

## **Module : Analyse des documents cartographique**

**2<sup>ème</sup> année (semestre03) LMD (2020/2021)**

### **Cours 01+02 : la cartographie de base:**

#### **1- Notions de base :**

##### **1-1 Qu'est ce que la cartographie ?**

C'est l'ensemble des études et opérations scientifiques, artistiques et techniques intervenant à partir des résultats d'observation directes ou de l'exploitation d'une documentation en vue d'élaboration et de l'établissement de cartes, plans et autres mode d'expression, ainsi que dans leur utilisation: "définition adoptée par le comité français de cartographie, 1967 ".

La cartographie est pour but la présentation de la terre ou d'une autre planète sous une forme géométrique et graphique grâce à la conception, la préparation et la réalisation de cartes. La cartographie est à la fois une science, un art et une technique.

Est une science car ses bases sont mathématiques, notamment en ce qui concerne la détermination de la forme et des dimensions de la terre puis le report de la surface courbe de la terre sur un plan (la carte) grâce au système des projection et enfin l'établissement d'un canevas planimétrique et altimétrique. L'enjeu et la précision et la fiabilité de la carte.

C'est un art, car en tant que mode d'expression graphique, la carte doit présenter des qualités de forme (esthétique et didactique grâce a la clarté du trait, a son expressivité et lisibilité) afin d'exploiter au mieux les capacités visuelles du lecteur. Cela exige de la part du concepteur et du réalisateur des choix dans la représentation.

C'est enfin une technique, car elle nécessite d'amont en aval, l'emploi d'instruments dont les progrès ont bouleversé toute la filière cartographique (photographie aérienne, satellites, ordinateurs, impression et diffusion, et.).

La définition de la cartographie suppose que la représentation de la terre s'accomplit grâce à un ensemble de techniques et des méthodes. Il ne résulte les deux grandes branches de la cartographie.

- Les techniques précèdent les méthodes et engendrent une cartographie d'amont ou une cartographie « mathématique» ou « topographique», sachant que ces qualificatifs sont peu satisfaisants. Cette cartographie a pour finalité majeure d'établir les fonds de carte nécessaires à l'élaboration de toute carte.

C'est là où se situent les fondements mathématiques et géométriques de la cartographie. Grâce à l'astronomie, à la télédétection (découverte de la terre à distance) entre autres et bien sûr à l'exploration systématique du globe, on a pu donner de plus en plus précisément au fil du temps, les dimensions, la forme générale et une représentation à plat de la Terre. La connaissance de notre planète est à peine terminée et s'enrichit encore aujourd'hui avec les progrès de l'imagerie satellitaire. Cette cartographie demande des compétences particulières que possèdent les topographes ou les géomètres par exemple. Pour le concepteur et réalisateur de carte thématiques, les buts à attendre sont différents puisqu'il utilise des fonds de cartes déjà établis. L'enjeu est plutôt de considérer la cartographie comme art d'expression et comme outil d'analyse, d'aide à la décision et de communication.

- Les méthodes de la cartographie, c'est-à-dire la démarche et la réflexion intellectuelle que supposent l'acte de concevoir, réaliser puis lire des cartes thématiques (cf. définition plus bas) nécessitent d'autres compétences. Lire une carte thématique est en soit un acte complexe qui ne répond à aucune recette prédéterminée. L'expérience du lecteur dans un domaine quelconque et sa capacité à décrypter la trame de l'organisation de l'espace géographique sont les deux facteurs-clés de la lecture efficace d'une carte. Il est par contre plus aisé de cerner les règles lorsqu'ils découlent plus ou moins directement d'une logique dans le choix du langage cartographique. Pour résumer, le respect d'une série de règles et de méthodes est garant d'une cartographie thématique efficace et fiable.

