

# Analyse des documents cartographiques

## 1<sup>ère</sup> partie : Analyse topographique

### Ch.2. La cartographie de base

#### I. Introduction :

La topographie (description des lieux, est née avec la propriété privée), vu, les besoins de mesurer la surface des terrains et d'en établir des plans.

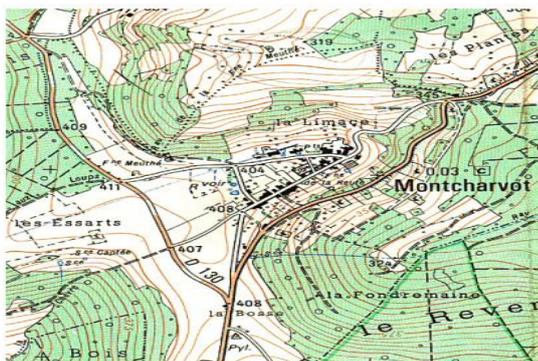
Dès le 18<sup>ème</sup> siècle se développaient des opérations à caractère scientifique (surtout en France) qui visaient surtout à définir la forme de la terre. C'est vers la fin de ce siècle (18<sup>ème</sup>) que débutaient les travaux de la première carte systématique du Royaume (carte Cassini) à une échelle de 1 / 86 400.

Carte de Cassini



Le 19<sup>ème</sup> siècle a vu se réaliser deux œuvres importantes :

- Remplacement de la carte Cassini par celle dite de l'état major à l'échelle de 1 / 80 000, première carte régulière avec une précision minimale dans la mise en place des détails.
- Réalisation (après la seconde guerre mondiale) de la carte de France à l'échelle de 1 / 25 000 en plus des levés à plus grande échelle dans les zones urbaines (achevée en 1980).



Carte d'État-Major

Le milieu de 20<sup>ème</sup> siècle marque une évolution considérable dans les techniques. On vit apparaître puis se généraliser :

- Restitution photogrammétrique qui permet le levé de la carte à partir de la photo aérienne évitant un parcours de terrain.
- Mesures électromagnétiques des distances.
- Calculs automatiques en ordinateur (gains de temps)
- Satellites artificielles (pour déterminer les coordonnées ou enregistrer l'information à cartographier)

Au fur et à mesure que ces nouvelles disciplines se développaient et possibilités techniques s'enrichissaient, la spécialisation de l'homme s'imposait, on distingue le **géodésien** du **photogrammètre** de l'**informaticien** ou du **télédétecteur**, même si chacun participe à l'élaboration d'un document topographique.

#### a) Carte et plans :

On parlera de **carte** pour une représentation couvrant généralement une vaste étendue, souvent un pays tout entier. Une carte est réalisée à une échelle moyenne (1 / 10 000 maximum) ou petite (1 / 250 000). A ces échelles (rapport entre la dimension de la représentation et celle de la réalité), on est obligé d'utiliser des signes conventionnels destinés à permettre une identification aisée du détail.

En revanche, un **plan** n'intéresse qu'une zone moins vaste, limitée souvent à l'extension d'un fait ou d'un projet précis.

L'usage de l'un comme de l'autre des deux documents comportera des différences. **La carte topographique** doit répondre à des besoins assez généraux (indications parfois insuffisantes pour certains besoins précis). **Un plan** au contraire répond exactement à des précisions particulières.

**b) Cartes ou plans numériques :** la représentation graphique des éléments déterminés par la topographie est traditionnellement la plus ancienne et la plus utilisée. Le développement récent des plans numériques (stockage de l'information mesurée dans des fichiers sur support informatique).

- Contrairement aux plans ou cartes pour lesquels doit être définie l'échelle, les fichiers n'ont pas d'échelle, puisque ils stockent directement les valeurs des coordonnées. On peut à partir de ces fichiers produire des plans ou cartes aux échelles que l'on souhaite.
- La position d'un point est caractérisée par ses coordonnées planimétriques x et y, et altimétrique z. Ces trois valeurs sont celles stockées en vraies valeurs dans les fichiers numériques.

En revanche, sur un plan ou carte, on les mesure (x, y) selon les axes des coordonnées, quant à z, il est fourni par sa valeur (point cote), soit interpolé entre deux courbes de niveau.

## II- La cartographie de base :

Connaître et figurer la terre ont été les premiers objets de la cartographie. Pour connaître la forme et les dimensions de la terre il faut faire appel à la *géodésie*.

### II.1. La forme de la terre :

A l'origine, les coordonnées utilisées par les navigateurs en se repérant sur les étoiles ont été définies sur une sphère, puis quand on s'est aperçu que la terre avait la forme d'une sphère aplatie, elles ont été définies sur un ellipsoïde de révolution (sphère aplatie aux pôles).

