



## SIG – SIRS : Compléments

### Géoréférencement



Dpt NUMérique pour l'AGriculture - Bordeaux Sciences Agro

Ch. Germain  
(sur une base conçue par P. Bazile)

Septembre 2018

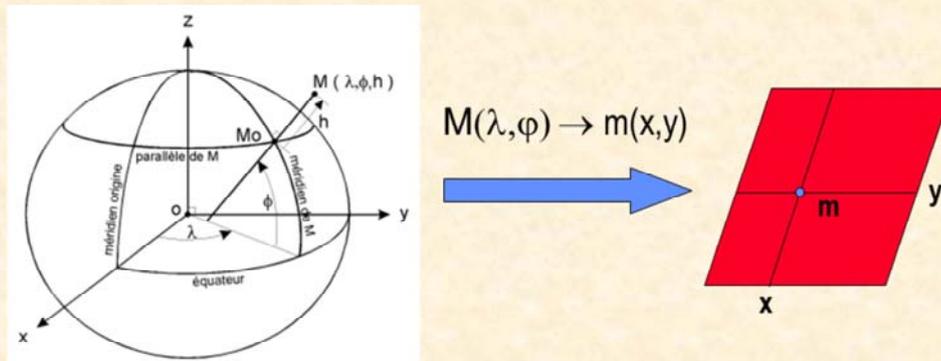


Ce diaporama a pour objectif d'étudier le géoréférencement, la localisation d'un point à la surface du globe terrestre.

Les diapositives de ce document ont été initialement conçues par P. Bazile et adaptée et complétée par Ch. Germain. Les commentaires ont été rédigés par Ch. Germain

## Le problème

surface  $\cong$  sphère  $\Rightarrow$  surface plane (carte)



- **modélisation de la surface à projeter**  
déterminer la forme et les dimensions de la surface
- **projection de la surface sur un plan**  
choisir une méthode de projection



Le problème se décompose en deux parties.

D'abord la localisation de l'objet à la surface du globe.

Pour simplifier la localisation de l'objet, on considère un modèle de la surface terrestre (une sphère par exemple) et on se repère sur cette sphère.

Ensuite la projection

En effet, transporter une mappemonde sur le terrain n'est pas très pratique.

On préfère donc généralement utiliser une carte plane.

Il convient donc de *projeter* la sphère sur une surface plane (ou développable) pour disposer d'une représentation plane de la surface terrestre.

# Plan

1. **Systèmes de coordonnées terrestres**
2. Systèmes de projection
3. Géolocaliser des données en France
4. Application sur une carte IGN 1/25000



Localiser un objet sur une carte nécessite donc d'aborder deux notions clés:

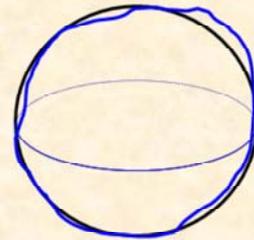
- Les systèmes de coordonnées terrestre et les modèles de surface terrestre
- Les systèmes de projection

Après avoir défini ces notions nous verrons quels sont les systèmes de géolocalisation usuels en France.

Enfin, nous appliquerons ces notions en montrant les différents systèmes tels qu'ils sont accessibles sur une carte IGN.

## Système de coordonnées géographiques

- La Terre présente des hétérogénéités liées à :
  - l'**aplatissement** de la terre aux pôles
  - l'**hétérogénéité** de la densité
  - l'**altitude variable** de la surface
- On utilise donc un modèle de la surface terrestre :
  - géoïde** :
    - surface équipotentielle de gravité
    - niveau moyen des mers



Commençons par le Système de coordonnées géographiques.

La Terre est « à peu près » sphérique, mais présente toutefois des hétérogénéités liées à :

- l'aplatissement de la terre aux pôles
- l'hétérogénéité de sa densité
- l'altitude variable de la surface des sols

Pour prendre en compte ces éléments on va définir plusieurs notions au sein d'un modèle global de la surface de la terre.

