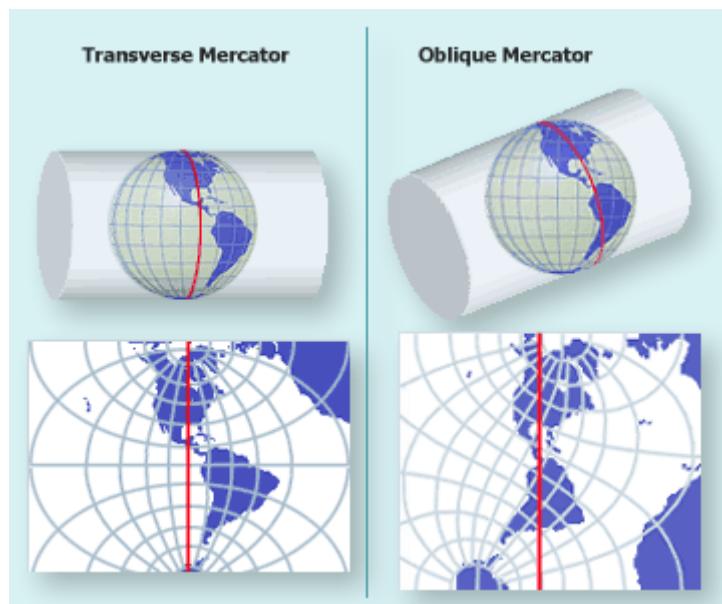
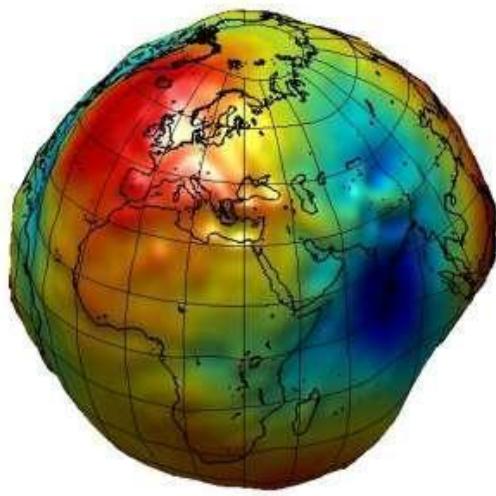


Bases de la cartographie

Systèmes géodésiques – Projections
Version remaniée octobre 2024





SOMMAIRE

Table des matières

<u>1. Introduction</u>	2
<u>2. La forme de la terre</u>	2
Définition grossière de la forme de la terre :	2
Approximation mathématique : l'ellipsoïde	3
Définition plus précise de la forme réelle de la terre : le géoïde	7
<u>3. La mesure de la forme de la terre : la géodésie</u>	13
<u>4. Les points de référence : l'équipement géographique du territoire français</u>	22
Le canevas géodésique :	22
Le canevas de nivelllement :	23
Comment se procurer la localisation et les coordonnées des points de référence en matière de nivelllement ?	23
<u>5. Comment se repère-t-on à la surface du globe terrestre ?</u>	26
Le positionnement à la surface de la terre : coordonnées géographiques	26
L'altitude	28
<u>6. Comment passer d'un positionnement à la surface du Globe à la localisation sur une carte ?</u>	32
Les projections :	32
Les projections peuvent être classées en fonction des déformations qu'elles engendrent	34
Les projections peuvent être classées en fonction de la surface de projection qu'elles utilisent	36
Description	41
Le repérage sur les cartes : les coordonnées cartographiques	42

7. Les projections Lambert en France : l'ancien Lambert IGN NTF : 4 zones France	44
8. Lambert 93 : projection associée au système géodésique RGF 93.	50
9. La projection U.T.M (Mercator Transverse Universelle)	65
Systèmes de coordonnées projetées fréquemment utilisés en France métropolitaine (source wikipedia nov 2023)	68
10. Systèmes de projection utilisés par l'I.G.N. dans les DOM -TOM	70
11. EPSG...la référence des projections	72
Codes EPSG des systèmes géodésiques	72
Codes EPSG des Systèmes de coordonnées projetées en France métropolitaine	73
en France métropolitaine	73
12. Différents types de cartes :	76
13. Comment se repérer sur une carte ?	76
Mesure d'une coordonnée cartographique sur une carte.	76
L'orientation sur une carte : les différents « Nords »	79
Changement de systèmes de coordonnées et de projection	80
Notions d'échelles, de précision, de résolution d'une carte.	82

Bases de la cartographie

1. Introduction

Document de référence utilisé pour se localiser ou localiser tout type d'information, la carte est un outil de travail majeur et doit être bien connue.

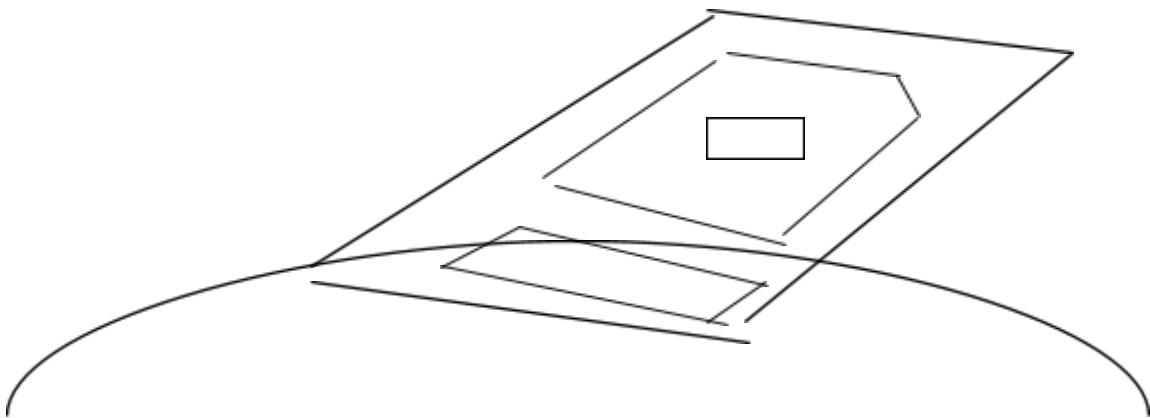
Comment sont faites les cartes ? De quelle façon sont reportées sur une carte les informations situées sur la terre ? Comment repérer un point, sur la terre, sur une carte, quels sont les points de référence utilisables, quelles sont les projections utilisées en France ?...

Toutes ces questions méritent un développement et des réponses précises. C'est l'objet de ce chapitre « Bases de la cartographie ».

2. La forme de la terre

Dans tout processus de cartographie de la surface terrestre, on doit tout d'abord se poser la question de la forme de la terre.

Le géomètre qui fait un plan sur une zone de superficie très restreinte peut se contenter d'assimiler la terre à une surface plane tangente au centre de la surface concernée. Les déformations engendrées sont négligeables.

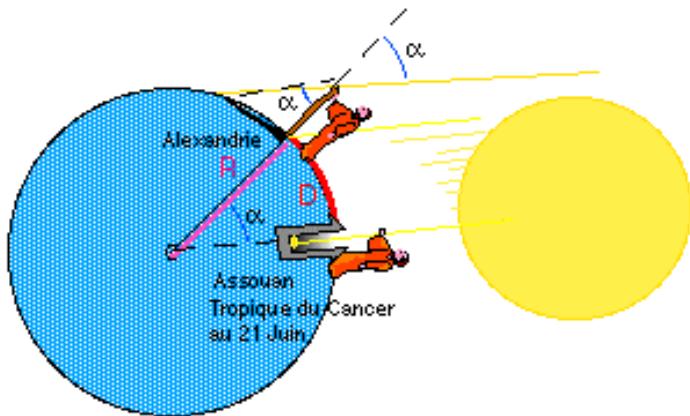


Le cartographe, lui, désire représenter un territoire plus important et doit impérativement prendre en compte la forme réelle de la terre.

Définition grossière de la forme de la terre :

C'est Erathostène (IIIème siècle avant J.C) qui le premier a déterminé la longueur du rayon terrestre en mesurant l'angle entre les verticales d'Assouan et d'Alexandrie ainsi que la distance qui les sépare. Il

avait estimé la circonference de la terre avec une erreur relativement faible (3%). Depuis lors, on sait que la terre a une forme quasi-sphérique.



©IGN

Approximation mathématique : l'ellipsoïde

Au 17ème siècle, Newton a émis l'hypothèse que la forme de la terre se rapprochait plutôt de celle d'un **ellipsoïde de révolution**, c'est-à-dire d'une sphère aplatie aux pôles.

Cette théorie était en contradiction avec des mesures faites par Cassini qui pensait que la terre était aplatie à l'équateur. L'hypothèse de Newton a rapidement été démontrée par l'étude de la variation des rayons de courbure des méridiens : la courbure des méridiens est plus forte au pôle qu'à l'équateur. Deux expéditions de mesures de la longueur d'un arc de méridien (1736 et 1744) en Laponie et au Pérou l'ont démontré.

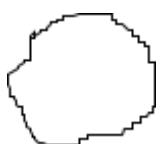
Le volume géométrique théorique le plus proche de la forme de la terre est donc un ellipsoïde de révolution.

Un ellipsoïde de révolution est une surface géométrique régulière correspondant au volume généré par une ellipse tournant autour de son petit axe.

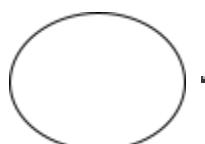
L'ellipsoïde est donc utilisé par les cartographes comme surface de référence.

C'est la première étape dans l'établissement des cartes : la terre, de forme irrégulière est assimilée à une surface géométriquement bien définie.

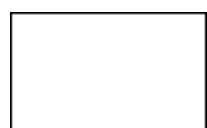
La deuxième étape consistera à passer de l'ellipsoïde à une surface plane.



Terre



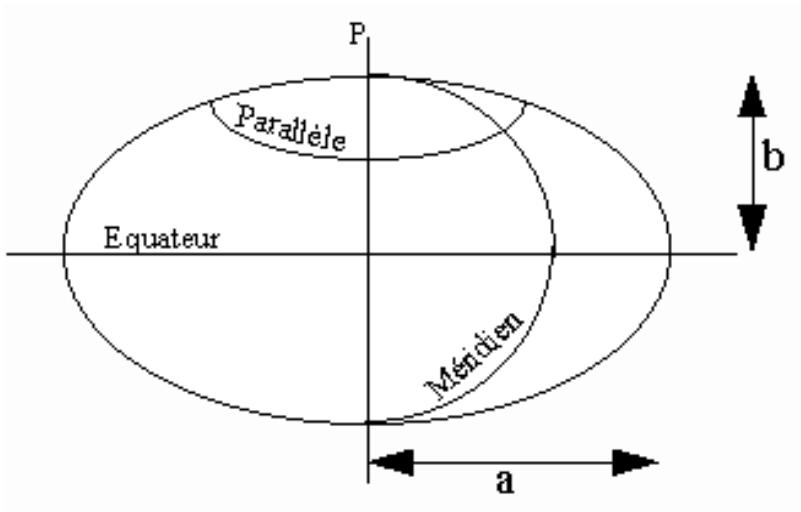
Ellipsoïde



Carte

La terre n'ayant pas une forme régulière, plusieurs ellipsoïdes existent (une vingtaine), offrant différentes approximations, toutes adaptées à différents pays du monde ou à différents usages.

Chaque ellipsoïde est défini par ses caractéristiques géométriques principalement le demi grand-axe et le demi-petit axe.:



a = demi grand axe

b = demi petit axe

$(a-b)/a$ = aplatissement (f)

Parmi les ellipsoïdes les plus utilisés, on note :

- **L'ellipsoïde de HAYFORD (1909)** également appelé Ellipsoïde International

Ses caractéristiques mathématiques sont :

$a = 6378388 \text{ m}$

$b = 6356911,9462 \text{ m}$

Aplatissement = $1/297$

- **L'ellipsoïde de Clarke (1880) IGN**, utilisé notamment en France par l'Institut Géographique National pour les séries 1: 25 000, 1 : 50 000 et 1 : 250 000.

$a = 6378249,2 \text{ m}$

$b = 6356515,00 \text{ m}$

Aplatissement = $1/293,465$

Attention, un autre ellipsoïde appelé **ellipsoïde de Clarke (1880) « Anglais »**, est caractérisé par les paramètres suivants :

$a = 6378249,145$

$b = 6356514.870$

Aplatissement = $1/293,465$

Il est utilisé en particulier pour la projection UTM, en Afrique.

- **L'ellipsoïde de Clarke 1866** existe également :

Ses caractéristiques mathématiques sont :

$a = 6378206.4 \text{ m}$

$b = 6356583.8 \text{ m}$

Aplatissement = 1/294.9786982

A ces ellipsoïdes viennent s'ajouter des ellipsoïdes issus de mesures de la terre à partir de satellites, notamment celui du système de référence **WGS84 (World Geodetic System)** dont l'ellipsoïde associé est **IAG GRS80**. Ses caractéristiques sont les suivantes :

$$a = 6378137,00$$

$$b = 6356752,3141$$

$$\text{Aplatissement} = 1/298,257$$

L'ellipsoïde associé au WGS84 est utilisé comme ellipsoïde de référence dans le cadre des mesures effectuées par procédé **GPS (GNSS)**.(Global positionning System : système permettant le positionnement à la surface de la terre à partir de la réception de signaux en provenance de satellites).

Modèles d'ellipsoïde en usage en France

Système géodésique	Description	Ellipsoïde associé	a	b	1/f	e
NTF	Nouvelle triangulation française	Clarke 1880 IGN	6378249.2	6356515.0	293.466021	0.08248325676
ED50	European Datum 1950	Hayford 1909	6378388.0	6356911.9461	297.000000	0.08199188998
WGS84	World geodetic system	IAG GRS 1980	6378137.0	6356752.314	298.257222	0.08181919106
RGF 93	Réseau géodésique français	IAG GRS 1980	6378137.0	6356752.314	298.257222	0.08181919106
ETRS	EUROPEAN TERRESTRIAL REFERENCE SYSTEM	IAG GRS 1980	6378137.0	6356752.314	298.257222	0.08181919106

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

Nom	Date	Rayon Equatorial ou demi-grand axe a (mètres)	Rayon Polaire ou demi-petit axe b (mètre)	Applatissement f	Utilisation
GRS 1980 ¹	1980	6 378 137,0	6 356 752,3	1/298,257	Récemment adopté
WGS 72 ²	1972	6 378 135,0	6 356 750,5	1/298,26	NASA

Australian	1965	6 378 160,0	6 356 774,7	1/298,25	Australie
Krasovsky	1940	6 378 245,0	6 356 863,0	1/298,3	Union Soviétique
International	1924	6 378 388,0	6 356 911,9	1/297	Restant du monde
Hayford	1909				
Clarke	1880	6 378 249,1	6 356 514,9	1/293,46	la plupart de l'Afrique, France
Clarke	1886	6 378 206,4	6 356 583,8	1/294,98	Amérique du Nord, Philippines
Airy	1849	6 377 563,4	6 356 256,9	1/299,32	Grande Bretagne
Bessel	1841	6 377 397,2	6 356 079,0	1/299,15	Europe Centrale, Chili, Indonésie
Everest	1830	6 377 276,3	6 356 075,4	1/300,80	Inde, Burma, Pakistan, Afganistan, Thailande...

1) Système géodésique de référence. Ellipsoïde dérivé du modèle de Terre adopté par la 17^{ème} assemblée de l'union Géodésique et Géophysique Internationale.

2) Système géodésique mondial.

Tableau : Caractéristique des principaux ellipsoïdes utilisés

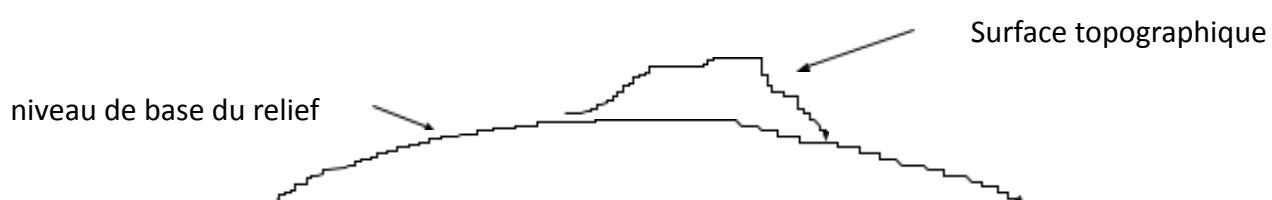
Définition plus précise de la forme réelle de la terre : le géoïde

La démarche qui consiste à approximer la terre à une surface géométriquement définie, lisse et régulière est nécessaire au cartographe mais ne fournit pas une représentation absolument fidèle de la réalité.

En effet, la terre n'a pas une forme géométriquement régulière.

Elle est constituée d'une alternance de surfaces en eau (les océans), et de continents comportant des reliefs variables.

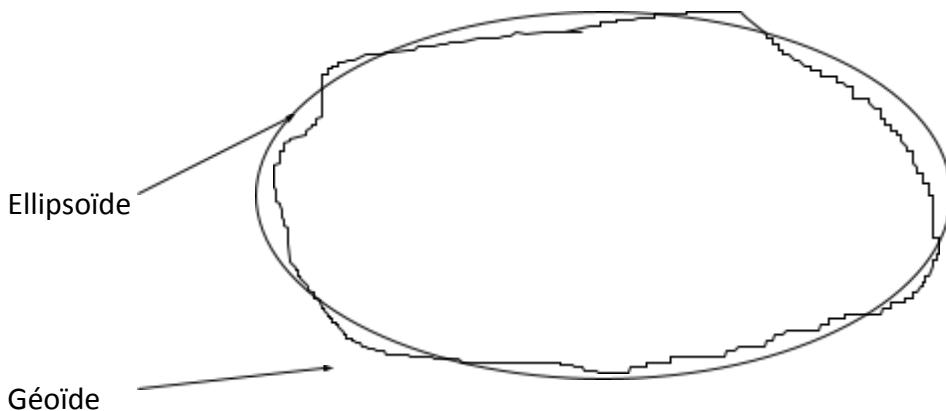
Les spécialistes de l'étude de la géométrie de la terre (les géodésiens) ont essayé de trouver une surface de référence qui représente le mieux possible la forme de la terre. Ils ne souhaitent pas représenter toutes les hétérogénéités de la terre (son relief). Ils ont donc cherché à déterminer le niveau de base du relief, la surface sur laquelle était « posé le relief ».



On peut dire en simplifiant que le **niveau moyen des mers** a été pris comme niveau de base, ce niveau a été ensuite "prolongé" sous les continents de la manière suivante :

la force de gravité (¹) terrestre a été mesurée au niveau de la mer et on a déterminé sous les continents la surface où la pesanteur était identique. On a ainsi défini une surface de forme irrégulière que l'on nomme le **géoïde**.

On donne généralement du géoïde la définition suivante : **surface correspondant au niveau moyen des mers prolongé sous les continents, ou surface équipotentielle : surface sur laquelle tous les points ont la même valeur de force de gravité.**

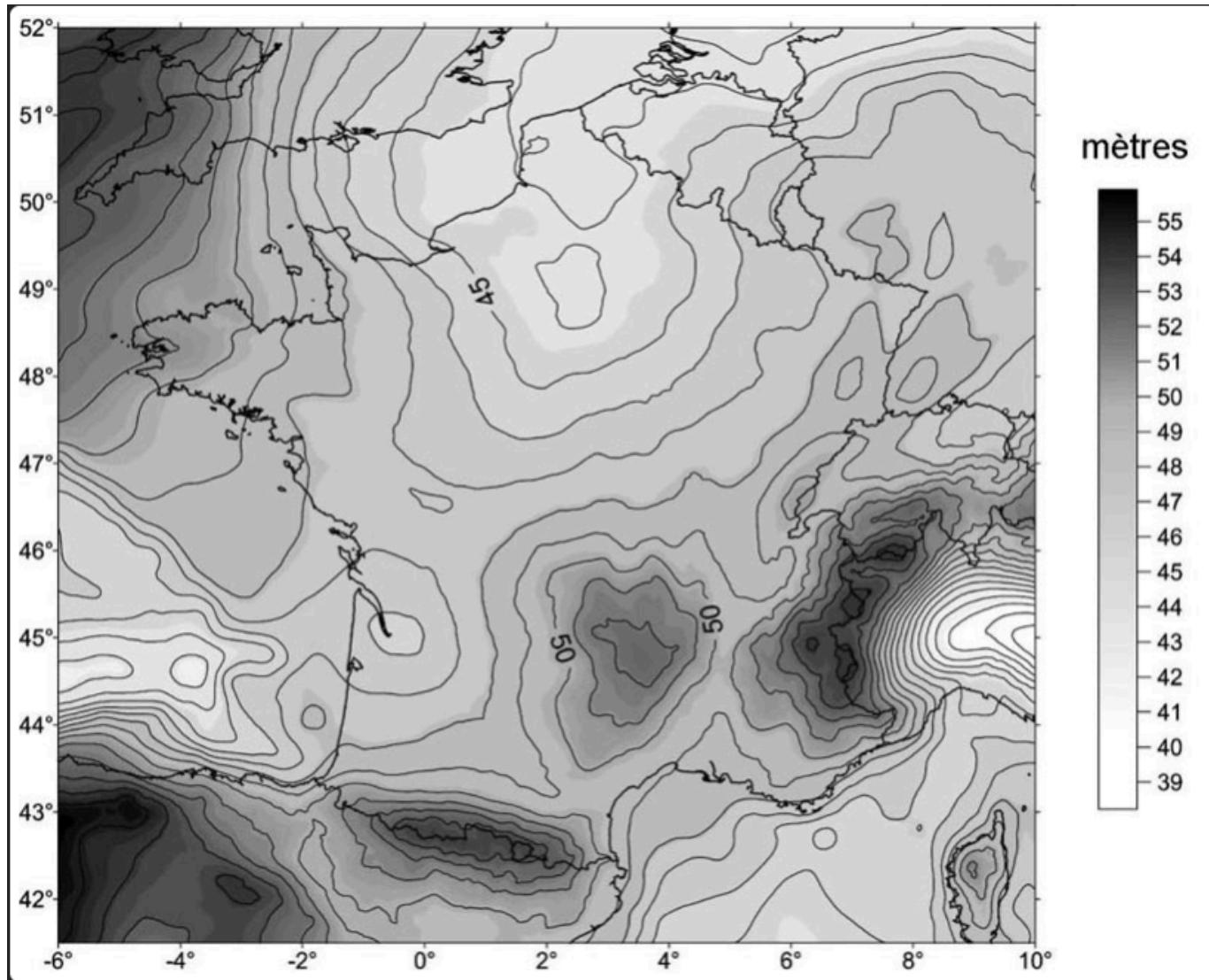


L'attraction terrestre varie en tout point de la terre en raison de la répartition hétérogène de la matière à l'intérieur de la Terre. De ce fait, le géoïde est donc un volume irrégulier.

Le géoïde est caractérisé par des creux et des bosses par rapport à l'ellipsoïde pouvant atteindre 100 mètres. Ces creux et bosses ont été mis en évidence progressivement depuis environ 40 ans, en observant les variations de trajectoire des satellites en orbite autour de la Terre. Les déformations des trajectoires sont en effet causées par les variations du champ de force auquel est soumis le satellite. La forme du géoïde peut être déterminée à la fois par des mesures gravimétriques au sol et, en ce qui concerne notamment les mers, par des mesures d'altimétrie réalisées à partir de satellites : TOPEX-POSEIDON par exemple, mesure la différence entre le niveau moyen des mers et le géoïde.

Le géoïde ne suit donc pas exactement la forme de l'ellipsoïde. La figure ci après montre la position du géoïde par rapport à l'ellipsoïde sur la France.(source IGN)

¹ La force de gravité est la résultante de deux forces : l'attraction terrestre et la force centrifuge due à la rotation de la terre.



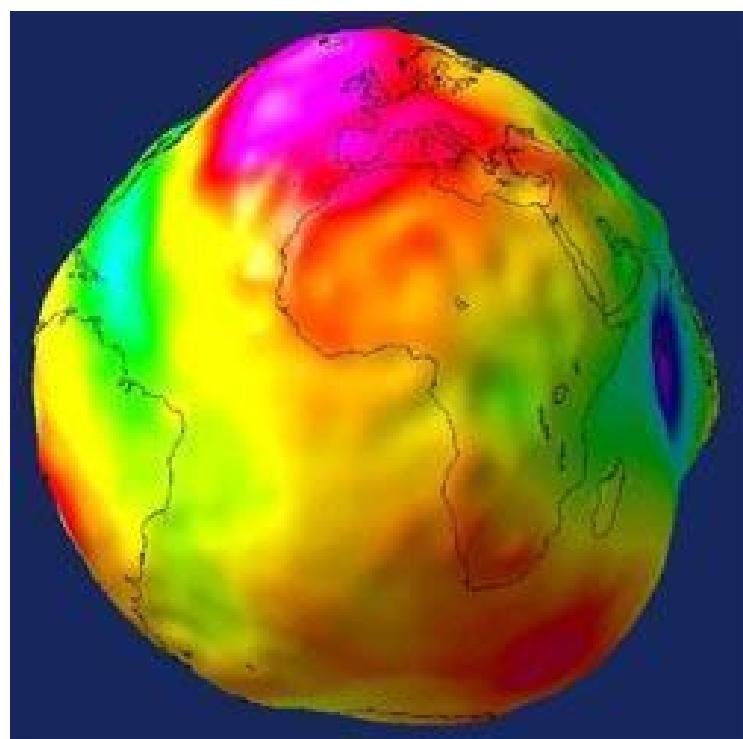
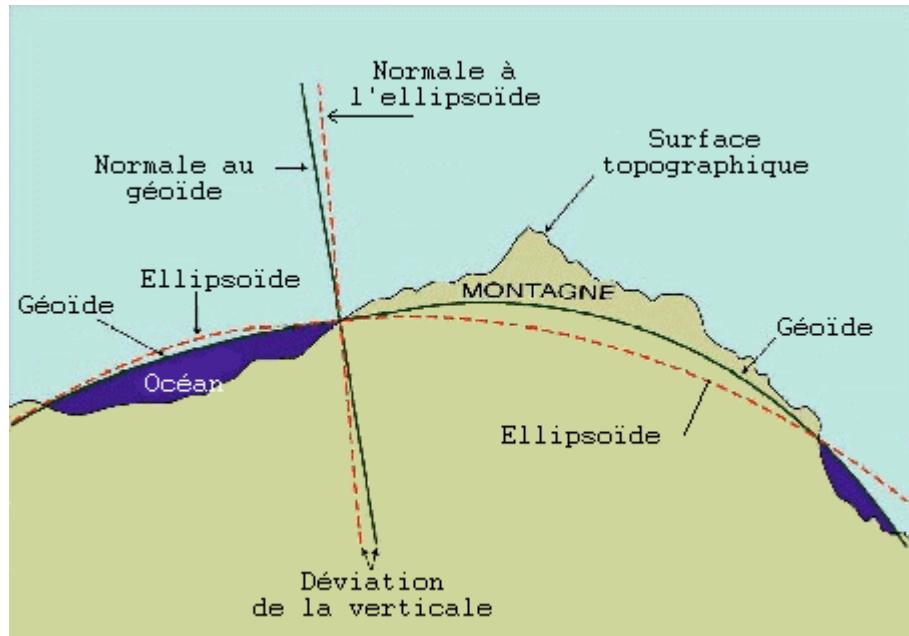
Au niveau mondial les écarts constatés par rapport à l'ellipsoïde de Clarke sont partout inférieurs à 100 mètres et rarement supérieurs à 10 mètres.

