

# *Les coordonnées géographiques*

1

## **Les coordonnées géographiques**

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

2

## Les coordonnées géographiques

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



3

## 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**

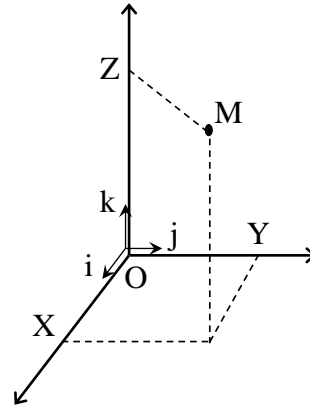
4

## Les coordonnées géographiques

### 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



5

## Les coordonnées géographiques

### Coordonnées cartésiennes

La notion de référentiel géodésique est théorique.

On appelle sa réalisation numérique:

- ✓ **Système géodésique** pour une réalisation à échelle locale ou nationale
- ✓ **Système 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 matérialisées.



Borne NTF



Récepteur GPS permanent RBF

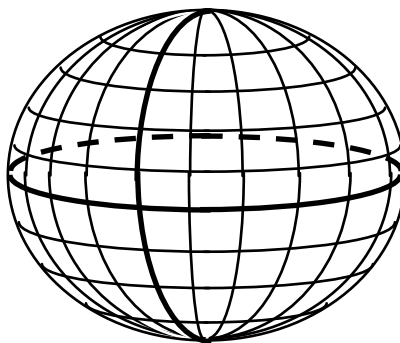
6

## 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)

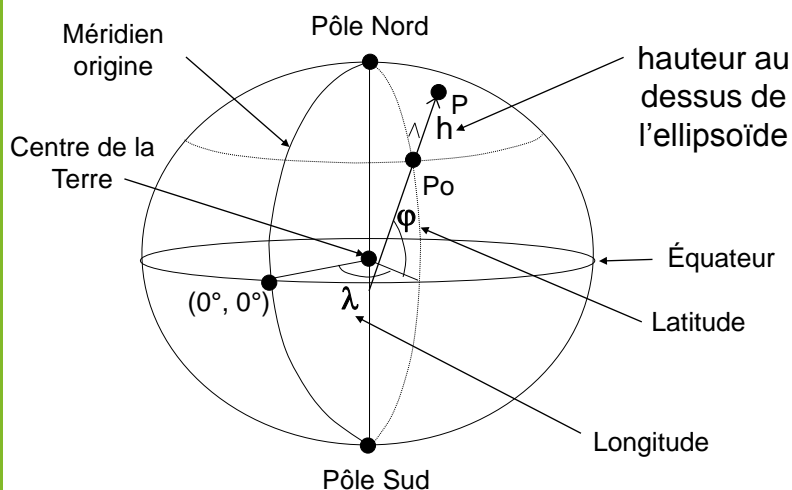


7

## Les coordonnées géographiques

### Coordonnées géographiques et méridien origine

#### Les coordonnées géographiques ( $\lambda, \phi, h$ )



8

## Les coordonnées géographiques

### *Coordonnées géographiques et méridien origine*

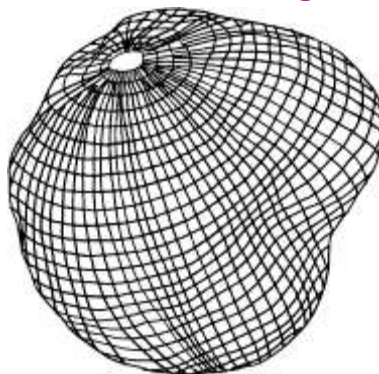
- ❑ Le choix de l'ellipsoïde n'est pas unique. Les écarts entre les demi grands axes peuvent atteindre quelques centaines de mètres. Plusieurs centaines d'ellipsoïdes sont utilisés dans le monde.
- ❑ Tous les systèmes spatiaux ont adopté **l'ellipsoïde international IAG GRS 80** comme référence.
- ❑ 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.