D'abord, il nous faut définir une surface terrestre de référence indépendamment du relief: c'est le géoïde.

Le géoïde représente en fait la surface du niveau moyen des mers si la totalité de la Terre était recouverte par les océans.

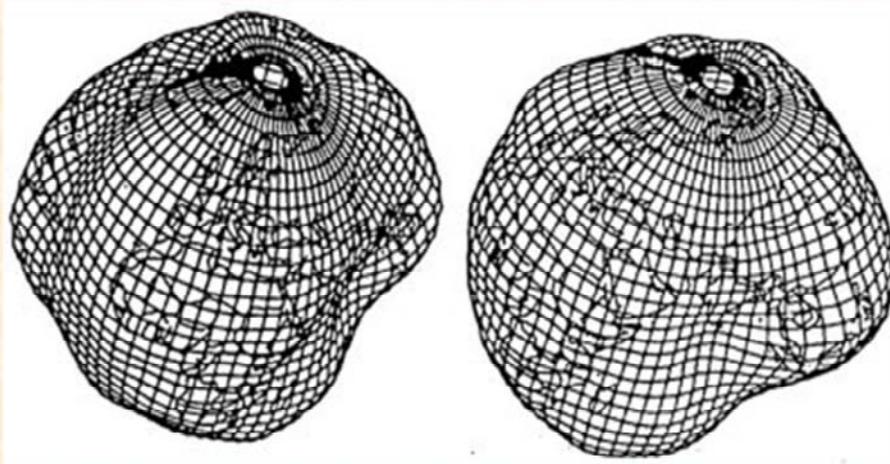
Le géoïde fait donc abstraction du relief et définit le point zéro de l'altitude en tout point du globe.

Comme le géoïde est complexe et irrégulier (voir diapo suivante), on lui préfère une surface modèle, qu'on appelle ellipsoïde.

## Le géoïde

Définition : surface équipotentielle du champ de pesanteur terrestre qui coïncide au mieux avec le niveau moyen des mers.

Cela correspond à la topographie qu'aurait une surface terrestre couverte d'océans au repos, soumis à la seule gravité terrestre, c'est-à-dire une surface où l'eau ne coule pas.



Altitudes exagérées :  $\times 15000$   
(d'après Geiger, 1987, in U. Frei et al., 1993)



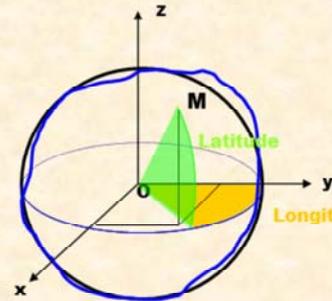
Ces figures illustrent les déformations du géoïde en les exagérant 15000 fois. En effet la gravité de la Terre n'est pas constante en tout point et cela altère la position du « zéro » des cartes, selon la région.

Pour en tenir compte, les géographes de chaque pays (ou presque) vont proposer une multitude d'ellipsoïdes différents, chacun s'adaptant un peu mieux que les autres localement.

Récemment, un ellipsoïde de référence mondiale s'est imposé dans le cadre du système géodésique nommé WGS-84, mais des ellipsoïdes « nationaux » sont encore utilisés.

## Système de coordonnées géographiques

- La Terre présente des hétérogénéités liées à :
  - l'**aplatissement** de la terre aux pôles
  - l'**hétérogénéité** de la densité
  - l'**altitude variable** de la surface
- On utilise donc un modèle de la surface terrestre :
  - **géoïde** :
    - surface équipotentielle de gravité
    - niveau moyen des mers
  - **ellipsoïde de référence** :
    - enveloppe mathématiquement définie
  - **coordonnées géographiques (polaires)**



Principaux ellipsoïdes utilisés en France:

Système géodésique	Ellipsoïde associé
NTF	Clarke 1880 IGN
ED50	Hayford 1909
WGS84	IAG GRS 1980

Une fois le géoïde et l'ellipsoïde choisis, il faut choisir un système de coordonnées.

