

Mission géodésie Guyane 2015

Systèmes de référence et de coordonnées Concepts



Cité administrative régionale de la Guyane

23 mars 2015

Laurent Heydel



Notions de système de coordonnées et système géodésique

- Référentiel géodésique et coordonnées cartésiennes
- Ellipsoïde géodésique et coordonnées géographiques
- Champ de pesanteur et altitudes
- Projections et coordonnées planes
- Notions de système de référence

Réalisations des réseaux géodésiques

- Réseaux planimétriques
- Réseaux altimétriques
- Réseaux tridimensionnels

Définition de la géodésie

Un peu d'étymologie...

Geo = Terre Daisia = Partage

« Geôdesia » = « Diviser la Terre »

Parmi toutes les sciences qui contribuent à l'étude de la Terre et à la connaissance de l'évolution de notre milieu de vie :

- Géographie (dessin de la Terre)
- Géologie (composition et structure de la Terre)
- Géophysique (caractéristiques physiques de la Terre)

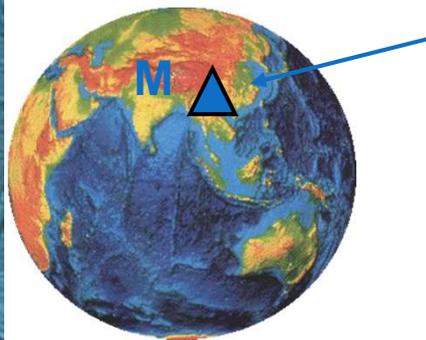
La Géodésie consiste en

- l'étude mathématique de la forme et des dimensions de la Terre
- la détermination de son champ de pesanteur.



Notions de système de coordonnées et système géodésique

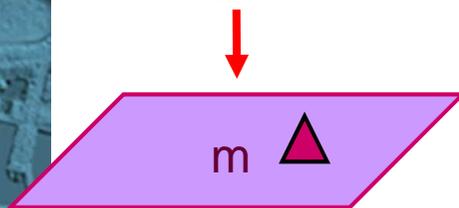
- **Référentiel géodésique et coordonnées cartésiennes**
- Ellipsoïde géodésique et coordonnées géographiques
- Champ de pesanteur et altitudes
- Projections et coordonnées planes
- Notions de système de référence



Point M sur la surface topographique

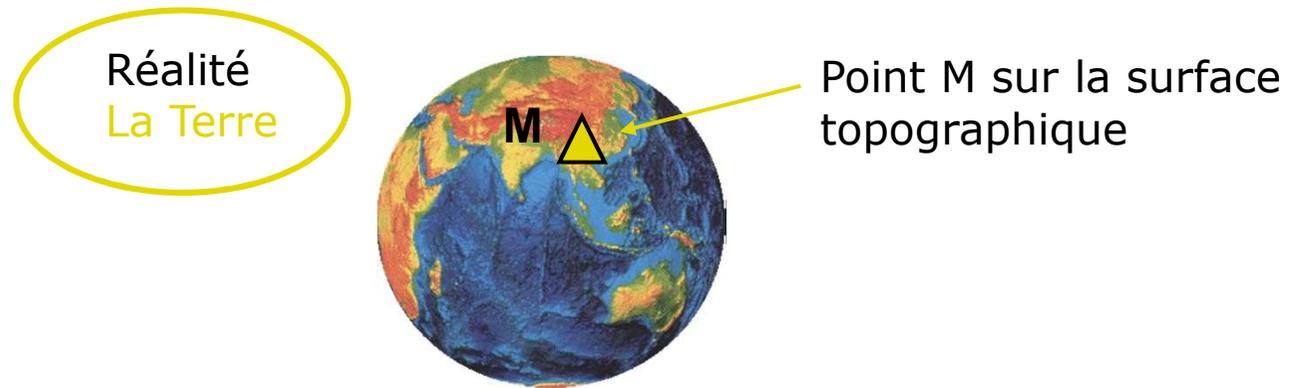
Objectif : repérer le point M sur la Terre et le positionner sur une carte.

