

CHAPITRE XIX

FORME DE LA TERRE. — CONSTRUCTION DES CARTES

En étudiant la forme, les dimensions et les autres caractères du bassin de la Seine, nous n'avons pas eu à nous inquiéter de la forme et des dimensions de l'ensemble de la terre ; et comme ce qui est vrai en cela du bassin de la Seine est vrai de toutes les portions de la surface terrestre, il est évident que tous les faits constatés dans le dernier chapitre eussent pu se déterminer par le procédé ordinaire des levés topographiques et qu'ils ne supposent pas nécessairement une connaissance préalable de la configuration du monde.

Une de nos premières et de nos plus naturelles impressions, c'est que les surfaces de la terre et de la mer sont partout plates, si on laisse de côté les élévations locales, et, pendant bien des siècles, ce fut une opinion universellement accréditée que la terre était une énorme masse plate entourée de tous côtés par un océan sans limites. Mais quand, en 1520, Magellan, parti d'Europe et naviguant à l'ouest, eut doublé l'extrémité méridionale de l'Amérique du Sud et que ses vaisseaux, maintenus dans la même direction, eurent fini par atteindre les côtes de l'Asie, d'où ils revinrent à leur point de départ, il fut démontré que, tout au moins le

long de la route qu'ils avaient suivie, la surface de la terre était ronde.

Sans qu'il soit d'ailleurs nécessaire de recourir à un voyage de circumnavigation, il est facile de démontrer que la surface de la terre est courbe, non pas seulement dans une direction, mais dans toutes, en d'autres termes, qu'elle a la forme d'une sphère.

Une des preuves les plus vulgaires et en même temps les plus convaincantes de la rotondité de la terre est fondée sur une observation bien simple que chacun peut faire pour son compte au bord de la mer. Si l'on regarde un navire, quand il quitte le port, on verra naturellement sa grandeur apparente diminuer et ses contours s'évanouir à mesure qu'il gagnera le large. Mais outre cette modification dans sa grandeur apparente et la netteté de son aspect, la forme du navire en subit une autre. En effet, la coque du vaisseau semble plonger graduellement dans la mer et finit par disparaître entièrement. Et cependant on devrait raisonnablement supposer que la coque, étant la partie la plus considérable du navire, resterait le plus longtemps visible. Quand la coque s'est ainsi évanouie, les voiles basses se dérobent de même au regard ; puis les voiles supérieures semblent s'enfoncer dans l'eau et enfin il ne reste plus au-dessus du niveau de la mer que le sommet des mâts (fig. 104¹). Le télescope peut rendre plus distinct ce que l'on voit encore du navire, mais il ne ramènera pas en vue la partie inférieure quand elle aura une fois disparu. Il ne semble pas qu'on puisse rendre compte de cette disparition graduelle d'un navire au-dessous de la surface de la mer, si l'on admet que la surface de la terre est plane, mais au contraire l'explication n'offre aucune difficulté si on admet que la surface en est légèrement convexe. La

1. Les gravures des figures 98, 99 et 100 sont empruntées à l'ouvrage de M. Guillemin, *le Ciel*. (Hachette et C^o, éditeurs.)

figure 105 représente une section de la surface de la mer montrant les positions successives d'un navire sur la surface courbe. Le rayon visuel d'un observateur placé sur la tour à gauche de la figure, peut être représenté par la ligne droite qui coupe la figure. Quand un navire se trouve en un point éloigné à droite de la figure, l'observateur ne voit que le sommet des mâts ; car la surface de l'eau s'élève comme un dôme aplati



FIG. 104. — Disparition graduelle d'un navire en mer.

qui l'empêche de voir les parties basses du navire. Mais à mesure que le navire approche du rivage, les hautes voiles, puis les voiles inférieures, et en dernier lieu la coque elle-même, se présentent à son regard.

Pour le marin qui se rapproche de la terre, les apparences sont analogues : les premiers points visibles sont le sommet des collines ou le faite des édifices. La convexité de l'eau qui s'étend entre lui et le rivage l'empêche de distinguer la base de ces mêmes objets. Mais

comme ces apparences ne sont point particulières à une localité, qu'elles sont les mêmes dans toutes les parties du monde, on peut en conclure que la terre doit avoir une courbure générale. En effet, on peut démontrer que sa convexité est à peu près la même partout ; il est donc certain que la terre est un corps de forme sphérique.

