

# Le problème de la représentation p

Gérard Vidal

DIRECTEUR PR@TIC  
ENS-LYON

*Familles de transformations, types de projections...  
les différentes représentations de notre planète,  
nécessairement déformées, passées en revue.*

**D**essine-moi le monde ! Cette exigence est apparue très tôt dans l'histoire de l'humanité, probablement en même temps que l'écriture. Les premières cartes connues se trouvent en Mésopotamie, elles apparaissent vers le deuxième millénaire avant J.-C. et sont associées aux textes en écriture cunéiforme.

Depuis cette date, quels que soient le lieu et l'époque examinés, les vestiges archéologiques renferment des dessins à plat représentant « le monde connu » du moment. Ces cartes jalonnent l'évolution de la cartographie au cours des siècles et révèlent l'émergence progressive des problèmes qui se posent toujours aujourd'hui lorsque l'on souhaite dessiner une carte ou un plan :

- Quel est le lieu à cartographier (champ, village, ville, pays, continent, Terre entière) ?
- Quelle est la forme de la Terre ?
- Quel système de représentation et quelle référence retenir ?
- Quels outils utiliser pour passer de façon fiable et répétable de la réalité à sa représentation cartographique ?
- Quels critères permettent de choisir la meilleure représentation parmi toutes celles qui sont possibles ?

## La forme de la Terre

Depuis les observations et les mesures de Maupertuis, Bouguer, La Condamine (1736-37), la Terre est décrite au premier ordre comme un ellipsoïde de révolution<sup>1</sup>. Les études altimétriques et gravimétriques plus récentes<sup>2</sup> démontrent cependant que sa forme réelle est beaucoup plus irrégulière. Le géoïde matérialise la forme que prendrait à l'équilibre la surface d'un océan couvrant toute la planète ; c'est l'image de la forme de la Terre.

L'ellipsoïde est donc la meilleure approximation de la forme de la Terre mais l'irrégularité du géoïde a entraîné le calcul de plusieurs ellipsoïdes de référence dont chacun est la meilleure approximation de la forme de la Terre sur le lieu de résidence de l'auteur du calcul. Ainsi, les tracés de deux cartes d'un même lieu dressées avec la même méthode sur des ellipsoïdes de référence différents seront différents.

## Quel système de représentation ?

Pour représenter la surface de la Terre simplement et avec un minimum d'erreur, la solution consisterait à dessiner les contours des continents sur un ellipsoïde de révolution. Pour simplifier le problème, il est possible de négliger le faible aplatissement de la Terre (1/298,25). La représentation des contours des continents sur une sphère est ainsi courante et il existe des « globes terrestres » de toutes tailles.

Ce mode de représentation est tout à fait adapté aux petites échelles mais il est inadapté pour aborder les grandes échelles ou la cartographie détaillée ou encore lorsque la représentation de la Terre doit être insérée dans un texte. La seule façon efficace qui reste possible est la représentation plane : la carte.

L'une des propriétés de la sphère, et *a fortiori* de l'ellipsoïde, est que sa surface ne peut pas être développée sans déchirure sur un plan. Il s'ensuit que toute carte est une représentation déformée de la réalité, ce qui peut aussi s'exprimer sous la forme suivante : une carte ne peut pas être à la fois conforme (c'est-à-dire conserver les angles) et équivalente (conserver les surfaces), certaines ne sont même ni l'un ni l'autre...

Pour obtenir une carte, il est nécessaire de trouver une transformation qui permette de passer de la surface gauche de l'ellipsoïde à un plan. La plupart de ces transformations sont des projections au sens mathématique, mais pas toutes. Par souci de rigueur, le terme « systèmes de représentation plane » devrait être choisi, mais l'usage a consacré « projections cartographiques ».

1. Cara M. *Géophysique*, 196 p., Dunod, 1989.

2. Cazenave A. & Feigl K. *Formes et mouvements de la Terre, Satellites et géodésie*, 159 p., Belin, 1994.

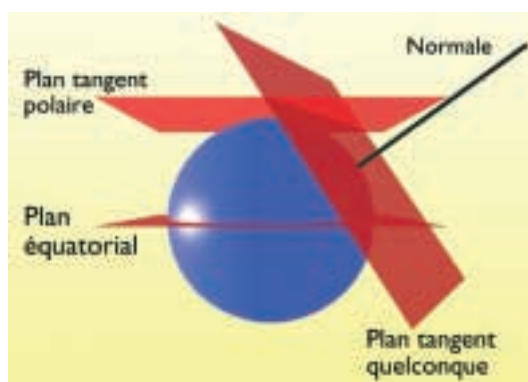
# ane de la surface de la Terre

Les cartes se répartissent en trois grandes familles : celles qui conservent les angles, celles qui conservent les surfaces, celles qui ne conservent ni les angles ni les surfaces.