Pour cela, besoin de systèmes de coordonnées et de système géodésique

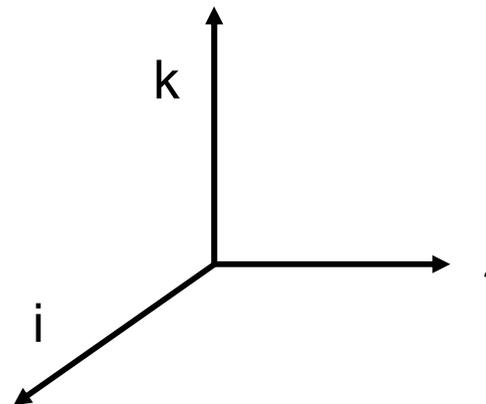


Point m sur la carte ou dans un SIG

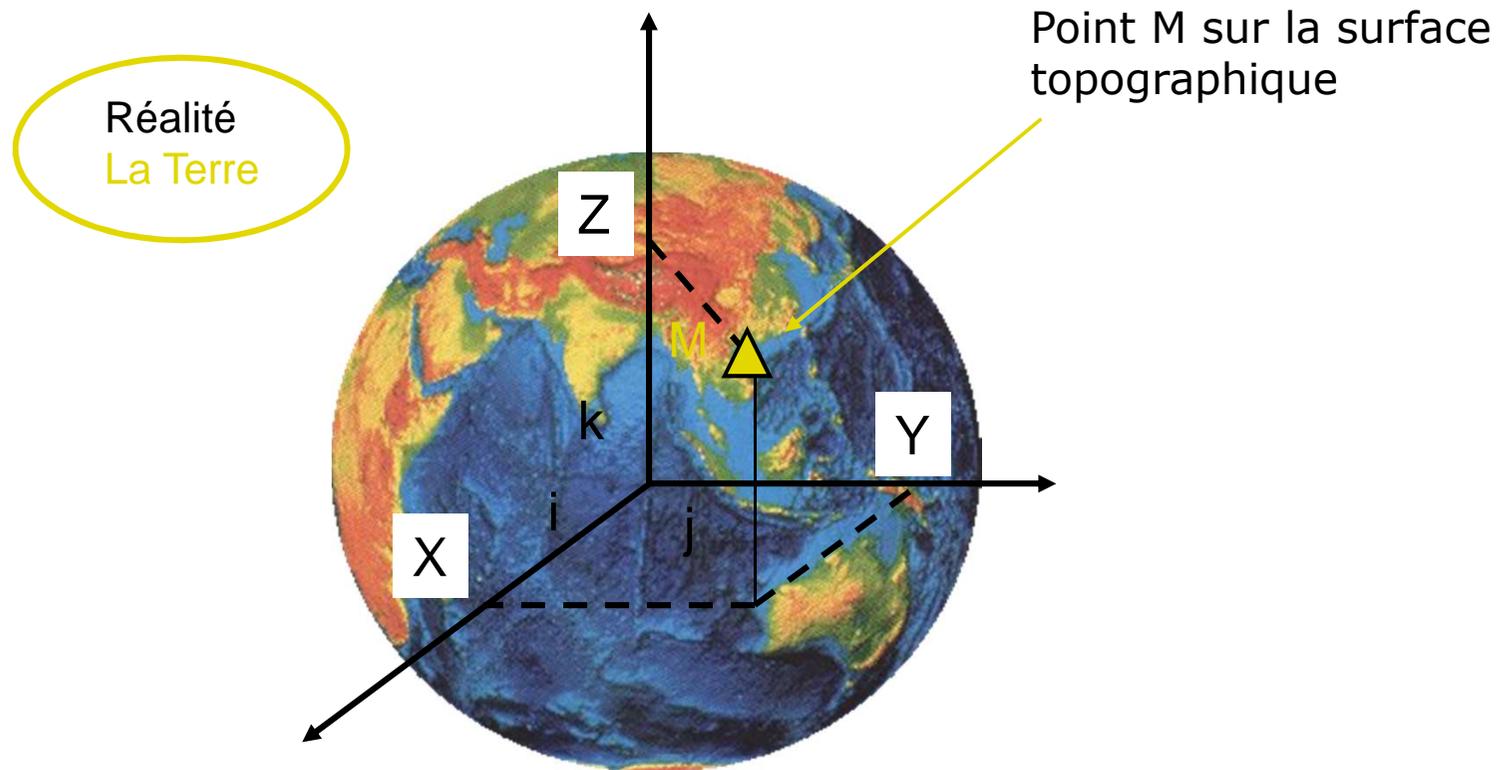
Systeme de référence géocentrique



Définition d'un référentiel géodésique



Systeme de référence géocentrique



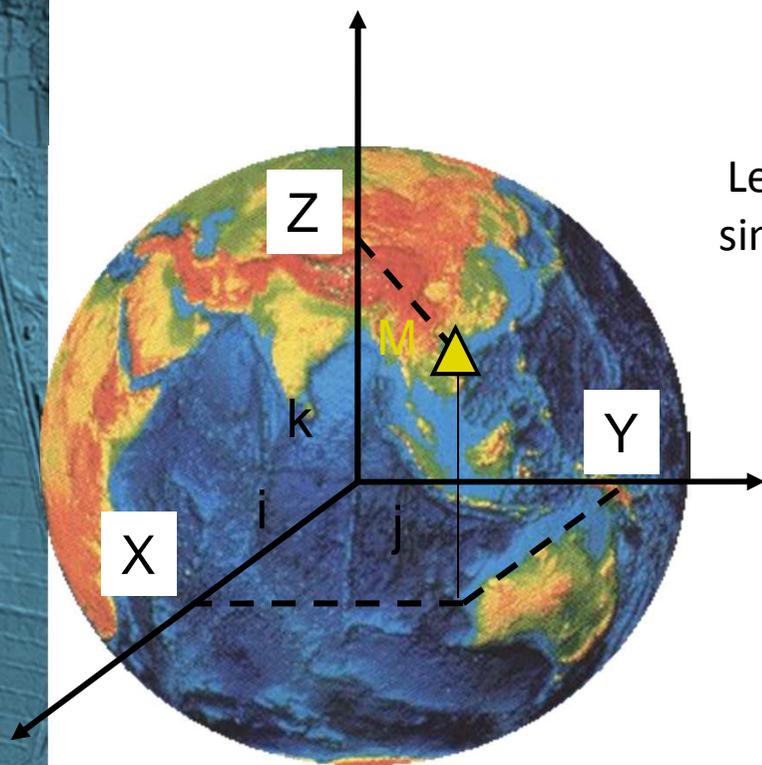
Le point M sur la Terre est repéré
par ses coordonnées géocentriques cartésiennes (X,Y,Z)
dans le référentiel géodésique

Notions de système de coordonnées et système géodésique

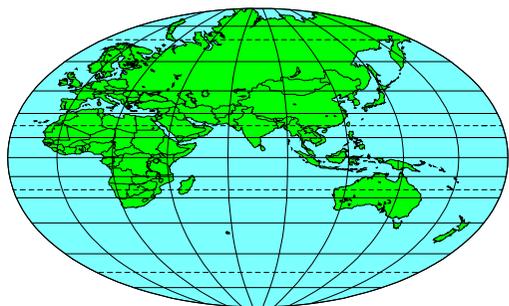
- Référentiel géodésique et coordonnées cartésiennes
- **Ellipsoïde géodésique et coordonnées géographiques**
- Champ de pesanteur et altitudes
- Projections et coordonnées planes
- Notions de système de référence



Modélisation de la forme de la Terre



Les coordonnées cartésiennes (X,Y,Z) ne sont pas simples à utiliser... *notamment pour les calculs de distance sur la terre...*



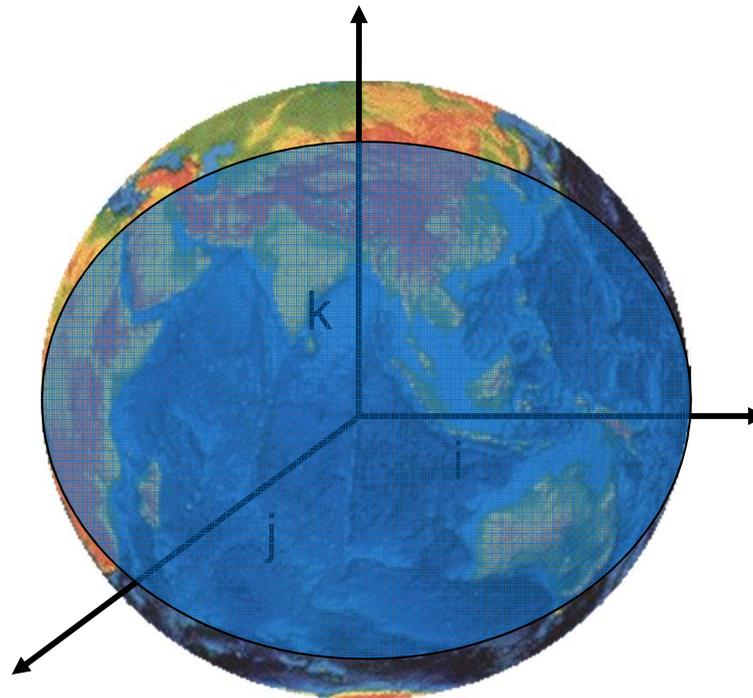
Définition d'une surface mathématique simple qui permette de modéliser au mieux la forme de la Terre :

L'ellipsoïde de référence

Définition de l'ellipsoïde de référence

Ellipsoïde de révolution aplati tel que :

- centre confondu avec l'origine O du référentiel géodésique
- petit axe confondu avec l'axe (O;k)
- aplatissement et taille proches de la forme de la Terre