On peut remarquer que le géoïde descend jusqu'à moins 100 mètres en dessous de l'ellipsoïde de Clarke dans une zone située au sud de l'Inde et qu'il monte à plus 70 mètres en Islande.

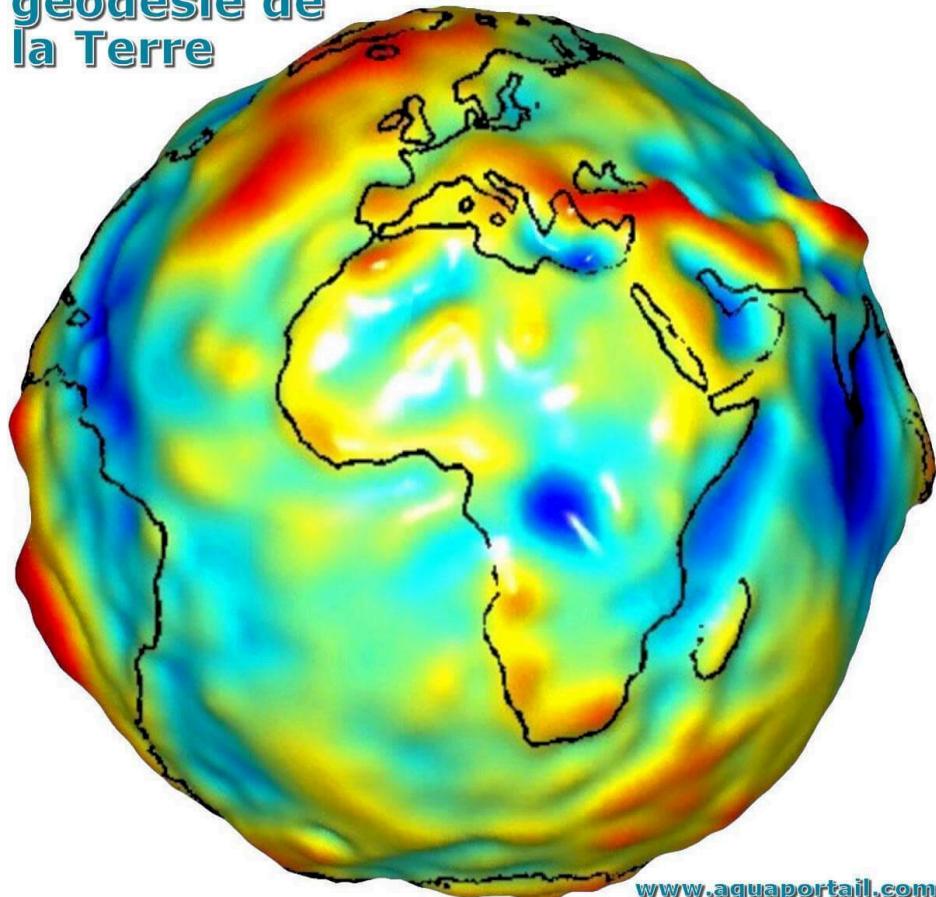
On sait maintenant que le géoïde est pour présenter les choses simplement, une surface "bosselée". L'ellipsoïde international IAG-GRS 80 est la surface qui s'en rapproche le plus au niveau mondial. L'utilisation de cet ellipsoïde permet donc de représenter au mieux, globalement, la surface de la Terre. Cependant, il ne donne pas forcément la meilleure représentation locale.

Dans le processus de cartographie d'un pays, le point ou les normales à l'ellipsoïde et au géoïde sont identiques s'appelle le **point fondamental**. En France le « point fondamental » la croix du Panthéon à Paris pour le système NTF utilisant l'ellipsoïde de Clarke.

(https://geodesie.ign.fr/contenu/fichiers/Meridiens_greenwich_paris.pdf)



géodésie de la Terre



www.aquaportal.com

Figure 1 : représentation grand public du geoïde

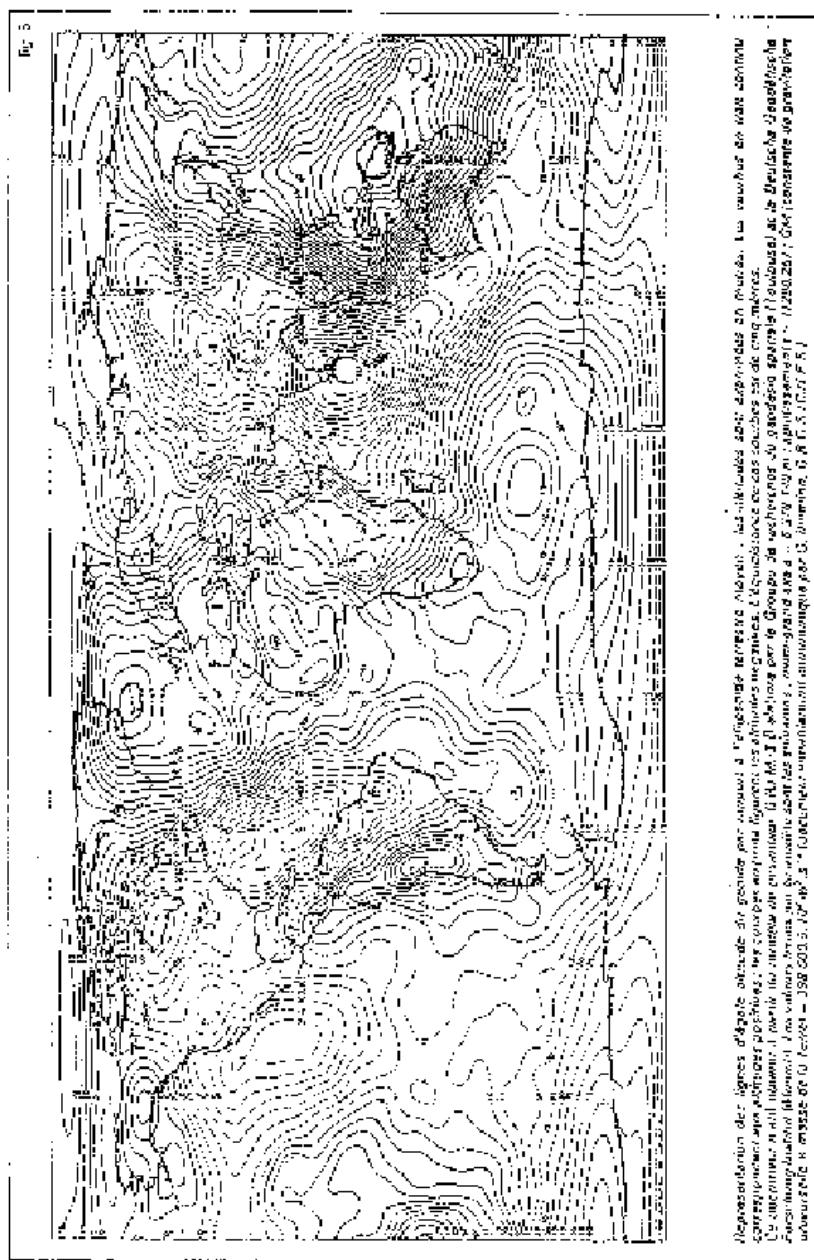


Figure 2 : Ellipsoïde terrestre moyen

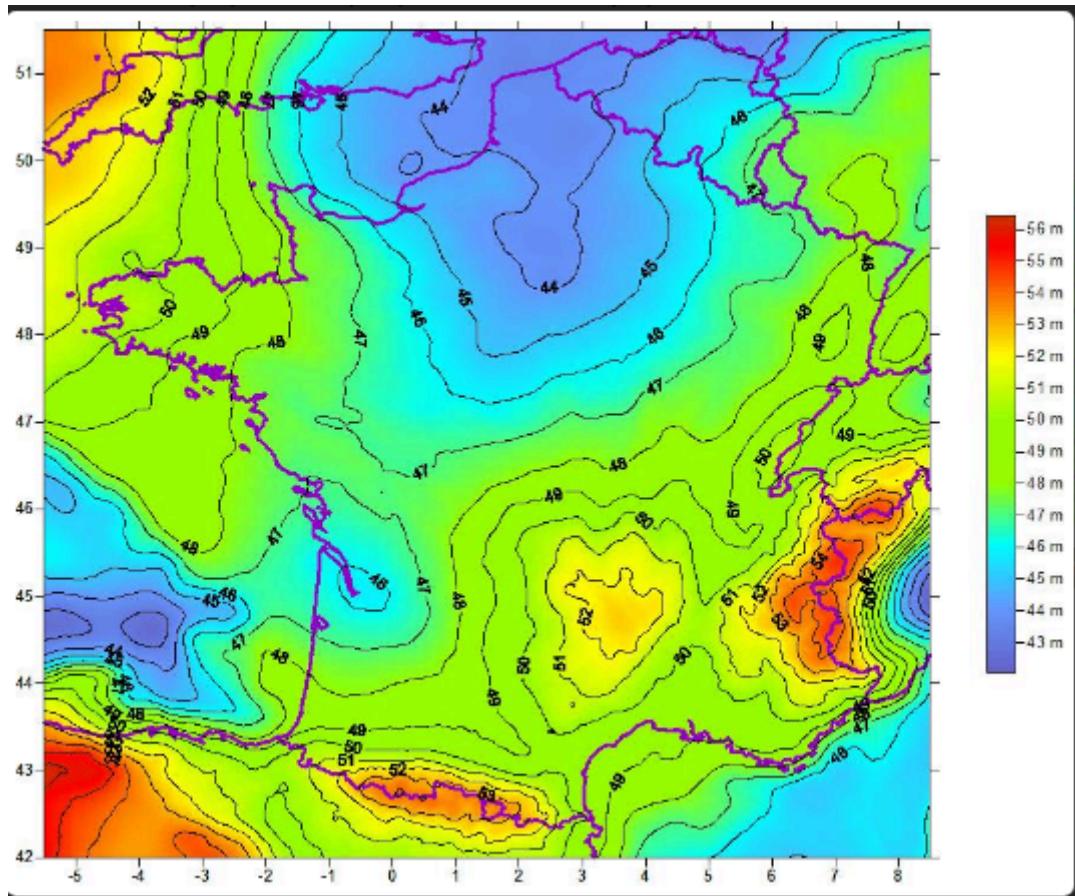


Figure 3 : Géoïde en France (RAF 20) source IGN

3. La mesure de la forme de la terre : la géodésie

La géodésie est la science qui a pour but de déterminer la forme et les dimensions de la terre.

La géodésie traditionnelle

La géodésie traditionnelle est née au XVIIème siècle avec l'apparition de nouveaux instruments (lunettes à réticules) et de nouvelles techniques : **la triangulation**.

La triangulation est une technique permettant de déterminer les éléments d'une figure en la décomposant en triangles adjacents dont on mesure les angles au théodolite, et dont un côté au moins est déterminé (mesure de la longueur d'un côté).

On détermine ainsi les coordonnées de points de repère sur le territoire à l'aide de mesures d'angles : **les points géodésiques**.

L'ensemble de ces points matérialisés sur le terrain (bornes géodésiques, château d'eau, etc ...) forme un **canevas géodésique** qui couvre toute la France, canevas auquel les levés topographiques sont rattachés de façon homogène. Ces points sont visibles sur le site du Geoportail de l'IGN.



Exemple de borne géodésique de l'IGN



Rapide histoire de la triangulation de la France :

Au XVII^e siècle apparaît l'utilisation de la triangulation, basée essentiellement sur des mesures d'angles et de distances, entre points en intervisibilité, et utilisant les ressources de la trigonométrie pour les calculs.

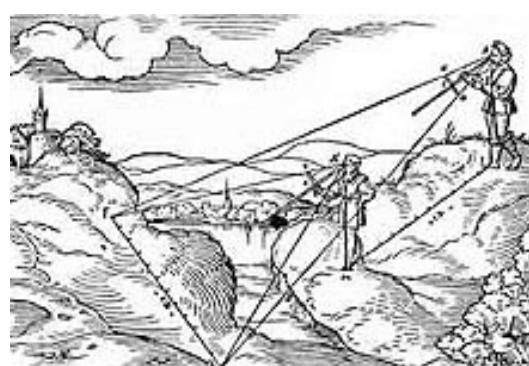
Les premiers résultats obtenus sur un méridien joignant Dunkerque aux Pyrénées (**Méridienne de Cassini**) seront à l'origine de l'hypothèse d'une terre légèrement allongée suivant l'axe des pôles, en contradiction avec les théories contemporaines de Newton sur l'attraction universelle, et des mesures pendulaires effectuées par Richer près de l'équateur. Cette "*querelle de l'aplatissement*" sera tranchée en 1737 grâce aux résultats de deux missions de triangulation commanditée par l'Académie des Sciences : la mesure d'arcs de méridiens près du pôle nord (Laponie, expédition Maupertuis), et près de l'équateur (Pérou de l'époque soit l'Équateur actuellement, expédition Godin-Bouguer-La Condamine). Elles apporteront la preuve d'une **terre aplatie aux pôles** (ellipsoïde), et la Méridienne de Cassini sera corrigée de ses inexacititudes.

La triangulation sera ensuite utilisée pour la détermination de trois réseaux de points successifs de précision croissante, couvrant tout le territoire français, liés à la publication de trois cartes nationales, de plus en plus détaillées :

- XVIIIème siècle : Triangulation des Cassini, carte de Cassini.



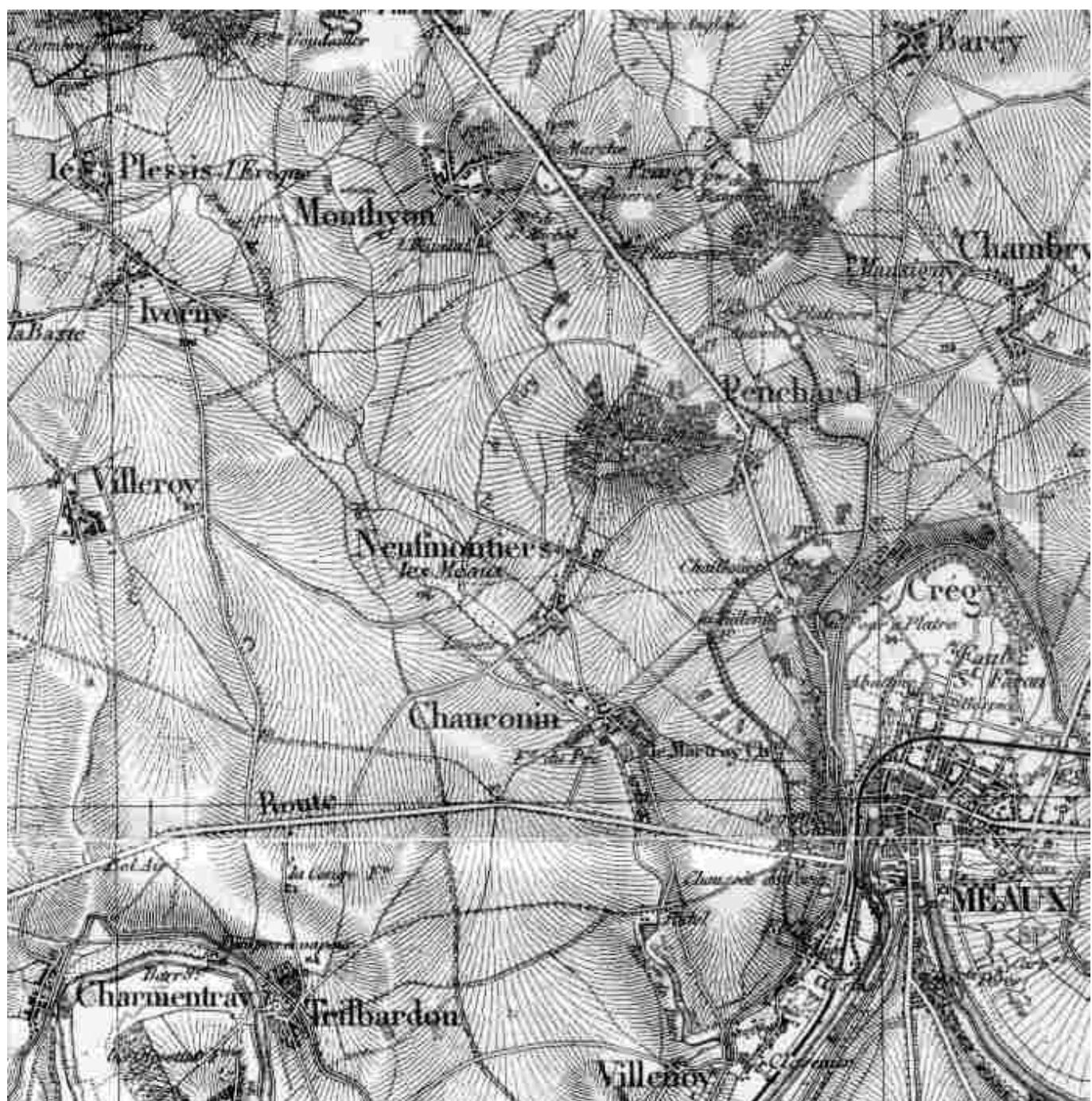
Extrait de Carte de Cassini





Carte de Cassini en version couleur

- **XIXème siècle : Triangulation des Ingénieurs Géographes, carte de l'État-Major au 1 : 80 000**



Extrait de carte d'état major

- **XXème siècle : Nouvelle Triangulation de la France (NTF),
Carte de France au 1/25000ème**

La Nouvelle Triangulation de la France (NTF)

Cette triangulation a été achevée en 1991.

La NTF "Nouvelle Triangulation de la France" est le canevas géodésique traditionnel, il comporte **80 000 points**.

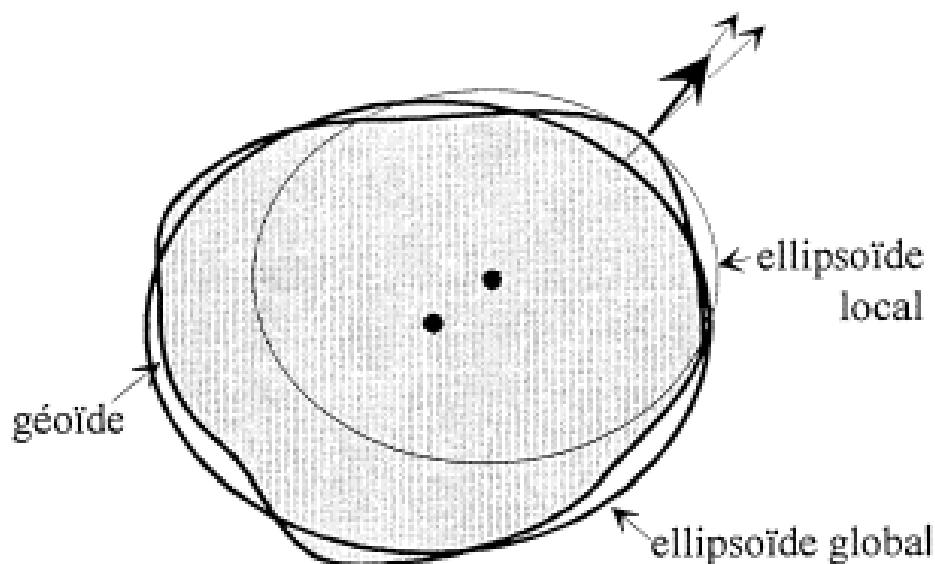
C'est un système est matérialisé sur le terrain par un hiérarchisé :

- Réseau principal
 - 800 points de 1er ordre espacés de 30 km environ
 - 5 000 points de 2ème ordre espacés de 10 km environ
 - 60 000 points de 3ème et 4ème ordre espacés de 3 km environ
- Réseau complémentaire
 - 20 000 points de précisions diverses.

Les points géodésiques sont des croix de clocher, des centres de château d'eau mais aussi des repères (bornes en granit ou en béton, rivets ou cylindres de laiton scellés dans un support stable). C'est la position de ces repères qui est connue avec une grande précision (décimétrique pour la NTF, centimétrique pour le RGF). Cette position est donnée en latitude, longitude et altitude, ou sous d'autres formes de coordonnées dans un système cohérent. Un document descriptif est établi pour chaque point. Il est diffusé aux utilisateurs sous forme de fiche, accessibles sur le géoportail.

- un **système géodésique de référence** (ellipsoïde, point fondamental)
- un **réseau de points matérialisés au sol**, déterminés par triangulation auxquels sont affectées des coordonnées

De nombreux systèmes coexistent sur la terre : on parle de **systèmes locaux**.



Le point fondamental est un point arbitrairement choisi dans chaque système géodésique terrestre : en ce point le géoïde et l'ellipsoïde du système géodésique sont confondus (leurs normales sont dans la même direction).

Exemple : La Nouvelle Triangulation de la France a placé l'ellipsoïde Clarke 1880 tangent au géoïde en un point, la croix du Panthéon à Paris : point fondamental de la NTF.

Document complémentaire : Site IGN Histoire de la Géodésie

https://geodesie.ign.fr/index.php?page=histoire_de_la_géodésie

Le système ED50 (European Datum 1950)

Système mis en place à la suite de la seconde guerre mondiale. Il fut établi grâce aux réalisations géodésiques terrestres à partir des observations des premiers ordres nationaux de l'Europe occidentale. Les caractéristiques du système sont les suivantes :

- **point fondamental** : POTSDAM
(valeur de la déviation de la verticale fixée conventionnellement)
- **ellipsoïde** Hayford 1909
- **représentation plane** associée : Universal Transverse Mercator (UTM)
- **méridien origine** : Greenwich

La géodésie spatiale

Le grand bouleversement de la fin du XXème siècle est l'arrivée du système de localisation par satellite (Système GPS conçu par les militaires américains).

Ce système a conduit à la remise en question des réseaux traditionnels et a permis d'obtenir au niveau intercontinental des résultats d'une précision inconcevable il y a quelques années, de l'ordre de quelques centimètres entre des points distants de milliers de kilomètres.

C'est la naissance de la géodésie spatiale.

La géodésie spatiale a établi des réseaux qui ceinturent la terre et donnent un positionnement absolu et relatif en **coordonnées géocentriques**.

Le Réseau Géodésique Français 1993 (RGF1993)

Depuis 1989, parallèlement au déploiement du système GPS, il avait été noté une inadéquation de plus en plus importante du réseau géodésique en usage (la "Nouvelle Triangulation de la France" ou NTF) vis à vis des levés topographiques ou des travaux de géomètres. Ainsi fut, à cette époque, décidé du choix d'un nouveau système tridimensionnel, géocentrique et d'exactitude centimétrique.

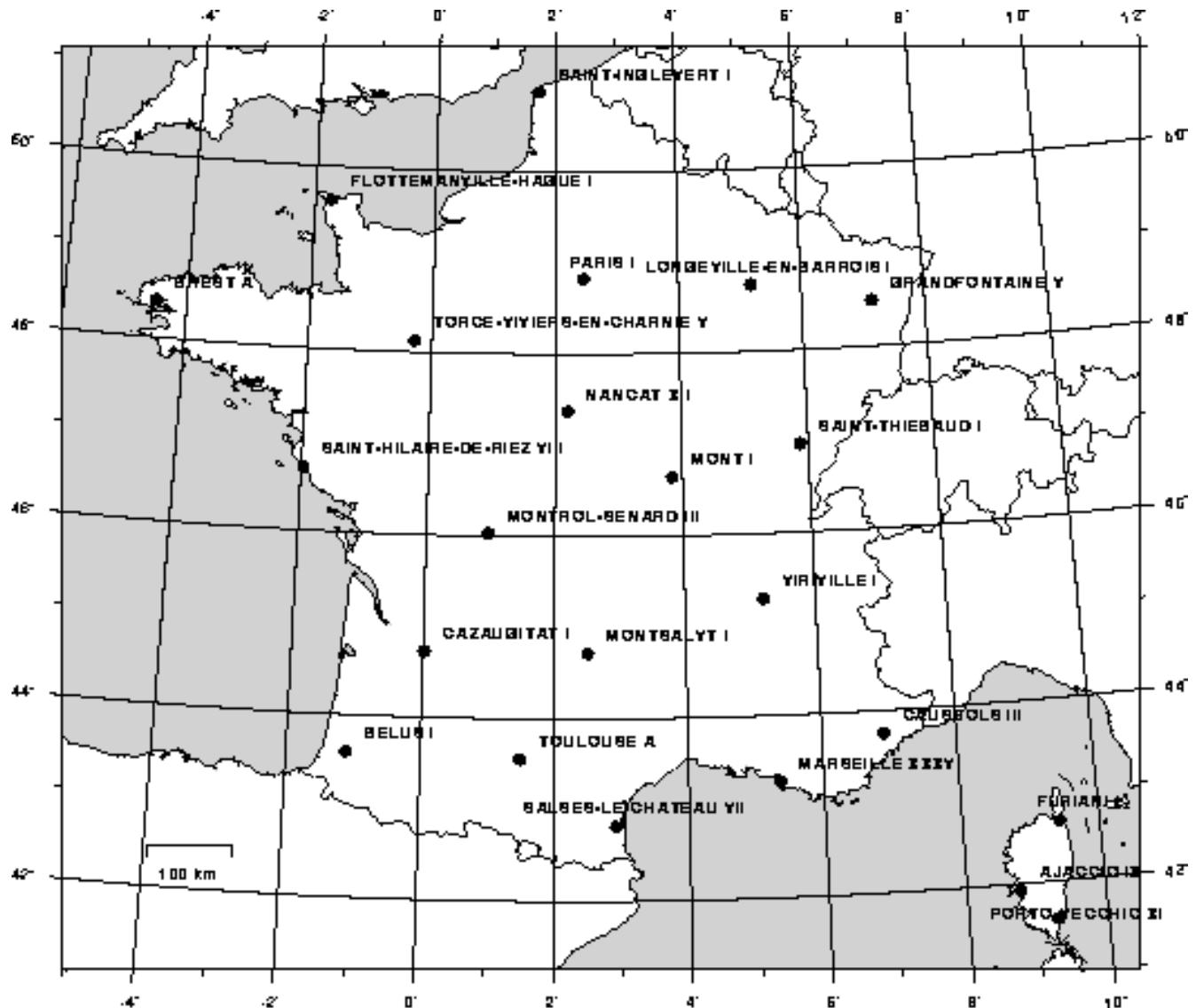
La mise en place de cette nouvelle référence a débuté en 1993. Le système proprement dit était alors fixé comme compatible avec le système européen ETRS89, avec comme repère effectif ETRF 93 au travers d'une réalisation d'un réseau de 23 sites : le RRF (ou Réseau de Référence Français).

Le réseau **RRF** est structuré hiérarchiquement en 3 parties :

Le RRF : Réseau de Référence Français

- 23 points déterminés par géodésie spatiale de grande précision (précision 10^{-7}).
- observations entre 1989 et 1993 (il constitue une densification locale du réseau Euref dont il intègre 8 sites)
 - mai 1989 : observations GPS pour le réseau européen (93 points en Europe, 8 en France)

- juin 1989 : observations VLBI (very long base interferometrie) pour le réseau européen (6 points dont 2 en France)
- 1992 : observations VLBI (1 point en France)
- 1993 : observations GPS des 23 points du RRF



Le réseau de Référence (RRF)

En 94-95, une densification était effectuée donnant lieu à un réseau d'environ 1000 sites géodésiques formant le RBF (ou Réseau de Base Français) qui constitue l'accès opérationnel au RGF93.

