

Programme Topographie 1 L2 Génie Civil

CONTENU DE LA MATIERE

Chapitre 1. Généralités (3 semaines)

La topographie dans l'acte de construire, Les différents appareils de mesure topographique, Les échelles (les plans, les cartes), Les fautes et les erreurs

Chapitre 2. Mesure de distances (3 semaines)

Mesure directe des distances, Méthodes d'alignement et précisions, Pratique de mesurage, Mesures indirects de distance

Chapitre 3. Mesure des Angles (3 semaines)

Principe de fonctionnement d'un théodolite, Mise en station d'un théodolite (Réglage, Lecture),

Lecture d'angles horizontaux, Lecture d'angles verticaux.

Chapitre 4. Détermination des surfaces (3 semaines)

Calcul de la surface d'un polygone, Détermination des surfaces des contours représentés sur le plan, Planimètre et mesure des surfaces.

Chapitre 5. Nivellement direct et Indirect (3 semaines)

Nivellement Direct, Nivellement Indirect.

Mode d'évaluation :

Examen : 100%.

Références bibliographiques :

1. Antoine, P., Fabre, D., « **Topographie et topométrie modernes (Tome 1 et 2)** », Serge Milles et Jean Lagofun, 1999.
2. Bouquillard, « **Cours De Topographie** », BepTech.geo T1, 2006
3. Dubois, F. et Dupont, G. (1998) « **précis de topographie, Principes et méthodes** », Editions Eyrolles Paris
4. Herman, T. (1997a) « **Paramètres pour l'ellipsoïde** », Edition Hermès, Paris
5. Herman, T. (1997b) « **Paramètres pour la sphère** », Edition Dujardin, Toulouse
6. Meica (1997), « **Niveaux numériques** », MicaGeosystems, Paris
7. Tchou, M. (1976) « **Topographie appliquée** », Cours à l'école Nationale Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg, Spécialité Topographie.
8. Lapointe, L., Meyer G., « **Topographie appliquée aux Travaux Publics, Bâtiments et Levers urbains** », Editions Eyrolles Paris, 271p, 1984.
9. Dubuisson, « **Cours élémentaires de topographie** », Editions Eyrolles Paris, 120p, 1982.

I.1 GENERALITES

I.1.1 Définitions

La **Géodésie** : c'est la science qui étudie la forme de la terre. Par extension, elle regroupe l'ensemble des techniques ayant pour but de déterminer les positions planimétriques et altimétriques d'un certain nombre de points géodésiques et repères de nivellement.

La **topographie** : le mot topographie vient du grec **topos** (le lieu) et **graphein** (dessiner). A pour objet la description et la représentation locale des formes de la surface de la Terre. Le topographe procède donc à des **levés**, soit en mesurant directement sur le terrain (mesures d'angles, de distances, ou GPS), soit en exploitant les propriétés métriques d'images aériennes stéréoscopiques du sol (**photogrammétrie**).

La **topométrie** représente l'ensemble des moyens géométriques employés pour effectuer des mesures de positions relatives de points. C'est donc la boîte à outils de base du topographe.

Topométrie de construction

La topométrie de construction consiste à donner des alignements et des altitudes qui servent à la construction de bâtisses, de réseaux d'égouts et d'aqueducs, de rues, et le reste.

Topométrie routière

La topométrie routière est intimement liée aux autoroutes, aux chemins de fer, aux oléoducs et aux travaux qui s'étendent, d'une façon générale, sur de grandes distances.

Topométrie cadastrale

La topométrie cadastrale, aussi appelée arpentage légal, consiste principalement à déterminer la délimitation et morcellement des propriétés foncières. C'est un champ d'activité exclusivement réservé aux arpenteurs – géomètres.

Topométrie souterraine

Les opérations comme l'orientation et les dimensions des tunnels et de galerie de mines, le calcul des volumes, etc., relèvent de la topométrie souterraine.

Topométrie hydrographique

La topométrie hydrographique, ou tout simplement l'hydrographie, a pour but de représenter le littoral, les lacs et rivières, les fonds marins, et le reste.

Topométrie industrielle

L'aménagement des installations industrielles, au moyen d'instruments optiques, constitue la principale application de la topométrie industrielle.

Le travail du **géomètre** recouvre une série d'activités complémentaires mais étendues, allant de la topographie sous toutes ses formes à la **cartographie** (art qui consiste à représenter au mieux la topographie sous forme de cartes), et à tous les aspects techniques et juridiques de la définition de la propriété foncière.

