

3 IEME TOPO

Procédés topos

(planimétrie et altimétrie)

AIT AABDELLAH Abdeljalil

2011

Procédées topographiques pour la planimétrie

Procédées topographiques : toute méthodes qui permet de déterminer la position d'un point inconnu à partir d'un ensemble de points connus.
→ observation des angles et de distances.

Un procédé topo s'effectue en 2 étapes :

- Observations sur le terrain
- Etape bureau (calcule) : traitement des observations

3 catégories de procédés en se basant sur la nature des observations :

- Procédés n'utilisant que les mesures angulaires
- Procédés n'utilisant que les mesures de distances (linéaires)
- Procédés combinent les deux méthodes

Les procédés topo n'utilisant que les mesures angulaires :

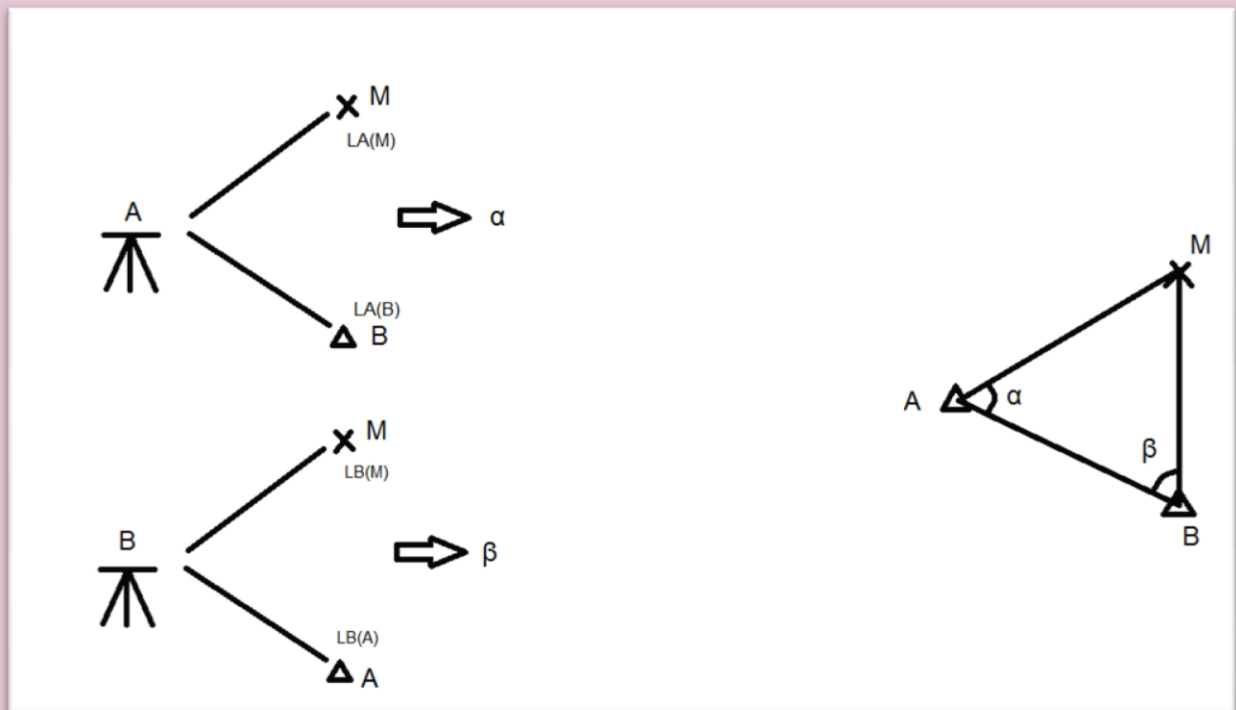
L'intersection :

Inconnus : $M(x,y)$??

+données : A,B : connus

- Stationables
- Intervisibles
- M doit être visible à partir des deux points A et B.

Partie terrain :

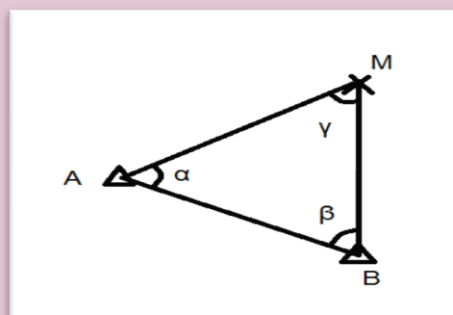


Principe de l'intersection

L'intersection consiste on la détermination de la position planimétrique d'un point inconnu à partir de deux points connus intervisibles. A partir des points connus on vise les points inconnus (on effectue que la lecture angulaire)

Partie bureau :

1) $\gamma = 200 - (\alpha + \beta)$



pour améliorer le résultat on choisit AM et BM quasi-égal (triangle quasi-équilatéral) -> condition supplémentaire.

$$2) \quad \frac{\sin \alpha}{BM} = \frac{\sin \beta}{AM} = \frac{\sin \gamma}{AB} \quad \text{avec} \quad AB = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

Si la distance est mesurée sur le terrain on applique les réductions. Dans ce cas pas de réduction à faire car on se base sur les coordonnées x,y

→ AM, BM

$$3) \quad Gt_{AM} = Gt_{AB} - \alpha$$

$$4) \quad \sin Gt_{AM} = \frac{\Delta x_{AM}}{AM}$$

$$\Delta x_{AM} = AM \cdot \sin Gt_{AM} \quad \text{et} \quad \Delta y_{AM} = AM \cdot \cos Gt_{AM}$$

$$\rightarrow x_M = x_A + \Delta x_{AM}$$

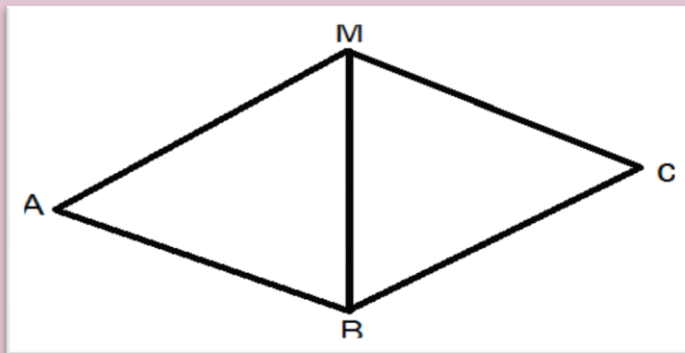
$$\rightarrow y_M = y_A + \Delta y_{AM}$$

Remarques :

- Ce procédé utilisé souvent pour le rattachement
- Mener les calculs à partir de A et B ne contrôle pas la position de M, et si on trouve une différence entre les calculs celles de A et celles de B -> il ya une erreur dans les calculs
- Quelque soit la détermination on topo il faut toujours présenter les valeurs avec :
+ la précision
+ le contrôle
- On ne corrige pas les angles car on a adapté la projection conforme

Remarques :

pour contrôler le point M, il faut avoir un 3^{ième} point connu C, intervisible avec B et que M visible à partir de B et C, --> on aura un contrôle sur BM puis sur la position de M.