Le RBF : Réseau de Base Français

- 1 009 sites déterminés par technique GPS (précision 10^{-6}) : 2/3 de sites nouveaux et 1/3 de sites NTF suffisamment dégagés pour observations satellitaires.
- observations en 1994, 1995 et 1996
- La précision de ce réseau est de 1,5 cm pour la planimétrie et de 1.5cm à 5 cm pour la composante verticale

Le RDF : Réseau de Détail Français (en cours de réalisation)

Constitué en particulier de points de la NTF et de canevas géodésiques appuyés sur le RBF et recalculés avec une précision décimétrique dans le nouveau système.

- La précision de ce réseau dans la référence est de 5cm à 10cm.

Les latitudes (Φ) et longitudes (λ) RGF93 sont exprimées en degrés sexagésimaux, l'origine des longitudes est le méridien de Greenwich, l'ellipsoïde associé est IAG GRS80, l'unité linéaire est le mètre. La hauteur sur l'ellipsoïde (h) est donc également publiée sur ces points.

A partir de 1998 est venu s'ajouter le réseau **RGP (réseau de stations GPS permanentes)**, stations rattachées localement au RBF de manière très précise.

Projection lambert 93

Dans le cadre de la mise en place du système RGF93, l'institut géographique national a mis en place depuis 1997 un nouveau système de projection appelé Lambert 93, issu du système RGF93. C'est une projection conique conforme qui couvre tout le territoire métropolitain. Elle sécante l'ellipsoïde aux parallèles 44 et 49 ° Nord. Elle introduit moins d'altération linéaire aux extrémités que la précédente lambert 2 étendue. Les caractéristiques de ce système sont données plus loin dans ce document.

Bilan des systèmes géodésiques en usage en France (Systèmes géodésiques = Datums)

Il est nécessaire de différencier deux types de systèmes, les **systèmes locaux** et les **systèmes spatiaux**.

Les Systèmes géodésiques en usage en France	
Systèmes locaux	Systèmes spatiaux
Principe : <ul style="list-style-type: none"> - ellipsoïde de référence - point fondamental - méridien origine - projection associée précision de positionnement du centre : quelques centaines de mètres.	Principe : <ul style="list-style-type: none"> - constantes fondamentales - coordonnées tridimensionnelles (longitude, latitude, hauteur ellipsoïdale) précision de positionnement du centre : quelques mètres.
Réalisations historiques France <ul style="list-style-type: none"> - triangulation de Cassini (1733-1770) - triangulation des Ingénieurs Géographes (1792-1884) 	Systèmes mondiaux <ul style="list-style-type: none"> - World Geodetic System 1984 (WGS84) - International Terrestrial Reference System (ITRS)
Système européen : <ul style="list-style-type: none"> - European Datum 1950 (ED50) 	Système européen : <ul style="list-style-type: none"> - European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89)
Système en France : <ul style="list-style-type: none"> - Nouvelle Triangulation de la France (NTF) 1890-1991 	Système actuel en France : <ul style="list-style-type: none"> - Réseau Géodésique Français 1993 (RGF93)

4. Les points de référence : l'équipement géographique du territoire français

Le territoire français est doté de points de repères qui doivent être utilisés pour appuyer les levés topographiques. Ces points se répartissent en deux réseaux distincts : le canevas géodésique et le canevas de nivellation.

L'IGN (Institut Géographique National) a la charge de l'établissement et de la conservation de ces points.

Le canevas géodésique :

Il est constitué de l'ensemble des points géodésiques déterminés en coordonnées Lambert grâce à des opérations de triangulation.

Les points géodésiques sont consultables sur le site du Geoportail IGN dans Territoires et Transports, voir également ce site miroir où l'on peut télécharger tous les points :

<https://files.opendataarchives.fr/professionnels.ign.fr/donnees-geodesiques/>

Plusieurs triangulations ont donc été réalisées :

- ***La « Nouvelle Triangulation Française » (NTF) : de la fin du XIXème siècle à 1995***

Elle est constituée de 70000 points géodésiques répartis sur tout le territoire avec une densité de un point pour 9 km².

Leurs coordonnées Lambert sont connues avec une précision relative de l'ordre de plusieurs centimètres au mieux par rapport au point le plus proche.

Ces points sont majoritairement sur des points hauts : églises, châteaux d'eau et sur ces bornes géodésiques au sol ou sur des bâtiments.

- ***Le « Réseau Géodésique Français » (RGF93) :***

Depuis 1989, l'IGN a entrepris de mettre en place un nouveau canevas national destiné à succéder à l'ancienne NTF. Les progrès réalisés dans les techniques de positionnement (système de positionnement satellitaire GPS) donnent en effet accès à une précision bien supérieure à celle obtenue avec les méthodes traditionnelles. Il y avait donc incompatibilité avec le système NTF.

Le RGF est constitué de 3 principaux niveaux :

- le Réseau de Référence Français (R.R.F.) :

il est constitué de 23 sites répartis sur l'ensemble de la France Métropolitaine. Ses coordonnées sont déterminées avec les méthodes de positionnement les plus précises (GPS).

- le réseau de base français (RBF) :

il comprendra environ un millier de sites géodésiques uniformément répartis tous les 25 km en moyenne. Ce réseau, moins dense que la NTF permettra aux utilisateurs de GPS d'utiliser des points de référence précis au centimètre près, partout en France.

Pour permettre la coexistence des deux systèmes, l'IGN propose des procédures de transformation permettant de passer aisément d'un système géodésique à un autre.

- Le réseau de détail français (RDF) :

Il sera constitué de l'ensemble des points de la NTF

dont les coordonnées RGF93 ont été calculées par des méthodes de transformation.

Le système géodésique de référence défini par les textes officiels est donc le RGF93.

Remarque : Projection lambert 93

Dans le cadre de la mise en place du système RGF93, l'institut géographique national a mis en place à partir de 1997 un nouveau système de projection appelé Lambert 93. L'emploi de ce nouveau système pour les organismes publics est obligatoire depuis mars 2009.

Le canevas géodésique :

Il est constitué de l'ensemble des points géodésiques déterminés en coordonnées Lambert grâce à des opérations de triangulation.

Zéro origine

Les altitudes sont mesurées en partant d'un zéro origine situé près de Marseille. Ces altitudes sont des altitudes **normales** : la différence d'altitude entre deux points tient compte à la fois de la différence de hauteur et de la différence de pesanteur réelle.

Constitution du réseau

Le réseau est décomposé en 4 mailles de précisions différentes.

Pour le point faisant partie des mailles du 1^{er} ou 2^{ème} ordre, l'altitude est donnée au millimètre, pour ceux des 3^{ème} et 4^{ème} ordre, l'altitude est donnée centimètre arrondi.

Repères d'altitude

Les points de repère d'altitude sont matérialisés physiquement : ce sont les **repères de nivelllement**. Ils sont au nombre de 400.000, un repère en moyenne tous les deux kilomètres carrés, sauf en région montagneuse. Ils sont situés le plus souvent le long des voies ferrées, des routes et des rivières ainsi que sur des bâtiments publics (mairies, églises) et sur des ponts.

L'I.G.N. fournit des indications et des croquis nécessaires à leur identification ainsi que leurs altitudes. Ces altitudes sont fournies avec des précisions variant du millimètre au centimètre selon les points.

Les repères portent parfois une inscription d'altitude. **Cette altitude inscrite sur le repère est généralement périmée**, il est donc fortement conseillé de systématiquement consulter la fiche décrivant ces informations. Elles sont disponibles sur le site du GEOPORTAIL (points géodésiques, réseau de nivelllement).

Comment se procurer la localisation et les coordonnées des points de référence en matière de nivelllement ?

Informations de nivelllement

Les altitudes des repères de nivelllement peuvent être obtenues directement sur le site du GEOPORTAIL de l'IGN.

Informations sur les points géodésiques

Les coordonnées des points géodésiques sont disponibles directement sur le site du GEOPORTAIL de l'IGN.

Des croquis de localisation permettent de repérer le point précisément sur le terrain.

Il est également possible de télécharger l'ensemble des points géodésique sous forme de fichiers sites sur ce site : <https://files.opendataarchives.fr/professionnels.ign.fr/donnees-geodesiques/>

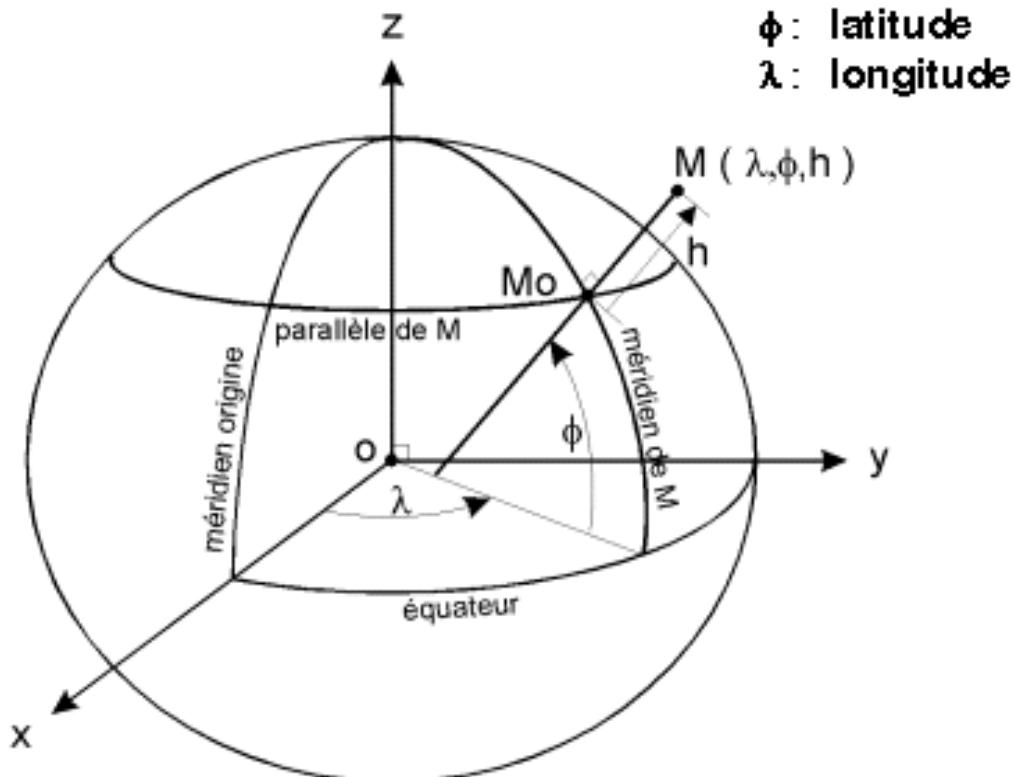
4. Comment se repère-t-on à la surface du globe terrestre ?

Le positionnement à la surface de la terre : coordonnées géographiques

Le moyen le plus universel d'assurer le positionnement à la surface de la terre est fondé sur les **coordonnées géographiques**.

On utilise pour cela un système de référence comportant l'axe de rotation de la terre (ligne des pôles), le **plan de l'Equateur**, perpendiculaire à la ligne des pôles au centre de la terre.

Tout point du globe peut alors être connu par ses coordonnées géographiques : longitude et latitude.

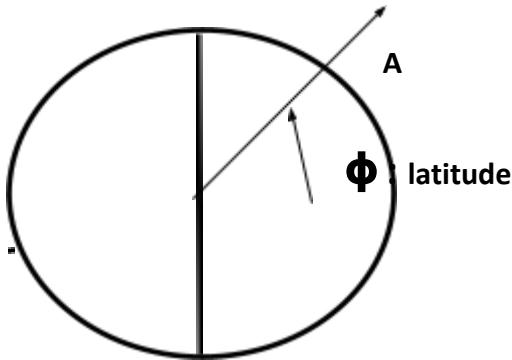


La longitude (notée λ en cartographie) d'un point est l'angle entre le plan contenant le méridien de référence (méridien international le plus souvent) et le plan contenant le méridien du point considéré. Le méridien de référence international est le méridien de Greenwich.

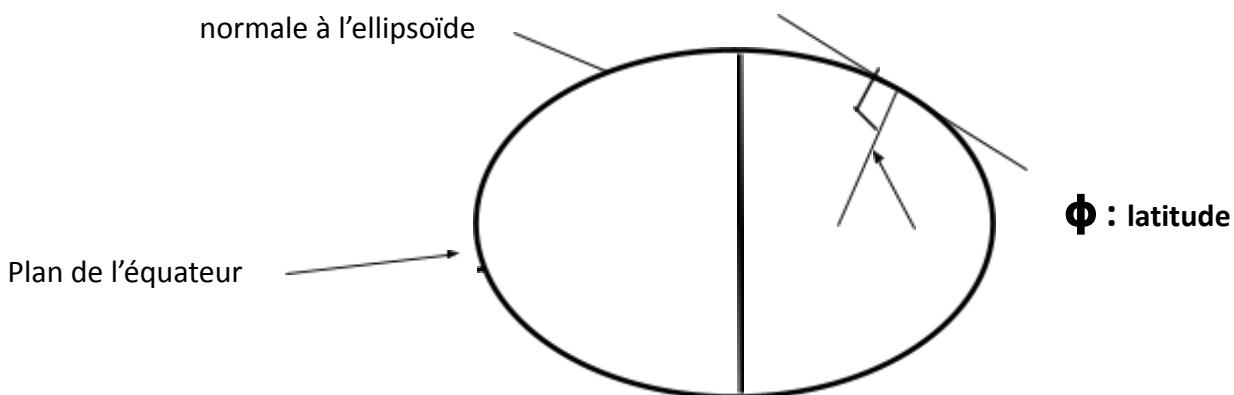
Attention, sur les cartes papier de l'I.G.N., les longitudes sont exprimées en degré par rapport au méridien de Greenwich et en grade par rapport au méridien de Paris.

La latitude (notée Φ en cartographie)

- Si la terre est assimilée à une sphère, la latitude se définit ainsi :
C'est l'angle entre le plan de l'équateur et la droite joignant le point considéré et le centre de la terre.



- Si la terre est assimilée à un ellipsoïde, la latitude est l'angle entre le plan de l'équateur et la normale à l'ellipsoïde au point considéré.



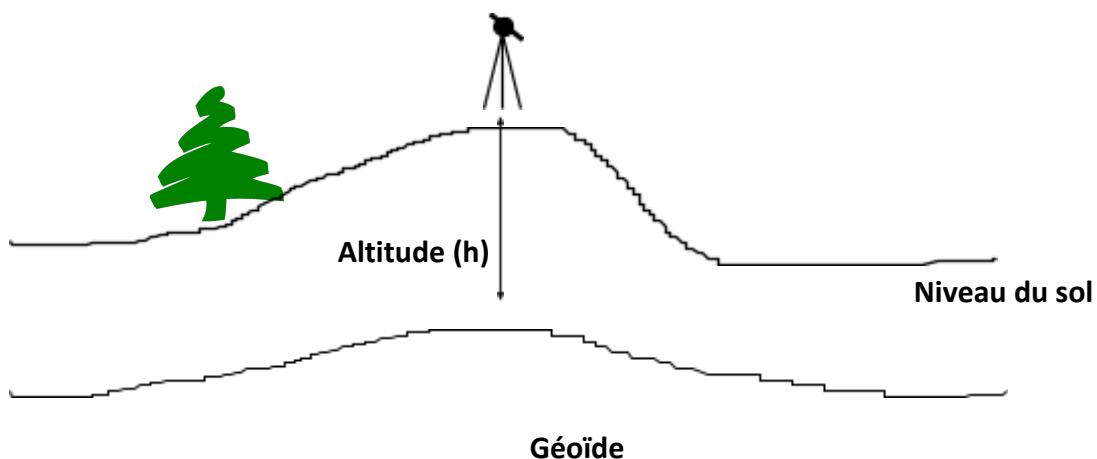
λ et Φ sont exprimées en unités d'angle (degré ou grade) et peuvent être connus pour tout point de la surface de la terre.

Si la latitude est exprimée en degrés, elle peut être soit en degrés décimaux (noté DD), soit en degrés sexagésimaux (Degrés, minutes, secondes : D.M.S.).

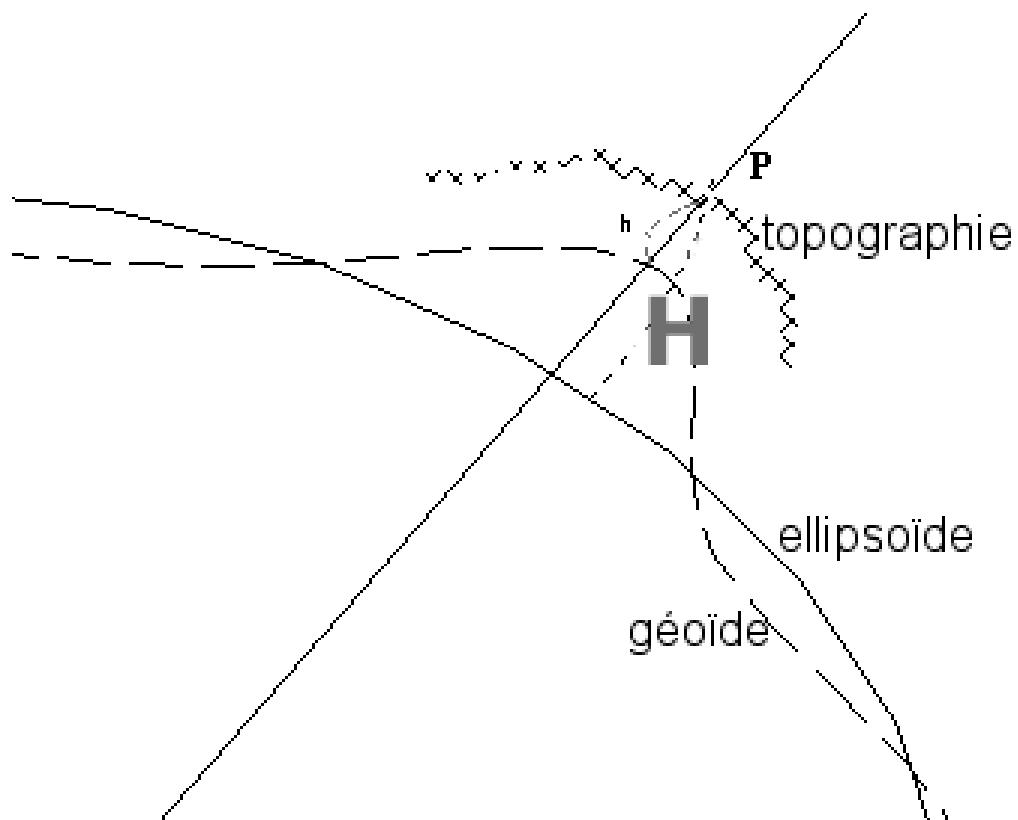
L'altitude

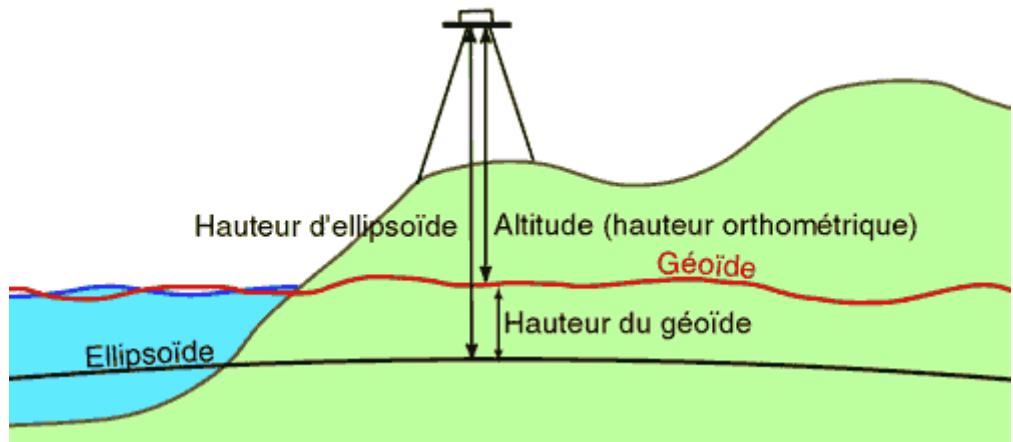
Définition par rapport au géoïde

Le géoïde étant donc la surface de base sur laquelle est "posée" le relief, l'expression de **l'altitude d'un point** correspondra donc à la **hauteur** de ce point **au-dessus du géoïde**.



La **hauteur ellipsoïdale (H)**, correspond quant à elle à la hauteur au-dessus de l'ellipsoïde.





L'origine des altitudes en France

En métropole, les altitudes sont mesurées par rapport à un point origine fourni par le niveau moyen des mers constaté sur le marégraphe de Marseille. Cela signifie que l'origine des altitudes est fixée arbitrairement en ce point.

<http://emig.free.fr/Provence/mrs/maregraphe.html>

La deuxième étape consiste, comme pour les systèmes géodésiques, à matérialiser un réseau de repères, que l'on scelle dans les murs de constructions (bâtiments, ponts, ...).

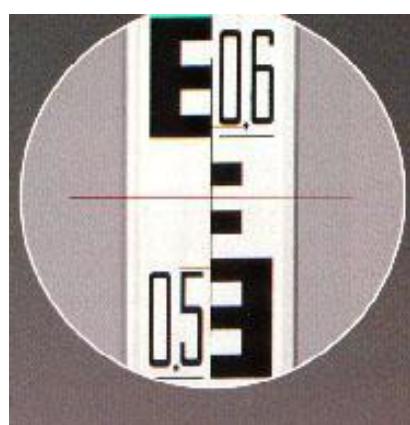
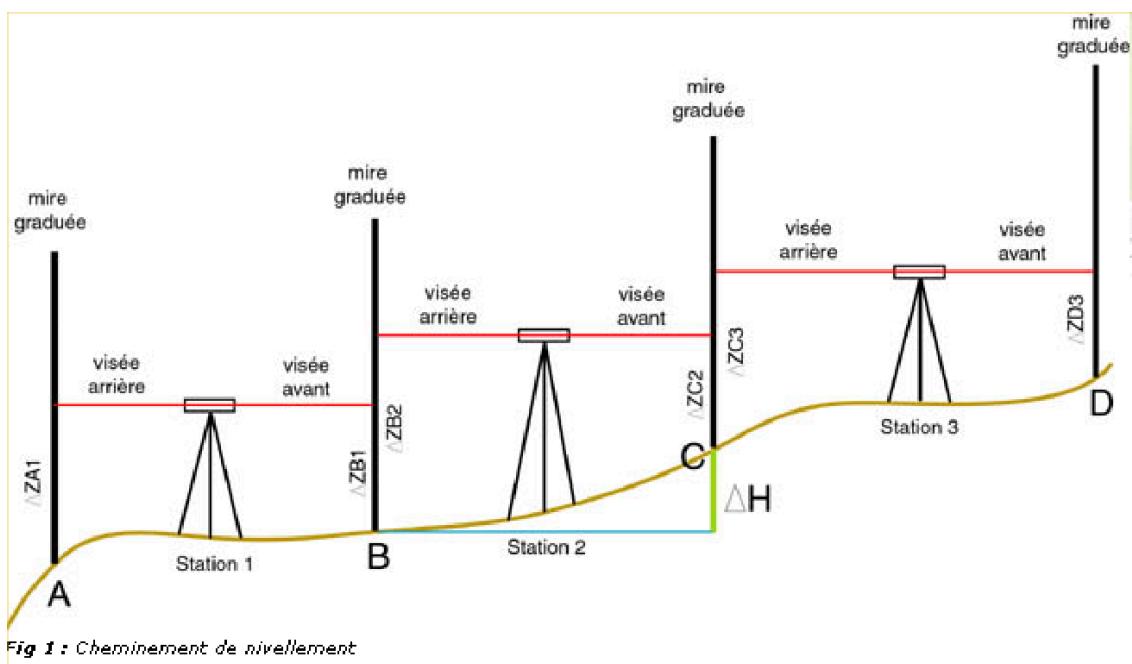
Cette étape consiste à faire du niveling géométrique à l'aide d'un niveau et de deux mires.

Le niveau matérialise l'horizontale, les deux mires sont maintenues droites.

La différence de lecture entre les deux mires donne la dénivellation.



Une mire sur un repère de niveling



Une mire et un niveau

Les réseaux de nivellation en France

Trois phases de mesures de l'altitude se sont succédées depuis 1857. Elles ont donné naissance à trois réseaux : le réseau Bourdalouë, le réseau Lallemand, et le réseau IGN 1969.

- Le réseau Bourdalouë (1850-1870)

Ce premier réseau français a été mis en place afin d'unifier les travaux de nivellation dans le cadre de la construction du chemin de fer.

Le point zéro dit "zéro Bourdalouë", origine des altitudes était placé sur la graduation 0,40 mètres de l'échelle des marées du Fort Saint-Jean à Marseille.

- Le réseau Lallemand (1880-1910) : Nivellement Général de la France (NGF)

Ce second réseau reprenait le précédent en le vérifiant et le complétant.

L'Alsace-Lorraine et la Corse furent couvertes respectivement en 1922 et 1931.

Le zéro du nivellation Lallemand dit "zéro normal" a été fixé à la graduation 0,329 de l'échelle du Fort Saint-Jean. Il se trouve donc 71 mm au dessous du "zéro Bourdalouë".

- Le réseau IGN 1969 (1962-1969)

Ce troisième réseau a repris et complété le réseau Lallemand qui n'était pas entretenu.

Le zéro origine est resté identique au zéro Lallemand.

Les nouvelles mesures effectuées se traduisent par endroit par des différences notables entre le réseau Lallemand et le réseau IGN 69 (maximum 60 cm).

les altitudes IGN69 tiennent compte de la pesanteur réelle et leur calcul intègre la force de pesanteur² : ce sont des "**altitudes normales**". C'est le réseau actuel sur le territoire métropolitain.

² La force de pesanteur est la résultante de deux forces : l'attraction terrestre et la force axifuge due à la rotation de la terre.

5. Comment passer d'un positionnement à la surface du Globe à la localisation sur une carte ?

Les projections :



Globe



Carte

Pour réaliser une carte, il est nécessaire de représenter le globe en plan.

Définition de la carte :

Une carte est une représentation plane à échelle réduite d'une surface partielle ou totale du globe terrestre.

Problème : les déformations

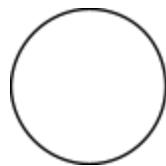
Le passage du globe au plan ne peut se faire sans déformations.

La projection d'un espace à 3 dimensions dans un repère plan à 2 dimensions, introduit inévitablement des déformations géométriques. Essayez de mettre à plat une peau d'orange.....

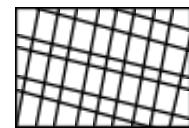
Le problème consiste donc à transposer un monde réel en 3 dimensions sous forme d'une représentation plane en 2 dimensions, avec le moins de déformations possibles.

En quoi consiste une projection ?

La difficulté principale de la cartographie est de représenter sur une surface plane (la carte), une portion de surface d'un volume quasi-sphérique (la terre).



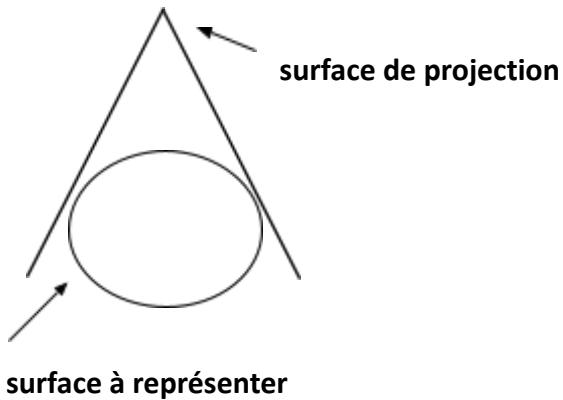
Terre



carte avec quadrillage
cartographique

Pour passer de la Terre à sa représentation plane, la carte, on utilise un procédé nommé **projection**.