Important : en **Topographie**, **Topométrie** et **Géodésie**, les **angles** sont exprimés en **degrés** ou en **grades** et les pressions en **millimètres de mercure**.

On rappelle les correspondances avec les unités légales :

$$1^\circ = \pi / 180 \text{ rad ;}$$

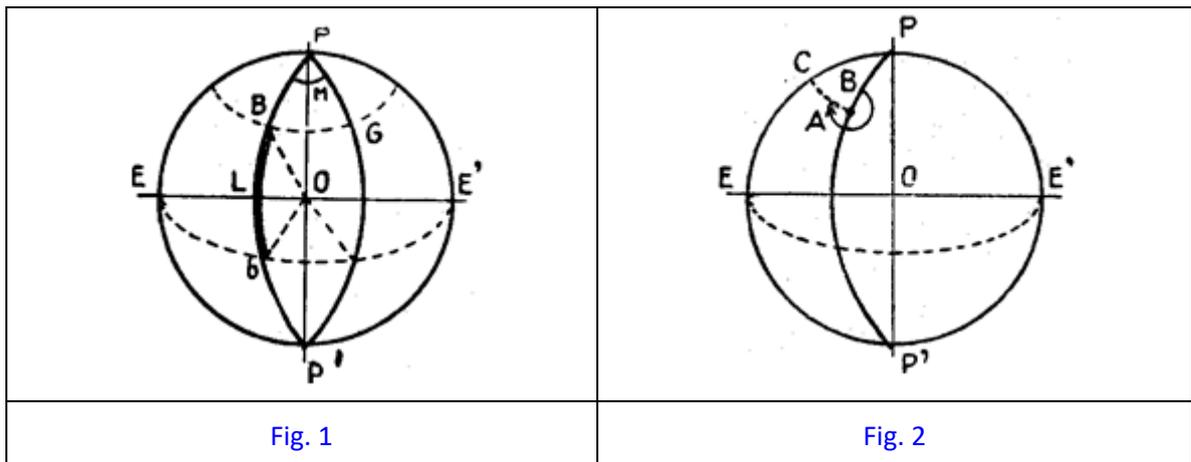
$$1 \text{ gr} = \pi / 200 \text{ rad ;}$$

$$1 \text{ mmHg} = 133 \text{ Pa.}$$

I.1.2 COORDONNEES GEOGRAPHIQUES, AZIMUT.

Le point B de la terre (fig. 1 et fig.2) se situe grâce à ses coordonnées géographiques, à savoir :

- a) **Sa longitude**, qui est l'angle M formé par le méridien du lieu PBP' avec un méridien choisi arbitrairement pour origine PGP' :(méridien passant par Greenwich).



- b) **Sa latitude**, qui est l'angle L (Bob) du rayon OB avec le plan de l'équateur. La latitude est aussi, en lieu, l'angle de hauteur du pôle au – dessus de l'horizon. La colatitude est l'arc complémentaire BP. La latitude se compte à partir de l'équateur soit vers le nord ('latitude boréale), soit vers le sud (latitude australe). Le parallèle de B est le petit cercle de la sphère situé dans un plan perpendiculaire à la ligne des pôles et passant par B.
- c) **L'azimut** d'une direction BC (fig.2), BC étant une ligne droite sur la terre (appelée géodésique), est l'angle A mesuré au point B dans un plan horizontal, entre la direction du nord (BP) et la direction considérée (BC). Cet angle se mesure dans le sens des aiguilles d'une montre, à partir du nord.

I.1.3 REPRESENTATION PLANE DE LA SURFACE TERRESTRE ET COORDONNEES RECTANGULAIRES.

En topographie, on considère la surface de la terre, objet du levé (Fig. 3), comme plane. On ne commet, de ce fait, aucune erreur appréciable si la surface levée est relativement réduite.

