

Ressources Educatives Libres

INITIATION À LA TOPOMÉTRIE, FORME ET DIMENSION DE LA TERRE

Université Nationale des Sciences,
Technologies, Ingénierie et Mathématiques d'Abomey



Novembre 2023



UNIVERSITE NATIONALE DES SCIENCES, TECHNOLOGIES, INGENIERIE ET MATHEMATIQUES (UNSTIM Abomey)

Cours : Base de Topométrie

Table des matières

INITIATION A LA TOPOMETRIE, FORME ET DIMENSION DE LA TERRE	4
I- INTRODUCTION	4
I-1 Généralité.....	4
I-2 La topométrie	4
I-3 Les branches de la topométrie	4
a- La topométrie de construction	5
b- La topométrie routière	5
c- La topométrie cadastrale	5
d- La topométrie souterraine.....	5
e- La topométrie hydrographique ou l'hydrographie	5
f- La topométrie industrielle.....	5
I-4 Quelques définitions	5
a- Le levé topographique.....	5
b- Une carte ou un plan.....	6
c- La topographie.....	6
d- La planimétrie	6
e- L'altimétrie	6
I-5 Les sciences géodésiques	6
a- La géodésie	6
b- La photogrammétrie.....	7
c- L'astronomie géodésique	7
d- La télédétection	7
e- Un système d'information géographique ou SIG.....	7
II- LA FORME DE LA TERRE	8
II-1 Le géoïde	8
II-2 Ellipsoïde de révolution	9
a- Présentation de l'ellipsoïde terrestre	9
b- Paramètres de l'ellipsoïde Clarke 1880.....	11
III- LES REFERENTIELS	12
III-1 Les coordonnées cartésiennes géocentriques X, Y, Z	12



UNIVERSITE NATIONALE DES SCIENCES, TECHNOLOGIES, INGENIERIE ET MATHEMATIQUES (UNSTIM Abomey)

Cours : Base de Topométrie

III-2 Les coordonnées géographiques ou géodésiques	12
III-3 Les coordonnées planes E, N	14
a- Systèmes de projection.....	14
b- Projection UTM (Universal Transverse Mercator)	15
IV- NOTIONS DE BASE.....	17
IV-1 Les unités de mesures	17
IV-2 Les nombres approximatifs	17
IV-3 Les chiffres significatifs.....	17
IV-4 Les nombres arrondis.....	19
IV-5 La nature des mesures.....	19
IV-6 La précision et l'exactitude	20
V- PRECISION DES MESURES	22
V-1 Quelques définitions.....	22
a- La grandeur	22
b- La valeur vraie d'une grandeur.....	22
c- Observation.....	22
d- Le mesurage.....	22
e- Le mesurage direct	23
f- Le mesurage indirect	23
g- Le résultat d'un mesurage.....	23
h- Le résultat brut d'un mesurage	23
i- La correction	23
V-2 Les erreurs	23
a- La faute	23
b- L'erreur	24
V-3 Les sortes d'erreurs.....	25
a- Erreur vraie.....	26
b- Erreur résiduelle.....	26
c- Erreur moyenne.....	26
d- Ecart type.....	26
e- Erreur probable.....	26
f- Erreur maximale.....	27



UNIVERSITE NATIONALE DES SCIENCES, TECHNOLOGIES, INGENIERIE ET MATHEMATIQUES (UNSTIM Abomey)

Cours : Base de Topométrie

g- Ecart type de la moyenne.....	27
h- Erreur relative.....	27
V-4 La propagation des erreurs.....	27
V-5 La compensation et la pondération.....	28
V-6 L'homogénéité des mesures.....	28
VI : RECUEIL DES DONNEES.....	29
VI-1 Le carnet de note.....	29
IV-2 La nature des notes.....	29
VI-3 Les renseignements de base.....	29
VI-4 Les qualités des notes.....	30
VI-5 Les sortes de carnets.....	31
VI-6 Les recommandations générales.....	31
VI-7 Croquis du terrain.....	32



INITIATION A LA TOPOMETRIE, FORME ET DIMENSION DE LA TERRE

I- INTRODUCTION

I-1 Généralité

La topométrie est une division importante de la géomatique. La géomatique, aussi appelée sciences géodésiques, est la discipline qui englobe toutes les méthodes d'acquisition et de traitement des dimensions physiques de la terre. Elle joue un rôle extrêmement important dans plusieurs branches du génie. Par exemple, elle est requise avant, pendant et après la planification et la reconstruction d'autoroutes, de chemins de fer, de tunnels, de canaux, de ponts, de bâtisses, de système d'aqueducs et d'égout, de galerie de mines, d'oléoducs, de sites de lancement de fusées ainsi que de stations de repérage et de poursuites de satellites. La géomatique, et en particulier la topométrie, est la plus vieille discipline pratiquée par l'homme, parce que, de tout temps il a été nécessaire de délimiter et de diviser les terres [1].

Les sciences géodésiques sont subdivisées en quelques disciplines à savoir : la topométrie, la topographie, la géodésie, la photogrammétrie, l'astronomie géodésique, la télédétection, les Systèmes d'Information Géographique etc.

I-2 La topométrie

La topométrie (du grec **topos** qui signifie **lieu** et **metron** qui signifie **mesure**) est l'ensemble des techniques de mesurage géométriques grâce auxquelles on détermine la forme et les dimensions d'objets et de lieux, sans tenir de la courbure de la terre et de la réfraction atmosphérique [1].

I-3 Les branches de la topométrie

La topométrie est subdivisée en six branches à savoir :



a- La topométrie de construction

Elle consiste à donner des alignements et des altitudes servant à la construction de bâtisses (tout ce qui concerne la construction d'un bâtiment), de réseaux d'égouts (conduits par où s'écoulent les eaux usées) et d'aqueducs (canal pour conduire l'eau), de rues ...

b- La topométrie routière

La topométrie routière joue un rôle essentiel dans la réalisation de tout projet de système de transport (route, chemin de fer, canaux, lignes de transmission ...).

c- La topométrie cadastrale

Encore appelée arpentage légal, elle consiste à déterminer la délimitation et le morcellement des propriétés foncières.

d- La topométrie souterraine

Cette branche de la topométrie regroupe l'ensemble des opérations donnant l'orientation et les dimensions des tunnels et galeries de mines. Elle permet aussi le calcul des volumes, etc.

e- La topométrie hydrographique ou l'hydrographie

Elle permet de représenter le littoral, les lacs et rivières, les fonds marins, etc.

f- La topométrie industrielle

La topométrie industrielle permet l'aménagement des installations industrielles au moyen d'instruments optiques.

I-4 Quelques définitions [1, 2, 3]

a- Le levé topographique

Le levé topographique est l'ensemble des opérations destinées à recueillir sur le terrain les éléments nécessaires à l'établissement d'un plan ou d'une carte.

Un levé est réalisé à partir d'observations : actions d'observer au moyen d'un instrument permettant des mesures ; par extension, « les observations » désignent souvent les résultats de ces mesures.