9

## 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.

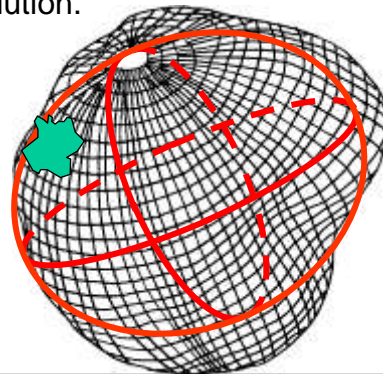


10

## 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.

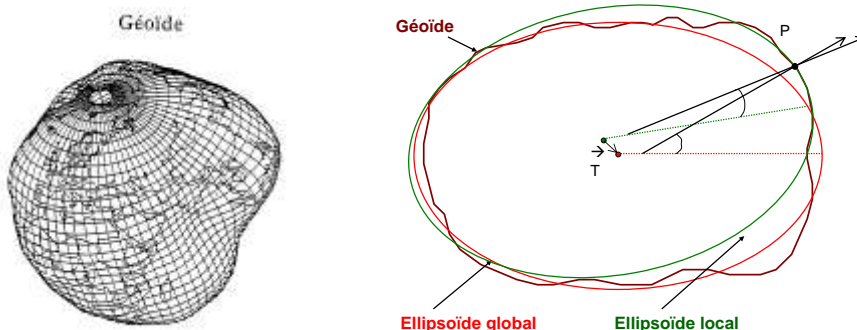


11

## 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.



12

## 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.**

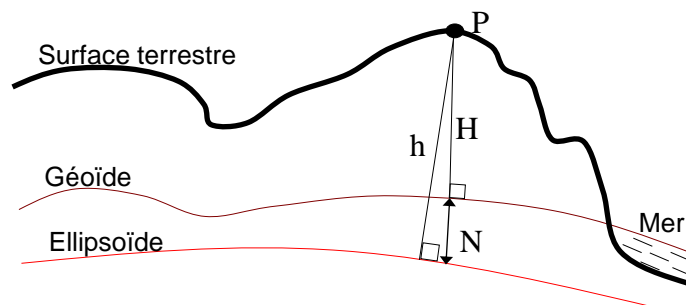
13

## 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)



14

## Les coordonnées géographiques

### *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

15

## Les coordonnées géographiques

### *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
  - Système altimétrique: IGN 1969
- ☐ **European Datum 1950 (ED 1950)**
  - Point fondamental: Postdam
  - Unité angulaire: degré, minute, seconde
  - Méridien origine: Greenwich
  - Ellipsoïde: International 1924 (Hayford 1909)

16



## 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.

17

## 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

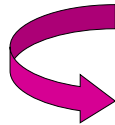
18

## 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**

19

## 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

20

## 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**

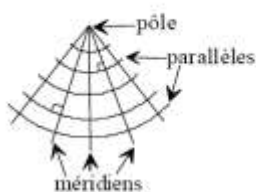
**mais JAMAIS LES DEUX à la fois**

21

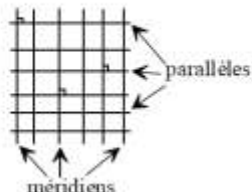
## Les coordonnées géographiques

*Classification des projections:  
typologie selon le canevas*

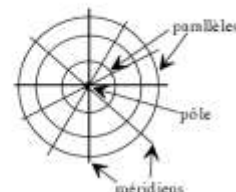
*canevas conique*



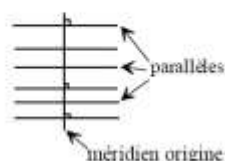
*canevas cylindrique*



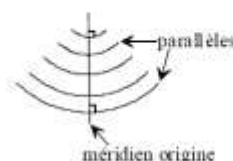
*canevas azimutal*



*canevas méricylindrique*



*canevas mériconique*



## Les coordonnées géographiques

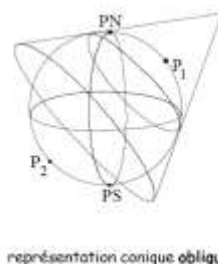
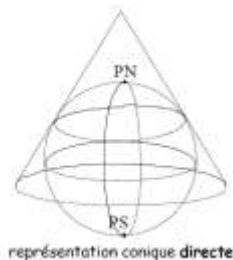
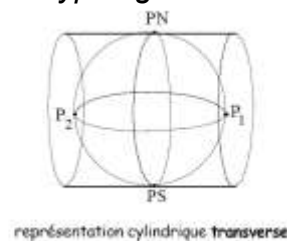
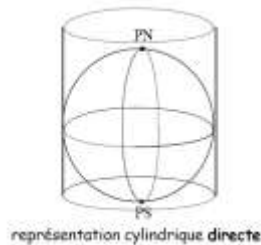
*Classification des projections:  
typologie selon l'aspect*

- **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.