On compare entre la position M obtenu des 2 triangles , et on adopte la moyenne si :

- $\Delta x < 15 \text{ cm}$
- $\Delta y < 25 \text{ cm}$

Relèvement

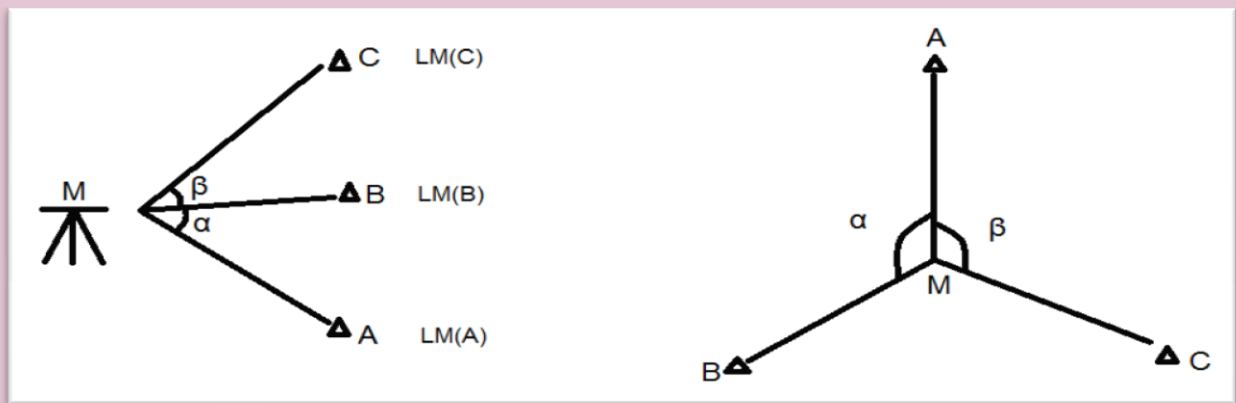
M(x,y) ??

Données : 3 points connus ,

Les conditions :

- M est stationable.
- 3 points visibles à partir de M.

Observées :



A,B et C sont des références

Bureau :

$$x_M = x_C + \frac{rp - sq}{p^2 + q^2} * q$$

$$y_M = y_C + \frac{rp - sq}{p^2 + q^2} * p$$

Avec :

$$r = (y_C - y_A) + (x_C - x_A)\cot\alpha$$

$$s = (x_C - x_A) - (y_C - y_A)\cot\alpha$$

$$p = (x_B - x_C) - (y_B - y_C)\cot\beta + s$$

$$q = (y_B - y_C) + (x_C - x_B)\cot\beta + r$$

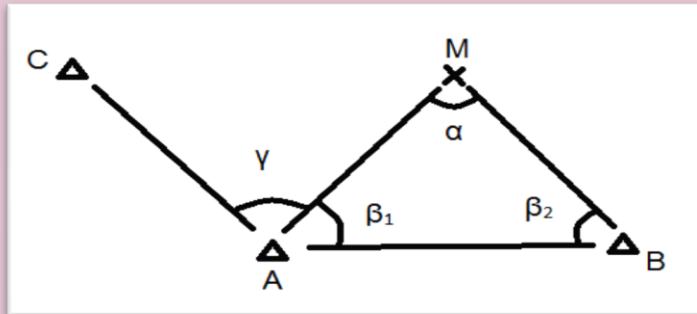
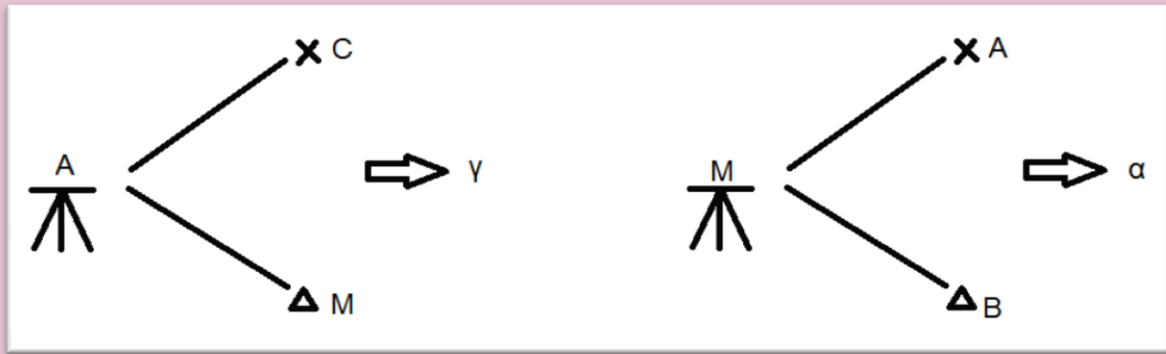
remarque :

- On peut faire les calculs avec plusieurs points connus.
- On admet jusqu'à 30 cm d'écart entre les coordonnées.
- La précision de x et y dépend de α et β .

Recoupement

Inconnus : M(x,y)

Données : A,B et C : connus (Gt_{AC} direction connue)

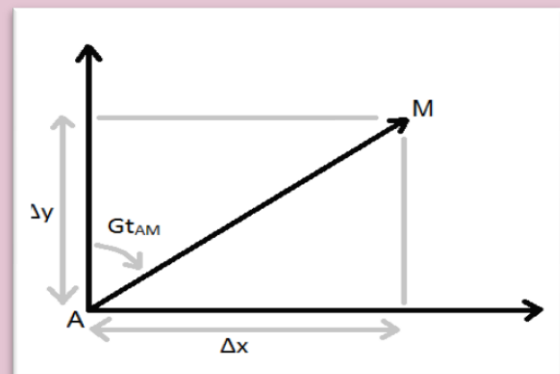


calculs :

$\gamma, \alpha \rightarrow M(x,y) ??$

- 1) $Gt_{AM} = Gt_{AC} + \gamma$
- 2) $AM / \sin \beta_2 = AB / \sin \alpha \quad \rightarrow \quad AM$
 Avec : $Gt_{AB} - Gt_{AM} = \beta_1$
 et $\beta_1 + \beta_2 + \alpha = 200 \quad \rightarrow \quad \beta_2$

$\rightarrow AM, Gt_{AM}$



$$\Delta x_{AM} = AM \cdot \sin Gt_{AM}$$

$$\Delta y_{AM} = AM \cdot \cos Gt_{AM}$$

$$\rightarrow x_M = x_A + AM \cdot \sin Gt_{AM}$$

$$\rightarrow y_M = y_A + AM \cdot \cos Gt_{AM}$$

Remarque :

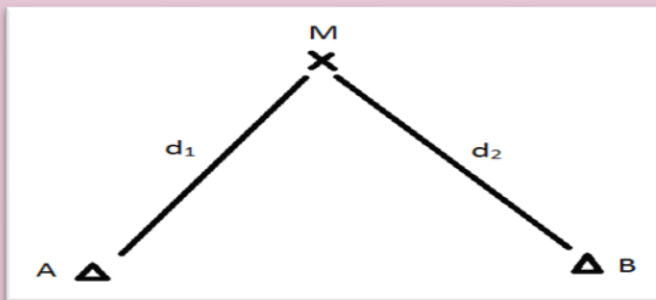
Pour contrôler les mesures on utilise un autre procédé on se basant sur un autre point pour effectuer soit l'intersection, soit relèvement, selon les données.

Les procédés topo n'utilisant que la mesure de distance

Inconnus : $M(x,y)$

Données : A et B: connus (au moins deux points connus)

observés : d_1 et d_2 .



Calcule :

$$d_1^2 = (x_A - x_M)^2 + (y_A - y_M)^2$$

$$d_2^2 = (x_B - x_M)^2 + (y_B - y_M)^2$$

on aura 2 solutions $M_1(x_1, y_1)$ et $M_2(x_2, y_2)$, laquelle on va adopter ??