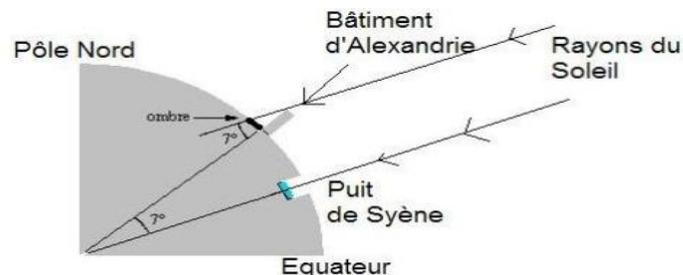
#### II.1.1. Apparence de sphéricité de la terre :

L'hypothèse selon laquelle la terre est sphérique a été émise par Pythagore au 6<sup>ème</sup> siècle avant J-C. Cette hypothèse a été mise en doute vers le 17<sup>ème</sup> siècle où Newton croit pouvoir affirmer qu'elle aurait une forme d'*ellipsoïde de révolution* (aplati dans les pôles). Les mesures géodésiques effectuées au 18<sup>ème</sup> siècle donnèrent alors raison à ces théoriciens.

#### II.1.2. Détermination du rayon terrestre par ERATOSTHENE :

2 hypothèses :

- La terre est une sphère.
- Le soleil est très éloigné de la terre.



**Figure :** le schéma qui permettait à Eratosthène de calculer le rayon de la terre.

- Eratosthène a considéré le soleil était très éloigné de la terre ce qui a comme conséquence que les rayons solaires qui nous parviennent sont parallèles les uns aux autres.
- Il a considéré une journée bien particulière qui est le solstice 21 juin où les rayons parvenant sur la terre à l'heure de midi.
- Il a observé que les rayons arrivés sur la ville de **Syène** de manière perpendiculaire au sol ainsi capable d'éclairer le fond d'un puits.
- A la même date et heure à **Alexandrie**, les rayons solaires forment une ombre avec un bâton vertical, exactement perpendiculaire à la terre.
- Il a déterminé l'angle d'incidence des rayons de soleil à Alexandrie.
- Comme la distance entre Syène et Alexandrie était connue (800km), à l'aide d'un calcul relativement simple, il calcula alors la circonférence de la terre C.

On en déduit la circonférence C de la terre :

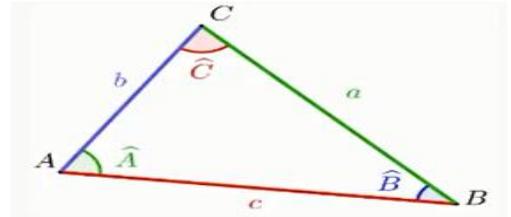
Angle	7,2°	360°	C = 800 * 360 / 7,2 = 40 000 km
Longueur de l'arc	800km	C = ?	

Puis on en déduit son rayon sachant que  $C = 2\pi R$

$$R = C/2\pi = 6400 \text{ km}$$

### II.1.3. Détermination d'un Méridien Terrestre par DELAMRE et MECHAIN :

Ils étaient chargés de mesurer la distance entre deux villes situées sur le méridien de Paris « DENCKER et BARCELONE » de manière à déterminer la distance correspondant au méridien. (Le méridien de Paris était à l'époque le méridien de référence)



$$\frac{a}{\sin \hat{A}} = \frac{b}{\sin \hat{B}} = \frac{c}{\sin \hat{C}}$$

La technique utilisée était la **triangulation** (loi des sinus)

- Ils ont fait une mesure la plus précise possible entre deux villes qui étaient une altitude commune.
- Les deux villes sont comme base : MELU et LIEUSAIN
- Les deux villes représentées par les lettres A et B.
- Grâce à une moyenne de viser (lunette), ils ont observés la troisième ville qui est MALVOISINE représentée par C.
- Ensuite uniquement les mesures d'angles pour calculer des distances.

### II.2. La géodésie :

Est la science qui s'occupe à la détermination de la forme de la terre et ses dimensions, ainsi que de son champ de pesanteur (géodésie physique).

La géodésie générale ou *scientifique*, vise à établir les caractéristiques géométriques du globe  
La géodésie régionale ou *pratique*, permet de couvrir un territoire par un réseau de points matériels exactement connus en position et en altitude.

De manière générale, la mesure de la terre appartient au domaine de la géodésie et les cartographes utilisent les données fournies par les géodésiens.