On peut tirer de l'observation d'un navire stationnaire une preuve analogue de la rotondité de la terre. Supposons qu'une personne sur le point de se baigner dans une mer calme aperçoive une petite barque à un kilomètre ou deux du rivage. Qu'ensuite entrée dans l'eau, les yeux placés à quelques centimètres seulement au-

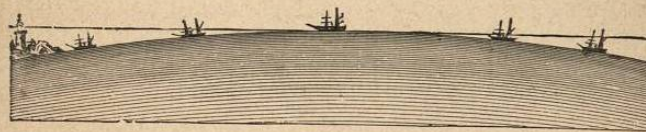


FIG. 105. — Positions successives d'un navire approchant du rivage. Courbure de la mer.

dessus du niveau de la mer, elle regarde au loin la surface de l'eau dans la direction du bateau : elle découvrira que le bateau est plus ou moins caché, peut-être même entièrement hors de vue. En effet la surface de la mer intercepte la vue et l'obstacle est d'autant plus grand que l'œil du baigneur est plus près de l'eau. Quand un homme se tient debout sur le rivage, ses yeux sont à 1^m,50 environ au-dessus du sol ; mais quand sa tête est dans l'eau, ils ne sont qu'à quelques centimètres au-dessus du niveau de la mer et sa vue est arrêtée en conséquence. Au contraire, l'observateur placé dans une position élevée est à même de regarder par-dessus le petit monticule d'eau qui intercepte la vue à des niveaux inférieurs : c'est ainsi qu'on distingue un navire

dans le lointain plus complètement du haut que de la base d'une tour.

Si une personne se trouvant dans une vaste plaine, sans rien qui gêne sa vue, regarde autour d'elle, elle peut constater que les limites de sa vision sont les mêmes dans toutes les directions et qu'elles forment une circonférence. Ces limites constituent ce qu'on appelle l'horizon¹. Le mot horizon, du moins dans ce sens, signifie donc le cercle de vision qui semble sépa-

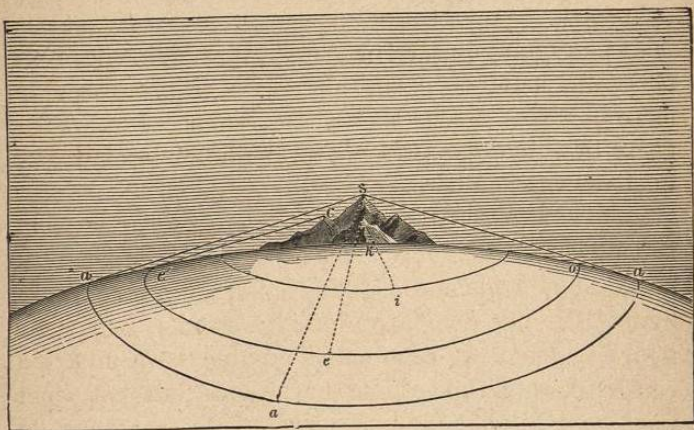


FIG. 106. — Élargissement graduel de l'horizon dans l'ascension d'une colline.

rer le ciel de la terre, quand on est sur terre, ou le ciel de l'eau, quand on est en mer. Mais que l'observateur gravisse une colline ou une hauteur, ou bien qu'il monte au sommet du mât d'un navire, il découvrira que le cercle ou le champ de sa vision s'est élargi et qu'il peut voir des objets placés primitivement hors de la portée de ses regards; en d'autres termes, son horizon s'agrandit, devient un cercle plus large. C'est ce que montre la figure 106. Une personne placée au pied de la montagne

1. Horizon, du grec ὁρίζω, borner.

en *k* a sa vue limitée par le cercle *i*; si elle gravit la montagne et s'arrête à mi-chemin du sommet en *c*, son horizon élargi s'étend jusqu'au cercle *e*: si elle atteint le faite lui-même *S*, il s'agrandit jusqu'à former le cercle *a*. Si les yeux d'un homme sont placés à 1^m,50 au-dessus du sol, comme il arrive quand cet homme se tient debout à la base de la colline, le rayon de son horizon sera inférieur à quatre kilomètres et demi; mais s'il était au sommet de la flèche des Invalides, le rayon de son horizon serait alors supérieur à trente-sept kilomètres.