**1-2- Géodésie** : Science ayant pour but de déterminer la forme et les dimensions de la Terre.

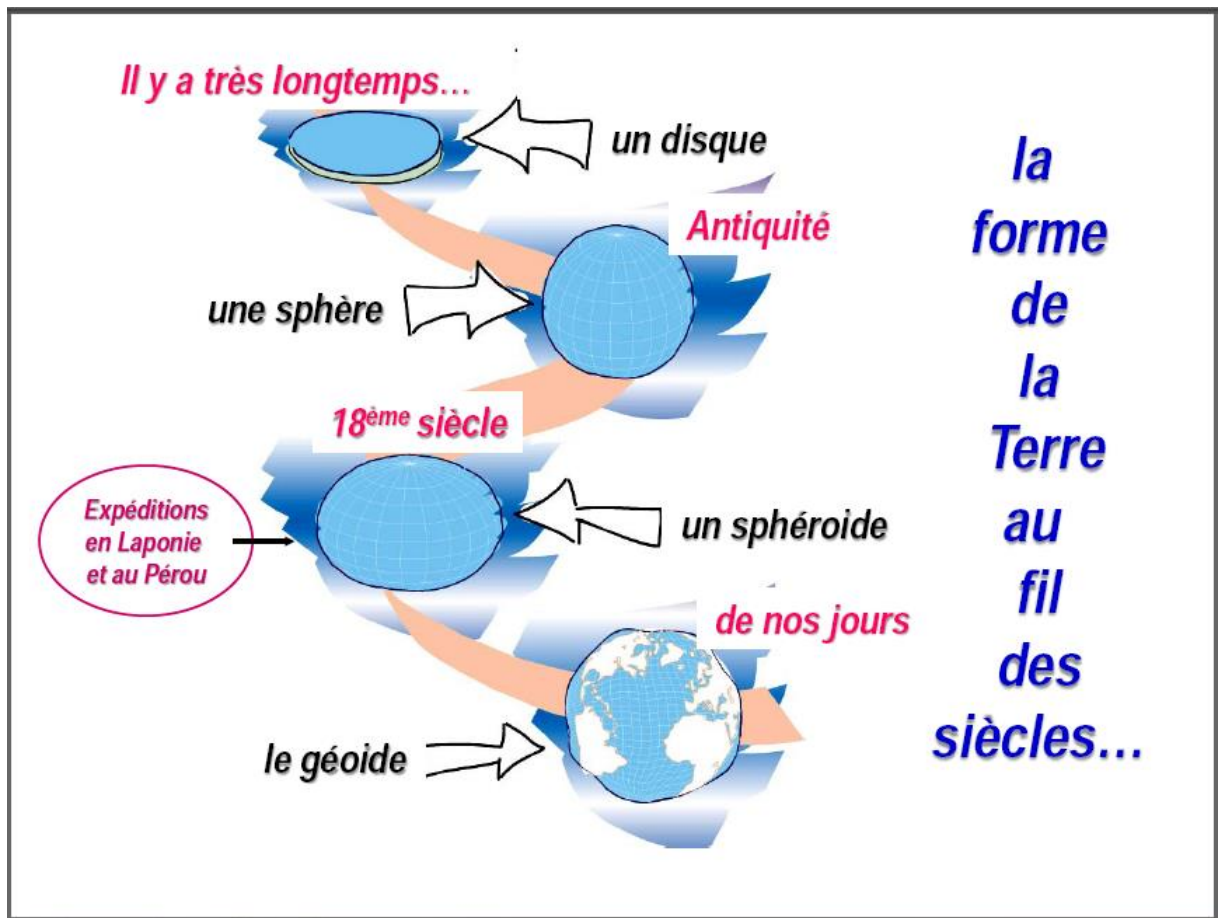
Ensemble de techniques ayant pour but de déterminer les positions planimétriques (X, Y) et altimétriques (Z) d'un certain nombre de points géodésiques et de repères de nivellement.

**1-3- Photogrammétrie** : Techniques d'exploitation des prises de vue aériennes (photographie aérienne) ou satellites (images satellites) pour un usage cartographique (réalisation d'ortho-images, de Modèle Numérique Terrain, de cartes...).

**1-4- La carte** :

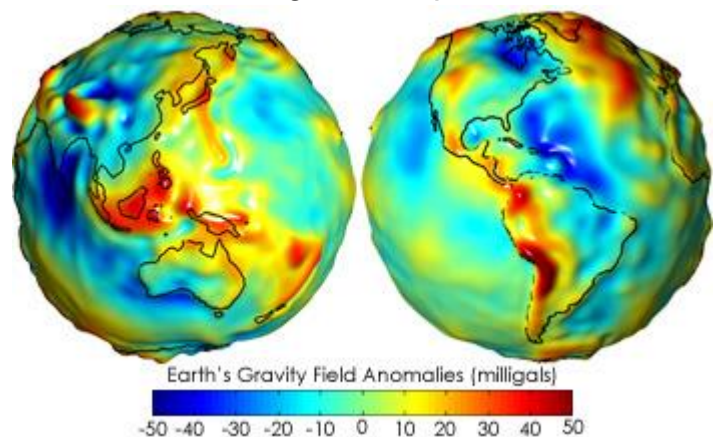
Selon F Joly, « *une carte est une représentation géométrique, plane, simplifiée et conventionnelle de tout ou partie de la surface terrestre et cela dans un rapport de similitude convenable qu'on appelle échelle* ».

## 2- Forme de la terre:



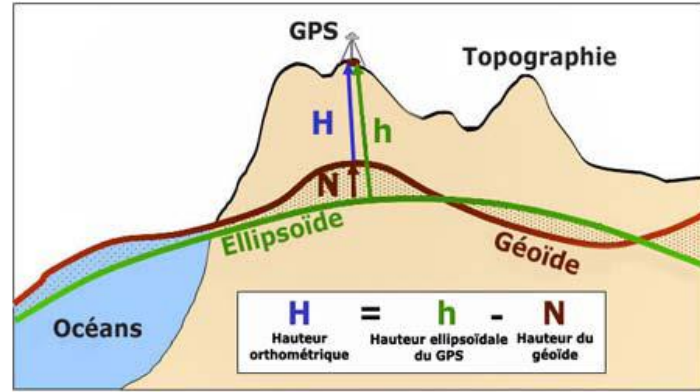
Pour établir les cartes on doit connaître la forme et les dimensions de la Terre, qui n'est pas sphérique mais légèrement aplatie aux pôles. Quelle est la surface qui se rapproche le plus de la terre?

La terre n'est pas une sphère, qui est une forme géométrique dite parfaite, mais **un géoïde**. Ce terme désigne la forme réelle de la surface terrestre, légèrement aplatie aux pôles et bosselée selon les continents. Son apparence sphérique lorsqu'on l'observe depuis l'espace masque les nombreuses petites irrégularités de sa surface. Pour modéliser cette surface, on utilise une figure géométrique plus régulière, **l'ellipsoïde** : volume globalement sphérique présentant un aplatissement aux pôles et servant de référence pour la construction des projections cartographiques.