- Il faut un contrôle (autre procédé)
- On ajoute un 3^{ème} point connu (d_3 connu)
- On adopte les coordonnées qui correspondent à la distance d_3 .

Remarque :

Si on se base sur :

- 2 points → bilateration
- 3 points → trilateration

On effectue les calculs à l'aide de la relation d'Alkachy.

Procédés combinant les deux méthodes

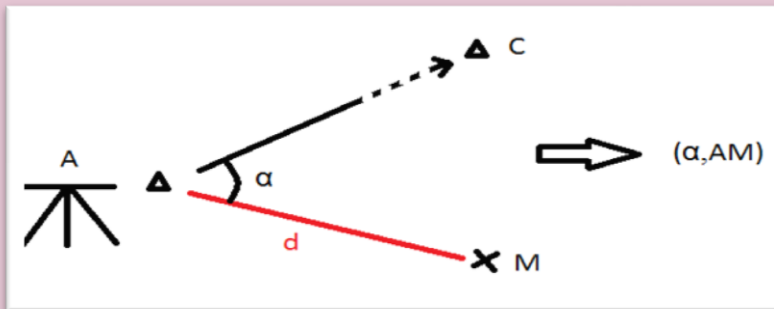
Rayonnement :

Inconnu : $M(x,y) ??$

Données :

- A : connu, stationnable, et M visible à partir de A.
- Direction connu (Gt_{AC} connu)

Partie terrain :



Partie calcul :

$$Gt_{AM} = Gt_{AC} + \alpha$$

$$\Delta x_{AM} = AM \cdot \sin Gt_{AM}$$

$$\Delta y_{AM} = AM \cdot \cos Gt_{AM}$$

$$\rightarrow x_M = x_A + \Delta x_{AM}$$

$$\rightarrow y_M = y_A + \Delta y_{AM}$$

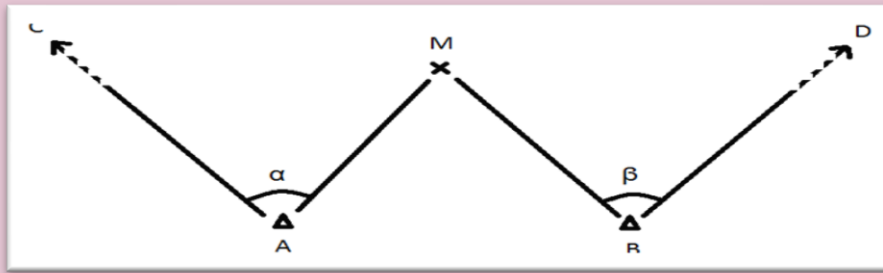
Remarque :

Puisque on a mesuré AM sur le terrain, donc il va subir 3 correction :

- Réduction à l'horizontale
- Réduction à l'ellipsoïde
- Réduction au plan de projection.

Remarque :

Dans cette méthode on dit qu'on a rayonné M à partir de A. si on ajoute un autre point B connu, stationnable, telle que M est visible à partir de ce point B on parle dans ce cas de : **double rayonnement**.



Dans ce cas on adopte la moyenne des deux résultats avec les conditions suivantes :

- Urbaine : $\Delta x < 5 \text{ cm}$ et $\Delta y < 10 \text{ cm}$
- Rurale : $\Delta x < 10 \text{ cm}$ et $\Delta y < 10 \text{ cm}$

Cheminement (polygonale)

Succession du rayonnement qui permet en partant d'un point connu et d'une direction connue de calculer un ensemble de points intermédiaires (ou inconnus), ainsi en effectuant les mesures angulaires et les mesures de distance.

Remarque :

On utilise cette méthode souvent pour établir les plans topographiques.

Inconnus : $M(x,y) ??$

Données :

- 2 points connus
- 2 directions connues

Partie bureau :

- 1) Calcul de $G_{t_{\text{depart}}} = G_{t_{AC}} = \text{Arctan}(\Delta x / \Delta y) + \dots$
- 2) Calcul de $G_{t_{\text{arrivé}}} = G_{t_{BD}} = \text{Arctan}(\Delta x / \Delta y) + \dots$ (c'est $G_{t_{\text{fixe}}}$ ou bien $G_{t_{\text{calculé}}}$)

- 3) Calcul de $G_{t_{\text{intermédiaires}}}$

$$G_{t_{AM1}} = G_{t_{AC}} + \alpha_1$$

$$G_{t_{M1M2}} = G_{t_{AM1}} + \alpha_2 = G_{t_{AC}} + \alpha_1 + 200 + \alpha_2 = G_{t_{AC}} + \alpha_1 + \alpha_2 + 200$$

$$G_{t_{M2M3}} = G_{t_{M1M2}} + \alpha_3 = G_{t_{AC}} + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + 400$$

$$G_{t_{M2M3}} = G_{t_{AC}} + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + 600$$

$$G_{t_{BD \text{ arrivé(} \text{obs)}}} = G_{t_{AC}} + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 + 800$$

- 4) Calcul de $G_{t_{\text{d'arrivé}}}$:

$$G_{t_{\text{arrivé (obs)}}} = G_{t_{BD}} = G_{t_{AC}} + \sum_{i=0}^n \alpha_i + 800$$

$$G_{t_{\text{arrivé (obs)}}} = G_{t_{\text{depart}}} + \sum_{i=0}^n \alpha_i + (n - 1) * 200$$

Avec : n = nombre de stations = nombre de points = nombre de points intermédiaire + 2

5) Calcule de tolérance angulaire :

$$T_{\alpha} = 2,7 * \sigma_{Gt_{arrivé} (obs)}$$

$$\text{On a : } Gt_{BD \text{ arrivé} (obs)} = Gt_{AC} + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 + 800$$

$$\sigma^2_{Gt_{arrivé} (obs)} = 0 + 5 * \sigma^2_{\alpha} + 0 \quad \text{avec : } \sigma^2_{\alpha} = 2 \sigma^2_L \rightarrow \sigma^2_{Gt_{arrivé} (obs)} = 5 * \sigma^2_{\alpha} = 10 * \sigma^2_L$$

$$\text{en général } \rightarrow \sigma_{Gt_{arr} (obs)} = \sqrt{2n} \sigma_L$$

6) Calcule de la fermeture angulaire :

$$f_{\alpha} = Gt_{arr \text{ fixe}} - Gt_{arr \text{ obs}}$$

7) Comparaison entre T_{α} et f_{α} :

Si $f_{\alpha} > T_{\alpha}$ 1. Refaire les calculs

2. refaire le terrain

Si $f_{\alpha} \leq T_{\alpha} \rightarrow$ compensation des Gt.

8) Compensation (correction) des Gt :

$$\text{Quelque soit } \alpha_i \quad \alpha_i \text{ corrigé} = \alpha_i + f_{\alpha}/n$$

$$Gt_{AC} = Gt_{AC}$$

$$Gt_{AM1 \text{ compensé}} = Gt_{AC} + \alpha_1 \text{ compensé} = Gt_{AC} + \alpha_1 + f_{\alpha}/5$$

$$Gt_{M1M2 \text{ compensé}} = Gt_{AC} + \alpha_1 + \alpha_2 + 2 f_{\alpha}/5$$

$$Gt_{M2M3 \text{ compensé}} = Gt_{AC} + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + 3 f_{\alpha}/5$$

...

$Gt_{BD \text{ arrivé compensé}} = Gt_{AC} + \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_5 + f_{\alpha} = Gt_{arrivé (fixe)}$ si on n'a pas cette égalité --> il ya une faute de calcul.

