.2.3. Quelques systèmes de projections célèbres

Le tableau suivant décrit quelques systèmes de projection couramment utilisés.

	**Mercator : projection cylindrique conforme.** Dans ce système, le plus utilisé actuellement, les méridiens et les parallèles sont des droites qui se coupent orthogonalement. Cette projection présente l'intérêt de pouvoir être centrée sur n'importe quel méridien, ce qui permet de placer, les Amériques, l'Asie, voire l'océan Pacifique au centre de la carte. Elle a par contre le défaut d'accroître les surfaces vers les pôles et de « surreprésenter » les régions les plus riches du monde, couramment appelées régions du Nord, compte tenu de leur localisation. Elle est utilisée généralement pour la production des cartes militaires, de navigation, etc.
	La projection de **Peters**, contrairement à la projection de Mercator, tente de prendre en compte la taille réelle des continents. Elle maintient la proportion entre les surfaces sur la carte et les surfaces réelles. Mais, localement, cette projection ne conserve pas les angles, ce qui se traduit par la déformation des continents et la mise en avant des pays dits du Sud, contrairement à la projection de Mercator qui accorde une plus grande surface aux pays de l'hémisphère Nord du fait de sa distorsion.
	**Lambert: projection conique conforme.** Les méridiens sont des droites concourantes au pôle, les parallèles sont des cercles concentriques également au pôle. C'est la projection officielle pour les cartes topographiques de la France, de la Belgique et de l'Estonie. ainsi que pour les cartes couvrant toute l'Europe à des échelles inférieures ou égales au 1:50 000. Ce système est utilisé pour la production des cartes politiques, démographiques etc.

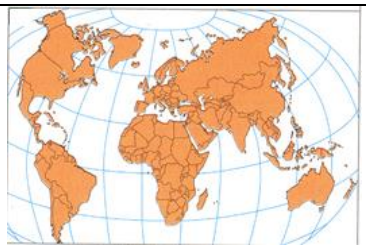
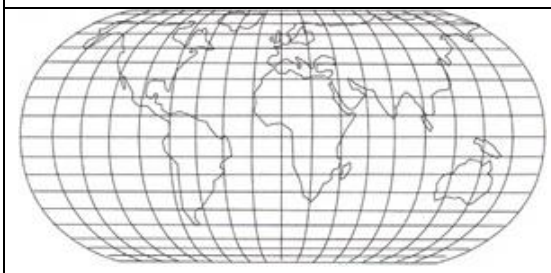
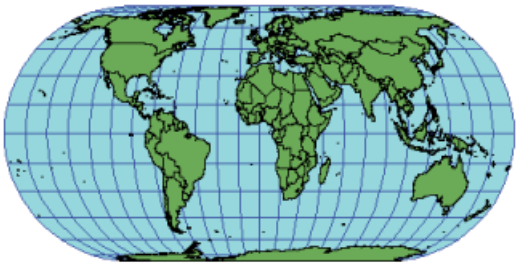
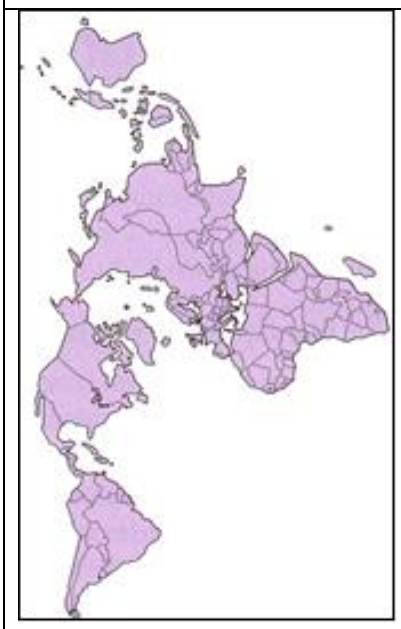
	**Bertin :** La projection de Bertin, dite à compensation régionale, présente la plus faible distorsion au pôle Nord
 	**Eckert : Projection équivalente elliptique** Cette projection sert principalement à réaliser des cartes du monde. Les parallèles sont des lignes droites non équidistantes et qui se rapprochent au niveau des pôles. Les méridiens sont des arcs elliptiques également espacés. Les pôles et le méridien central forment des lignes droites aussi longues que l'équateur. Elle est utile seulement en tant que carte mondiale et sert à produire des cartes thématiques du monde, telles que les cartes climatiques.
	**Fuller :** La projection de Fuller place les déformations extrêmes au niveau des océans et conserve les formes des continents tout en les présentant dans une position mettant en valeur leur proximité. Cette projection est adaptée pour illustrer les grands flux mondiaux : hommes, marchandises, capitaux, communications, etc.

Figure 2.3. Quelques illustrations de projections

2.4. Conception d'une BD à références spatiales

2.4.1. Le but

Un bon SIG passe par une bonne conception de la BD à référence spatiale. En effet, une BD mal conçue entraînerait un SIG peu efficace ou tout simplement in-opérationnel. La Base de données repose sur un modèle appelé modèle conceptuel des données (MCD). Ce modèle décrit de façon formelle les données qui seront utilisées par le système d'information. Il s'agit donc d'une représentation des données, facilement compréhensible, permettant de décrire le système d'information à l'aide d'entités.