**Le géoïde.**

C'est une sphère, ou mieux encore un ellipsoïde de référence. Un point à la surface de la terre peut donc avoir autant de coordonnées géographiques que de systèmes de références. Historiquement Une vingtaine d'ellipsoïdes différents ont été définis, adaptés chaque fois à une région donnée (ellipsoïdes locaux) Avec l'arrivée des satellites artificiels en géodésie, il a été possible d'établir un ellipsoïde global (mondial) utilisable sur toute la surface du globe.



### 3- Les coordonnées géographiques :

Les coordonnées géographiques font partie d'un système de «repères cartographiques» composés de trois (3) éléments; 1) la latitude, 2) la longitude et 3) l'élévation par rapport au niveau de la mer. Les coordonnées géographiques découlent d'un système géodésique utilisé pour se repérer à la surface de la planète. Le système géodésique est un quadrillage imaginaire qui couvre la surface de la Terre et qui la divise en carreaux.

À l'aide de ce quadrillage on peut localiser n'importe quel endroit dans le monde à l'intersection d'une ligne de latitude et d'une ligne de longitude.

#### 3-1- Méridiens et parallèles :

Supposons que la terre est un ellipsoïde tournant autour de l'axe des pôles.

Soit :

- ◆ le centre de l'ellipsoïde
- ◆ PP' l'axe des pôles
- ◆ A, un point situé à la surface de l'ellipsoïde.

Le plan passant par le point A contenant la droite (PP') (axe des pôles) est appelé Plan

- **Méridien du lieu :**

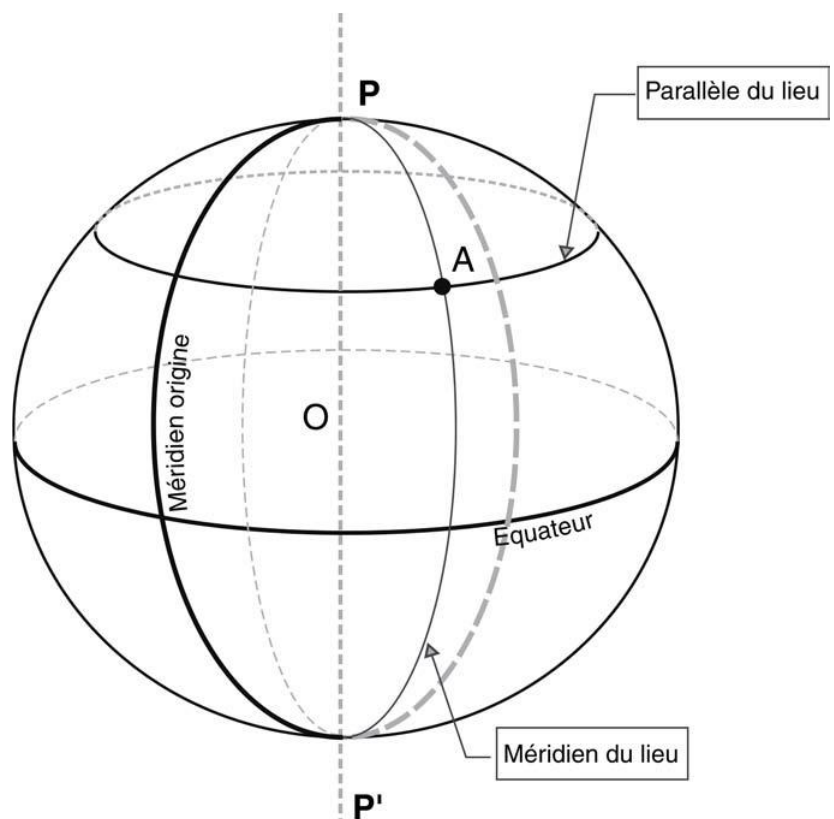
L'intersection de ce plan avec l'ellipsoïde est une ellipse appelée Méridien du lieu.

- **Parallèle de lieu :**

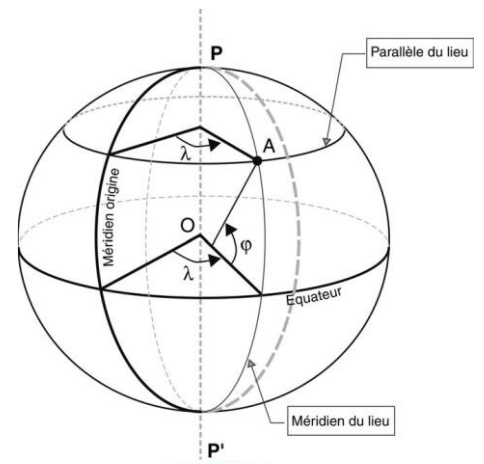
Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles passant par le point A coupe l'ellipsoïde suivant un cercle appelé Parallèle de lieu.

- **L'Equateur :**

Le cercle défini par l'intersection de l'ellipsoïde et d'un plan perpendiculaire à l'axe des pôles passant par le centre O du même ellipsoïde définit l'Équateur.

