



Département Mathématique, Informatique et Géomatique (MIG)

Elément de Module : Topographie

Chapitre 2 : Eléments de Géodésie

EL Hassan EL BRIRCHI

Plan du Chapitre

- ▶ Objectifs de la géodésie
- ▶ Branches de la géodésie
- ▶ Surfaces de références de la Terre : Forme de la terre
- ▶ Dimensions de la Terre
- ▶ Types de coordonnées
- ▶ Référentiel Géodésique (Geodetic Datum)
- ▶ Systèmes de coordonnées géographiques
- ▶ Systèmes de projections (planimétrie)
- ▶ Systèmes Altimétrique
- ▶ Lecture de cartes
- ▶ Transformations entre systèmes de coordonnées
- ▶ Systèmes géodésiques internationales
- ▶ Réseaux géodésiques marocains
- ▶ Projet de modernisation des réseaux géodésiques marocains
- ▶ Intérêt pour la topographie

Objectifs de la géodésie

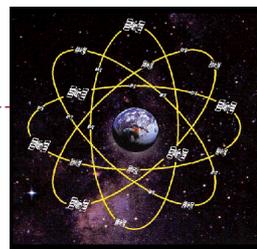
- ▶ Questions de la géodésie
 - ▶ Localisation? Positionnement? 3D? 2D + 1D?
 - ▶ Repères pour la Terre?
 - ▶ Forme de la Terre?
 - ▶ Taille de la Terre?
 - ▶ Approche mathématique et géométrique?
 - ▶ Approche physique? Champ de pesanteur?
 - ▶ Transformations de coordonnées?
 - ▶ Systèmes et Réseaux Géodésiques?
 - ▶ ...

▶ 49

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Branches de la géodésie

- ▶ Géodésie Spatiale (3D)
 - ▶ Méthodes et Techniques Spatiales
 - ▶ Mesure 3D de la position
 - ▶ Coordonnées géocentriques ou tridimensionnelles (X,Y,Z) dans le repère géocentrique
 - ▶ Ou coordonnées géographiques (Longitude, Latitude Géographique, Hauteur Ellipsoïdale) ou (λ, φ, h)
 - ▶ Détermination de la forme de la Terre par méthodes spatiales
 - ▶ Systèmes et Réseaux Géodésiques tridimensionnels
 - ▶ Systèmes de positionnement ou de navigation globaux par satellites : GPS, GLONASS, GALILEO,...
 - ▶ Autres techniques de positionnement : VLBI, Doppler,...



▶ 50

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Branches de la géodésie

- ▶ Géodésie bidimensionnelle (2D)
 - ▶ Approche Géométrique et Mathématique essentiellement
 - ▶ Composante planimétrique ou horizontale de la position
 - ▶ Coordonnées de projection : (East, North), ou (X,Y) sur le plan de projection
 - ▶ Mais aussi : coordonnées (Longitude, Latitude), ou (λ, φ) sur la surface (2 Dimensions) de l'ellipsoïde
 - ▶ (East, North) = F (Longitude, Latitude Géographique)
 - ▶ F: Fonction de Projection Cartographique
 - ▶ Etude des fonctions de projection, notamment leur erreur ou déformation qu'elles apportent aux paramètres (Linéaires, Surfaiques, Angulaires) de l'ellipsoïde en le projetant vers le plan.
 - ▶ Etude de la Forme Mathématique de la Terre : Sphère, Ellipsoïde
 - ▶ Systèmes et Réseaux Géodésiques Planimétriques

▶ 51

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Branches de la géodésie

- ▶ Géodésie Physique (2D + 1D)
 - ▶ Approche Physique essentiellement
 - ▶ Composante altimétrique ou verticale essentiellement
 - ▶ Coordonnée altimétrique : Altitude, notamment l'Altitude Orthométrique selon la verticale du lieu
 - ▶ Etude du champ de pesanteur terrestre et de son Géopotential
 - ▶ Etude de la forme physique de la Terre : Géoïde, Quasi-Géoïde, Telluroïde.
 - ▶ Systèmes et Réseaux Géodésiques Altimétriques

▶ 52

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Surfaces de références de la Terre : Forme de la terre

▶ Sphère

- ▶ Forme géométrique simple, Rayon unique
- ▶ Anciennes déterminations du rayon de la Terre
- ▶ Sert toujours comme surface d'approximation valable jusqu'à quelques dizaines de kilomètres
- ▶ Dans ce cas elle permet de faciliter les calculs
- ▶ Plusieurs sphères d'approximation
- ▶ Trigonométrie sphérique
- ▶ Sphère céleste
- ▶ **EX** : calculer X, Y, Z en fonction de λ, φ et h pour le cas de la sphère

▶ 53

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Surfaces de références de la Terre : Forme de la terre

▶ Ellipsoïde

- ▶ Surface de révolution.
 - ▶ **Ex** : Segment parallèle, Segment incliné, Arc de cercle, demie-ellipse,...
- ▶ Rotation d'une demie-ellipse autour d'un axe (axe de révolution) coplanaire avec elle.
- ▶ Modélise le caractère aplati aux pôles de la terre : aplatissement f .
- ▶ Surface de référence pour la définition des coordonnées géographiques
- ▶ Lignes particulières : Parallèles, Méridiens, Loxodromie (direction constante), Orthodromie ou Ligne Géodésique (plus court chemin tracé sur l'ellipsoïde), Section Normale (au point dans une direction)
- ▶ Pôle Nord, Pôle Sud, Equateur, Méridien de Greenwich.
- ▶ Normale, Plan Tangent au point
- ▶ Nord Géographique, Azimut d'une direction
- ▶ Différents rayons de courbures au point : simple, normal, principal
- ▶ **EX** : relations entre paramètres de l'ellipsoïde : a, b, f, e, c

▶ 54

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Surfaces de références de la Terre : Forme de la terre

▶ Géoïde

- ▶ Surface équipotentiel du champ d'accélération de la pesanteur terrestre, \mathbf{g} , définie par $W = W_0$. Avec W : géopotential
- ▶ Approché par le Niveau Moyen des Mers (NMM) : surface d'eau au repos.
- ▶ En négligeant le terme de marée causé par les autres forces le NMM est l'effet du terme restant : pesanteur.
- ▶ Surface de référence pour les altitudes orthométriques : $H^{(o)}$ ou Z topographique. Sur le géoïde $Z = 0$.
- ▶ Forme physique non géométrique : déterminée par rapport à l'ellipsoïde.
- ▶ Hauteur du géoïde ou ondulation du géoïde : N , qui sépare le géoïde de l'ellipsoïde
- ▶ Verticale, Plan Horizontale, Déviation de la Verticale au point (angle entre la verticale et la normale)
- ▶ Grandeurs astronomique : redéfinition des grandeurs géodésiques ou géométrique sur l'ellipsoïde (Longitude, Latitude Géographique, Azimut, Méridien, parallèle, Nord, ...) en tenant compte des composantes de la déviation de la verticale

▶ 55

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Surfaces de références de la Terre : Forme de la terre

▶ Quasi-Géoïde

- ▶ Surface de référence pour les altitudes normales
- ▶ Hauteur du quasi-géoïde ou anomalie de hauteur : ζ , qui sépare le quasi-géoïde de l'ellipsoïde
- ▶ Champs normal (champ théorique) : généré par l'ellipsoïde et approxime le champ de pesanteur.
- ▶ Le champ normal dérive du Potentiel normal : U .
- ▶ L'ellipsoïde est considéré comme surface équipotentielle du champ normal.
- ▶ Le champ normal est calculé :
 - ▶ Champ normal aux pôles : 2 constantes de l'ellipsoïde
 - ▶ Champ normale sur la surface de l'ellipsoïde de référence : Formule de Somigliana
 - ▶ Champ normale sur la surface de la terre ou dans l'espace : prolongement à partir du champ normal sur la surface de l'ellipsoïde par un développement limité en fonction de la hauteur ellipsoïdale: h .
- ▶ Anomalie de Potentiel : différence entre le géopotential et le potentiel normal ($T = W - U$)