Demi-grand axe : $a = 6\,378\,249,20 \text{ m}$
 Demi-petit axe : $b = 6\,356\,515,00 \text{ m}$

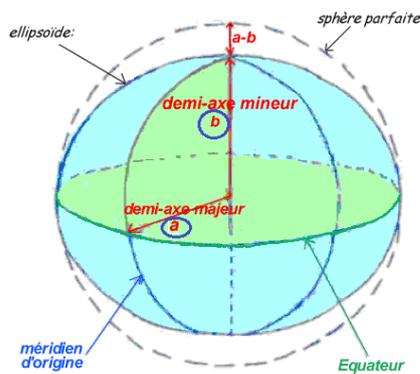


Fig. 3 Ellipsoïde de référence

L'hypothèse ne serait plus valable pour la représentation précise d'un territoire étendu. En effet, pas plus qu'on peut parvenir à étendre sur une table une écorce d'orange sans la déchirer, on ne peut représenter une fraction importante du globe sans déformer les distances et les angles. Dans ce cas, on a projection de Mercator, projection de Bonne, etc...) dans laquelle les méridiens et les parallèles sont des courbes ou des droites.

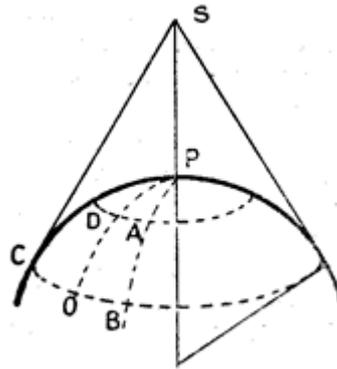


Fig. 4 Principe de projection Lambert

La [figure 4](#) représente schématiquement une projection Lambert, c'est elle qu'on utilise généralement. Cette projection, comme la plupart, n'est pas une représentation géométrique simple, mais seulement analytique. Cette projection Lambert est particulièrement propre à la représentation d'un pays plus étendu en longitude qu'en latitude.

Le principe du système Lambert est le suivant : Sur la surface de la terre, dont la forme est sensiblement celle d'un ellipsoïde ([fig.6](#)), on fait choix d'un méridien origine OP et d'un parallèle OB , tel que O soit au centre de la région à représenter.

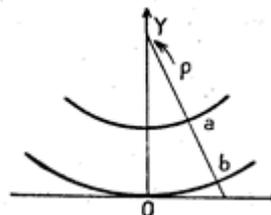


Fig. 6

La fraction de la surface terrestre avoisinant le point O sera représentée en plan, dans un système de coordonnées rectangulaires XOY ([fig. 6](#)), d'après les conventions suivantes (à l'échelle de la carte près) :

- Les méridiens sont représentés par des droites concourantes en p ;
- Les parallèles sont représentés par des cercles concentriques ayant p pour centre ;

c) Les longueurs mesurées sur la terre sont conservées sur le parallèle origine.

L'emploi des coordonnées géographiques est peu pratique pour la désignation et le calcul des points. Aussi a-t-on superposé au système des méridiens et des parallèles, un quadrillage Lambert qui permet de désigner les points par leurs coordonnées ramenées à des axes rectangulaires (fig. 7).

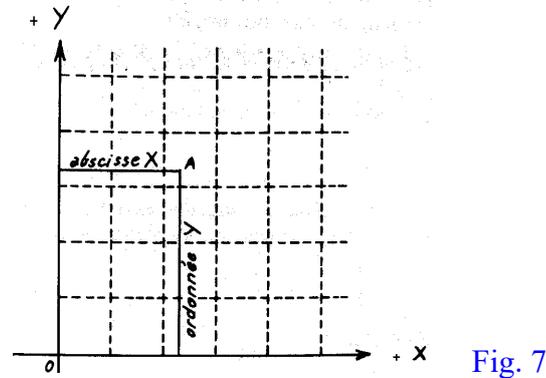


Fig. 7

Toutes les opérations topographiques importantes effectuées à l'Algérie pour les collectivités publiques devront obligatoirement être rattachées et calculées en coordonnées Lambert.

L'intérêt de ce système est qu'il est « conforme », c'est-à-dire qu'il conserve les angles mesurés sur le terrain, dans la représentation plane, à condition, toutefois, que les longueurs des côtés de ses angles soient petites (par exemple inférieures à 10 km).

En pratique, les travaux topographiques d'étendues limitées sont exécutés soit dans un système de coordonnées rectangulaires planes arbitraires XOY, que l'on choisit le plus près possible de la direction du nord (axe de Y),

- soit dans le système de coordonnées Lambert, en considérant la terre comme plate.

Un point est donc déterminé : en X (abscisse) et Y (ordonnée).

Signalons qu'il y a des formules simples permettant de passer d'un système XOY quelconque, au système Lambert XOY.