UNIVERSITE NATIONALE DES SCIENCES, TECHNOLOGIES, INGENIERIE ET MATHEMATIQUES (UNSTIM Abomey)

Cours : Base de Topométrie

La phase d'un levé topographique, ou d'une implantation, qui fournit ou utilise les valeurs numériques de tous les éléments planimétriques et altimétriques est appelée topométrie.

b- Une carte ou un plan

Le plan ou la carte est la représentation graphique, à une certaine échelle, de la projection orthogonale des détails de la surface de la terre, qu'ils soient naturels, artificiels ou conventionnels.

Le plan est représenté à grande échelle (échelle comprise entre 1/10.000 et 1/1) et quant à la carte à petite échelle (échelle comprise entre 1/∞ et 1/10.000) et ses détails par des signes conventionnels.

c- La topographie

Elle est l'association de topos et de graphein qui, en grec, signifie décrire. C'est donc la science qui donne les moyens de représentation graphique ou numérique d'une surface terrestre.

d- La planimétrie

La représentation en projection plane de l'ensemble des détails à deux dimensions du plan topographique est appelée planimétrie. Par extension, c'est aussi l'exécution des observations correspondantes et leur exploitation.

e- L'altimétrie

L'altimétrie est la représentation du relief sur un plan ou une carte ; par extension, c'est aussi l'exécution des observations correspondantes et leur exploitation. Les travaux topographiques peuvent être classés en six grandes catégories suivant l'ordre chronologique de leur exécution.

I-5 Les sciences géodésiques

a- La géodésie

C'est la science qui a pour objet l'étude quantitative et qualitative de la forme de



UNIVERSITE NATIONALE DES SCIENCES, TECHNOLOGIES, INGENIERIE ET MATHEMATIQUES (UNSTIM Abomey)

Cours : Base de Topométrie

la terre et de ses propriétés physiques (la gravité, le champ magnétique, etc).

Elle permet de localiser avec une grande précision, des points géodésiques servant d'ossature aux levés topographiques.

b- La photogrammétrie

La photogrammétrie est une technique de mesure qui consiste à déterminer la forme, les dimensions et la situation d'un objet dans l'espace à partir de plusieurs prises de vues photographiques de cet objet. Elle permet tout simplement de restituer géométriquement des objets en trois dimensions, à la manière de la vision humaine.

c- L'astronomie géodésique

L'astronomie géodésique permet à partir d'observations relatives aux astres de déterminer la position absolue de points et la direction absolue de lignes sur la surface de la terre. La position absolue est en fait donnée par la latitude et la longitude par rapport à l'équateur et à la méridienne origine de Greenwich. La direction absolue provient de l'angle formé par la ligne et le méridien du lieu.

d- La télédétection

Elle comprend l'ensemble des procédés et techniques qui permettent d'acquérir à distance des informations sur les objets terrestres, en utilisant les propriétés des ondes électromagnétiques émises ou réfléchies par ces objets. Autrement elle signifie observer la Terre avec des instruments placés très haut au-dessus de la surface. Tout comme un appareil photo, ces instruments sont sensibles à la lumière visible mais aussi à d'autres parties du spectre électromagnétique comme l'infrarouge, l'ultraviolet et les micro-ondes. Etant très haut au-dessus du sol, ces capteurs peuvent imager de très grandes surfaces, parfois une province entière.

e- Un système d'information géographique ou SIG

Un SIG est un système d'information conçu pour recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter tous les types de données spatiales et géographiques.

II- LA FORME DE LA TERRE

II-1 Le géoïde

Le géoïde se définit comme la surface du champ de gravité de la Terre, qui est quasiment identique au niveau moyen de la mer. Il est perpendiculaire à la direction de la force de gravité. Comme la masse de la Terre n'est pas uniforme en tout point et que la direction de la force de gravité change, la forme du géoïde est irrégulière [1].

En apparence la **Terre** a la forme d'une sphère. En fait, elle est légèrement déformée par la force centrifuge induite par sa rotation autour de l'axe des pôles : la Terre n'est pas un corps rigide. Cette déformation est relativement faible : « tassement » de 11 km au niveau des pôles par rapport à un rayon moyen de 6 367 km et « renflement » de 11 km au niveau de l'équateur. Elle a donc l'aspect d'un ellipsoïde de révolution dont le petit axe est l'axe de rotation : l'axe des pôles.

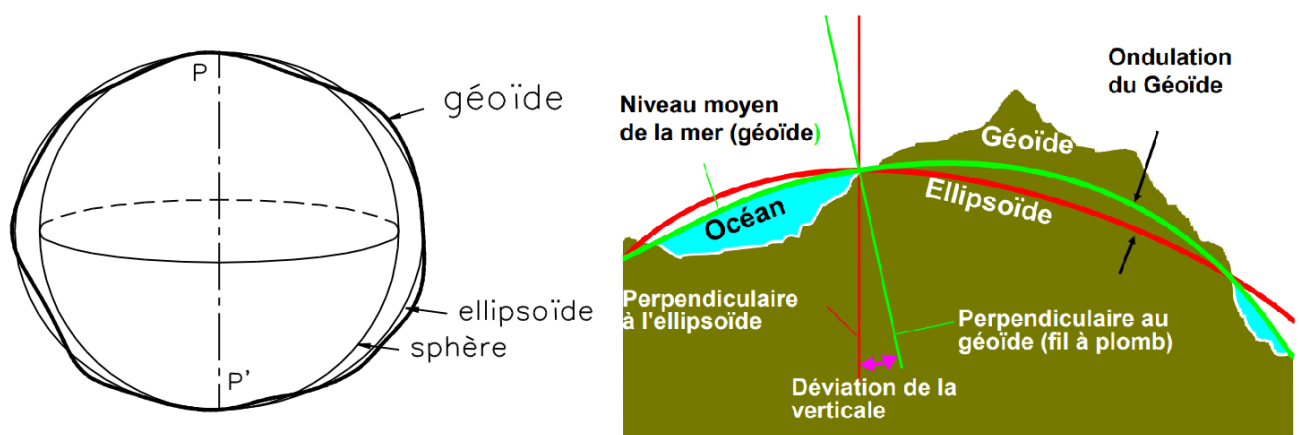


Figure 1 : Forme de la terre : Ellipsoïde et Géoïde

La Terre est une surface en équilibre. La surface du niveau moyen des mers et océans au repos n'a pourtant pas une forme régulière et ne coïncide ainsi pas avec un ellipsoïde de révolution : elle n'est pas régulière mais ondulée, présente des creux et des bosses. Par exemple, la surface de la mer se bombe au-dessus d'un



UNIVERSITE NATIONALE DES SCIENCES, TECHNOLOGIES, INGENIERIE ET MATHEMATIQUES (UNSTIM Abomey)

Cours : Base de Topométrie

volcan et se creuse au-dessus des grandes fosses océaniques parce que les reliefs créent des excès ou des déficits de matière produisant ainsi des variations locales du champ de pesanteur. Or la surface d'un fluide en équilibre est en tout point normale aux forces de pesanteur : on dit qu'elle est équipotentielle du champ de pesanteur. La Terre, non rigide, peut être considérée comme un fluide ; la direction des forces de pesanteur varie d'un endroit à un autre en raison de la répartition hétérogène de la matière composant la Terre ; sa surface n'est donc pas régulière [1].