Une projection est un **système de correspondance** entre les points de la **surface à représenter** et les points d'une surface plane, dite **surface de projection**. A chaque point de la surface à représenter doit correspondre un point et un seul de la surface projetée.



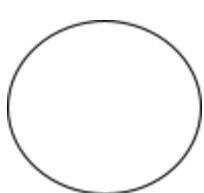
En cartographie, la surface à représenter est la terre.

La surface de projection peut être un cône, un plan ou un cylindre.

Quel système de correspondance est utilisé ?

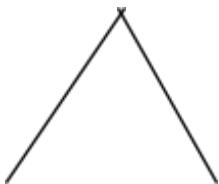
Effectuer une projection va donc consister à établir un système de correspondance entre les points à la surface la terre (ou plutôt de l'ellipsoïde³) et les points sur la surface de projection.

Sur l'ellipsoïde, les points sont repérés par leurs coordonnées géographiques (λ, ϕ) et sur le plan par leurs coordonnées cartographiques (X, Y).



Surface de Projection

(λ, ϕ)



Carte

(Surface de Projection

développée)

(X, Y)



³ ou de la sphère qui se rapproche le plus de l'ellipsoïde à l'endroit considéré.

Le système de correspondance devra donc établir la correspondance entre (X, Y) et (λ, ϕ)

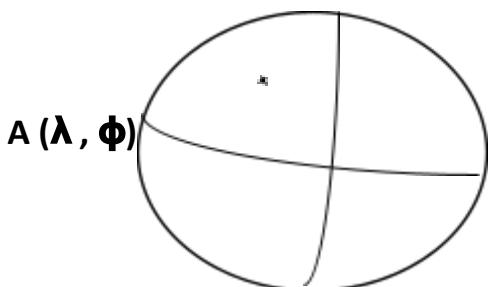
Il sera donc défini par les deux fonctions :

$$X = f(\lambda, \phi)$$

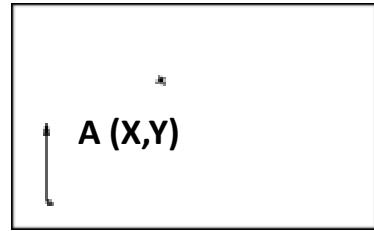
$$Y = g(\lambda, \phi)$$

Ces deux fonctions f et g établissent le passage de l'ellipsoïde au plan, en transformant les coordonnées géographiques en coordonnées cartographiques.

Réaliser une projection consiste donc pour tout point de la surface à projeter à trouver ses coordonnées cartographiques à partir de ses coordonnées géographiques.



Ellipsoïde



Plan

Les projections peuvent être classées en fonction des déformations qu'elles engendrent

Une projection ne pouvant conserver toutes les caractéristiques géométriques du terrain, des déformations existent sur toutes les cartes.⁴

Selon les déformations qu'elles engendrent, on classe les projections en trois types :

- **Les projections conformes** : conservent les angles. Les angles mesurés sur le terrain sont identiques aux angles mesurés sur la carte. Par contre, les distances ne sont pas conservées.

Ce type de projection convient parfaitement, entre autres, pour les topographes et les navigateurs. Ces projections sont utilisées en géodésie et en topographie.

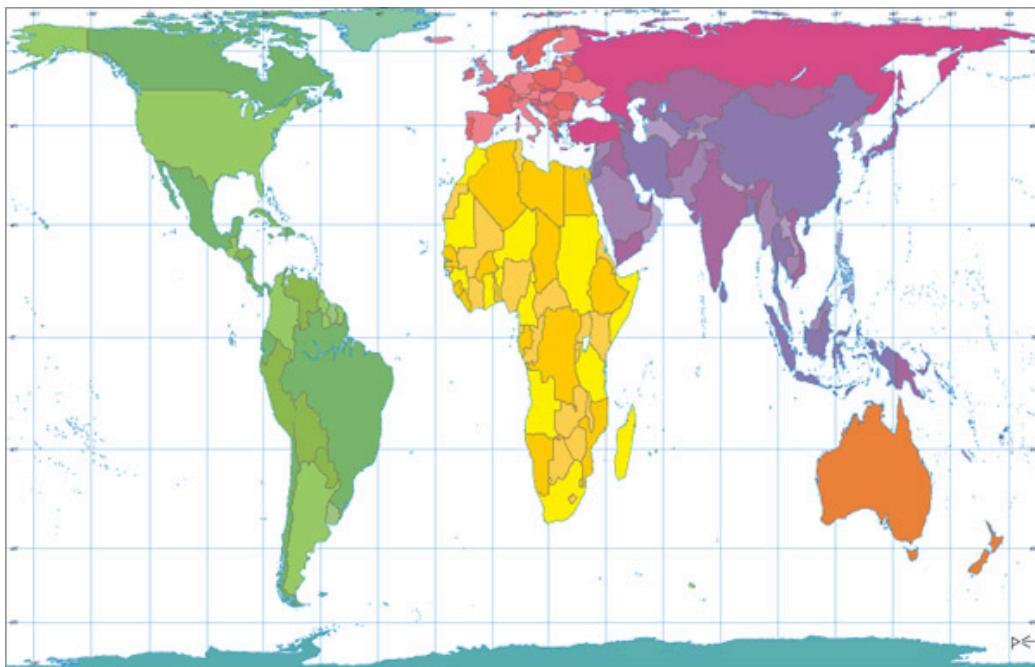
Exemples : projections de Mercator, projection Universelle Transverse Mercator, projection Lambert conique conforme sont des projections conformes.

- **Les projections équivalentes** : conservent les rapports de surface.

Par contre les angles et les distances ne sont pas conservées. Utile en cartographie statistique mais sans intérêt pour les cartes topographiques.

Exemples : projection de Bonne (ancienne carte de l'Etat Major au 1/80000e), projection de Peters.0

⁴ En particulier il est important de noter que toutes les projections déforment les distances.

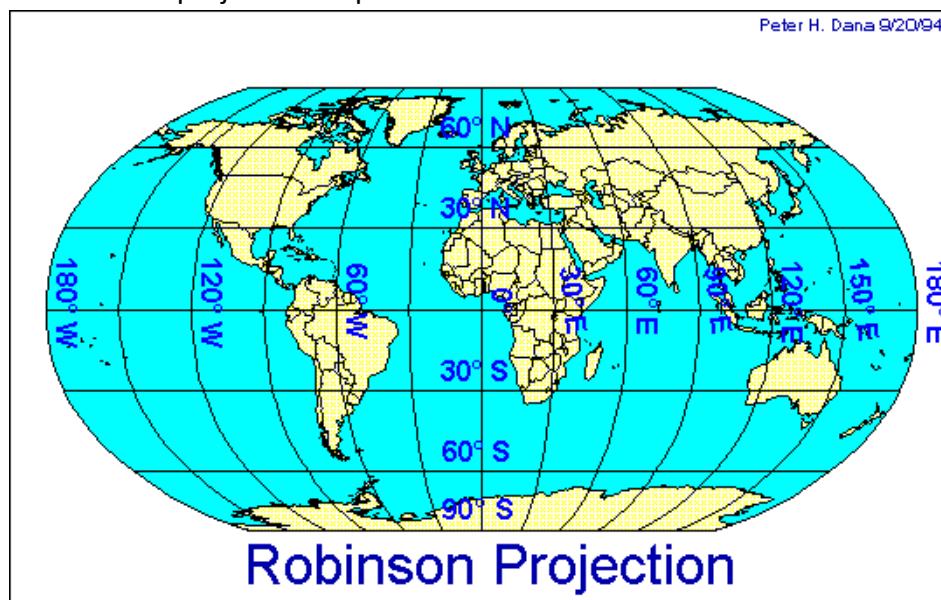


Projection de Peters (projection équivalente)

<https://passeatonvoisin.arnitoile.net/wp-content/uploads/2014/02/Carto-Monde-Peters-%C2%A9PATV-30x21.jpg>

- **Les projections aphylactiques** : cet épithète a été donné au nombre infini de projections qui ne sont ni équivalentes ni conformes. Exemple : *projection de Robinson...*

Certaines d'entre elles sont caractérisées par l'orthogonalité des méridiens et des parallèles et la conservation des longueurs le long des méridiens sur la carte résultante. On parle alors de projections équidistantes



Les projections peuvent être classées en fonction de la surface de projection qu'elles utilisent

Afin de minimiser les déformations, et dans le but d'adapter la projection utilisée à la forme, à la situation du pays, et aux objectifs cartographiques, différents systèmes de projection ont été mis au point.

Plus de 200 systèmes ont été recensés.

Les systèmes peuvent être classés en trois familles selon la **surface de projection employée**.

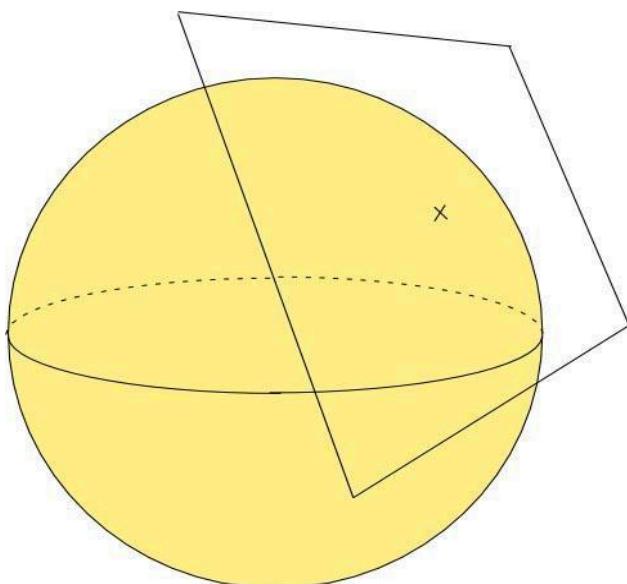
Si la surface de projection est :

- un plan : la projection est dite azimutale,
- un cône : la projection est dite conique,
- un cylindre : la projection est dite cylindrique.

- Projections azimutales :

Cette fois-ci, la surface de projection est un **plan** tangent à la sphère.

Si le plan est tangent au niveau du pôle, on est dans le cas d'une projection azimutale polaire.



Surface azimutale

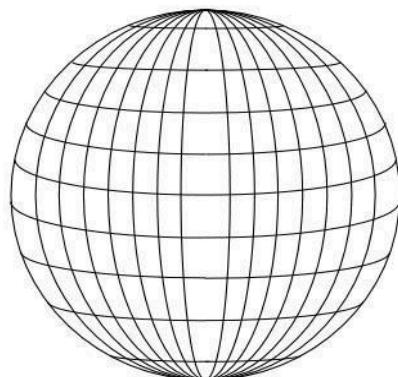
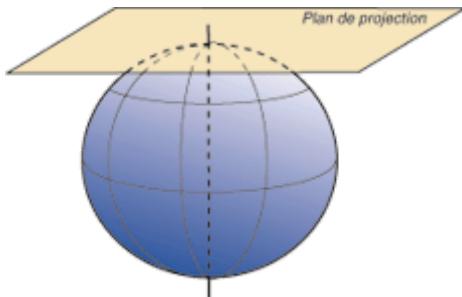


Image azimutale

*Exemple de projection azimutale : la **projection stéréographique polaire**.*

Les transformées des méridiens sont au final des droites concourantes et les transformés des parallèles des cercles concentriques.

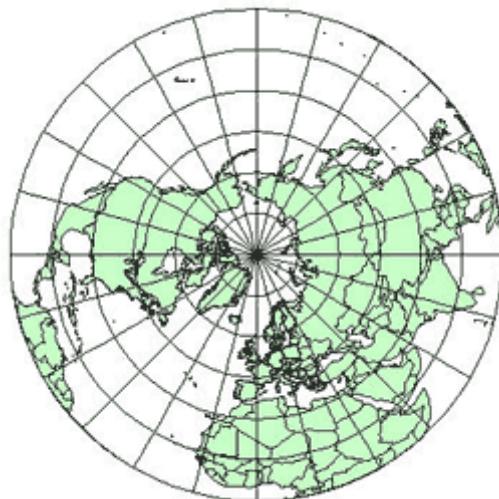
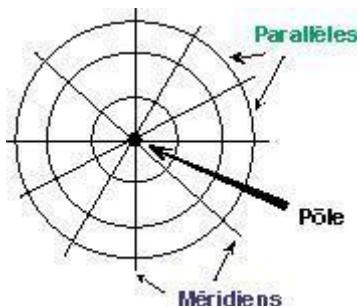


Projection stéréographique polaire : projection azimutale conforme.

Le plan est tangent (ou sécant) à un **pôle**.

Les **méridiens** sont représentés par des droites concourantes au pôle.

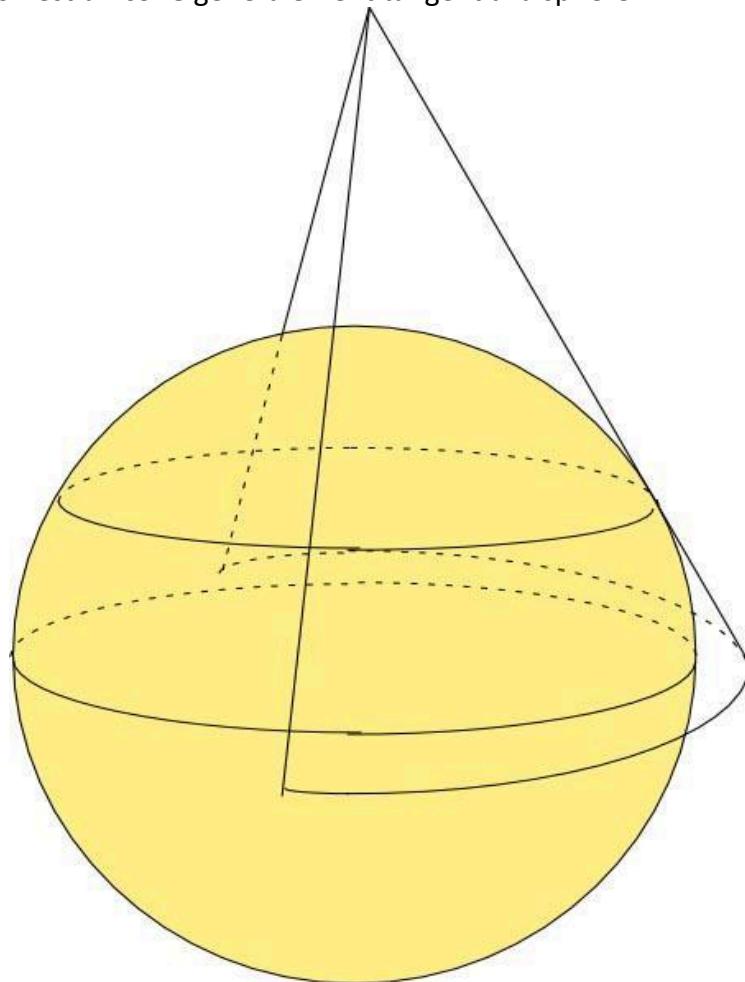
Les **parallèles** sont des cercles concentriques au pôle.



Projection azimutale pour l'hémisphère Nord:

- Projection conique :

Ici, la surface de projection est un **cône** généralement tangent à la sphère.



Surface conique

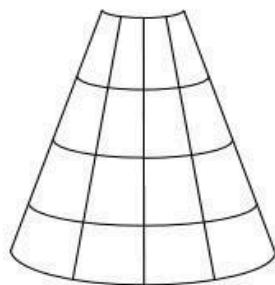


Image conique

Si l'axe du cône est celui des pôles, la projection est dite **conique directe**.

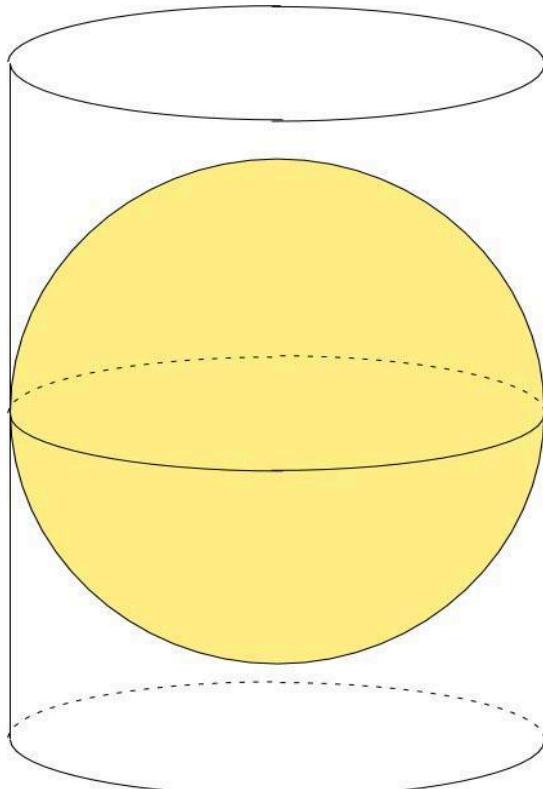
Une fois le cône développé, les méridiens deviennent des droites concourantes et les parallèles des arcs de cercles concentriques.

Exemple de projection conique directe: la **projection conique conforme de Lambert**. Elle sera développée en **annexe 1**.

- Projections cylindriques : (la surface de projection est un cylindre)

La terre est assimilée à une sphère. La surface de projection est un **cylindre** généralement tangent à la sphère.

Si le cylindre est tangent à la sphère au niveau de l'équateur, on parle alors de **projection cylindrique directe**.



Surface cylindrique

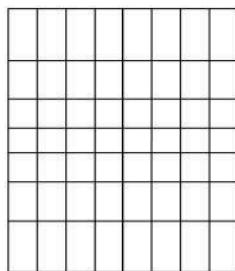


Image cylindrique

Exemple de projection cylindrique directe : la projection de Mercator (1569). Elle est utilisée en France par le S.H.O.M (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) pour l'établissement des cartes marines. C'est une projection conforme et les routes maritimes à cap constant sont des droites (orthodromies).

Mercator était un géographe flamand.

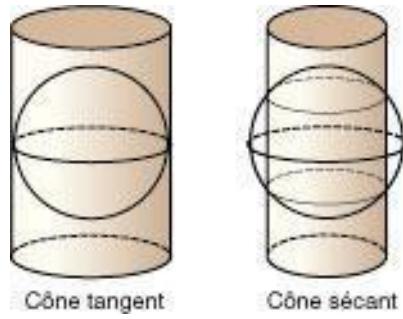
En 1569, après de nombreux calculs sur l'élaboration d'une projection de la Terre, il publie les 18 feuillets composant la plus célèbre de toutes ses cartes : *Nova et Aucta Orbis Terrae Descriptio ad Usum Navigantium Emendate Accommodata* (Nouvelle description de la Terre, augmentée et mise à jour, adaptée à l'usage de la navigation)^{24,25}.

Pour réaliser cette nouvelle mappemonde, Mercator a mis au point une projection originale, qui repose sur un cylindre tangent à l'équateur, ce qui présente l'avantage de ne pas déformer les angles. On parle aussi de représentation cylindrique tangente, où les méridiens sont espacés régulièrement tandis que la distance entre les parallèles augmente avec la latitude, ce qui exagère beaucoup les surfaces au fur et à mesure qu'on s'approche des pôles.

Article détaillé : [Projection de Mercator](#).

La projection de Mercator, qui a l'avantage de maintenir des angles corrects pour le repérage en mer, s'est imposée dès le siècle suivant comme un standard de référence pour les cartes marines.

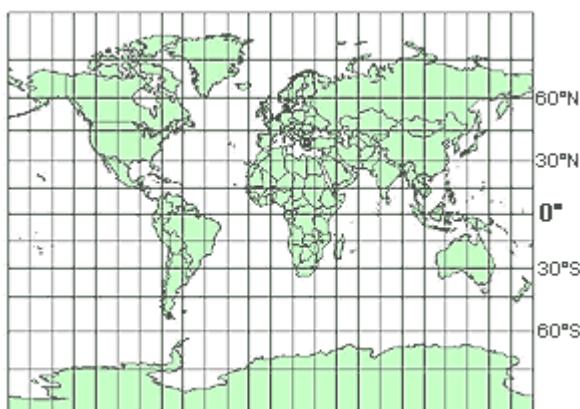
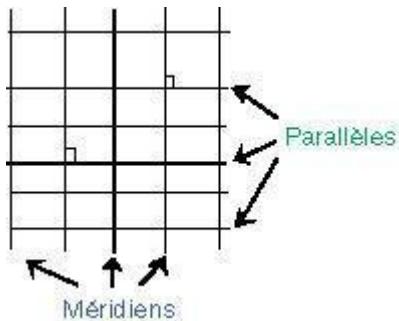




Le cylindre est tangent ou sécant à l'**équateur**.

Les **méridiens** sont représentés par des droites parallèles équidistantes.

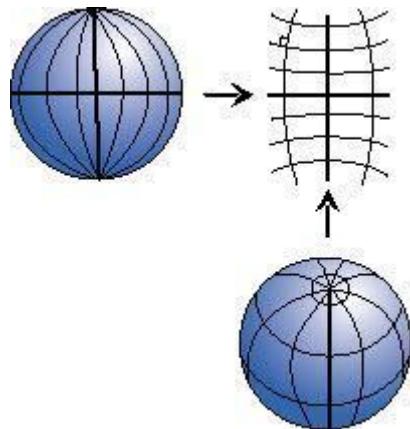
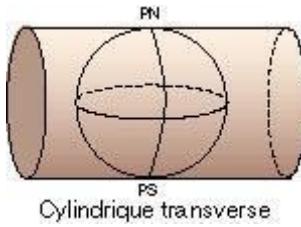
Les **parallèles** sont représentés par des droites orthogonales aux méridiens.



La projection de Mercator Directe peut être définie comme **conforme** (conservant les angles) ce qui est utile pour la navigation.

Les déformations surfaciques (en taille) augmentent considérablement en fonction de la latitude, l'intervalle entre les méridiens est de plus en plus important de l'équateur vers les pôles. A 60° de latitude, l'échelle linéaire est double de celle de l'équateur et la superficie est quadruplée. Aussi limite-t-on le champ à 60° ou 70° de latitude.

Si le cylindre est tangent au niveau des pôles, on est alors dans le cas d'une **projection cylindrique transverse**. C'est la **projection Mercator Transverse**.



- . Le méridien central et l'équateur sont transformés en deux droites orthogonales.
- . Les autres méridiens et parallèles sont transformés en courbes orthogonales entre elles.

Description

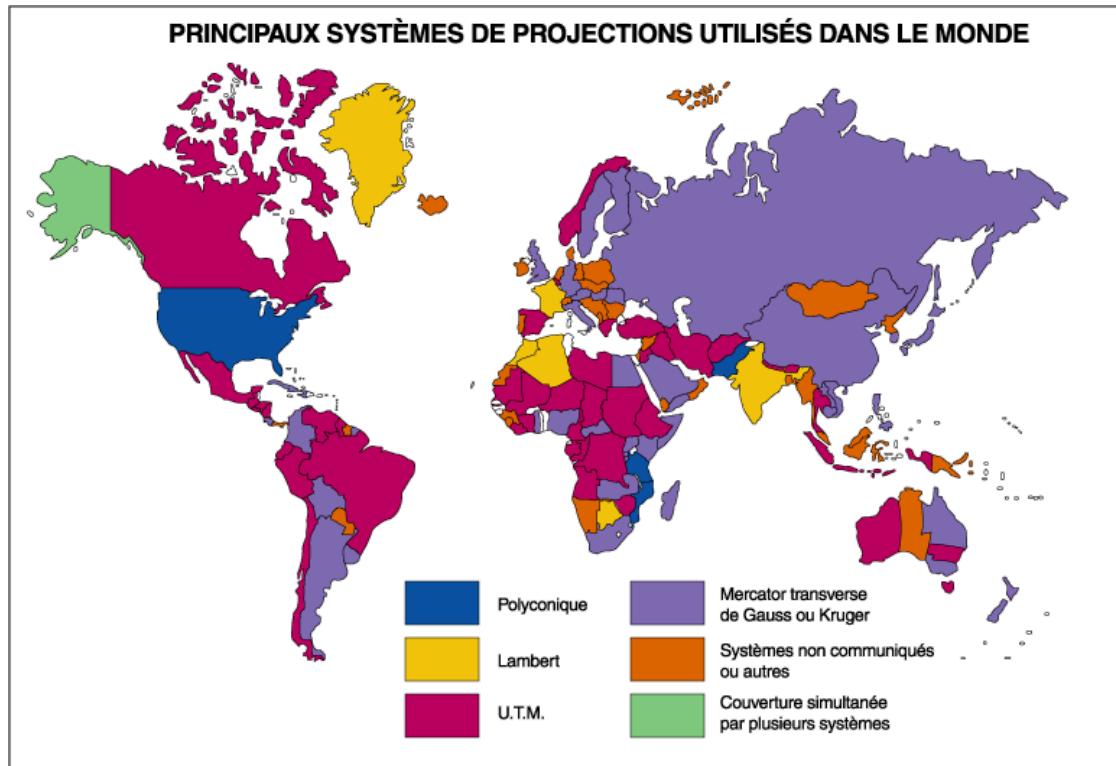
Elle a été définie au 19ème siècle par Gauss. Elle fait partie des projections les plus utilisées dans le monde.

Le cylindre est tangent ou sécant à un méridien que l'on appelle le **méridien origine**.

L'image du méridien central et de l'équateur sont des droites perpendiculaires.

Les parallèles et les méridiens sont des courbes mais demeurent orthogonaux entre eux.

*Exemple de projection cylindrique transverse : la **projection Universelle Transverse Mercator (U.T.M)** qui sera développée en annexe.*



Source ensg

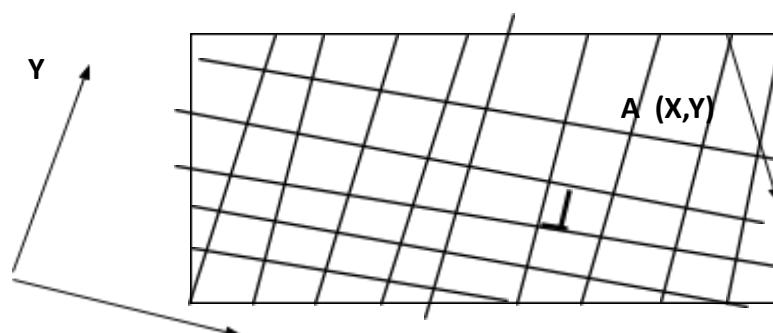
Le repérage sur les cartes : les coordonnées cartographiques

Du fait des déformations engendrées par les projections, le réseau des méridiens et des parallèles est difficilement utilisable pour se repérer aisément sur une carte.

Le repérage peut se faire avec beaucoup plus de facilité en mesurant pour chaque point sa distance à deux axes orthogonaux.

On met ainsi en place un système de repérage appelé **coordonnées cartographiques**.

Les coordonnées cartographiques sont mesurées par rapport à deux axes perpendiculaires à partir desquels peut-être construit un **carroyage** régulier et orthonormé (maillage kilométrique sur les cartes IGN au 1/ 25000).



Tout point présent sur la carte peut donc être repéré par ses coordonnées cartographiques X,Y.

