

Les coordonnées géographiques

Les coordonnées géographiques

- 1) Les coordonnées géographiques
- 2) Systèmes géodésiques et systèmes de référence
- 3) De l'ellipsoïde au plan: les projections cartographiques

Les coordonnées géographiques

Besoin de pouvoir **localiser** les entités géographiques de façon univoque à la surface de la Terre.

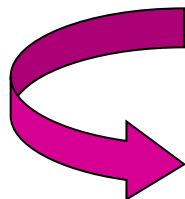


Les coordonnées géographiques

Rappels de géodésie

La **géodésie** est la science de la forme et de la dimension de la Terre et de son champ de pesanteur.

Pour représenter et localiser une entité géographique, il faut connaître la forme de la Terre et les moyens de se repérer à sa surface.

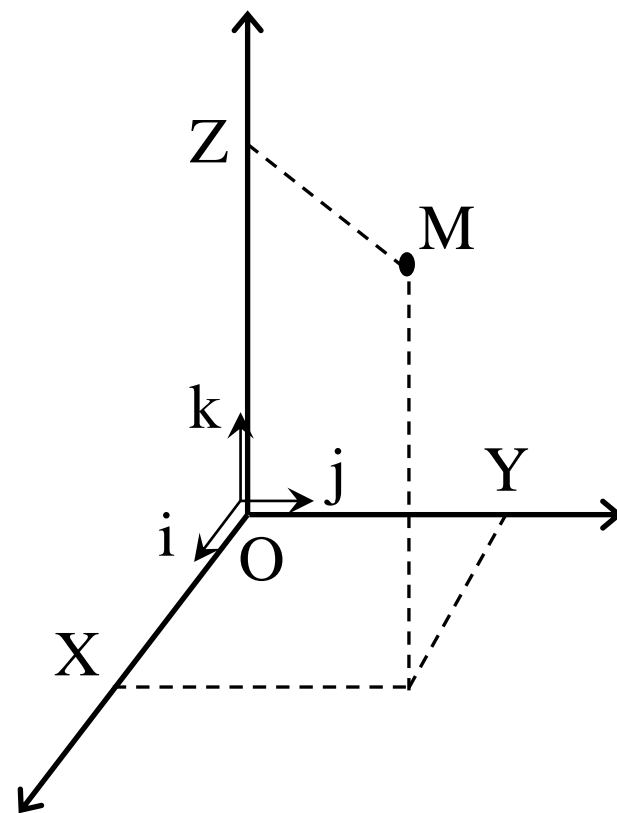


Définition de systèmes de référence

Coordonnées cartésiennes

Le **référentiel géodésique** est un repère affine $(O;i;j;k)$ tel que:

- O est proche du centre des masses de la Terre
- $(i;j;k)$ est orthogonale et les 3 vecteurs ont la même norme proche de 1
- $(O;k)$ est proche et parallèle à l'axe de rotation de la Terre
- $(O;i;k)$ est confondu avec le plan méridien de Greenwich
- J est tel que $(i;j;k)$ soit directe



Coordonnées cartésiennes

La notion de référentiel géodésique est théorique.

On appelle sa réalisation numérique:

✓ **Systeme géodésique** pour une réalisation à échelle locale ou nationale

✓ **Systeme de référence** pour une réalisation globale par techniques spatiales

On appelle la réalisation pratique d'un référentiel géodésique « **réseau géodésique** »: il s'agit d'un ensemble de points matérialisés.



Borne NTF



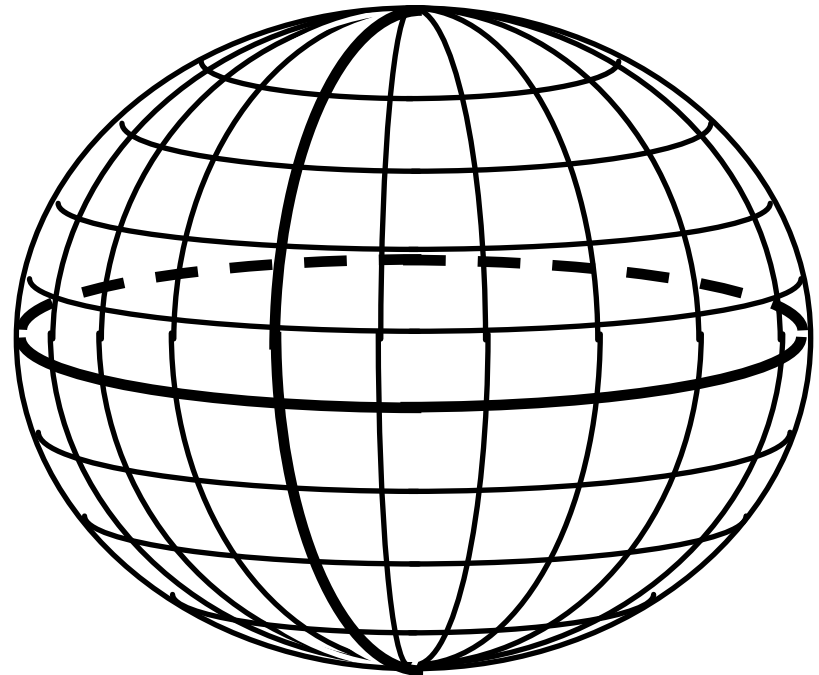
Récepteur GPS permanent RBF

Les coordonnées géographiques

Coordonnées géographiques et méridien origine

A chaque système on associe un **ellipsoïde de révolution aplati**: c'est la forme mathématique qui modélise le mieux la Terre.

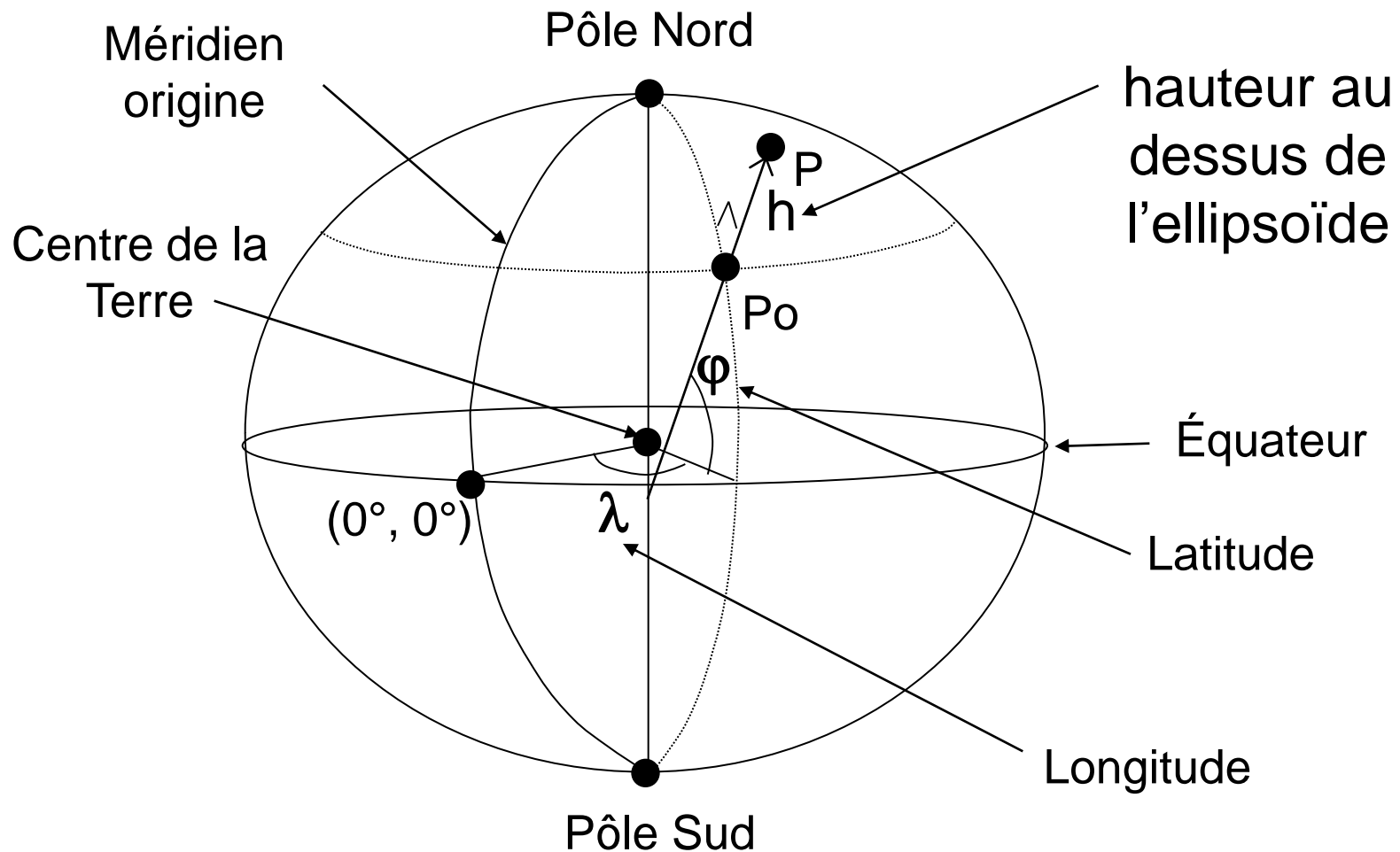
- ❑ Le centre est confondu avec l'origine O du système géodésique
- ❑ Le petit axe est confondu avec l'axe (O;k)
- ❑ Le demi grand axe mesure environ 6370 km et le demi petit axe environ 6350 km (aplatissement de 1/300)