Une bonne base de données doit respecter quatre critères fondamentaux :

- **Éviter la redondance des données** : Lorsqu'une base de données est mal ou pas du tout conçue, elle s'expose à la redondance des données qui consiste à enregistrer plusieurs fois la même information. Cette situation rend fastidieux la mise à jour des données, fausse les statistiques et favorise des incohérences et des erreurs dans la base de données. Imaginer qu'un logiciel de banque enregistre plusieurs fois un même retrait ou un même versement dans un compte bancaire…
- **Éviter l'incohérence dans les données :** L'incohérence survient lorsque deux informations contradictoires sont enregistrées dans la base de données, relatives à un même sujet. Par exemple, une personne qui est à la fois de sexe masculin et féminin.
- **Éviter la perte de données :** la perte de données survient quand une information est bien présente dans la base de données mais sans possibilité (clé) d'accès.
- **Garantir l'accès aux données en temps raisonnable :** Dans certaines circonstances, on doit prendre des décisions dans des délais très courts. Si la base de données qui est un outil d'aide à la décision ne fournit pas l'information demandée à temps, cette information ne servira plus à rien.

Dans cette section, nous proposons une démarche méthodologique qui aboutit à une base de données respectant ces quatre critères.

2.4.2. Entités et classe d'entité

Une ***entité*** est la représentation d'un élément matériel ou immatériel ayant un rôle dans le système que l'on désire décrire.

On appelle ***classe d'entité*** un ensemble composé d'entités de même type, c'est-à-dire dont la définition est la même. Le classement des entités au sein d'une classe s'appelle *classification* (ou *abstraction*). Une entité est une *instanciation* de la classe. Chaque entité est composée de propriétés ou données élémentaires permettant de la décrire.

Prenons par exemple un *centre de santé*, une *clinique* et un *hôpital central*. Il s'agit de 3 entités faisant partie d'une classe d'entités que l'on pourrait appeler *Établissement sanitaire*. La clinique est donc une instanciation de la classe Établissement sanitaire. Chaque entité peut posséder les propriétés *capacité d'accueil*, *année d'ouverture* et *superficie*.

Les classes d'entités sont représentées par un rectangle. Ce rectangle est séparé en deux champs:

- le champ du haut contient le libellé ou le nom de la classe d'entités. Par exemple : route, église, école, plantation, etc. Il faut surtout vérifier qu'à chaque classe d'entités correspond un et un seul libellé, et réciproquement.
- le champ du bas contient la liste des propriétés de la classe d'entité

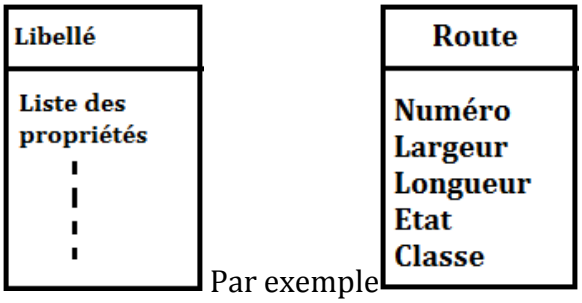
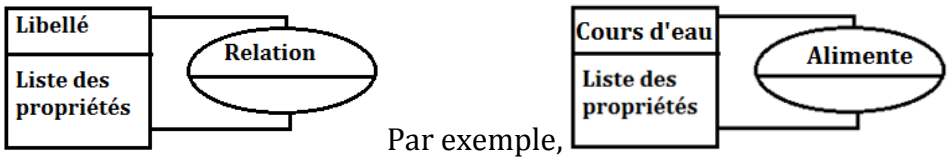


Figure 2.4. Représentation d'une classe d'entités

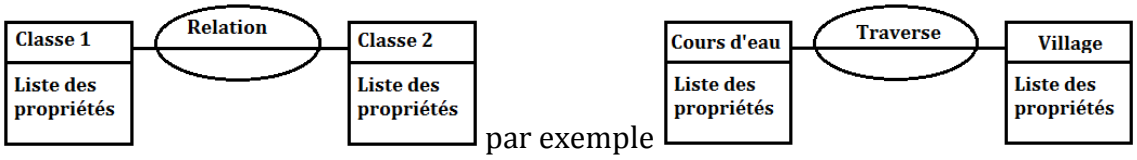
2.4.3. Relations et classes de relation

Une ***relation*** (appelée aussi parfois *association*) représente les liens sémantiques qui peuvent exister entre plusieurs entités. Une ***classe de relations*** contient donc toutes les relations de même type. C'est-à-dire des associations qui relient des entités appartenant à des mêmes classes d'entités. Une classe de relation peut lier une classe à elle-même ou plusieurs classes d'entités entre-elles. Voici les dénominations des classes de relation selon le nombre d'intervenants :

- Une classe de relations **récursive** (ou réflexive) encore appelée classe de relations unaire relie une classe d'entités à elle-même.



- Une classe de relations binaire relie deux classes d'entités.



- une classe de relations **ternaire** relie trois classes d'entités

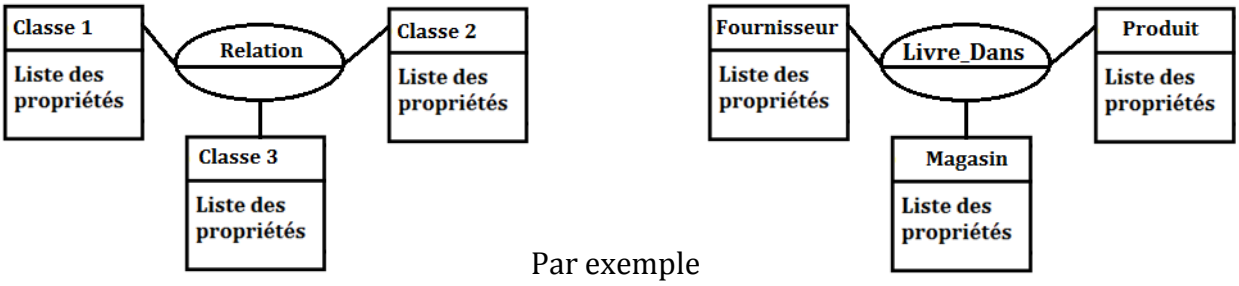


Figure 2.5. Catégories d'associations (relations).