Le fait de se rattacher aux coordonnées Lambert ne créera aucune difficulté particulière et tout se passera comme si nous travaillions en coordonnées rectangulaires planes de système XOY.

I.1.4 LES AXES.

a) **Nord Lambert** (NL ou Y) : Direction des Y positifs en un point. Le Nord du quadrillage.

b) **Nord géographique** (NG) : Direction du point vers le pôle nord. En un point donné la direction du nord du quadrillage Lambert (ou axe des Y positifs) n'est confondue avec le nord géographique que le long du méridien origine.

L'angle entre le nord Lambert et le nord géographique est appelé « convergence des méridiens ».

c) **Nord magnétique** (NM) : Direction de la pointe bleue de l'aiguille aimantée. Elle varie dans le temps et est influencée par les corps magnétiques proches du lieu d'observation.

I.1.5 LES ORIENTATIONS

a) Azimut Terme général. (AZ) : L'azimut d'une direction est l'angle compté de 0 à 400 grades depuis une direction de référence dans le sens des aiguilles d'une montre. (Azimut géographique (AZG), Azimut magnétique (AZM), Gisement).

Gisement (G) : Angle compris entre l'axe des Y (nord Lambert ou axe des Y local) et une droite. Cet angle est mesuré dans le sens de rotation des aiguilles d'une montre de 0 à 400gr (fig.8).

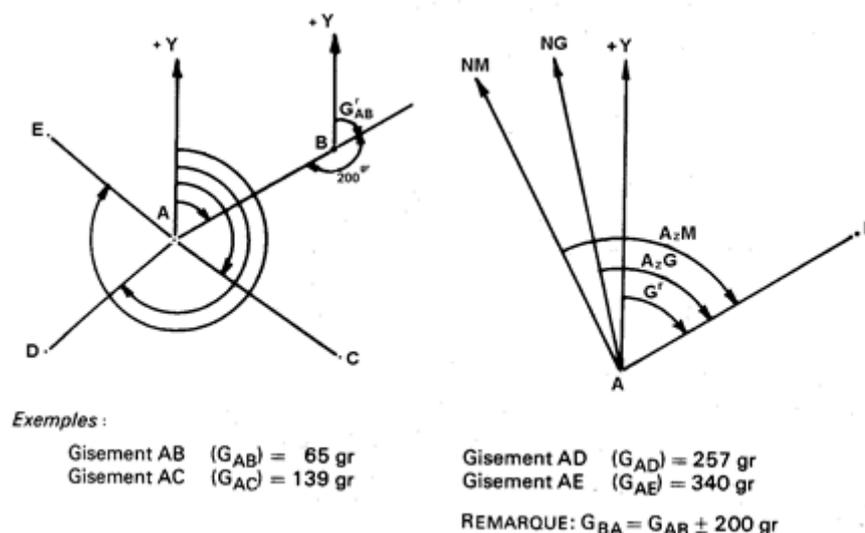


Fig. 8 Orientation et gisement

I.2 INSTRUMENTS ET APPAREILLAGES S DE MESURE TOPOGRAPHIQUE

Sont les instruments qui servent à effectuer de manière complète les mesurages, soit manuelle ou automatique, en Topométrie.

I.2.1 PAS ET ROUE DE RECONNAISSANCE

C'est un moyen permettant d'avoir rapidement et approximativement les distance entre plusieurs points, mais ces distances sont suivant le chemin parcouru et non horizontale. Il est utilisé surtout pour les travaux de reconnaissance (Fig. 9).



Fig. 9 Moyens des mesurages (Pas et roue)

I.2.2 NIVEAU, THEODOLITE ET MIRE

Le **niveau** permet de mesurer les différences d'altitudes, les distances et les angles horizontaux (Fig. 10).