Surface mathématique permettant de modéliser au mieux la Terre

Définition de l'ellipsoïde de référence

Définition géométrique

Caractéristiques de l'ellipsoïde

a = demi grand axe

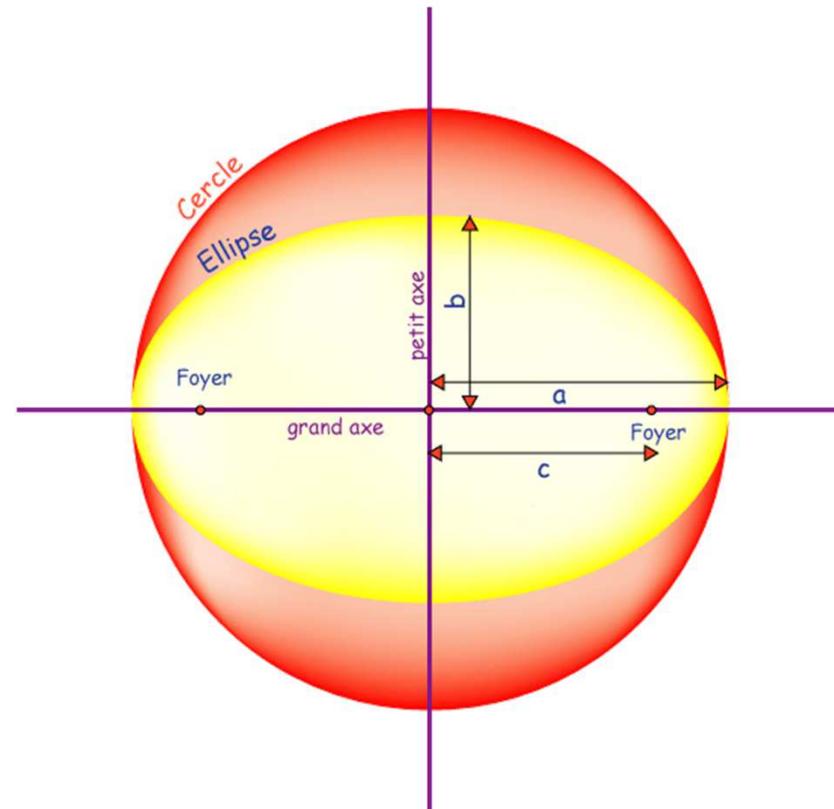
b = demi petit axe

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

Excentricité e

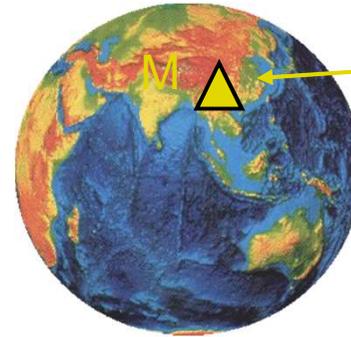
$$e^2 = (a^2 - b^2) / a^2 = 2f - f^2$$

$$e'^2 = (a^2 - b^2) / b^2$$



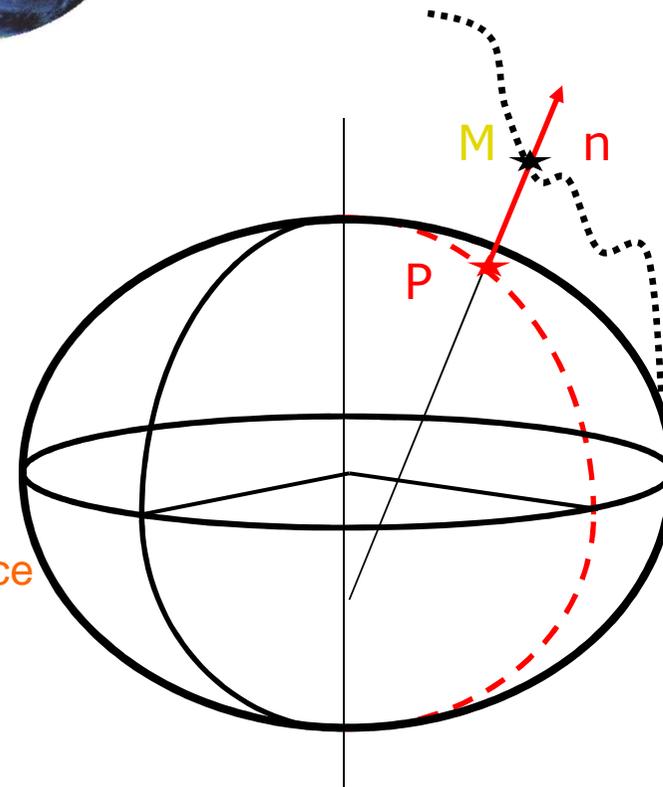
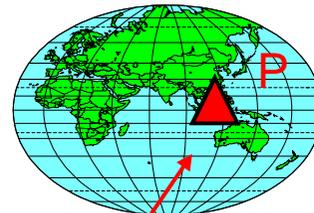
Coordonnées géographiques

Réalité
La Terre



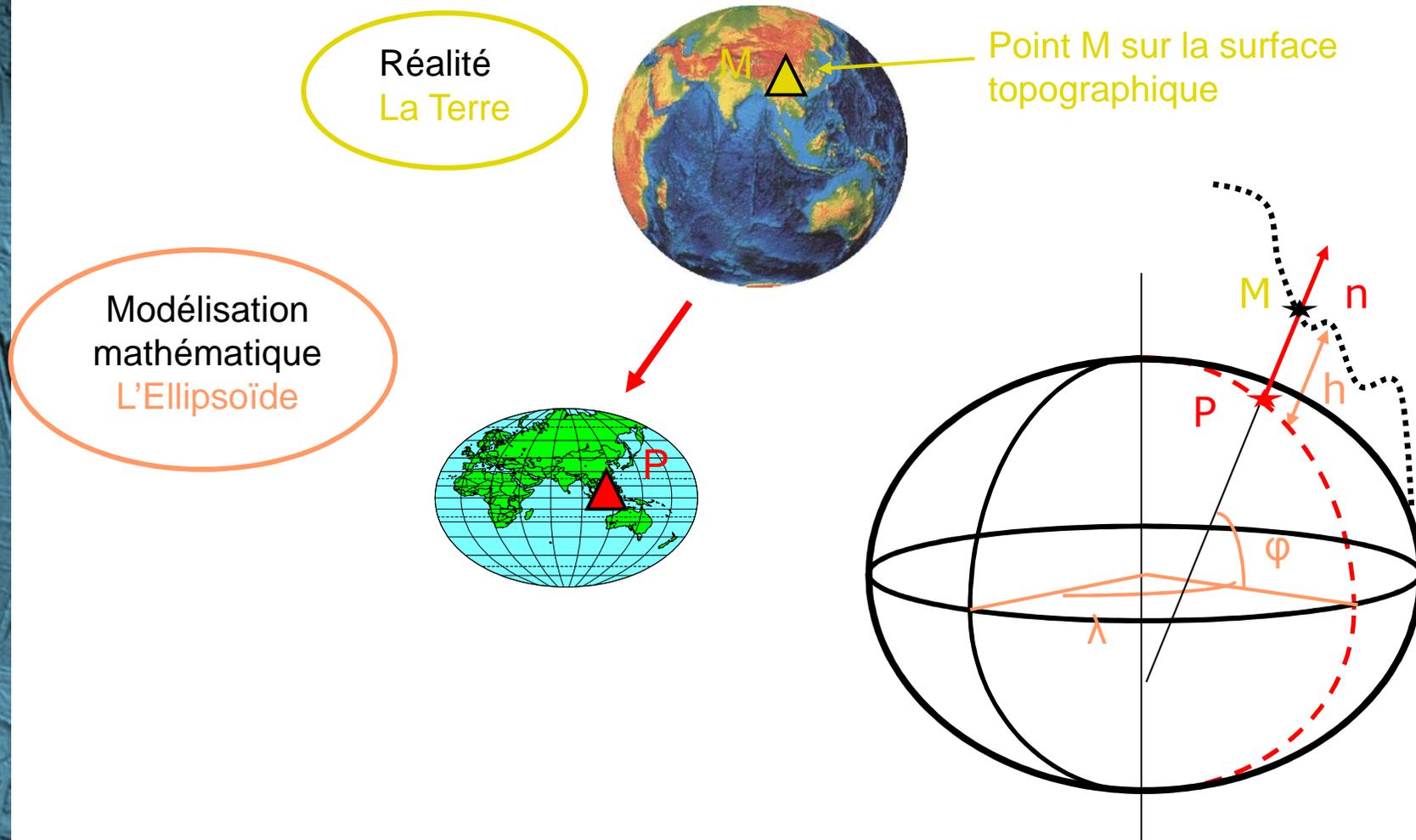
Point M sur la surface
topographique

Modélisation
mathématique
L'Ellipsoïde



Projection du point M sur l'ellipsoïde de référence
géodésique selon la normale à l'ellipsoïde

Coordonnées géographiques



Le point M sur la Terre est repéré par ses coordonnées géographiques (λ, ϕ, h) :
coordonnées (λ, ϕ) du point P sur l'ellipsoïde de référence géodésique et hauteur h du point
M au-dessus de l'ellipsoïde (distance algébrique MP)

Notions de système de coordonnées et système géodésique

- Référentiel géodésique et coordonnées cartésiennes
- Ellipsoïde géodésique et coordonnées géographiques
- **Champ de pesanteur et altitudes**
- Projections et coordonnées planes
- Notions de système de référence



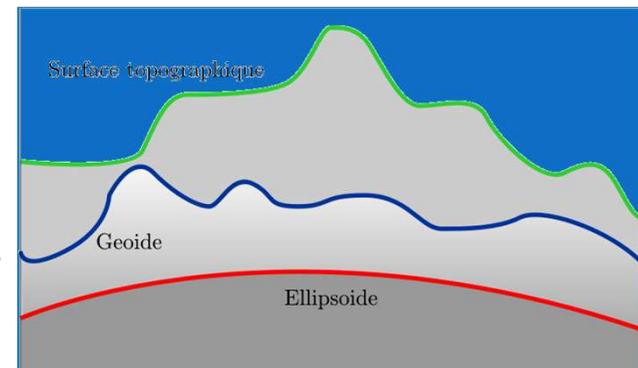
Connaître l'altitude d'un point M

Définition usuelle de l'altitude

La notion d'altitude répond à la demande des aménageurs du territoire de pouvoir quantifier de manière « simple » l'éloignement par rapport au niveau de la mer.

Cette « hauteur au-dessus du niveau de la mer » doit répondre à certains critères :

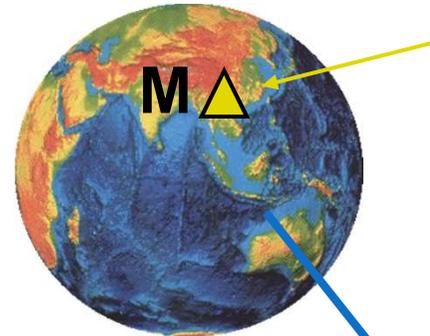
- exprimée en mètres,
- nulle à la surface de la mer,
- permettre à l'eau de couler dans le bon sens,
- constante sur une surface horizontale,
- les différences d'altitudes doivent être proches des dénivelées mesurées.