▶ 56

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

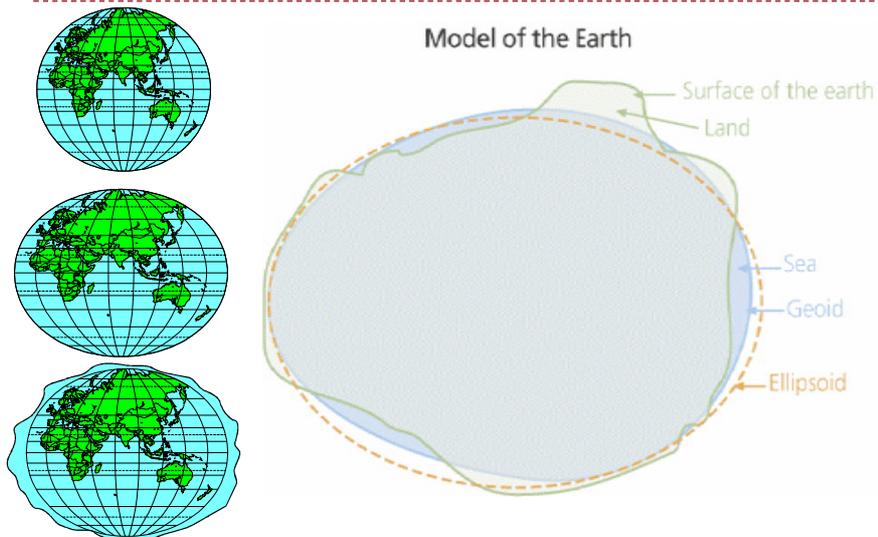
Surfaces de références de la Terre : Forme de la terre

- ▶ Surface de la terre, différente des surfaces de références
- ▶ La surface de la terre est une surface non équipotentielle.
- ▶ La surface de la Terre peut être représentée par un Modèle Numérique de Terrain (MNT) (Matrice d'altitudes qui sont les différences entre la surface de la terre et les surfaces de références selon le type d'altitudes)
- ▶ Cette représentation est fiable en fonction de la résolution et de la précision du MNT.
 - ▶ *Ex: Calcul des coordonnées sur une grille MNT*
- ▶ Schéma global

▶ 57

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Surfaces de références de la Terre : Forme de la terre



▶ 58

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Dimensions de la Terre

- ▶ Paramètres de définition de l'ellipsoïde
 - ▶ Demi-grand axe : a
 - ▶ Demi-petit axe : b
 - ▶ Aplatissement : $f = (a-b)/a$
- ▶ Plusieurs déterminations
 - ▶ À des dates différentes
 - ▶ Par des méthodes différentes
 - ▶ Par des instruments différents
 - ▶ Par des équipes différentes
- ▶ Ellipsoïde locaux
 - ▶ Déterminés par méthodes classiques (calcul de l'arc méridien)
 - ▶ Proche de la forme de la surface de la terre sur le territoire considéré
 - ▶ Plus anciens
 - ▶ Ex : Clarke 1880 Maroc, Clarke 1880 France, ...
- ▶ Ellipsoïde globaux
 - ▶ Déterminés par méthodes spatiales : Orbitographie précise des satellites + temps de propagation vers des stations de trajectographie (converti en angles et distances)
 - ▶ Valable pour toute la terre
 - ▶ Plus récents
 - ▶ Ex : GRS67, WGS72, GRS80 (Adopté par l'IAG en 1980), WGS84 (utilisé par le système GPS, Base du système de projection international UTM)

▶ 59

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Dimensions de la Terre

- ▶ Valeurs approchées :

$$a \approx 6378km$$

$$f \approx 1/300$$

- ▶ Périmètre à l'équateur : $2\pi a \approx 40000km$

- ▶ Répertoire des paramètres géodésiques :

<http://georepository.com/home.html>

- ▶ EX : rayon du parallèle pour le cas de la sphère

▶ 60

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Dimensions de la Terre

- Tableau des principaux ellipsoïdes : (Ex : compléter le tableau)

Ellipsoïde	a	b	1/f	Code International
Clarke 1866	6378206.4	6356583.8		7008
Clarke 1880 IGN	6378249.2	6356515		7011
Clarke 1880 RGS (Modified)	6378249.145		293.465	7012
Hayford (International 1924)	6378388	6356911.946		7022
GRS1967	6378160		298.247167427	7036
GRS1980	6378137		298.257222101	7019
WGS1972	6378135		298.26	7043
WGS1984	6378137		298.257223563	7030

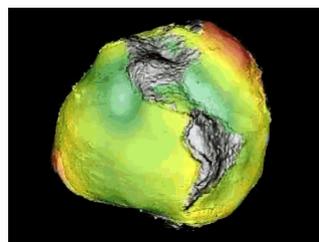
► 61

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Dimensions de la Terre

- Modèle de géoïde : calcul des valeurs de N pour produire des grilles de géoïde sur un territoire donné.
- Méthodes de calcul du géoïde :
- Modèle astro-géodésique
 - Formule de développement en harmonique sphérique
 - Gravimétrie Spatiale
 - Modèle gravimétrique
 - Méthode par GPS et Nivellement

$$N \in [-100m, +100m]$$

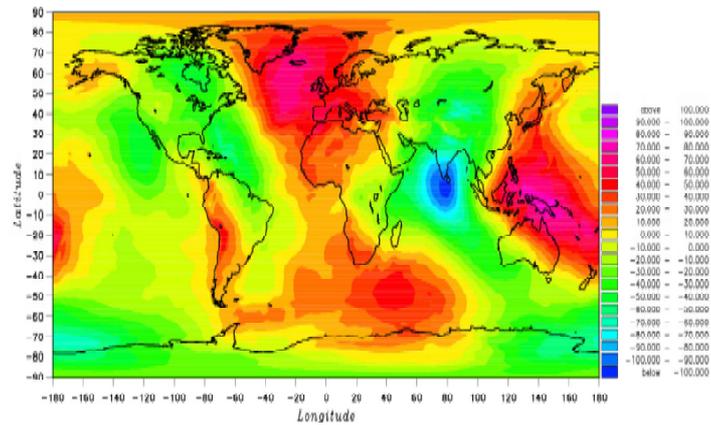


► 62

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Dimensions de la Terre

► Modèle de géoïde



► 63

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Types de coordonnées

- Géocentrique : (X, Y, Z)
- Géographique 2D : (λ, φ)
- Géographique 3D : (λ, φ, h)
- Vertical ($H^{(o)}$) ou Z
- Projeté : (E, N) ou (X, Y)

► 64

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Référentiel Géodésique (Geodetic Datum)

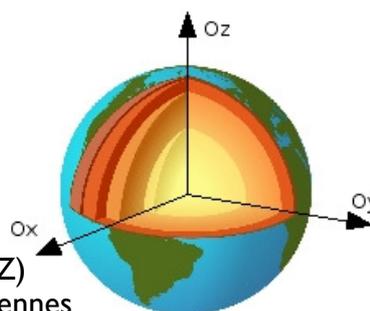
- ▶ "What is a geodetic datum?"
- ▶ The [Geodetic Glossary](#) (National Geodetic Survey, National Ocean Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, Rockville, MD, September 1986) pp. 54, defines geodetic datum as:
 - ▶ "A set of constants specifying the coordinate system used for geodetic control, i.e., for calculating the coordinates of points on the Earth."
 - ▶ "The datum, as defined in (1), together with the coordinate system and the set of all points and lines whose coordinates, lengths, and directions have been determined by measurement or calculation."
- ▶ These differing definitions require caution when using the word "datum."
 - ▶ The first definition makes datum synonymous with the selection of a reference coordinate system (origin and orientation).
 - ▶ The second definition makes datum synonymous with a list of coordinates of the control points.
 - ▶ When the first definition is used, the published coordinates of control points can change when better measurements allow better determinations.
 - ▶ With the second definition, a change in coordinates should result in a new datum. NGS has used the first definition for NAD 1983."
- ▶ « Source : National Geodetic Survey (NGS) <http://www.ngs.noaa.gov/faq.shtml#WhatDatum> »

▶ 65

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Référentiel Géodésique (Geodetic Datum)

- ▶ Repère géocentrique
 - ▶ O : centre de masses de la terre
 - ▶ OZ : axe de rotation de la terre
 - ▶ (OX, OY) : plan de l'équateur
 - ▶ (OX, OZ) : plan méridien d'origine (Greenwich)
- ▶ Coordonnées géocentriques : (X,Y,Z) appelées aussi coordonnées cartésiennes ou tridimensionnelles
- ▶ Détermination par mesures de coordonnées d'un nombre déterminés de points



▶ 66

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Référentiel Géodésique (Geodetic Datum)