23

## Les coordonnées géographiques

*Classification des projections:  
typologie selon l'aspect*

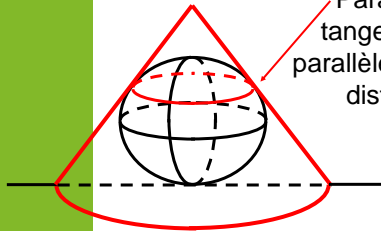


24

## Les coordonnées géographiques

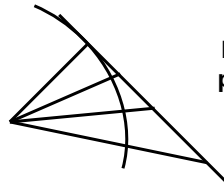
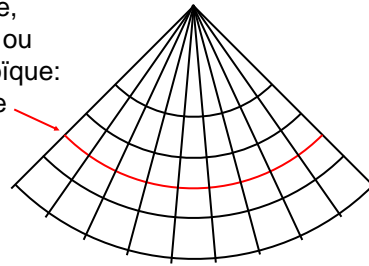
*Ex: Projection conique conforme directe de Lambert*

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

25

## 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.

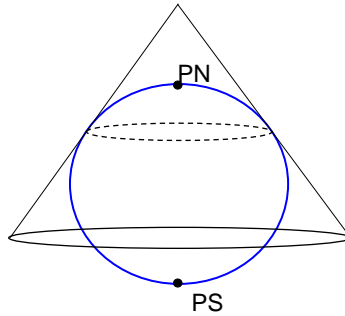


**PROJECTION POLYCONIQUE SÉCANTE**

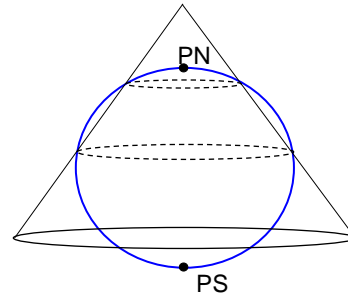
26

## Les coordonnées géographiques

### Lambert France



Représentation de Lambert  
tangente



Représentation de Lambert  
sécante

27

## Les coordonnées géographiques

### Lambert France

Parallèles origines pour les 3  
cônes sécants :

Zone 1 (Nord) : 55 grades

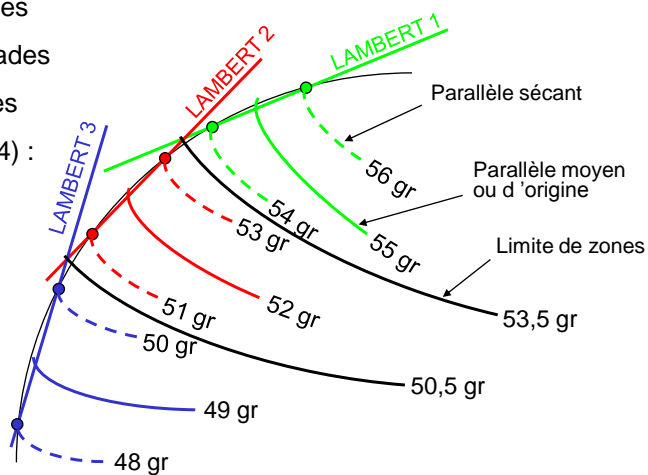
Zone 2 (Centre) : 52 grades

Zone 3 (Sud) : 49 grades

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

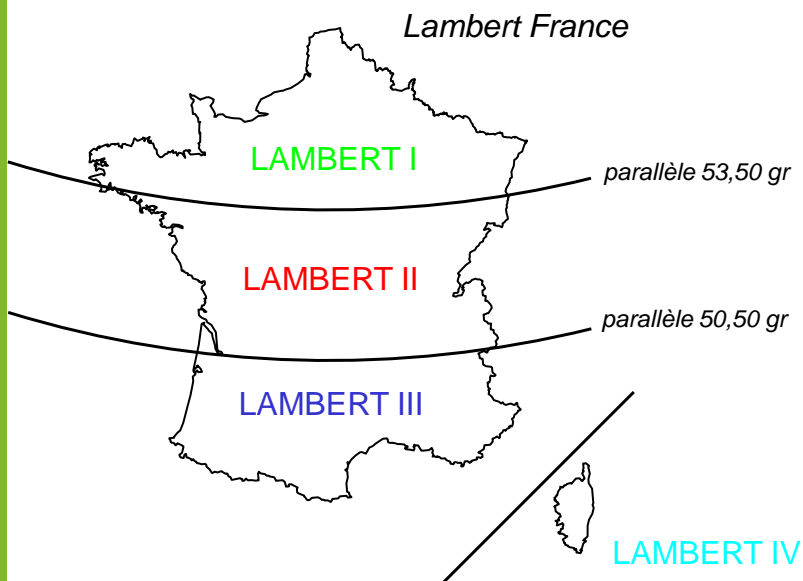
**Méridien origine**

= Méridien de Paris  
(longitude = 0 grade)