Les coordonnées géographiques

Coordonnées géographiques et méridien origine

Les coordonnées géographiques (λ, φ, h)



Les coordonnées géographiques

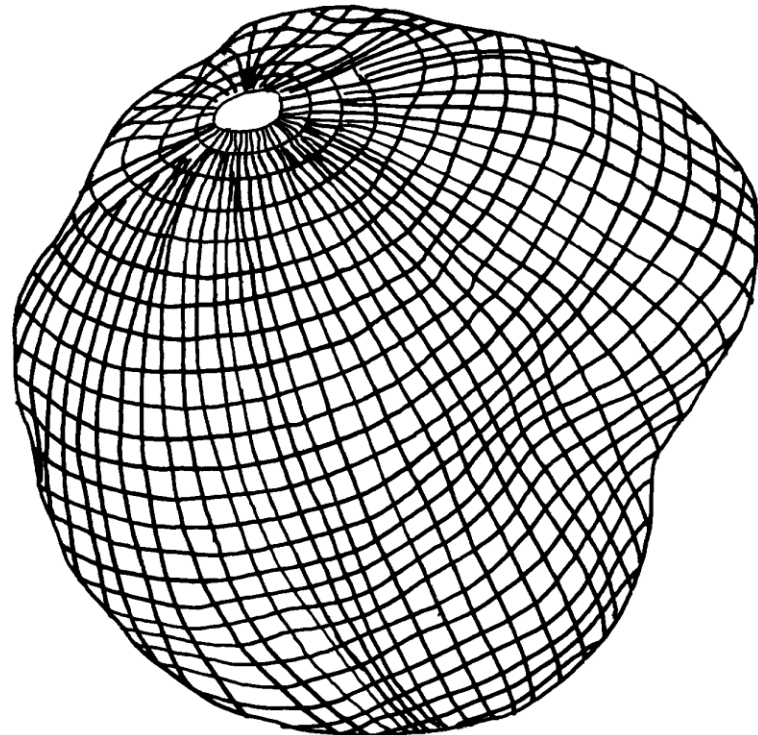
Coordonnées géographiques et méridien origine

- ❑ Le choix de l'ellipsoïde n'est pas unique. Les écarts entre les demi grands axes peuvent atteindre quelques centaines de mètres. Plusieurs centaines d'ellipsoïdes sont utilisés dans le monde.
- ❑ Tous les systèmes spatiaux ont adopté **l'ellipsoïde international IAG GRS 80** comme référence.
- ❑ De même beaucoup de pays ont adopté des méridiens origines différents pour leur système géodésique. Tous les systèmes spatiaux ont adopté le **méridien origine de Greenwich** comme référence.
- ❑ Si on connaît les paramètres de l'ellipsoïde, on peut passer des coordonnées cartésiennes aux coordonnées géographiques par des formules exactes.

Les coordonnées géographiques

Les altitudes

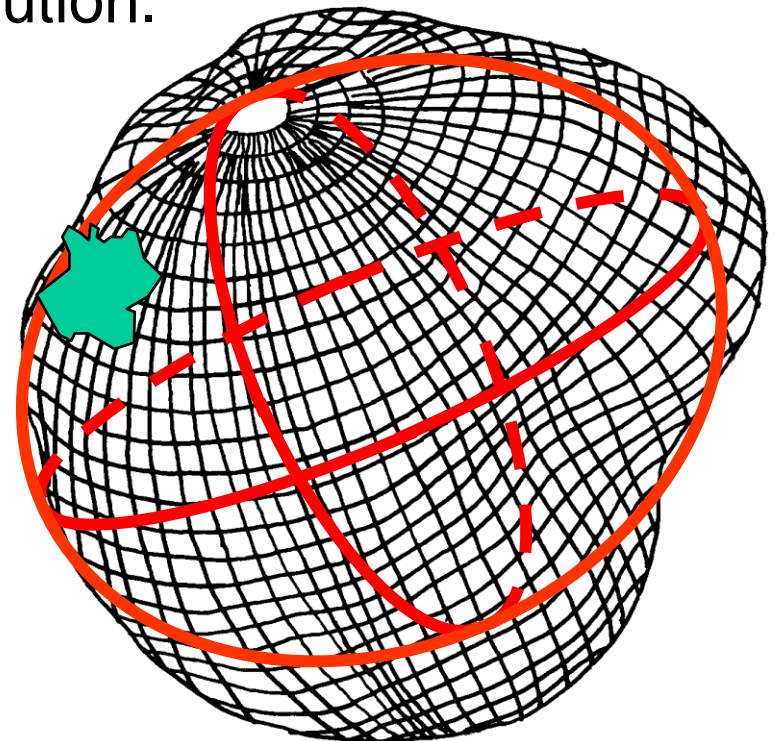
Le géoïde: C'est une surface équipotentielle de pesanteur terrestre proche du niveau moyen des mers, et qui se prolonge sous les continents. On considère que la terre est constituée du **géoïde** surmonté du relief.



Les coordonnées géographiques

Les altitudes

L'ellipsoïde: Le géoïde n'a pas de représentation géométrique simple, à cause de l'irrégularité de répartition des masses constituant la terre. Toutefois, l'expérience montre qu'il se rapproche d'un **ellipsoïde** de révolution.

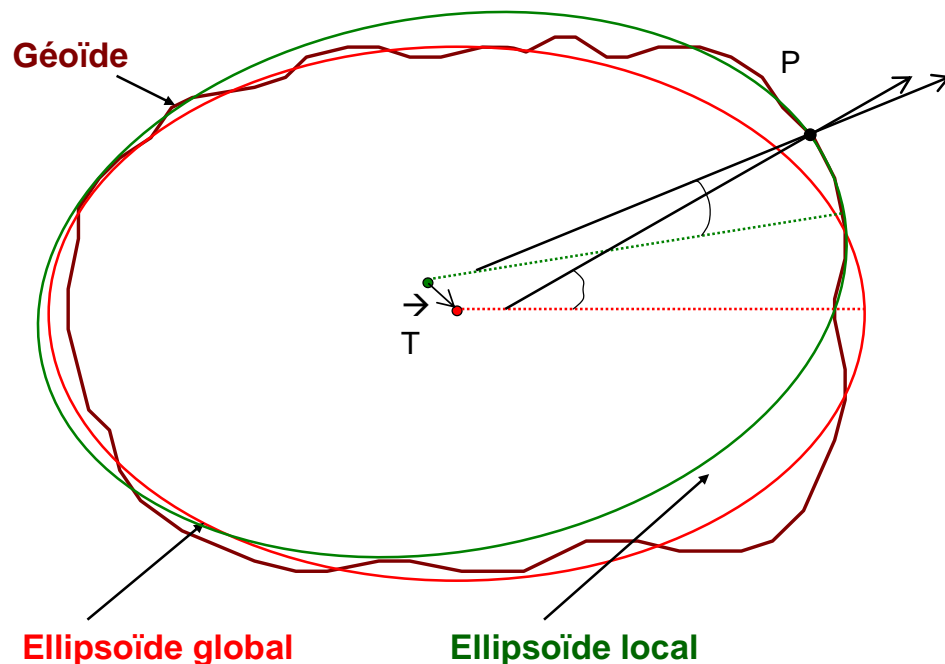
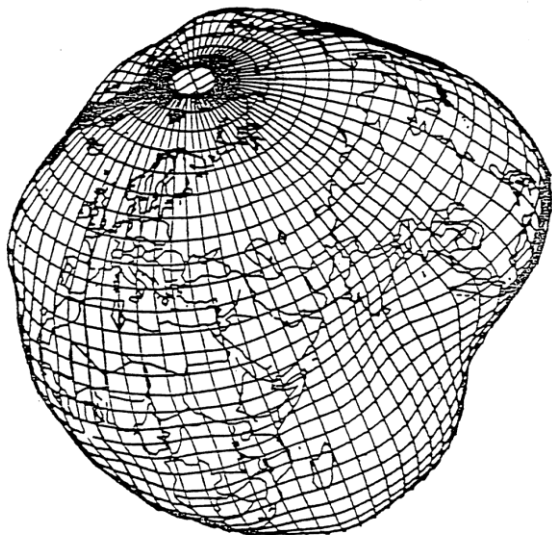


Les coordonnées géographiques

Les altitudes

La terre a une forme irrégulière (Géoïde) qui est approximée par des ellipsoïdes sur lesquels sont portées des coordonnées géographiques.

Géoïde



Les coordonnées géographiques

Les altitudes

Un réseau de nivellement fourni des altitudes de points matérialisés qui doivent vérifier ces critères:

- ✓ Si altitude (a) > altitude(b), alors l'eau coule de a vers b
- ✓ L'altitude d'un point est unique et ne dépend pas de la façon dont on la mesure
- ✓ Les altitudes sont exprimées en mètres
- ✓ Localement une mesure de dénivelée doit être égale à une différence d'altitude.

Il faut donc tenir compte du **champ de pesanteur terrestre**.