- ▶ **Datum : Merchich, Geodetic Datum used in Morocco – onshore**
- ▶ Merchich is a geodetic datum for Topographic mapping.
- ▶ Merchich Datum Details :
 - ▶ Datum Name : Merchich
 - ▶ Code : 6261
 - ▶ Area Of Use : Morocco - onshore
 - ▶ Scope : Topographic mapping.
 - ▶ Type : geodetic
 - ▶ Realization Epoch : 1922
 - ▶ Origin : Fundamental point: Merchich. Latitude: 33°26'59.672"N, longitude: 7°33'27.295"W (of Greenwich).
 - ▶ Ellipsoïde : Clarke 1880 (IGN)
 - ▶ Prime Meridian : Greenwich
- ▶ Source : *Geodetic repository*

▶ 67

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systemes de coordonnées géographiques

- ▶ Nom
- ▶ Ellipsoïde
- ▶ Unité
- ▶ Datum
- ▶ Méridien d'origine

▶ 68

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systèmes de coordonnées géographiques

- ▶ **Merchich : Geographic 2D CRS used in Morocco - onshore**
 - ▶ **Merchich** is a geographic 2D CRS.
 - ▶ **Merchich** uses the Merchich as its datum.
 - ▶ **Merchich** is a CRS for Geodetic survey.
- ▶ **Merchich Geographic 2D CRS Details :**
 - ▶ Name :Merchich
 - ▶ Code:4261
 - ▶ CRS Type: geographic 2D
 - ▶ Area Of Use: Morocco - onshore
 - ▶ Datum: Merchich
 - ▶ Coordinate System:
 - ▶ Ellipsoidal 2D CS.
 - ▶ Axes: latitude, longitude.
 - ▶ Orientations: north, east.
 - ▶ UoM: degree
- ▶ *Source : Geodetic repository*

▶ 69

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systèmes de coordonnées géographiques

- ▶ **Coordonnées géographiques : (λ, φ, h)**
 - ▶ Longitude (λ) : angle dans le plan de l'équateur entre le méridien d'origine et le méridien du point.
 - ▶ λ varie entre 0° et 360° , ou entre -180° et 180° ou entre $180^\circ W$ et $180^\circ E$
 - ▶ 0° correspond au méridien origine de Greenwich
 - ▶ Latitude géographique (φ) : angle dans le plan méridien entre la normale au point à la surface de l'ellipsoïde et le plan de l'équateur (angle entre l'équateur et le parallèle du point)
 - ▶ φ varie entre -90° et $+90^\circ$ ou entre $90^\circ S$ et $90^\circ N$
 - ▶ 0° correspond au parallèle équateur
 - ▶ $90^\circ N$ correspond au pôle Nord
 - ▶ $90^\circ S$ correspond au pôle Sud
 - ▶ Hauteur ellipsoïdale (ou altitude géométrique) (h) : longueur entre le point et la surface de l'ellipsoïde selon la direction de la normale géométrique.

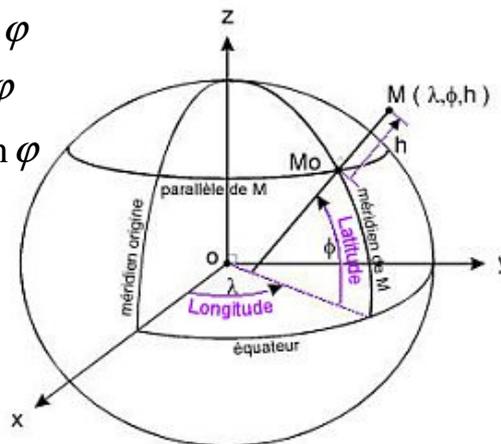
▶ 70

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systèmes de coordonnées géographiques

- Coordonnées géographiques : (λ, φ, h)

$$\begin{cases} X = (N + h) \cos \lambda \cos \varphi \\ Y = (N + h) \sin \lambda \cos \varphi \\ Z = (N(1 - e^2) + h) \sin \varphi \end{cases}$$

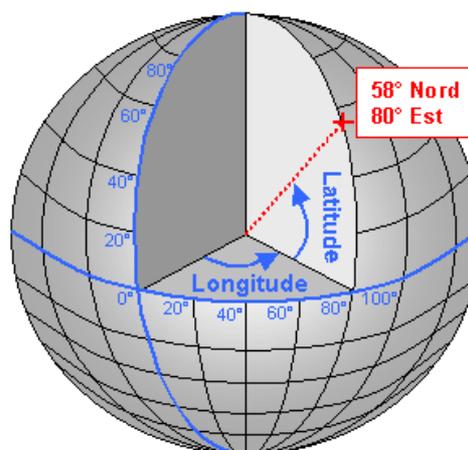


► 71

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systèmes de coordonnées géographiques

- Coordonnées géographiques : (λ, φ, h)

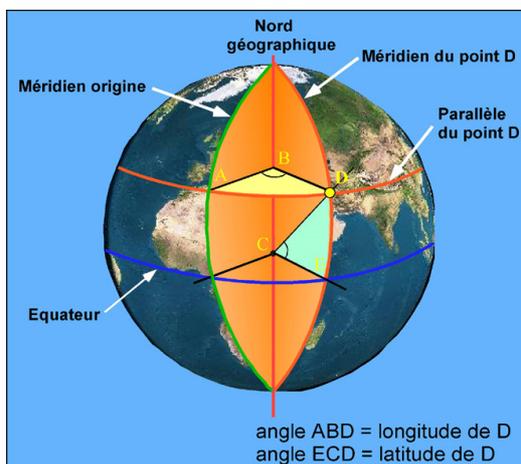


► 72

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systemes de coordonnées géographiques

► Coordonnées géographiques : (λ, φ, h)

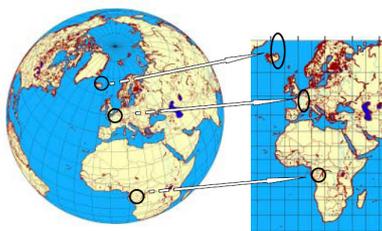


► 73

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systemes de projections (planimétrie)

- Nom
- Système de coordonnées géographiques
- Fonction de projection
- Unité
- Repère du plan de projection et Paramètres de la fonction de projection



► 74

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systèmes de projections (planimétrie)

- ▶ Projections cartographiques :

$$(E, N) = F(\lambda, \varphi)$$

- ▶ La projection de l'ellipsoïde ou de la sphère sur le plan de projection induit une erreur
- ▶ Le choix de la fonction de projection F a pour principal objectif de minimiser l'erreur sur le territoire concerné.
- ▶ (λ, φ) sont définies selon le système de coordonnées géographiques
- ▶ (E, N) sont définies dans le repère euclidien du plan de projection.
- ▶ (λ, φ) et (E, N) représentent la composante planimétrique d'une position
- ▶ (E, N) sont souvent notées (X, Y) . A ne pas confondre avec les coordonnées géocentriques
- ▶ L'étude des projections cartographiques concerne essentiellement :
 - ▶ Le choix et la détermination de la fonction de projection F.
 - ▶ L'étude et la caractérisation de son erreur sur le territoire considéré.

▶ 75

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systèmes de projections (planimétrie)

- ▶ Module linéaire :

- ▶ L'erreur de projection est caractérisée par le module linéaire.
- ▶ Appelé aussi échelle locale

$$\mu(\lambda, \varphi) = \frac{dS_{Plan}}{dS_{ellip}}$$

- ▶ Altération linéaire : $e_l = \mu - 1$

- ▶ L'erreur d'angle ou de surface peut aussi s'exprimer en fonction de l'erreur linéaire.
- ▶ Les meilleurs endroits affectés par la projection sont ceux où le module linéaire est égale à 1 (l'altération linéaire est nulle)

▶ 76

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systemes de projections (planimétrie)

- ▶ Classification selon les déformations
- ▶ Comme il y a forcément une erreur en projetant l'ellipsoïde sur le plan il n'existerait pas de projection qui conserve à la fois la forme et la surface entre l'ellipsoïde et le plan.
- ▶ On distingue alors possibilités pour la fonction F :
 - ▶ Conforme : conserve la forme ou les angles
 - ▶ Equivalente : conserve les surfaces
 - ▶ Aphylactique : ne conserve ni les angles ni les surfaces

▶ 77

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systemes de projections (planimétrie)