II-2 Ellipsoïde de révolution [1, 2, 3]

a- Présentation de l'ellipsoïde terrestre

La surface la plus proche du géoïde est un ellipsoïde de révolution, c'est-à-dire un volume engendré par la rotation d'une ellipse autour d'un de ses deux axes. La terre tournant autour de l'axe des pôles (b), cette rotation engendre un cercle équatorial de rayon a.

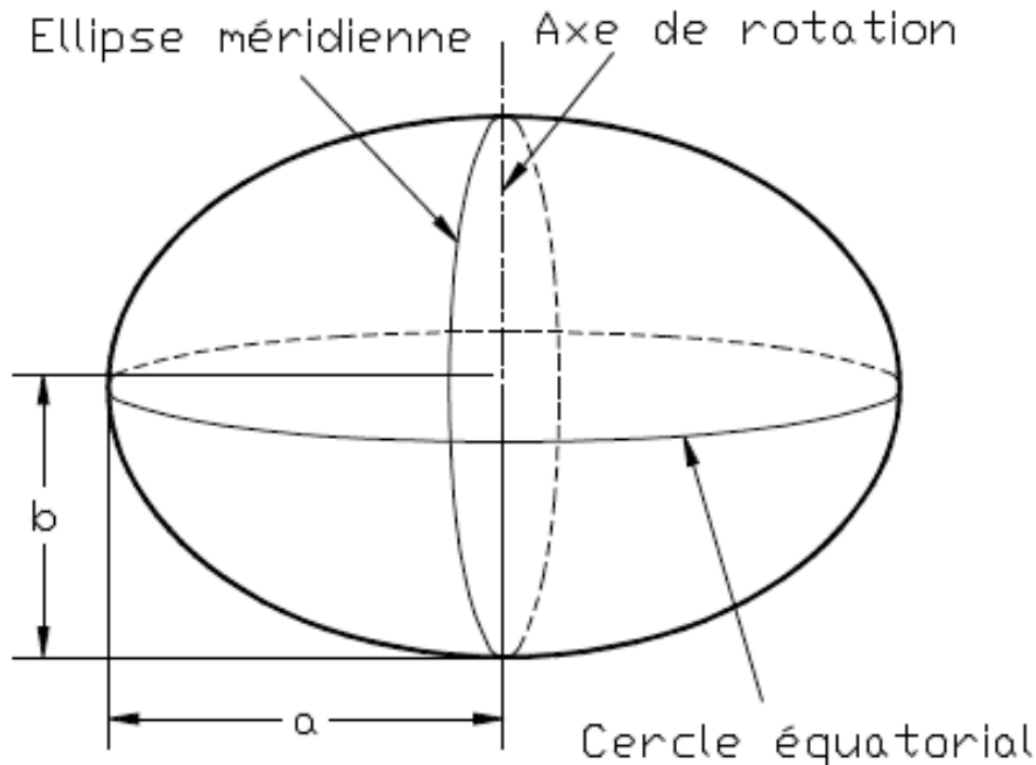


Figure 2 : Ellipsoïde de révolution

Les dimensions de l'ellipsoïde sont déterminées en comparant la distance par mesures géodésiques et la différence de latitude par mesures astronomiques entre deux points d'un même méridien.

Un méridien est l'intersection de la surface de l'ellipsoïde avec un plan contenant l'axe des pôles : c'est donc une ellipse.

Un parallèle est l'intersection de la surface de l'ellipsoïde avec un plan perpendiculaire à l'axe des pôles : c'est donc un cercle.

Tous les méridiens sont égaux entre eux (à quelques écarts près). Leur rayon de courbure diminue des pôles vers l'équateur, donc leur courbure (inverse du rayon) augmente.

III- LES REFERENTIELS [1, 2, 3]

III-1 Les coordonnées cartésiennes géocentriques X, Y, Z

La géodésie tridimensionnelle résout les problèmes de la représentation de la Terre, sans intervention d'hypothèse concernant sa forme, en utilisant un système à trois dimensions défini par un trièdre trirectangle, à coordonnées cartésiennes appelées géocentriques.

Le référentiel terrestre est un référentiel orthonormé direct dont l'origine est le centre d'inertie O de la Terre, le plan OXY le plan de l'équateur, le plan OXZ le plan du méridien de Greenwich ; l'axe OZ est confondu avec l'axe de rotation de la Terre.

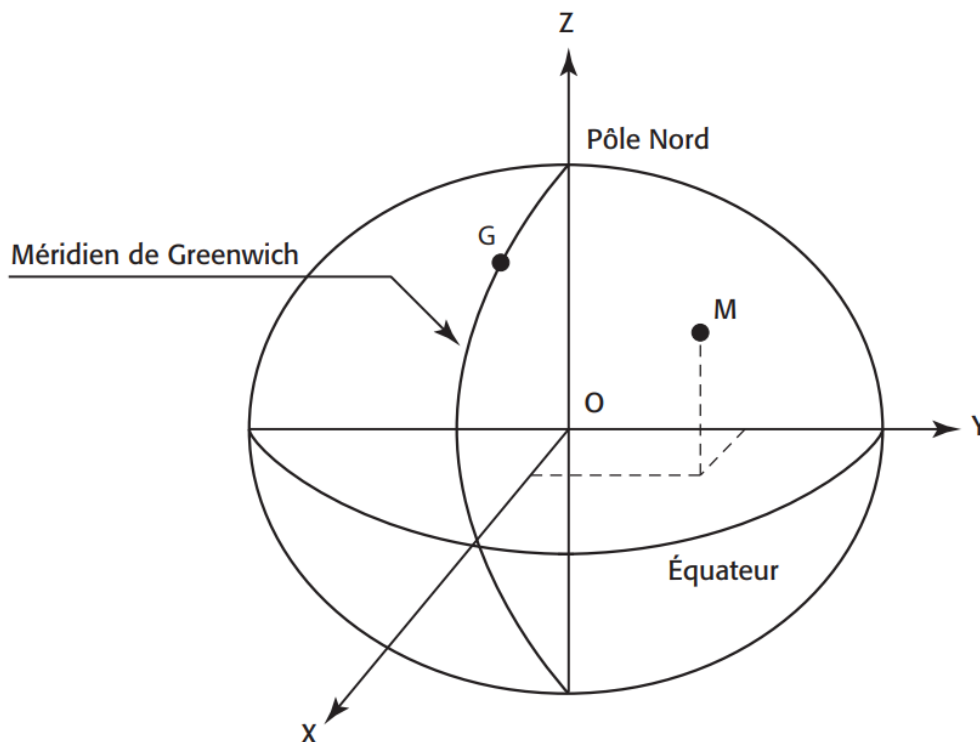


Figure 3 : Cordonnées géocentriques d'un point

III-2 Les coordonnées géographiques ou géodésiques

Les coordonnées géographiques d'un point M, qui permettent de le positionner, sont :

Cours : Base de Topométrie

- la **longitude géodésique** λ , angle du méridien du lieu avec le méridien origine ;
- la **latitude géodésique** φ , est l'angle que fait la normale en un point à l'ellipsoïde avec le plan de l'équateur, ce dernier étant le plus grand cercle de l'ellipsoïde dont le plan est perpendiculaire à la ligne des pôles ;
- la **hauteur ellipsoïdale** h , hauteur entre le point et le pied de la normale à l'ellipsoïde.