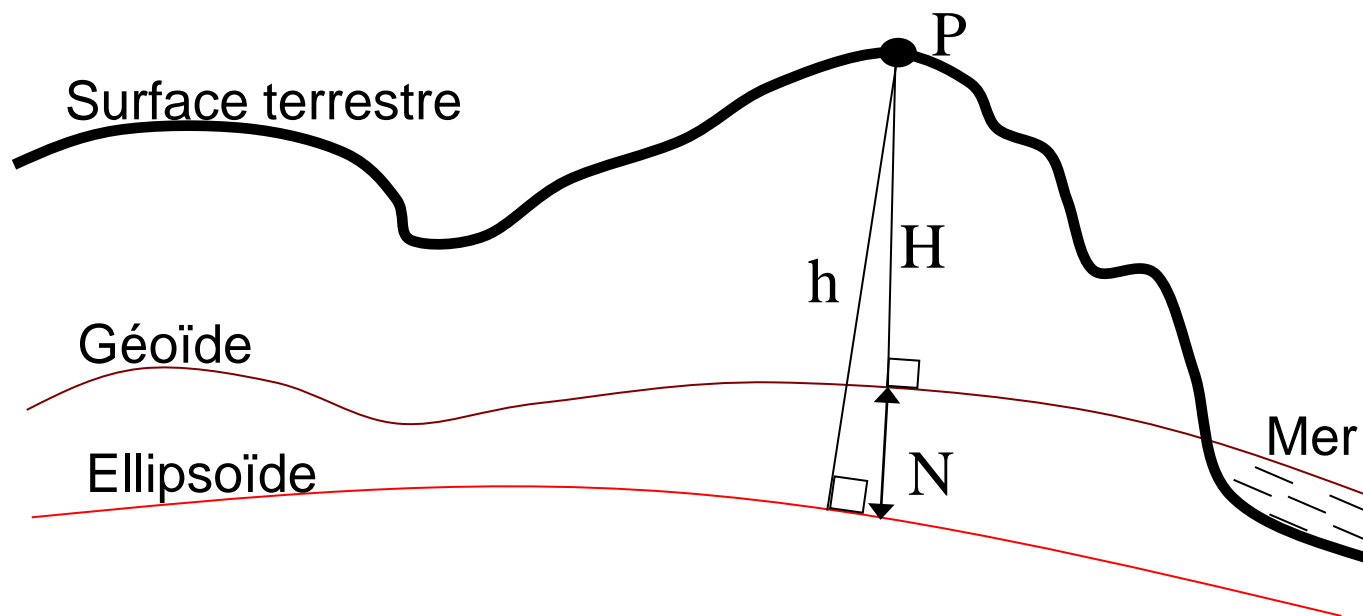
Physiquement une altitude peut être assimilée à une « hauteur » au-dessus du géoïde.

Les coordonnées géographiques

Les altitudes

Les systèmes spatiaux (GPS) donnent des hauteurs au-dessus de l'ellipsoïde. Il faut donc convertir les hauteurs en altitudes: besoin de déterminer des surfaces de référence altimétrique (géoïde).

- RAF98 (Référence d'Altitude Française)
- EGM96 (Earth Gravity Model)



Réalisation d'un système géodésique

Par techniques terrestres: (bidimensionnels)

- ❑ Obtention des coordonnées du point fondamental (mesure d'angles et de temps sur les étoiles). Pour ce point, on décide que la hauteur au-dessus de l'ellipsoïde est égale à l'altitude.
- ❑ Mesures d'angles et de distances entre points proches puis calcul de leurs coordonnées (géométrie)
- ❑ Ajout d'un réseau d'altitudes:
 - o Détermination d'un point fondamental (marégraphie)
 - o Mesures de dénivelés géométriques et de gravimétrie

Réalisation d'un système géodésique

Exemples:

❑ **La Nouvelle Triangulation Française (NTF)**

- Point fondamental: Croix du Panthéon – Paris
- Unité angulaire: grade
- Unité de longueur: mètre
- Méridien origine: Paris
- Ellipsoïde: Clarke 1880 IGN
- Systeme altimétrique: IGN 1969

❑ **European Datum 1950 (ED 1950)**

- Point fondamental: Postdam
- Unité angulaire: degré, minute, seconde
- Méridien origine: Greenwich
- Ellipsoïde: International 1924 (Hayford 1909)

Les coordonnées géographiques

Réalisation d'un système de référence

Par techniques spatiales: (tridimensionnels)

- VLBI
- GPS
- DORIS
- PRARE
- Galileo, etc.

On associe un modèle de géoïde ou une surface de référence d'altitude pour calculer les altitudes.

Les coordonnées géographiques

Réalisation d'un système de référence

Exemples: Les systèmes de référence terrestres

□ **World Geodetic System 1984 (WGS84):** système associé au GPS

- Ellipsoïde: WGS84
- Développement du champ de pesanteur: EGM96

□ **IERS Terrestrial Reference System (ITRS)**

□ **European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS 1989):** densification européenne de l'ITRS

□ **Réseau géodésique Français 1993 (RGF 1993):** densification nationale de l'ETRS 1989

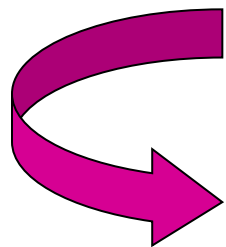
- Système de référence: ETRS89
- Ellipsoïde de référence: GRS80
- Méridien origine: Greenwich
- Unité angulaires: degré, minute, seconde

Les coordonnées géographiques

De l'ellipsoïde au plan: les projections cartographiques

Les coordonnées cartésiennes ou géographiques ne sont utilisables que sur l'ellipsoïde, c'est-à-dire en 3D.

Pour faire des cartes, on est limités à la 2D.



**Besoin de projeter les
coordonnées sur un plan**

Les coordonnées géographiques

De l'ellipsoïde au plan: les projections cartographiques

- On choisit une surface développable
- On la positionne par rapport à l'ellipsoïde
- On définit une projection *ellipsoïde* => *surface*
- ... et on développe la surface
 - chaque point de la sphère a une image sur le plan de projection
 - parallèles et méridiens ont des formes variées

Les coordonnées géographiques

*Classification des projections:
typologie selon les déformations*

Les coordonnées planes (E, N) permettent des mesures directes sur la carte, mais...

Toute projection induit des distorsions

- ✓ le long de la ligne tangente : distorsion nulle
- ✓ plus on s'en éloigne: plus la distorsion augmente

Une projection peut conserver...

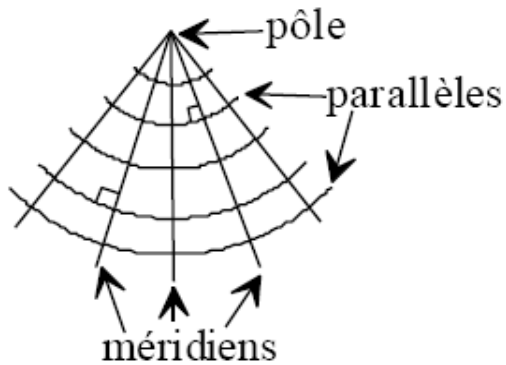
- ✓ les angles : projection **conforme**
- ✓ les surfaces : projection **équivalente**
- ✓ Ni l'un ni l'autre: projection **aphylactique**

mais JAMAIS LES DEUX à la fois

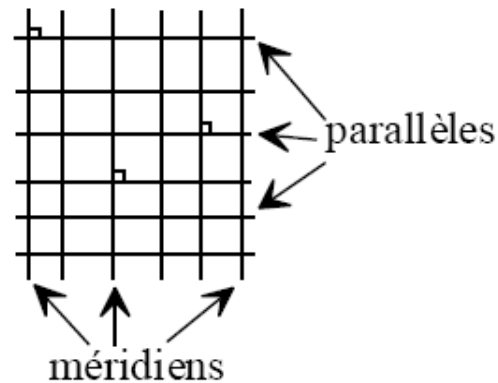
Les coordonnées géographiques

Classification des projections: typologie selon le canevas

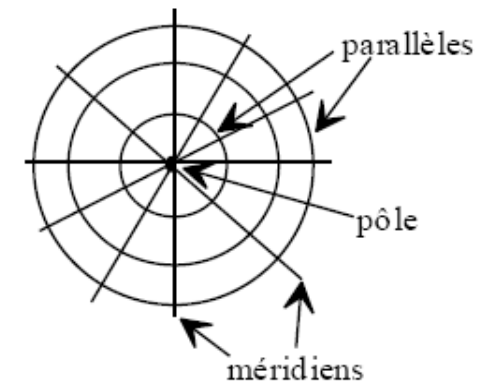
canevas conique



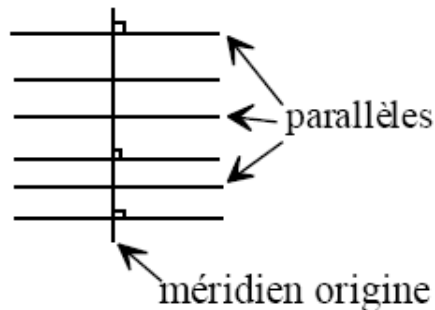
canevas cylindrique



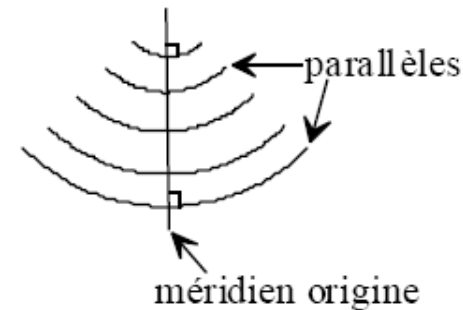
canevas azimutal



canevas méricylindrique



canevas mériconique



Les coordonnées géographiques

Classification des projections: typologie selon l'aspect

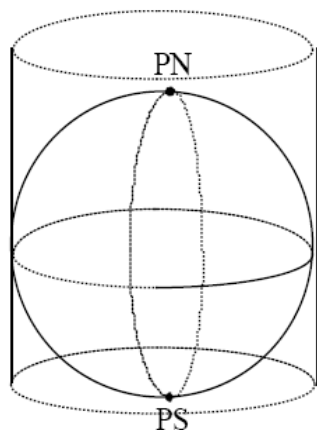
❑ **Aspect direct:** utilisation du canevas des parallèles et des méridiens

❑ **Aspect transverse:** utilisation d'un canevas transverse, obtenu à partir de 2 points diamétralement opposés sur l'équateur et pris comme pseudo-pôles.