On peut éventuellement ajouter des propriétés aux classes de relations. Ces propriétés sont alors appelées **propriétés d'association**. Ce sont des propriétés qui ne peuvent appartenir à aucune classe d'entités faisant partie de l'association. Par exemple, la *note* est une propriété d'association entre une classe d'entités libellée *matière* et une classe d'entités libellée *étudiant*.

De manière plus générale, on peut définir des relations n-aire, qui relient n classes différentes de sorte que l'absence d'une classe rende impossible la relation.

2.4.4. La cardinalité

Les cardinalités permettent de caractériser le lien qui existe entre une entité et la relation à laquelle elle est reliée. La cardinalité d'une relation est composée d'un couple comportant une borne minimale **(min)** et une borne maximale **(max)**, intervalle dans lequel la cardinalité

d'une entité peut prendre sa valeur. Elle est placée sur le lien de relation et du côté de la classe d'entités. Dans une relation donnée, chaque classe a sa cardinalité qui lui est propre.

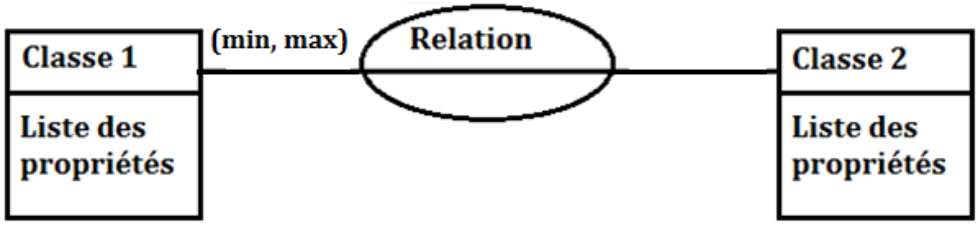


Figure 2.6. Représentation de la cardinalité.

- la **borne minimale (min)**, généralement 0 ou 1, décrit le nombre minimum de fois qu'une entité de la classe concernée peut participer à la relation.
- la borne maximale (max), généralement 1 ou n, décrit le nombre maximum de fois qu'une entité de la classe concernée peut participer à la relation.

Parmi les cardinalités les plus usuelles, on distingue :

- La cardinalité (1.N) qui signifie que chaque entité appartenant à la classe d'entités concernée par la relation participe au moins une fois à la relation ;
- La cardinalité (0.N) qui signifie que chaque entité appartenant à la classe d'entités concernée peut participer plusieurs fois ou pas du tout à la relation ;
- La cardinalité (0,1) qui signifie que chaque entité de la classe d'entités concernée participe au plus une fois à la relation ;
- La cardinalité (1,1) qui signifie que chaque entité de la classe concernée participe exactement une fois à la relation.

2.4.5. Les identifiants

L'identifiant est un ensemble particulier de propriétés (une ou plusieurs) d'un objet tel qu'il n'existe pas deux occurrences de cet objet pour lesquelles cette propriété pourrait prendre une même valeur.

Le modèle conceptuel des données (MCD) propose de faire précéder d'un # les identifiants, ou de *les **souligner***.

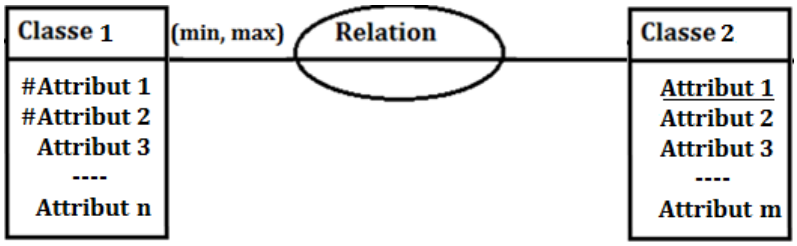


Figure 2.7. Représentation des identifiants dans une classe d'entités.

Ainsi, chaque classe d'entité doit posséder au moins un attribut identifiant, et l'ensemble de ses attributs identifiants doit être renseigné à la création de l'entité. Dans la classe 1 ci-dessus, cet ensemble est composé de deux attributs (#Attribut 1 et # Attribut 2) alors que dans la classe 2, l'ensemble est constitué d'un seul attribut (Attribut 1).

Pour les BD à référence spatiale, parmi les attributs, certains seront des références spatiales (longitude, latitude, altitude). De plus, d'autres tels que la longueur, la superficie, très manipulés dans les SIG seront très souvent rencontrés.

2.5. Le modèle Logique de Données (MLD)

2.5.1. Description

Le modèle logique des données consiste à décrire la structure de données utilisée sans faire référence à un langage de programmation. Le MLD décrit les différentes tables utilisées dans le SIG. Ce modèle est déduit du MCD par une série de deux transformations : la transformation des classes d'entités et la transformation des relations.