Les unités utilisées sont des **unités de longueur**, le mètre ou le kilomètre.

Attention, sur une même carte, peuvent apparaître les références de plusieurs systèmes de coordonnées cartographiques. Les plus utilisés en France sont les systèmes Lambert et UTM. Il est alors possible de mesurer les coordonnées d'un point dans les deux systèmes.

La précision de la détermination du point sera meilleure si la mesure est effectuée par rapport au carroyage correspondant à la projection de la carte. Les autres carroyages ont en effet dû être « adaptés ».

6. Les projections Lambert en France :

6.1. l'ancien Lambert : IGN NTF : 4 zones France

Utilisation : Système utilisé pour l'établissement des cartes topographiques de l'I.G.N. depuis 1945, ainsi que pour l'établissement des plans cadastraux depuis 1938. Système choisi en France comme référence pour tous les grands travaux topographiques.

Remplacé depuis décembre 2000 par le système Lambert 93. Son utilisation dans la « sphère publique » était tolérée depuis 2000 jusqu'au 9 mars 2009.

Type de projection : , publiée par Johann Heinrich Lambert en 1772.

Ellipsoïde de référence utilisé : Ellipsoïde de Clarke 1880 IGN.

$$a = 6378249,20 \text{ m}$$

$$b = 635615,00$$

$$\text{aplatissement} = 1/293,465$$

Type de déformation : La projection Lambert est une projection conforme, donc il y a conservation des angles mais déformation des distances.

Découpage en zones : Afin de minimiser ces déformations, la France a été divisée en 4 zones; zones Lambert I, Lambert II, Lambert III, Lambert IV.

	Latitude du parallèle origine	Amplitude de chaque zone (en grades)
Lambert I Zone Nord	55 grades	57 grades 53,4 grades
Lambert II Zone Centre	52 grades	53,6 grades 50,4 grades
Lambert III Zone Sud	49 grades	50,6 grades 47,0 grades
Lambert IV Zone Corse	46,85 grades	48 grades 45,8 grades

On peut remarquer qu'il existe une bande de recouvrement Nord-Sud de 0,20 gr soit sensiblement 20 km entre deux Lambert continentaux consécutifs.

Cela signifie seulement que dans cette bande, les coordonnées des points géodésiques sont calculées dans les deux systèmes.

Remarque : Avec un seul cône tangent situé au centre du pays, on aurait eu une seule zone cartographiée s'étendant de 500 km de part et d'autre de ce parallèle origine. L'erreur obtenue sur une **longueur de 1000m** aurait été d'environ **3m** au maximum (écart entre la mesure sur le terrain et la mesure sur la carte).

Lambert II étendu :

Afin de remédier aux inconvénients du découpage du territoire en quatre zones, il a été décidé en 1973 d'étendre le carroyage du système Lambert II à l'ensemble des quatre zones Lambert. Ce quadrillage

prend alors le nom de Lambert II étendu. Les coordonnées du Lambert II étendu apparaissent sur les cartes dans les zones I, III et IV. Ces cartes conservent toutefois leur projection d'origine.

Variation des déformations : Dans chaque zone, les déformations des distances sont nulles le long du parallèle de tangence et augmentent lorsqu'on s'en éloigne vers le nord ou vers le sud.

Déformations approximatives

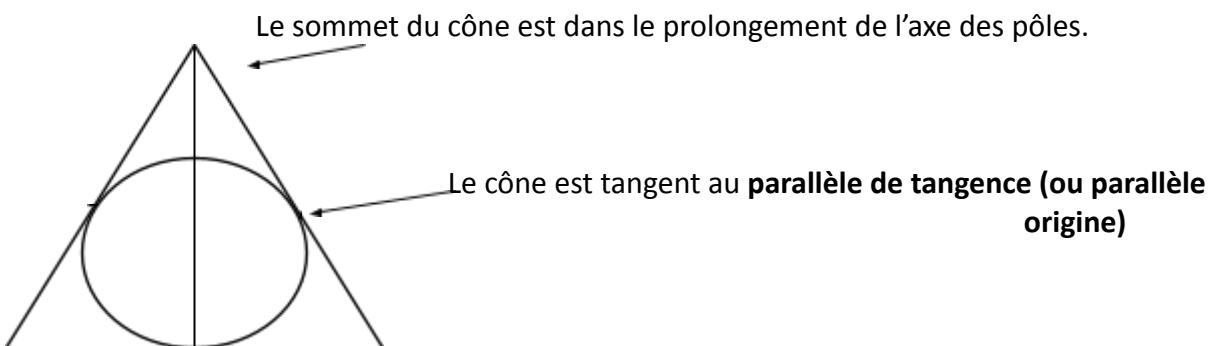


Exemple : lorsque un géomètre mesure une distance de 1km sur le terrain, il doit appliquer une « correction Lambert » qui peut donc atteindre environ + ou - 37 cm.

Construction de la projection Lambert :

La projection Lambert est conique et directe.

On applique donc un cône sur l'ellipsoïde de sorte que l'axe du cône soit dans le prolongement de l'axe des pôles.



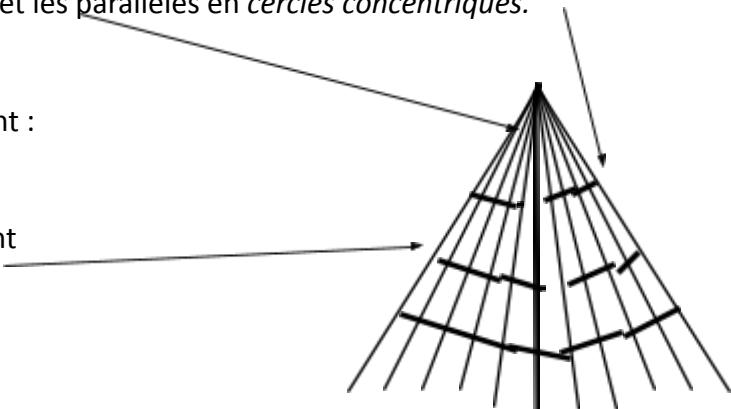
Chaque point sur l'ellipsoïde est connu par ses coordonnées géographiques (λ , Φ) longitude, latitude par rapport aux méridiens et aux parallèles.

De par la projection, à tout point de l'ellipsoïde correspond un point unique du cône.

On commence donc par projeter les méridiens et les parallèles sur le cône. Les méridiens sont transformés en *droites concourantes* et les parallèles en *cercles concentriques*.

Une fois le cône développé, on obtient :

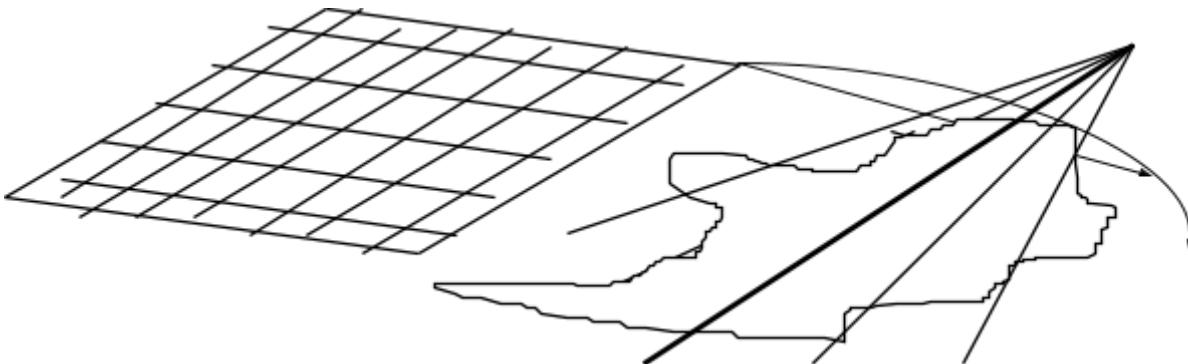
Le parallèle auquel le cône est tangent s'appelle le **parallèle origine**.
(ou parallèle de tangence).



Le **méridien central** de la projection est le **méridien de Paris**. Il est situé à 02°20'14.025" à l'est du méridien international de Greenwich.

Le carroyage Lambert :

Afin de pouvoir mesurer les coordonnées Lambert, un système d'axes orthogonaux est surimposé à la zone de territoire projetée : c'est le **carroyage Lambert**. C'est un carroyage parfaitement régulier et orthonormé .

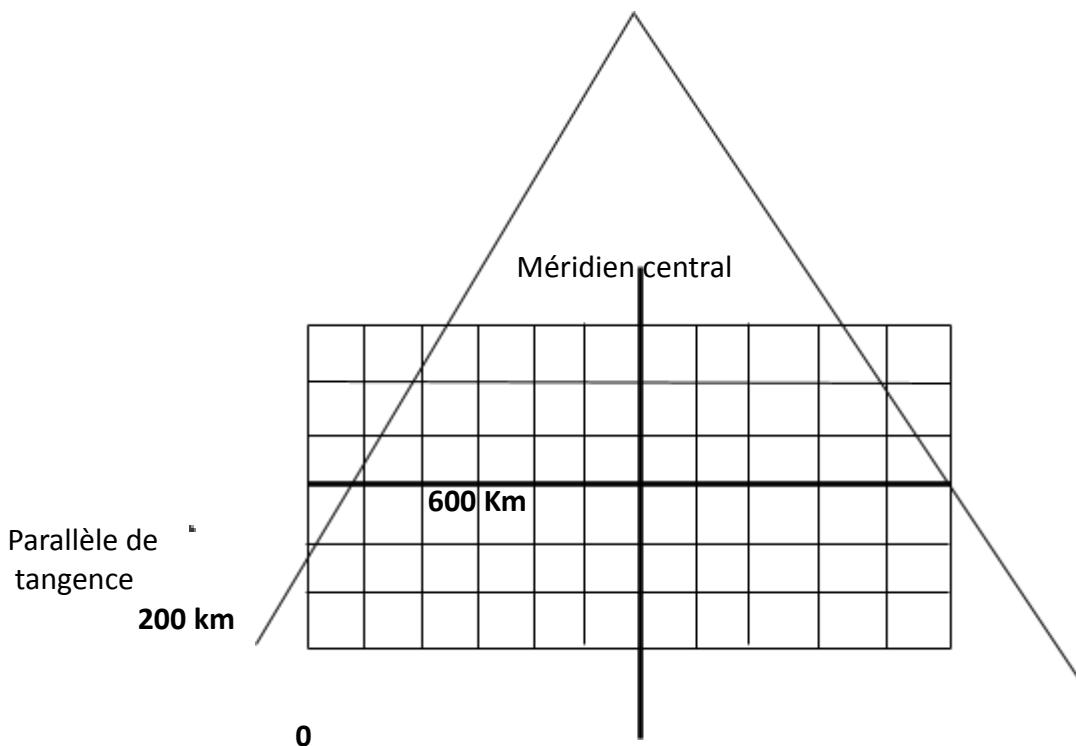


Ce carroyage est mis en place de la façon suivante :

- L'axe des Y est placé selon la direction du méridien central.
- L'axe des X est placé, pour chaque zone, à l'intersection du méridien origine et du parallèle de tangence, soit respectivement pour les zones I, II, III, IV aux parallèles de latitude 55gr, 52gr, 49gr, 46.85gr.

Pour ne pas avoir à manipuler les coordonnées négatives, le **zéro Lambert** est ensuite décalé pour **chaque zone de 600 000 m vers l'ouest et de 200 000 m vers le sud**.

Pour la Corse ce décalage est de 234,358m en X et 185861,369m en Y.



Identification des coordonnées :

La cohabitation de 4 systèmes de coordonnées sur le même territoire comporte un éventuel risque de confusion.

Afin de lever toute ambiguïté dans l'identification des coordonnées de chaque zone, l'I.G.N. a ajouté 1000 km multiplié par le N° de la zone Lambert aux ordonnées.

Ainsi le premier chiffre des Y correspond au N° de la projection.

Attention dans le cas du Lambert II étendu, en zone sud on trouve des coordonnées dont la coordonnée Y commence par le chiffre 1. Cela est dû au fait que au sud du point origine des Y Lambert II ($Y=2000$), les ordonnées deviennent inférieures à 2000 km.

Exemple : coordonnée d'un point au Pays-Basque : $X = 312000 \text{ m}$ $Y = 1896000 \text{ m}$

Les amorces Lambert

Sur les cartes IGN au 1/25 000ème, le carroyage Lambert apparaît en bord de carte sous forme d'amorces situées tous les kilomètres.

A l'intérieur de la carte, des **croisillons** apparaissent dans le prolongement de ces amorces, tous les kilomètres.

Sur les cartes IGN au 1/50 000ème, les amorces et les croisillons sont situés tous les 5 kilomètres.

Remarque :

Il semble important de bien insister sur le fait que le carroyage Lambert est parfaitement orthonormé. Les axes du carroyage sont donc toujours perpendiculaires. Par contre, l'angle entre la direction du carroyage et la direction du nord géographique est variable. Cet angle s'appelle la convergence des méridiens.

La convergence des méridiens : angle entre le Nord Géographique et l'axe des Y. En France, sur les cartes de l'IGN, la convergence des méridiens est proche de zéro le long du méridien de Paris et maximale aux extrémités ouest et est du pays.

Pour le carroyage lambert, la convergence peut être calculée à l'aide de la formule

$$\gamma = \lambda \sin \phi ,$$

où

γ est la convergence des méridiens

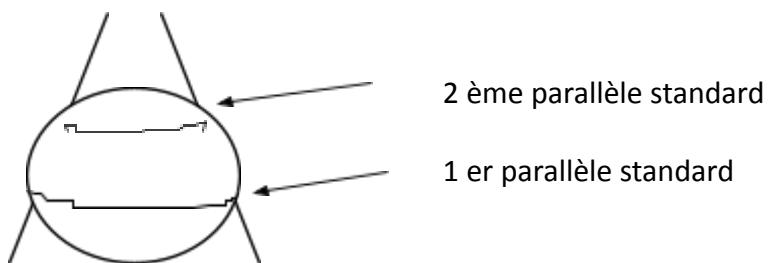
λ est la latitude par rapport au méridien origine

ϕ est la longitude.

Tableau récapitulatif des caractéristiques de la projection Lambert 4 zones en France :

Remarques :

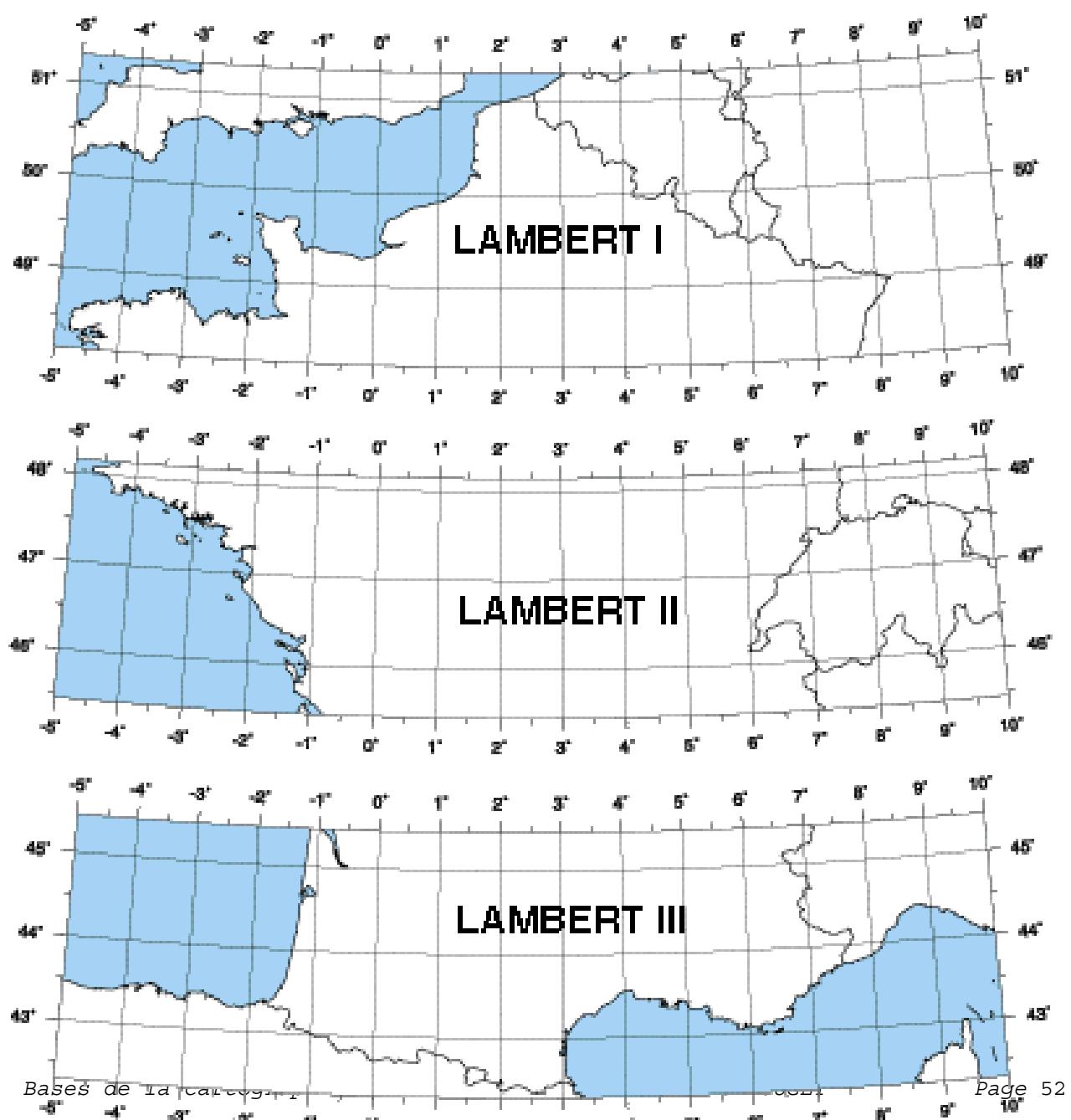
- l'existence du Lambert Grand-Champ utilisé notamment dans le cadre de la réalisation de la carte aéronautique I.G.N. 1/500 000ème.
- l'existence de deux parallèles d'échelle conservée (1er et 2nd parallèle standard) ; afin de réduire les altérations des distances, le cône n'est pas tangent en un point à l'ellipsoïde mais légèrement sécant en deux points. Ce sont les **parallèles standards**, ou parallèles d'échelle conservée.



	Lambert I	Lambert II	Lambert III	Lambert IV	Lambert II étendu	Lambert Grand Champ
1 ^{er} parallèle standard	48°35'54''.68	45°53'56''.11	43°11'57''.44	41°33'37''.40	45°53'56''.11	45°49'00''
2 ^e parallèle standard	50°23'45''.28	47°41'45''.65	44°59'45''.94	42°46'03''.59	47°41'45''.65	45°49'00''
Méridien central	2°20'14''.025	2°20'14''.025	2°20'14''.025	2°20'14''.025	2°20'14''.025	2°20'14''.025
Latitude Projection origine	49°30'00''	46°48'00''	44°06'00''	42°09'54 ''	46°48'00''	47°00'00''
Constante en X (False Easting)	600000	600000	600000	234.358	600000	600000

Constante en Y (False Northing)	1200000	2200000	3200000	4185861.369	2200000	600000
------------------------------------	---------	---------	---------	-------------	---------	--------

Les zones lambert NTF sur La France



« La formule » Lambert

Pour l'application numérique, on rappelle ici les paramètres pour la projection Lambert 93 :

- $a = 6\ 378\ 137\ m$
- $b = a(1 - \epsilon)$
- $\epsilon = 1 / 298.257222101$
- $\varphi_1 = 48^\circ 30'$
- $\varphi_2 = 49^\circ$
- $\lambda_0 = 3^\circ$
- $X_0 = 700\ 000\ m$
- $Y_0 = 6\ 600\ 000\ m$

Des coordonnées géographiques (lat, lon) aux cartographiques (X, Y)

[modifier]

Partant d'un point (ρ, λ) du globe supposé être une ellipsoïde de demi-grand axe a et de demi-petit axe b , calculons ses coordonnées (X, Y) sur la carte. Pour cela, nous allons passer par les coordonnées (ρ, θ) du point projeté sur le cône. L'axe des X est croissant vers l'Est et l'axe des Y croissant vers le Nord.

$$\begin{cases} X &= \rho \sin(\theta) + X_0 \\ Y &= Y_0 + \rho - \rho \cos(\theta) \end{cases} \text{ où } \begin{cases} \theta &= n(\lambda - \lambda_0) \\ \rho &= \rho(\phi) \end{cases}$$

Source Wikipedia

7. Lambert 93 : projection associée au système géodésique RGF 93.

http://geodesie.ign.fr/contenu/fichiers/Lambert93_ConiquesConformes.pdf

Utilisation : Système mis en place par l'Institut Géographique National dans le cadre de la création du Réseau Géodésique Français RGF93.

Son principal intérêt réside dans son référentiel [RGF93](#), qui est d'une part commun à nos voisins européens car fondé sur [ETRS89](#), et d'autre part compatible avec le [WGS84](#) utilisé notamment par le [système GPS](#) de positionnement par satellite. Ces trois systèmes ont de plus en commun l'ellipsoïde de référence IAG GRS80. (source Wikipedia)

Type de projection : projection conique, conforme.

Ellipsoïde de référence utilisé : Ellipsoïde GRS 80.

$a = 6\ 378\ 137,00\ m$

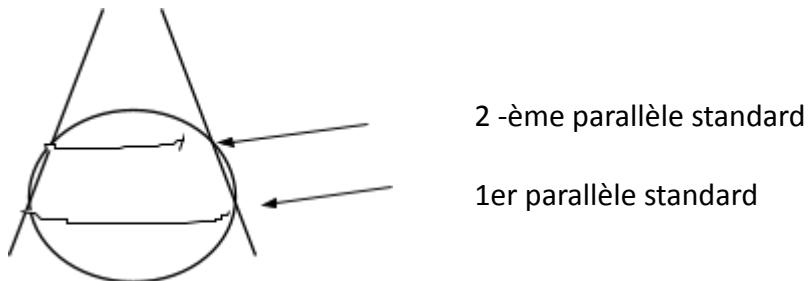
aplatissement = $1/298.257222101$

Type de déformation : La projection Lambert est une projection conforme, donc il y a conservation des angles mais déformation des distances.

Découpage en zones : le territoire couvert est un quadrilatère d'environ $1100\text{km} * 1100\text{km}$ limité à l'ouest par la Bretagne à l'Est et au Sud par la Corse et au Nord par le Pas-de-Calais. Une seule zone est employée, ce qui on le verra dans ce document entraînera des altérations linéaires qui par endroit peuvent atteindre près de $3\text{m}/\text{km}$.

Existence de deux parallèles d'échelle conservée (1er et 2nd parallèle standard) ; afin de réduire les altérations des distances, le cône n'est pas tangent en un point à l'ellipsoïde mais

légèrement sécant en deux points. Ce sont les **parallèles standards**, ou parallèles d'échelle conservée.



Lambert 93	
1 ^{er} parallèle standard	44°
2 ^e parallèle standard	49 °
Méridien central	3° E Greenwich
Latitude Projection origine	46°30'00''
Constante en X	700 000 m
Constante en Y	6 600 000 m

Cette projection présente des **altérations linéaires importantes par endroit** : (2,3 m/km à Dunkerque, 0,60 m/km à Marseille et 2,95 m/km à Bonifacio, légèrement inférieures à celles de la projection Lambert 2 étendue). Pour y remédier, le [décret 2006-272](#) a décidé la création de 9 projections coniques conformes sécantes, couvrant 9 zones du nord au sud, telles que proposées par un [rapport du CNIG](#). Elles ont en commun avec le Lambert93 le [système géodésique RGF93](#) et le méridien de référence 3°E (Greenwich).

Projection	φ_0	φ_1	φ_2	X_0	Y_0
CC42	42°	41.25°	42.75°	1 700 000 m	42 200 000 m
CC43	43°	42.25°	43.75°	1 700 000 m	43 200 000 m
CC44	44°	43.25°	44.75°	1 700 000 m	44 200 000 m
CC45	45°	44.25°	45.75°	1 700 000 m	45 200 000 m
CC46	46°	45.25°	46.75°	1 700 000 m	46 200 000 m
CC47	47°	46.25°	47.75°	1 700 000 m	47 200 000 m
CC48	48°	47.25°	48.75°	1 700 000 m	48 200 000 m
CC49	49°	48.25°	49.75°	1 700 000 m	49 200 000 m
CC50	50°	49.25°	50.75°	1 700 000 m	50 200 000 m

Les paramètres des **9 zones** du Lambert 93 9 zones.

Annexe : caractéristiques des Coniques Conformes 9 zones

Les Coniques Conformes 9 zones ont les caractéristiques principales suivantes :

¶ Les neuf zones se répartissent du Sud au Nord.

Chaque zone est centrée sur un parallèle de latitude ronde, allant du 42 ème au 50 ème degré de latitude nord avec une emprise de 1 degré de latitude de part et d'autre de ce parallèle.

La nomenclature

usuelle est la suivante :

1ère zone : CC42

2ème zone : CC43

3ème zone : CC44

4ème zone : CC45

5ème zone : CC46

6ème zone : CC47

7ème zone : CC48

8ème zone : CC49

9ème zone : CC50

¶ Toutes les zones sont utiles de manière à assurer un plein recouvrement. Le recouvrement entre deux zones consécutives est ainsi de 50%.

¶ A chacune de ces 9 zones est associée une projection conique conforme portant la dénomination 'CCxx' où xx correspond à la latitude du parallèle origine soit :

CC42 (zone 1),

CC43 (zone 2),

CC44 (zone 3),

CC45 (zone 4),

CC46 (zone 5),
CC47 (zone 6),
CC48 (zone 7),
CC49 (zone 8)
CC50 (zone 9).

✓ L'altération linéaire est comprise entre les valeurs : -9 cm/km <  < +7 cm/km

C'est une projection sécante (car le cône est sécant et non tangent).