Du point de vue mathématique, la méthode la plus simple pour représenter un point à la surface de l'ellipsoïde consiste à placer un repère  $(O, x, y, z)$  en son centre.

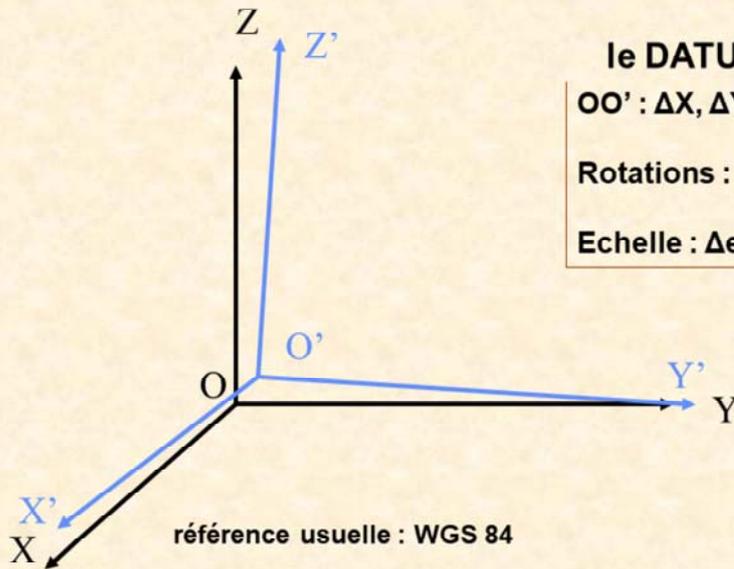
D'un point de vue pratique, on préfère ignorer le centre de la Terre et considérer 1 cercle et 1 demi cercle de référence (l'équateur et le méridien de Greenwich par exemple), et représenter la position d'un point par deux angles: la latitude (angle par rapport à l'équateur) et la longitude (angle par rapport au méridien de référence, souvent Greenwich).

Le système WGS-84 est aujourd'hui le plus utilisé en France et dans le monde.

En France on trouve encore des données anciennes dans des systèmes différents (NTF pour les vieilles données IGN, ED50 pour les vieilles données maritimes).

## Changement d'ellipsoïde

Utilisation de paramètres qui définissent géométriquement l'ellipsoïde :



Il est souvent nécessaire de passer d'un système géodésique à un autre (par exemple à chaque fois que l'on veut associer des jeux de données géographiques qui sont définis dans des systèmes différents).

Pour passer d'un système à un autre utilise les jeux de paramètres des deux systèmes.

On appelle « datum » l'ensemble de paramètres définissant l'ellipsoïde, et le système de coordonnées d'un système géodésique.

En pratique: les SIG savent le faire la conversion. Il nous suffit de savoir quel géoïde est associé à une couche géographique donnée.

Mais attention, si l'on se trompe de système, cela va engendrer des erreurs allant de quelques dizaines de mètres jusqu'à plusieurs milliers de kilomètres dans la localisation des objets.