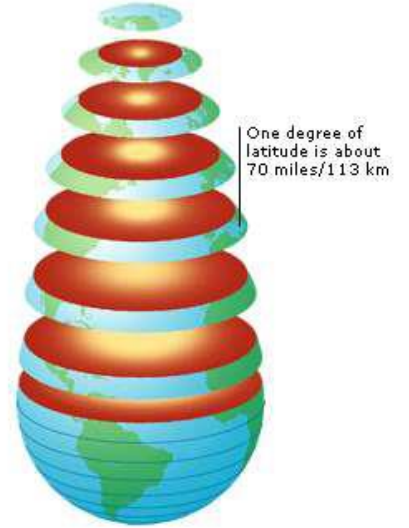
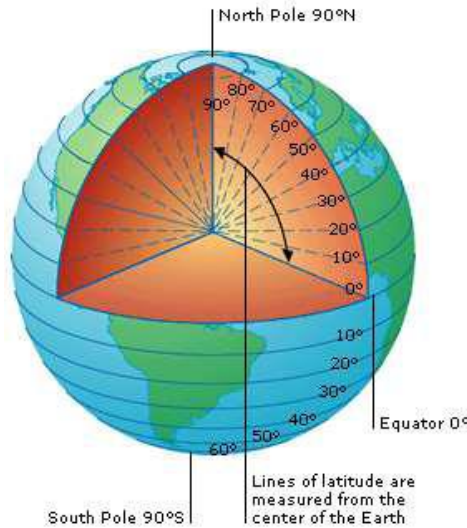


### 3-2- Les coordonnées géographiques :



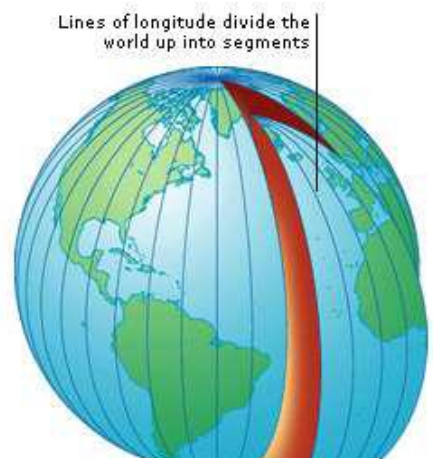
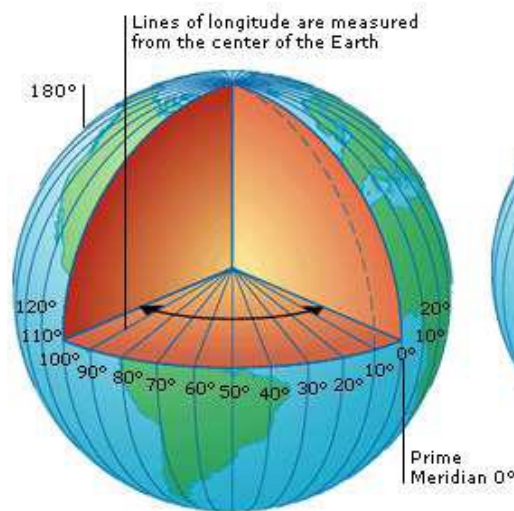
**a- la latitude ( $\phi$ )  $\phi$  :** d'un point est l'angle formé par la normale à l'ellipsoïde passant par ce point et le plan de l'équateur.

- Elle se compte de 0 à 90 degrés (ou de 0 à 100 grades) au nord et au sud de l'équateur.



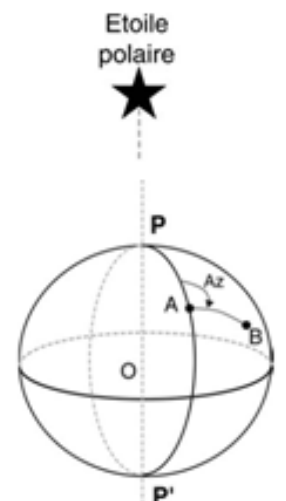
**b- La longitude ( $\lambda$ ) :** La longitude  $\lambda$  d'un point est l'angle formé par le plan méridien contenant ce point avec un plan méridien pris comme origine.

La longitude se compte de 0 à 180 degrés (ou de 0 à 200 grades) à l'est et à l'ouest de la méridienne origine.



**c- L'azimut AZ :**

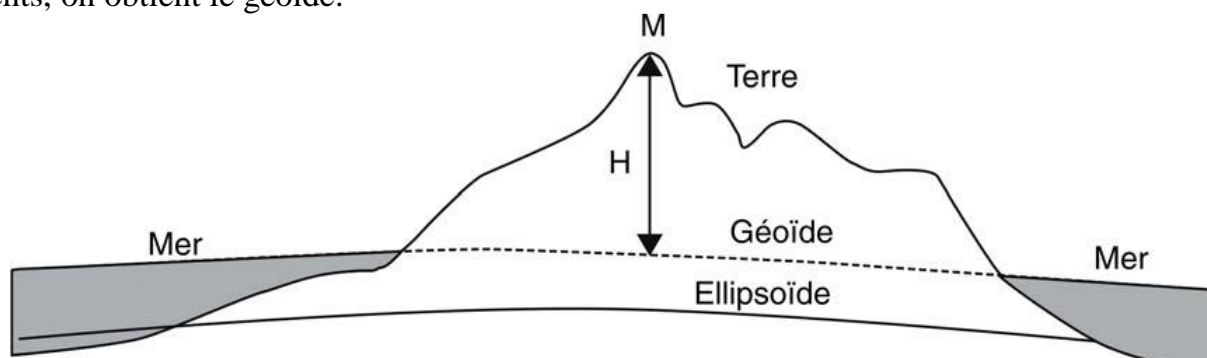
L'azimut (noté Az) d'une direction AB est l'angle que forme cette direction avec le méridien du lieu, c'est-à-dire le nord géographique. La



direction du nord géographique est caractérisée dans l'hémisphère nord par l'étoile polaire, qui est presque alignée sur l'axe des pôles.