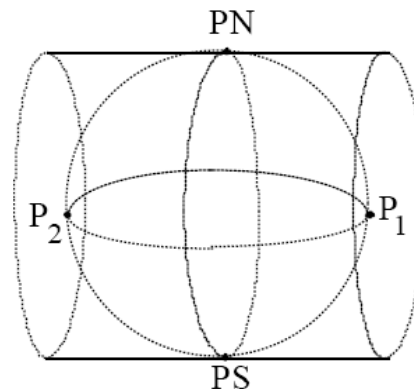
❑ **Aspect oblique:** utilisation d'un canevas oblique, obtenu à partir de 2 points diamétralement opposés quelconques pris comme pseudo-pôles.

Les coordonnées géographiques

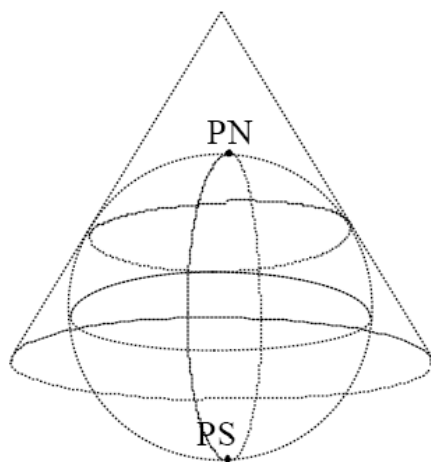
*Classification des projections:
typologie selon l'aspect*



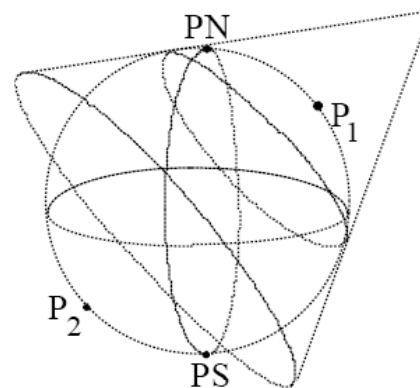
représentation cylindrique **directe**



représentation cylindrique **transverse**



représentation conique **directe**

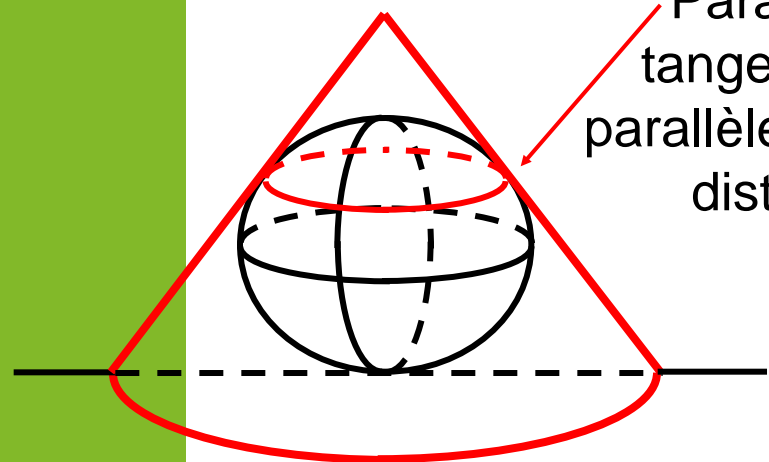


représentation conique **oblique**

Les coordonnées géographiques

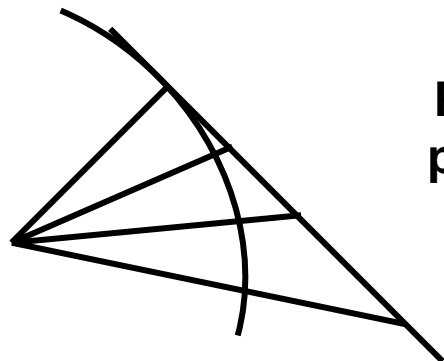
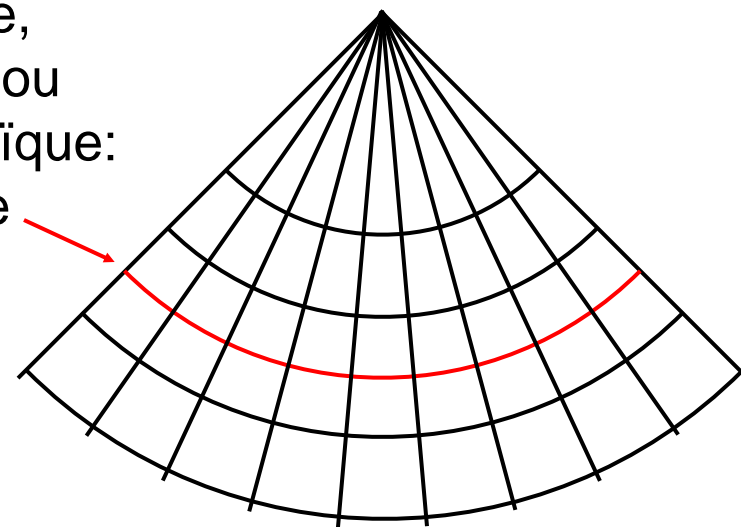
Ex: Projection conique conforme directe de Lambert

Projection conique, conforme



Parallèle origine,
tangent au cône ou
parallèle automécoïque:
distorsion nulle

Le cône développé



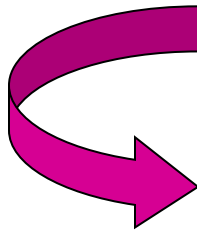
**Plus on s'éloigne du
parallèle origine, plus
les longueurs sont
allongées**

Les coordonnées géographiques

Lambert France

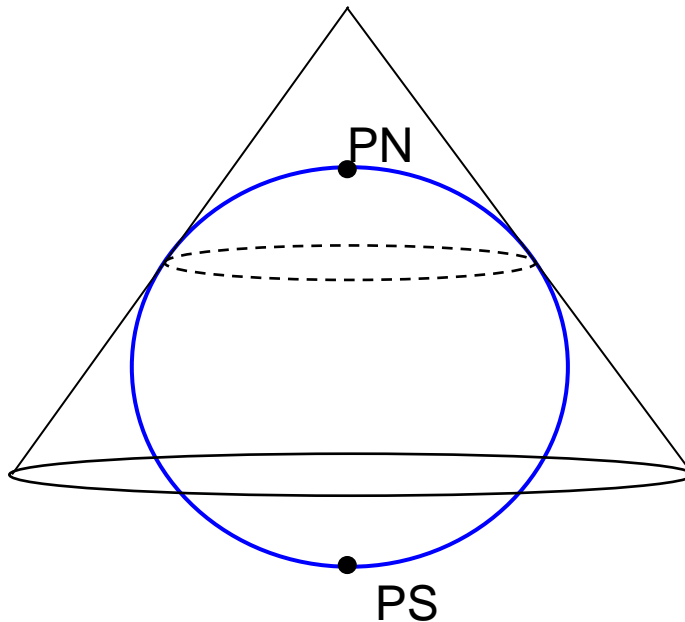
Pour minimiser les distorsions :

- Plusieurs cônes, i.e. plusieurs projections :
France découpée en 3 zones du Nord au Sud, + 1 zone « Corse »
- Cônes sécants et non tangents :
=> Pour chaque projection, 2 parallèles où les distances sont vraies. Distances raccourcies entre ces 2 parallèles, allongées en dehors.

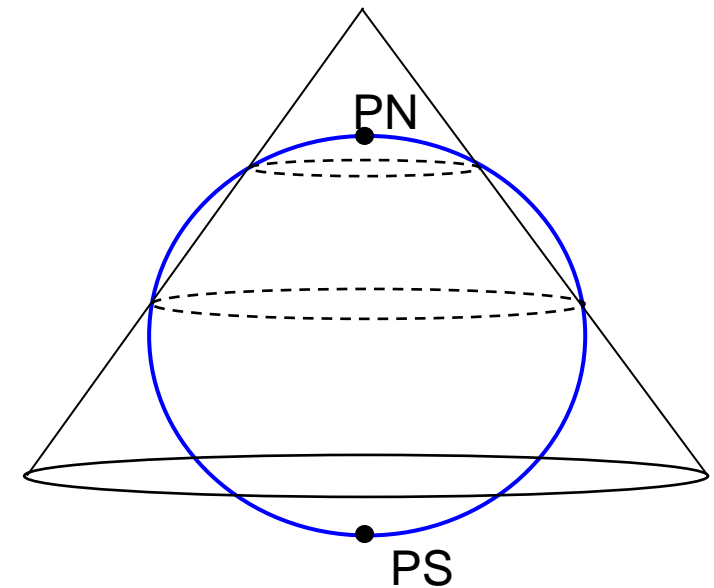


PROJECTION POLYCONIQUE SÉCANTE

Lambert France



Représentation de Lambert
tangente



Représentation de Lambert
sécante

Les coordonnées géographiques

Parallèles origines pour les 3
cônes sécants :