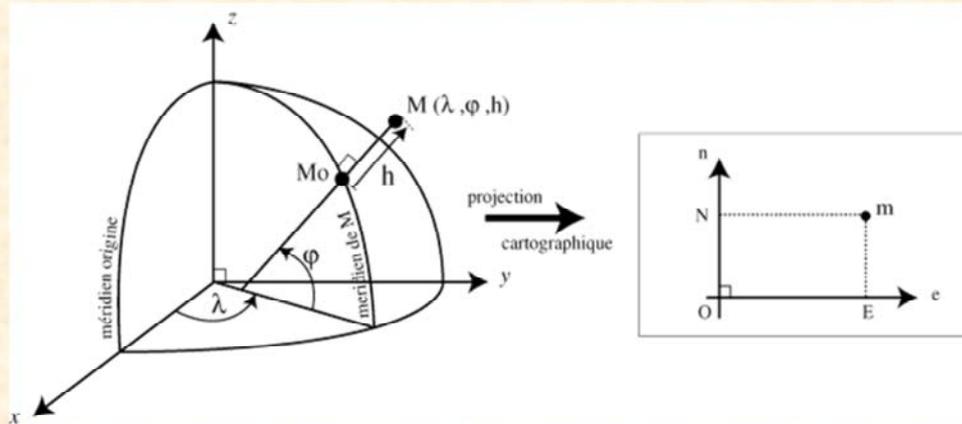
## Plan

1. Systèmes de coordonnées terrestres
2. **Systèmes de projection**
3. Géolocaliser des données en France
4. Application sur une carte IGN 1/25000



Abordons maintenant la notion de projection.

## Projections : coordonnées planimétriques



- Les coordonnées en projection de M sont les coordonnées cartésiennes (E,N) du point m, image de M dans le plan projection muni d'un repère orthonormé (O;e,n)
- La projection cartographique est définie par deux fonctions f et g telles que :

$$E = f(\lambda, \varphi) \text{ et } N = g(\lambda, \varphi)$$



Les projections permettent de transformer les coordonnées polaires (latitude, longitude) exprimées dans un système géodésique donné (ellipsoïde), en coordonnées cartésiennes (x,y) dans un repère orthonormé. Les coordonnées (x,y) sont parfois nommées « Easting » et « Northing » en anglais.

Un système de coordonnées planes est donc constitué d'un ellipsoïde et de son « datum » et d'une fonction de projection.

Là encore, les SIG savent passer d'un système de coordonnées à un autre.

## Projections - types

- Projection = déformation !
  - ellipsoïde  $\Rightarrow$  plan
  - toutes les projections entraînent des déformations :
    - selon les propriétés retenues certaines conserveront les angles et d'autres conserveront les surfaces.
    - Les distances ne sont jamais conservées sur toute la carte.  
(projection équidistante  $\Rightarrow$  conserve les distances sur les méridiens seulement).
- Type de projection  $\Rightarrow$  qualité de la projection
  - projections **conformes** :  
conservation des angles, distorsion des surfaces
  - projections **équivalentes** :  
conservation des surfaces, modification des angles
  - projections **aphylactiques** :  
ne conservent ni les surfaces, ni les angles ; plus «esthétiques»



Hélas, il n'existe aucun système de projection parfait.

Tous sont faux, dans le sens où ils déforment les angles, ou modifient les surfaces ou même les deux. Quant aux distances elles sont fausses presque partout.

Heureusement ces erreurs sont le plus souvent négligeables pour les cartes à grandes échelles. Par contre, l'effet de ces erreurs est manifeste sur les cartes à très petites échelles, comme les planisphères par exemple.

Notons que les projections conformes CONservent la FORME. Elles sont nécessaire pour la navigation par exemple. Ce sont les plus souvent employées

Les projections équivalentes préservent les surfaces. Elles sont intéressantes pour des cartes « politiques ».

Les projections aphylactiques, plus rares constituent un compromis « esthétique ».

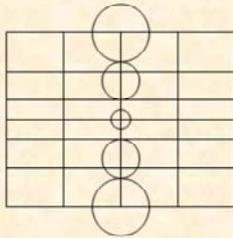
## Projection conforme ou équivalente ?

Il est impossible de conserver en même temps :

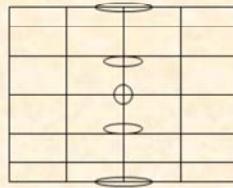
- les directions (navigation)
- les surfaces (cartes politiques ou statistiques)

### Ellipses Indicatrices de Tissot

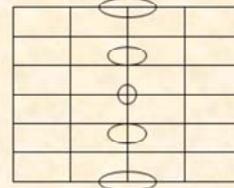
Des **cercles identiques** sont tracés à **différentes latitudes** puis projetés:



conforme



équivalente



quelconque



Les ellipses de Tissot illustrent bien les déformations et dilatations des différentes catégories de projection.