2.5.2. Traduction d'une classe d'entités

Chaque classe d'entité du modèle conceptuel de données (MCD) devient une relation appelée table dans le modèle logique. Cette relation est de la forme R(A) où R est le nom de la classe et A l'ensemble de ses propriétés nommées « *Attributs* » dans la relation. Ces attributs seront appelés « *Colonnes* » dans la table dans un SIG. Les identifiants de la classe d'entités sont appelés clés de la relation ainsi obtenue et sont précédés du caractère # à défaut d'être

soulignés dans le modèle relationnel, tandis que les propriétés standards deviennent des attributs de la relation, c'est-à-dire des colonnes de la table.

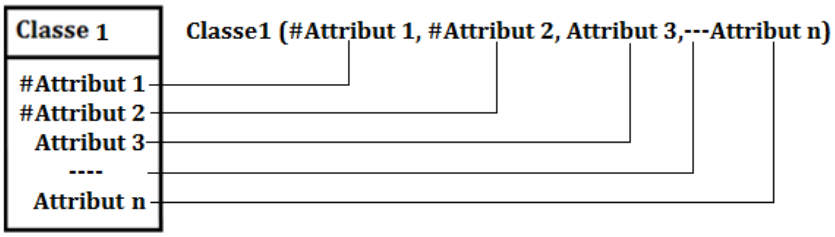


Figure 2.8. Transformation d'une classe d'entités en relation ou table.

2.5.3. Traduction d'une classe de relation

La traduction des classes de relation ou associations se fait en fonction du type de relation. On distingue trois types d'association ou de relation :

- Les associations de type un-à-un ;
- Les associations de type un-à-plusieurs ;
- Les associations de type plusieurs à plusieurs.

2.5.3.1. Transformation des associations de type un-à-un

Une association est qualifiée de type un-à-un lorsqu'el dispose à chacune d ses extrémités une cardinalité (1,1). Par exemple :

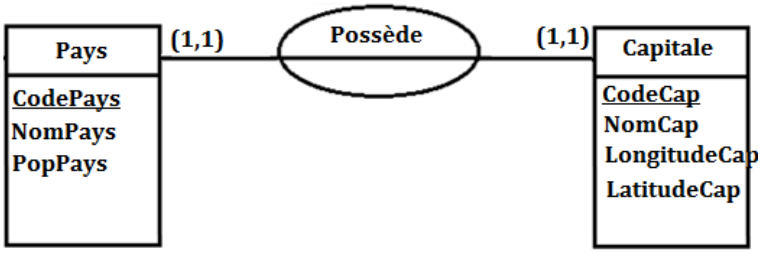


Figure 2.9. Exemple d'association de type un-à-un.

La transformation d'une telle association se fait en important dans chacune des relations issues de la transformation des classes d'entités participantes l'identifiant de l'autre classe d'entités correspondante, éventuellement renommé, comme **clé étrangère**.

La **clé étrangère** désigne une clé primaire qui a migré dans une autre relation ou table. Elle est généralement utilisée pour faire la jointure entre des tables ou relations. La clé étrangère est matérialisée par une étoile (*) à la suite du nom de l'attribut.

Ainsi, à l'issue de la transformation de la classe d'association de la figure 2.9 précédente, les relations **Pays** (CodePays, NomPays, PopPays) et **Capitale** (CodeCap, NomCap, LongitudeCap, LatitudeCap) issues de la transformation des classes d'entités Pays et Capitale deviennent respectivement : **Pays** (CodePays, NomPays, PopPays, Capital*) et **Capitale** (CodeCap, NomCap, LongitudeCap, LatitudeCap, Pays*).

2.5.3.2. Transformation des associations de type un-à-plusieurs

Une association est qualifiée de type un à plusieurs lorsqu'elle possède à une et une seule de ses extrémités une cardinalité (1,1). Par exemple :

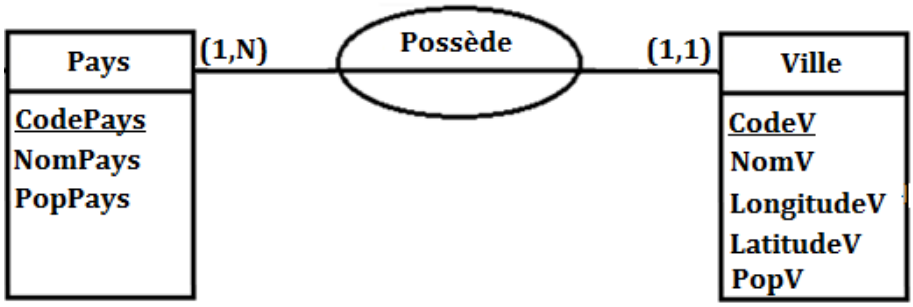


Figure 2.10. Exemple d'association de type un-à-plusieurs.

La transformation d'une telle association se fait en modifiant simplement la relation issue de la transformation de la classe d'entités de cardinalité (1,1). Cette modification consiste en l'importation de l'identifiant de l'autre classe d'entités comme clé étrangère, en le renommant éventuellement.

Ainsi, à l'issue de la transformation de la classe d'association de la figure 2.10 précédente, la relation **Ville** (CodeV, NomV, LongitudeV, LatitudeV) issue de la transformation de la classe d'entités Ville devient **Ville** (CodeV, NomV, LongitudeV, LatitudeV, Pays*). Pays* est la clé étrangère désignant le code du pays possédant la ville. Le cas échéant, les propriétés d'association sont importées au même titre que l'identifiant, mais comme simples attributs.