Zone 1 (Nord) : 55 grades

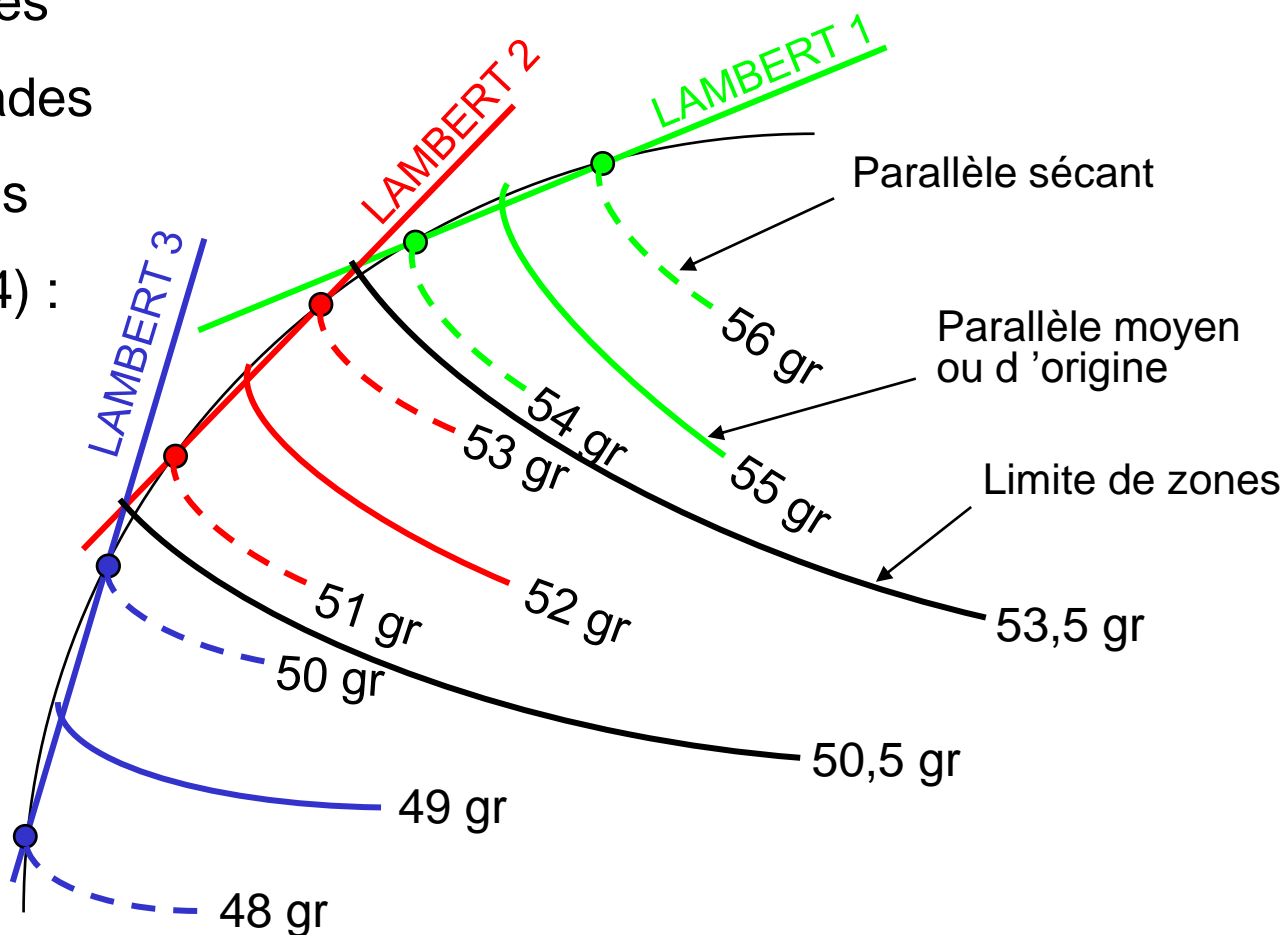
Zone 2 (Centre) : 52 grades

Zone 3 (Sud) : 49 grades

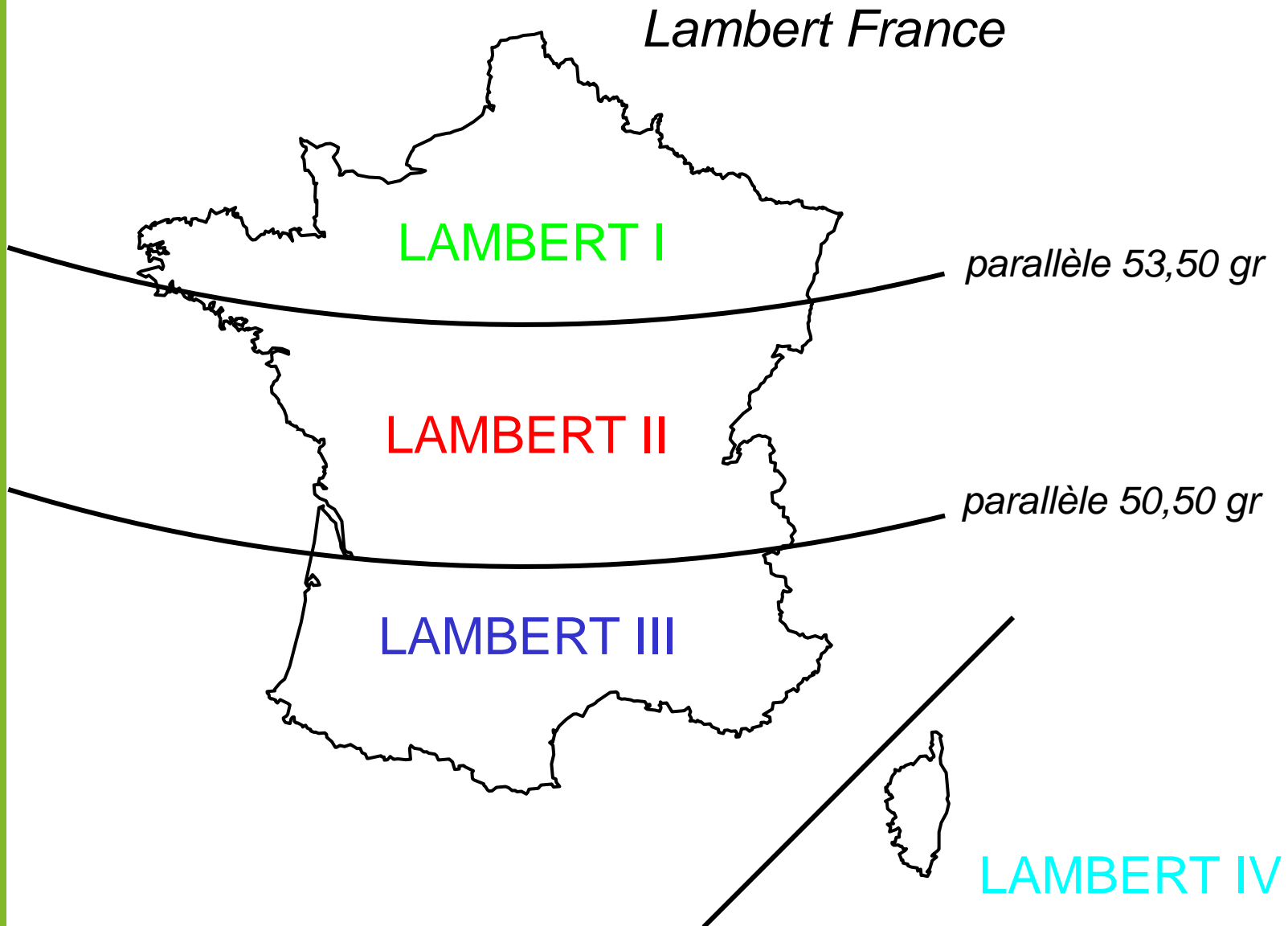
et pour la Corse (Zone 4) :
46,85 grades

Méridien origine
= Méridien de Paris
(longitude = 0 grade)

Lambert France



Les coordonnées géographiques

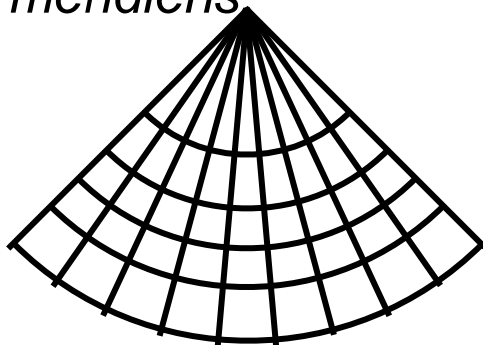


Les coordonnées géographiques

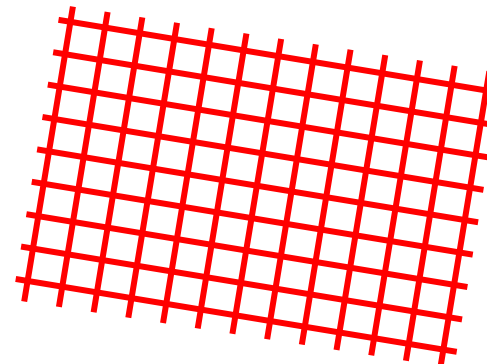
Lambert France

- On va positionner un quadrillage sur la carte
- ⇒ ***tout point sera repérable par des coordonnées (x,y)***
- Pour cela, il faut :
 - un point origine (connu en latitude, longitude)
 - des coordonnées (x0, y0) sur le quadrillage pour ce point origine
 - une direction origine pour le quadrillage

*Parallèles et
méridiens*



Quadrillage



Les coordonnées géographiques

Lambert France

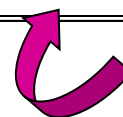
- Orientation du quadrillage:
 - l'axe des y est parallèle au méridien de Paris (de longitude $\lambda = 0$ grades), y croissant vers le Nord
 - l'axe des x est perpendiculaire, x croissant vers l'Est
- Abscisses (x) :
 - À l'origine = le long du méridien de Paris :
 - Pour les zones I, II et III : $x = 600$ km
 - Pour la zone IV : $x = 0$ km
 - => Pas de x négatif

Les coordonnées géographiques

Lambert France

- Ordonnées (y) :
 - Pour chaque zone, l'origine des y est la droite tangente au parallèle central de la zone. On fixe $Y_0=200$ km: pas de valeurs négatives dans la zone.