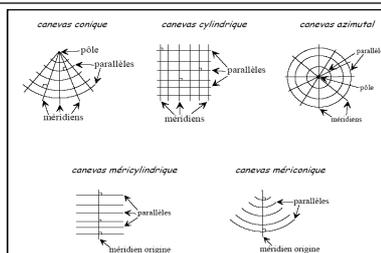
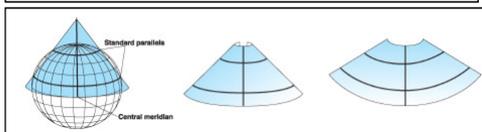
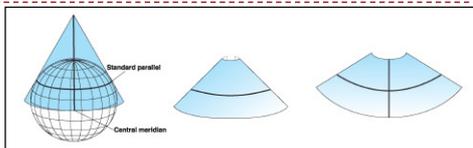
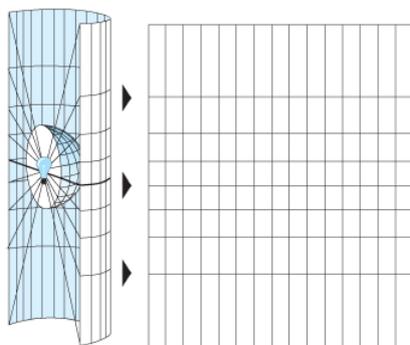
- ▶ Canevas de projection : l'image des parallèles et des méridiens sur le plan de projection
- ▶ Chaque point de la surface de l'ellipsoïde peut être considéré comme l'intersection d'un cercle parallèle et d'une demie-ellipse méridienne.
- ▶ La projection de l'ellipsoïde revient donc à déterminer le canevas de projection.
- ▶ La détermination du canevas se fait en introduisant une surface intermédiaire (développable sur le plan) : on commence par projeter l'ellipsoïde sur cette surface et ensuite on la développe sur le plan de projection
- ▶ Classification selon le canevas (en fonction du choix de la surface intermédiaire)
 - ▶ Conique (cône)
 - ▶ Cylindrique, (cylindre)
 - ▶ Azimutale (plan)
 - ▶ ...
- ▶ Sécante vs Tangente
 - ▶ Lorsque la surface intermédiaire est tangente à l'ellipsoïde de référence de la terre la projection est dite aussi **tangente**
 - ▶ Lorsque la surface intermédiaire coupe l'ellipsoïde de référence de la terre la projection est dite aussi **sécante**

▶ 78

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systèmes de projections (planimétrie)

► Canevas de projection :



► Source : ESRI

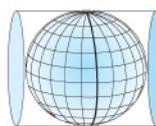
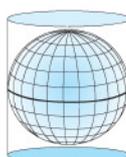
► 79

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systèmes de projections (planimétrie)

► Classification selon l'aspect

- Direct : l'axe de la surface intermédiaire coïncide avec l'axe de révolution (OZ)
- Transverse : l'axe de la surface intermédiaire est inclus dans le plan équateur (OXY)
- Oblique : l'axe de la surface intermédiaire est incliné mais passe par le centre O



► Source : ESRI

► 80

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systemes de projections (planimétrie)

- ▶ Exemples de fonctions de projection :
 - ▶ Mercator : projection conforme cylindrique (*directe*)
 - ▶ Lambert : projection conforme conique (*directe*)
 - ▶ UTM (Universal Transverse Mercator) : projection conforme cylindrique transverse en plusieurs zones (appelées fuseaux UTM)
 - ▶ Stéréographique polaire : projection azimutale conforme (*directe*)
 - ▶ ...

▶ 81

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systemes de projections (planimétrie)

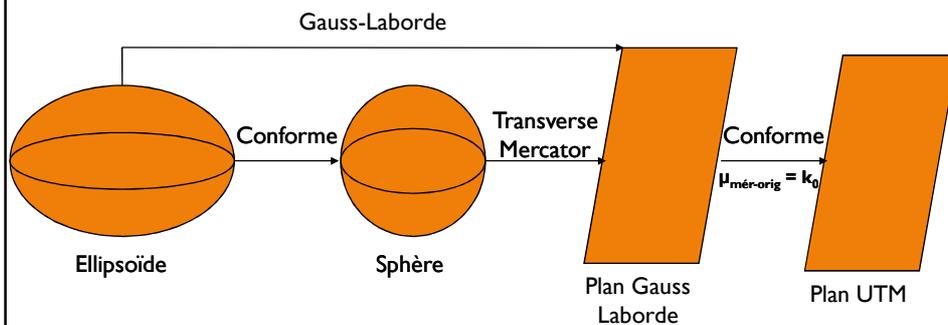
- ▶ UTM
 - ▶ Projection utilisée au niveau international
 - ▶ Projection utilisée au Sud du Maroc
 - ▶ Le système UTM (Universal Transverse Mercator) forment un ensemble de 120 représentations transverses de Mercator de l'ellipsoïde, pour lesquelles le module linéaire est constant sur le méridien origine, conçues par l'armée américaine dans les années 1940
 - ▶ 60 au Nord et 60 au SUD de la Terre
 - ▶ Chaque représentations concerne un territoire appelé : Zone ou Fuseau étendu sur 6° de longitude.

▶ 82

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systemes de projections (planimétrie)

► UTM : principe de la représentation



► 83

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systemes de projections (planimétrie)

► UTM : paramètres des fuseaux (Zones)

Numéro de fuseau	Étendue		Hémisphère
	λ_{\min}	λ_{\max}	
n ($1 \leq n \leq 60$)	$6(n-31)$	$6(n-30)$	Nord
n ($1 \leq n \leq 60$)	$6(n-31)$	$6(n-30)$	Sud

$$\bullet \lambda_0 = 6(n-31) + 3$$

$$\bullet k_0 = 0,9996$$

$$\bullet X_C = 500\,000 \text{ m}$$

$$\bullet \begin{cases} \text{hémisphère Nord: } Y_C = 0 \text{ m} \\ \text{hémisphère Sud: } Y_C = 10\,000\,000 \text{ m} \end{cases}$$

► EX : Calcul des numéros de fuseaux qui couvrent le Maroc

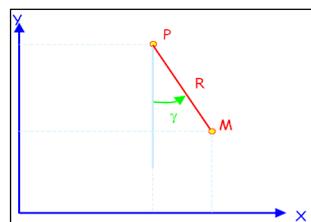
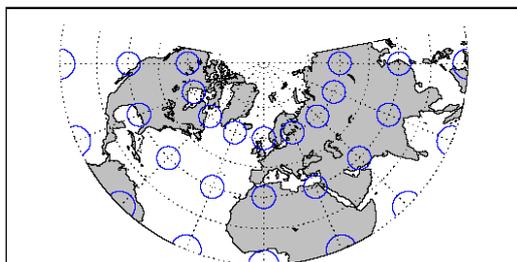
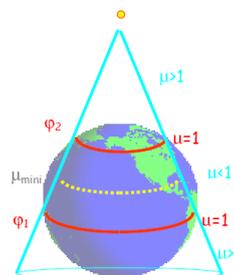
► 84

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systemes de projections (planimétrie)

▶ Conique Conforme de Lambert

- ▶ Conforme
- ▶ Conique
- ▶ Directe
- ▶ Sécante
- ▶ Avec facteur d'échelle



▶ 85

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systemes de projections (planimétrie)

▶ Conique Conforme de Lambert : Fonction

$$\begin{cases} X(\lambda, \varphi) = X_0 + R(\varphi) \sin(\gamma(\lambda)) \\ Y(\lambda, \varphi) = Y_0 + R(\varphi_0) - R(\varphi) \cos(\gamma(\lambda)) \end{cases}$$

▶ Avec :

$$\begin{cases} R(\varphi) = k_0 \cot(\varphi_0) N(\varphi_0) \exp[-(L(\varphi) - L(\varphi_0)) \sin(\varphi_0)] \\ \gamma(\lambda) = (\lambda - \lambda_0) \sin(\varphi_0) \end{cases}$$

▶ 86

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

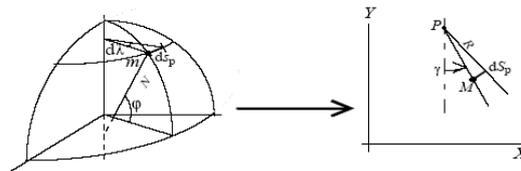
Systemes de projections (planimétrie)