#### d- L'Altitude Z :

La terre est une surface «tourmentée » avec de gros écarts de relief. Il s'agit de trouver une surface qui puisse être utilisée comme référence. On a naturellement choisi la surface de niveau moyen des mers comme origine des altitudes. En prolongeant cette surface sous les continents, on obtient le géoïde.



## Les projections cartographiques

Les projections cartographiques sont conçues pour des usages spécifiques. Une projection cartographique peut être utilisée pour des données à grande échelle sur une surface limitée, alors qu'une autre peut être utilisée pour réaliser une carte du monde à petite échelle. Les projections cartographiques conçues pour les données à petite échelle sont généralement basées sur des systèmes de coordonnées géographiques sphériques plutôt que sphéroïdaux.

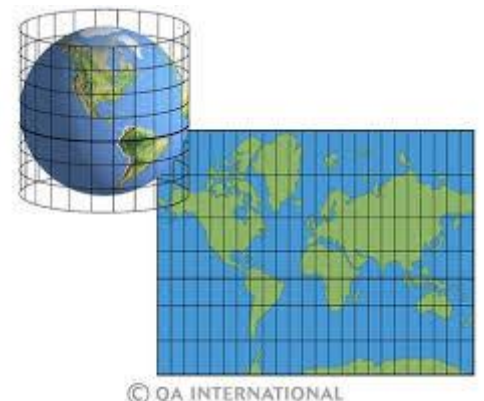
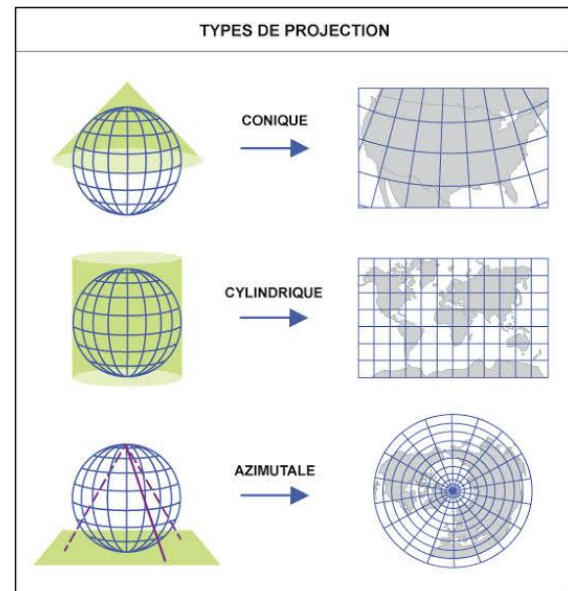
### 1- Les différents types de projection

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 le cadre des 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.

1- **Projections cylindriques** : projettent sur un cylindre (conserver les distances ou les surfaces.)

Les projections cylindriques sont celles qui confèrent une apparence rectangulaire au graticule. Le rectangle peut être vu comme le développement d'une surface cylindrique qui peut, à son tour, être enroulée en un cylindre. Bien que ces projections soient créées de manière purement mathématique, plutôt qu'en introduisant la géométrie d'un cylindre, l'aspect final peut suggérer une construction cylindrique. Une projection cartographique cylindrique peut présenter une ligne ou deux lignes qui sont sans

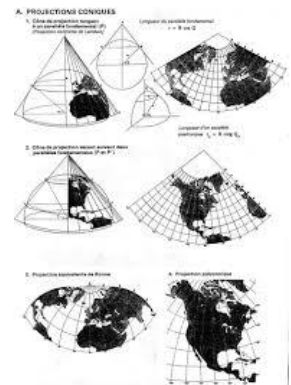


altération d'échelle. Des exemples classiques de projections cylindriques sont la projection de Mercator, conforme (elle conserve localement les angles), et la projection cylindrique équivalente de Lambert (qui conserve les surfaces).

Les projections cylindriques sont vraies à l'équateur (cylindrique normale); les distorsions augmentent vers les pôles. Les pays dans les tropiques sont souvent représentés avec des projections cylindriques.

**2- Projections coniques :** Projettent sur un cône (conservent les ongles).

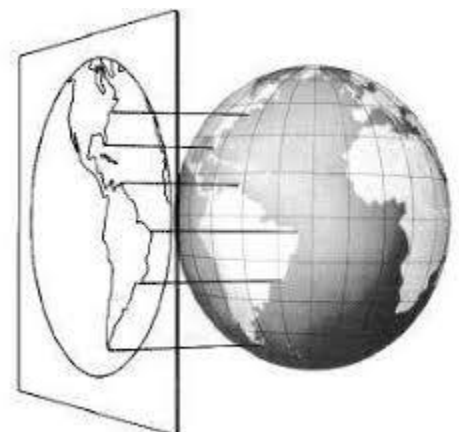
Projection conique : la surface de projection est un cône (tronqué ou non) tangent à l'ellipsoïde ou sécant. Le centre de projection est soit une ligne (cône tangent) soit deux lignes (cône sécant). Caractéristique du canevas: les méridiens forment des droites concourantes, les parallèles des arcs de cercle concentriques.