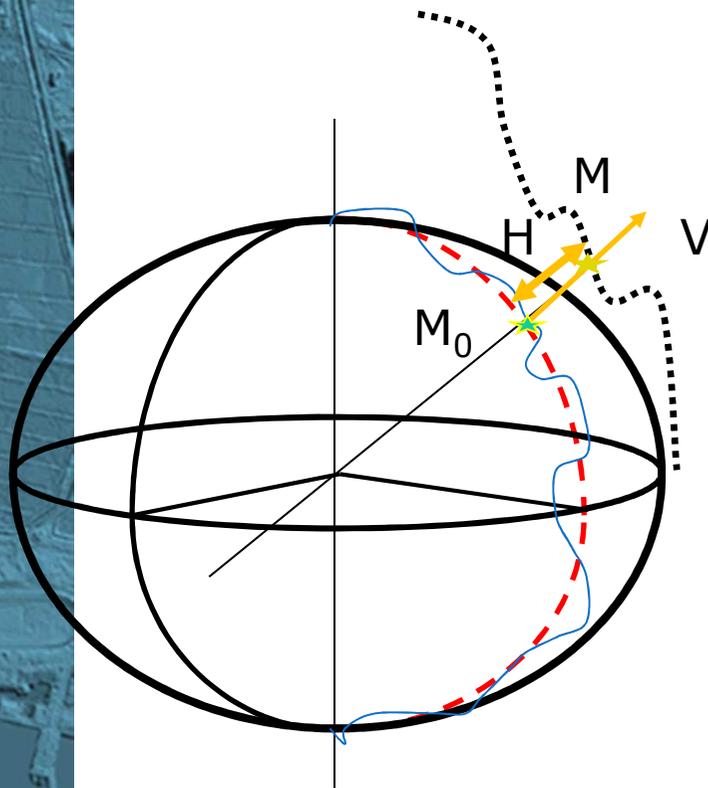
Connaître l'altitude d'un point M

Point M sur la surface topographique

Réalité
La Terre

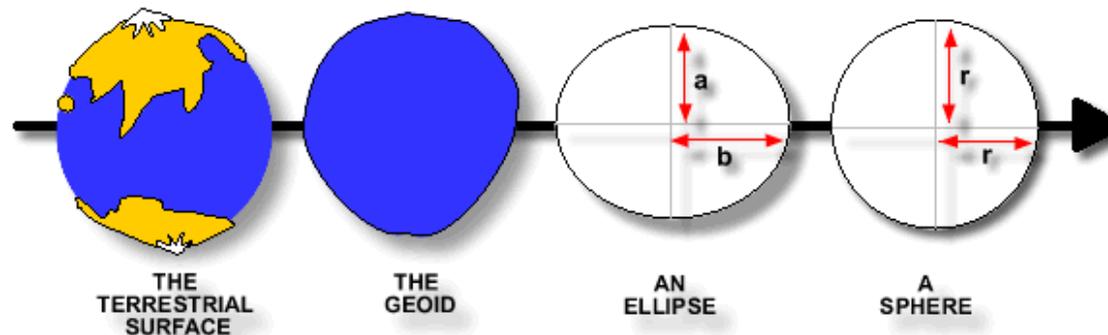


Modélisation
Physique
Le géoïde



L'altitude H du point M correspond à son éloignement par rapport au géoïde : distance algébrique M_0M

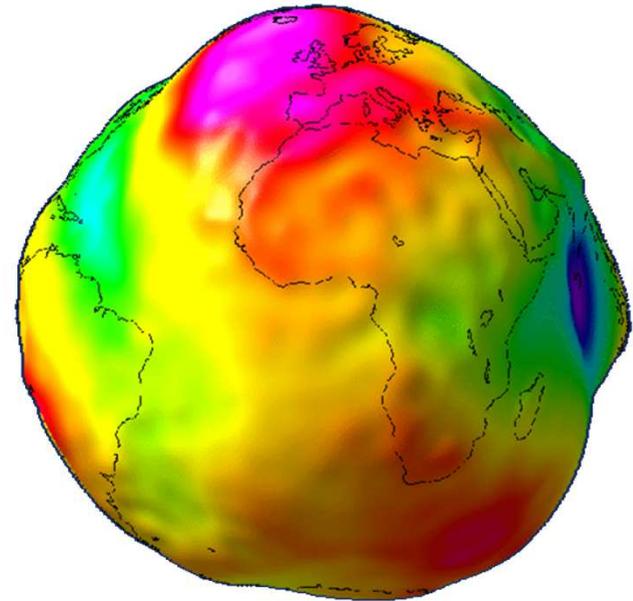
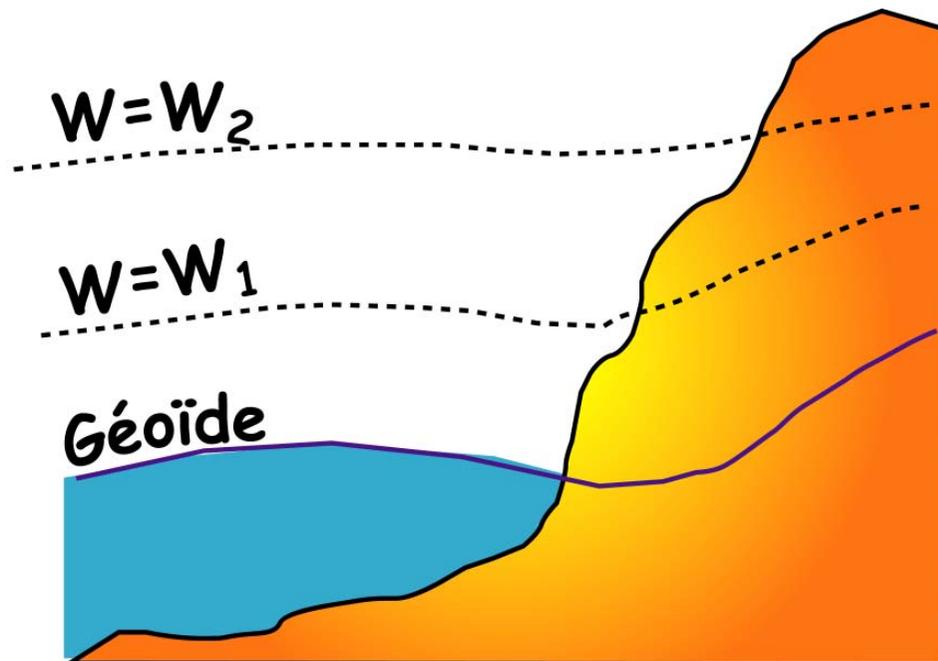
De l'ellipsoïde au géoïde



- Surface mathématique, l'ellipsoïde sert à faire des mesures sur la Terre.
- Cependant, pour tenir compte de la réalité de la surface de la Terre, il a fallu définir une autre surface de référence : **le géoïde**.
- Vue de l'espace : Terre = sphère légèrement aplatie aux pôles = forme d'équilibre d'un corps fluide en rotation autour d'un axe.
- Mais à cause du relief, des variations de densité à l'intérieur de la Terre et des forces externes, le champ de pesanteur varie à la surface de la Terre qui n'est pas un corps fluide en équilibre ! Le géoïde n'est donc pas un ellipsoïde de révolution.... Sa surface est irrégulière.

Le géoïde

Surface équipotentielle particulière du champ de pesanteur terrestre assimilable en dehors des terres émergées au niveau moyen des mers