Il suffit d'établir une **triangulation** ; c'est-à-dire un réseau de points remarquables appelés **points géodésiques**. On mesure chaque distance par visées puis calculs trigonométriques.

Afin de faciliter les visées, on choisit des lieux élevés (châteaux d'eau, sommets sur lesquels sont fixés des repères).

**II.3. La triangulation** : a pour but de fixer sur la surface à cartographier, la position relative en distance et en direction des



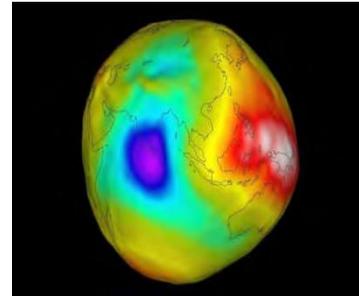
points fondamentaux ou points géodésiques sur lesquels s'appuiera le **canevas** de la carte.

Elle assiste à couvrir une surface par un réseau de repères, disposés selon les sommets de triangles dont l'ensemble constitue une « chaîne de triangulation » axée selon une orientation générale convenable.

## II.4. Géoïde et ellipsoïde :

### II.4.1. Géoïde :

Correspond à une *équipotentielle* du champ de gravité terrestre, choisie de manière à coller au plus près à la « surface réelle ». Elle correspond au niveau moyen des mers. Aujourd'hui, les altitudes sont données par rapport à ce géoïde.



**Figure :** la forme de géoïde.

Pour les géodésien, la forme de la terre est donc celle du géoïde, qui correspond à son altitude zéro et qui n'a pas une forme mathématique parfaite : « la terre est une patate ».

Cette surface est irrégulière, elle comporte des trous et des bosses de quelques centaines de mètres. L'écart entre la *surface topographique* et le *géoïde* s'appelle le relief.

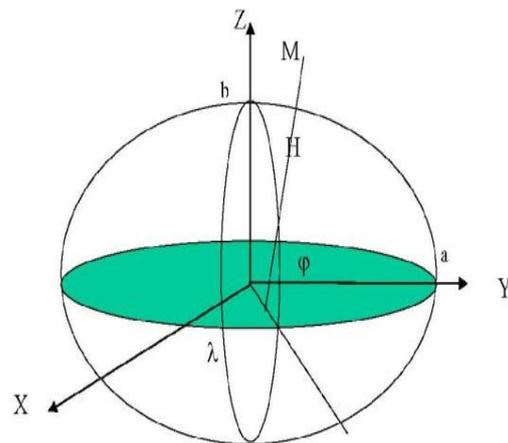
On peut dire de manière simple que le géoïde représente la Terre débarrassée de son relief. La plus grande dénivelée que l'on peut rencontrer à la surface terrestre est d'environ 20 km (sommet d'Everest, fosse des Philippines). Le rayon de la terre est de 6700 km soit 340 fois plus grand.

### II.4.2. Ellipsoïde :

L'ellipsoïde est une surface conventionnelle (*surface mathématique*) n'est pas unique, il est défini par son demi grand axe (**a**) et son aplatissement (**e**) (une sphère aplatie aux pôles).

Cette surface est caractérisée par

- Leur centre (centre des masses de la terre),
- Leur axe de révolution (l'axe des pôles terrestres),
- leurs dimensions,
- leur méridien d'origine (celui de Greenwich par convention internationale).
- En pratique chaque pays a choisi l'ellipsoïde qui coïncide le mieux avec le géoïde de ses limites et son territoire, ce qui confère une grande complexité aux travaux touchant deux pays différents.



**Figure :** L'ellipsoïde de révolution : ellipsoïde de référence

Système géodésique	Ellipsoïde	a	b	1/f	e	Origine unité
NTF	Clark 1880	6378	6356	293,466	0,0825	Paris Grade
	IGN	249,2	515,0		483 256	
ED 50	Hayford	6378	6356	297,000	0,081	Postdam Degré
	1909	388,0	911,946	000	991 889	
RGF	IAG GRS	6378	6356	298,257	0,081	Greenwich Degré
	1980	137,0	752,314	222 101	819 191	
WGS 84	WGS 84	6378	6356	298,257	0,081	Greenwich Degré
		137,0	752,314	223,563	819 191	

**Tableau :** Quelques exemples d'ellipsoïdes de référence.

Le demi grand axe	a
Le demi petit axe	b
L'inverse de l'aplatissement	$\frac{1}{f} = \frac{a}{a-b}$
L'excentricité	$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$

**Tableau :** Les principales caractéristiques d'une ellipse.

## II.5. Les mesure de la terre ou géodésie :

Pour mesurer la terre et préciser sa forme, la géodésie moderne dispose de :