► Conique Conforme de Lambert : Module linéaire

$$\mu(\varphi) = \frac{N(\varphi_0)\mu(\varphi_0)\cos(\varphi_0)}{N(\varphi)\cos(\varphi)} \exp[\sin(\varphi_0)(L(\varphi_0) - L(\varphi))]$$

$$\text{avec : } L(\varphi) = \ln \left[\tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \right] - \frac{e}{2} \ln \left(\frac{1 + e \sin(\varphi)}{1 - e \sin(\varphi)} \right)$$

$$\text{et : } N(\varphi) = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2(\varphi)}}$$



► 87

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systemes de projections (planimétrie)

► Conique Conforme de Lambert : Module linéaire

φ	$-\frac{\pi}{2}$	0	φ^*	$\frac{\pi}{2}$	
$\frac{d\mu}{d\varphi}$	$-\infty$	$-$	0	$+$	$+\infty$
μ	$+\infty$	\searrow	μ^*	\nearrow	$+\infty$

► 88

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systemes de projections (planimétrie)

- ▶ **Conique Conforme de Lambert : Paramètres**
 - ▶ Le module linéaire dépend seulement de la latitude géographique : φ .
 - ▶ Les parallèles constituent alors des lignes où le module linéaire est constant : ils sont appelés **lignes isomètres**
 - ▶ Le parallèle φ_0 où $\mu(\varphi_0) = \mu_{\min}$ est appelé **isomètre centrale**.
 - ▶ φ_0 est appelée dans ce cas **latitude origine**
 - ▶ μ_{\min} est appelé **facteur d'échelle** à l'origine
 - ▶ Les parallèles φ_1 et φ_2 où $\mu(\varphi_1) = \mu(\varphi_2) = l$ sont appelés lignes automécoïques ou **parallèles standards**
 - ▶ La « cision » du cône (afin de l'étaler sur le plan) se fait au niveau du méridien de longitude : $\lambda_0 + 180^\circ$.
 - ▶ λ_0 est appelée dans ce cas **longitude origine**.
 - ▶ Le point $M_0(\lambda_0, \varphi_0)$ est appelé **point origine** de la projection
 - ▶ Ses coordonnées dans le plan de projection $M_0(X_0, Y_0)$ constituent les paramètres de translation entre le point origine M_0 et l'origine du repère du plan de projection O (origine des coordonnées Lambert)

▶ 89

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systemes de projections (planimétrie)

- ▶ **Merchich / Nord Maroc**
- ▶ **Projected CRS used in Morocco - north of 31.5°N (north of 35 grads or North of 31°30'N)**
- ▶ **Merchich / Nord Maroc Projected CRS Details :**
 - ▶ Name : Merchich / Nord Maroc
 - ▶ Alias: Merchich / Zone I Nord Maroc
 - ▶ Code : 26191
 - ▶ CRS Type : projected
 - ▶ Area Of Use: Morocco - north of 31.5°N until 35.95 °.
 - ▶ Coordinate System : Cartesian 2D CS.
 - ▶ Axes : easting, northing (X,Y).
 - ▶ Orientations: east, north.
 - ▶ UoM: m.
 - ▶ Meta Data Remarks : Used in projected and engineering coordinate reference systems.
- ▶ **Scope: Large and medium scale topographic mapping and engineering survey.**
- ▶ **Base Geographic CRS : Merchich**
- ▶ **Source : Geodetic repository**

▶ 90

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systemes de projections (planimétrie)

▶ **Merchich / Nord Maroc**

▶ Projection : Nord Maroc

▶ Projection Details

- ▶ Name : Nord Maroc
- ▶ Code : 18131
- ▶ Area Of Use : Morocco - north of 31.5°N
- ▶ Conversion method : Lambert Conic Conformal (ISP)

▶ Operation Method Details :

- ▶ Name : Lambert Conic Conformal (ISP)
- ▶ Code : 9801
- ▶ Reversible : YES
- ▶ Conversion Parameters :

Parameter	Value	Reversible	Unit
Latitude of natural origin	37	YES	grad
Longitude of natural origin	-6	YES	grad
Scale factor at natural origin	0.999625769	YES	
False easting	500000	YES	metre
False northing	300000	YES	metre

Source : Geodetic repository

▶ 91

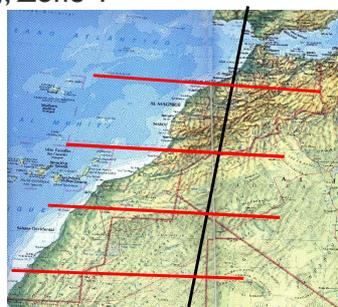
Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systemes de projections (planimétrie)

▶ **Système de projection lambert zones :**

- ▶ Merchich / Nord Maroc (code : 26191), Zone 1
- ▶ Merchich / Sud Maroc (code : 26192), Zone 2
- ▶ Merchich / Sahara Nord (code : 26194), Zone 3
- ▶ Merchich / Sahara Sud (code : 26195), Zone 4

Source : Geodetic repository



▶ 92

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systèmes de projections (planimétrie)

- Paramètres du système de projection Marocain Lambert Zone :

Zone	Zone I	Zone II	Zone III	Zone IV	
Latitude Origine φ_0 :	33°18'0.0"N	29°42'0.0"N	26°06'0.0"N	22°30'0.0"N	
Longitude origine λ_0 :	5°24'0.0"W	5°24'0.0"W	5°24'0.0"W	5°24'0.0"W	
Facteur d'échelle à l'origine k_0 =	0.999625769	0.999615596	0.999616304	0.999616437	
Parallèles de conservation d'échelle (Parallèles Standards automécoïques)	φ_1 =	34°51'59".2476N	31°17'18".5767N	27°41'16".5113N	24°05'18".4911N
	φ_2 =	31°43'26".1323N	28°06'10".4865N	24°30'16".9209N	20°54'19".0180N
Constante X_c =	500000.00	500000.00	1200000.00	1200000.00	
Constante Y_c =	300000.00	300000.00	400000.00	400000.00	

Source : ANCFCC

► 93

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systèmes de projections (planimétrie)

- Table donnant, en fonction de l'ordonnée Y, les corrections approchées avec leur signe, en centimètre par Klm, en centiaire par Ha, à apporter aux longueurs et aux surfaces de la projection Lambert Zone I, pour avoir les éléments de terrain

Ym	Cm par Klm	Ca par Ha	Ym	Ym	Cm par Klm	Ca par Ha	Ym
300	37	7,5	300	444	12	2,4	156
312	37	7,4	288	456	8	1,5	144
324	37	7,3	276	468	3	0,6	132
336	36	7,2	264	474	0	0	126
348	35	6,9	252	480	-2	-0,5	120
360	33	6,6	240	492	-8	-1,6	108
372	31	6,2	228	504	-14	-2,7	96
384	29	5,8	216	516	-20	-4	84
396	26	5,2	204	528	-26	-5,2	72
408	23	4,6	192	540	-33	-6,7	60
420	20	4	180	552	-40	-8	48
432	16	3,2	166				

Source : ANCFCC

► 94

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systèmes de projections (planimétrie)

- Table donnant, en fonction de l'ordonnée Y, les corrections approchées avec leur signe, en centimètre par Klm, en centiaire par Ha, à apporter aux longueurs et aux surfaces de la projection Lambert Zone 2, pour avoir les éléments de terrain

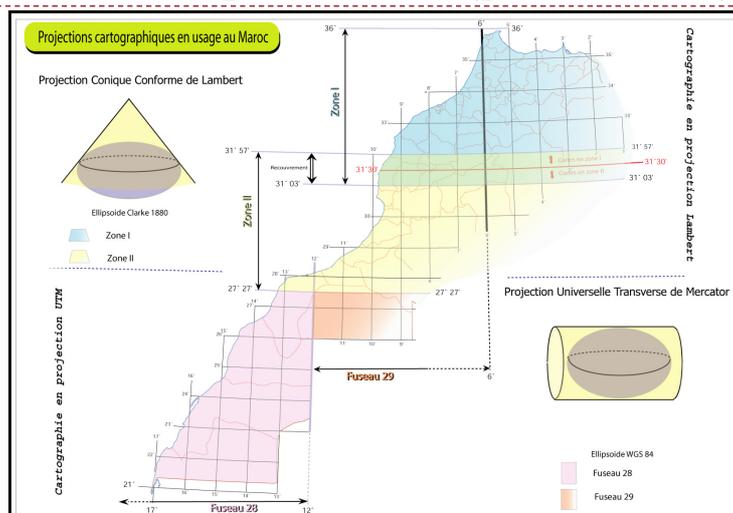
Ym	Cm par Klm	Ca par Ha	Ym	Ym	Cm par Klm	Ca par Ha	Ym
300	38	7,6	300	408	24	4,8	192
312	38	7,6	288	420	21	4,2	180
324	37	7,3	276	432	18	3,6	168
336	36	7,2	264	444	14	2,7	156
348	35	6,9	252	456	10	2	144
360	34	6,8	240	468	6	1,2	132
372	32	6,4	228	480	0	0	120
384	29	5,8	216	492	-6	-1,2	108
396	27	5,5	204	504	-11	-2,1	96