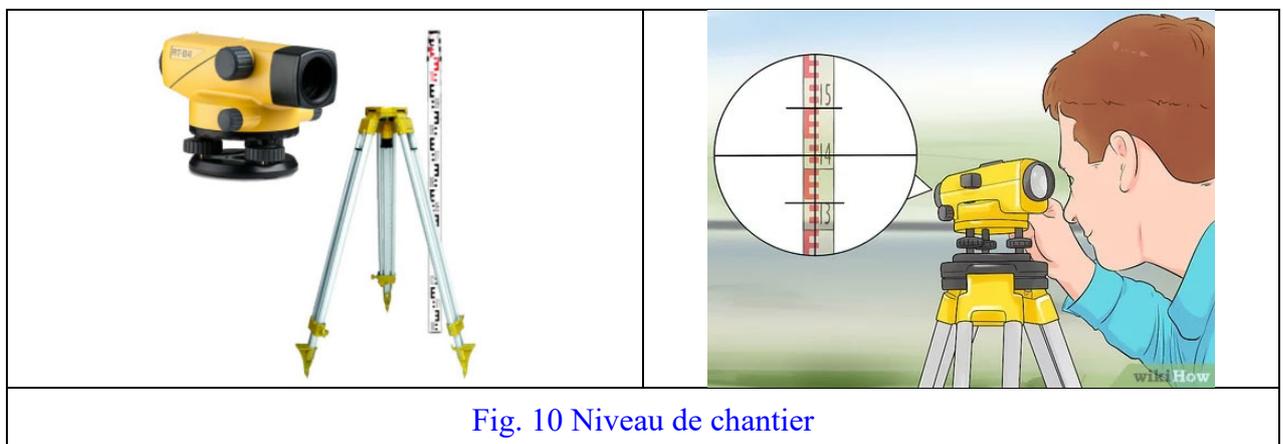


Fig. 10 Niveau de chantier

Le **Théodolite** est un instrument optique, mesurant des angles dans les deux plans horizontaux et verticaux afin de déterminer une direction. Il est utilisé pour réaliser les mesures d'une triangulation, c'est à dire des angles d'un triangle (Fig. 11).

Les **mires** sont des règles graduées dont la longueur varie de 2 à 5 mètres. Elles sont faites de bois, de métal ou de fibre de verre. Les graduations sont généralement en mètres, décimètres et centimètres.

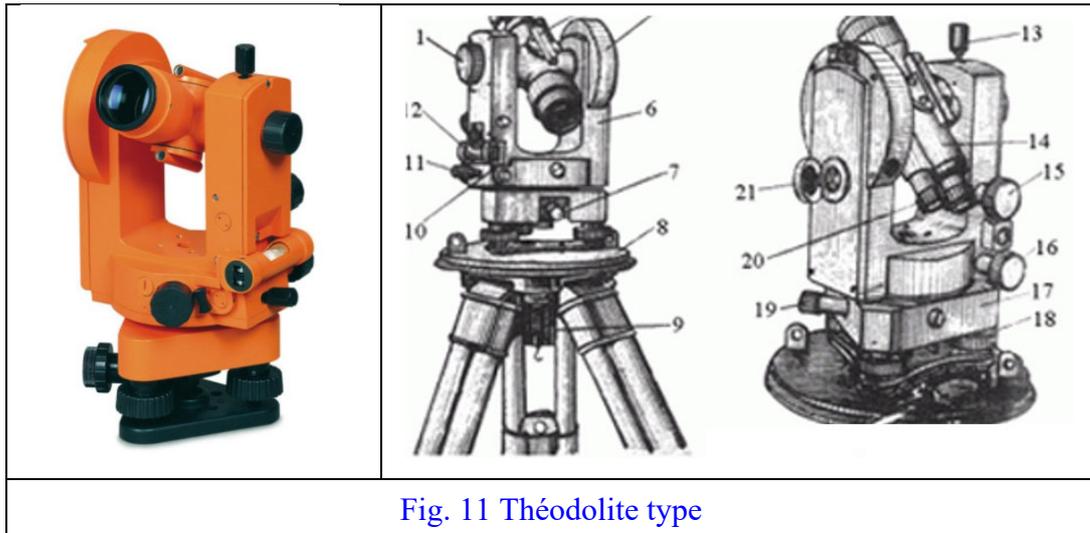


Fig. 11 Théodolite type

La Station Totale permet de mesurer les angles horizontaux, et verticaux, les dénivelés ainsi que les distances grâce à un distancemètre Infrarouge intégré (Fig.12). Elles sont aussi disponibles des stations totales intégrant en plus un système GPS. Disponible en différents modèles avec une gamme de classes de précision. Aujourd'hui les appareils les plus perfectionnés permettent le travail d'une seule personne grâce à une télécommande radio et d'un système de suivi et de recherche automatique du prisme.



Fig. 12 Station totale type

I.3 LES ECHELLES (les plans, les cartes)

I.3.1 Un plan :

Le plan est une représentation graphique d'une partie restreinte de la terre obtenue par projection orthogonale sur une surface plane. Les détails y sont représentés à l'échelle.

