

TOPOGRAPHIE GENERALE

Année Scolaie
2019/2020

Notes de cours
Ecole Supérieur de Technologie, LAAYOUNE

Ayad BOUTQLMOUNT, Ingénieur
Géomètre Topographe

Sommaire

IV.	Techniques de la topographie	3
4.	Le Système de Positionnement Global GPS	3
✓	Présentation du GPS.....	3
✓	Composantes du système GPS	3
✓	Structure d'un signal GPS	5
✓	Les erreurs systématiques qui affectent le signal GPS.....	6
✓	Les modes de positionnement par GPS.....	6
✓	Le principe de positionnement par satellites.....	9
	On considère le schéma suivant:	9
5.	Le nivellement	10
✓	Définition et objectifs.....	10
✓	Nivellement direct.....	10
✓	Nivellement indirect.....	14

IV. Techniques de la topographie

4. Le Système de Positionnement Global GPS

✓ Présentation du GPS

C'est un système de positionnement universel basé sur les observations de signaux radioélectriques émis par les satellites U.S.NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging).

Système créé en 1970 par le département de défense américaine des Etats Unis et mis en place en 1978.

Ce système permet de déterminer la position tridimensionnelle de l'utilisateur dans un système de référence global, sa vitesse (en cas de récepteur mobile) et l'information précise sur le temps.

✓ Composantes du système GPS

○ La composante spatiale



Appelée aussi constellation spatiale. La composante de base est formée par 24 satellites dont 3 de réserve.

Les satellites se trouvent sur des orbites quasi-circulaires à une hauteur moyenne de 20200 km ayant une période de 12 heures. Les orbites sont inclinées de 55° par rapport au plan équatorial.

Ces satellites sont équipés d'horloges atomiques très précises pouvant dépasser 30000 ans pour perdre une seconde.

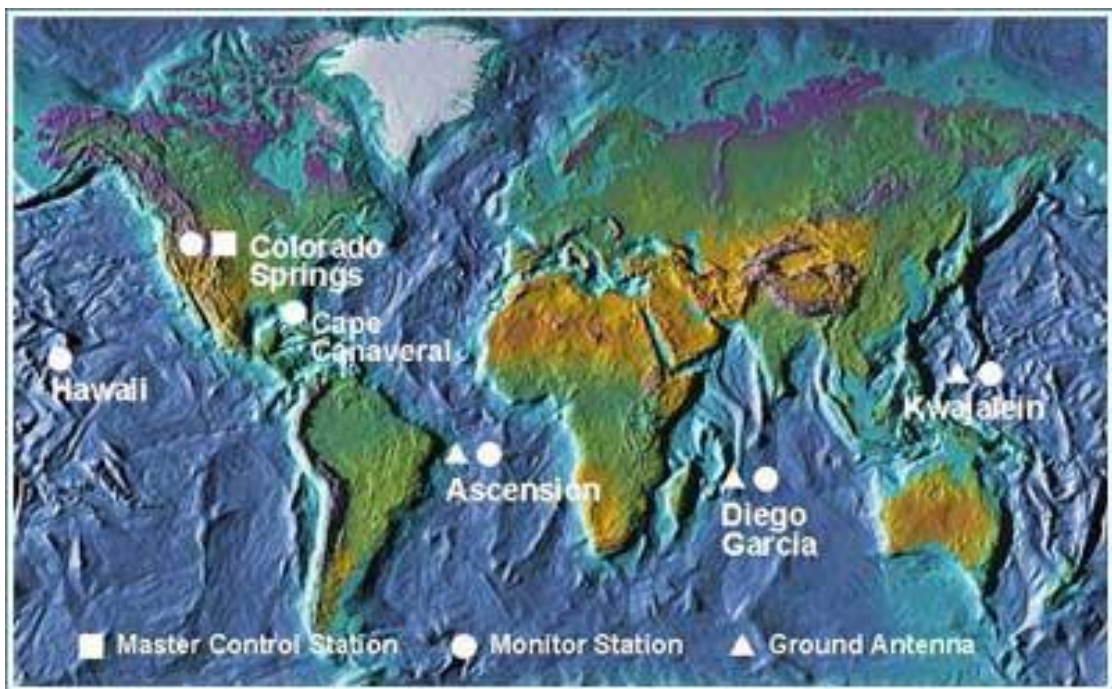
La constellation permet d'observer simultanément, en n'importe quel point du globe terrestre au moins 4 satellites.