## Les « projections » cartographiques

Il existe de nombreuses transformations qui ne pourront pas toutes être abordées ici. Nous traiterons les quatre principaux types de projection qui seront illustrés par quelques exemples parmi les plus usités en sciences de la Terre. Dans les figures qui suivent, la grille des parallèles-méridiens a été enlevée pour éviter de confondre la forme initiale de la grille avec sa représentation projetée dans le plan de la feuille, la sphère bleue représente la Terre, l'axe des pôles non représenté est supposé vertical.

### Projection sur un plan : les projections azimutales

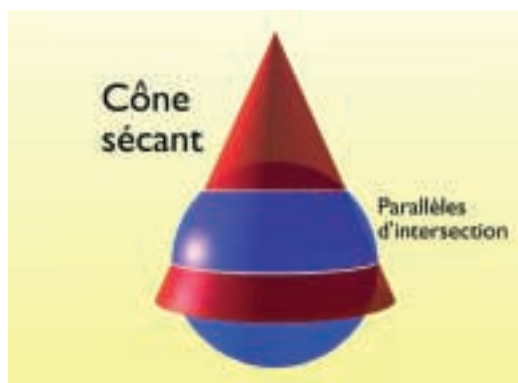
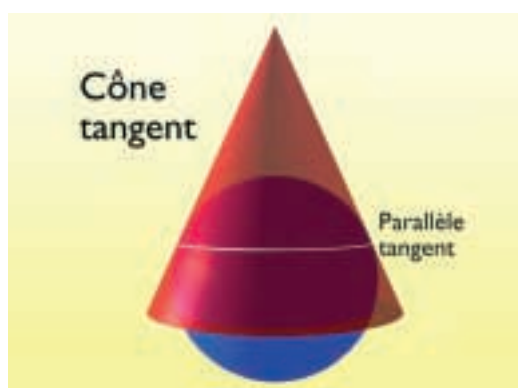


Cette famille de transformations est caractérisée par trois paramètres : les deux premiers donnent l'orientation de la normale au plan de projection passant par le centre de la Terre (latitude, longitude), le troisième donne l'échelle de la représentation. La surface de projection est un plan tangent ou sécant à la sphère. L'orientation de la normale du plan peut être quelconque mais en général ces projections sont choisies pour représenter les régions polaires.

La normale est alors confondue avec l'axe des pôles et le plan est tangent à la sphère (projec-

tion gnomonique, Lambert azimutale équivalente, équidistante).

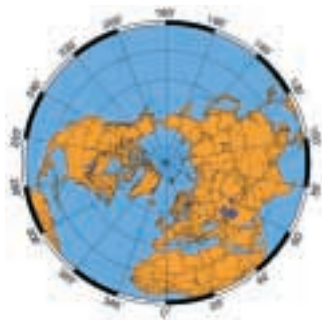
### Projection sur un tronc de cône : les projections coniques



Cette famille de projections est caractérisée par au moins trois paramètres : la longitude de référence, la latitude du centre de la carte et l'échelle. La surface de projection est un cône tangent à la sphère, certaines transformations autorisent que le cône soit sécant et dans ce cas deux paramètres supplémentaires sont nécessaires : les latitudes des parallèles d'intersection. Les projections coniques peuvent être conformes ou équivalentes. La déformation est constante sur une latitude donnée. Les cartes de l'IGN sont réalisées avec une projection conique de Lambert (plus précisément quatre projections correspondant aux quatre zones Lambert). On retrouve dans ce groupe la projection équidistante et celle d'Albers.

## Quelques exemples de représentation de la Terre

Les projections choisies sont courantes mais elles sont dessinées ici au-delà de leurs limites habituelles afin de mieux visualiser les distorsions qu'elles induisent.



### Projection azimutale de Lambert

La déformation est minimale au pôle et s'accroît lorsqu'on s'en éloigne. Un seul hémisphère est visible. La projection est équivalente.