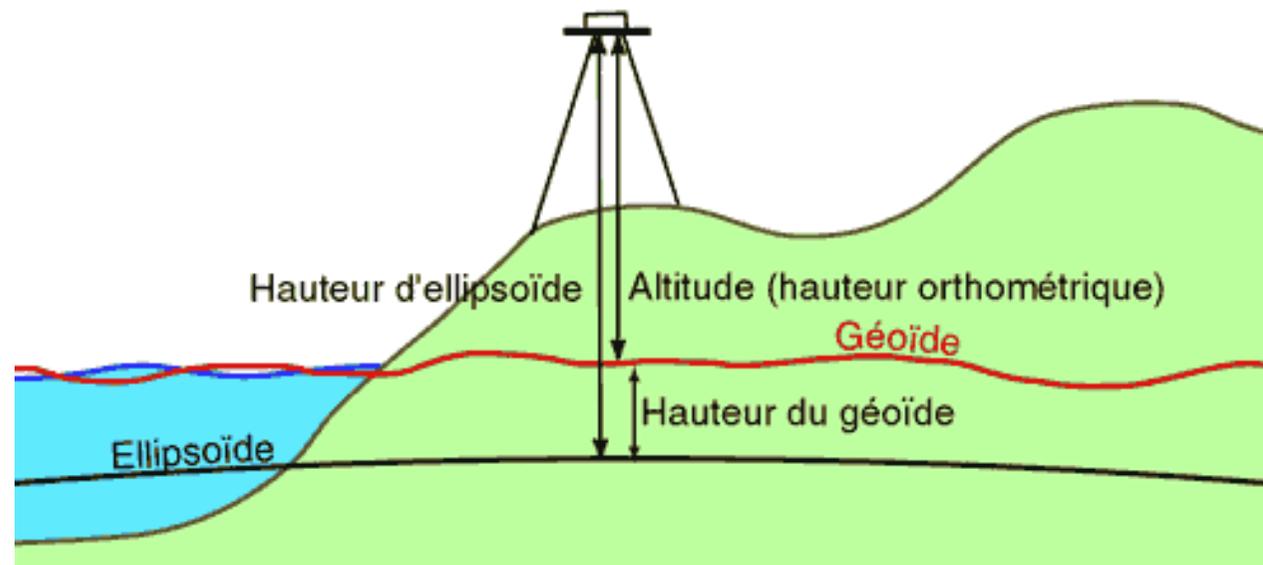
Géodésie physique et altitudes

Hauteur du géoïde

On appelle hauteur du géoïde, notée par convention N , la hauteur du géoïde par rapport à l'ellipsoïde.

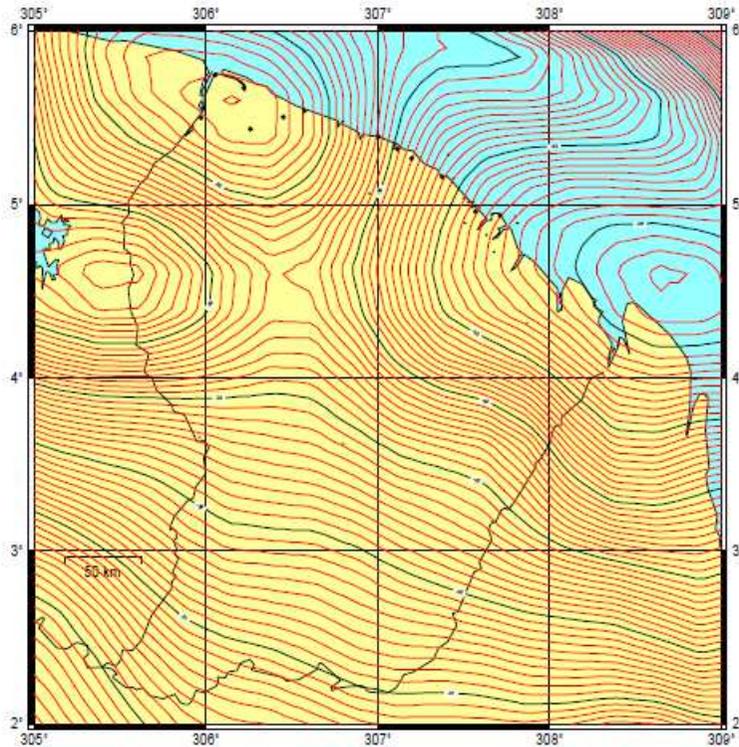
Surface de référence dynamique

Surface de référence géométrique



Altitudes

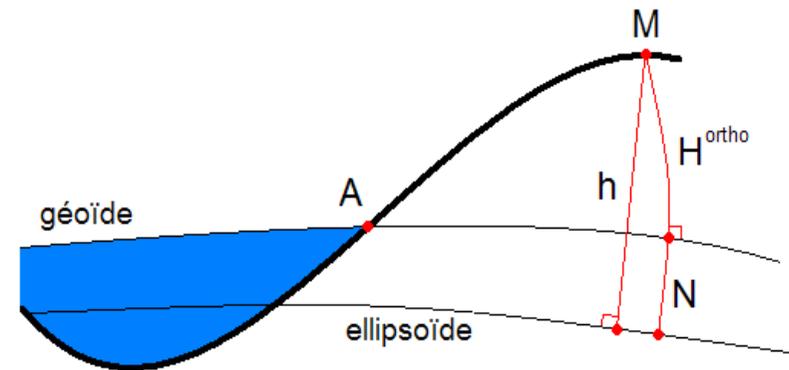
Altitude ortho NGG 1977
 Hauteur/ IAG GRS 1980