Zone	parallèle central	y à l'origine	tous les y...
LAMBERT I	$\varphi = 55$ grades	$y = 1200$ km	... sont dans les « 1000 »
LAMBERT II	$\varphi = 52$ grades	$y = 2200$ km	... sont dans les « 2000 »
LAMBERT III	$\varphi = 49$ grades	$y = 3200$ km	... sont dans les « 3000 »
LAMBERT IV	$\varphi = 46,85$ grades	$y = 4200$ km	... sont dans les « 4000 »

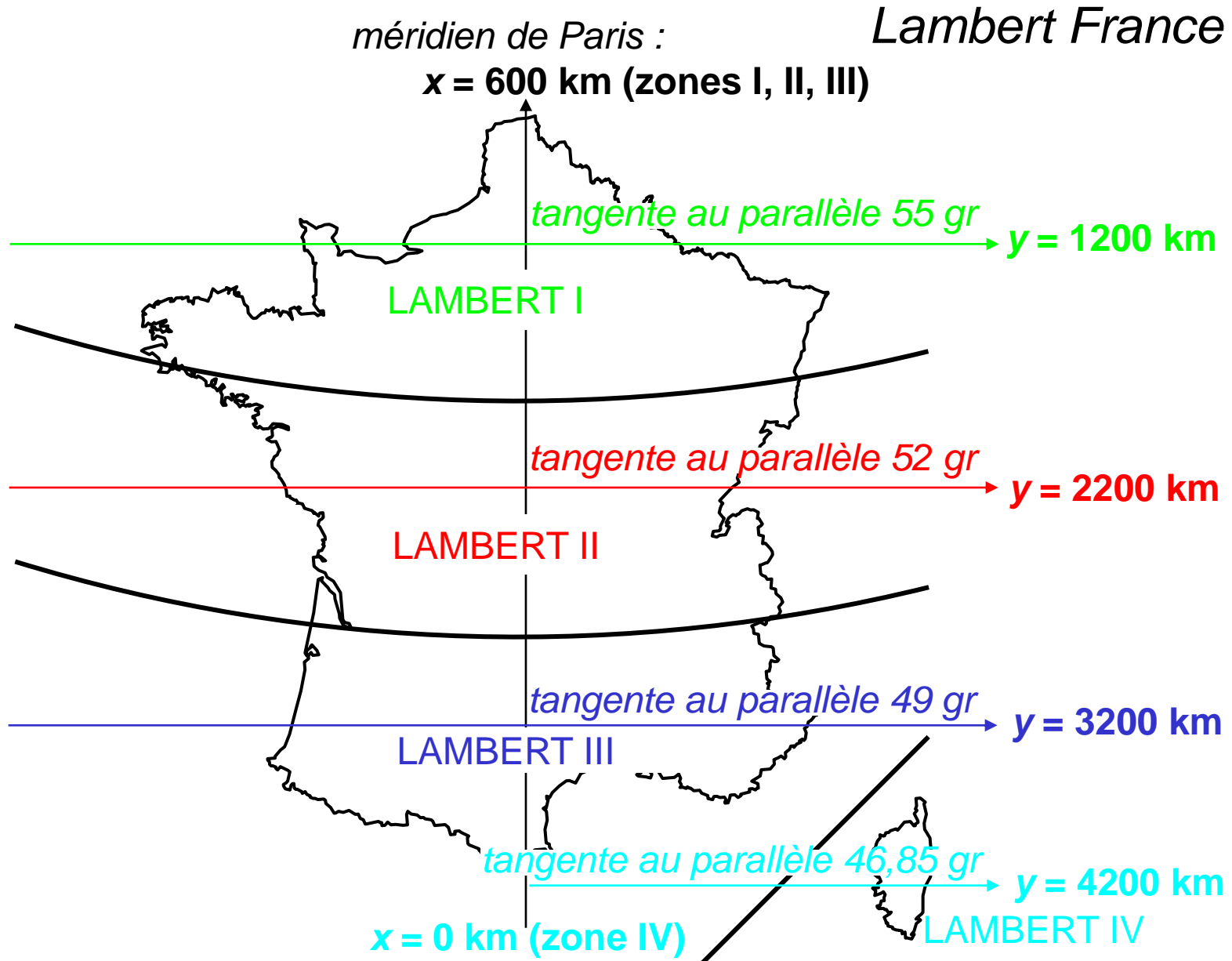


Lambert i carto



Au sein de chaque zone les valeurs de y vont croissant vers le Nord

Les coordonnées géographiques

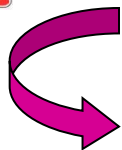


Les coordonnées géographiques



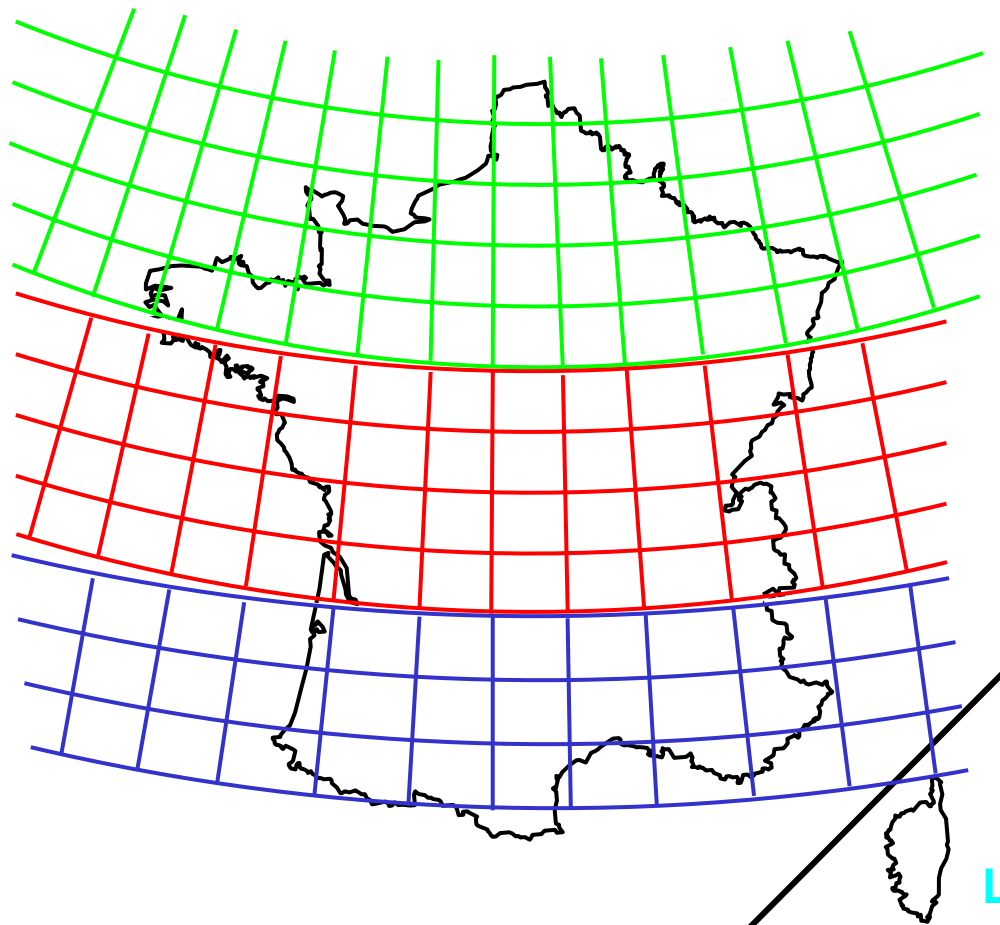
Projections différentes

Lambert France



pas de raccordement entre zones!