I.3.2 Une carte

La carte est une représentation réduite, généralisée, mathématiquement précise de la surface de la terre sur un plan montrant la situation, la distribution et les rapports des divers phénomènes naturels et sociaux, choisis et définis en fonction du but de chaque carte.

La carte permet également de montrer les variations et les développements des phénomènes dans le temps, ainsi que leurs facteurs de mouvement et de déplacement dans l'espace.

I.3.3 Une échelle

L'échelle d'un plan ou d'une carte est le rapport numérique qui existe entre les longueurs mesurées sur la carte et les longueurs correspondantes sur le terrain.

Une échelle s'exprime sous forme : $1/1000$ et cela signifie que :

- une longueur mesurée sur terrain est réduite 1000 fois pour être reportée sur la carte ;
- une longueur mesurée sur la carte représente une longueur 1000 fois plus grande sur terrain.

La formule principale pour les échelles est : $\frac{1}{E} = \frac{a}{A}$

avec E représente nombre de l'échelle, a la distance sur le plan (en cm) et A la distance sur le terrain (en m).

L'échelle est toujours indiquée avec 1 au numérateur.

Les principales échelles employées en topographie sont :

1/100, 1/200, 1/500, 1/1000, 1/2000, 1/5000, 1/10000, 1/25000, 1/50000, 1/100000, 1/200000.

I.3.4 Levé topographique

Le levé topographique consiste à reporter sur un plan ce qui existe sur le terrain des détails qu'on en trouve, que ce soit naturels ou artificiels

I.3.5 Exemple

a) Si on mesure une distance de 3,5 cm sur un plan et que la distance sur le terrain est 35 m, l'échelle sera :

$$\frac{1}{E} = \frac{3,5 \text{ cm}}{3500 \text{ cm}} = \frac{1}{1000}$$

b) Si on mesure une longueur de 7,5 cm sur un plan à l'échelle de 1/500, la longueur réelle sera :

$$7,5 \times 500 = 3750 \text{ cm} = 37,5 \text{ m.}$$

c) Inversement si une distance mesurée sur le terrain est : 95 m, elle sera représentée sur un plan à 1/200 par :

$$\frac{95}{200} = 0,475 \text{ m} = 47,5 \text{ cm}$$

L'échelle d'un plan ou d'une carte est une fraction. Elle sera d'autant plus grande, que son dénominateur sera petit.

Sur les plans l'échelle est souvent indiquée sous sa forme décimale suivie de la forme fractionnaire, entre parenthèses.

I.4 NOTIONS SUR LES FAUTES ET LES ERREURS

Une mesure est entachée d'une certaine erreur, d'une incertitude. Elle provient de divers facteurs:

- *La méthode utilisée,*
- *l'instrument employé,*
- *l'expérience de l'opérateur,*
- *la grandeur mesurée...*

Différentes notions sont utilisées pour qualifier la qualité de la mesure, et divers moyens existent pour répartir les résidus d'une série de mesure.

I.4.1 ERREURS ET FAUTES

Nous avons jusqu'ici parlé de fautes, d'erreurs accidentelles et systématiques sans en donner une définition précise. Tous ces termes, bien que faisant partie du même champ sémantique, couvrent des notions différentes.

- La faute : manquement à une norme, aux règles d'une science, d'une technique (*Larousse*). On parle de faute généralement à propos de **l'opérateur**, et peut être due à un manque de soin, le non-respect des règles de base, le manque d'expérience...
- L'erreur systématique : se répète et se cumule à chaque mesure. Elle est le plus souvent due aux imprécisions de l'instrument (qualité des composants, défauts de réglages...) et aux contraintes de sa mise en œuvre. L'influence de ces erreurs peut souvent être évaluée par calcul, et prise en compte dans la détermination finale.
- L'erreur accidentelle : de valeur et de signe aléatoires, elle peut avoir diverses origines : défaut de calage de l'appareil à la mise en station, erreur de pointé, de lecture, des paramètres extérieurs non maîtrisables (température, hygrométrie...), erreur de réfraction accidentelle...

Sur une série de mesures (cheminement altimétrique, polygonal), l'influence des erreurs systématiques doit être minimisée par la méthode employée. Par contre, il reste les erreurs accidentelles qui sont généralement considérées comme les seules participant aux fermetures.