28

## Les coordonnées géographiques



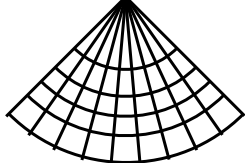
29

## Les coordonnées géographiques

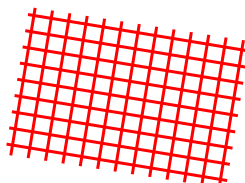
*Lambert France*

- 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*



30

## 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


31

## 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



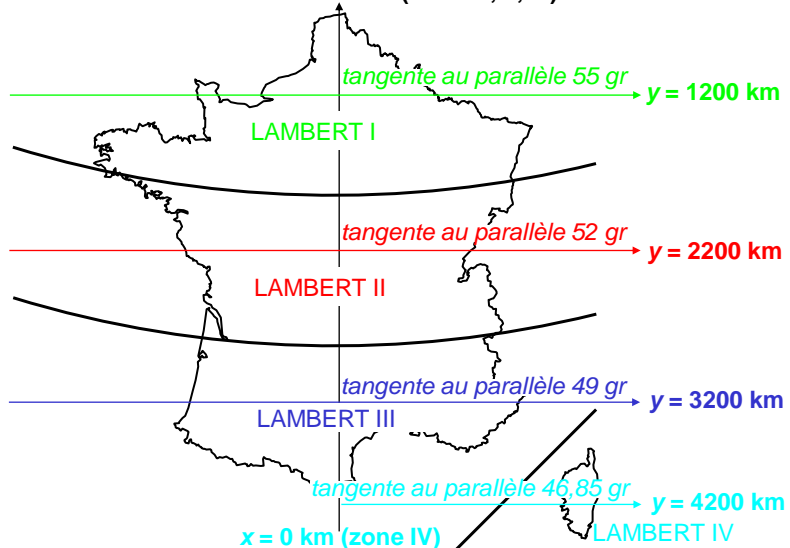
Au sein de chaque zone les valeurs de y vont croissant vers le Nord

32



## Les coordonnées géographiques

méridien de Paris : *Lambert France*  
 $x = 600 \text{ km}$  (zones I, II, III)