Chaque satellite possède un système de propulsion pour le repositionnement sur l'orbite prévue et pour contrôler sa stabilité.

○ **La composante de contrôle**

Cette composante est responsable du contrôle, de la poursuite, du repérage et de la maintenance des satellites GPS. Elle est constituée de 5 stations de référence dont la position est connue avec une très grande précision.

Elles communiquent avec les satellites en comptant et en enregistrant d'une manière continue leurs informations. Ces informations sont ensuite envoyées au centre de calcul de la station maîtresse au USA. Après traitement, les éphémérides les plus récentes, les corrections des horloges des satellites et les données ionosphériques sont injectés dans la mémoire des satellites.



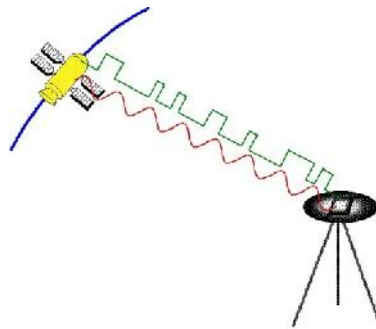
○ **La composante utilisateurs**

Elle est constituée par les récepteurs. Ces derniers ont la possibilité de capter des signaux émis par les satellites.



Les récepteurs peuvent être monofréquences (travaillant avec 1 seule fréquence) ou bifréquence (2 fréquences). Ces derniers sont capables de corriger l'erreur de propagation de signal due à la couche ionosphérique.

✓ **Structure d'un signal GPS**



Le signal GPS est un ensemble d'ondes radio qui sont des ondes électromagnétiques comme les ondes lumineuses et se propagent à la célérité $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ dans le vide.

Les satellites du système GPS émettent des signaux codés sous forme d'ondes radio émises sur deux fréquences différentes ($f_1=1,6$ et $f_2=1,2 \text{ GHz}$) et dont la réception au sol va permettre de calculer la position. Chaque onde est dite une onde porteuse de codes envoyé par le satellite pour permettre de lire le contenu du message de navigation:

* Le code C/A (Coarse/Acquisition code) est porté par l'onde L1 et est accessible par tous les utilisateurs du système GPS.

* Le code P (Précise ou Protected code) est réservé à certains organismes et utilisateurs privilégiés. Il est parfois intentionnellement dégradé par des effets de dégradation de précision et de cryptage.

Le message de navigation, quant à lui, contient les informations concernant les éphémérides transmises des satellites qui sont les éléments képlériens de l'orbite et leur variation en fonction du temps permettant de calculer à tout instant la position et la vitesse du satellite. Le comportement de l'horloge du satellite (ses paramètres) et les coefficients du modèle ionosphérique ainsi que l'état de santé du satellite sont aussi envoyés dans le message de navigation. En plus, chaque satellite envoie dans son message de navigation un almanach, qui est l'état des autres satellites de la constellation.

Le message de navigation permet d'avoir les coordonnées géocentrique du satellite (coordonnées par rapport au référentiel tridimensionnel centré sur le globe terrestre).

✓ **Les erreurs systématiques qui affectent le signal GPS**

* les erreurs d'horloges: qui sont les erreurs dues au décalage entre l'horloge de satellite qui est une horloge atomique plus précise et l'horloge récepteur.

* L'erreur d'orbite: est l'ensemble de différences entre la position programmée pour le satellite et sa position réelle lors de l'émission du signal.

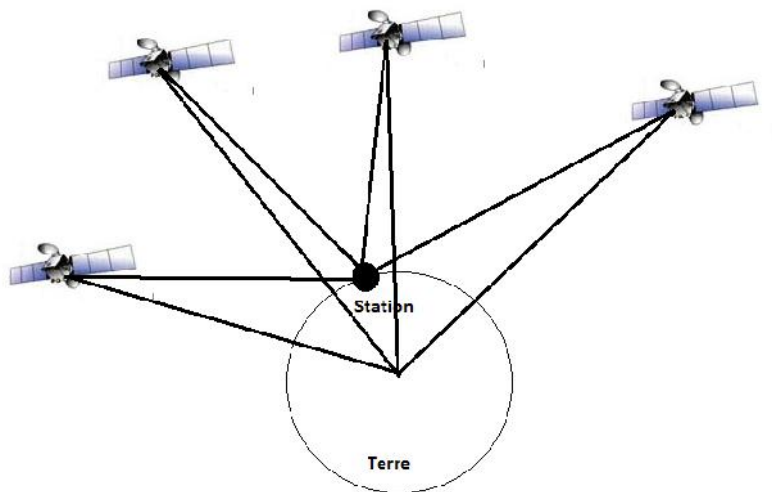
* Les erreurs dues à la réfraction atmosphérique: la densité des couches troposphérique et ionosphérique a un effet sur la propagation de l'onde et sa vitesse.