En constatant que l'horizon est invariablement circulaire dans toutes les parties du monde, on prouve que la terre doit être sphérique. Car une sphère est le seul genre de solide qui présente un contour circulaire, de quelque point qu'on la considère.

L'observation de quelques-uns des corps célestes peut servir encore à démontrer que la surface de la terre est ronde et non plate. On peut en faire, à l'aide de la figure 107, une démonstration intéressante. Dans cette figure, la terre est représentée comme suspendue au centre d'un grand espace borné de tous côtés par une voûte étoilée. Supposons qu'une personne se tienne sur la surface de la terre au point *O*. Le point du ciel qu'elle voit directement au-dessus de sa tête, quand elle regarde en haut, est ce qu'on appelle le *zénith* et le point opposé qui est immédiatement au-dessous de ses pieds et qu'il lui est par conséquent impossible de voir, puisque toute la masse de la terre s'interpose, est le *nadir*¹. La direction de la ligne droite joignant ces deux points est la direction du fil à plomb quand il est abandonné à lui-même. Un plan imaginaire passant à distance exactement

1. Nadir et zénith sont des mots empruntés aux Arabes.

égale entre le zénith et le nadir constitue l'horizon¹.

On a expliqué (p. 9) que, très près du pôle nord céleste se trouve une étoile appelée l'étoile polaire. Le point de l'horizon qui est immédiatement au-dessous du pôle nord céleste est le nord vrai et on peut aussi rapporter à l'horizon les autres points cardinaux de la surface de la

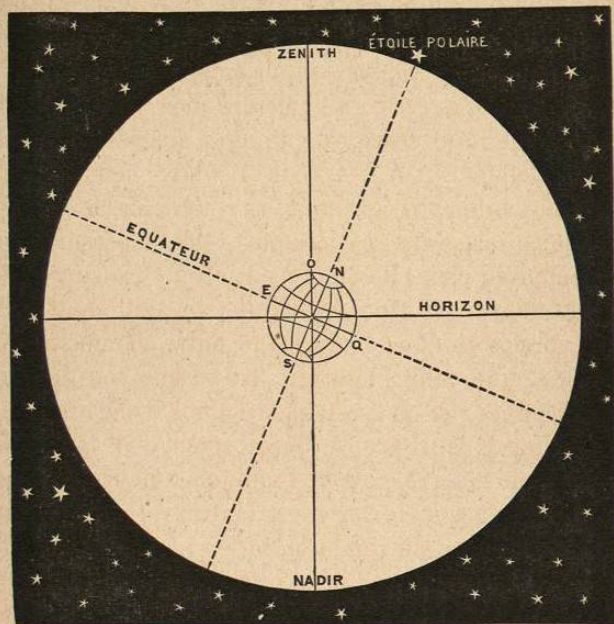


Fig. 107. — La terre dans la sphère céleste.

terre. Supposons maintenant qu'une personne en O dans la figure 107 observe à quelle hauteur l'étoile polaire se trouve au-dessus de l'horizon; que, d'autre part, deux personnes parties de ce point marchent l'une directement au nord, l'autre directement au sud, et qu'elles

1. Il y a deux sortes d'horizon. On a dit plus haut (p. 356) que l'horizon est le cercle qui limite la vision d'une personne en un lieu quel-

observent à différents intervalles la hauteur apparente de la même étoile, c'est-à-dire sa hauteur au-dessus de leur horizon : à celle qui se dirigera vers le nord, l'étoile polaire semblera s'élever de plus en plus dans le ciel; et si les glaces des régions arctiques ne lui barraient la route, elle finirait par découvrir cette étoile au-dessus de sa tête. En effet, la figure 107 montre que l'étoile polaire est au zénith d'un observateur placé en N. Mais au voyageur qui aurait marché vers le sud, l'étoile polaire paraîtrait s'abaisser rapidement et de plus en plus dans le ciel; et quand il serait à égale distance des deux pôles nord et sud de la terre, sur la ligne appelée *équateur*, l'étoile semblerait à ses yeux véritablement toucher l'horizon; enfin, s'il continuait sa course vers le sud, elle finirait par disparaître entièrement. Mais la personne qui fût demeurée chez elle en O n'eût observé aucun déplacement dans la position de l'étoile. En fait, nous pouvons supposer, dans l'intérêt de notre démonstration présente, que cette étoile est fixe et que son déplacement régulier, tel qu'il est apparu à nos voyageurs, a été le résultat de leur propre déplacement sur la surface arrondie de la terre, comme l'indique la figure. Or, c'est là une preuve que la terre est convexe, tout au moins dans la direction du sud au nord.