LAMBERT III LAMBERT II LAMBERT I



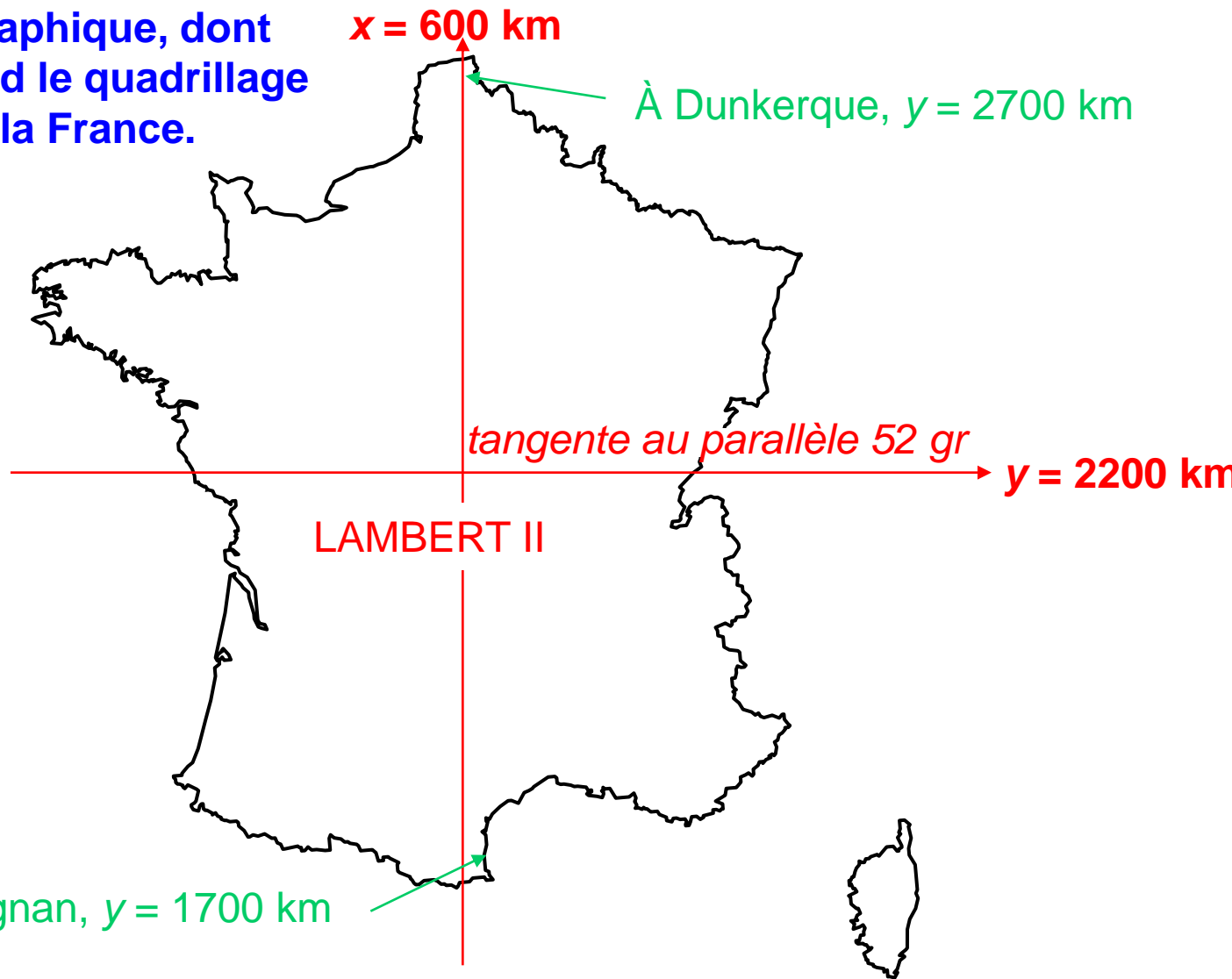
LAMBERT IV

Les coordonnées géographiques

C'est la projection
Lambert II
cartographique, dont
on étend le quadrillage
à toute la France.

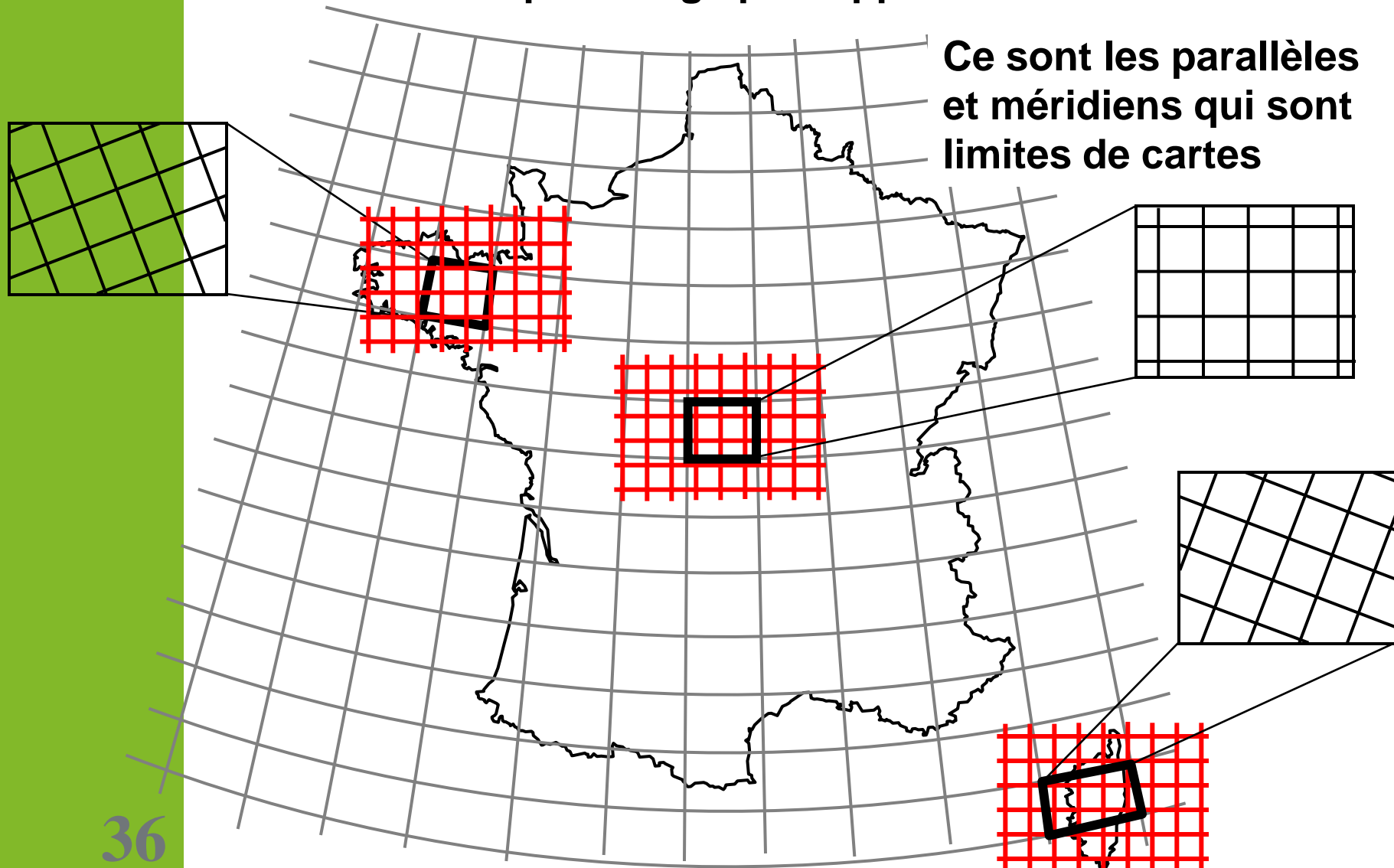
Lambert II étendu

Le Lambert II étendu permet de référencer des points sur toute la France (Corse comprise) dans le même système, et sans avoir de coordonnées négatives.
Inconvénient: on a plus de déformations.



Les coordonnées géographiques

Orientation du quadrillage par rapport aux bords de la carte



Les coordonnées géographiques

Lambert 93

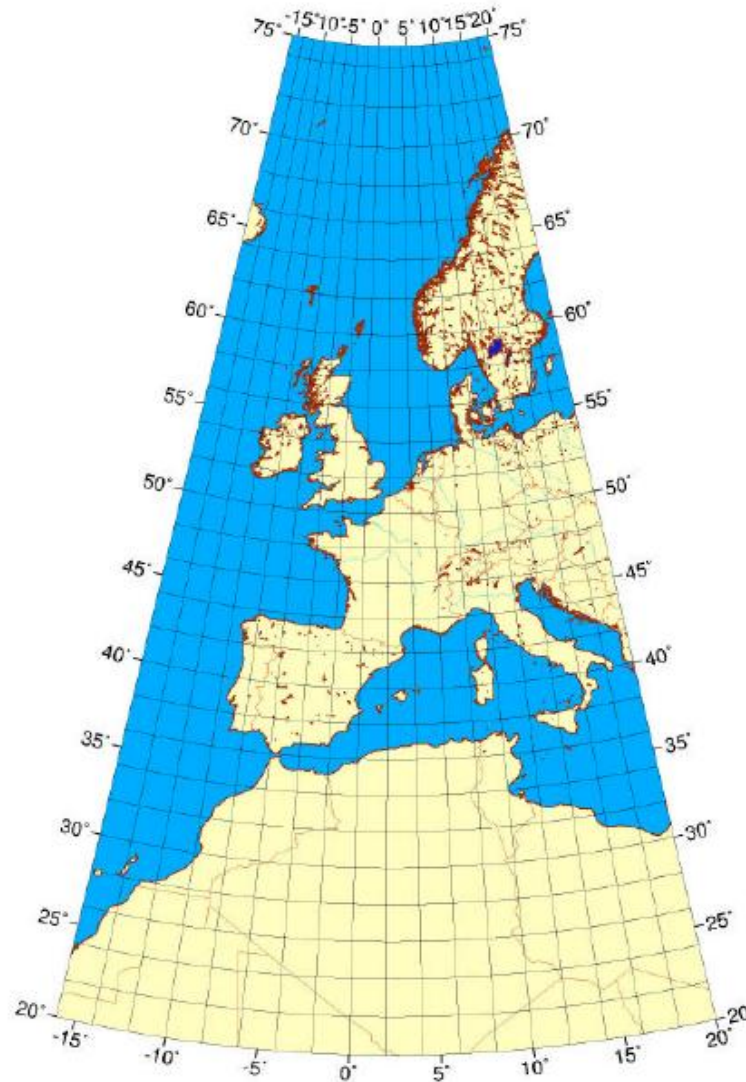
Les représentations Lambert I, II, III, IV et II étendu correspondent au système géodésique NTF.

Pour disposer d'une projection correspondant au système de référence RGF 93, on définit la projection suivante, dite Lambert 93: conique conforme sécante de Lambert avec ...