Les longitudes sont comptées en degrés sexagésimaux ou en grades, à l'est ou à l'ouest du méridien origine, lequel dépend du système géodésique utilisé.

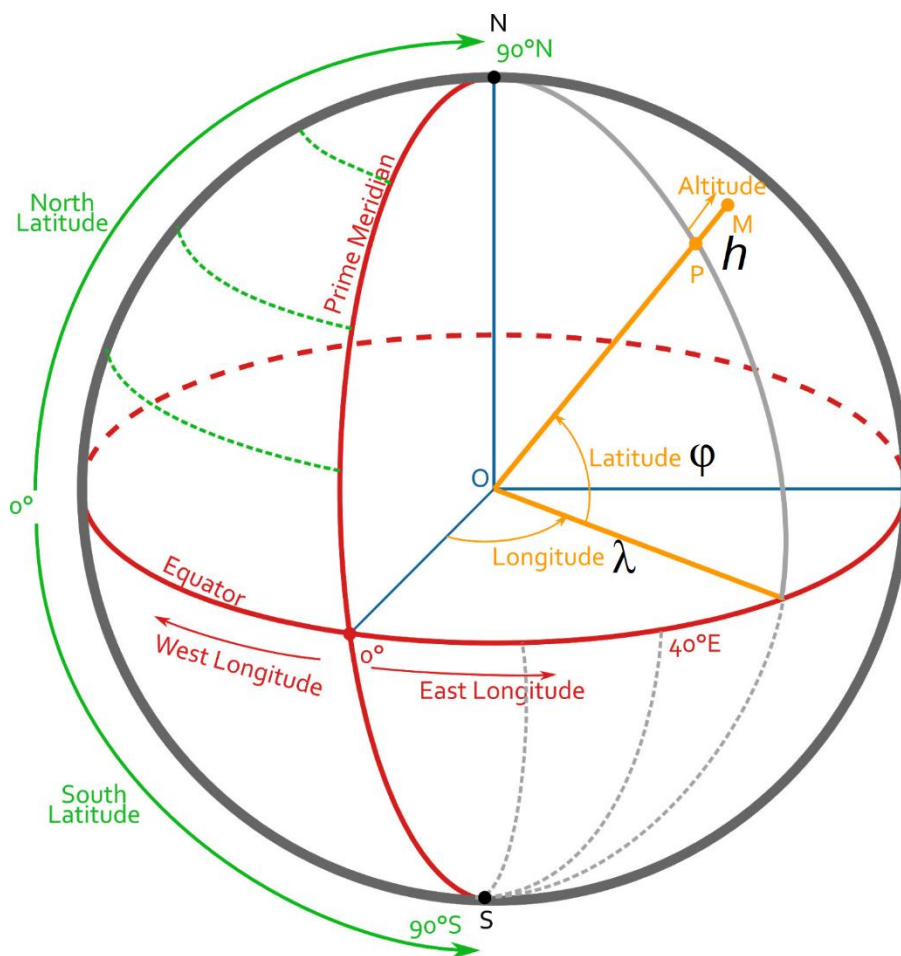


Figure 4 : Cordonnées géographiques d'un point

III-3 Les coordonnées planes E, N [1, 2, 3]

a- Systèmes de projection

Pour pallier l'inconvénient de coordonnées en unités d'angle, on utilise les coordonnées planes ou rectangulaires en mètres. Elles sont obtenues par un système de projection, établissant une correspondance entre un point de l'ellipsoïde et ses coordonnées géographiques λ et φ avec les coordonnées planes rectangulaires E, N de ce même point dans le repère orthonormé de la projection. Les principaux systèmes sont coniques ou cylindriques : l'ellipsoïde est projeté sur un cône ou un cylindre tangent à l'ellipsoïde le long d'un méridien ou d'un parallèle.

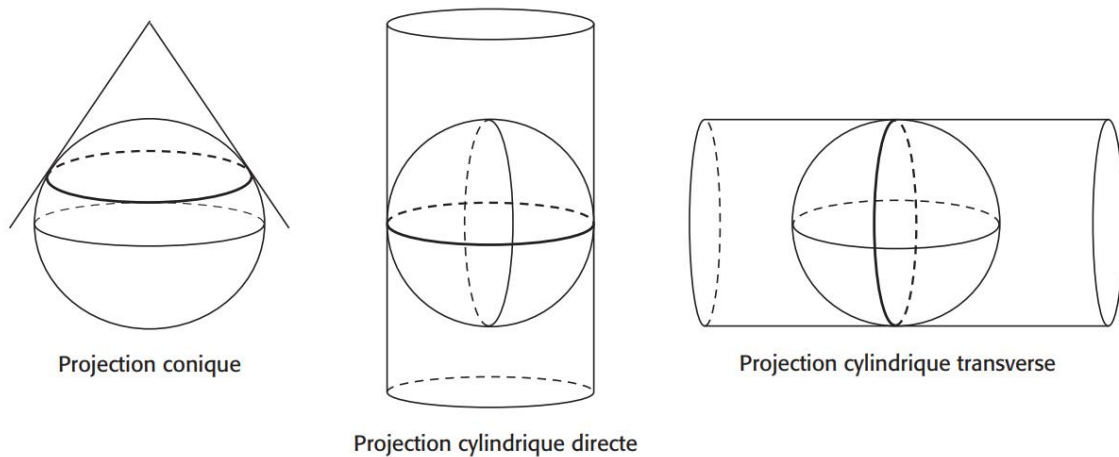


Figure 5 : Les projections coniques et cylindriques

L'ellipsoïde n'étant pas développable sur un plan, aucun système de projection ne peut se faire sans déformation.

Les systèmes de projection existant peuvent être classés en 3 groupes :

- les systèmes conformes qui conservent les angles, ce sont les plus utilisés ;
l'image d'un cercle reste un cercle dans le plan de projection ;

Cours : Base de Topométrie

- les systèmes équivalents qui conservent les superficies mais pas les angles ; l'image d'un cercle devient une ellipse de même aire ;
- les autres systèmes, encore appelés projections aphyllactiques, qui ne sont ni conformes ni équivalents.

Comme mentionné, il existe une multitude de systèmes de projections (environ 200). Exemple de projection cylindrique :

b- Projection UTM (Universal Transverse Mercator)

La projection de Mercator étant le développement d'un cylindre tangent à l'ellipsoïde le long de l'équateur, la projection de Mercator Transverse est le développement d'un cylindre tangent à l'ellipsoïde le long d'un méridien. Utilisée en Allemagne sous le nom de Gauss-Krüger, elle est associée au système géodésique ED50 (European Datum 1950) et s'appuie sur l'ellipsoïde de Hayford 1909.