- Conforme: les cercles restent des cercles, mais leur surface croît quand on s'éloigne de l'équateur.
- Équivalentes: Les cercles s'aplatissent quand on s'éloigne de l'équateur, mais leur surface reste correcte.
- Aphyllactiques: c'est un compromis. On ne conserve ni surface ni forme mais on limite les dégâts esthétiques pour les cartes couvrant un très grand territoire.

## Plan

1. Systèmes de coordonnées terrestres
2. Systèmes de projection
- 3. Géolocaliser des données en France**
4. Application sur une carte IGN 1/25000



Appliquons ces notions la localisation des objets sur le territoire français métropolitain (Les zones outre-mer ont leur propre système).

## La projection « légale » pour la France

C'est la principale projection à connaître :

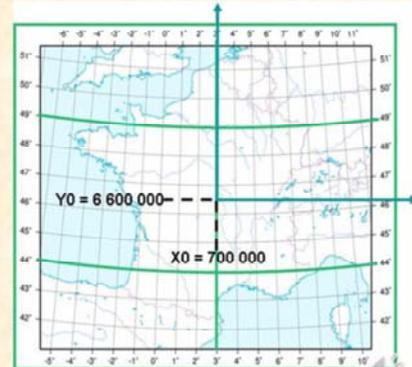
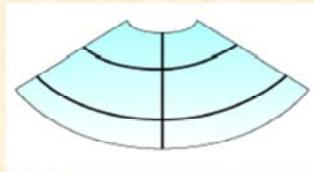
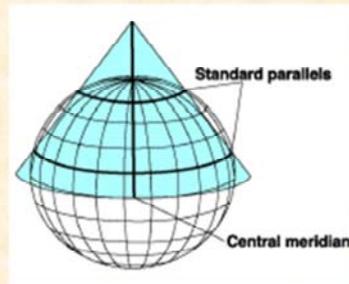
**Lambert 93 ou RTF-93** (projection actuelle pour l'IGN)

Projection conique conforme sécante

Unité: le mètre (rarement le km).

Système géodésique WGS 84

Minimise les déformations sur le territoire métropolitain



Sources: ESRI et IGN

13

En France, pour les applications « terrestres » c'est le système Lambert 93 qui est le plus utilisé.

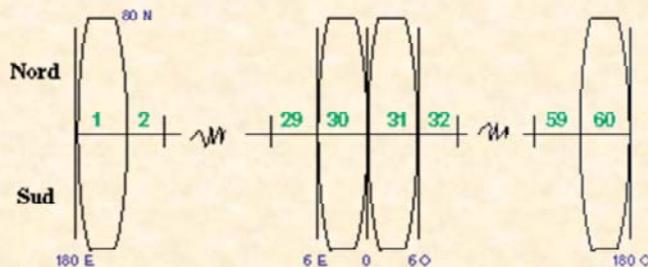
Il fournit pour tout le territoire métropolitain des mesures « conformes » optimisées.

## Une projection largement utilisée: l'Universal Transverse Mercator (UTM)

Système de **122 projections Mercator Transverse**.

- constitué par la juxtaposition de 120 projections Mercator cylindriques transverse conformes :

- 60 fuseaux de 6° pour couvrir le globe (entre 80°Sud et 80°Nord),
- 2 projections pour chaque fuseaux (Nord et Sud).
- Système géodésique WGS84.



La représentation des pôles se fait par **projections azimuthales**.