GNSS

Modèle

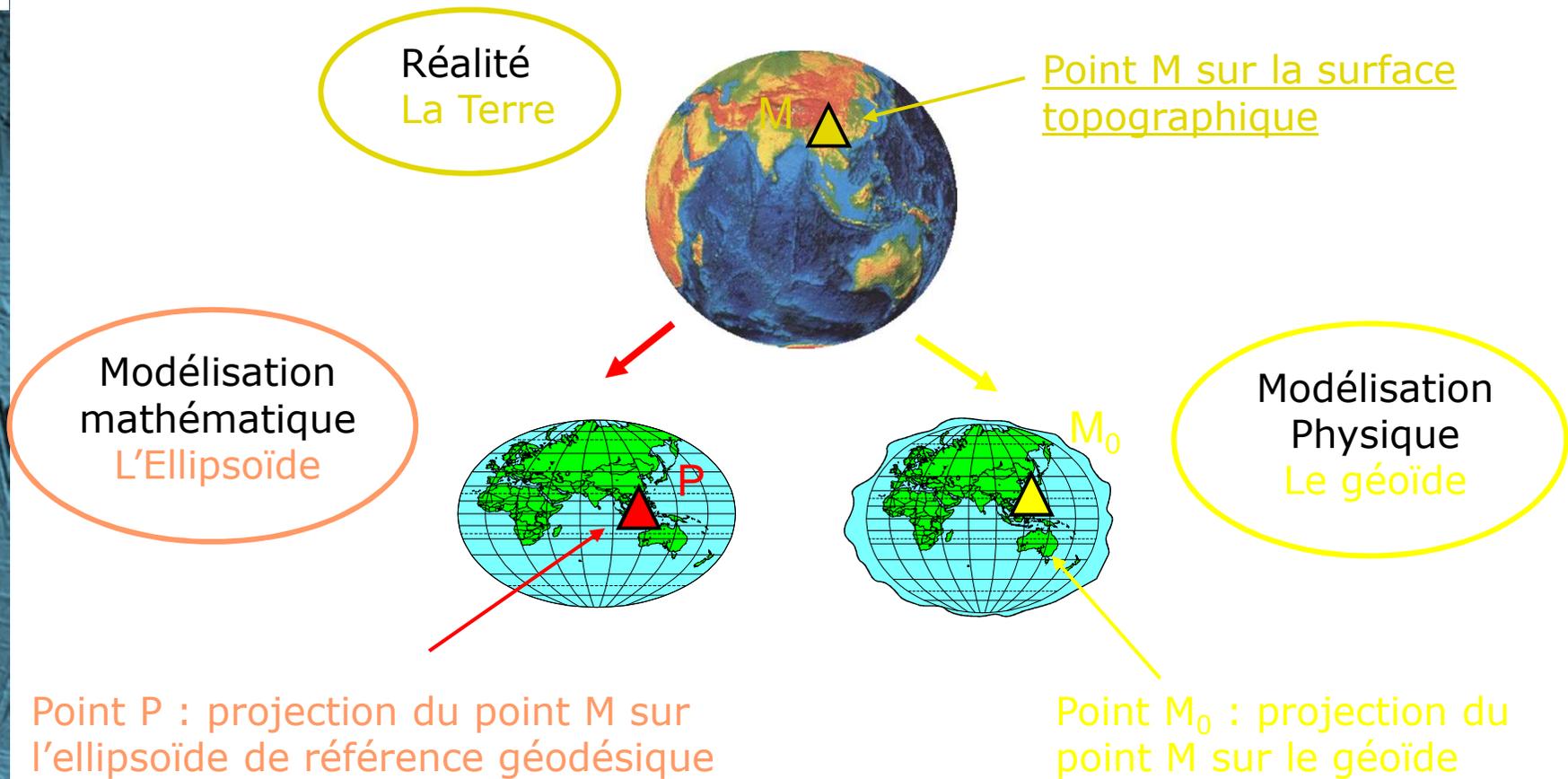
$$h_{GRS80} = H_{NGG\ 1977} + N$$

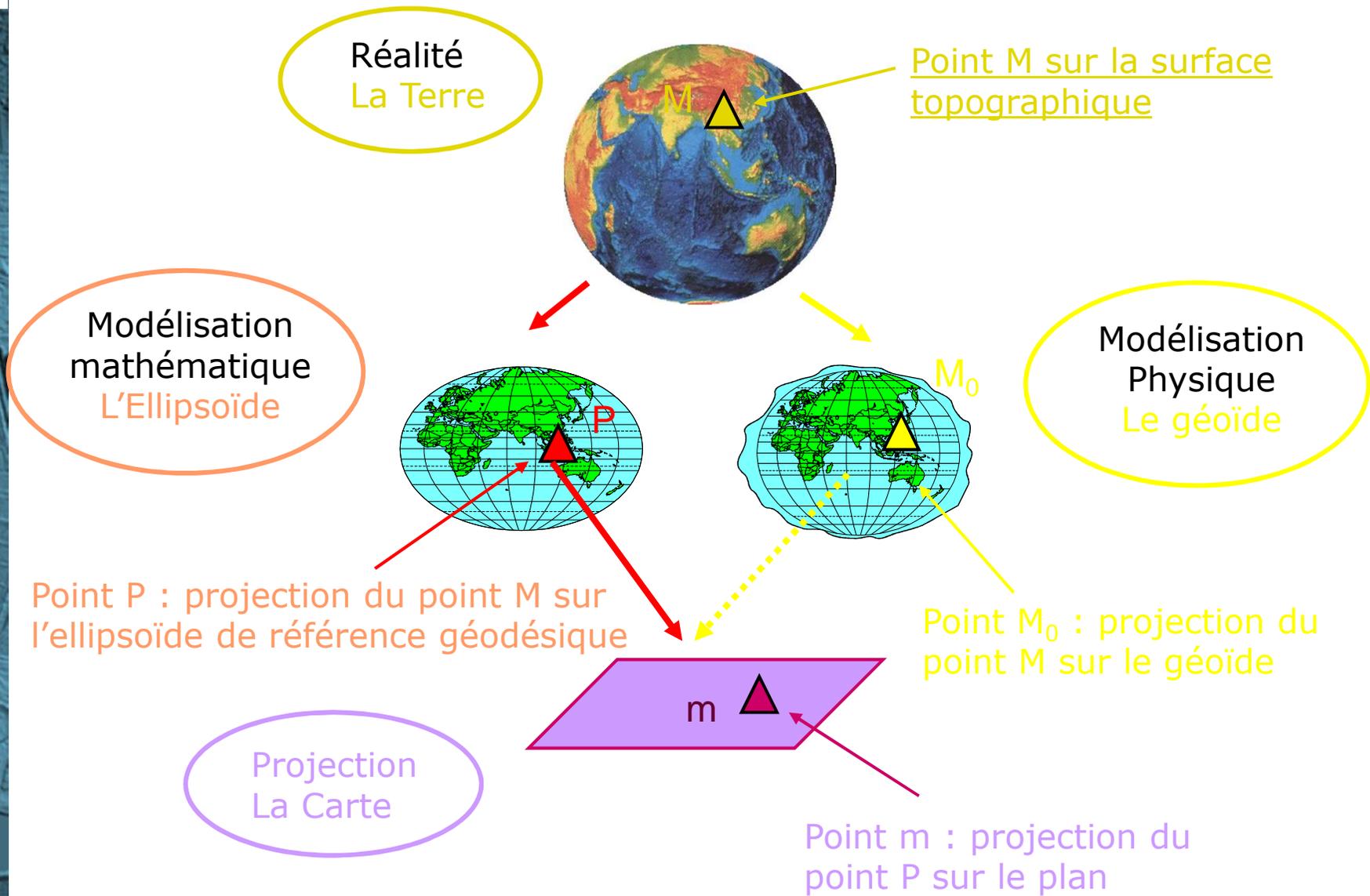


Notions de système de coordonnées et système géodésique

- Référentiel géodésique et coordonnées cartésiennes
- Ellipsoïde géodésique et coordonnées géographiques
- Champ de pesanteur et altitudes
- **Projections et coordonnées planes**
- Notions de système de référence



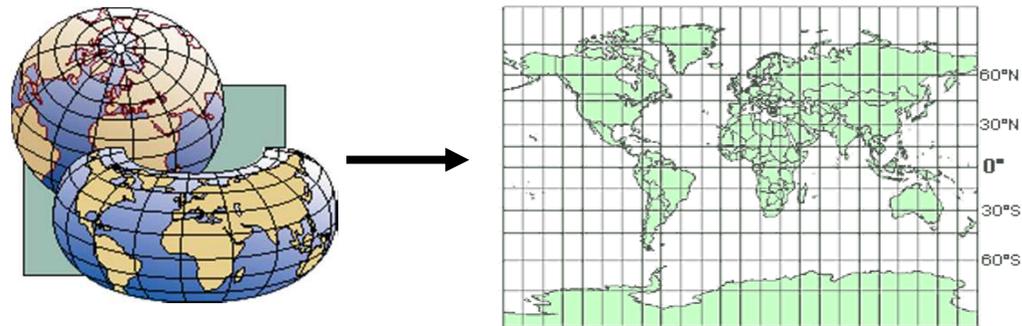




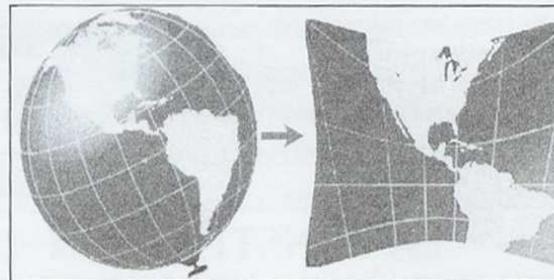
Projection cartographique

Définition

Transposition d'une portion de l'ellipsoïde de référence géodésique représentant la surface terrestre, sur une surface plane, à l'aide d'un **modèle mathématique**.



❑ Comparons la Terre à une orange (ou à un ballon comme dans la figure ci-contre). Si on essaye de mettre à plat l'écorce du fruit, les **déformations seront** telles que l'écorce craquera ; la mise à plat n'aura donc aucun lien avec la forme initiale de l'orange, car il est physiquement impossible de développer une sphère ou une portion de sphère sur un plan (figure 26). Les projections essaient de minimiser ces déformations mais aucune n'est parfaite, c'est-à-dire qu'aucune ne conserve toutes les caractéristiques du terrain : angles, distances et surfaces (figure 27).



Source: Poidevin, 1999

L'ellipsoïde n'est pas une surface développable. Le passage d'une représentation courbe de la Terre à une représentation plane n'est jamais parfait.

Projection cartographique

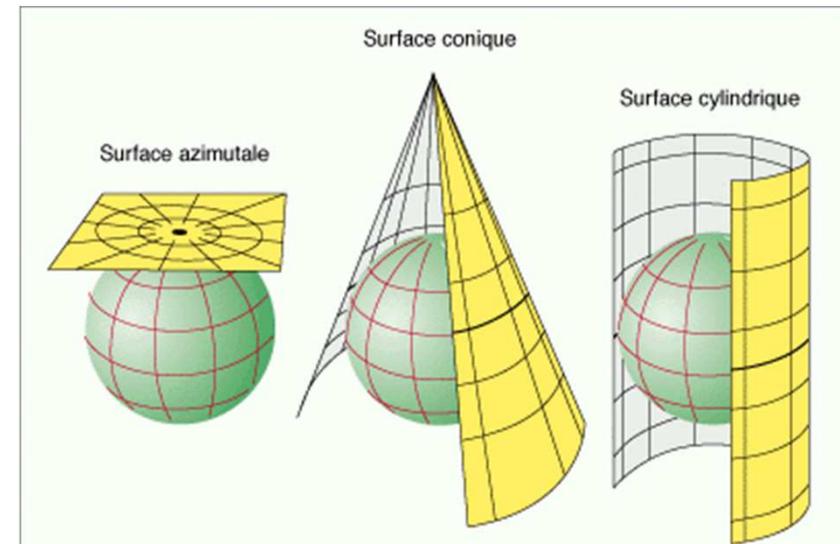
Classification des projections selon leur canevas

La surface de l'ellipsoïde ne peut pas être développée sur un plan sans induire de déformations

3 surfaces développables :