9) Calcule des coordonnées approchés des M_i :

$$x_{M1 \text{ approché}} = x_A + d_1 \cdot \sin Gt_{AM1 \text{ compensé}}$$

$$y_{M1 \text{ approché}} = y_A + d_1 \cdot \cos Gt_{AM1 \text{ compensé}}$$

$$x_{M2 \text{ approché}} = x_{M1 \text{ approché}} + d_2 \cdot \sin Gt_{M1M2 \text{ compensé}}$$

$$y_{M2 \text{ approché}} = y_{M1 \text{ approché}} + d_2 \cdot \cos Gt_{M1M2 \text{ compensé}}$$

...

$$x_B \text{ approché} = x_{M3 \text{ approché}} + d_4 \cdot \sin Gt_{M3B \text{ compensé}}$$

$$y_B \text{ approché} = y_{M3 \text{ approché}} + d_4 \cdot \cos Gt_{M3B \text{ compensé}}$$

Remarque :

Les coordonnées approchées sont obtenus à partir des $Gt_{corrigés}$

10) Fermeture linéaire :

$$f_x = X_{B \text{ fixe}} - X_{B \text{ approché}} \quad f_y = Y_{B \text{ fixe}} - Y_{B \text{ approché}}$$

$$f_l = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

11) Tolérance linéaire théorique :

$$T_l^2 = T_x^2 + T_y^2 \quad \text{avec : } T_x = 2,7 * \sigma_{X \text{ B approché}} \quad \text{et} \quad T_y = 2,7 * \sigma_{Y \text{ B approché}}$$

Mais c'quoi l'expression de $\sigma^2_{X \text{ B approché}}$ et $\sigma^2_{Y \text{ B approché}}$

On a déjà l'expression de

$$x_{B \text{ approché}} = x_{M3 \text{ approché}} + d_4 \cdot \sin Gt_{M3B \text{ compensé}}$$

$$x_{B \text{ approché}} = x_A + d_1 \cdot \sin Gt_{AM1 \text{ compensé}} + d_2 \cdot \sin Gt_{M1M2 \text{ compensé}} + \dots + d_4 \cdot \sin Gt_{M3B \text{ compensé}}$$

Donc on appliquant la loi de propagation des erreurs on peut tirer facilement

l'expression de

$$\sigma^2_{X \text{ B approché}} \quad \text{et même chose pour } \sigma^2_{Y \text{ B approché}} .$$

12) Tolérance linéaire pratique :

- Urbaine : $T_l = 0.05 + \frac{\sum d_i}{2000}$ (m)
- Rurale : $T_l = 0.10 + \frac{\sum d_i}{1000}$ (m)

13) Comparaison entre T_α et f_α :

Si $f_l > T_l$ 1. Refaire les calculs

2. refaire le terrain

Si $f_l \leq T_l \rightarrow$ compensation des données.

14) compensation des données :

méthodes de compensation :

- méthode des moindres carrés
- méthodes des parallèles proportionnelles (souvent utilisée en topo)

$$dX_{M_1} = f_X * \frac{d_1}{\sum d_i}$$

$$dX_{M_2} = f_X * \frac{d_1 + d_2}{\sum d_i}$$

$$dX_{M_3} = f_X * \frac{d_1 + d_2 + d_3}{\sum d_i}$$

$$dX_B = f_X * \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4}{\sum d_i} = f_X$$

15) les coordonnées définitives :

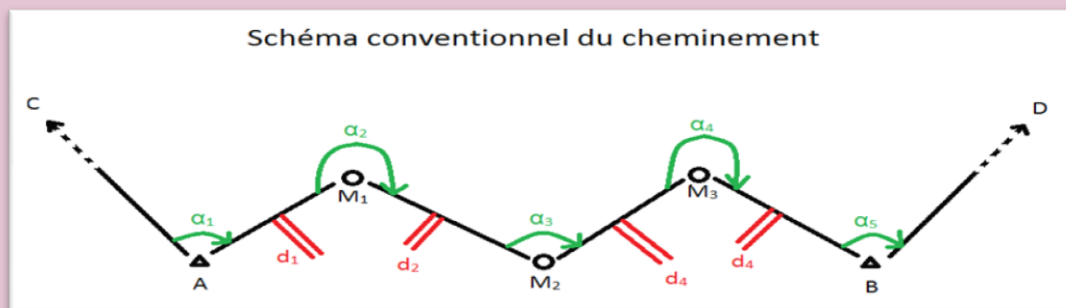
$$X_{M_1} = X_{M1\text{approché}} + dX_{M_1}$$

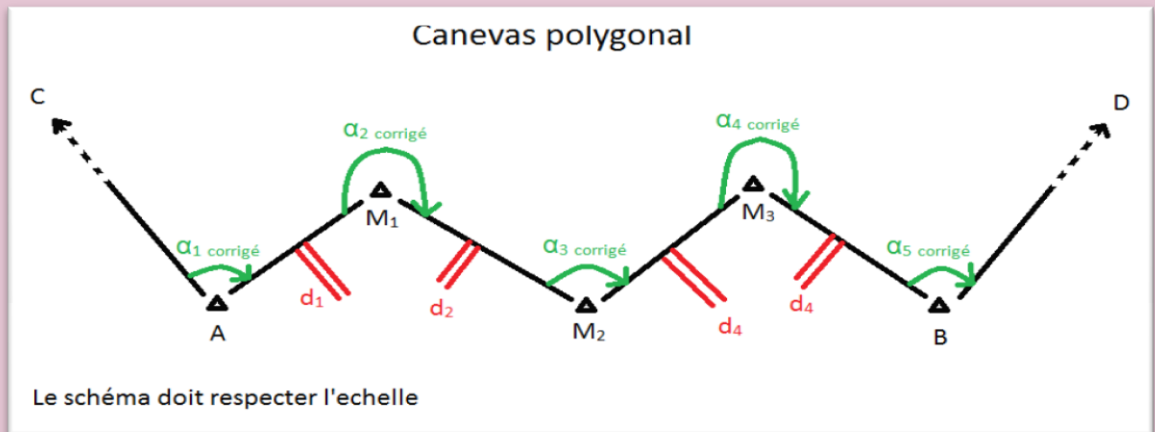
$$Y_{M_1} = Y_{M1\text{approché}} + dY_{M_1}$$

$$X_{M_2} = X_{M2\text{approché}} + dX_{M_2}$$

$$Y_{M_2} = Y_{M2\text{approché}} + dY_{M_2}$$

...