### Projection azimutale équidistante

La déformation est minimale au pôle et s'accroît lorsqu'on s'en éloigne. Sur cette représentation, le deuxième hémisphère est « enrôlé » autour du premier. La projection n'est ni conforme ni équivalente.



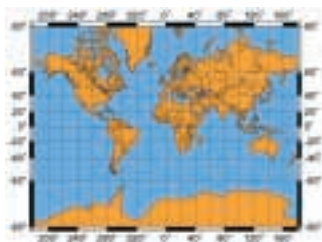
### Projection conique de Lambert

Les paramètres utilisés ici sont ceux de la projection Lambert II étendue utilisée en France. La projection est conforme et presque équivalente autour de la latitude de référence. Ailleurs, la déformation s'accroît. Cette projection est utilisée pour les grandes échelles.



### Projection conique d'Albers

Construite ici avec les mêmes paramètres que la précédente, cette projection est équivalente et les déformations angulaires s'accroissent au fur et à mesure qu'on s'éloigne des parallèles de référence.



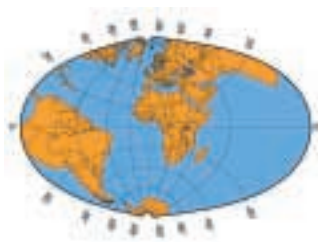
### Projection cylindrique de Mercator

Cette représentation usuelle a été étendue ici vers les hautes latitudes pour illustrer l'augmentation de la taille des surfaces des latitudes moyennes et élevées. Cette représentation est conforme.



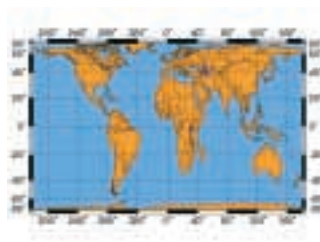
### Projection de Mercator transverse

La déformation est minimale le long du méridien de référence. Elle s'accroît en s'éloignant de ce méridien, la projection est conforme. L'exagération des surfaces est particulièrement visible le long de l'équateur.



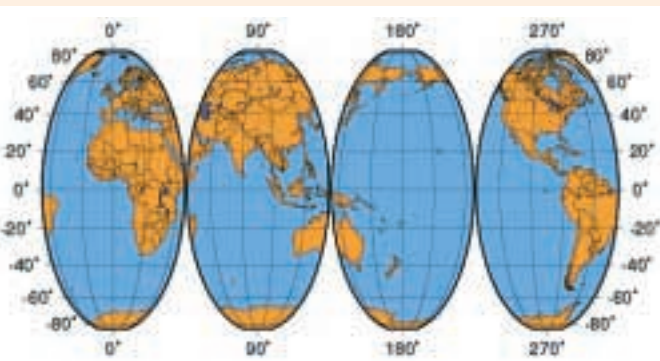
### Projection UTM fuseau 30

Cette projection conforme est calculée pour représenter un fuseau étroit (6 degrés). La dissymétrie de la carte vient de ce que le centre du fuseau 30 n'est pas aligné avec le centre de la carte.

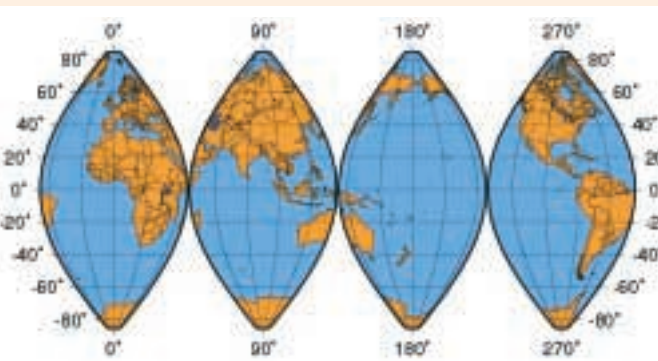


### Projection de Peters

Cette projection présente le même aspect que la projection de Mercator (avec laquelle on peut la comparer), mais elle est équivalente, les tailles relatives des continents sont exactes.