Constantes de la représentation (NZ est le numéro de la zone, de 1 à 9):

CC France zone NZ

Latitude origine : φ_0 ($41 + NZ$)°

Zone d'application :

Latitude origine +/- 111 km

$\lambda_1 \varphi_0 - 0.75^\circ$

$\lambda_2 \varphi_0 + 0.75^\circ$

Longitude origine ou
méridien central de la
projection

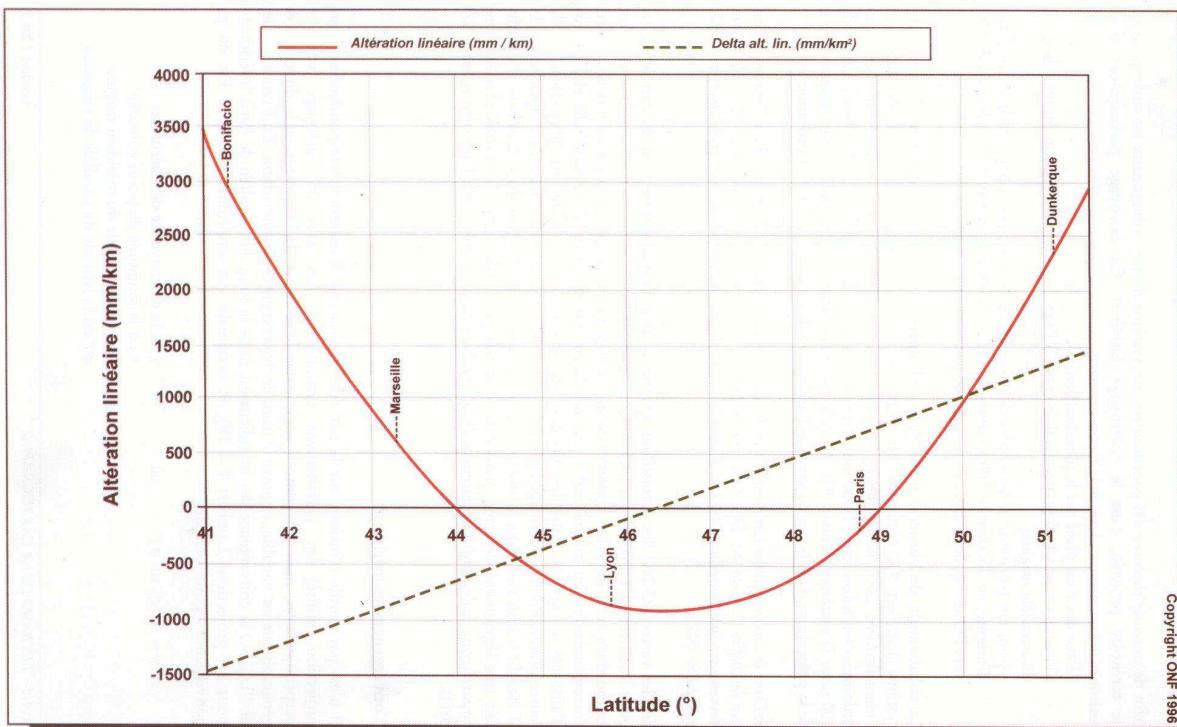
3 ° Est Greenwich

Eo 1 700 000 m

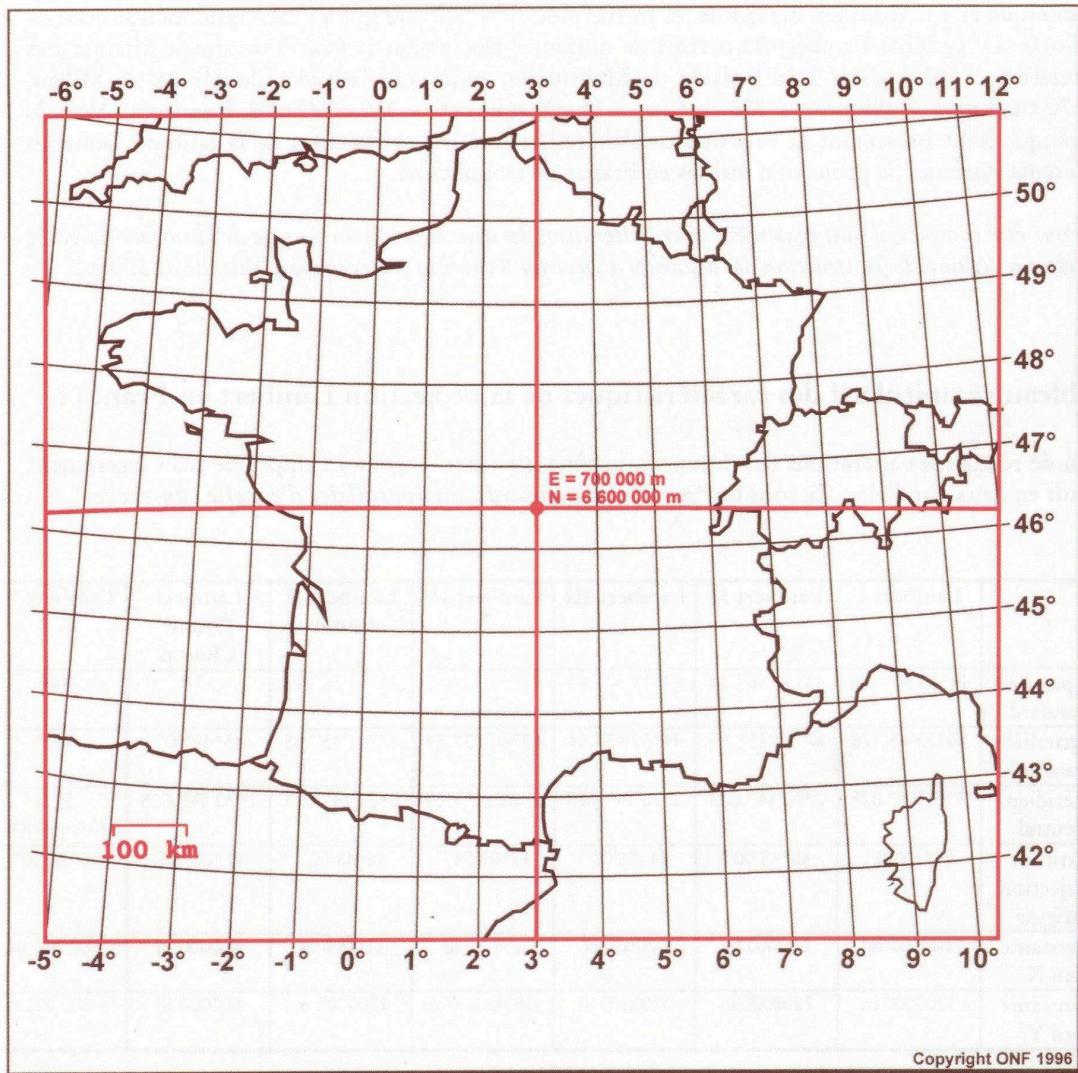
No ($NZ * 1 000 000$) +200 000 m

-

LAMBERT - 93 (44 - 49)



LAMBERT - 93



Critères de choix du lambert 93 (extrait du site ign.fr)

Les critères de choix de cette projection ont été les suivants:

- unicité

le traditionnel découpage en zones d'applications comme en Lambert NTF est à proscrire (oui mais en fait quelques années après on fait 9 zones!)

- facilité d'utilisation

les altérations angulaires et linéaires doivent être minimisées

les processus de calcul doivent être d'exploitation simple et compatibles avec les logiciels existants

il ne doit pas y avoir de confusion avec des coordonnées existantes

- facilité de mise en oeuvre

cette projection doit permettre d'utiliser les documents cartographiques existants avec le minimum de difficultés

Le territoire couvert est d'environ 1 100 km x 1 100 km (quadrilatère limité à l'Ouest par la Bretagne, à l'Est et au Sud par la Corse et au Nord par le Pas-de-Calais). Une représentation plane conforme quelle qu'elle soit élimine les altérations angulaires et entraîne sur cette surface des altérations linéaires dont l'amplitude est de 4 m/km (de 0 à +4 m/km ou de -1 à +3 m/km etc...).

La projection conforme la moins pénalisante au sens des altérations linéaires est en théorie la projection stéréographique oblique. La conformation du territoire implique cependant des valeurs importantes de l'altération linéaire pour la Bretagne et la Corse situées à 700 km ou plus du centre éventuel de projection (barycentre). D'autre part, cette projection est peu utilisée (Pays-Bas) et souvent absente des logiciels courants. Son exploitation topographique n'est pas non plus très aisée (calculs de convergence des méridiens ou des courbures des images de géodésiques...).

La projection Mercator transverse type "Gauss-Kruger" dont l'UTM est un cas particulier est très largement répandue dans le Monde. Une projection de ce type pourrait répondre aux critères exposés ci-dessus. Une difficulté majeure réside cependant dans son mode de calcul issu le plus souvent de développements limités au voisinage d'un méridien.

L'extension en longitude d'une telle représentation plane (fuseau de 6° pour l'UTM étendu à 14° pour la France) peut être source de certaines incohérences liées aux algorithmes utilisés dans la plupart des logiciels. Il est à noter que l'IGN a mis au point un algorithme permettant une extension très large.

Le choix d'une représentation conique conforme apparaît comme une solution satisfaisante eu égard aux critères précédemment cités. La sélection des caractéristiques et paramètres a été effectuée afin d'y répondre au mieux.

Caractéristiques principales

* Ellipsoïde : GRS80. C'est sur cet ellipsoïde que sont exprimées les coordonnées géographiques (longitude, latitude et hauteur) du système RGF93.

* Projection "sécante": la projection conique conforme peut être définie de deux manières: soit tangente avec facteur d'échelle, soit sécante avec deux parallèles d'échelle conservée. Les deux types de définition sont rigoureusement équivalents, mais l'usage récent (logiciels SIG, traitements GPS...) privilégie le deuxième.

* Parallèles standards (: d'échelle conservée ou *automécoïques*)

Le choix des parallèles 44° et 49° permet de minimiser en valeur absolue l'altération linéaire (de -1m/km à +2 et marginalement +3 m/km: voir graphique en annexe).

* Origine / coordonnées de l'origine

Le point central, proche du barycentre du territoire, est de coordonnées géographiques rondes (longitude 3° E, latitude 46° 30' N).

Les constantes de la projection définissant les coordonnées de ce point ont été choisies de manière qu'aucune confusion ne puisse être relevée avec les coordonnées actuellement en usage (Lambert [NTF] I, II, III, IV, II étendu, UTM [E50 ou WGS84] f30, f31, f32).

Avec E0(ou X0) = 700 000 m, N0(ou Y0) = 6 600 000 m,

Pour tout point du territoire ayant des coordonnées planes E, N on aura:

100 000 < E(ou X) < 1 200 000

6 000 000 < N(ou Y) < 7 100 000

Caractéristiques particulières

- Altérations linéaires

De -1 m/km à +3 m/km, la déformation des longueurs peut donc être importante et rendre malaisées certaines applications topographiques. C'est en particulier la variation locale de l'altération qui peut mettre en cause la validité des procédures classiques de calcul de réduction de distances ou de visées azimutales. Des algorithmes spécifiques sont donc à définir la quasi linéarité de la variation de l'altération en fonction de la latitude autorise des méthodes simples d'intégration.

Superposabilité

Des simulations ont été effectuées montrant que l'adaptation de la nouvelle projection sur des documents cartographiques antérieurs présente un défaut d'échelle maximal de 1 mm par mètre (10-3) et des écarts au sein du même document inférieurs au dixième de millimètre. A toutes les échelles, on pourra considérer le pseudo-quadrillage LAMBERT-93 comme régulier (orthonormal à 1/10mm près).

Tableau récapitulatif

Ellipsoïde : GRS 80	
1/2 grand axe	a = 6 378 137 m
aplatissement	f = 1 / 298.257222101
Projection conique conforme sécante:	
parallèles d'échelle conservée (parallèles "standards"):	
‐1	44 ° N
‐2	49 ° N
origine :	
méridien central	+0 = 3 ° E Greenwich
latitude origine	‐0 = 46 ° 30 ' N
coordonnées de l'origine:	
E0(ou X0)	700 000 m
N0(ou Y0)	6 600 000 m

Variation des déformations : Les déformations des distances (altération linéaire) varient de -1m/km à + 2 m/km et marginalement (Bonifacio et Dunkerque) + 3 m /km.
Ces déformations peuvent être facilement compensées par logiciel.

Conséquences de l'apparition du lambert 93 sur les cartes : (d'après site ign.fr)

Top25 (toute filière de production)

Cas d'une carte en zone Lambert III et Top25 traversée par le méridien 6 degrés Est du méridien international)

Les deux échelles de latitudes et longitudes du cadre et les chiffraisons kilométriques correspondent respectivement :

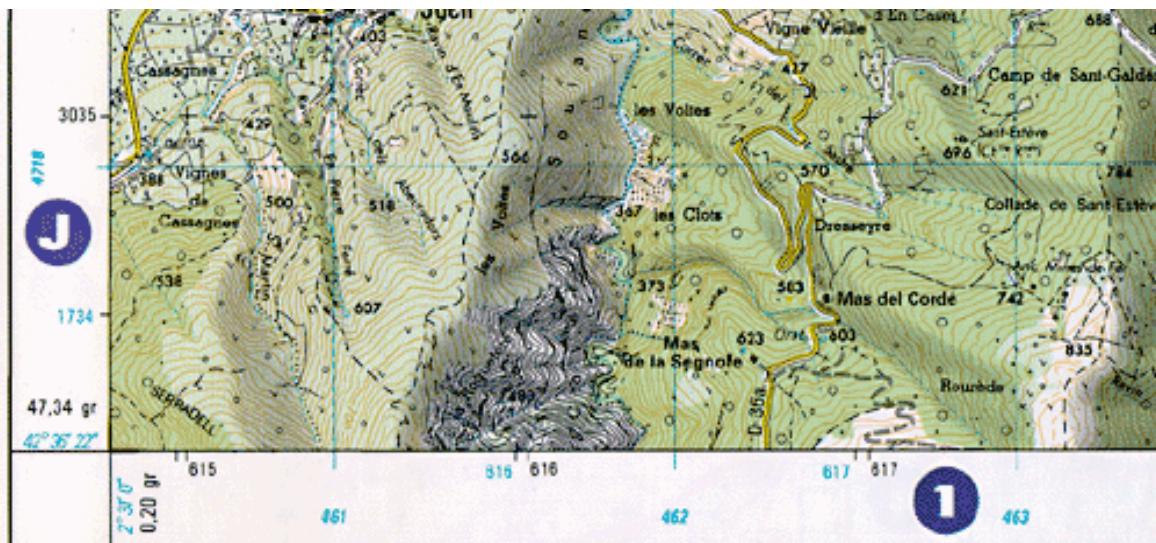
- vers l'intérieur, aux latitudes et longitudes en grades (longitudes référencées au méridien de Paris) rapportées au **système géodésique français NTF** ; les amorces sont celles des quadrillages kilométriques **Lambert zone III (chiffrées en noir)** et **Lambert zone II étendu (chiffrées en bleu)**;

- vers l'extérieur, aux latitudes et longitudes **en degrés** (**longitudes référencées au méridien international**) rapportés au système géodésique mondial WGS84 ou RGF93 ; Les chiffrasons bleues en italiques en regard du quadrillage kilométrique sont des coordonnées Mercator Transverse Universel fuseau 31 ou 32.

Série Bleue en révision ou issue de la filière numérique :

Le texte est identique au texte précédent : Le cadre est refait, l'ED50 disparaît également totalement.

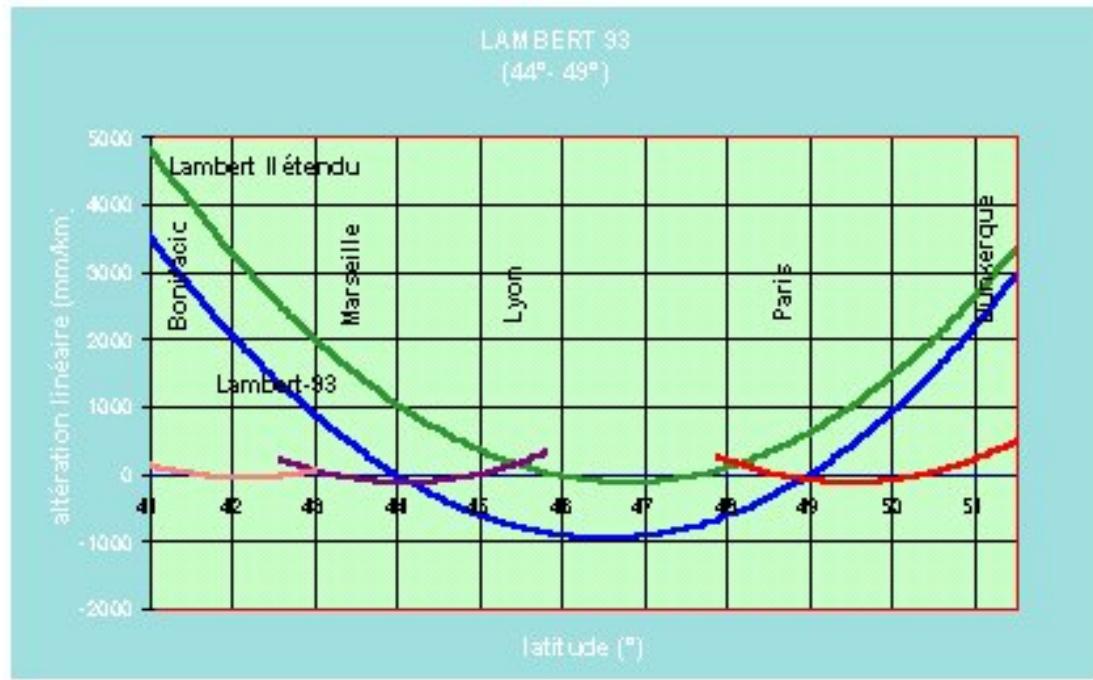
Série Bleue en réimpression :



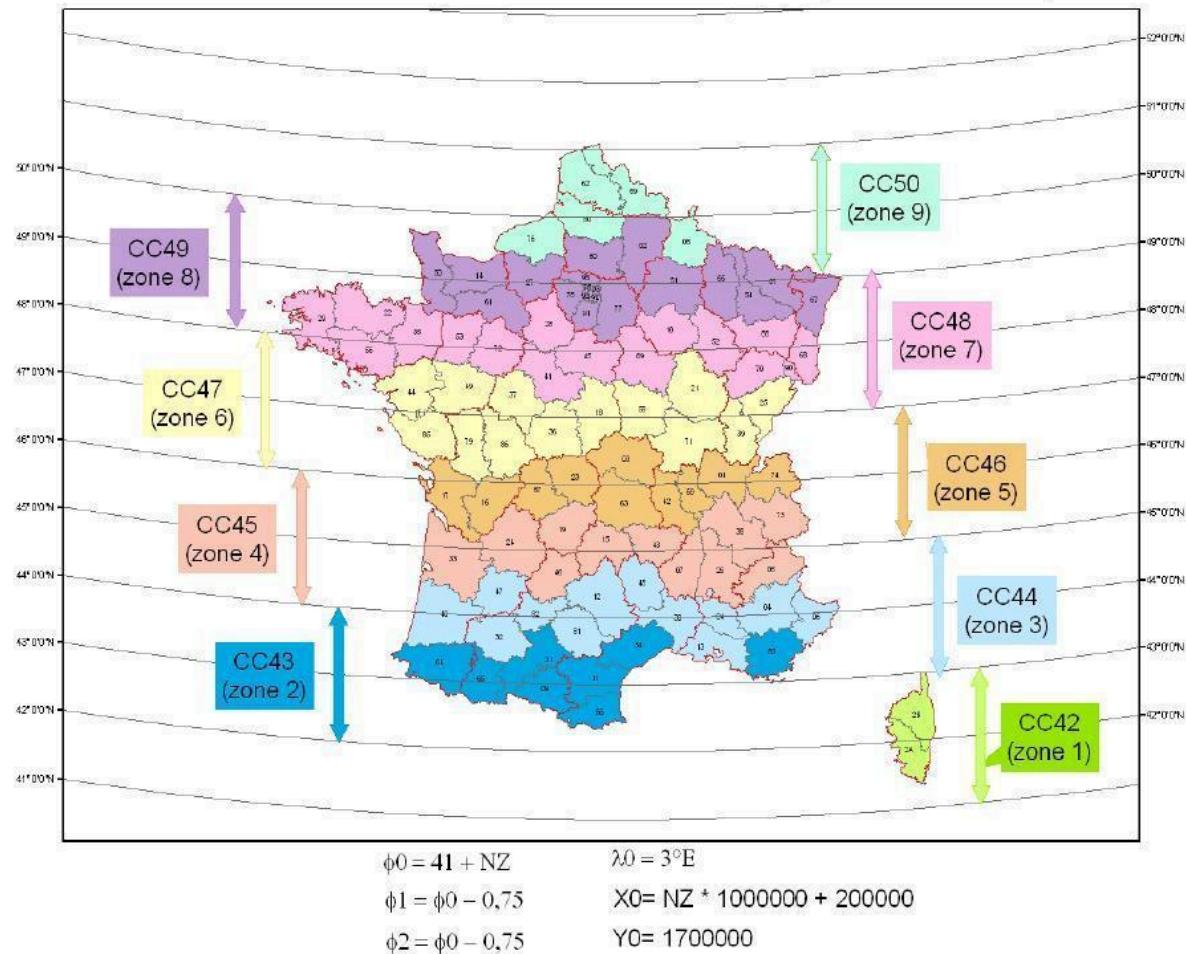
Le quadrillage Kilométrique UTM-WGS84 imprimé en bleu permet de se localiser sur la carte à partir d'une position donnée par un récepteur GPS.

Elle constitue la majorité des cartes. Le quadrillage GPS est plaqué sur le cadre existant (l'ED50 subsiste). Le texte des légendes existant n'est pas modifié. Il vient simplement s'ajouter une phrase à la suite de la légende actuelle :

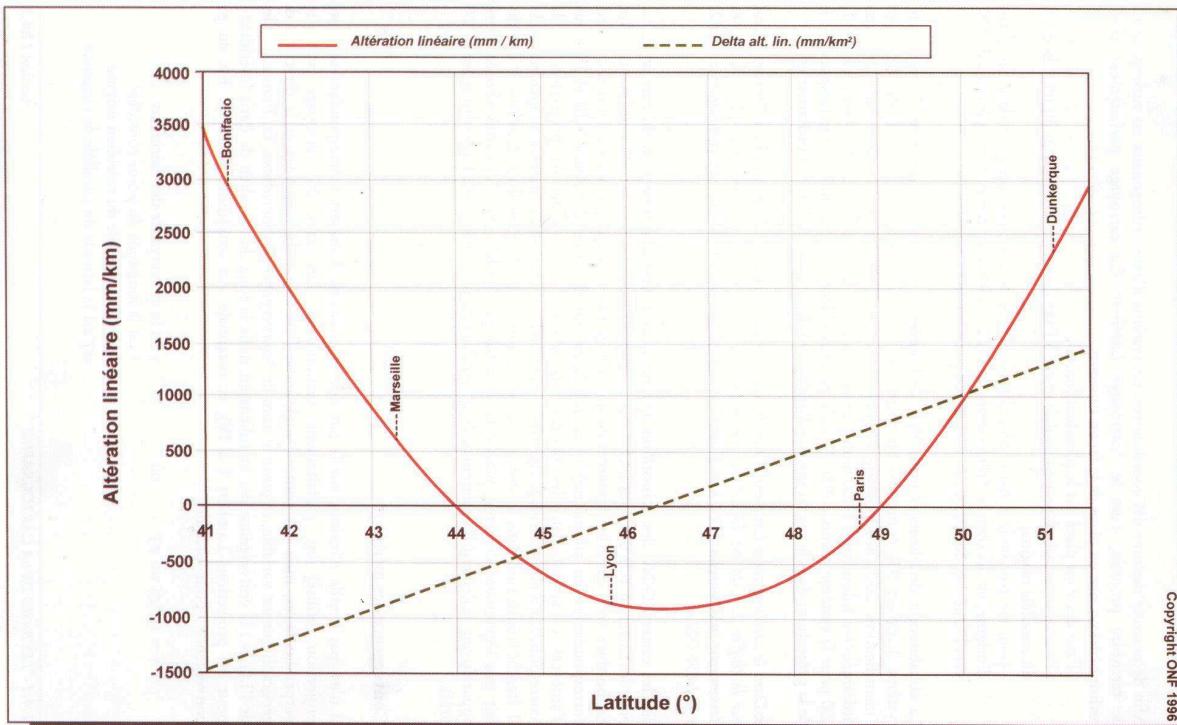
"Les chiffrasons bleues en italique en regard du quadrillage kilométrique sont des coordonnées Mercator Transverse Universel fuseau 31 ou 32 rapportées au système géodésique mondial **WGS84** ou **RGF93**."



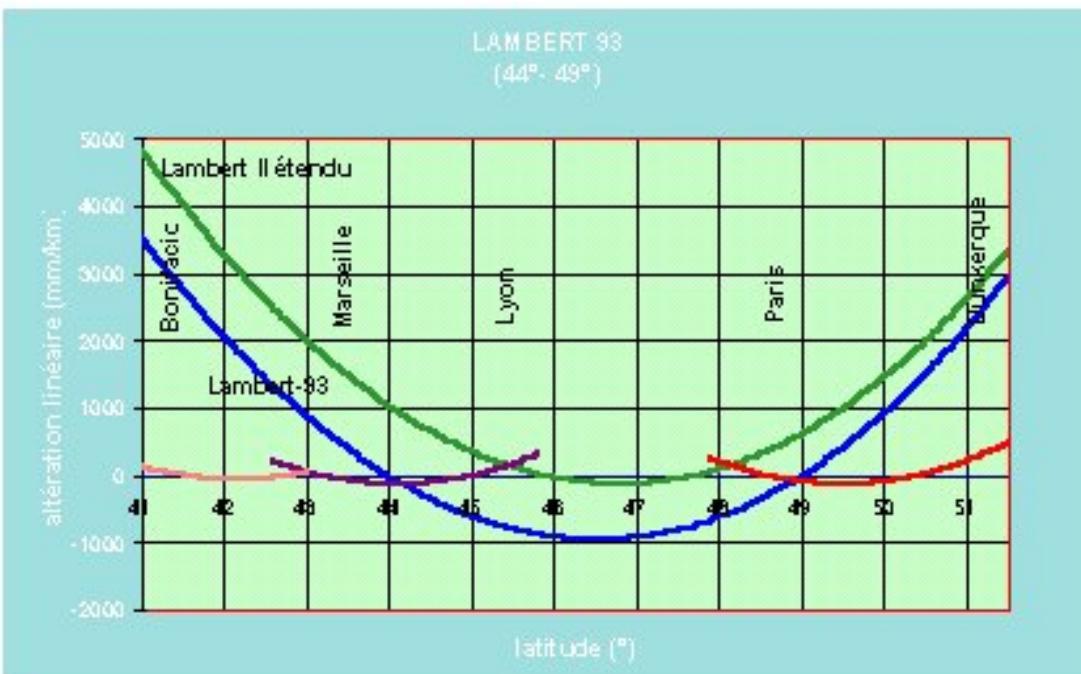
PROJECTIONS CONIQUES CONFORMES 9 ZONES (DEPARTEMENT)



LAMBERT - 93 (44 - 49)



Copyright ONF 1996



Décret de création du Lambert 93 en décembre 2000

MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT
Décret n° 2000-1276 du 26 décembre 2000

portant application de l'article 89 de la loi n° 95-115 du 4 février 1995 modifiée d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire relatif aux conditions d'exécution et de publication des levés de plans entrepris par les services publics.

Le Premier ministre,

Sur le rapport de la ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Vu la loi n°95-115 du 4 février 1995 d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire, modifiée par la loi n°99-533 du 25 juin 1999 d'orientation pour l'aménagement et le développement durable du territoire, notamment son article 89; Vu l'avis du Conseil national de l'information géographique dans sa séance du 24 novembre 1999 et de sa commission topo-foncière dans sa séance du 17 décembre 1999,

Décrète :

Art. 1^{er} - Le système national de référence de coordonnées géographiques, planimétriques et altimétriques cité à l'article 89 de la loi du 4 février 1995 susvisée est défini comme suit :

.A. - Systèmes de référence géographiques et planimétriques :

ZONE	SYSTEME GEODESIQUE	ELLIPSOÏDE ASSOCIE	PROJECTION
France Métropolitaine	RGF 93	IAG GRS 1980	Lambert 93
Guadeloupe, Martinique	WGS 84	IAG GRS 1980	UTM Nord fuseau 20
Guyane	RGFG 95	IAG GRS 1980	UTM Nord fuseau 22
Réunion	RGR 92	IAG GRS 1980	UTM Sud fuseau 40

B. - Systèmes de référence altimétriques :

ZONE	SYSTEME ALTIMETRIQUE
France Métropolitaine, à l'exclusion de la Corse	IGN 1969
Corse	IGN 1978
Guadeloupe	IGN 1988
Martinique	IGN 1987
Guyane	NGG 1977
Réunion	IGN 1989

La cote du zéro hydrographique dans chaque zone de marée est définie à la côte par le service hydrographique et océanographique de la marine dans les systèmes de référence altimétriques ci-dessus.