33

## Les coordonnées géographiques



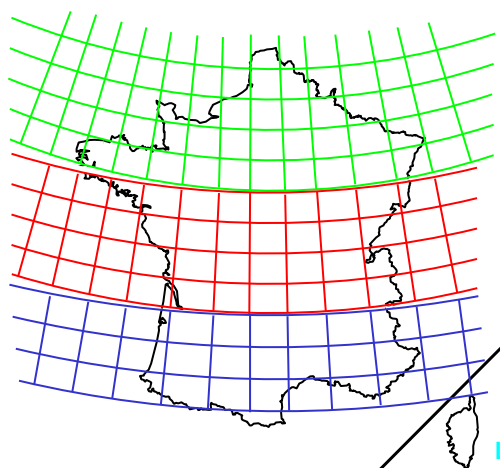
**Projections différentes**

*Lambert France*



**pas de raccordement entre zones!**

LAMBERT I  
LAMBERT II  
LAMBERT III



LAMBERT IV

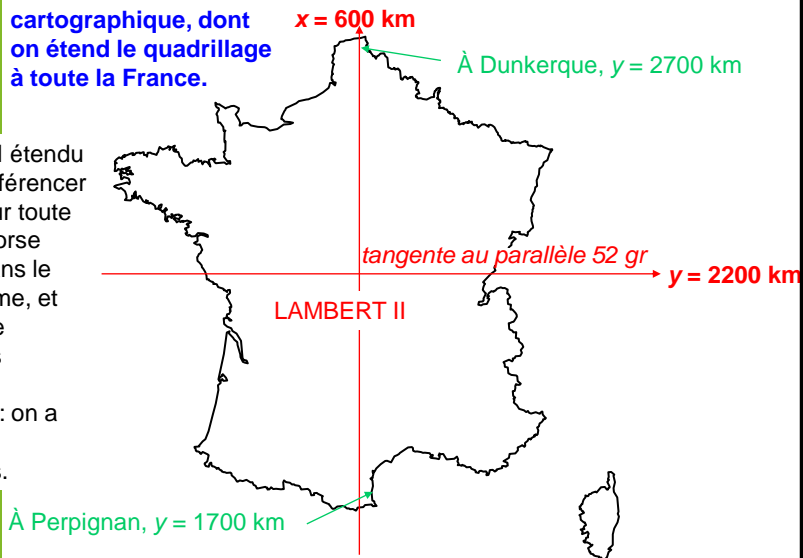
34

## 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.

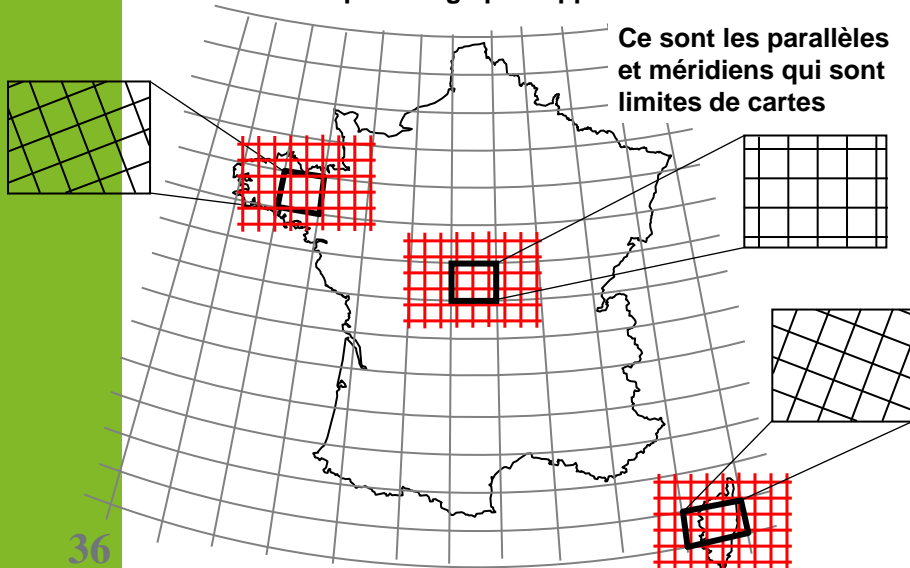


35

## Les coordonnées géographiques

Orientation du quadrillage par rapport aux bords de la carte

Ce sont les parallèles  
et méridiens qui sont  
limites de cartes



36

## 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

37

## Les coordonnées géographiques

*Ex: projection conique de Lambert*

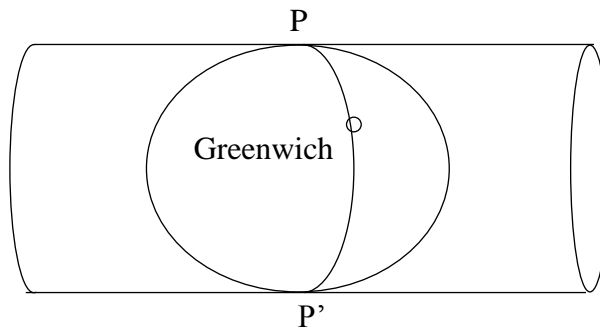


38

## Les coordonnées géographiques

*Ex: projection UTM*

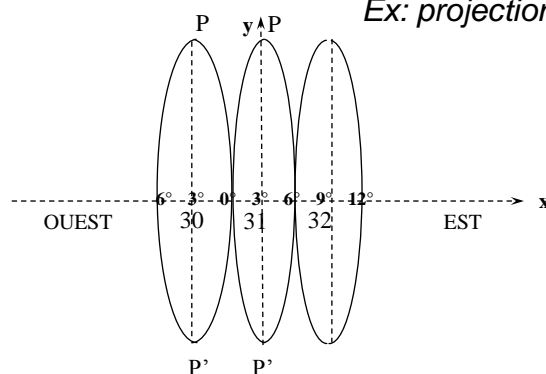
- Représentation conforme
- Projection Cylindrique, Transverse, tangente le long d'un méridien + Facteur d'échelle



39

## Les coordonnées géographiques

*Ex: projection UTM*



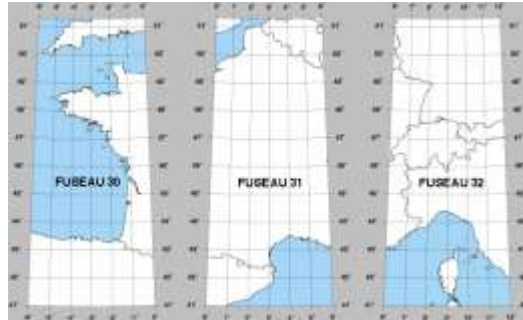
- Equateur → Axe Ox
  - Méridien central → Axe Oy
- Terre divisée en 60 fuseaux de 6° d'amplitude

40

## 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)

41

## 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:  $X_0 = 500\,000\text{ m}$
- Dans l'hémisphère sud, y devient  $(10\,000\,000 - y)$

42