Source : ANCFCC

► 95

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systèmes de projections (planimétrie)



Source : ANCFCC

► 96

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systemes Altimétrique

- ▶ Nom
- ▶ Surface de référence
- ▶ Unité
- ▶ Type d'Altitude

▶ 97

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systemes Altimétrique

- ▶ Altitude géométrique (hauteur ellipsoïdale) : h
- ▶ Côte géopotentielle :
 - ▶ différence de géopotential entre le point et la surface de géoïde $C(M) = W_0 - W(M)$
 - ▶ W_0 : valeur de géopotential sur la surface du géoïde
 - ▶ $W(M)$: valeur de géopotential au point M
- ▶ Altitude orthométrique $H^{(o)}$:
 - ▶ longueur de la ligne de force du champ d'accélération de la pesanteur terrestre entre le point et le géoïde.
 - ▶ C'est le quotient de la côte géopotentielle par la valeur moyenne du module de pesanteur entre le point et le géoïde

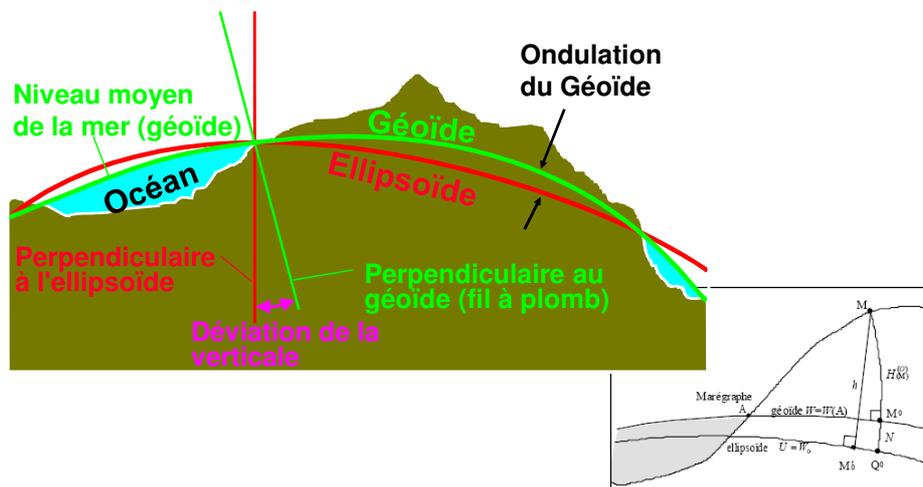
$$H^{(o)} = \frac{C(M)}{\bar{g}}$$

$$h \approx H^{(o)} + N$$

▶ 98

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systemes Altimétrique



▶ 99

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systemes Altimétrique

▶ Nivellement Général du Maroc (NGM)

- ▶ Unité : mètre
- ▶ Type d'altitude : altitude orthométrique (Z Topographique à ne pas confondre avec le Z des coordonnées géocentriques)
- ▶ Surface de référence :
 - ▶ en dehors de quelques travaux de recherche il n'existe pas de géοide officiel adopté au Maroc comme surface de référence physique
 - ▶ À la place le NGM est basé sur la détermination d'un premier point ($Z=0$) par technique de Marégraphie
- ▶ En mesurant les marrées hautes et basses par un marégraphie sur quelques dizaines d'années on arrive à déterminer le niveau moyen des mers qui correspond aux surfaces d'eaux au repos et donc proche du géοide.
- ▶ Le point $Z = 0$ est déterminé au Port de Casablanca pour le NGM
- ▶ Un deuxième marégraphie est placé plus récemment à AL Hoceima

▶ 100

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Lecture de Cartes

- ▶ Deux quadrillages de coordonnées
 - ▶ Coordonnées de projection : (X,Y), représentées en Km sur le bord de la carte et en croisillons à l'intérieur de la carte.
 - ▶ Coordonnées géographiques : (longitudes, latitudes), représentées en unité de Degré, Minute, Seconde ($^{\circ}$; ' ; ")
 - ▶ Le Maroc est contenu dans le domaine des longitudes, latitudes $[-17^{\circ}, 0^{\circ}] \times [20^{\circ}, 36^{\circ}]$

▶ 101

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Transformations entre systèmes de coordonnées

- ▶ Similitude 3D
 - ▶ Appelée aussi formule à 7 paramètres
 - ▶ Permet la conversion entre coordonnées géocentriques correspondants à deux référentiels différents
 - ▶ Elle est équivalente à un changement de repère en 3D
 - ▶ Paramètres de la similitude 3D :
 - ▶ Trois translations : T_x, T_y, T_z
 - ▶ Trois rotations : $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$
 - ▶ Un facteur d'échelle : e
 - ▶ Les angles de rotations sont souvent petits, en négligeant en plus le facteur d'échelle on la formule de transformation devient avec 3 paramètres de translation seulement

$$e = \frac{\|\vec{i}\|}{\|\vec{i}'\|}$$

▶ 102

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Transformations entre systèmes de coordonnées

► Formule de Molodensky

- Permet la conversion entre coordonnées géographiques (3D) correspondants à deux systèmes de coordonnées géographiques différents
- La formule tient compte du changement d'ellipsoïde mais aussi du référentiel

► Interpolation polynomiale

- Permet la conversion entre les coordonnées planimétriques exprimées dans deux repères différents du plan de projection
- Plus l'ordre est élevé plus on a besoin de coefficients

► Détermination des paramètres de transformation

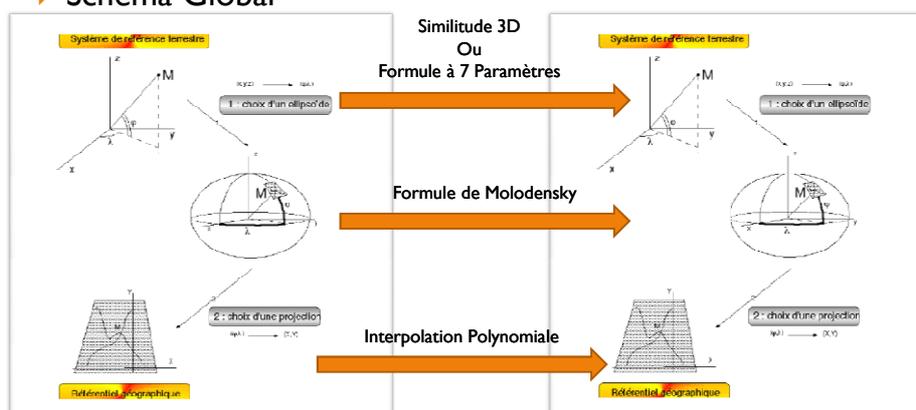
- Les paramètres ou constantes des formules de transformation sont déterminés en mesurant les coordonnées d'un ensemble de points dans les deux systèmes en questions
- La connaissance d'un nombre suffisant de points permet de résoudre le problème de détermination des paramètres mais aussi de contrôler leur validité

► 103

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Transformations entre systèmes de coordonnées

► Schéma Global



► 104

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Transformations entre systèmes de coordonnées

- ▶ **Coordinate Transformation: Merchich to WGS 84 :**
- ▶ Merchich to WGS 84 (1) Transformation Details :
 - ▶ Name : Merchich to WGS 84 (1)
 - ▶ Code : I166
 - ▶ Transformation Version : DMA-Mar
 - ▶ Accuracy : 7
 - ▶ Area Of Use : Morocco – onshore
 - ▶ Source CRS : Merchich
 - ▶ Target CRS : WGS 84
- ▶ Transformation parameters:

Parameter;	Value / File Ref;	Sign Reversable;	Unit
X-axis translation	31	YES	metre
Y-axis translation	146	YES	metre
Z-axis translation	47	YES	metre
- ▶ Transformation method : Geocentric translations (geog2D domain)
- ▶ Remarks : Derived at 9 stations.
- ▶ Information Source : U.S. Defense Mapping Agency TR8350.2 September 1987

▶ 105

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Transformations entre systèmes de coordonnées