Art. 2. - L'Institut géographique national en zone terrestre et le service hydrographique et océanographique de la marine en zone maritime entretiennent et diffusent à tout demandeur public ou privé l'information relative à ces systèmes les plus couramment utilisés sur le territoire national dans le système national de référence défini à l'article 1^{er}.

Art. 3. - Le rattachement des informations localisées au système national de référence peut être réalisé selon l'une des trois modalités suivantes :

- en fournissant les informations dans les systèmes légaux de coordonnées ;
- en fournissant les informations dans tout autre système accompagnées des éléments nécessaires à leur transformation dans le système national de référence de coordonnées avec le même niveau de précision que celui des informations d'origine ;
- en reportant les informations sur un fond de plan graphique ou numérique lui-même rattaché selon l'une des deux modalités précédentes avec le même niveau de précision que celui du fond de plan utilisé.

Art. 4. - Un arrêté du ministre chargé de l'équipement définit les niveaux de précision requis par catégories pour les travaux topographiques visés à l'article 89 de la loi du 4 février 1995 susvisée.

Art. 5. - Les conditions particulières de rattachement des travaux topographiques ou cartographiques réalisés dans le cadre d'une délégation de service public sont décrites dans des documents contractuels conclus entre l'autorité déléguante et l'entreprise chargée de l'exécution de la mission de service public. Dans le cas où les travaux sont relatifs à une demande d'autorisation d'occuper le domaine public, elles sont décrites par l'autorité délivrant l'autorisation, notamment lors de la délivrance d'une permission de voirie et lors de la conclusion d'une convention d'occupation du domaine public non routier.

Art. 6. - Sous réserve des dispositions contraires qui résulteraient d'accords internationaux, le présent décret s'applique à compter du 1^{er} février 2000 pour tous les travaux topographiques ou cartographiques couvrant une superficie supérieure à 10 000 mètres carrés ou dont la plus grande longueur est supérieure à 500 mètres, sauf pour les travaux transmis sous forme de documents papier ou d'images numériques de type maillé où il s'applique, selon les mêmes conditions, uniquement aux travaux nouveaux.

Art. 7. - Le ministre de l'économie, des finances et de l'industrie, le ministre de l'intérieur, le ministre de la défense, le ministre de l'équipement, des transports et du logement, le ministre de l'agriculture et de la pêche, la ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement, le secrétaire d'Etat à l'outre-mer, la secrétaire d'Etat au budget et le secrétaire d'Etat à l'industrie sont chargés, chacun en ce qui le concerne, à l'exécution du présent décret, qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait à Paris, le 26 décembre 2000.

Lionel JOSPIN.

Par le Premier ministre ...

Décret de 2006 modifiant le décret de 2000

Décrets, arrêtés, circulaires

TEXTES GÉNÉRAUX

MINISTÈRE DES TRANSPORTS, DE L'ÉQUIPEMENT,
DU TOURISME ET DE LA MER

Décret n°2006-272 du 3 mars 2006 modifiant le décret n°2000-1276 du 26 décembre 2000 portant application de l'article 89 de la loi n°95-115 du 4 février 1995 modifiée d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire relatif aux conditions d'exécution et de publication des levés de plans entrepris par les services publics

Le Premier ministre,

Sur le rapport du ministre des transports, de l'équipement, du tourisme et de la mer,

Vu la loi n°95-115 du 4 février 1995 d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire,

modifiée par la loi n°99-533 du 25 juin 1999 d'orientation pour l'aménagement et le développement durable

du territoire, notamment son article 89 ;

Vu le décret n°2000-1276 du 26 décembre 2000 portant application de l'article 89 de la loi n°95-115 du

4 février 1995 modifiée d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire relatif aux

conditions d'exécution et de publication des levés de plans entrepris par les services publics ;

Vu l'avis du Conseil national de l'information géographique dans sa séance du 24 novembre 2004,

Décrète :

Art. 1^{er}. – Les A et B de l'article 1^{er} du décret du 26 décembre 2000 susvisé sont remplacés par les dispositions suivantes :

« A. – Systèmes de références géographiques et planimétriques

ZONE	SYSTÈME GÉODÉSIQUE	ELLIPSOÏDE ASSOCIÉ	PROJECTION
France métropolitaine.....	RGF93	IAG GRS 1980	Lambert 93. Coniques conformes 9 zones.
Guadeloupe, Martinique	WGS84	IAG GRS 1980	UTM Nord fuseau 20.
Guyane	RGFG95	IAG GRS 1980	UTM Nord fuseau 22.
Réunion	RGR92	IAG GRS 1980	UTM Sud fuseau 40.
Mayotte	RGM04	IAG GRS 1980	UTM Sud fuseau 38.

Dans le tableau ci-dessus, les "coniques conformes 9 zones" s'ajoutent à la liste des projections, en ce qui concerne la France métropolitaine.

B. – Systèmes de référence altimétriques

ZONE	SYSTÈME ALTIMÉTRIQUE
France métropolitaine à l'exclusion de la Corse.....	IGN 1969
Corse	IGN 1978
Guadeloupe	IGN 1988
Martinique	IGN 1987
Guyane	NGG 1977
Réunion	IGN 1989
Mayotte	SHOM 1953

La cote du zéro hydrographique dans chaque zone de marée est définie à la côte par le service hydrographique et océanographique de la marine dans les systèmes de référence altimétriques ci-dessus. »

Art. 2. – L'article 3 du décret du 26 décembre 2000 susvisé est remplacé par les dispositions suivantes :

« Art. 3. – **Les informations localisées doivent être fournies dans le système national de référence de**
coordonnées décrit à l'article 1^{er} ou à titre transitoire pendant une période de trois ans à compter
de la date de

publication du présent décret, selon l'une des deux modalités suivantes :

– par fourniture dans tout autre système, accompagnées des éléments nécessaires à leur transformation dans

le système national de référence de coordonnées avec le même niveau de précision que celui des informations d'origine ;

– par report sur un fond de plan graphique ou numérique lui-même rattaché avec le même niveau de précision que celui du fond de plan utilisé. »

Art. 3. – L'article 6 du décret du 26 décembre 2000 susvisé est remplacé par les dispositions suivantes :

« Art. 6. – Sous réserve des dispositions qui résulteraient d'accords internationaux, **le présent décret s'applique à tous les levés couvrant une superficie supérieure à 10 000 mètres carrés ou dont la plus grande**

longueur est supérieure à 500 mètres, sauf pour les travaux transmis sous forme de documents papier ou

convertis en images numériques où il s'applique, selon les mêmes conditions, uniquement aux travaux

nouveaux et à l'exclusion des mises à jour. Les seuils définis ci-dessus peuvent être abaissés ou supprimés en

application de dispositions résultant d'accords internationaux ou locaux tels que contrats, conventions ou

commandes publiques. »

Art. 4. – Le ministre d'Etat, ministre de l'intérieur et de l'aménagement du territoire, la ministre de la défense, le ministre de l'économie, des finances et de l'industrie, le ministre des transports, de l'équipement, du

tourisme et de la mer, le ministre de l'agriculture et de la pêche, la ministre de l'environnement et du développement

durable et le ministre de l'outre-mer sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent

décret, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 3 mars 2006 .

DOMINIQUE DE VILLEPIN

Par le Premier ministre :

*Le ministre des transports, de l'équipement,
du tourisme et de la mer,*

Donc à partir du 9 mars 2009

En référence au Décret n° 2006-272 du 3 mars 2006:

- Article 3: « **les informations localisées doivent être fournies dans le système national de référence de coordonnées décrit à l'article 1er (Lambert 93, conique conforme 9 zones)** »
- Donc usage exclusif du nouveau système de référence jusqu'ici facultatif (modifie le décret n°2000-1276)

Qui est concerné ?

D'après l'article 89 de la loi no 95-115 du 4 février 1995 relatif aux conditions d'exécution et de

publication des levés de plans entrepris par les services publics :

« Les informations localisées issues des travaux topographiques ou cartographiques réalisés par l'Etat, les collectivités locales, les entreprises chargées de l'exécution d'une mission de service public, ou pour leur compte, doivent être rattachées au système national de référence de coordonnées géographiques, planimétriques et altimétriques défini par décret et utilisable par tous les acteurs participant à l'aménagement du territoire.

8. La projection U.T.M (Mercator Transverse Universelle)

Utilisation : C'est la projection la plus utilisée dans le monde pour l'établissement des cartes topographiques. C'est un système de projection international qui couvre toute la surface terrestre entre les latitudes 80° nord et sud.

Ce système est employé par de nombreux pays européens. En France il est utilisé par l'I.G.N. pour les cartes des Départements et Territoires d'Outre-mer.

Type de projection : projection cylindrique, transverse, conforme.

Ellipsoïde de référence utilisé : en France ellipsoïde international (Hayford 1909) et IAG GRS80

$$\begin{aligned}a &= 6378388 \text{ m} \\b &= 6356911,9462 \text{ m} \\ \text{aplatissement} &= 1/297\end{aligned}$$

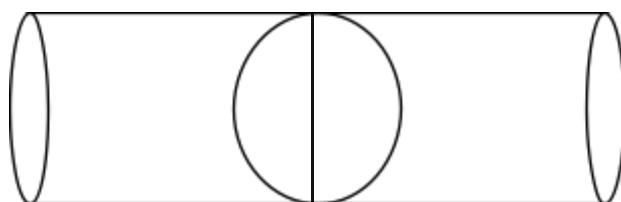
Construction de la projection U.T.M. :

La construction géométrique de la projection U.T.M. est issue de celle de la projection de Mercator transverse (aussi connue sous le nom de projection de Gauss ou de Gauss-Krüger ou encore Projection de Gauss-Hannoversche).

Vers 1950 les U.S.A. ont repris cette projection et en ont fait la base d'un système universel destiné à unifier la géodésie et la topographie des puissances militaires de l'O.T.A.N.

Le principe géométrique est le suivant :

L'ellipsoïde est projeté sur la sphère puis de la sphère sur un cylindre tangent au niveau d'un méridien.



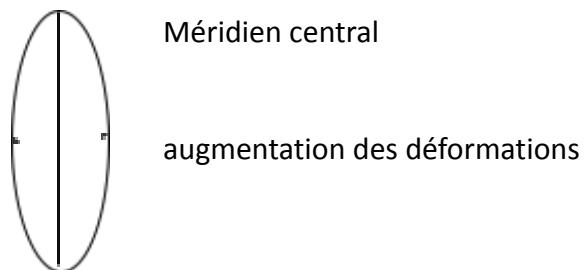
Cylindre tangent à un méridien

- . Le méridien central et l'équateur sont transformés en deux droites orthogonales.
- . Les autres méridiens et parallèles sont transformés en courbes orthogonales entre elles.

Type de déformation :

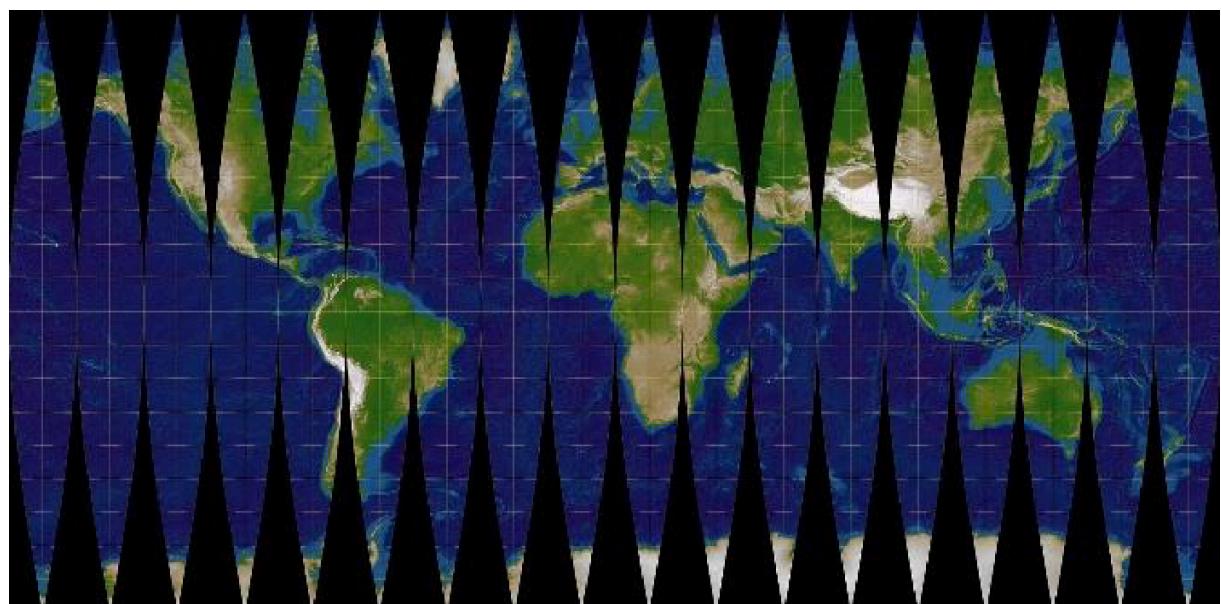
La projection U.T.M. est une projection conforme, elle conserve les angles mais altère les distances.

La déformation des distances est nulle le long du méridien central. Elle augmente proportionnellement au carré de la distance à ce méridien.



Découpage en zones :

La terre a donc été découpée en 60 fuseaux de 6° de large de part et d'autre du méridien central de chaque fuseau.



De plus, chaque fuseau fait l'objet d'un découpage en 20 zones de 8° de latitude, identifiées par une lettre qui suit l'ordre alphabétique du sud vers le nord.

. La France est couverte par 3 fuseaux 30, 31 et 32.

Le quadrillage U.T.M.:

Un quadrillage kilométrique orthonormé est appliqué dans chaque fuseau.

Attention, ce **carroyage kilométrique est tracé sur les cartes I.G.N. au 1/50000** mais cela ne change en rien le système de projection dans lequel la carte a été établie : la carte conserve la projection Lambert dans laquelle elle a été projetée.

L'axe des Y du quadrillage est dans la direction du méridien central du fuseau.

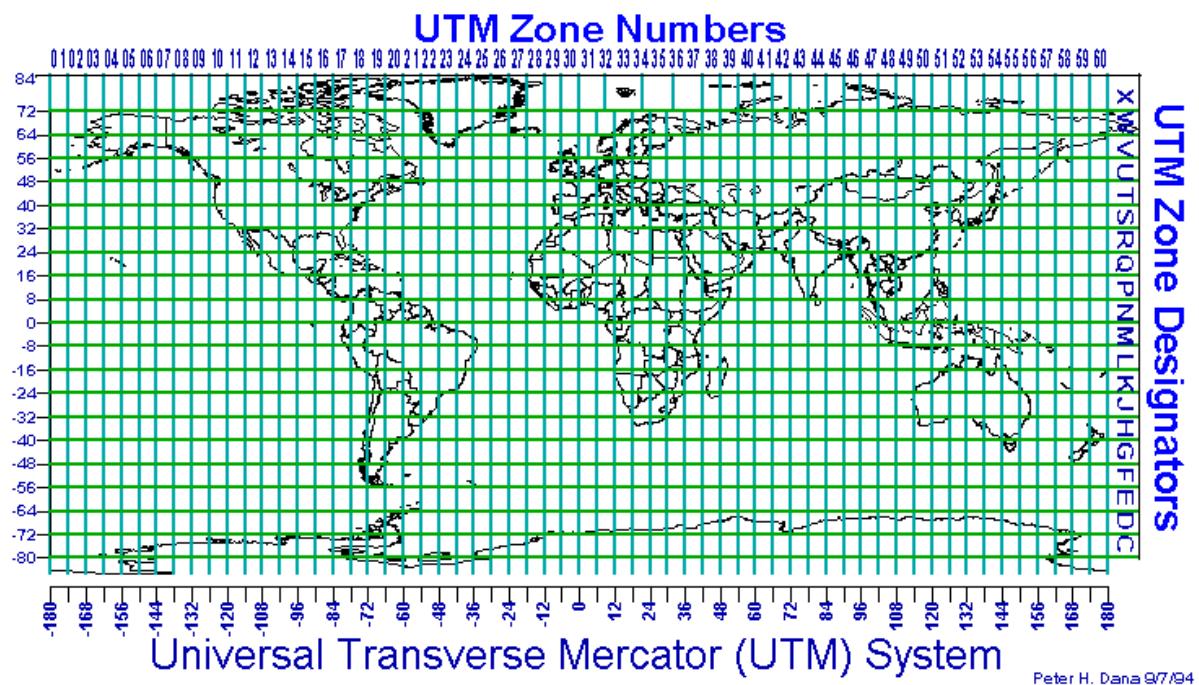
L'axe des X lui est perpendiculaire.

L'abscisse du méridien central dans chaque fuseau est égale à 500km, par convention.

Le point origine des ordonnées est situé à l'équateur pour l'hémisphère nord.

Dans l'hémisphère sud, l'Equateur a la valeur Y=10 000km, pour éviter les ordonnées négatives.

(voir extrait du quadrillage KM.UTM)



Systèmes de coordonnées projetées fréquemment utilisés en France métropolitaine(source wikipedia nov 2023)

Pour la France Métropolitaine, seul le code 2154 (Lambert 93) et les codes 3942 à 3950 (coniques conformes 9 zones¹) sont légaux². Les autres codes sont périmés, mais pas dépréciés³.

Syst. géodésique	Projection	EPSG	Remarques
RGF93	Lambert 93	2154	Système actuel légal
RGF93	Lambert CC42 (Zone 1 du 41°N au 43°N - Corse)	3942	Système récent mais de plus en plus utilisé
RGF93	Lambert CC43 (Zone 2 sud du 44°N)	3943	Système récent mais de plus en plus utilisé
RGF93	Lambert CC44 (Zone 3 du 43°N au 45°N)	3944	Système récent mais de plus en plus utilisé
RGF93	Lambert CC45 (Zone 4 du 44°N au 46°N)	3945	Système récent mais de plus en plus utilisé
RGF93	Lambert CC46 (Zone 5 du 45°N au 47°N)	3946	Système récent mais de plus en plus utilisé
RGF93	Lambert CC47 (Zone 6 du 46°N au 48°N)	3947	Système récent mais de plus en plus utilisé
RGF93	Lambert CC48 (Zone 7 du 47°N au 49°N)	3948	Système récent mais de plus en plus utilisé
RGF93	Lambert CC49 (Zone 8 du 48°N au 50°N)	3949	Système récent mais de plus en plus utilisé
RGF93	Lambert CC50 (Zone 9 au nord du 49°N)	3950	Système récent mais de plus en plus utilisé

NTF(Paris)	Lambert Nord standard (Zone I)	27561	Système français périmé mais encore utilisé dans le nord de la France
NTF(Paris)	Lambert Centre standard (Zone II)	27562	Système français périmé mais encore utilisé dans le centre de la France
NTF(Paris)	Lambert Sud standard (Zone III)	27563	Système français périmé mais encore utilisé dans le sud de la France
NTF(Paris)	Lambert Corse standard (Zone IV)	27564 [Système français périmé mais encore utilisé en Corse
NTF(Paris)	Lambert Zone I carto	27571	Système français périmé mais encore utilisé dans le nord de la France
NTF(Paris)	Lambert Zone II carto	27572	Système français périmé mais encore utilisé dans l'ensemble de la France métropolitaine sous le nom de Lambert II étendu.
NTF(Paris)	Lambert Zone III carto	27573 [Système français périmé mais encore utilisé dans le sud de la France
NTF(Paris)	Lambert Zone IV carto	27574 [Système français périmé mais encore utilisé en Corse
ED50	France EuroLambert	2192 [Système périmé fondé sur le système ED50 et les paramètres de la projection Lambert II étendue
ETRS89	ETRS-LAEA	3035	Système européen actuel conservant les surfaces
ETRS89	ETRS-LCC	3034 [Système européen actuel conservant les angles
WGS84	UTM 30N	32630 [Système UTM, utilisé notamment par les militaires; la zone 30 pour les longitudes entre 0 et 6 degrés ouest Utilisé pour données satellite Sentinel 2 en France

WGS84	UTM 31N	32631	Système UTM, utilisé notamment par les militaires; la zone 31 pour les longitudes entre 0 et 6 degrés est
WGS84	UTM 32N	32632	Système UTM, utilisé notamment par les militaires; la zone 32 pour les longitudes entre 6 et 12 degrés est
WGS84	Mercator	3395	Projection Mercator fondée sur WGS84 utilisée dans les cartes marines récentes du Shom
ED50	Mercator	non défini	Projection Mercator fondée sur ED50 utilisée dans les cartes marines anciennes du Shom

<https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-pro/mapping/coordinate-systems-difference/>

9. Systèmes de projection utilisés par l'I.G.N. dans les DOM -TOM

Syst. géodésique	Projection	EPSG	Remarques
WGS84	UTM 20N	4559	Système utilisé en Guadeloupe & Martinique
RGR92	UTM 40S	2975	Système utilisé à la Réunion
RGFG95	UTM 22N	2972	Système utilisé en Guyane
RGM04	UTM 38S	4471	Système utilisé à Mayotte
RGSPM06	UTM 21N	4467	Système utilisé à St-Pierre-et-Miquelon
	UTM 58 S		Système utilisé en Nouvelle Calédonie

RGPF	UTM 6S	3297	Système utilisé en Polynésie Française
------	--------	------	--

Page wikipedia sur les systèmes en outre-mer français

Région	Code	nom	EPSG	Remarques
Guadeloupe, Martinique	WGS84	World Geodetic System 1984	4557 (3D), 4558 (2D)	<p>Système légal (décret 2000-1276 du 26 décembre 2000). Ce WGS84, aussi appelé RRAF91 (Réseau de référence des Antilles françaises), est issu d'un réseau de référence observé en 1991, lui-même appuyé sur des points observés en 1988 (campagne internationale TANGO88), époque où l'ITRS n'était qu'à l'état d'embryon. Sa précision est métrique.</p> <p>En 2008/2009, l'IGN a exécuté une nouvelle campagne correspondant à l'état de l'art en matière de géodésie, conduisant à une réalisation de l'ITRS via l'ITRF2005 (IGS05 époque 2009.0 pour être précis) le RGAF09. Les écarts constatés avec l'« ancien » (mais néanmoins légal) WGS84 sont de l'ordre de 70 cm avec en plus des écarts différentiels entre îles (Martinique & Guadeloupe) de 30 cm en vertical.</p>
Guyane	RGFG95	Réseau géodésique français de Guyane	4967(3D), 4624(2D), 4966 (géocentrique)	Système légal (décret 2000-1276 du 26 décembre 2000). Raccordé à l'ITRS via ITRF93 époque 1995.0
Réunion	RGR92	Réseau géodésique de la Réunion	4971(3D), 4627(2D), 4970 (géocentrique)	<p>Système légal (décret 2000-1276 du 26 décembre 2000). Raccordé à l'ITRS via ITRF91 époque 1993.1</p> <p>Compatible avec le WGS84 pour des précisions égales ou supérieures à 10 m (c'est-à-dire 15 m etc.)..</p>
Mayotte	RGM04	Réseau géodésique de Mayotte	4468 (géocentrique), 4469 (3D), 4470 (2D)	Système légal (décret 2000-1276 du 26 décembre 2000). Raccordé à l'ITRS via ITRF2000
St-Pierre-et- Miquelon	RGSPM06	Réseau géodésique de	4463 (2D), 4465 (géocentrique), 4466 (3D)	St-Pierre-et-Miquelon ne figure pas dans le décret 2000-1276 du 26 décembre 2000. Raccordé à l'ITRS via I

		St-Pierre-et-Miquelon		
--	--	-----------------------	--	--

10. EPSG...la référence des projections

L'EPSG - European Petroleum Survey Group -, un regroupement de géomaticiens de sociétés pétrolières, groupe qui a maintenant disparu, a défini une liste des systèmes de coordonnées et leur a associé des codes pour les identifier. Cette liste est disponible sur le site <http://www.epsg.org/>. Ces codes sont notamment utilisés dans les standards de l'[Open Geospatial Consortium](#).

Extrait de la page Wikipedia :

L'EPSG (European Petroleum Survey Group), un groupe créé en 1985 par Jean-Patrick Girbig qui travaillait alors avec la société [Elf Aquitaine](#), a défini une liste des systèmes de coordonnées géoréférencées et leur a associé des codes pour les identifier. En 2005, ce groupe est devenu le "Comité de topographie et de positionnement" (Surveying and Positionning Committee) de l'[Association internationale des producteurs de pétrole et de gaz \(OGP\) \[archive\]](#). Ces codes, qui existent toujours sous le nom de "code EPSG", sont notamment utilisés dans les standards de l'[Open Geospatial Consortium](#) et dans certains logiciels de [Système d'information géographique](#) (SIG).

Lorsqu'un code EPSG est noté "(géographique 2D)", cela signifie que le système géodésique est réduit à la latitude et à la longitude. Lorsqu'il est noté "(géographique 3D)", cela signifie qu'il gère la latitude, et la longitude, ainsi que la hauteur sur l'ellipsoïde.

Le système géodésique officiel "Réseau Géodésique Français" [RGF93](#), valide en métropole, a pour code EPSG [4171](#). L'ellipsoïde associé est IAG GRS 1980.

Site de l'EPSG

<http://epsg.org>

Histoire de l'EPSG : <https://epsg.org/history.html>

Codes EPSG des systèmes géodésiques

Code	nom	EPSG	Remarques
NTF(Paris)	Nouvelle Triangulation Française	4807	Système français périmé mais encore largement utilisé.
RGF93	Réseau Géodésique Français 1993	4965 (3D), 4171 (2D)	Système français légal (décret 2000-1276 du 26 décembre 2000). Identique à l'ETRS89 au 1/1/1993. Compatible avec le WGS84 pour la précision habituelle du GPS.
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989	4937 (3D), 4258(2D)	Système européen actuel
ED50	European Datum 1950	4230	Système européen périmé
WGS84	World Geodetic System 1984	4326 (3D)	Système mondial très utilisé notamment avec le GPS.

Codes EPSG des Systèmes de coordonnées projetées en France métropolitaine			
Syst. géo.	Projection carto.	EPSG	Remarques
NTF(Paris)	Lambert Zone I	27571 (périmé)	Système français périmé mais encore largement utilisé dans le nord de la France
NTF(Paris)	Lambert Zone II	27572, (périmé)	Système français périmé mais encore largement utilisé dans l'ensemble de la France métropolitaine sous le nom de Lambert II étendu.
NTF(Paris)	Lambert Zone III	27573, (périmé)	Système français périmé mais encore largement utilisé dans le sud de la France
NTF(Paris)	Lambert Zone IV	27574 (périmé)	Système français périmé mais encore largement utilisé en Corse
RGF93	Lambert 93	2154	Système légal (décret 2000-1276 du 26 décembre 2000) encore peu utilisé
ED50	France EuroLambert	2192	Système périmé fondé sur le système ED50 et les paramètres de la projection Lambert II étendue
ETRS89	ETRS-LAEA	3035	Système européen actuel conservant les surfaces
ETRS89	ETRS-LCC	3034	Système européen actuel conservant les angles
WGS84	UTM 30N,31N,32 N	32630,32631,32632	Système UTM, la zone 30 pour les longitudes entre 0 et 6 degrés ouest; la zone 31 pour les longitudes entre 0 et 6 degrés est; la zone 32 pour les longitudes entre 6 et 12 degrés est

Site de référence pour les codes EPSG et caractéristiques précises de toutes les projections

<http://spatialreference.org/>

Définition	EPSG	statut
<i>Lambert 93</i>		
RGF93/Lambert-93	2154	<u>Valide</u>
RGF93/CC42	3942	<u>Valide</u>

RGF93/CC43	3943	<u>Valide</u>
RGF93/CC44	3944	<u>Valide</u>
RGF93/CC45	3945	<u>Valide</u>
RGF93/CC46	3946	<u>Valide</u>
RGF93/CC47	3947	<u>Valide</u>
RGF93/CC48	3948	<u>Valide</u>
RGF93/CC49	3949	<u>Valide</u>
RGF93/CC50	3950	<u>Valide</u>

11. Différents types de cartes :

Deux grands types de cartes peuvent être distingués :

- . les cartes topographiques
- . les cartes thématiques.