2.5.3.3. Transformation des associations de type plusieurs-à-plusieurs

Une association est qualifiée de type plusieurs-à-plusieurs lorsqu'elle ne possède à aucune de ses extrémités une cardinalité (1,1). Par exemple :

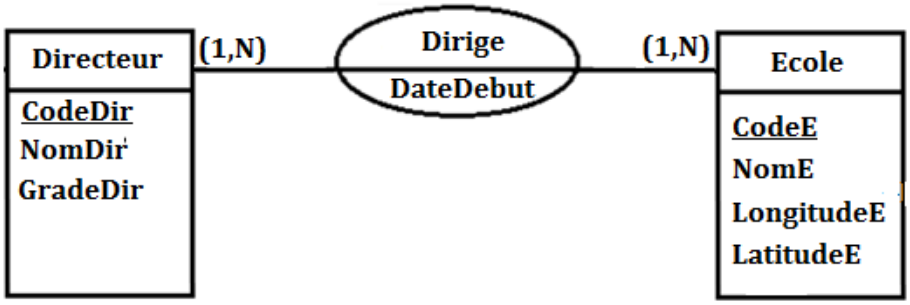


Figure 2.11. Exemple d'association de type plusieurs-à-plusieurs.

La transformation d'une telle association se fait en créant une **nouvelle relation** portant éventuellement le nom de l'association. À cette nouvelle relation est créée une clé primaire et les identifiants des classes d'entités participantes sont importées comme clés étrangère, et compétés par d'éventuelles propriétés d'associations.

Ainsi, à l'issue de la transformation de l'association de la figure 2.11 précédente, on obtient les trois relations suivantes, les deux premières étant obtenues lors de la première phase de transformation des classes d'entités *École* et *Directeur* et la dernière étant issue de la transformation de la classe d'associations *Dirige*.

Ecole (CodeE, NomE, LongitudeE, LatitudeE) ;

Directeur (CodeDir, NomDir, GradeDir) ;

Dirige (IdDir, Directeur*, Ecole*, DateDebut).

Les attributs Directeur et Ecoles de la nouvelle relation Dirige sont des clés étrangères issues des relations Directeur et Ecole, où ils sont clés primaires.

Ce modèle permet de réaliser les formulaires d'enquête de manière fiable est exhaustive. Pour l'exemple ci-dessus, le formulaire d'enregistrement des écoles se présentera de la manière suivante :

ENREGISTREMENT DES ECOLES			
Code de l'école	**Nom de l'école**	**Longitude de l'école**	**Latitude de l'école**

2.5.4. Dictionnaire des données

Le Dictionnaire des données est un tableau identifiant et décrivant l'ensemble des codes ou symboles utilisés dans le MLD. Il se présente sous la forme suivante :

Code	Désignation	Type	Taille	Nature	Référence

- Le champ **Code** indique la chaine de caractères utilisée pour désigner l'attribut. Par exemple, « *IdDir* » ;
- Le champ **Désignation** précise la signification littérale de l'attribut. Par exemple « *Numéro d'ordre de la fonction de Directeur occupé par un Directeur indépendamment de l'école* ».
- Le champ **Type** indique le type de caractères attendus colle valeur de l'attribut. Il peut s'agir d'un Nombre, d'une chaine de caractères (alphabétique ou alphanumérique), d'un caractère, d'une date, d'une monnaie, d'un Booléen etc.
- Le champ **Taille** n'est valable que pour les types alphabétiques et alphanumériques. Il définit le nombre maximal de caractères que peut prendre une valeur d'attribut.
- Le champ **Nature** indique s'il s'agit d'une clé primaire (PK pour *Primary Key*), d'une clé étrangère (FK pour *Foreign Key*) ou d'un simple attribut.
- Le champ **Référence** précise la table ou relation d'appartenance de l'attribut.

Ce dictionnaire permet de mieux rédiger les requêtes d'accès à la base de données SIG. D'autres champs peuvent s'y ajouter, mais ceux-ci sont suffisants pour une bonne exploitation d'une base de données.

2.6. Quelques données images pour SIG

Le SIG s'appuie généralement sur un support image. Ce support peut être :

- Une image satellitaire radar ;
- Une image satellitaire optique ;
- Une photographie aérienne ;
- Une carte préalablement réalisée et validée ;
- Une image classifiée ou une spatio-carte ;
- Un tracking à partir d'un GPS.