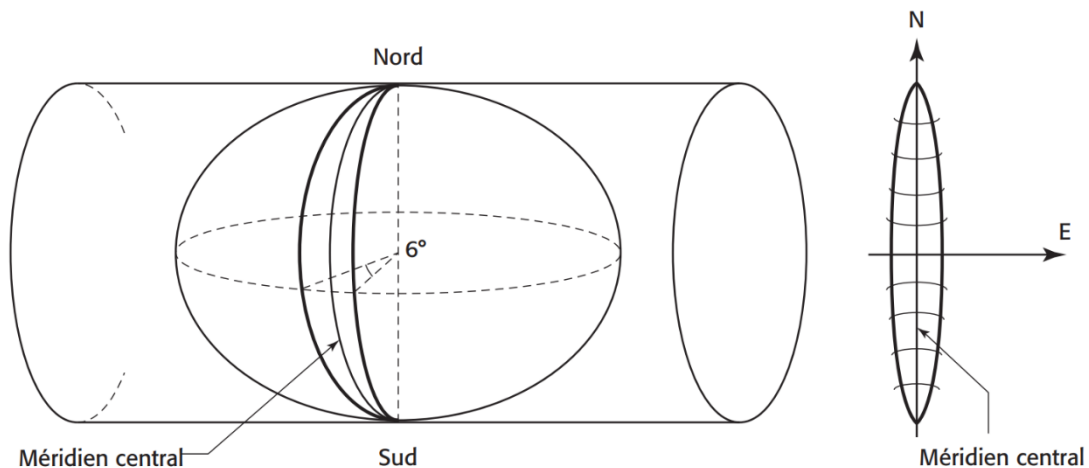


Figure 6 : Projection UTM (Universal Transverse Mercator)

La Terre est divisée en 60 fuseaux identiques, d'où le qualificatif « Universal », de 6° de longitude soit 3° de part et d'autre du méridien central représenté par une



UNIVERSITE NATIONALE DES SCIENCES, TECHNOLOGIES, INGENIERIE ET MATHEMATIQUES (UNSTIM Abomey)

Cours : Base de Topométrie

droite perpendiculaire à l'équateur rectiligne ; la projection étant conforme, l'aspect des méridiens et des parallèles est présenté sur la figure.

La numérotation des fuseaux croît d'ouest en est, de 1 à 60 en partant de $l = 180^\circ$; le méridien de Greenwich forme la limite entre les fuseaux 30 et 31, ce qui fait que le Bénin est concernée par le fuseau 31.

Afin de supprimer les coordonnées négatives, le méridien origine d'un fuseau est pris comme axe Nord du quadrillage, l'équateur comme axe Est ; les coordonnées de leur intersection valent $E = 500\ 000\ \text{m}$, $N = 0\ \text{m}$ pour l'hémisphère Nord, $N = 10\ 000\ 000\ \text{m}$ pour l'hémisphère Sud.

La projection UTM est également utilisée par le système WGS84, avec l'ellipsoïde international.



IV- NOTIONS DE BASE [1]

Les opérations en topométrie se résument essentiellement à la détermination d'angle et distance. Ces mesures sont effectuées soit dans le plan horizontal ou dans le plan vertical. Lorsque les distances sont mesurées suivant une ligne oblique (qui n'est ni vertical ni horizontal), elles sont ramenées dans l'un de ces plans en fonction des besoins. De plus une multitude de manipulations (calculs) peuvent être effectués sur la base des résultats de mesure. Cela nécessite donc la connaissance de notions mathématiques adaptées.

IV-1 Les unités de mesures [1]

Les unités les plus utilisées en topométrie sont

- le mètre (m) pour les distances ;
- le mètre carré (m^2) ou l'hectare (ha) pour les superficies ;
- le mètre cube (m^3) pour les volumes ;
- le grade (gr) ou gon et le degré ($^\circ$) pour les angles.

Correspondance entre les unités :

$$1ha = 10\ 000\ m^2 = 100\ a = 10\ 000\ ca$$

$$1^\circ = 60' = 3600''$$

IV-2 Les nombres approximatifs [1]

On appelle nombre approximatif toute représentation décimale qui n'est pas exacte. Un nombre est exact si on peut le représenter par un symbole (π , $\frac{3}{7}$, $\sqrt{36}$, 3 , $\sin 23$ etc...). Cependant, on ne peut pas toujours représenter par un symbole décimal, des nombres exacts ($\frac{3}{7} = 0.42857 \dots$, $\pi = 3.141\ 59 \dots$, etc).

IV-3 Les chiffres significatifs [1]

Il est important de comprendre que les chiffres employés dans un dénombrement et ceux obtenu lors d'un mesurage n'ont pas la même signification. Par exemple,

Responsables

YESSOUFOU M. Joslin

KOSSOUGBETO Briac K. P.



UNIVERSITE NATIONALE DES SCIENCES, TECHNOLOGIES, INGENIERIE ET MATHEMATIQUES (UNSTIM Abomey)

Cours : Base de Topométrie

lorsqu'on compte le nombre d'étudiant dans une salle, il n'y aura pas d'équivoque mais lorsqu'on mesure une distance par exemple il faut donner la valeur mesurée avec la précision de la mesure. Cette précision est donnée par les chiffres significatifs.

Le nombre de chiffres significatifs, qu'il ne faut pas confondre avec le nombre de décimales, est le nombre de chiffres qui ont un sens, c'est-à-dire dont on a la certitude de leur exactitude. Par exemple, si on nous dit qu'une distance est de 153,3 m, nous devons conclure qu'elle se situe entre 153,25 et 153,34 m. Dans ce cas, il y a 4 chiffres significatifs, c'est-à-dire que les trois premiers chiffres sont sûrs et que le quatrième est une approximation à une demi-unité près. Plus de chiffre donneraient une fausse indication de la précision et entraîneraient une perte de temps dans les calculs. Lors du mesurage, compte tenu de la destination et de l'échelle, il faut choisir l'instrument et la méthode les plus appropriés pour obtenir une précision suffisante mais non superflue. Le nombre de chiffres significatifs, qu'il ne faut pas confondre avec le nombre de décimales est le nombre de chiffres qui ont un sens, c'est-à-dire dont-on a la certitude de leur exactitude.

En effet, un zéro est un chiffre significatif, s'il succède à un chiffre significatif. Ainsi si l'on écrit $V=00215,06$ litres, les deux zéros qui précèdent le premier chiffre significatif 2, ne sont pas des chiffres significatifs et ne sont d'ailleurs d'aucune utilité.

Il faut noter que pour lever toute ambiguïté dans l'appréciation de la précision d'une mesure, il est interdit d'écrire des zéros à la droite du dernier chiffre significatif de la mesure.



IV-4 Les nombres arrondis [1]

Pour différentes raisons ou situations, il peut être nécessaire de conserver un certain nombre déterminé de chiffres significatifs pour la présentation des résultats. Ainsi pour donner une approximation de $\frac{3}{7} = 0,4285714285$ on peut utiliser 0.43, 0.429 ou 0.4286 en laissant tomber les chiffres les moins significatifs dans une situation donnée. Ce procédé s'appelle arrondissement.