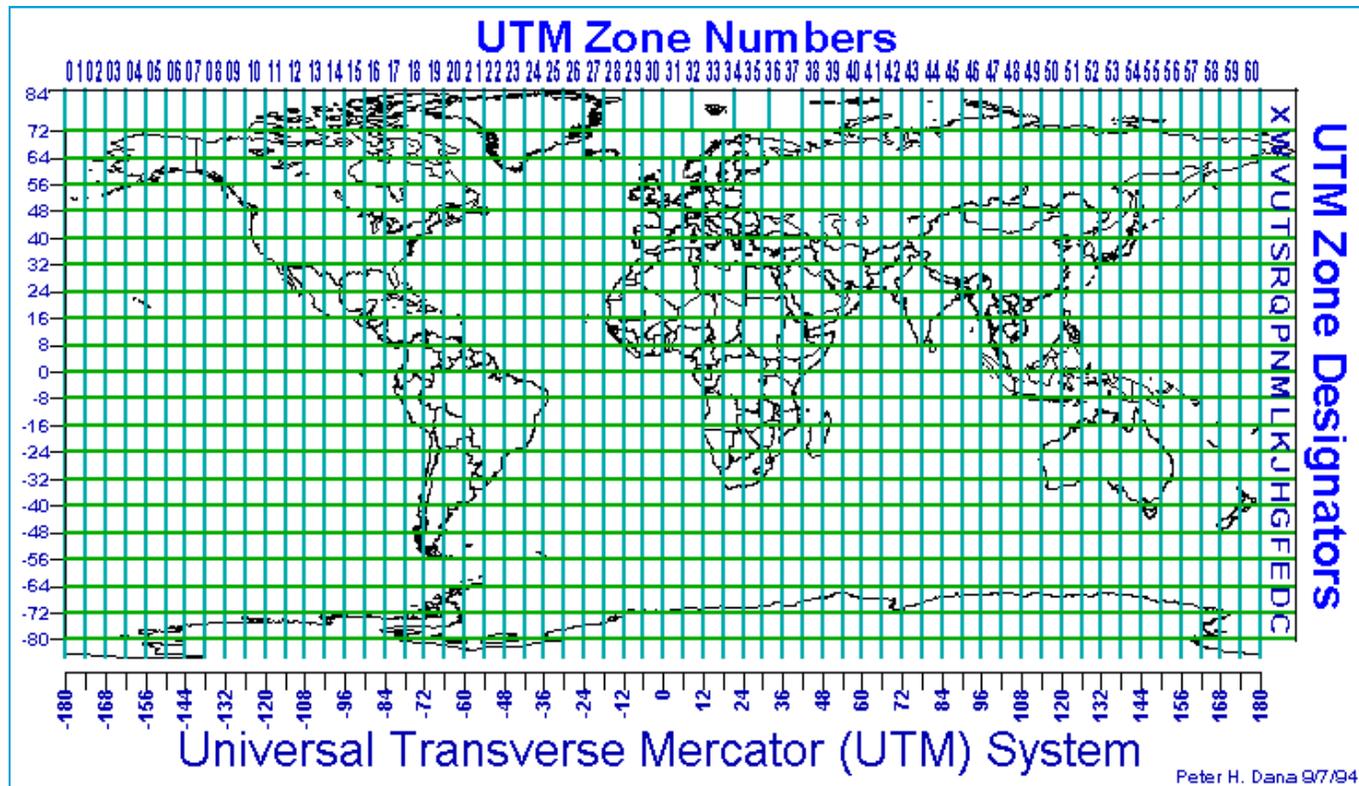
- plan
- cône
- cylindre

utilisées pour représenter l'ellipsoïde sur un plan



Projection cartographique

Exemple de projection : projection cylindrique transverse



Notions de système de coordonnées et système géodésique

- Référentiel géodésique et coordonnées cartésiennes
- Ellipsoïde géodésique et coordonnées géographiques
- Champ de pesanteur et altitudes
- Projections et coordonnées planes
- **Notions de système de référence**



Notions de système de référence

Les différents systèmes de coordonnées

Cartésienne Géocentrique	(X,Y,Z)	O voisin du centre des masses de la Terre (O, i, j, k) repère affine (O, k) voisin de l'axe des Pôles (O, i, k) proche du plan méridien origine
Géographique	(λ, ϕ, h)	λ = longitude = angle mesuré dans le plan équatorial entre le méridien de M et le méridien origine Φ = latitude = angle mesuré dans le plan méridien de M entre le plan équatorial et la normale au point M
Géographique	(λ, ϕ, H)	h = hauteur au dessus de l'ellipsoïde de M le long de la normale en M H = altitude = hauteur au-dessus du géoïde de M le long de la verticale en M
Plane	(E,N,h)	Coordonnées en projection de M = Coordonnées cartésiennes (E,N) de m , image de M dans le plan de projection muni du repère orthonormé (O,e,n)
Plane	(E,N,H)	

Notions de système de référence

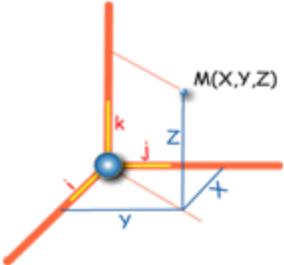
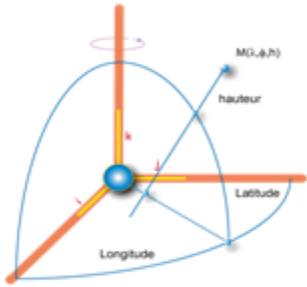
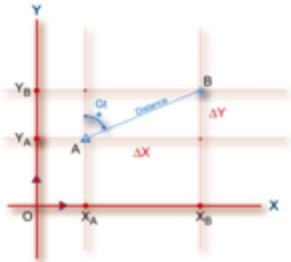
Les différents systèmes de coordonnées

L'utilisation de coordonnées terrestres nécessite la **définition** préalable complète des **éléments géodésiques** sur lesquels les coordonnées s'appuient: **référentiel géodésique, ellipsoïde, référentiel altimétrique,...**

	(X,Y,Z)	(λ,φ,h)	(E,N,h)	(λ,φ,H)	(E,N,H)
Référentiel géodésique	X	X	X	X	X
Ellipsoïde et méridien origine	X	X	X	X	X
Représentation plane			X		X
Unité angulaire		X		X	
Unité linéaire planimétrique			X		X
Référentiel altimétrique				X	X

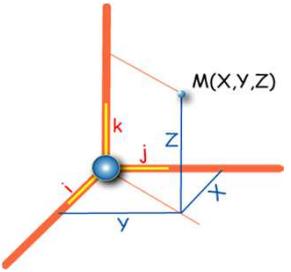
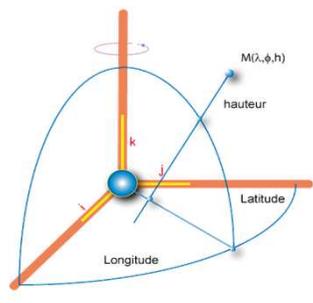
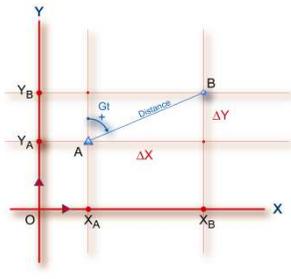
Notions de système de référence

Les différents systèmes de coordonnées

<p><u>CARTESIENNES</u></p> <p>X, Y, Z</p>		<p>• SYSTEME DE REFERENCE</p>
<p><u>GEOGRAPHIQUES</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Latitude : φ • Longitude : λ • hauteur ellipsoïdale : h 		<p>* SYSTEME DE REFERENCE</p> <p>• ELLIPSOIDE</p>
<p><u>PLANES</u></p> <p>E, N</p>		<p>* SYSTEME DE REFERENCE</p> <ul style="list-style-type: none"> * ELLIPSOIDE * PROJECTION

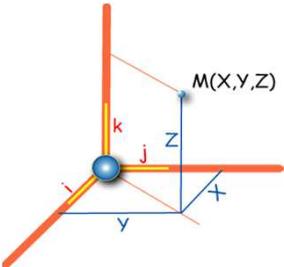
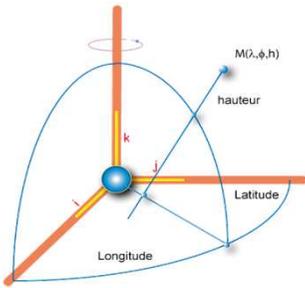
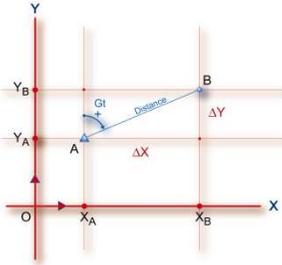
Notions de système de référence