Référentiel Géodésique RGF 93	
Ellipsoïde associé	IAG GRS80
X0 (False Easting)	700 000 m
Y0 (False Northing)	6 600 000 m
Latitude origine	46°30'N
Longitude origine	3° Est Greenwich
Parallèles automécoïques	44°N et 49°N

Les coordonnées géographiques

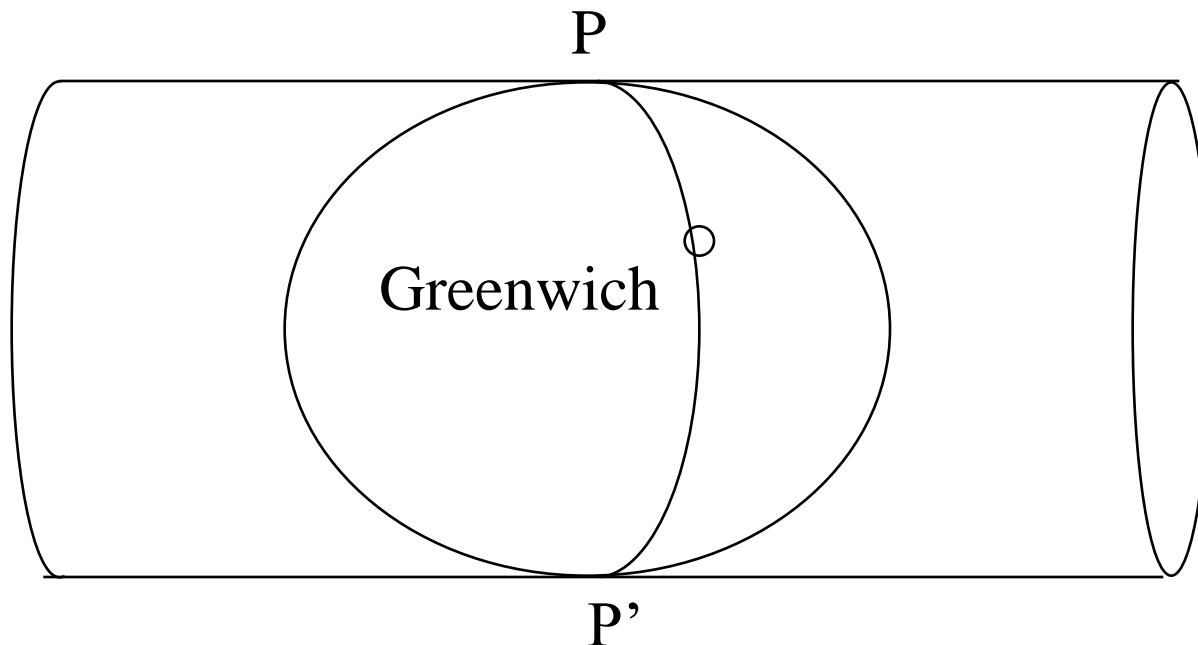
Ex: projection conique de Lambert



Les coordonnées géographiques

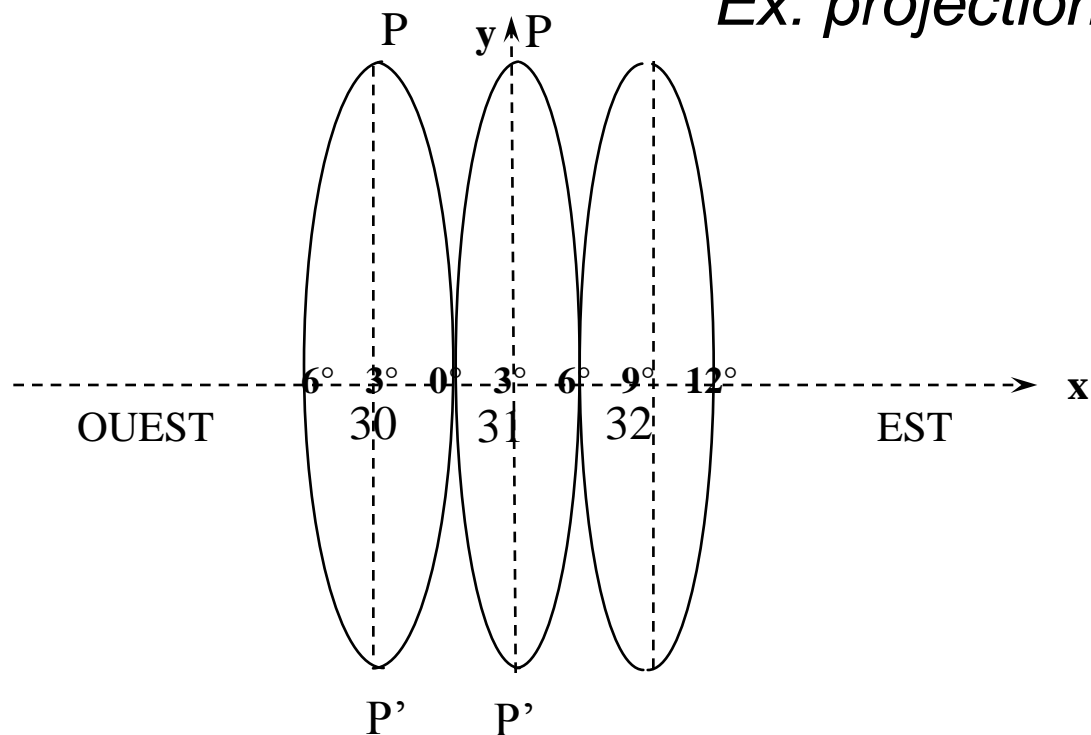
Ex: projection UTM

- Représentation conforme
- Projection Cylindrique, Transverse, tangent le long d'un méridien + Facteur d'échelle



Les coordonnées géographiques

Ex: projection UTM



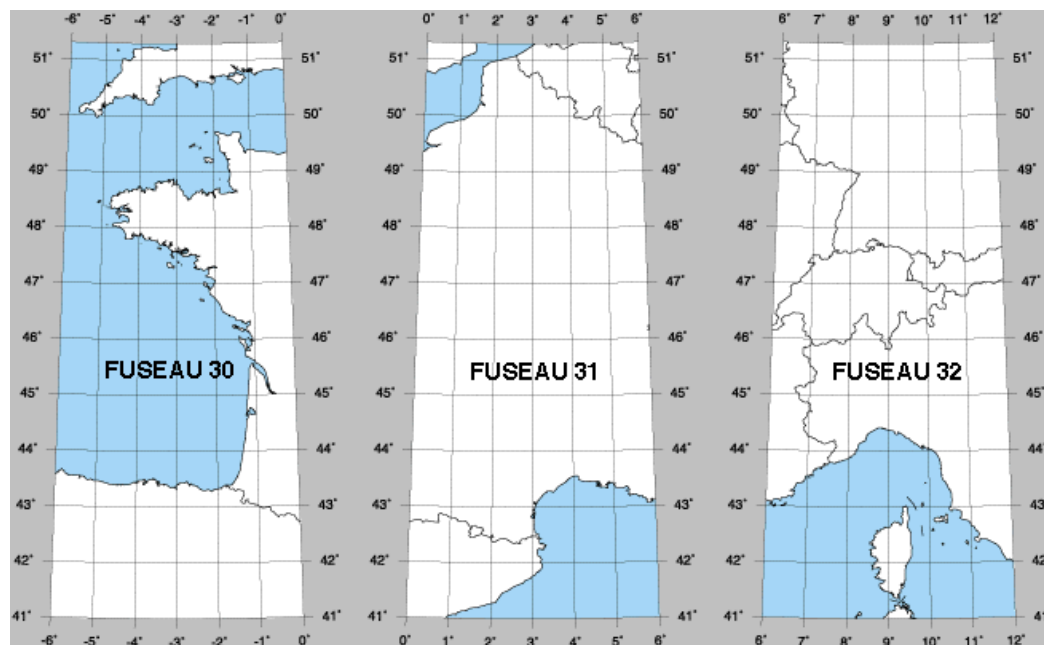
- Equateur → Axe Ox
- Méridien central → Axe Oy

Terre divisée en 60 fuseaux de 6° d'amplitude

Les coordonnées géographiques

Ex: projection UTM

- les fuseaux France



fuseau 30 (6° Ouest, 0° Greenwich)

fuseau 31 (0° Greenwich, 6° Est)

fuseau 32 (6° Est, 12° Est)

Les coordonnées géographiques

Ex: projection UTM

- Ellipsoïde international (Hayford 1909) ou IAG GRS 1980 suivant qu'on emploie la projection UTM avec le système de référence ED 50 ou WGS 84
 - → systèmes de coordonnées associés : ED50 UTM ou WGS84 UTM
 - ces systèmes de coordonnées sont couramment utilisés par les GPS
 - ATTENTION utiliser le même système sur la carte et sur le GPS...
- Altération des longueurs inférieure à 1/1000 dans un fuseau
- Constante ajoutée à x: $X_0 = 500\,000$ m
- Dans l'hémisphère sud, y devient (10 000 000 -y)



IGN

INSTITUT NATIONAL
DE L'INFORMATION
GÉOGRAPHIQUE
ET FORESTIÈRE



Références

Cours de géodésie de Didier Bouteloup

Site IGN France, Espace éducation, fiches de géodésie:
<http://education.ign.fr/43/dossiers/mesurer-la-terre.htm>

Patrick Bouron, Lecture de cartes:
<http://www.unit.eu/nuxeo/site/esupversions/216914e0-7a35-4c6a-9c7a-8810f54ebd8d>