Arrondir un nombre avec n chiffres significatifs se fait par l'élimination de tous les chiffres placés à droite de la $n^{\text{ème}}$ place. Si le chiffre qui suit immédiatement la $n^{\text{ème}}$ position est inférieur à cinq (5) alors le chiffre de la $n^{\text{ème}}$ place est conservé. Mais, si le chiffre occupant la place $(n+ 1)$ est supérieur ou égal à cinq (5) alors il faut ajouter un (1) au chiffre de la $n^{\text{ème}}$ place.

Afin d'obtenir une meilleure précision pour le résultat final, il est conseillé de conserver plus de décimales que nécessaire dans la conservation des résultats intermédiaire, mais il faut toujours respecter le nombre de chiffres significatifs pour exprimer le résultat final.

IV-5 La nature des mesures [1, 2, 3]

La mesure en topométrie (qu'elle soit linéaire ou angulaire) peut être : dépendante, conditionnée, indépendante, répétée ou multiple :

- les mesures sont dites **dépendantes** lorsque l'opérateur est influencé par une valeur déjà connue ;
- les mesures peuvent être **conditionnées** lorsqu'il existe une relation théorique entre elles ;
- les mesures qui ne sont ni dépendantes, ni conditionnée sont **indépendantes** ;



UNIVERSITE NATIONALE DES SCIENCES, TECHNOLOGIES, INGENIERIE ET MATHEMATIQUES (UNSTIM Abomey)

Cours : Base de Topométrie

- lorsque l'opérateur reprend des mesures avec le même instrument et dans les mêmes conditions, afin de vérifier une quantité, ces mesures sont dites **répétées** ;
- les mesure **multiples** sont celles que l'opérateur prend de façon cumulative et dans les mêmes conditions, dans le but d'augmenter la précision.

IV-6 La précision et l'exactitude

L'**exactitude** indique dans quelle mesure une valeur estimée ou une mesure se rapproche de la valeur réelle. Mais elle est inconnue, tandis que la **précision** indique dans quelle mesure une valeur déterminée se rapproche de la valeur estimée moyenne (ou la proximité des valeurs mesurées entre elles). La précision présuppose le raffinement dans le mesurage et l'étroite concordance des mesures répétées, tandis que l'exactitude concerne la fidélité avec la valeur vraie.

L'exactitude peut être grande, mais la précision, faible et vice-versa. Une valeur peut être très précise tout en étant inexacte.

Les erreurs qui limitent l'exactitude d'une mesure peuvent être classifiées en erreurs grossières, erreurs systématiques et erreurs fortuites ou accidentelles.

Cours : Base de Topométrie

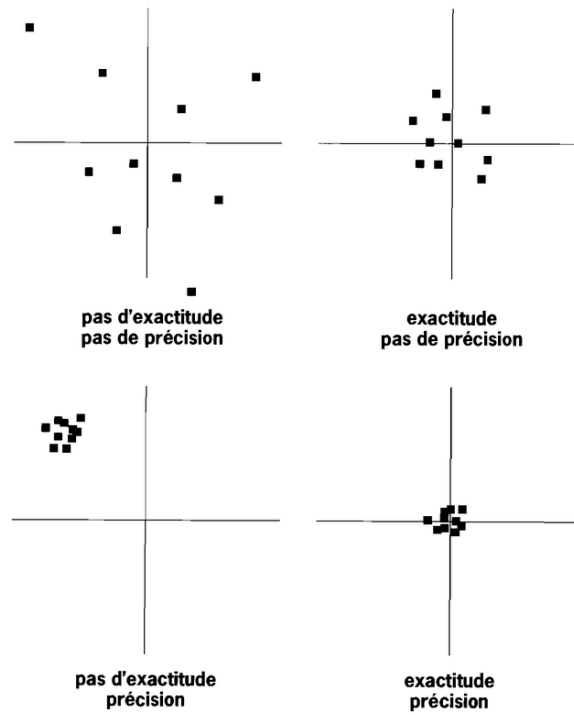


Figure 7. Illustration de la précision et de l'exactitude



V- PRECISION DES MESURES [1, 2, 3]

En règle générale, avant la réalisation de tout projet, le topomètre doit se prémunir d'un minimum d'information : le but du projet, le degré de précision requis pour sa réalisation, en fonction de ce dernier calculer la précision relative de chacune des mesures et en fonction des conditions du projet, du terrain, de la météorologie et autres identifier les sources d'erreurs, trouver les moyens adéquats pour éliminer ces erreurs ou tout au moins réduire leurs effets, se ménager des moyens de vérification indépendants, c'est-à-dire calculer une même quantité en empruntant des chemins différents.

V-1 Quelques définitions

a- La grandeur

La grandeur est l'attribut d'un phénomène ou d'un corps qui est susceptible d'être distingué et déterminé quantitativement ; une grandeur s'exprime par le produit d'un nombre et d'une unité.

b- La valeur vraie d'une grandeur

La valeur qui caractérise une grandeur parfaitement définie dans les conditions qui existent au moment où cette grandeur est examinée ; notion idéale, elle est en général inconnue et remplacée par une valeur approchée appelée valeur conventionnellement vraie.

c- Observation

L'action d'observer au moyen d'un instrument permettant des mesures ; par extension, mot utilisé en général au pluriel : résultats des mesures.

d- Le mesurage

Le mesurage est l'ensemble des opérations ayant pour but de déterminer la valeur d'une grandeur.



e- Le mesurage direct

La méthode de mesurage par comparaison de la grandeur à mesurer avec une grandeur de même nature prise comme étalon est appelée mesurage direct; mesurage d'une distance avec un ruban par exemple.

f- Le mesurage indirect

La méthode de mesurage d'une grandeur à partir des mesures d'autres grandeurs liées à celle-ci par une ou plusieurs relations connues est le mesurage indirect.

g- Le résultat d'un mesurage

C'est la valeur de la grandeur mesurée obtenue, souvent appelé « mesure ».

h- Le résultat brut d'un mesurage

Le résultat avant corrections et avant la détermination de l'incertitude de mesurage est dénommé résultat brut.

i- La correction

La correction est la valeur qu'il faut ajouter algébriquement au résultat brut du mesurage pour obtenir le résultat corrigé : $X_{cor} = X_{brut} + correction$.

V-2 Les erreurs [1]

En topométrie, les mesures sont susceptibles d'être entachées d'inexactitudes et/ou d'incertitudes appelées selon le cas faute ou erreur.

a- La faute

Encore appelée erreur parasite, la faute est l'inexactitude qui résulte d'une maladresse, d'un oubli ou d'une méprise. La faute implique l'incompétence ou la distraction de l'opérateur. Afin d'éviter les fautes, il faut prévoir les moyens de vérification. Il est donc préférable (conseillé) de prendre par différents chemins, plusieurs mesures afin de faire des contrôles.



b- L'erreur

Elle est l'incertitude qui découle de l'imperfection inévitable des instruments et de nos sens. Les erreurs sont généralement petites, mais leur accumulation peut devenir importante. Dans le mesurage, les erreurs sont de deux types : **systematique** et **fortuite**.