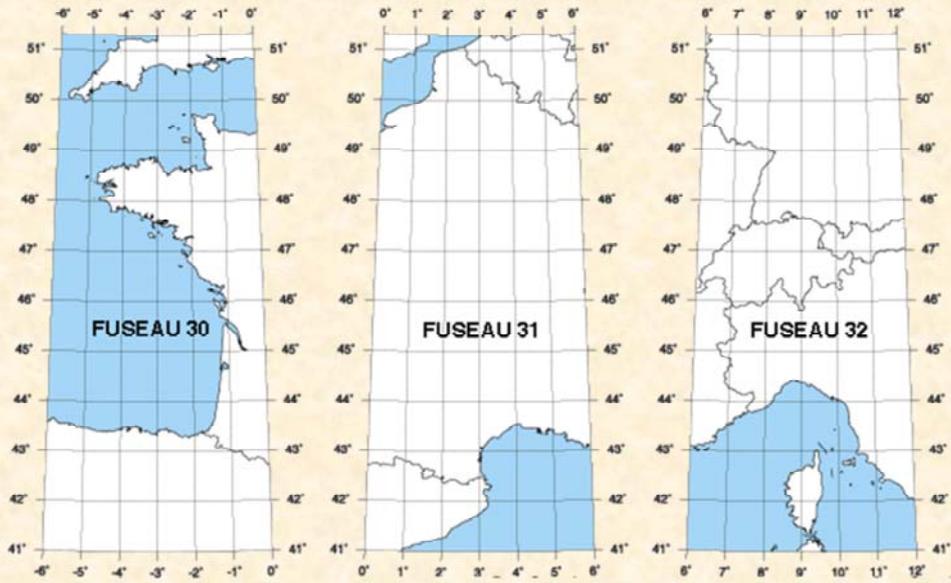


Le système UTM (Universal Transverse Mercator) lui est plus universel et couvre la totalité du globe terrestre par tronçons (ou fuseaux).

Il faut donc trouver le fuseau (la tranche) approprié selon la région étudiée.

La projection UTM repose maintenant sur le système géodésique WGS84.

## La projection UTM (ou MTU)



3 fuseaux (hémisphère Nord) pour la métropole

Pour la France, on utilise 3 fuseaux, 30, 31 et 32 Nord.

## Et sur les récepteurs GNSS?

**En général, sur les récepteurs GNSS (Global Navigation Satellite System) tels que GPS, GLONAS, GALILEO, BEIDOU:**

- Pas de projection mais Lat/long en WGS-84
- Mais les récepteurs de milieu et haut de gamme permettent de choisir n'importe quelle projection avant d'enregistrer les données.



Pour les applications « terrestres » c'est le système Lambert étendu ou l'un des systèmes Lambert 1, 2, 3 ou 4 qui sont les plus utilisés.

Ces systèmes sont peu à peu remplacés par le Lambert 93 (encore peu répandu).

Pour les applications nautiques c'est soit la latitude/longitude, soit pour les applications côtières l'UTM + ED50.

Mais depuis l'arrivée des GPS de loisirs, c'est le système Latitude longitude ou UTM + WGS 84 qui est le plus utilisé.

Détaillons les systèmes Lambert.

## Autres projections pour la France

Plusieurs anciens systèmes peuvent encore se rencontrer:

### Ancien UTM ED-50:

Projection cylindrique transverse conforme

Système géodésique ED 50

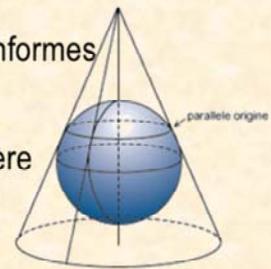
Anciennement utilisée par SHOM (Marine Nationale)



### Lambert 1, 2, 3, 4, 2 étendu : Projections coniques conformes

La France a été découpée en 4 zones.

La projection "Lambert II étendu" couvre la France entière pour des besoins d'amplitude nationale