Si nos voyageurs, au lieu de se diriger vers le nord et vers le sud, avaient marché directement à l'est et à

conque. Ce cercle qui borne la vision, en tant qu'il est formé par la surface de la terre, est désigné du nom d'*horizon apparent* ou *sensible*. Le grand plan que la figure 107 représente passant par le centre de la terre et se prolongeant jusqu'à la sphère céleste est connu sous le nom d'*horizon rationnel*; c'est un cercle imaginaire divisant la sphère céleste en deux hémisphères égaux l'un au-dessus et l'autre au-dessous de l'horizon rationnel. Pratiquement ces deux horizons coïncident, car les distances des étoiles à nous sont si grandes que si l'horizon sensible était prolongé jusqu'à la rencontre de la sphère céleste, on pourrait le considérer comme coïncidant avec l'horizon rationnel auquel il serait sensiblement parallèle, quoiqu'il en fût séparé par la moitié du diamètre de la terre.

l'ouest, ils n'eussent observé aucune variation dans la hauteur de l'étoile polaire. Mais celui qui se fût dirigé vers l'est eût constaté que le soleil se levait plus tôt et se couchait plus tôt que lorsqu'il était lui-même en O; celui qui eût marché vers l'ouest eût constaté que le soleil se levait plus tard et se couchait plus tard. On peut démontrer que ces deux faits sont une preuve de la courbure de la terre dans la direction de l'est à l'ouest, et, en combinant les deux séries d'observations, on établit donc parfaitement la rotondité de la surface de la terre.

Les ingénieurs et les géomètres qui ont à lever des plans font entrer la sphéricité de la terre en ligne de compte dans leurs calculs. Quand, par exemple, on creuse un canal, il faut faire la part de la courbure de la terre, afin de donner au canal une profondeur d'eau égale d'un bout à l'autre. M. Wallace fit, en 1870, au bief de Bedford une expérience convaincante pour prouver la rotondité de la terre. Trois signaux, élevés chacun de quatre mètres au-dessus du niveau de l'eau, furent espacés à 4800 mètres l'un de l'autre. En regardant à travers un télescope disposé de manière à ce que le rayon visuel touchât l'extrémité supérieure du premier et du dernier jalon, on constata que le signal intermédiaire dépassait de plus de 1^m,50, le rayon visuel.

Les faits que nous avons indiqués dans ce chapitre démontrent avec la dernière évidence que la terre a une surface courbe et que sa courbure est celle d'un corps sphérique. Des opérations très délicates ont permis de déterminer la forme de la terre avec la plus rigoureuse exactitude et ont établi que sa forme n'est pas absolument celle d'une véritable sphère. La sphère terrestre est, en effet, légèrement aplatie dans le voisinage des pôles, si bien que, pour employer une assimilation vulgaire, on peut comparer la forme de la terre

à celle d'une orange; mais il faut se rappeler que l'aplatissement de la terre est proportionnellement bien moindre que celui de l'orange. Par suite de cet aplatissement, une ligne courant autour du globe en passant par les deux pôles n'est pas exactement un cercle, mais une ellipse ou quelque chose comme un cercle qui aurait été légèrement comprimé en des points opposés. La figure 108 représente une telle ellipse, mais l'aplatissement y est énormément exagéré. Le diamètre *polaire* ou petit axe, c'est-à-dire la ligne qui va d'un pôle à l'autre en passant par le centre de la terre, mesure 12 713 000 mètres; mais le diamètre *équatorial* ou grand axe, c'est-à-dire la ligne qui va d'un point à un autre sur l'équateur en passant par le centre de la terre, n'est pas le même dans toutes les directions. Car l'équateur n'est pas exactement un cercle, mais est légèrement elliptique; son diamètre le plus long mesure environ 4400 mètres de plus que son diamètre le plus court. Le diamètre équatorial moyen est d'environ 12 756 000 mètres: en d'autres termes, le diamètre équatorial excède le diamètre polaire de 43 kilomètres environ. Le rapport de 43 kilomètres à 12 756 kilomètres est très approximativement celui de 1 à 297; on dit donc que la terre a un *aplatissement* de $\frac{1}{297}$.