❖ **L'erreur systematique [1]**

Elle dépend des méthodes et des instruments utilisés. C'est l'erreur qui, lors de plusieurs mesurages effectués dans les mêmes conditions, de la même valeur d'une certaine grandeur, reste constante en valeur absolue et en signe ou qui varie selon une loi définie quand les conditions changent.

Une erreur systematique que l'on peut déterminer par le calcul ou par l'expérience doit être éliminée par une correction appropriée.

Les erreurs systematiques que l'on ne peut pas déterminer mais dont la valeur est supposée suffisamment petite par rapport à l'imprécision du mesurage, sont traitées comme des erreurs accidentelles dans le calcul de l'incertitude de mesurage.

Les erreurs systematiques que l'on ne peut pas déterminer, mais dont la valeur est supposée suffisamment grande par rapport à l'imprécision du mesurage, doivent être évaluées approximativement et prises en considération dans le calcul de l'imprécision du mesurage.

Elle provient de trois sources distinctes :

- **la nature** : les mesures peuvent être affectées par des phénomènes naturels comme le vent, la dilatation des matériaux due à la variation de la température, la réfraction de l'air, l'influence de la pression, l'humidité de l'air... ;



UNIVERSITE NATIONALE DES SCIENCES, TECHNOLOGIES, INGENIERIE ET MATHEMATIQUES (UNSTIM Abomey)

Cours : Base de Topométrie

- **l'instrument** : l'imperfection dans la construction et le réglage des instruments affectent la précision des mesures ;
- **l'opérateur** : les erreurs personnelles dépendent des limites et des habitudes propres à l'opérateur.

L'erreur systématique suit des lois mathématiques et physiques, donc on peut l'éliminer en appliquant des correctifs appropriés.

❖ L'erreur fortuite ou accidentelle [1]

Elle découle uniquement du hasard et, par conséquent, elle échappe à tout contrôle de l'opérateur. Elle est sujette aux lois de probabilité.

Elle varie d'une façon imprévisible en valeur absolue et en signe lorsqu'on effectue un grand nombre de mesurages de la même valeur d'une grandeur dans des conditions pratiquement identiques. On peut déduire les propriétés suivantes:

- la moyenne arithmétique des observations est la valeur la plus probable ;
- les erreurs les plus petites sont les plus nombreuses ;
- le nombre d'erreurs positives est égal au nombre d'erreurs négatives de même grandeur ;
- la probabilité de grosses erreurs est très faible ;
- la somme algébrique de toutes les erreurs tend vers zéro.

V-3 Les sortes d'erreurs

Soit x la valeur vraie d'une mesure effectuée n fois et \bar{x} la moyenne arithmétique des x_i mesurés avec i allant de 1 à n .

$$\bar{x} = \frac{\sum_1^n x_i}{n}$$



a- Erreur vraie.

L'erreur vraie est la différence entre la valeur vraie et la valeur mesurée. Soit e l'erreur vraie alors $e = x_i - x$. Puisque x la valeur vraie n'est pas connue alors l'erreur vraie n'existe pas.

b- Erreur résiduelle.

L'erreur résiduelle, notée v_i , est la différence entre la valeur mesurée et la moyenne arithmétique de toutes les observations. $v_i = x_i - \bar{x}$

c- Erreur moyenne.

L'erreur moyenne, notée e_{moy} est la moyenne arithmétique des erreurs résiduelles :

$$e_{moy} = \frac{\sum_1^n v_i}{n}$$

d- Ecart type.

L'écart type, noté σ , encore appelé erreur moyenne quadratique, est l'erreur qui correspond au point d'inflexion de la courbe de distribution normale. On le calcule

par la formule suivante : $\sigma = \pm \frac{\sqrt{\sum_1^n v_i^2}}{\sqrt{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_1^n v_i^2}{n-1}}$

Il est souvent utilisé lorsqu'on veut comparer la précision des différentes séries de mesures d'une même quantité.

e- Erreur probable.

L'erreur probable, notée e_{prob} , est l'erreur pour laquelle il y a autant d'erreurs supérieures que d'erreurs inférieures, prises en valeur absolue. On l'obtient par l'expression : $e_{prob} = 0,6745\sigma$



f- Erreur maximale.

L'erreur maximale est le plus grand écart, en valeur absolue d'un ensemble d'écarts provenant d'une série d'observations. Par convention, on peut calculer cette erreur en se basant sur 99,7% des observations, laquelle valeur correspond à 3σ .

g- Ecart type de la moyenne.

L'écart type calculé à partir d'une série d'observations s'applique à une seule observation et est quelquefois appelé écart type d'une observation. Si on considère la valeur moyenne d'une série d'observations, on calcule l'écart type de la moyenne σ_{moy} , comme suit : $\sigma_{moy} = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$.

h- Erreur relative.

L'erreur relative e_r est le rapport entre l'erreur calculée et la quantité mesurée. Cette erreur est représentée par une fraction de numérateur 1. Alors, l'erreur relative est l'inverse du rapport entre la quantité mesurée et l'erreur calculée : $e_r = \frac{1}{\frac{x_m}{\sigma}}$. Avec la x_m la quantité mesurée. L'erreur relative est encore appelée la "précision de la mesure".

V-4 La propagation des erreurs [1]

Lorsqu'un résultat est obtenu à partir de plusieurs mesures affectées d'erreurs, il doit être calculé avec son erreur. Cette erreur est calculée en fonction des précisions prises individuellement.

Considérons une mesure t déterminée en fonction des mesures individuelles x , y et z . Calculons l'écart type de t :



$$\sigma_t = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial t}{\partial x} \sigma_x\right)^2 + \left(\frac{\partial t}{\partial y} \sigma_y\right)^2 + \left(\frac{\partial t}{\partial z} \sigma_z\right)^2}$$

V-5 La compensation et la pondération [1]

La compensation est une méthode de calcul permettant de répartir l'erreur sur toutes les mesures individuelles. La compensation se fait de telle sorte que la somme des erreurs résiduelles soit minimale. Elle peut se faire par la répartition égalitaire ou par la répartition proportionnelle ou par les moindres carrés.

Il est évident que certaines quantités obtenues sont plus faibles que d'autres, à cause des instruments utilisés, de la technique choisie et des conditions plus favorables. Lors d'une compensation, il est recommandé d'attribuer des poids différents à chaque observation.

On peut définir le poids d'une observation comme la valeur de confiance, de mérite, de reproduction ou encore de la quantité de travail attribuée à une mesure relativement à une autre. Donc la compensation peut se faire par pondération. Le poids doit être inversement proportionnel à l'erreur standard ou l'écart type.

L'écart type ou l'erreur standard de la moyenne pondérée vérifie la formule suivante :

$$\sigma_{moy} = \pm \sqrt{\frac{\sum_1^n p_i * v_i^2}{(n - 1) * \sum_1^n p_i}}$$

V-6 L'homogénéité des mesures

Lorsqu'on détermine une quantité à partir de mesures linéaire et angulaire, il faut que la précision de ces mesures soit compatible, c'est-à-dire : $\Delta l = l \Delta \alpha$.