Les projections coniques sont vraies le long de certains parallèles entre l'équateur et un pôle; les distorsions augmentent de part et d'autre en s'éloignant de ces parallèles. Les régions de la zone tempérée sont souvent représentées avec des projections coniques.

**3- projections Azimutales :** projettent sur un plan plat (conservent les distances).

Projection azimutale : dite aussi projection zénithale. La surface de projection est un plan rectangle tangent à la sphère sur lequel on projette une partie du globe. Ce point tangent (contact entre l'ellipsoïde et la surface de projection) est appelé centre de projection. Le centre de projection est le seul endroit sans aucune déformation. La projection azimutale conserve azimuts et distances mesurés à partir du centre de projection.





Les projections azimutales sont vraies uniquement en leur point de tangence. Les distorsions sont maximales aux limites de la carte

Les régions polaires sont représentées en projection azimutale.

## **2-Préservation des propriétés particulières lors de la projection cartographique :**

Les projections cartographiques sont habituellement conçues pour préserver des caractéristiques particulières mesurables sur le globe, telles que les aires, les angles, les distances, ou la présence de propriétés spécifiques, comme lorsque les grands cercles (intersections de la Terre et des plans qui passent par son centre) deviennent des droites. Des cartes où les angles sont conservés s'appellent des projections conformes. Des cartes où les surfaces sont conservées sont appelées projections équivalentes.

### **2-1- Projections conformes :**

Les projections conformes conservent la forme locale. Pour conserver des angles spécifiques décrivant les rapports spatiaux, une projection conforme doit faire apparaître les lignes perpendiculaires du graticule se coupant à un angle de 90 degrés sur la carte. Une projection cartographique y parvient en conservant tous les angles. L'inconvénient est que la surface entourée par une série d'arcs est donc encline à des distorsions importantes. Aucune projection cartographique ne peut conserver les formes de régions plus grandes.

Exemple : Mercator, Transverse Mercator, UTM, Lambert Conformal Conic.

### **2-2- Projections équivalentes :**

Les projections équivalentes conservent la surface des entités affichées. Pour cela, les autres propriétés : - forme, angle et échelle - sont déformées. Dans les projections équivalentes, les méridiens et les parallèles peuvent ne pas se couper à angles droits. Dans certains cas, surtout pour les cartes de petites régions, les formes ne sont pas déformées de façon évidente et la distinction entre une projection équivalente et une projection conforme est difficile, à moins de se documenter ou de mesurer.

**Exemple :** -Alber's equal area, Lambert equal area.

### **2-3- Projections équidistantes**

Les cartes équidistantes conservent la distance entre certains points. Aucune projection ne conserve l'échelle correctement sur la totalité d'une carte; cependant, dans la plupart des cas, l'échelle est conservée correctement sur une ou plusieurs lignes d'une carte. La plupart des projections équidistantes ont une ou plusieurs lignes dont la longueur sur la carte est la même (à l'échelle de la carte) que la longueur de la ligne sur le globe, qu'il s'agisse d'un petit cercle ou d'un grand, d'une ligne droite ou courbe. Ces distances sont dites vraies. Par exemple, dans la projection sinusoïdale, la longueur de l'équateur et de tous les parallèles est vraie. Dans d'autres projections équidistantes, l'équateur et tous les méridiens sont vraies. Toutefois, d'autres (par exemple, la projection équidistante à deux points) montrent une échelle vraie entre un ou deux points et un autre point de la carte. Rappelez-vous qu'aucune projection n'est équidistante d'un point à l'autre pour tous les points de la carte.

**Exemple** -Azimuthal Equidistant, Equidistant Conic, Equidistant Cylindrical

### **2-4- Projections à vraies directions**

La distance la plus courte entre deux points d'une surface courbe comme la terre se trouve le long de l'équivalent sphérique d'une ligne droite sur une surface plane. C'est-à-dire le grand cercle sur lequel les deux points se trouvent. Les projections à vraies directions, ou azimutales, conservent certains grands arcs, donnant les directions ou les azimuts de tous les points de la carte correctement par rapport au centre. Certaines projections à vraies directions sont également conformes, équivalentes ou équidistantes.

### 3- Les principaux systèmes de projections utilisés dans le monde.

#### 3-1- Projection de Mercator:

Gérard Mercator a mis au point en 1569 une projection cylindrique conforme qui porte son nom. Il l'a conçue de manière à ce que les loxodromies, c'est-à-dire les trajectoires à cap constant, puissent apparaître comme des droites, ce qui simplifie l'usage de la carte pour la navigation à cap constant. Dans la projection de Mercator, les méridiens apparaissent comme des lignes parallèles équidistantes, et les parallèles sous la forme de droites perpendiculaires aux méridiens et parallèles entre elles, mais inégalement espacées, se resserrant près de l'équateur. Le pôle Nord et le pôle Sud ne peuvent pas être représentés. L'échelle est vraie le long de l'équateur ou le long de deux parallèles équidistants de l'équateur. Les déformations de taille deviennent importantes aux latitudes les plus élevées, raison pour laquelle la projection de Mercator n'est pas recommandée pour les cartes du monde. La projection de Mercator, standard des cartes marines, fut créée pour les cartes de navigation et trouve son meilleur emploi en navigation.