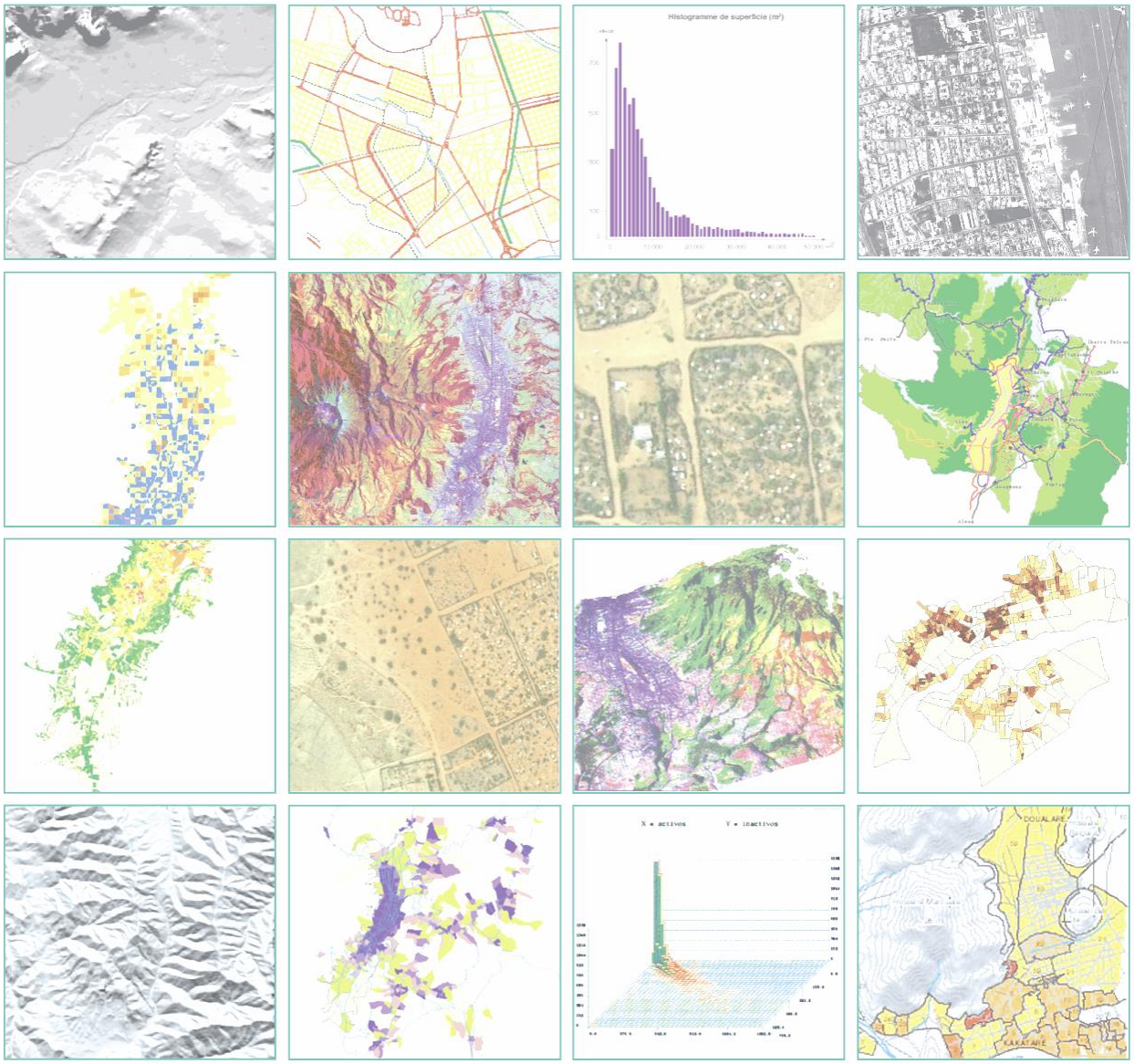


Figure 2.12. Illustration de quelques données sources de SIG

À partir de l'image de fond, une structuration est organisée. Des thématiques appelées couches d'information sont identifiées sur l'image. Par exemple Une même image peut avoir tout ou partie des couches suivantes : l'habitat, les routes, les cours d'eau, la végétation, la forêt, la savane, les champs agricoles, les lacs etc. Les éléments d'une couche peuvent être soi des points, soit des lignes, soit des polygones ou multi-polygones.

2.6.1. LES POINTS :

Ils définissent des localisations d'éléments séparés pour des phénomènes géographiques trop petits pour être représentés par des lignes ou des surfaces qui n'ont pas de surface réelle comme les points cotés.

2.6.2. LES LIGNES :

Les lignes représentent les formes des objets géographiques trop étroits pour être décrits par des surfaces (ex : rue ou rivières) ou des objets linéaires qui ont une longueur mais pas de surface comme les courbes de niveau.

2.6.3. LES POLYGONES :

Ils représentent la forme et la localisation d'objets homogènes comme des pays, des parcelles, des types de sols.....

2.6.4. Les domaines d'application

Les domaines d'application des SIG sont aussi nombreux que variés.
Citons cependant :

- Tourisme (gestion des infrastructures, itinéraires touristiques)
- Marketing (localisation des clients, analyse du site)
- Planification urbaine (cadastre, POS, voirie, réseaux assainissement)
- Protection civile (gestion et prévention des catastrophes)
- Transport (planification des transports urbains, optimisation d'itinéraires)
- Hydrologie
- Forêt (cartographie pour aménagement, gestion des coupes et sylviculture)
- Géologie (prospection minière)
- Biologie (études du déplacement des populations animales)
- Télecoms (implantation d'antennes pour les téléphones mobiles)

2.6.5. Qu'est-ce que cela apporte ?

- les informations sont stockées de façon claire et définitive ;
- une multitude d'informations attributaires renseigne sur des objets ;
- les phénomènes sont mieux compris, mieux maîtrisés et les risques à travers des simulations sont prévenus ;
- établir des cartographies rapides
- localiser dans l'espace et dans le temps
- réagir rapidement après des évènements ayant un impact sur le territoire
- calculer des coûts ou des bénéfices
- associer un plus grand nombre de partenaires aux choix d'aménagement
- fournir des itinéraires, des plans adaptés

2.6.6. Quelques exemples de questions auxquelles un SIG peut répondre aux préoccupations suivantes :

- Quel est l'état des routes sur une commune?
- Qu'est-ce qui a changé depuis 2002?
- Quelles sont les parcelles concernées par une inondation éventuelle ?
- Quelles sont les zones sensibles en cas d'avalanches ou de glissement de terrain ?
- Quel est le chemin le plus rapide pour aller de la caserne des pompiers à l'incendie ?
- Que se passe-t-il si une substance toxique se déverse à tel endroit ?
- Où implanter des postes de surveillance d'incendie de forêt ?
- Trouver les zones favorables à la culture du riz ?
- Comment évolue la déforestation dans le bassin du Congo ?
- Recherche de sites propices à la culture des algues sur la côte atlantique ?
- Quelles sont les localités desservies par le corridor Douala-Bangui ?