Classification des cheminement selon la nature des points de départ et des points d'arrivés :

2 types de cheminement :

- **cheminement principal :**

les points A et B sont connus issus de la triangulation

- **cheminement secondaire :**

les points A et B sont connus ne sont pas issus de la triangulation

remarque :

un point nodal : est un point d'intersection en 3 cheminements

- si un cheminement part d'un point nodal et ferme sur un point nodal c'est un cheminement principal

Classification des cheminement selon la forme :

Si les 2 points A et B sont confondus → **cheminement fermé**

Cheminement ouvert :

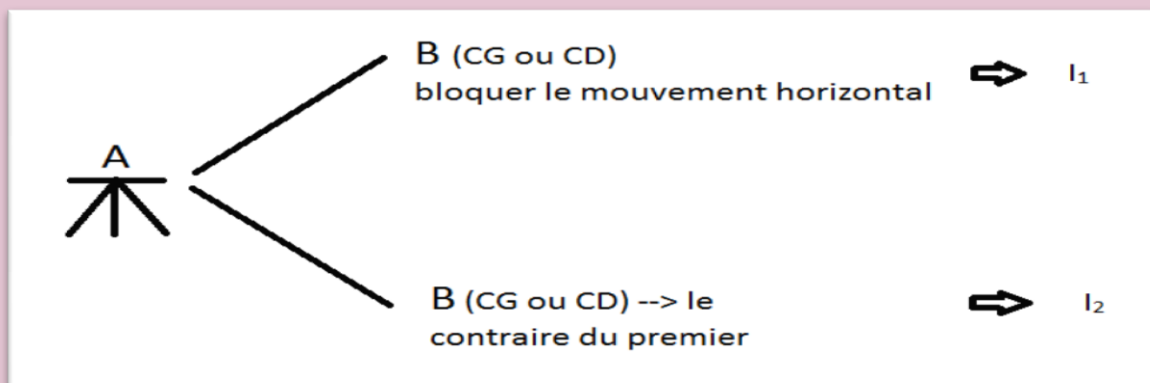
- A et B sont connus et différents
- Les angles α_i soient tendus (tend vers 200 <> brisés)
- Les distances d_i soient homogènes

Point sur l'alignement :

Objectif : créer un point sur un alignement données

exemple d'utilisation : tracer les lignes d'assainissement.

Partie terrain :



Partie calcule :

$$x_I = x_A + AI. \sin Gt_{AB}$$

$$y_I = y_A + AI. \cos Gt_{AB}$$

$$x_B = x_I + IB. \sin Gt_{AB}$$

$$y_B = y_I + IB. \cos Gt_{AB}$$

$$f_x = X_{B \text{ fixe}} - X_{B \text{ obs}}$$

$$f_y = Y_{B \text{ fixe}} - Y_{B \text{ obs}}$$

$$f_I = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

$$X_{I \text{ compensé}} = X_{I \text{ obs}} + f_x * \frac{AI}{AB}$$

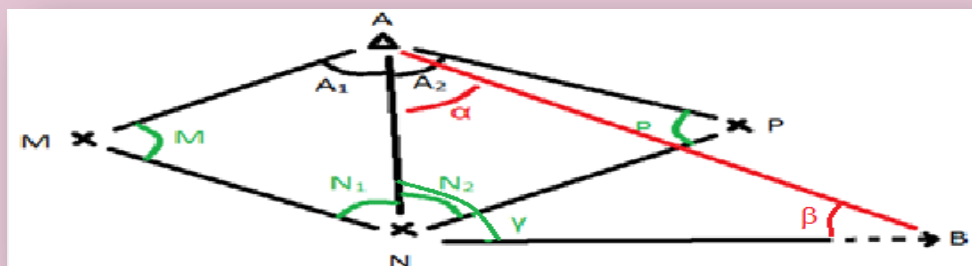
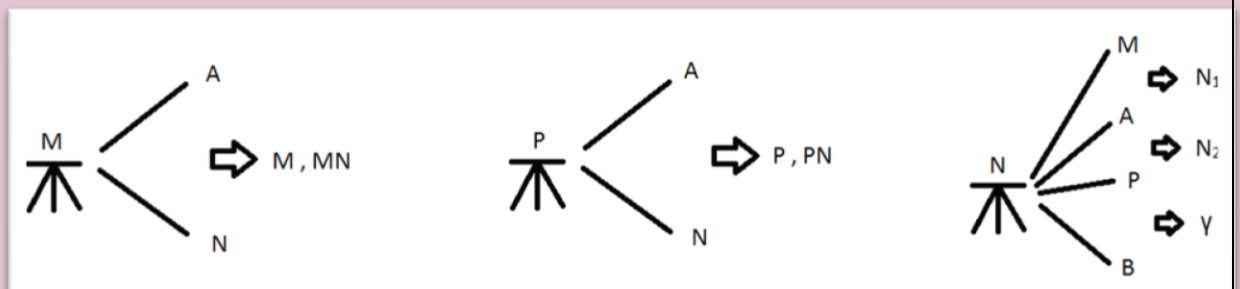
$$Y_{I \text{ compensé}} = Y_{I \text{ obs}} + f_y * \frac{AI}{AB}$$

Rabattement:

Partie terrain:

- 1) Choisir M et P (les triangles MAN et NAP ---- équilatéraux)
- 2) S'assurer qu'à partir de N il ya une référence B.

Observations :



Remarque :

A partir des références on ne peut effectuer que les observations angulaires.

Partie bureau :

$$\frac{\sin M}{AN} = \frac{\sin N_1}{AM} = \frac{\sin A_1}{MN} \rightarrow AN_1$$

$$\frac{\sin P}{AN} = \frac{\sin A_2}{NP} \rightarrow AN_2 \rightarrow \text{AN} = \text{moy}(AN_1, AN_2)$$

- $Gt_{AN} ??$ Gt_{AB} : connu à partir des coordonnées

$$Gt_{AN} = Gt_{AB} + \alpha$$

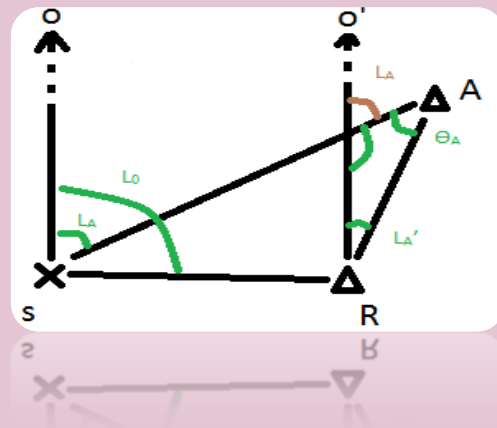
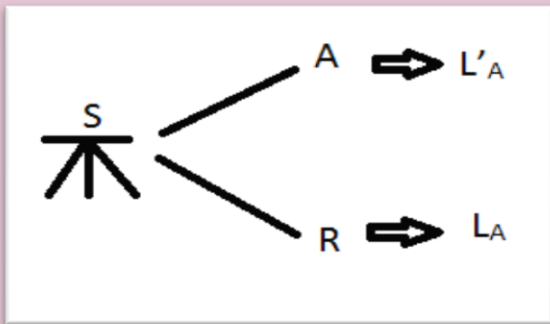
Avec $\alpha = 200 - (\beta + \gamma)$ et $\frac{\sin \beta}{AN} = \frac{\sin \gamma}{AB} \rightarrow \beta$

$$\rightarrow \begin{aligned} x_N &= x_A + AN \cdot \sin Gt_{AN} \\ y_N &= y_A + AN \cdot \cos Gt_{AN} \end{aligned}$$

Station excentrée : réduction des observations au centre :

Partie terrain :

1)



Hors centre

Repère centre

2) Mesurer la distance $SR = r$ (en mm , ex : chainage)

Partie bureau :

1) $RO' \parallel SO$

2) Objectif : trouver L'_A en fonction de (L_A, L_B, r)

$$\frac{\sin \theta_A}{r} = \frac{\sin(L_0 - L_A)}{D_{AR}}$$

Remarque :

- D_{AR} doit subir 3 corrections inversement avant de l'introduire dans les calculs.

$$\theta_A = \arcsin\left(\frac{r}{D_{AR}} \sin(L_0 - L_A)\right)$$

$$L'_A = L_A - \theta_A$$

Remarque :

O' est virtuelle (pour simplifier les calculs)

D_{AR} est obtenu par les coordonnées.