- **La projection de Mercator transverse :**

La projection de Mercator transverse Également connue sous le nom de projection de Gauss-Kruger, est une projection où la ligne d'échelle constante est le long d'un méridien plutôt que sur l'équateur. Le méridien central et l'équateur sont des lignes droites. Les autres méridiens et parallèles sont des courbes complexes dont la concavité est tournée vers le méridien central. La projection possède une échelle vraie le long du méridien central ou le long de deux lignes parallèles équidistantes du méridien central. Elle est généralement utilisée pour des cartes à grande

échelle, sur de petites zones. En raison de la distribution de la déformation, elle est habituellement utilisée en divisant la région à cartographier en zones de trois degrés ( $3^\circ$ ) ou de six degrés ( $6^\circ$ ) limitées par des méridiens. Cette projection est très utilisée pour les cartes topographiques aux échelles comprises entre 1:25 000 et 1:250 000, et est à la base du système de coordonnées UTM.

- **Projection UTM (Universel Transverse Mercator):**

La projection de Mercator dispose des caractéristiques suivantes:

- Elle divise le monde en 60 fuseaux (zones), (numéroté de 1 à 60), chaque zone couvre  $6^\circ$  de longitude.
- C'est une projection cylindrique, transverse conforme, c'est-à-dire elle conserve les angles.
- Les coordonnées rectangulaires (cartésiennes) sont exprimées en mètres

### **3-2- Projection Lambert:**

- **Projection Lambert conique conforme :**

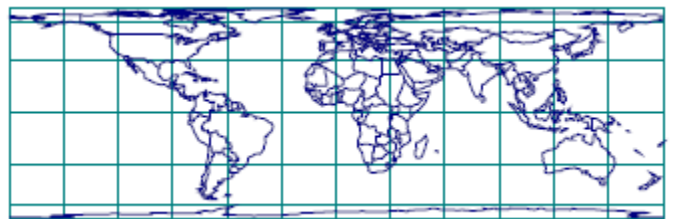
La projection conique conforme de Lambert, proposée par Johann Heinrich Lambert en 1772, montre les méridiens comme des droites régulièrement réparties convergeant en un des pôles. Les angles entre les méridiens de la projection sont plus petits que les angles homologues sur le globe. Les parallèles sont des arcs de cercles qui sont tous centrés sur le pôle et dont l'espacement augmente au fur et à mesure qu'on s'éloigne du pôle. Le pôle le plus proche du parallèle standard est un point et l'autre pôle ne peut pas être représenté. L'échelle est vraie le long du parallèle standard ou le long de deux parallèles standards, et



elle est constante le long de n'importe quel parallèle donné. La projection conique conforme de Lambert est très largement employée pour la cartographie à grande échelle des régions dont la forme est allongée dans la direction est-ouest et pour les régions situées dans des latitudes moyennes. Elle est un standard dans beaucoup de pays pour les cartes à l'échelle de 1 : 500 000, aussi bien que pour les cartes aéronautiques aux échelles similaires.

- **Projection cylindrique équivalente de Lambert :**

La projection cylindrique équivalente fut proposée pour la première fois par Johann Heinrich Lambert en 1772. Elle est devenue la base pour beaucoup d'autres projections qui conservent de



même les aires, telles la projection orthographique de Gall, ou les projections de Behrmann et de Trystan-Edwards. Dans sa version originale, la projection de Lambert n'introduit qu'une seule ligne d'échelle constante, sur l'équateur. Les projections équivalentes qui s'en sont inspirées prennent deux parallèles comme lignes d'échelle constante. Dans la projection cylindrique équivalente de Lambert, les méridiens apparaissent comme des droites parallèles équidistantes et la longueur de l'équateur vaut  $\pi$  fois celle des méridiens. Les lignes de latitude sont des droites parallèles dont l'espacement s'accroît en se rapprochant de l'équateur ; elles sont perpendiculaires aux méridiens. Changer l'espacement des parallèles est la méthode employée pour conserver les surfaces. Les altérations des longueurs et des angles, cependant, deviennent très importantes dans les latitudes élevées à l'approche des pôles. Cette projection est rarement utilisée telle quelle pour faire des cartes, mais c'est un standard pour exposer les principes de la projection cartographique dans les manuels, et elle a grandement servi en tant que prototype à la conception d'autres projections.

### **3-3- Projection de Mollweide**

En 1805, Carl Brandan Mollweide conçut une projection pseudo cylindrique équivalente où le méridien central est une droite moitié moins longue que l'équateur, définissant une surface de forme elliptique où projeter le globe entier. Les méridiens à 90° de part et d'autre du méridien central forment ensemble un cercle sur la projection de Mollweide. Les autres méridiens sont des demi-ellipses régulièrement réparties qui s'intersectent aux pôles et dont la concavité est tournée vers le méridien central. Les parallèles sont des droites perpendiculaires au méridien central ; inégalement espacés, ils sont d'autant plus éloignés qu'on s'approche de l'équateur. Les pôles Nord et Sud apparaissent comme des points. L'échelle est vraie le long des seules latitudes 40°44' Nord et Sud, et constante le long d'une latitude donnée. La figure montre la Terre entière ainsi projetée, centrée sur le méridien de Greenwich. La projection de Mollweide a été utilisée occasionnellement pour des cartes du monde, en particulier pour des cartes thématiques où la préservation des aires est nécessaire. Différents aspects de la projection de Mollweide ont été employés à des fins pédagogiques, et elle a été choisie pour le logo de l'ACI.