Les cartes topographiques :

Elles représentent le territoire de façon générale en apportant des informations sur :

- le terre ; le relief, le réseau hydrographique, l'occupation du sol...
- la présence humaine ; les voies de communication, l'urbanisation, les objets remarquables...
- la localisation des objets ; repérage en coordonnées géographiques et cartographiques, altitude sous forme de courbes de niveau et de points côtés ...

Exemples : cartes I.G.N. 1/25000^e au 1/50000^e.

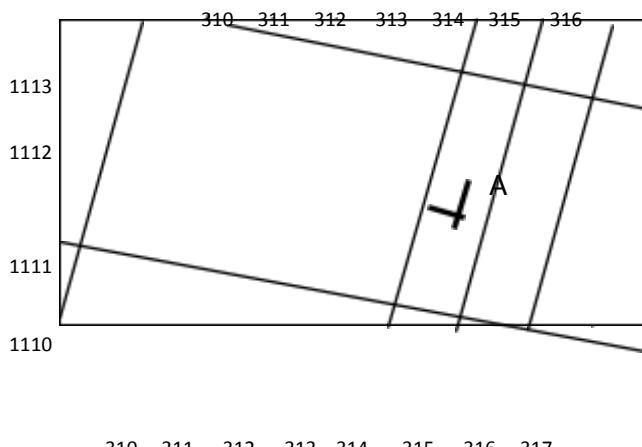
Les cartes thématiques :

Elles utilisent un fond topographique allégé pour y représenter des informations propres à un thème particulier.

- Exemples :
- cartes géologiques, pédologiques ou géomorphologiques,
 - cartes de la végétation,
 - cartes forestières,
 - cartes touristiques ...

12. Comment se repérer sur une carte ?

Mesure d'une coordonnée cartographique sur une carte.



Les coordonnées du point A sont :

$$X = 314 \text{ 500 m}$$

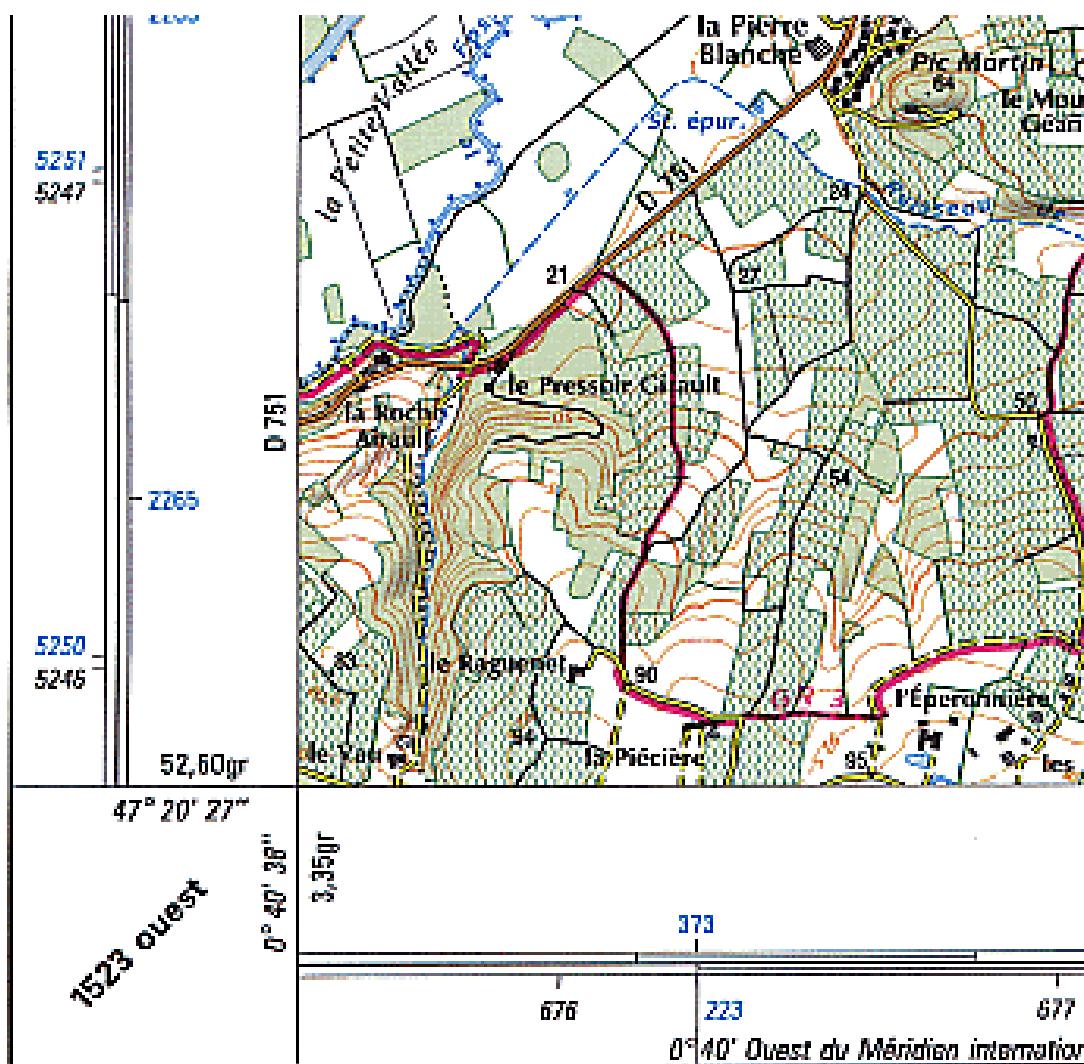
$$Y = 1112 \text{ 600 m}$$

Attention : une carte est découpée selon les méridiens et les parallèles, il ne faut donc pas projeter sur le bord de la carte pour lire la coordonnée entre les amores cartographiques

mais repérer les croisillons du quadrillage du système choisi, dans l'environnement du point et mesurer le décalage en X (dX) et en Y (dY) par rapport au croisillon le plus proche.

La mesure de dX et dY s'effectue en cm sur une carte. Il s'agit ensuite d'appliquer l'échelle pour trouver la valeur dans l'unité des coordonnées cartographiques.

. Si le support papier de la carte a subi des déformations importantes, il peut être utile de recalculer l'échelle réelle en comparant l'écart théorique entre deux croix du quadrillage à l'écart réel. Par exemple sur une carte au 1/25000^e entre deux croisillons on doit trouver 1 km, soit 4 cm sur le papier. Si on trouve 4,2 cm, l'échelle n'est plus de 1/25000^e mais de 1/23809^e.



Exemple de carte en zone Lambert 2

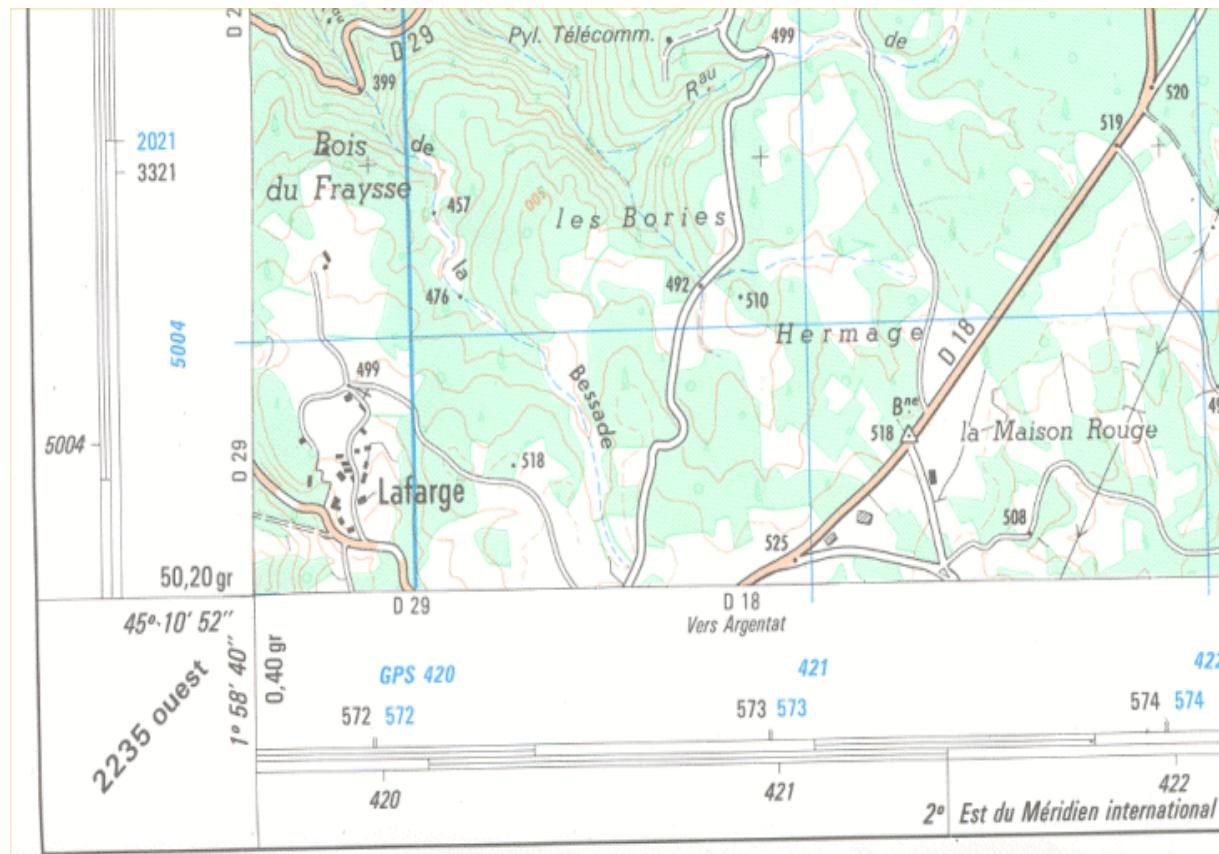
Les deux échelles figurant dans le cadre portent des chiffrages kilométriques :

- vers l'intérieur :
 - en **noir**, les amores du quadrillage kilométrique Lambert "zone", c'est-à-dire Lambert I, II, III ou IV. La valeur des Y des coordonnées en

"Lambert zone" est toujours précédée du numéro de la zone Lambert (exemple : 3196 = 196 000 m Lambert III).

- en **bleu**, les amorces du quadrillage kilométrique Lambert II étendu. Le quadrillage Lambert II étendu n'est pas tracé sur la carte mais, en plus des amorces dans la marge, des croisillons à l'intérieur de la carte tous les kilomètres permettent de le reconstituer.
- en **grades**, les latitudes et longitudes rapportées au système français NTF
- vers **l'extérieur** :
 - en **noir**, les amorces du quadrillage UTM du fuseau correspondant à la zone; en limite de deux fuseaux, les amorces coexistent **en bleu** et noir, les valeurs les plus faibles correspondant au fuseau de numéro supérieur. en **degrés**, les latitudes et longitudes rapportées au système ED50

Exemple de carte en zone Lambert 3



L'orientation sur une carte : les différents « Nords »

Une carte est généralement constituée à partir d'un découpage du territoire selon les coordonnées géographiques. Les deux bords supérieurs et inférieurs sont des portions de parallèles et les deux côtés droits et gauches sont des portions de méridiens.

Sur une carte apparaissent plusieurs indications d'orientation :

- **le nord géographique** : il indique la direction du point de convergence des méridiens. Il est habituellement représenté en bordure des cartes par une flèche surmontée d'une étoile.



- **le nord du quadrillage** (ou « Nord Grille ») : c'est l'indication de la direction des Y positifs, il peut donc être appelé suivant les cas Nord Lambert, Nord UTM...



- **le nord magnétique** : c'est la direction du pôle magnétique. Il correspond à l'indication donnée par la boussole sur le terrain. Il est habituellement identifié par une demi-flèche.



Il peut être aussi utile de connaître les définitions suivantes :

- **convergence des méridiens** : angle entre le Nord Géographique et l'axe des Y. En France, sur les cartes de l'IGN, la convergence des méridiens est proche de zéro le long du méridien de Paris et maximale aux extrémités ouest et est du pays.

La convergence peut être calculée à l'aide de la formule

$$\gamma = \lambda \sin \phi ,$$

où

γ est la convergence des méridiens

λ est la latitude par rapport au m méridien origine

ϕ est la longitude

- **déclinaison magnétique** : c'est l'angle entre le nord géographique et le nord magnétique. Elle varie dans le temps et dans l'espace

Sur chaque carte, on trouve mention de sa valeur au centre de la carte, à la date de réalisation de la carte.

Une indication de sa variation annuelle est également donnée. Par exemple, « variation annuelle de 0.16gr vers l'est ».

Changement de systèmes de coordonnées et de projection

Contexte d'utilisation :

- Intégration de données graphiques localisées dans un système différent de celui de la base de données.

- Numérisation de plans ou cartes établis dans un système différent de celui de la base de données.

Principe :

Partant des coordonnées d'un point A (X,Y) dans un système donné, on peut obtenir ses coordonnées X',Y', dans l'autre système en appliquant une **formule de passage** qui fait intervenir pour chacun des deux projections les éléments suivants :

- les caractéristiques géométriques de chaque projection
- les unités
- l'ellipsoïde utilisé
- la longitude du méridien central dans le système international
- la latitude du parallèle de tangence (cas du Lambert)
- les constantes en X, décalage appliqué aux abscisses (« *false easting* »)
- les constantes en Y, décalage appliqué aux ordonnées (« *false northing* »).

Seule cette application de formules de passage permet de transformer une coordonnée d'une projection dans une autre projection.

Remarque : Les formules sont généralement intégrées dans les logiciels S.I.G. Il existe aussi des utilitaires dédiés aux changements de systèmes de projection.

. Certains logiciels intègrent les caractéristiques complètes des systèmes Lambert français; il est toutefois recommandé de vérifier les paramètres introduits dans les calculs.

. D'autres logiciels n'intègrent pas le paramétrage correspondant aux systèmes Lambert français, ils disposent seulement des formules mathématiques des projections.

L'utilisateur doit alors saisir les caractéristiques indiquées ci-dessus pour chacune des projections. (Les valeurs des paramètres à utiliser pour le système Lambert sont reportées dans le tableau en annexe).

Pour réaliser des **changements de projection** il est conseillé d'utiliser

- le **logiciel CIRCE de l'IGN** pour des données vecteur (téléchargement libre sur ign.fr) ou IGNMAP pour les données raster.
- le logiciel **IGN MAP** de l'IGN (Gratuit, téléchargeable) qui permet de faire de la projection, reprojection de données vecteur et raster, extraction de zones...
- les **librairies open source PROJ.4 (pour le vecteur) et GDAL (pour le raster)**. Utilisation de **QGIS recommandée**
- un développement réalisé par Yohan SOREL (LPSIG 2006-2007) : **AlterSIG-Convert v1.0.3**

Notions d'échelles, de précision, de résolution d'une carte.

Notion d'échelle :

L'échelle d'une carte est le rapport entre une longueur sur le terrain et sa représentation sur la carte.

Exemple : sur une carte au 1/10 000, une longueur de 100 mètres sur le terrain est représentée sur la carte par 100/10000 mètres = 1cm.

Grande Echelle :

Une grande échelle permet de représenter une petite étendue de terrain avec beaucoup de détail.

On entend généralement par grandes échelles les échelles du 1/100 au 1/5000.

Petite échelle :

Une petite échelle permet de représenter une grande étendue de terrain avec peu de détails. On entend généralement par petites échelles toutes les échelles du 1/50 000 au 1/ 1000 000.

Les échelles situées entre le 1/5000 et le 1/50 000 sont généralement considérées comme étant des **échelles moyennes**.

Précision graphique d'une carte :

Le plus petit élément que peut distinguer l'oeil humain à une distance d'environ 30 cm d'une carte est approximativement égal à 1/10ème de mm.

La **précision graphique théorique** d'une carte régulière (exemple carte IGN au, 1 / 25000),est de ce fait généralement annoncée comme égale à 1 /10 e de millimètre.

Cela signifie par exemple que les objets sur une carte au 1/25000 sont implantés sur la carte avec une précision de 2,5 mètres.

Dans la pratique, le lecteur de la carte effectuera une mesure avec une précision de mesure pouvant atteindre 3 à 4 1/10 mm.

Echelle d'édition de la carte	Précision théorique de mesure par l'oeil humain : 1/10 mm	Précision courante de mesure 3 à 4 /10 mm
1/1000	10 cm	30 à 40 cm
1/10 000	1 m	3 à 4 m
1/ 25 000	2,5 m	7,5 à 10 m
1 / 50 000	5 m	15 à 20 m
1 / 100 000	10 m	30 à 40 m

La précision de la mesure qui peut être faite sur une carte dépend de l'échelle. Elle dépend également de la précision de la carte elle même.

Changement d'échelle d'une carte

Certaines cartes subissent parfois des agrandissements. Cette technique rend des services mais la précision de mesure sur la carte agrandie n'est pas supérieure à celle qu'elle était avant l'agrandissement. Seule la lisibilité a augmenté.

Remarques sur la notion de précision :

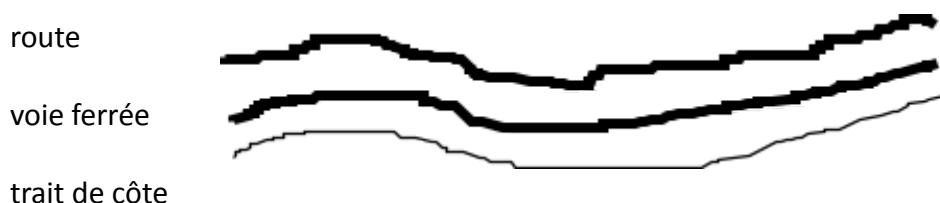
Remarque 1: différence entre la précision absolue et de précision relative :

Dans une carte, les objets sont positionnés par rapport à un système de référence

- La précision (de positionnement) absolue correspond à la précision de localisation de l'objet par rapport à ce système de référence.
- La précision relative correspond à la précision de localisation de objets les uns par rapport aux autres.

La carte priviliege le positionnement relatif par rapport au positionnement absolu.

Sur une carte, la position des objets les uns par rapport aux autres est privilégiée par rapport à leur position absolue. dans un but de lisibilité de la carte, la cartographe choisit le plus souvent de traduire fidèlement la position relative des objets les uns par rapport aux autres, parfois au détriment de leur positionnement réel dans un système de référence.



Carte : la route a été déplacée

Remarque 2 : facteurs influençant la précision d'une carte :

Il est important de rappeler que les différents facteurs qui constituent le processus cartographique ont une influence sur la précision d'une carte.

Les principaux facteurs sont :

- la précision des données originales utilisées (si la carte est établie à partir de données déjà existantes),

- la précision des méthodes d'acquisition (lever de terrain, saisie des données, photogrammétrie, classification des objets cartographiques,

- les processus de conception cartographique :

- la carte est en effet dessinée, donc la représentation des objets doit être adaptée pour une bonne lisibilité (routes plus larges sur la carte que sur le terrain, maisons en bordure de route décalées,

- des opérations de généralisation peuvent affecter la précision des données de départ...

A ces causes d'erreurs viennent s'ajouter d'autres causes comme :

- l'absence de complétude de la carte (zone à cartographier non couverte en totalité),

- la non actualité de la carte (la carte contient des objets dont la forme a changée, ou qui n'existent plus, ou alors il manquent certains objets...),

- des erreurs de restitution peuvent aussi entamer l'exactitude de la carte (traceur imprécis, ...)

Remarque 3 : différence entre précision et exactitude

Attention, il faut se garder d'oublier que des données précises peuvent être inexactes...

En effet, du fait des très nombreuses sources d'erreurs ou d'inexactitudes, des coordonnées annoncées au centimètre près peuvent cacher des erreurs de plusieurs mètres ou kilomètres, une carte au 1 /1000ème peut avoir été faite en incluant des informations provenant d'un 1/25 000...

Conseils :

- Vérifiez vos données cartographiques quand un doute est permis sur leur précision ou leur exactitude.

- Lorsque vous utilisez une carte, intégrez sa précision dans toutes les exploitations que vous faites à partir de cette carte.

Résolution graphique d'une carte :

La résolution d'une carte correspond à la taille du plus petit objet représenté sur la carte.

Le plus petit objet **représentable** a une taille égale à deux fois l'erreur graphique, soit de 2 à 4 /10 de mm.

Le plus petit objet effectivement représenté résulte du choix du cartographe.

Cette résolution est souvent exprimée par la surface du plus petit polygone représenté sur la carte (exemple : dans les données cartographiques « Corine land cover », la surface du plus petit polygone est de 25 ha).

Généralisation :

La généralisation est une opération qui consiste à simplifier des données cartographiques dans le but de les représenter à des échelles plus petites que leur échelle d'origine.

1- Principe de la généralisation :

- Lors d'une généralisation, certains éléments sont supprimés, il faut vérifier qu'ils ne sont pas indispensables à la lecture de la carte.
- Les éléments restants sont alors simplifiés en respectant le plus possible la forme spatiale initiale des entités

2 - Méthodes existantes :

- La généralisation peut se faire par des procédés automatiques ou manuels.

Exemples de procédé manuel :

- généralisation d'un réseau hydrographique : l'opérateur choisit les tronçons de cours d'eau qu'il souhaite conserver en fonction de leur importance pour l'étude, en fonction de la présence d'autres informations qui doivent être privilégiées...
 - suppression des polygones de petite taille ; tel polygone ne sera pas supprimé malgré sa taille car il a un intérêt bien particulier pour l'étude...

Exemples de procédés automatique :

- Suppression des polygones inférieurs à une certaine surface ou fusion de polygones proches ou de thématiques proches.
Il faut donc indiquer la taille minimale à conserver et les classes d'occupation du sol à regrouper et la valeur à attribuer au nouveau polygone.
- Suppression des points trop proches les uns des autres, cela permet d'alléger le tracé d'un réseau hydrographique par exemple.

Les procédés automatiques ne donnent pas toujours des résultats satisfaisants car la suppression d'éléments fait parfois intervenir des décisions que seul un opérateur humain peut prendre.

- Sélection par un opérateur des entités à conserver : on souhaite parfois garder seulement certaines informations car elles sont importantes pour l'étude, par exemple certaines rivières.

Dans le processus de généralisation un des critères importants est la lisibilité de la carte. Un élément peut aider à fixer la limite inférieure des plus petits objets à garder, c'est le **seuil de lisibilité**.

Seuil de lisibilité : dimension minimale permettant à un élément graphique d'être perçu.

Le seuil minimal de lisibilité ou de visibilité d'un polygone est de 16 mm 2, soit un hectare sur une carte au 1 / 25000. (Bertin J., Sémiologie graphique, Ed Gauthier-Villars, 1967)

Augmentation de l'échelle d'une carte :

- *Dans le but de rendre la lecture plus aisée:*

Cette opération est effectuée lorsque l'utilisateur veut augmenter la lisibilité d'un document, augmenter le confort de lecture, et obtenir une meilleure distinction des éléments entre eux.

exemple : l'édition au 1 / 10 000 des cartes I.G.N. au 1 / 25 000 permet de mieux suivre le tracé des courbes de niveau.

- *Dans le but de superposer deux cartes d'échelles différentes :*

Une carte est alors agrandie pour la superposer à une carte à une plus grande échelle.

Problème : la carte agrandie conserve la précision qu'elle avait avant son agrandissement, elle ne « gagne » donc jamais en précision.

Exemple : agrandissement au 1 / 25 000 d'une carte géologique au 1/ 80 000.

La carte au 1/ 80 000, a une précison graphique de 8 mètres (1/10 mm au 1 / 80000).

Si on agrandit cette carte au 1/ 25 000, son erreur graphique ne devient pas égale à 2,5 mètres mais reste égale à 8 mètres.

Déformation des cartes :

La déformation des cartes est fonction du support utilisé pour leur édition. Deux types de supports peuvent se rencontrer :

- *des supports stables* : calque polyester ou polypropylène; ne craignent pas les variations de température ou d'humidité, résistent bien au déchirement. Il est conseillé d'utiliser ces supports lorsque l'on crée une carte qui est destinée à avoir une certaine durée de vie ou si elle doit être numérisée.

- *des supports instables* : papier ou calque végétal; ces supports se déforment avec les changements de température et d'humidité. Ces déformations sont non linéaires et ne sont pas identiques dans tous les axes (déformations anisotropes).

Conséquences pratiques sur les mesures ou la digitalisation des cartes :

- *Mesures sur une carte*

Lorsque l'on doit effectuer une mesure sur une carte en papier ou en calque végétal, il est conseillé de garder toujours conscience du fait que le support n'est pas stable et donc se déforme en fonction des variations de température et d'humidité.

Les croisillons présents sur les cartes peuvent nous permettre de calculer l'échelle réelle du document. En comparant la distance théorique entre deux croisillons du carroyage à la distance obtenue en mesurant sur la carte la longueur et en appliquant l'échelle.

Par exemple sur une carte au 1/25000 entre deux croisillons on doit trouver 1 km, soit 4 cm sur le papier. Si on trouve 4,2 cm, l'échelle n'est plus de 1/25000 mais de 1/23809 .

Les déformations n'étant pas linéaires, il est donc préférable de mesurer la distance entre plusieurs croisillons, dans les deux directions X et Y.

- *Numérisation sur une carte non stable :*

Lorsque l'on doit numériser sur une carte en papier ou en calque végétal, dans des conditions où la température et l'humidité varient, il est conseillé de procéder de la manière suivante :

la carte va se déformer, donc son échelle va varier, il ne faut donc pas numériser pendant une durée trop longue, mais au contraire raccourcir la durée des sessions de numérisation.

Il faut par exemple éviter de commencer une numérisation le matin lorsque la température est basse et de continuer toute la journée sans quitter la session de numérisation. Il faut interrompre la numérisation au moins une fois en milieu de journée, retendre la carte et ressaisir les points de calage à leur nouvelle position.

Cela permet de tenir compte des déformations de la carte.

Références bibliographiques

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Système_de_cordonnées_\(cartographie\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Système_de_cordonnées_(cartographie))

Références :

Le site de l'IGN

- <http://ign.fr>

Le site du CNIG

- <http://cnig.fr>

A propos des systèmes de coordonnées :

http://education.ign.fr/DISPLAY/000/527/312/5273120/geodesie_cordonnees.pdf

A propos du système géodésique (dit aussi de référence) RGF93 et de la projection Lambert 93 :

http://professionnels.ign.fr/DISPLAY/000/526/702/5267026/NTG_87.pdf

<http://geodesie.ign.fr/contenu/fichiers/documentation/rgf93/cc9zones.pdf>