Mais cet écart entre la forme de la terre et celle d'une sphère véritable est si médiocre, relativement à la grandeur immense de la terre, que pratiquement on peut appeler la terre une sphère; et on peut aussi la

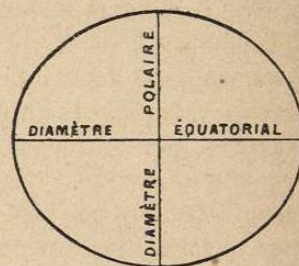


FIG. 108. — Différence entre le diamètre polaire et le diamètre équatorial. (Avec une exagération considérable.)

considérer comme ayant la forme que représentent nos globes ordinaires. En effet, la différence est trop légère pour affecter un modèle de cette nature, à moins que ce modèle soit d'une grandeur extraordinaire¹.

Pour représenter une contrée, en dessinant ses contours sur un globe ou sur une carte, il est nécessaire tout d'abord d'avoir un moyen de déterminer la position des lieux situés sur la surface de la terre. Il est facile de comprendre le système par lequel on y arrive. Supposons qu'on désire déterminer la position du point P, dans la figure 109; on tire deux lignes droites quelconques se coupant à angle droit, telles que OA et OB, et on mesure la distance du point P à l'une d'elles, OB. Si P est à 5 centimètres de OB, on saura alors que le point doit se trouver quelque part sur la ligne ponctuée CD supposée à 5 centimètres de OB. On a obtenu de la sorte un renseignement sur la position du point, mais cette position n'est pas encore

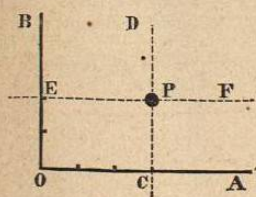


FIG. 109. — Coordonnées d'un point.

définitivement déterminée. Pour qu'elle le soit, il est nécessaire de savoir aussi à quelle distance de l'autre ligne OA se trouve le point P; admettons que cette distance soit égale à trois centimètres : il est clair que la position du point doit être quelque part sur la ligne EF, qui est elle-même partout à trois centimètres de distance de OA. Mais comme il a été démontré que ce point est aussi sur la ligne CD, il est évident que sa position est fixée à P, car c'est le seul point où les deux lignes se coupent. Les distances trois et cinq rapportées à ces

1. Dans un globe de 0^m,75 de diamètre, par exemple, la différence entre le diamètre polaire et le diamètre équatorial ne serait que très peu supérieure à 2^{mm},5.

lignes OB, OA respectivement, indiqueront précisément la position de P : les mathématiciens les appellent les *coordonnées* du point.

Les géographes usent de même des coordonnées pour indiquer la position des lieux sur la surface de la terre. Quand ils veulent établir la situation d'un point quelconque, ils la rapportent à certaines lignes déterminées qu'ils supposent tracées sur la surface du globe. Ils tracent une ligne autour de la terre à égale distance des deux pôles; ils nomment *équateur*¹ cette ligne qui

pratiquement est un cercle (fig. 110). L'équateur partage donc le globe en deux moitiés égales, un hémisphère septentrional et un hémisphère méridional. On suppose de plus que sur chacun de ces hémisphères un certain nombre de cercles courent parallèlement à l'équateur, mais en se rétrécissant à mesure qu'ils se

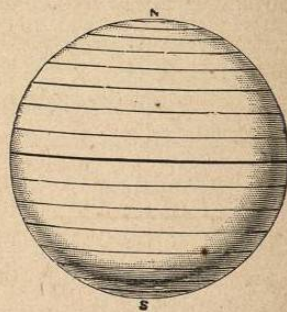


FIG. 110. — Degrés de latitude ou parallèles.

rapprochent des pôles. On appelle ces cercles *petits cercles*, l'équateur étant lui-même un *grand cercle*. Le centre d'un grand cercle est le centre de la sphère sur lequel le cercle est tracé; il est donc évident que si la terre était coupée par un plan à l'équateur, ce plan passerait par le centre de la terre, mais qu'un plan passant par un centre quelconque des petits cercles parallèles à l'équateur ne passerait pas par ce point central.