2.6.7. Missions d'un Systèmes d'Information géographique

Un SIG permet :

- de disposer les objets dans un système de référence géo-référencé ;
- de convertir les objets graphiques d'un système à un autre ;
- de faciliter la superposition de cartes de sources différentes ;
- d'extraire tous les objets géographiques situés à une distance donnée d'une route ;
- de fusionner des objets ayant une caractéristique commune (par exemple : toutes les maisons raccordées à un réseau d'eau potable) ;
- de déterminer l'itinéraire le plus court pour se rendre à un endroit précis ;
- de définir des zones en combinant plusieurs critères (par exemple : définir les zones inondables en fonction de la nature du sol, du relief, de la proximité d'une rivière)

CHAPITRE 3. LA CARTOGRAPHIE

3.1. Fondamentaux de la cartographie

La cartographie constitue un des moyens privilégiés pour l'analyse et la communication en géographie. Elle sert à mieux comprendre l'espace, les territoires et les paysages. Elle est aussi utilisée dans des sciences connexes, démographie, économie dans le but de proposer une lecture spatialisée des phénomènes. Le travail du cartographe est un travail de sélection des informations, composé de plusieurs étapes parmi lesquelles :

3.1.1. Description du sujet, cahier des charges

La description du sujet est l'étape fondatrice. Il est important d'établir clairement l'objet de l'étude, la problématique-titre, l'espace de la représentation, ainsi que l'objectif de la carte, son public, et son usage. Les premiers facilitent la collecte d'informations, les derniers donnent des indications sur le style de la carte : une carte généraliste peut avoir des traits simplifiés, peu de labels et nécessite des icônes explicites, une carte pour spécialistes aura des tracés rigoureux, sera remplie de petites icônes, et pourra utiliser des conventions d'usages (vocabulaire, icônes) de la profession.

3.1.2. Description graphique de l'espace

La description graphique de l'espace — ou « fond (carto)graphique vierge » — est généralement la première étape de sélection et création. Elle demande à la fois de cerner géographiquement le sujet, et une enquête sur cet espace, qui est soit un travail de terrain, de géomètre, par GPS, laser télémètre, Field-Map, ou de photographies satellites. Il y a ensuite sélection, épuration des données graphiques. On passe alors de la photographie ou de l'excès d'informations graphiques aux traits symboliques que l'on souhaite montrer : rivières, frontières administratives, altitudes, etc. C'est ici aussi qu'intervient le choix de la projection cartographique (qui implique certaines déformations), du zoom (qui implique une certaine échelle type 1/25 000 ou 1/10 000), et du cadrage sur l'ensemble du sujet (élargir et réserver

un espace pour la légende si nécessaire). La représentation peut être réaliste, représentant l'espace physique avec un minimum de transformation, ou volontairement déformante, c'est le cas des cartes symboliques de l'antiquité ou des cartogrammes aux surfaces déformées en fonction des valeurs statistiques associées à un espace.

3.1.3. Collecte et sélection des informations utiles

Cette phase consiste en la collecte et la sélection des informations utiles à afficher sur la carte : informations physiques, biologiques, humaines et statistiques, politiques (votes), des flux, ou de l'histoire et des actions. Cette collecte demande un travail d'enquête, fonction du sujet choisi. Une carte physique géologique demande un travail d'enquête d'un géologue. Une carte historique demande le travail d'enquête d'un historien, sélectionnant les faits clefs à afficher. Une carte socio-fiscale demandera un travail de recherche statistique, etc.

En général, le demandeur fait une préparation à la main au cartographe avant que celui-ci ne commence son travail. Cependant, il arrive qu'il se repose sur le cartographe pour faire une carte avec seulement des indications écrites. Si le cartographe a besoin de compléments, il suffit qu'il les trouve par ses propres moyens.

3.1.4. Conventions cartographiques

Avant de dessiner la carte, il est nécessaire de créer une convention cartographique, définissant icônes, labels (fonte de caractères), lignes (routes, frontières, cadre de la carte), et fond spatial (code de couleur pour les terres, les océans, les altitudes) : la forme, le style, la couleur de chaque élément sémantique sont définies. Ceci sera la base de la légende. Ces éléments doivent être pensés ensemble, afin d'avoir de l'harmonie graphique, tant dans les couleurs que dans les tailles, ou dans la complexité de leurs dessins. C'est à ce stade qu'entrent en jeu des opérations de généralisation cartographique. Les conventions cartographiques prennent une importance particulière lorsqu'un lot de cartes doit être produit par différents cartographes. Par rapport aux couleurs et à l'espace, il peut être intéressant de connaître le théorème des quatre couleurs.

Le théorème des quatre couleurs indique qu'il est possible, en n'utilisant que quatre couleurs différentes, de colorer1 n'importe quelle carte découpée en régions connexes, de sorte que deux régions adjacentes (ou limitrophes), c'est-à-dire ayant toute une frontière (et non simplement un point) en commun reçoivent toujours deux couleurs distinctes.

3.1.5. Assemblage graphique par calques

Après avoir sélectionné les données utiles, l'assemblage se fait « par calque ». Généralement : (1) contour des terres, fleuves, montagnes, (2) icônes et routes, (3) flux et mouvements, (4) labels, puis (5) légende, localisateur et échelle. Il est important de ne pas « polluer de bruit graphique (chartjunk) » la carte. Les labels doivent apparaître clairement, mais sans cacher, ou gâcher les autres informations présentes. Aussi, le choix de la taille, et l'emplacement des labels a son importance. Lorsque le projet de carte est terminé, l'auteur/chercheur et le cartographe se réunissent pour évaluer les modifications à effectuer, jusqu'à ce que le demandeur soit satisfait. Ensuite la carte peut être publiée.