Procédés topographique pour l'altimétrie

Rappel et définitions :

Géoïde : surface équipotentielle de champ de la pesanteur qu'on approxime au niveau moyen des mers et qu'on prend comme référence pour les observations altimétriques.

Remarque : Toutes les procédés mesurent H , mais GPS mesure h .

Repère de nivellement : général fait parti d'un réseau du nivellement (installé sur un endroit fixe pour indiquer l'altitude d'un point).

RNGM : Réseau de Nivellement General du Maroc.

Nivellement :

Définition : l'ensemble des opérations et des procédés permettant de déterminer directement ou indirectement la hauteur ou l'altitude des points par rapport à une surface de relief, il permet aussi de calculer la différence d'altitude entre les points → **dénivelé**

Types de nivellement :

Directe :

Nivellement ordinaire :

- ✚ Géométrie
- ✚ Utilisé en topographie
- ✚ Quelques cm/km
- ✚ On utilise : niveau N_2 , Mire

Nivellement de précision :

- ✚ Utilisé en géodésie
- ✚ 1 mm/km
- ✚ On utilise : niveau N_3 , Mire invar (codé)

Indirecte :

	trigonométrique	Géodésique
Portée :	$D < 300 \text{ m}$	$D=400 \text{ m} \text{ ----} > 4 \text{ km}$
Utilisation en :	Topographie	Géodésie
	Quelques cm à quelques dm On mesure : <ul style="list-style-type: none">- Angle verticale- Distances	

Barométrique :

On utilise Nivellement Barométrique pour savoir l'allure du terrain.

Nivellement Géométrique :

1) Matériels utilisés :

Niveau N_2 + Mire (échelle graduée en cm estimée en mm, $\sigma_L = 2 \text{ mm}$) + trépieds (à pied non coulissant).

2) Mesure d'une dénivelé :

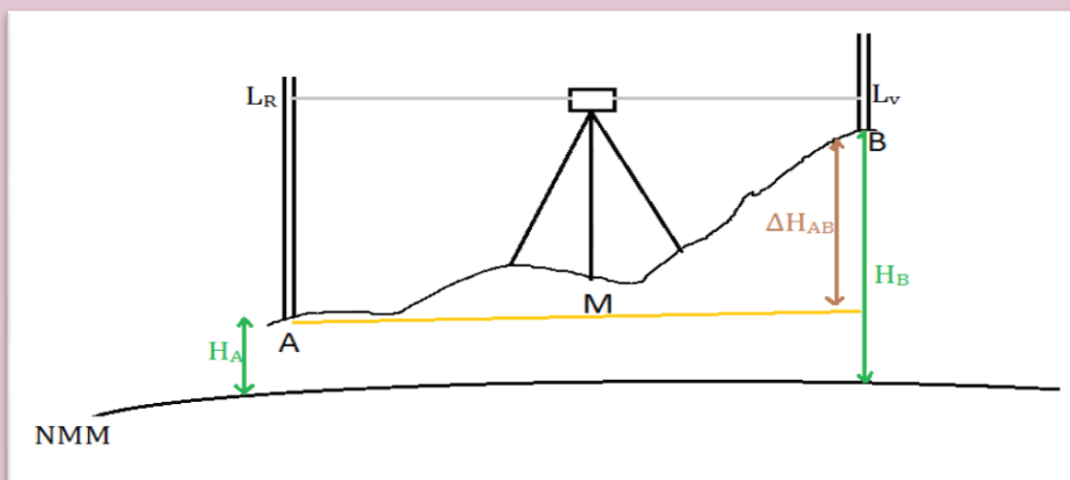
Choisir M à quasi-égale distance (milieu de AB)

Viser A (f_s, f_n, f_i)

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = L_R - L_v$$

Avec : L_R : lecture arrière

L_v : lecture avant



Mode opératoire :

Remarque : Collimation : inclinaison entre ligne de visé et verticale ou zénith.

1) Stationner à quasi-égale distance entre A et B. (pas de centrage à faire)

2) Vérifier si N_2 est réglé :

$$|L_{CG} - L_{CD}| < \varepsilon = 0.003$$

- Soit on régle de N_2 .

- Soit on prend la moyenne des 2 lectures :

$$L = \frac{L_{CD} + L_{CG}}{2}$$

3) Placer une mire en A et viser cette mire

4) Corriger l'erreur de collimation verticale

5) Lire : f_s, f_n, f_i

6) Contrôler : $\Delta_1 = f_s - f_n$

$$\Delta_2 = f_n - f_i$$

→

$$|\Delta_1 - \Delta_2| < \varepsilon = 0.003$$

7) Refaire les même étapes pour B (à partir de 3^{ème} étape)

8) Calcule de distance $D_1 = 100 (f_s - f_i)$ pour A

$$D_2 = 100 (f_s - f_i) \text{ pour B}$$

→

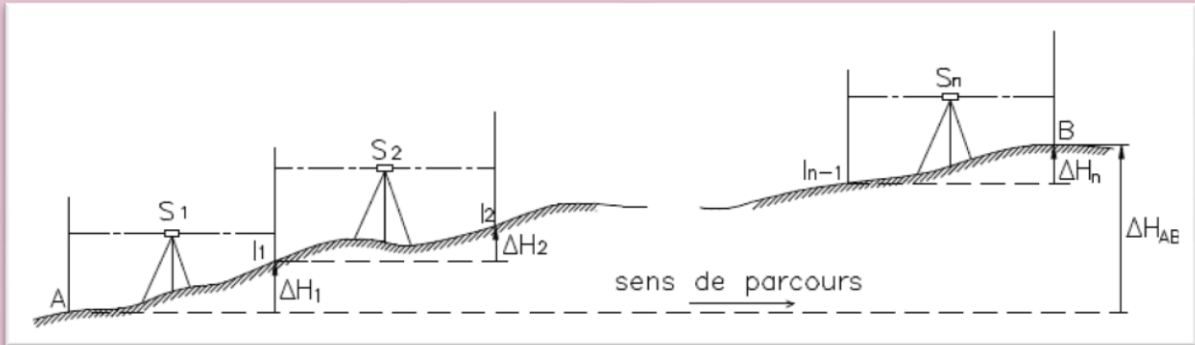
$$|D_1 - D_2| < 1 \text{ m}$$

9) $\Delta H_{AB} = L_R - L_v$

Remarque :

- Ni la hauteur de l'instrument, ni la position de point M, ni son altitude n'interviennent dans la détermination de la dénivelé ΔH_{AB}
- Eviter les visés rasantes (< 50 cm ; afin de minimiser l'effet de la courbure terrestre, et l'effet atmosphérique).