- ▶ **EX :**
 - ▶ *Entre Lambert Zone 1 et Lambert Zone 2*
 - ▶ *Entre UTM 28 et Lambert Zone 4*
 - ▶ *Entre GPS et Lambert Zone 1*
 - ▶ *Entre GPS et UTM 29*

▶ 106

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

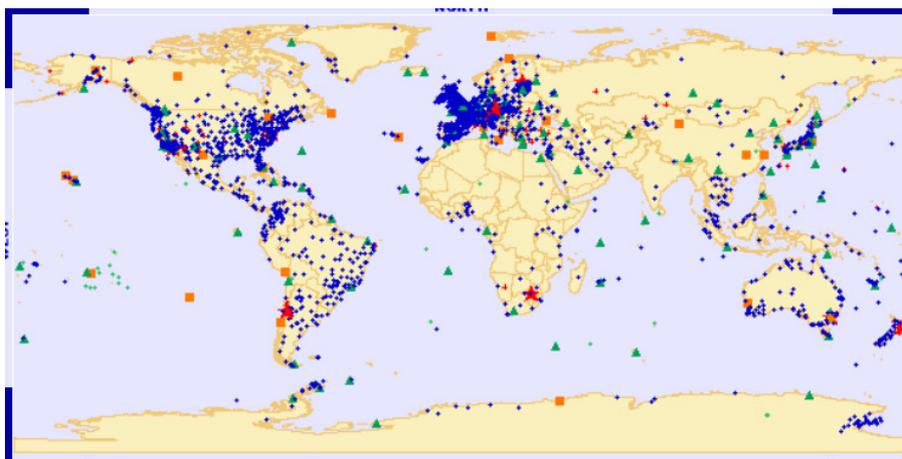
Systemes géodésiques internationales

- ▶ WGS84 : World Geodetic System 1984
- ▶ ETRS89 : European Terrestrial Reference System 1989
- ▶ ITRF : IERS Terrestrial Reference Frame
 - ▶ IERS : International Earth Rotation Service
 - ▶ Variable en fonction du temps
 - ▶ Plusieurs réalisations : ITRF94, ITRF96, ITRF97, ITRF2000, ITRF2005, ITRF2008
- ▶ Réseaux Géodésiques Globaux
 - ▶ Tridimensionnels
 - ▶ Techniques de Géodésie Spatiale
 - ▶ Exemples :
 - ▶ ITRF
 - ▶ ETRS89
 - ▶ EUVN : European Vertical Reference Network de 1997
 - ▶ IGS : International GNSS Service (Old : International GPS Service)
 - ▶ ...

▶ 107

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Systemes géodésiques internationales



Réseau ITRF

▶ 108

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Réseaux géodésiques marocains

- ▶ Un réseau géodésique est un ensemble de points matérialisés sur le Terrain (Bornes, Piliers, Clocher, Antennes, Minarais, ...) et connus en :
 - ▶ (X, Y) ou (λ, φ) : Réseaux Planimétriques
 - ▶ $Z (H^{(0)})$: Réseaux Altimétriques
- ▶ Méthodes de déterminations classiques :
 - ▶ Réseaux Planimétriques :
 - ▶ Astronomie de position
 - ▶ Triangulation
 - ▶ Polygonale
 - ▶ Réseaux Altimétriques
 - ▶ Marégraphie
 - ▶ Nivellement
- ▶ Méthodes de déterminations modernes :
 - ▶ GPS
 - ▶ Autres techniques de géodésie spatiales



▶ 109

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Réseaux géodésiques marocains

- ▶ **Astronomie de position :**
 - ▶ Catalogues d'étoiles : coordonnées des étoiles (Ascension, Déclinaison)
 - ▶ Chronomètre : mesure de temps
 - ▶ Théodolite : mesures d'angles horizontaux et verticaux
 - ▶ Sphère céleste : report des directions en négligeant les distances
 - ▶ La trigonométrie sphérique permet par la suite de déterminer :
 - ▶ Les coordonnées géographiques astronomiques : (λ_a, φ_a)
 - ▶ L'azimut astronomique d'une direction : Az_a
- ▶ **Permet de déterminer**
 - ▶ Les coordonnées planimétriques du premier point du réseau géodésique appelé : Point Fondamental (Merchich pour le Maroc)
 - ▶ L'azimut d'une première direction (Merchich vers berrechid)
 - ▶ Les coordonnées des points de Laplace (pour le contrôle)

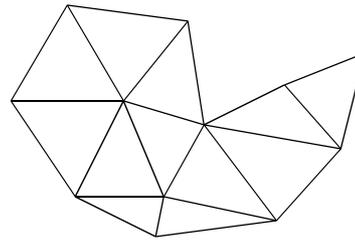
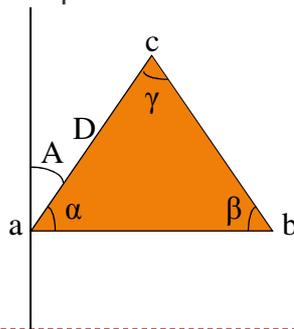
▶ 110

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Réseaux géodésiques marocains

▶ Triangulation :

- ▶ En connaissant, les coordonnées d'un sommet (a), la direction d'une arête (Angle A) et sa longueur (Distance D)
- ▶ En mesurant en plus les angles du triangle
- ▶ On peut en déduire les coordonnées des autres sommets



▶ 111

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Réseaux géodésiques marocains

- ▶ La première distance mesurée est appelée la Base
- ▶ Le triangle permet des avantages :
 - ▶ Mesure d'angle seulement, à part la base les autres distances sont déduites par la règle des Sinus
 - ▶ Contrôle de fermeture : somme des angles d'un triangle
 - ▶ Contrôle de fermeture des coordonnées
- ▶ Le principe de triangulation était préféré car les mesures d'angles étaient obtenues avec plus de précision que les distances
- ▶ Le principe de triangulation est valable dans :
 - ▶ Le plan
 - ▶ La sphère
 - ▶ L'ellipsoïde

▶ 112

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Réseaux géodésiques marocains

- ▶ La triangulation permet de déterminer :
 - ▶ les chaînes primordiales
 - ▶ Les points du réseau de premier ordre : arrêtes d'une longueur de 30 à 40 km (450 points)
 - ▶ La densification des points par la détermination des :
 - ▶ points du réseau de deuxième ordre (530 points)
 - ▶ points du réseau de troisième ordre (1200 points)
 - ▶ points du réseau de réseau complémentaire du quatrième ordre (15000 points)
- ▶ La polygonale (voir chapitre des procédés planimétriques)
 - ▶ Permet de déterminer les points du réseau de polygonal supplémentaire (12000 points)
- ▶ La Marégraphie :
 - ▶ Permet de déterminer le niveau moyen des mers : premier point du réseau altimétrique ($z = 0$, au niveau du port de Casablanca)
- ▶ Le nivellement (voir chapitre des procédés altimétriques)
 - ▶ Permet de déterminer les points du réseaux géodésiques altimétriques en dehors du premier point.

▶ 113

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Réseaux géodésiques marocains

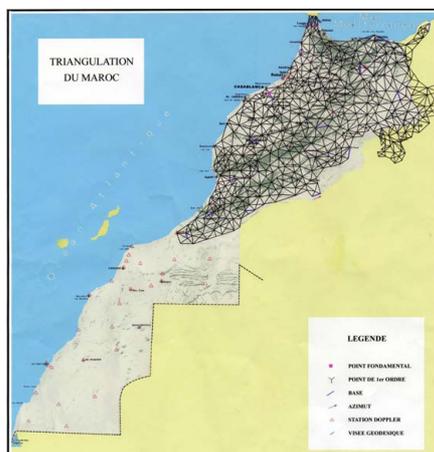
- ▶ Historique du réseau géodésique Marocain :
 - ▶ Le réseau planimétrique Marocain a été établi à partir de 1907 par la France. Il couvre seulement 2/3 du territoire national
 - ▶ De 1907 à 1924: mis en place d'une géodésie expédiée à l'oriental et la région de Casablanca pour des besoins de reconnaissance.
 - ▶ Après 1924:
 - ▶ Extension du réseau de triangulation du premier ordre et sa densification
 - ▶ Diversification des systèmes de coordonnées.
 - ▶ En 1975: reprises de quelques points et compensation du réseau de premier ordre en un seul bloc : Discordance de l'ordre du mètre
 - ▶ En 1983-84: détermination de 28 station Doppler en collaboration avec la NIMA (National Imagery and Mapping Agency .USA)
 - ▶ En 1995: détermination de 12 stations GPS en mode absolu uniformément réparties sur le territoire national, en collaboration avec la NIMA