I.4.2 METHODES DE COMPENSATION

Tout protocole de mesure génère des erreurs. Il est capital d'identifier, quantifier et réduire les erreurs systématiques, mais les erreurs accidentelles doivent être réparties sur l'ensemble. Plusieurs méthodes sont possibles, mais partent toutes globalement de l'hypothèse de l'équiprobabilité de chaque source d'erreur accidentelle lors de chaque mesure.

Par exemple, sur un cheminement altimétrique, la probabilité de faire une erreur de lecture sur mire est identique qu'il s'agisse de la première ou de la nième dénivelée.

I.4.2.1 Compensation proportionnelle

En règle générale sur un cheminement fermé et encadré, l'altitude du point de référence vraie est différente de l'altitude du point calculée, on a un écart de fermeture qu'il faut compenser.

Cet écart est calculé en faisant la **somme des lectures arrières – la somme des lectures avants**.

L'écart de fermeture peut provenir :

- d'une ou plusieurs lectures fausses,
- d'une mauvaise horizontalité de l'appareil,

- d'un dérèglement de l'appareil.

Ne sachant pas la vraie origine de l'écart de fermeture, on a établi la règle suivante :

1. L'écart de fermeture est faible, c'est à dire que l'écart est inférieur à l'écart type, dans ce cas la compensation est proportionnelle au nombre de nivelées.

$$c = -\frac{e}{S_N}$$

Avec e pour l'écart, S_N le nombre de stations.

2. L'écart de fermeture est important, c'est à dire compris entre l'écart type et la tolérance, dans ce cas la compensation est proportionnelle à la hauteur des nivelées.

$$c = -\frac{e * |\Delta_{HI}|}{\sum |\Delta_{HI}|}$$

avec e pour l'écart, Δ_{HI} différence de hauteur entre 2 points.

I.4.3 Application

Une distance a été mesurée 10 fois ce qui donne les valeurs suivantes :

L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10
87,16	87,10	87,09	87,18	87,12	87,11	87,10	87,15	87,04	87,08

- Calculer la valeur moyenne ?
- Calculer l'erreur pour chaque fois de mesure ?
- Quel est l'écart type ?
- Calculer l'erreur probable ?
- Quel est l'intervalle de tolérance ?
- Les mesures sont effectuées avec trois appareils différents :

87,16	87,10	87,09
-------	-------	-------

87,18	87,12	87,11	87,10
-------	-------	-------	-------

87,15	87,04	87,08
-------	-------	-------

On demande :

- La valeur moyenne pondérée ?
- La précision de mesure pour chaque appareil ?

Solution :

- Valeur Moyenne :

$$u = \sum \frac{L_i}{n} = (87,16 + 87,10 + \dots + 87,08)/10 = 87,113$$

- Erreur

$$e_1 = 87,16 - 87,113 = + 0,047$$

$$e_2 = 87,10 - 87,113 = - 0,013$$

3) Ecart type :

$$\sigma = \sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_n^2}{n-1}} \quad \sigma = 0,041$$

4) Erreur probable :

$$\varepsilon_p = \frac{2}{3} * \sigma = \frac{2}{3} * 0,041 = 0,027$$

5) Tolérance :

$$\varepsilon_M = 4 * \varepsilon_p = 2,7 * \sigma = 2,7 * 0,041 = 0,1107$$

Toutes les erreurs sont inférieures à l'intervalle de tolérance.

▪ La valeur moyenne pondérée :

$$\text{Pour chaque appareil : } M_p = \sum \frac{L_i}{n}$$

$$M_{p1} = \sum \frac{87,16 + 87,10 + 87,09}{3} = 87,12$$

$$M_{p2} = \sum \frac{87,18 + 87,12 + 87,11 + 87,10}{4} = 87,13$$

$$M_{p3} = \sum \frac{87,15 + 87,04 + 87,08}{3} = 87,09$$

$$\bar{M}_p = \sum \frac{3 \times 87,12 + 4 \times 87,13 + 3 \times 87,09}{3 + 4 + 3} = 87,115$$

▪ La précision de mesure pour chaque appareil : $M_p = \frac{\sigma}{\sqrt{N_{\text{appareil}}}}$

$\sigma_{ap1} = \frac{\sigma = 0,041}{\sqrt{3}} = 0,0236$	$\sigma_{ap2} = \frac{\sigma = 0,041}{\sqrt{4}} = 0,0205$	$\sigma_{ap3} = \frac{\sigma = 0,041}{\sqrt{3}} = 0,0236$
---	---	---