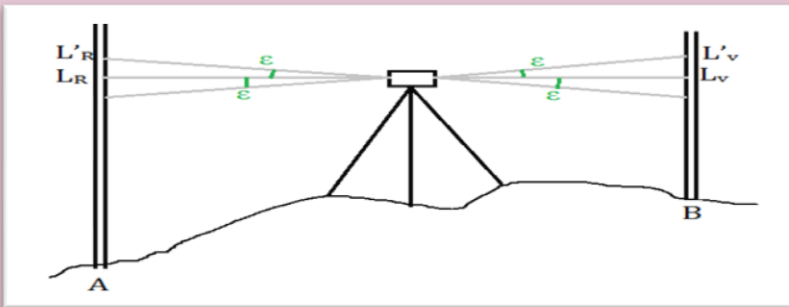
Cheminement Altimétrique (directe)



- Réglage de N_2 :

Procédure de réglage de N₂:

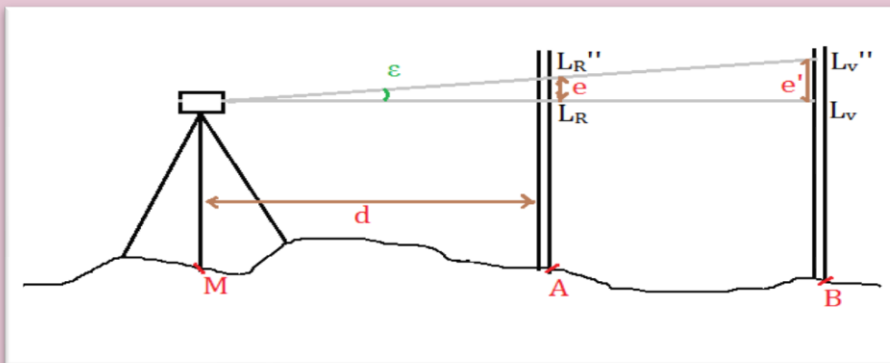
1)



$$\Delta H_{AB} = L_R - L_V$$

$$\Delta H_{AB} = L'_R - L'_V = (L_R + e) - (L_V + e) = L_R - L_V$$

2)



$$\Delta H_{AB} = L''_R - L''_v = (L_R + e) - (L_v + e') = L_R - L_v + (e - e') = L_R - L_v + AB^* \operatorname{tg}(\varepsilon)$$

$$\varepsilon \rightarrow e, e'$$

$$L''_R, e \text{ -----} > L_R = L''_R - e$$

$$L''_V, e' \text{ -----} > L_V = L''_V - e'$$

$$\Delta H_{AC} = L_{R1} - L_{v1} \quad \Delta H_{CD} = L_{R2} - L_{v2} \quad \Delta H_{BD} = L_{R3} - L_{v3}$$

$$\Delta H_{AB} = \Delta H_{AC} + \Delta H_{CD} + \Delta H_{BD} = \sum_{i=1}^n (L_{R_i} - L_{V_i})$$

Avec n : nombre de stations .

Mode opératoire :

- 1) Choisir les points tournants
- 2) Refaire les étapes de mesure d'une dénivelé sur chaque tronçon : AC , CD, BD

On note les observation sur la fiche d'observation (pour faciliter les calcules).

Procédure de calcul :

- 1) Calcule des $H_{\text{approchées}}$ des points tournants

$$\Delta H_{AC} = H_C - H_A = L_{R1} - L_{V1} \text{ ---- } > H_{C \text{ app}} = H_A + (L_{R1} - L_{V1})$$

$$\Delta H_{CD} = H_D - H_C = L_{R2} - L_{V2} \text{ ---- } > H_{D \text{ app}} = H_{C \text{ app}} + (L_{R2} - L_{V2}) = H_A + (L_{R1} - L_{V1}) + (L_{R2} - L_{V2})$$

$$\Delta H_{DB} = H_B - H_D = L_{R3} - L_{V3} \text{ ---- } > H_{B \text{ app}} = H_{D \text{ app}} + (L_{R3} - L_{V3}) \\ = H_A + (L_{R1} - L_{V1}) + (L_{R2} - L_{V2}) + (L_{R3} - L_{V3})$$

$$H_{B \text{ app}} = H_A + \sum_{i=1}^3 L_{R_i} - \sum_{i=1}^3 L_{V_i}$$

- 2) $f_a = H_{B \text{ fixe}} - H_{B \text{ app}}$

- 3) $T_a = 2,7 * \sigma_{HB \text{ app}}$




On a

$$H_{B \text{ app}} = H_A + \sum_{i=1}^n L_{R_i} - \sum_{i=1}^n L_{V_i}$$

Donc on appliquant la loi de propagation des erreurs on aura :

$$\sigma^2_{HB \text{ app}} = f(\sigma^2_L) \text{ avec : } \sigma^2_L = 3 \text{ mm}$$

σ^2_L dépend de :

-  Opérateur
-  Grossissement de l'appareil
-  Distance mire-station total

- 4) Comparaison de f_a et T_a :

Remarque :

$$T_{a \text{ pratique}} = cte * \sqrt{k}$$

K : en (mm)

Cte : longueur total du cheminement en (Km)

Ordre du cheminement	Cte (mm)
Spécial	3
1 ^{er} ordre	4
2 ^{ème} ordre	8
3 ^{ème} ordre	12
4 ^{ème} ordre	120

Comparaison de f_a et T_a :

Si $f_a > T_a$ 1. Refaire les calculs

2. refaire les observations

Si $f_a \leq T_a \rightarrow$ compensation des altitudes (dénivelés).

5) Compensation :

✚ Si f_a est petite \rightarrow repartir f_a également sur les différents ΔH_i

$$d(\Delta H_i) = f_a/n$$

✚ Si f_a est importante :

Terrain plat :

$$d(\Delta H_i) = (f_a * d_i)/n$$

Terrain accidenté :

$$d(\Delta H_i) = f_a * \frac{\Delta H_i}{\sum |\Delta H_i|}$$

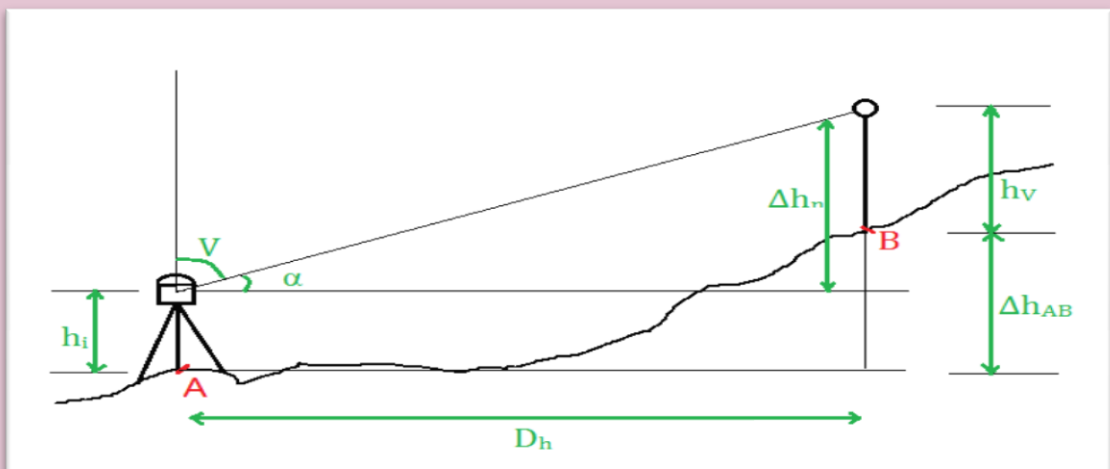
$\rightarrow \Delta H_{i \text{ compensé}} = \Delta H_{i \text{ app}} + d(\Delta H_i)$

Nivellement indirecte :

- Nivellement trigonométrique
- Nivellement géodésique

Définition : effectuer un nivellement indirecte entre A et B, c'est de calculer la dénivelé entre A et B (en utilisant la mesure des distances et des angles verticales)