3.1.6. Autres astuces

Le titre de la carte doit résumer le sujet avec précision et concision, la légende doit être claire, l'échelle notée et la source indiquée. Dans le cadre d'ensembles ou d'atlas, une convention de nommage peut aussi être nécessaire pour les titres et fichiers informatiques.

3.2. Grandes familles cartographiques

De nombreuses sous-branches existent. La plus élémentaire est la cartographie politique, qui définit les frontières, historiquement très liée à la cartographie physique, qui définit les éléments du relief que sont monts et collines, plaines et rivières, et maintenant développée en une cartographie topographique exposant précisément les élévations ou dépressions. D'autres branches notables sont la cartographie humaine, avec la cartographie socio-statistique qui expose sur l'espace du papier les aspects sociaux que sont les densités humaines, les richesses, l'IDH, etc. La cartographie des flux (économiques, humains,

biologiques) et la cartographie géopolitique qui expose les forces et faiblesses d'entités exposées sont également très appréciées pour illustrer, simplifier (sélectionner), communiquer et comprendre dans leur extension en surface des phénomènes complexes.

Il existe de nombreux types de cartographies posant des problématiques spécifiques de relevé d'informations. Ci-dessous quelques exemples :

- Cartographie physique
- Cartographie biologique
- Cartographie humaine (statique)
- Cartographie politique et administrative
- Cartographie des flux
- Cartographie historique

3.3. Éléments fondamentaux d'une carte

Une carte, quelle qu'elle soit, doit avoir au moins les 7 éléments fondamentaux suivants :

- **Le fond de carte :** Les contrastes de couleurs des différents objets présents sur la carte doivent être suffisamment élevées et se rapprocher le plus possible des couleurs observées dans la nature, ou usuellement rencontrées.
- **Le titre de la carte :** Le titre doit être succinct, expressif très précis et concis par rapport à la carte.
- **La légende :** La légende doit être écrite de manière lisible, sur un fond uni couleur et clair. Elle doit définir tous les objets présents sur la carte.
- **L'échelle :** L'échelle est le facteur de réduction par rapport à la réalité que la carte représente. Par défaut, l'unité sur la carte est le millimètre pour représenter un certain nombre de mètres ou de kilomètres sur le terrain.
- **La source et la date de réalisation :** La source peut être une personne physique, mais davantage une personne morale (Laboratoire, Cabinet, etc.) à qui incombe le chef-d'œuvre ainsi réalisé.

- **Les coordonnées géographiques de la carte :** Il s'agit de définir la longitude minimale el la longitude maximale d'une part, puis la latitude minimale et la latitude maximale d'autre part, du carré délimitant l'emprise de la carte, en précisant le système de projection utilisé ;
- **L'orientation Nord :** Cette orientation précise la direction Nord sur la carte. Toutefois, lorsque la carte est quadrillée (lorsque les longitudes et les latitudes sont définies à intervalles réguliers sur la carte), la direction Nord n'est plus indispensable.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Jean-Claude. COURBON : 1997, Dunod, "Systèmes d'information : structuration, modélisation et communication",288 pages, ISBN : 2729604227.

[2] André MULLER, 2005, Presses Universitaires de France (PUF), "L'informatique dans l'entreprise", 127 pages, 2ème édition, ASIN : 2130445926.

[3] Steven ALTER, 2001, Prentice Hall, "Information Systems: Foundation of E-Business", 587 pages 4ème édition, ISBN: 0130617733.

[4] Cuenin, R., 1972, Cartographie générale, 2 tomes, Eyrolles, Paris.

[5] Driencourt L. et Laborde J., 1932, Traité des projections géographiques ; 4 fascicules, éd. Hermann, Paris.

[6] Dufour, J.-P., 2001, Introduction à la géodésie, Hermès, 334p.

[7] Gambier, G., 1984, Notions sur les représentations planes de la Terre, 114 p.

[8] Hooijberg, M., 1997, Practical geodesy using computers, Springer Verlag, 308p.

[9] Iliffe, J. C., 2002, Datum and map projections for remote sensing, GIS and surveying, Whittles Publishing, UK, 150 pp.

[10] Joly, F., 1985, La cartographie, collection Que sais-je ?, PUF, No 937, 127p.

[11] Levallois, J.-J., 1970, Géodésie générale - Tome 2 : Géodésie classique bidimensionnelle, éd. Eyrolles, 408p.

[12] Le Fur, A., 2004, Pratiques de la cartographie, éd. Armand Colin, 96p.

[13] Radix, J.-C., 1991, Répertoire géodésique en vue de la navigation, Cépaduès-Editions, Toulouse, 756p.

[14] Reignier, F., 1957, Les systèmes de projection et leurs applications, édition IGN, Saint-Mandé.

[15] Snyder, J. P., 1987, Map projections - a working manual, USGS Paper 1935, Washington. 383p.

[16] Snyder, J. P., 1997, Flattening the Earth: Two Thousand Years of Map Projections., University of Chicago Press, 384p. (ISBN 978-0-2267-6747-5)

[17] Yang, Q., J. P. Snyder et W. R. Tolber, 2000, Map projection transformation, principles and applications, Taylor et Francis Editor, 367p.