VI : RECUEIL DES DONNEES [1, 2, 3]

VI-1 Le carnet de note

On appelle «**notes**» l'ensemble des renseignements qu'on obtient sur le terrain. On doit enregistrer et conserver ces renseignements dans un **carnet de notes**, qui constitue le seul document officiel et permanent du travail fait sur le terrain.

Le **secrétaire**, est celui qui prend les notes sur le terrain. Il a une fonction importante et quelque fois difficile. Il doit faire preuve de vigilance, de jugement et d'intelligence. Ce rôle devrait être assumé par le chef d'équipe.

La méthode de prise de notes est personnelle. Mais, ces notes doivent avoir certaines propriétés et satisfaire à des normes généralement acceptées ayant trait à l'accessibilité, c'est-à-dire que quelqu'un du milieu devrait pouvoir s'y retrouver sans trop de difficulté.

IV-2 La nature des notes

La prise de notes peut s'effectuer de différentes façons : par description, tabulation, croquis, photos ou enregistrements automatiques.

Si on doit déterminer rigoureusement certains détails, alors une description s'impose, comme dans le cas d'un repère d'altitude. Pour compléter la prise de notes sur le terrain, il peut s'avérer très commode de prendre des photos avec un appareil à développement instantané.

VI-3 Les renseignements de base

Il est impératif au début de chaque travail et au fur et à mesure que le besoin s'en fait sentir, il faut donner certains renseignements statutaires.

- **Le titre** : Il permet de définir le projet en faisant une courte description et indiquer l'emplacement.
- **La date** : De façon générale, un document non daté a peu de valeur. La date a une valeur incontestable. Si le projet nécessite plusieurs jours sur le

Responsables

YESSOUFOU M. Joslin

KOSSOUGBETO Briac K. P.



UNIVERSITE NATIONALE DES SCIENCES, TECHNOLOGIES, INGENIERIE ET MATHEMATIQUES (UNSTIM Abomey)

Cours : Base de Topométrie

terrain, il faut donner la date chaque fois. Dans certains cas l'heure est nécessaire.

- **Les conditions atmosphériques** : Afin de mieux estimer les l'effet des conditions atmosphériques sur la précision des mesures, il est nécessaire de les relever ou mentionner lors de l'exécution des travaux. Il s'agit le plus souvent de la température ambiante, l'ensoleillement, le temps nuageux, le vent, la neige, ...
- **Les membres de l'équipe** : Parfois pour des précisions ou complément d'information, il faut inscrire les noms de tous les membres de l'équipe.
- **Les instruments** : On inscrit les instruments utilisés. Le type d'instrument permet d'évaluer, dans certains cas. La précision possible.

VI-4 Les qualités des notes [1]

Les notes doivent avoir quelques qualités comme :

- **Originales** : Elles doivent être prises directement sur le terrain sans transcription ;
- **Exactes** : Évidemment, l'exactitude est une qualité primordiale dans tous les travaux de topométrie ;
- **Complète** : Pour des vérifications lors des calculs, il est recommandé de prendre plus de mesures que nécessaire. Il est donc important que les notes soient complètes. De plus avant de quitter le terrain, on doit les vérifier pour s'assurer qu'il n'y a pas eu d'omission ;
- **Lisibles** : Etant donné que les renseignements recueillis sur le terrain ne sont pas forcément exploités par celui qui les a enregistrés, il est nécessaire de les reporter de façon lisible. Des notes illisibles sont inutiles et conduisent parfois à une nouvelle descente sur le terrain ;



UNIVERSITE NATIONALE DES SCIENCES, TECHNOLOGIES, INGENIERIE ET MATHEMATIQUES (UNSTIM Abomey)

Cours : Base de Topométrie

- **Clares** : Des notes claires, en plus de faciliter la compréhension et la mise en plan, permettant de déceler plus facilement les erreurs et les omissions. Il n'est pas nécessaire que les croquis soient à l'échelle, mais il faut respecter les proportions. Au besoin, l'utilisation d'une règle et d'un rapporteur d'angles peut s'avérer très commode dans certain cas ;
- **Intelligibles** : Les informations doivent être prise dans un ordre logique et chronologique afin d'en faciliter la compréhension et l'interprétation, et éviter toute équivoque ;

VI-5 Les sortes de carnets

Le carnet de notes contient les renseignements importants qui doivent être permanents. Ainsi, il faut utiliser le meilleur pouvant supporter les températures humides sur le terrain. Généralement les feuilles d'un carnet de notes sont quadrillées mais il est possible de se composer des modèles personnels de feuilles de notes. On peut aussi utiliser un carnet de notes électrique qu'on relie aux instruments de mesures afin de récupérer les données et les traiter par le biais d'un logiciel incorporé dans un ordinateur.

VI-6 Les recommandations générales [1]

En plus des remarques précédentes, nous faisons les suggestions suivantes :

- Inscrire, à l'encre, le nom, l'adresse et le numéro de téléphone du propriétaire, au cas où on perdrait le carnet de notes ;
- Conserver les carnets de notes dans une voûte ;
- Établir la concordance entre les croquis et la tabulation ou la description ;
- Utiliser des signes conventionnels pour économiser de l'espace ;
- Indiquer la direction du Nord sur les croquis (méridienne) ;
- Répéter à haute voix une valeur en l'inscrivant pour permettre à celui qui l'a donnée de la vérifier ;



UNIVERSITE NATIONALE DES SCIENCES, TECHNOLOGIES, INGENIERIE ET MATHEMATIQUES (UNSTIM Abomey)

Cours : Base de Topométrie

- Pour les nombres plus petits que l'unité, toujours mettre un zéro avant la marque décimale, par ex. : 0,58 plutôt que ,58 ;
- respecter la règle des chiffres significatifs. Par exemple, écrire 8.40 plutôt que 8.4 si le mesurage a été fait au centième ;
- Ne jamais superposer un nombre à un autre et ne jamais essayer de changer un chiffre à autre, comme un 9 en un 8 ;
- Ne jamais perdre de vue le but du travail, de façon à recueillir tous les détails pertinents.

VI-7 Croquis du terrain

Le croquis de terrain est un document représentant tous les détails du territoire à lever et sur lequel sont portés les renseignements et les mesures permettant la rédaction ultérieure du plan munîtes. Le croquis est une représentation à main levée et orientée du terrain dont on veut faire le levé. Cependant, les distances doivent être proportionnelles. Il faut ajouter qu'un croquis doit contenir pratiquement toutes les informations essentielles citées dans le cas du carnet en plus de celles liées à la géographie et l'orientation.



UNIVERSITE NATIONALE DES SCIENCES, TECHNOLOGIES, INGENIERIE ET MATHEMATIQUES (UNSTIM Abomey)

Cours : Base de Topométrie

Références bibliographiques

- [1] Roger Duquette, Ernest P. Lauzon, Topométrie générale, 3^{ème} édition, Canada : Presses internationales Polytechnique, 1996.
- [2] Serge Milles, Jean Lagofun; Topographie et topométrie moderne, Tome 1 : Broché – 1 juillet 1999
- [3] Serge Milles, Jean Lagofun; Topographie et topométrie moderne, Tome 1 : Broché – 1 juillet 1999