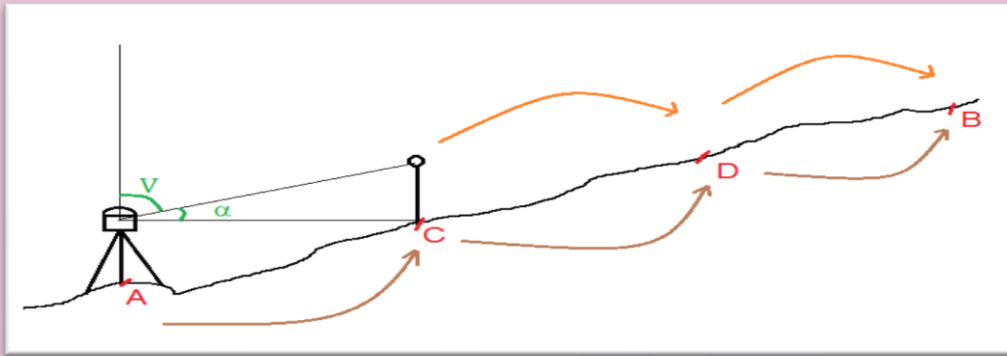
nivellement indirecte permet de déterminer la différence d'altitude entre 2 points via des mesures d'angles verticaux et de distance.



$$\text{tg} \alpha = \Delta h_n / D_h \rightarrow \Delta h_n = D_h * \text{tg} \alpha \quad \text{avec} \quad \alpha = 100 - V$$

$$\Delta h_{AB} = h_i + \Delta h_n - h_v \rightarrow \Delta h_{AB} = \Delta h_n + h_i - h_v$$

Cheminement Altimétrique (indirecte)



- 1) Choisir les points intermédiaires C et D
- 2) Calculer la 1^{er} dénivellé Δh_{AC}
- 3) Calculer les autres tronçons
- 4) $\Delta H_{AB} = \sum_{i=1}^n \Delta H_i$ avec n : nombre des stations.

Calcul des H_i approchées :

$$\Delta H_{1 \text{ approché}} = D_{H1} * \text{tg} \alpha_1 + h_{i1} - h_{v1}$$

$$\Delta H_{2 \text{ approché}} = D_{H2} * \text{tg} \alpha_2 + h_{i2} - h_{v2}$$

$$\Delta H_{3 \text{ approché}} = D_{H3} * \text{tg} \alpha_3 + h_{i3} - h_{v3}$$

$$\Delta H_{AB} = \sum_{i=1}^n D_{H_i} * \text{tg} \alpha_i + \sum_{i=1}^n h_{i_i} - \sum_{i=1}^n h_{v_i}$$

$$\sigma^2_{\Delta H \text{ app}} = f(\sigma^2_D, \sigma^2_{\alpha}, \sigma^2_{hi}, \sigma^2_{hv})$$

$$\text{avec : } \sigma^2_{hi} = \sigma^2_{hv}$$

$$\sigma^2_D \text{ ----> } a + b * \text{ppm}$$

- 5) $f_a = \Delta H_{AB \text{ fixe}} - \Delta H_{AB \text{ app}}$
- 6) $T_a = 2,7 * \sigma_{\Delta H \text{ app}}$
- 7) Comparaison de f_a et T_a :
 - Si $f_a > T_a$ 1. Refaire les calculs
2. refaire les observations
 - Si $f_a \leq T_a \rightarrow$ compensation des altitudes (dénivelés).
- 8) Compensation :
 - Si f_a est petite ----> repartir f_a également sur les différentes ΔH_i

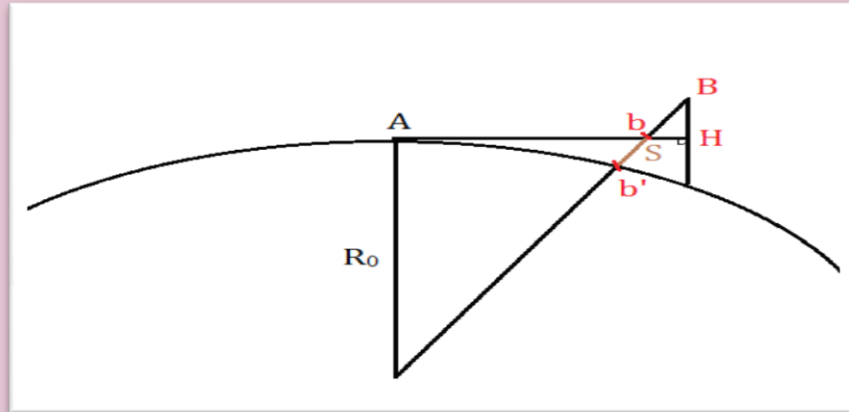
$$d(\Delta H_i) = f_a / n$$
 - Si f_a est importante :
 - Terrain plat :
$$d(\Delta H_i) = (f_a * d_i) / n$$
 - Terrain accidenté :
$$d(\Delta H_i) = f_a * \frac{\Delta H_i}{\sum |\Delta H_i|}$$



$$\Delta H_{i \text{ compensé}} = \Delta H_{i \text{ app}} + d(\Delta H_i)$$

Correction du niveau apparente :

✚ Erreur due à la courbure terrestre :



$\Delta H_{\text{réel}} = Bb'$ (sans tenir compte de la courbure terrestre S)

Avec S : erreur de sphéricité, erreur de courbure terrestre.

$Ob = R_0 + S$

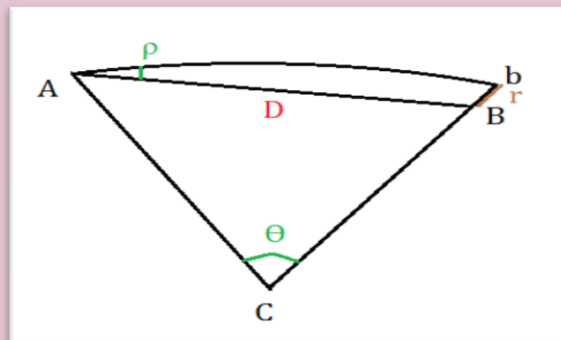
$oAb \rightarrow ob^2 = Ab^2 + R_0^2$

$(R_0 + S)^2 = D^2 + R_0^2$

$S^2 + 2SR_0 = D^2$

$$S = \frac{D^2}{2R_0}$$

✚ Erreur due à la réfraction atmosphérique :



Soit b : le point visé en tenant compte de la réfraction atmosphérique.

Et B : le point visé sans tenir compte de la réfraction atmosphérique.

r : erreur de la réfraction atmosphérique.

$\theta/2 = \rho$, $\theta = \tan \theta = D/R \rightarrow \rho = D/2R$

$\rho = \tan \rho = r/D \rightarrow r = D * \rho = D^2/2R$

$$r = \frac{D^2}{2R} * \frac{R_0}{R_0} = \frac{D^2}{2R_0} * \frac{R_0}{R}$$

$$r = k * \frac{D^2}{2R_0}$$

avec k :coefficient de réfraction atmosphérique.

R :rayon de trajectoire de visé

R_0 : rayon terrestre

ρ : angle de réfraction.

Remarque :

On a $0,11 < k < 0,15$

[12^h – 15^h] ---> la période où k est petit

Pour nous on prend $k= 0,16$

→ correction du niveau apparent : N_a :

$$N_a = S - r = \frac{D^2}{2 R_0} - k * \frac{D^2}{2 R_0} = \frac{D^2}{2 R_0} (1 - k)$$

$$N_a = \frac{D^2}{15} \quad \text{avec } D \text{ en (km)}$$

Donc :

$$----> \Delta H_{AB} = D_H * \operatorname{tg} \alpha + h_i - h_v + N_a$$

Références :

-notes de cours de Mme Loubna Elmansouri

السلام عليكم