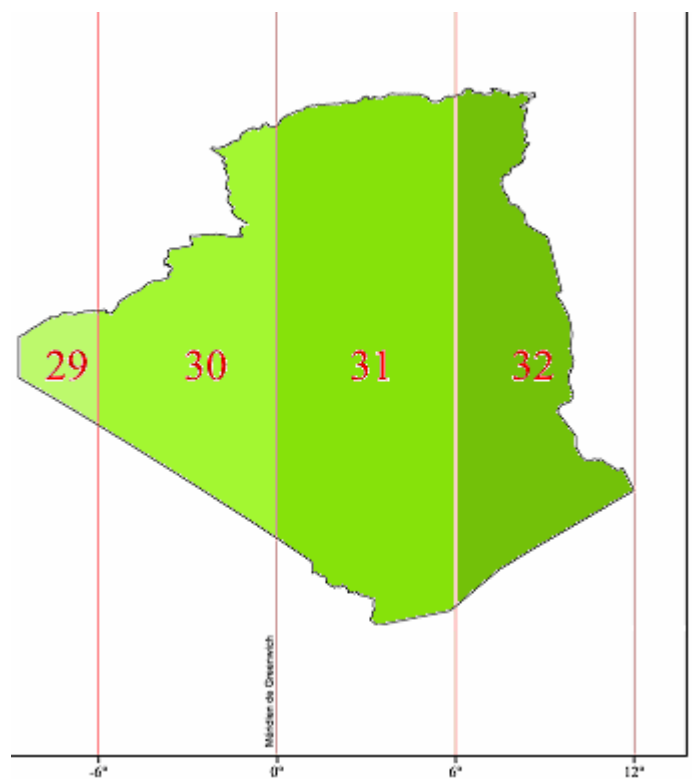


#### 4- Projections cartographiques utilisées en Algérie:

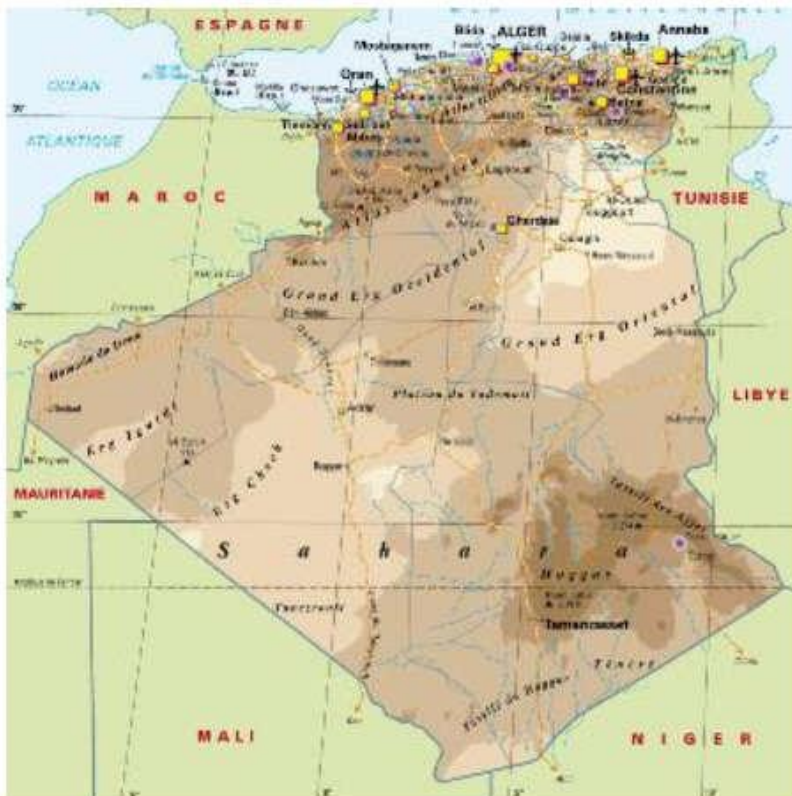
- Projection Lambert:** C'est une projection conforme, conique utilisée pour la cartographie de l'Algérie au 1/50 000 de 1943 à 1960. Un quadrillage kilométrique de couleur rouge appelé "corroyage Lambert " délimitant un carrée de 1 km de côté afin de d'identifier les détails planimétriques et altimétriques.

- Projection UTM (Universel Transverse Mercator):**

Pour l'Algérie, c'est la projection UTM qui est utilisée actuellement. Dont chaque zone UTM couvre 6° de longitude. L'Algérie occupe 04 fuseaux Il y'a donc 4 zones (fuseaux). : n°29, n°30, n°31 et n°32



- Fuseau n°29 : de -12° à -6°
- Fuseau n°30 : de -6° à 0°
- Fuseau n°31 : de 0° à 6°
- Fuseau n°32 : de 6° à 12°



REFIRENCES :

- Anny cazenave, Etude de la terre et de l'environnement, forme de la terre, champ de gravité, géodésie.
- A. charbonnel, synthèse sur les projections cartographiques simple.

- Patrick Bouron, cartographie lecture de carte, école nationale École Nationale des Sciences Géographiques, Institut Géographique National.
- Miljenko Lapaine, Croatie and E. Lynn Usery, États-Unis, Projections cartographiques et systèmes de références, Traduction : Didier Halter et Jean-François Hangouet.
- Divier poidevin, Manuel de cartographie, web ; <http://www.articque.com>