- *Des données astronomiques :* (latitude et longitude des points fondamentaux), détermination de la verticale permettant d'apprécier en un lieu la « déviation » ou écart entre la verticale réelle et la verticale calculée par l'ellipsoïde théorique, évaluation de l'orientation exacte ou « azimut géodésique » du méridien d'une station.
- *Des données géométriques :* (issues des mesures directement effectuées sur la terre elle-même) : triangulation, nivellement (appareil) etc. qui permet d'établir l'altitude des lieu au dessus d'une surface de référence qui est le niveau moyen des mers à l'aide de visées successives sur des points rapprochés de 50 à 60 m.
- *Des données géophysiques :* mesure de l'intensité du champ de la pesanteur (gravimétrie) d'où on déduit la forme des surfaces de niveau, donc un géoïde.
- *Des données de géodésie aérienne ou spatiale :* (nivellement par enregistrement de l'écho) d'un radar aéroporté par visée sur ou à partir de satellites spécialisés « satellites arpenteurs ».

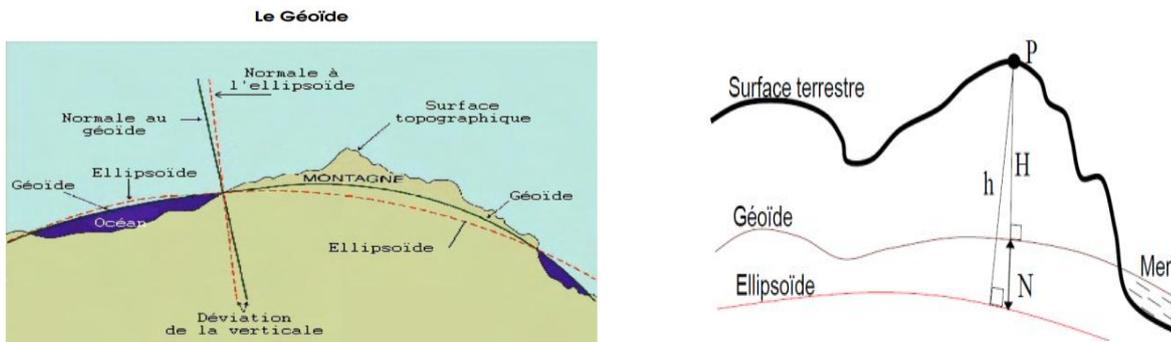
L'intégration complète de ces données montre qu'en réalité est solide qui ne ressemble à aucun autre, pour cette raison, on appelle le **géoïde**.

\*La carte du géoïde indique l'amplitude du celui-ci par rapport à l'ellipsoïde de référence (moins de 100 m).

\*La conséquence de cette légère différence (quelques dizaines de mètres) entre le géoïde et l'ellipsoïde est d'introduire une différence entre la normale en un point à l'ellipsoïde (dite

normale) et la normale au même point de géoïde (dite verticale). Cet angle s'appelle *la déviation de la verticale*.

\*Les observations faites par rapport à la verticale doivent donc être corrigées de cette déviation de la verticale pour être ramenées à la normale de l'ellipsoïde qui est une surface mathématique utilisée pour les calculs.



**Figure :** Surface terrestre, géoïde et ellipsoïde.

## II.6. Système géodésique :

Tout système géodésique suppose le choix d'un ellipsoïde et sur celui-ci d'un point où l'ellipsoïde sera tangent au géoïde (déviation de la verticale est nulle dans ce point).

Le point où l'ellipsoïde choisi tangent le géoïde est le *point fondamental (f)* de la triangulation. C'est le seul où la verticale soit confondue avec la normale. Leur angle  $\theta$  (téta) en un autre point M est la déviation relative de la verticale. Les coordonnées de ce point fondamental sont déterminées avec une très grande précision par mesure astronomique.

L'ellipsoïde de référence auquel sont rapportées toutes les mesures servant de base aux constructions cartographiques est sans cesse révisé et mis à jour.

L'ellipsoïde utilisé pour les calculs de la nouvelle carte de France – ellipsoïde de Clarke, possède les caractéristiques suivantes :

- Demi grand axe :  $a = 6.378.249,20$  m
- Demi petit axe :  $b = 6.356.515,00$  m
- Aplatissement :  $e = a-b/a = 1/293,643$

En générale, ils utilisent l'ellipsoïde pour surface de référence en planimétrie et la surface de niveau 0 ou géoïde en altimétrie. C'est-à-dire que les altitudes sont rapportées non à l'ellipsoïde mais au géoïde, surface du niveau orthogonale en tous ses points à la direction de la verticale.