L'équateur remplit le rôle de la ligne OA dans la

1. *Équateur*, du lat. *æquo*, rendre égal.

figure 109; il est pour ainsi dire la borne géographique à partir de laquelle on mesure les distances. Chaque cercle est divisé pour la commodité des calculs en 360 parties égales, nommées *degrés*; et l'on suppose que la circonférence de la terre est divisée de la même manière. La distance d'un lieu à l'équateur, mesurée le long d'un cercle qui passe par les pôles et exprimée en degrés, se nomme la *latitude*¹ du lieu. La distance de l'équateur au pôle nord est un quart de la circonférence de la terre; on dit que la latitude du pôle est de 90 degrés ou du quart de 360 degrés mesurés en remontant vers le nord à partir de l'équateur. De même, le pôle sud est à 90 degrés de latitude méridionale. On décrit Paris comme étant par 48° 50' 49" ² de latitude boréale; expression qui nous dit immédiatement que Paris est situé dans l'hémisphère septentrional à une distance de près de 49 degrés ou d'environ 5440 kilomètres de l'équateur. La latitude d'une ville de la grandeur de Paris varie naturellement selon les quartiers ³.

La latitude seule ne pourrait déterminer la position d'un lieu. Un grand nombre de lieux, par exemple, pourraient être situés comme Paris sur le cercle qui court autour de l'hémisphère septentrional à 48°50'49" de l'équateur. Il faut donc deux lignes régulatrices, de même que deux lignes étaient nécessaires dans la figure 109. Les géographes ont été en conséquence

1. *Latitude*, du latin *latitudo*, largeur.

2. Chaque degré de latitude est divisé en 60 parties égales appelées *minutes* et chaque minute en 60 parties égales appelées *secondes*. Les degrés se représentent par le signe °, les minutes par ' et les secondes par ". Les minutes et les secondes de temps se distinguent par les initiales *m* et *s* respectivement. Une minute de latitude est un mille nautique, ce que les marins appellent un *nœud*. Le mille géographique de 15 au degré de l'équateur est de 7420 mètres, tandis que le mille marin de 60 au degré n'est que de 1852 mètres.

3. La latitude indiquée ici pour Paris est celle du Panthéon.

amenés à tracer autour du globe un certain nombre de cercles imaginaires, passant tous par les deux pôles comme dans la figure 111. Ces cercles ont reçu le nom de cercles de *longitude* et ils diffèrent à plusieurs égards, sans parler de la direction, des cercles de latitude. Tous les cercles de longitude sont des cercles ayant le centre de la terre pour centre, en d'autres termes, ils sont tous de grands cercles. Au contraire, tous ceux de latitude à l'exception de l'équateur sont des petits cercles. En outre les cercles de latitude forment des plans équidistants et reçoivent en conséquence l'appellation de *parallèles* de latitude. Mais on ne saurait parler de « parallèles de longitude », puisque ces cercles ne sont pas parallèles, qu'ils se rencontrent et se coupent tous à chacun des pôles. On désigne donc ces cercles imaginaires courant du nord au sud sous le nom de *méridiens*, pour la raison que nous avons expliquée à la page 8.

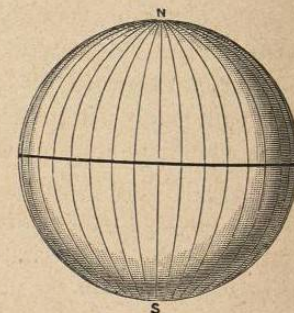


FIG. 111. — Degrés de longitude ou méridiens.

Tandis que la latitude se mesure toujours à partir de l'équateur, la longitude n'a pas de point de départ naturel. On peut même la compter à partir d'un méridien quelconque et différents pays usent en effet de méridiens différents. On appelle *premier méridien*, ou *méridien origine*, celui auquel on rapporte les autres; en France, le premier méridien est celui qui passe par l'observatoire de Paris. Paris n'a donc pas de longitude et de même tous les lieux directement au nord et au sud de Paris n'ont pas de longitude, puisqu'ils sont sur le même méridien. Mais tous les lieux à l'est ou à