* l'erreur de multi trajet: elle est due aux effets parasites des signaux qui se réfléchissent sur les parois avoisinantes de la terre

✓ **Les modes de positionnement par GPS**

Il existe deux modes d'observation GPS: le mode absolu et le mode relatif. Le mode absolu est un mode d'observation par point isolé c'est à dire qu'il utilise un seul récepteur alors que le mode relatif utilise au moins deux récepteurs.

○ **Le mode de positionnement absolu**

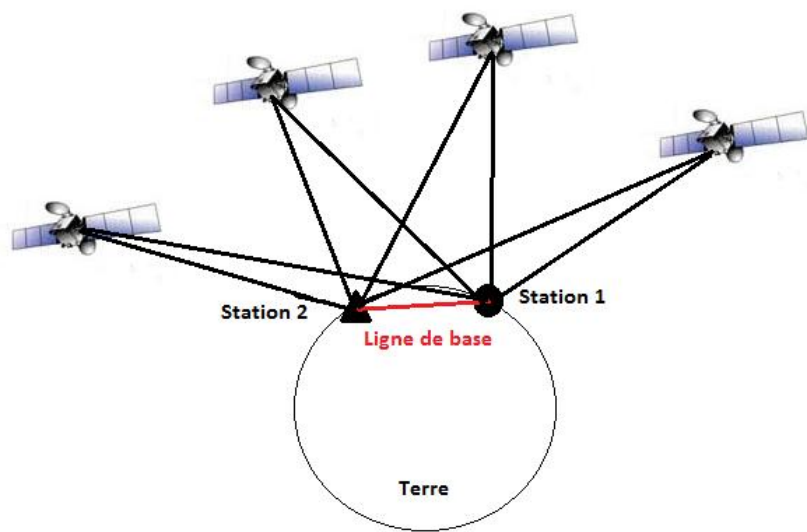


En mode absolu, le récepteur stationné sur le point à observer doit observer simultanément 4 satellites pour pouvoir déterminer sa position (X, Y, Z). La précision de ce mode dépend de plusieurs facteurs et elle est de 1 mètre:

* Le type de code utilisé (P ou C/A).

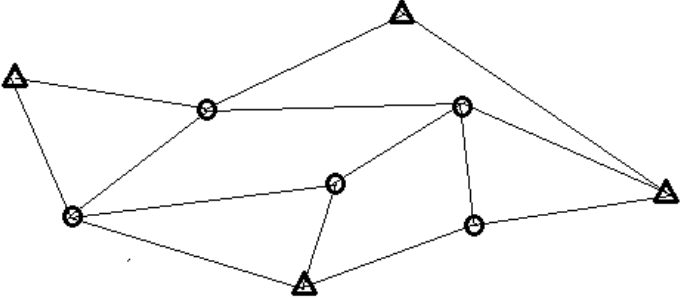
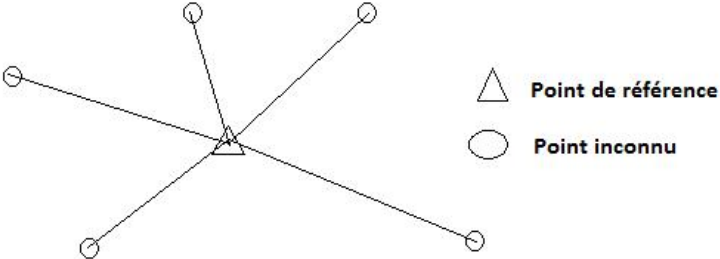
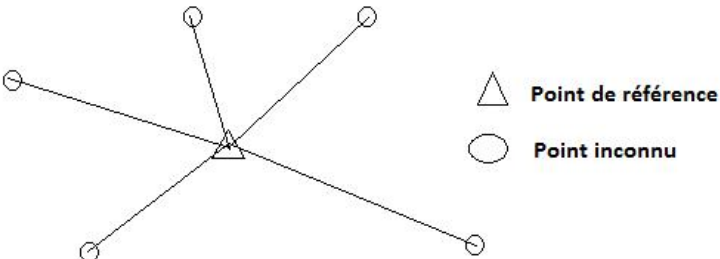
- * La qualité des orbites et des corrections.
- * La géométrie de la constellation des satellites.
- * Le type de récepteur: bifrèquence ou monofrèquence.
- * Le temps d'observation.