▶ 114

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Réseaux géodésiques marocains

► Réseau Géodésique Planimétrique Marocain :



Source : ANCFCC

► 115

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Réseaux géodésiques marocains

► Principales étapes d'élaboration d'un réseau géodésique :

- Avant projet
- Reconnaissance et choix de l'emplacement des points (critères de portée et d'intervisibilité pour les méthodes classiques)
 - Les points du réseau planimétrique sont souvent culminant (critère d'intervisibilité)
 - Les points du réseau NGM suivent en général le réseau routier
- Matérialisation des points (construction des signaux)
- Mesures (selon les méthodes)
- Calcul (contrôles, correction des erreurs, calcul des coordonnées)
- Compensation de l'ensemble du réseau :
 - Par méthode des moindres carrés
 - Coordonnées définitives des points
- Archivage et publication

► Critères de qualité d'un réseau géodésique

- Couverture et densité
- Précision
- Conservation
- Homogénéité

► 116

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Réseaux géodésiques marocains

▶ Diagnostique du Réseau Marocain :

- ▶ Le réseau géodésique horizontal date de 1924, il est hétérogène à cause de la multitude des systèmes de coordonnées et se caractérise par une géodésie locale surtout dans le sud:
 - ▶ Couverture :
 - ▶ La couverture ne s'étend pas à tout le territoire Marocain, 2/3 seulement.
 - ▶ Précision :
 - ▶ La précision du réseau, selon les zones, est autour d'une dizaine de centimètres
 - ▶ Conservation
 - ▶ La disparition des signaux et des monuments géodésiques rend les opérations de rattachement très difficiles et des fois même impossibles. Le taux de disparition est estimé entre 40% et 60 % selon les régions
 - ▶ L'accès aux points matérialisés dans les régions montagneuses est difficile
 - ▶ Un problème d'intervisibilité entre les points géodésiques se pose quelques fois. Évolution des paysages sur presque une centaine d'année : Forêts, Bâti, Infrastructures, ...
 - ▶ Homogénéité
 - ▶ La compensation des points géodésiques en petits blocs a induit un réseau hétérogène avec une distorsion linéaire de l'ordre du mètre.
 - ▶ La précision des coordonnées des points géodésiques varie d'une zone à une autre
 - ▶ Le passage entre les différents systèmes de coordonnées pose un problème

▶ 117

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Réseaux géodésiques marocains

▶ Diagnostique du Réseau Marocain :



Source : ANCFCC

▶ 118

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Projet de modernisation des réseaux géodésiques marocains

▶ Réseau Géodésique Fondamental :

▶ Méthode de Réalisation :

- ▶ Technique **GPS**
- ▶ Ligne de base

▶ Réseau composé des 3 sous réseaux :

- ▶ Réseau de référence : **24** stations de **300 km** de base avec une répartition uniforme et une matérialisation solide
- ▶ Réseau de base : **1300** points géodésiques de **40 km** de base
- ▶ Réseau complémentaire : sa densité est fonctions des besoins exprimés par les utilisateurs.

▶ Objectifs généraux du projet :

- ▶ Avoir un canevas géodésique national homogène et précis
- ▶ Établir une cartographie numérique précise
- ▶ Améliorer la précision des travaux cadastraux et des travaux topographiques
- ▶ Moderniser les techniques et la méthodologie de travail en vue de réduire les coûts et les délais de réalisation des travaux

▶ 119

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Projet de modernisation des réseaux géodésiques marocains

▶ Objectifs techniques du projet :

- ▶ Création d'un Réseau Fondamental Marocain (RFM) GPS homogène, très précis, rattaché au système international ITRF(IERS* Terrestrial Reference Frame)
- ▶ Mis en œuvre de stations permanentes
- ▶ Redéfinition du système de référence géodésique national
- ▶ Détermination des paramètres de passage entre le nouveau et l'ancien système de référence
- ▶ Reconfiguration des réseaux géodésiques nationaux pour les intégrer à une structure spatiale commune

▶ Autres aspects :

- ▶ Choix du système de projection
- ▶ Transformation entre le Lambert Zones et le RFM
- ▶ Réseau de stations GPS permanentes (**14 points**)
- ▶ Adaptation des textes juridiques

▶ Réseau altimétrique

- ▶ Renouvellement de la matérialisation
- ▶ Mesures par GPS
- ▶ Mesures gravimétriques
- ▶ Nivellement
- ▶ Calcul d'un Géoïde

▶ 120

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Projet de modernisation des réseaux géodésiques marocains



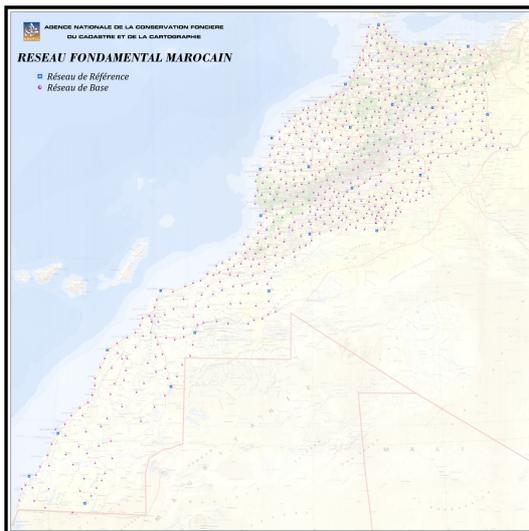
Nom du point	N°	Province
Ras	1	NADOR
Kebdana	2	Al Hoceima
Al	3	FAHS BNI
Hoceima	4	MAKADA
Ksar	5	BOUARFA
Esshir	6	BOULMANE
Jorf Aziza	7	IFRANE
Outat Elhaj	8	SALA
Ifrane XB	9	ALJADIDA
Blad Zerdal	10	KHOURIBGA
Wad Zem	11	SAFI
CapCantin	12	ERRACHIDIA
Erfoud	13	WARZAZATE
Skoura	14	S.YOUSSEF
Marrakech	15	BEN ALI
El Garage	16	ESSAOUIRA
Mhamid	17	ZAGORA
Tata	18	TATA
Sidi Toulal	19	AGADIR
Zag	20	ASSA
Tarfaya	21	LAAYOUNE
Smara	22	SMARA
Boujdour	23	BOUJDOUR
G Zemour	24	LAAYOUNE
Al Argoub		ADDAKHLA
Tichla		AWSSSED
Cap Barbas		AWSSSED

Source : ANCFCC

► 121

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Projet de modernisation des réseaux géodésiques marocains

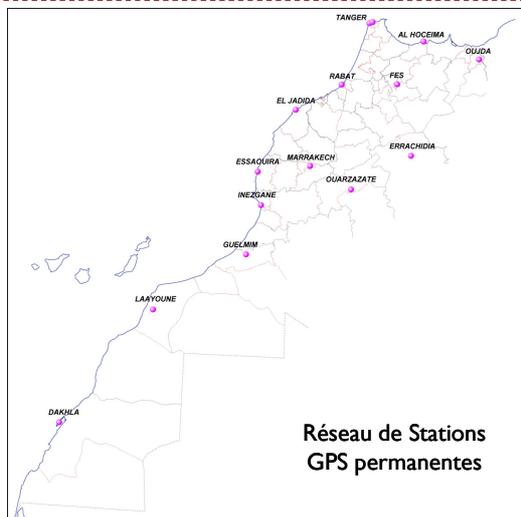


Source : ANCFCC

► 122

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Projet de modernisation des réseaux géodésiques marocains



Source : ANCFCC

▶ 123

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012

Intérêt pour la topographie

- ▶ Définition des systèmes de coordonnées :
 - ▶ Repères et surfaces de références
 - ▶ Coordonnées géographiques
 - ▶ Projections cartographiques avec des erreurs minimales sur le territoire national
 - ▶ Systèmes d'altitudes
- ▶ Elaboration des transformations entre différents systèmes géodésiques
- ▶ Elaboration des réseaux géodésiques planimétriques et altimétriques permettant d'offrir un nombre important de points connus précis, homogènes partout sur le territoire Marocain.
- ▶ En topographie on mesure des différences : nécessité d'avoir des points connus existants.
- ▶ ...

▶ 124

Cours de Topographie - E.H. ELBrirchi 20/03/2012