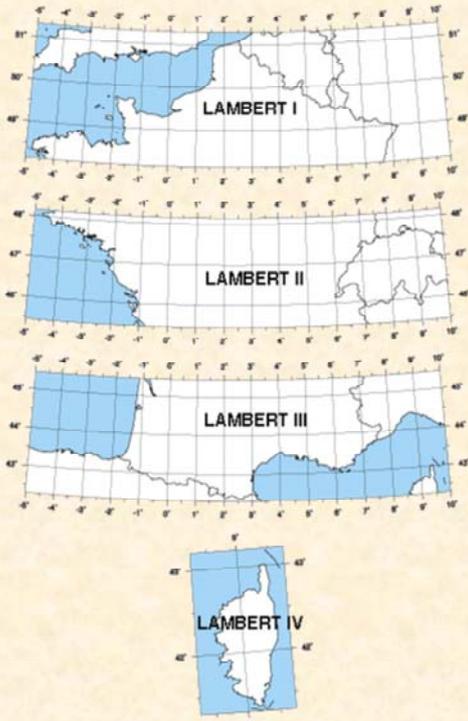


Pour les anciennes données nautiques on retrouve parfois de l'UTM mais avec l'ellipsoïde ED50. Elle ne coïncident donc pas avec les coordonnées UTM actuelles.

Les données « terrestres » anciennes sont parfois encore fournies en Lambert étendu ou l'un des systèmes Lambert 1, 2, 3 ou 4.

Détaillons maintenant ces anciens systèmes Lambert.

## L'ancienne projection de Lambert (zone)



### Système de coordonnées :

- Unité : le mètre (parfois le km),
  - Lambert zone / Lambert étendu
  - Système géodésique NTF Clark 1880
  - Méridien origine : Paris
  - Deux variantes «Lambert» et «Lambert Carto».
- Pour «Lambert Carto» on ajoute à l'ordonnée:  
1.000.000 pour Lambert1,  
2.000.000 pour Lambert2,  
etc...

### Exemples :

- ordonnées Lambert I :  
de 1.000.000 à 1.400.000 m
- ordonnées Lambert III :  
de 3.000.000 à 3.400.000 m

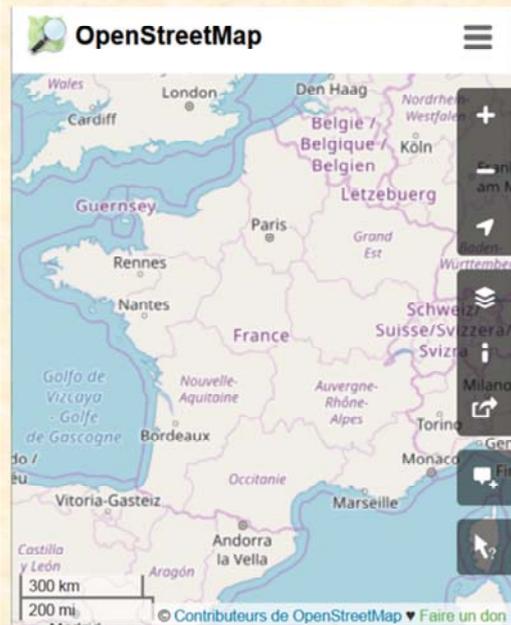


Pour plus de précision le territoire a été découpé en 4 zones du Nord au Sud.

L'unité des coordonnées Lambert est généralement le mètre (parfois le kilomètre).

Le plus souvent on utilise le Lambert Cartographique qui a été adapté pour que les coordonnées y commencent toujours par «1 » en Lambert1 par « 2 » en Lambert2 etc...

## Et la cartographie sur le Web?



### Spherical Mercator:

- Ou Google Mercator, ou Web Mercator
- Projection universelle simplifiée pour Google Open Street Map, IGN Géoportail etc...
- Unité : le mètre,
- Ellipsoïde: la sphère!!!
- Calculs beaucoup plus rapides
- Non conforme
- Parfois 40 km d'erreur par rapport à une projection utilisant un ellipsoïde classique
- Pratique pour visualiser sur le web
- **NE PAS UTILISER DANS UN SIG (pour faire des calculs)!**

Aujourd'hui, la cartographie est aussi très présente sur le Web.

Mais les navigateurs web sont beaucoup moins puissants que les SIG.

Aussi Google (le pionnier du Web Mapping) a introduit une projection simplifiée basée sur un ellipsoïde sphérique.

Elle porte divers noms (le plus souvent *Spherical Mercator*).