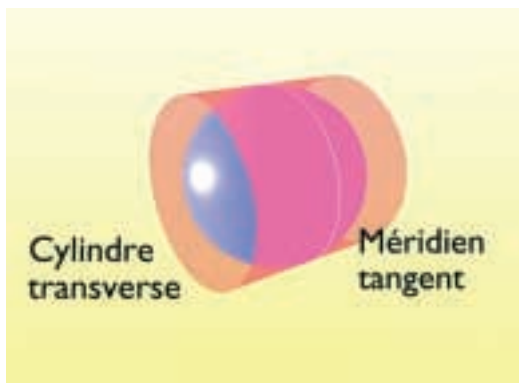
Dans ces projections les discontinuités permettent de minimiser les déformations angulaires.



Projection discontinue sinusoïdale.

## Projection sur un cylindre: les projections cylindriques

Cette famille de projections est la plus variée. La surface de projection est un cylindre tangent ou sécant à la sphère. Le nombre de paramètres nécessaires est variable. Un seul suffit pour la projection de Mercator (l'échelle), il en faut quatre pour la projection de Mercator oblique (longitude et latitude du centre de projection, échelle et azimut). La projection de Mercator est la plus usitée.



La dernière variante utilise un cylindre dont l'axe est perpendiculaire à l'axe des pôles, on parle de projection transverse. Pour limiter les déformations, la projection est subdivisée en zones correspondant à la rotation progressive de l'axe du cylindre autour de l'axe des pôles. La plus usitée est la projection *UTM (Universal Transverse Mercator)* qui divise la Terre en 60 zones.

### Autres projections

Il existe enfin une multitude d'autres systèmes de représentation créés pour des besoins particuliers et qui exploitent les propriétés de certaines transformations mathématiques ou projections. La projection polyconique est la juxtaposition d'une série de projections coniques pour minimiser la déformation latitudinale.

La projection de Mollweide et la projection sinusoidale minimisent la déformation en permettant la discontinuité des surfaces projetées.

### Les critères de choix du type de représentation

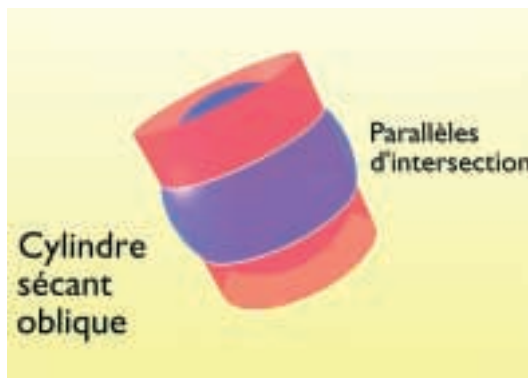
En sciences de la Terre, les données de géophysique sont majoritairement représentées sur des projections de Mercator pour des raisons historiques car ce type de projection était traditionnellement utilisé pour les cartes marines. Les premières données géophysiques venant de la mer, elles ont été représentées en utilisant le système cartographique disponible sur les navires.

Les projections coniques sont conformes et ont l'avantage de présenter une faible déformation des surfaces entre les parallèles de référence ; elles sont souvent utilisées pour les cartes à petite échelle.

L'émergence des SIG permet maintenant de choisir le type de projection dans lequel on souhaite présenter des données et il devient crucial de choisir le bon type de représentation pour pouvoir observer le phénomène que l'on étudie. ●



L'utilisation des images des satellites à défilement (dont le plan orbital ne contient pas l'axe des pôles) dans les SIG et le souci de représenter le mieux possible la continuité des régions polaires et des latitudes moyennes ont conduit à autoriser la modification de la position de l'axe du cylindre de projection. On obtient la projection cylindrique oblique. L'axe du cylindre peut tourner autour de l'axe des pôles.



### Compléments

#### Cartographie en France

[www.ign.fr](http://www.ign.fr)

#### Ellipsoïdes de référence

[www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/datum/elist.html](http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/datum/elist.html)  
[www.noobeed.com/nb\\_ex\\_geod.htm](http://www.noobeed.com/nb_ex_geod.htm)

#### Description détaillée des projections

Colorado state university  
[www.cnr.colostate.edu/class\\_info/nr502/lg2/lg2\\_master.html](http://www.cnr.colostate.edu/class_info/nr502/lg2/lg2_master.html)

Les figures ont été réalisées à l'aide de logiciels libres :

– pour les dessins 3D -> blender  
[www.blender.org](http://www.blender.org)

– pour les cartes -> GMT  
<http://gmt.soest.hawaii.edu/>  
sous OS libre Linux Debian [www.debian.org](http://www.debian.org)