Les différents systèmes de coordonnées

<p><u>CARTESIENNES</u></p> <p>X, Y, Z</p>		<p>SYSTEME DE REFERENCE</p> <p>RGFG 95 : Réseau Géodésique Français de Guyane 1995</p>
<p><u>GEOGRAPHIQUES</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Latitude : ϕ • Longitude : λ • hauteur ellipsoïdale : h 		<p>RGFG 95</p> <p>Ellipsoïde : IAG-GRS80</p> <p>a = 6378137 m</p> <p>f = 1 / 298.257222101</p> <p>Méridien : Greenwich</p>
<p><u>PLANES</u></p> <p>E, N</p>		<p>RGFG 95</p> <p>Ellipsoïde : IAG-GRS80</p> <p>UTM Nord fuseau 22</p>

Notions de système de référence

Les différents systèmes de coordonnées

<p><u>CARTESIENNES</u></p> <p>X, Y, Z</p>		<p>SYSTEME DE REFERENCE</p> <p>CSG 67 (Centre spatial guyanais 1967)</p>
<p><u>GEOGRAPHIQUES</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Latitude : ϕ • Longitude : λ • hauteur ellipsoïdale : h 		<p>CSG 1967</p> <p>Point fondamental : Borne Diane à Kourou</p> <p>Ellipsoïde : Hayford 1909</p> <p>Méridien : Greenwich</p>
<p><u>PLANES</u></p> <p>E, N</p>		<p>RGFG 95</p> <p>Ellipsoïde : Hayford 1909</p> <p>UTM Nord fuseaux 21 et 22</p>



Réalisation des réseaux géodésiques

- Réseaux planimétriques
- Réseaux altimétriques
- Réseaux tridimensionnels

Réalisation des réseaux géodésiques

C'est la réalisation pratique d'un système de référence par :

- Un ensemble de points matérialisés (bornes, piliers, repères)
- Un ensemble d'instruments (antennes GNSS)

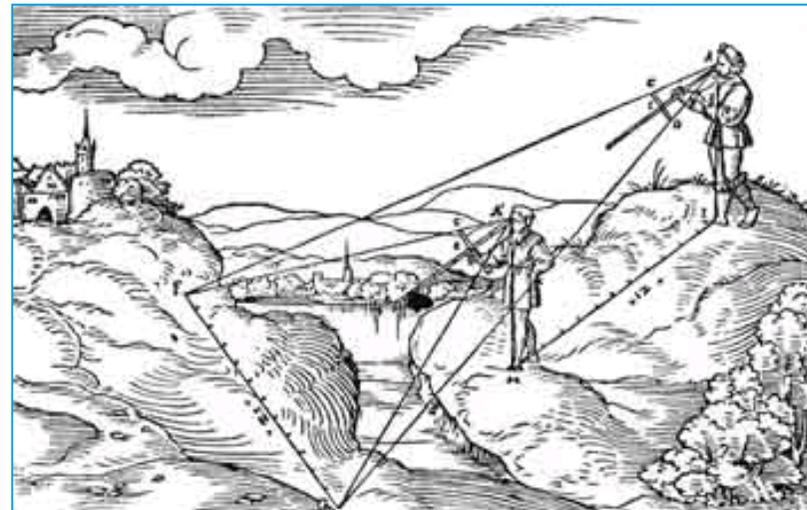


Le système de référence est réalisé par un jeu de mesures géodésiques

➔ position des points physiquement matérialisés dans le système de référence par des coordonnées et des vitesses.

Réalisation des réseaux géodésiques terrestres

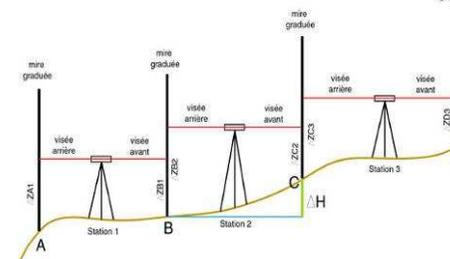
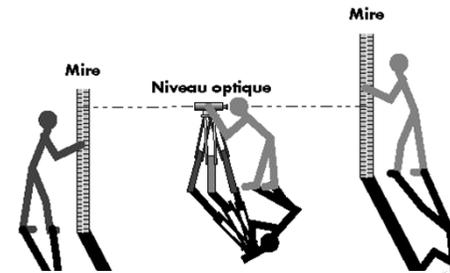
- Les techniques terrestres nécessitent la réalisation de 2 réseaux distincts
 - Un réseau planimétrique $\rightarrow (\lambda, \Phi)$
 - Un réseau altimétrique $\rightarrow H$
- Dans les années 1960, les seules techniques pour élaborer les réseaux géodésiques :
 - Les mesures terrestres d'angles et de distance par triangulation
 - L'astronomie de position



Réalisation des réseaux géodésiques terrestres

Réalisation des réseaux altimétriques

- Les observations...
 - Mesures de nivellement géométrique traditionnel ou motorisé
 - Mesures de gravimétrie



Réalisation des réseaux géodésiques terrestres

Réalisation des réseaux altimétriques

- Le réseau est alors matérialisé par des repères de nivellement





Réalisation des réseaux géodésiques terrestres

Réalisation des réseaux altimétriques

Le réseau NGG 1977

- Un type d'altitude : orthométrique
- Un point fondamental et son altitude conventionnelle associée : tige en fer scellée dans le rocher de la batterie Saint-François à Cayenne (1954)
- Un réseau de repères de nivellement (600 km de réseau et 500 repères de nivellement environ)

Réalisation des réseaux géodésiques spatiaux

- Existence de ces réseaux nécessaire car :
 - Apparition du positionnement par satellites
 - Problèmes géophysiques liés au déplacement des plaques tectoniques
 - Les observations spatiales permettent de déterminer les coordonnées géographiques (λ_g , ϕ_g , h) d'un point à la surface de la Terre
 - Positionnement absolu
 - Réseaux tridimensionnels
 - La réalisation de ces réseaux utilise un ellipsoïde de référence global, centré au centre des masses de la Terre avec une précision centimétrique.
- ➔ Réseaux géocentriques





Réalisation des réseaux géodésiques spatiaux

ITRS (International Terrestrial Reference System)

- Système de référence terrestre de l'International Earth Rotation Service (IERS)
- Ce service scientifique est fondé sur le volontariat
 - Contribution active de l'IGN depuis 1988
 - Plus de 10 centres d'analyses
 - 3 centres de combinaison: IGN, DGFI et NRCAN
- **Le système géodésique RGFG 95 est une réalisation dans le système de référence tridimensionnel ITRS exprimée en ITRF1993 à l'époque 1995.0.**



Réalisation des réseaux géodésiques spatiaux

ITRS (International Terrestrial Reference System)

- Ce système de référence est le plus précis mondialement (qqc cm)
- L'époque de référence des coordonnées des stations doit être publiée pour prendre en compte les phénomènes géophysiques.
- A cause de tous les phénomènes géophysiques, les coordonnées des points de l'IERS sont liées au temps
- Lors du calcul des coordonnées des corrections sont appliquées pour tenir compte d'effets qui ne sont plus négligeables au niveau de précision du système (marées terrestres, pression atmosphérique, ...)
- L'ellipsoïde GRS80 de l'IAG est associé à ce système :
 - $a = 6\,378\,137,00$ m
 - $1/f = 298,257\,222\,101$

Pour toutes informations concernant la diffusion des fiches signalétiques des réseaux RGFG95 et NGG1977 et le téléchargement du logiciel Circé Antilles-Guyane , rendez-vous sur :

<http://geodesie.ign.fr>

The screenshot shows the IGN Geodesy website interface. At the top, there is a navigation bar with the IGN logo and the text 'l'information grandeur nature'. Below this, a menu lists various services: SYSTÈMES GÉODÉSQUES, RÉSEAUX MATÉRIALISÉS, RÉSEAUX PERMANENTS, MÉTROLOGIE, RECHERCHE & DÉVELOPPEMENTS, PRODUITS, and INFORMATIONS. A search bar is located below the menu. The main content area features a 'Questionnaire de satisfaction' link, a 'Logiciels Circé' section with a 'Fils d'actualités Circé' link, and a 'Présentation' section. An 'ACCÈS DIRECT' section provides a link to the 'Serveur de fiches géodésiques'. The page is flanked by two maps: a topographic map on the left and a cadastral map on the right.