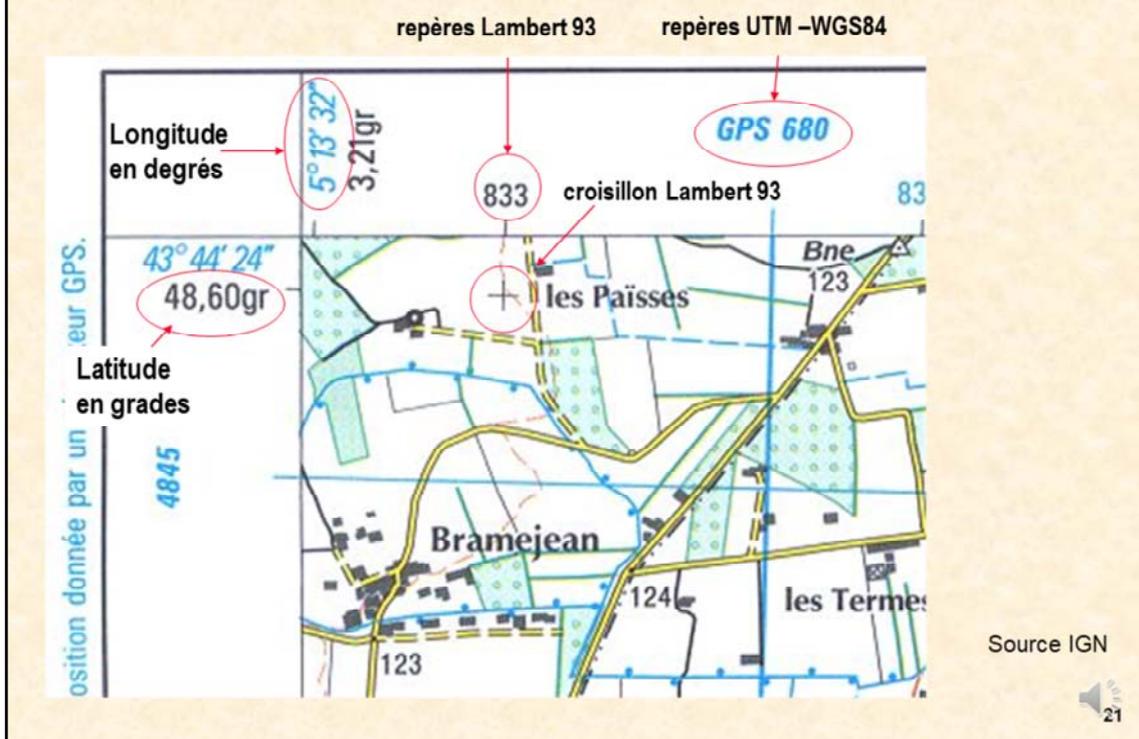
Attention, si son caractère simpliste rend la cartographie accessible aux navigateurs web, elle n'est pas exploitable dans un contexte de calcul dans un SIG: Elle est non conforme et génère des erreurs trop importantes pour être exploitée hors du contexte d'affichage web.

## Plan

1. Systèmes de coordonnées terrestres
2. Systèmes de projection
3. Géolocaliser des données en France
4. **Application sur une carte IGN 1/25000**

Observons ces différents systèmes sur une carte IGN au 1/25000.

## Lecture de coordonnées sur une carte IGN 1:25 000



Une carte IGN au 1/25000 est dotée de croisillons au sein même de la carte. Ils font référence aux coordonnées Lambert de la zone considérée.

Des repères Lambert (en noir) situés en bordure extérieure de la carte permettent de repérer les valeurs des coordonnées (en kilomètres) des croisillons.

Un carroyage bleu (auss appelé graticule) au pas de 1km indique les coordonnées UTM WGS84 (pratique pour les GPS de loisir). En bordure de cartes, chaque marque bleue indique la valeur de la coordonnée d'une ligne du carroyage.

Des marques **noires** sur la bordure extérieure donnent la latitude et la longitude en **Grades** dans le système WGS84.

Les marques **bleues** sur la bordure extérieure donnent la latitude et la longitude en « **Degrés, Minutes, Secondes** ».