○ Le mode de positionnement relatif



Ce mode utilise au moins deux récepteurs et il est le plus utilisé en topographie. Son principe étant de rattacher des points inconnus à des points de référence (des points connus dans un système donné). Pour ce mode plusieurs méthodes d'observation sont utilisées:

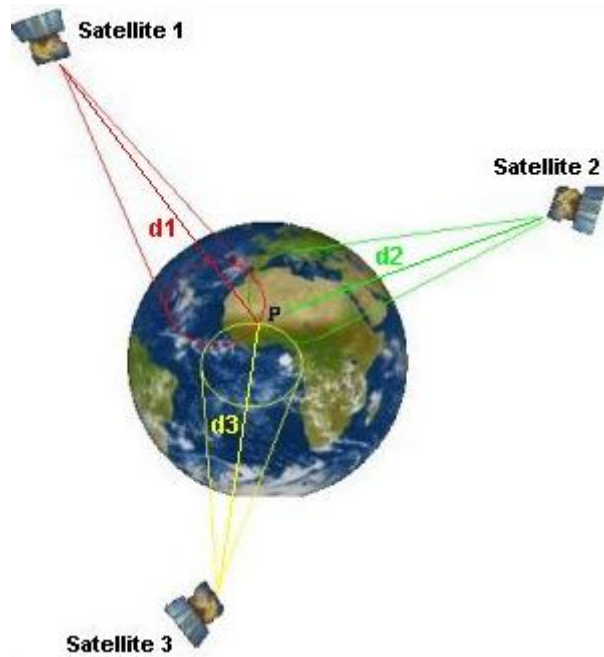
Méthode	Description	Schéma
Statique	Un réseau de points est observé pour une durée allant de 1 heure à plusieurs jours. A l'intérieur de ce réseau 1 ou plusieurs points sont connus en coordonnées. La précision de cette méthode est de $2\text{mm}+10^{-6}\cdot D$	<p>△ Point de référence</p> <p>○ Point inconnu</p>

		 <p>Observation en mode statique d'un réseau géodésique</p>
Statique rapide	<p>Un récepteur est gardé fixe sur un point de référence une longue durée tandis qu'un deuxième récepteur se déplace sur les autres points en observant chacun pour une durée de quelques minutes à 1 heure. Cette méthode est utilisée pour des réseaux où les lignes de base sont inférieures à 15 km. La précision de cette méthode est de $2\text{mm} + 2 \cdot 10^{-6} \cdot D$</p> <p>NB: une ligne de base est le vecteur tridimensionnel qui lie entre deux points du réseau.</p>	 <p>Observation en mode statique rapide d'un réseau géodésique</p>
Cinématique	<p>Les points du réseau qui sont inconnus sont stationnés durant quelques secondes. Le récepteur en station de référence est fixé pour toute la durée de l'observation alors que le récepteur mobile est déplacé entre les points inconnus. La précision de cette méthode est de $2\text{mm} + 2 \cdot 10^{-6} \cdot D$.</p>	 <p>Observation en mode cinématique d'un réseau géodésique</p>

Mode temps réel (RTK)	<p>Un récepteur fixe est placé sur un point connu tandis qu'un récepteur mobile se déplace sur les points inconnus et y observe pendant quelques secondes. La différence avec les autres méthodes est que ce mode permet de définir les coordonnées des points inconnus directement sur le terrain sans passer par le traitement au bureau.</p> <p>La précision de cette méthode est de quelques centimètres.</p>	
-----------------------	---	--

✓ **Le principe de positionnement par satellites**

On considère le schéma suivant:



Imaginons que les satellites émettent de façon synchronisée une série de lettres, de A à Z, les unes après les autres.

A une date précise, t , compte tenu des distances $d1$, $d2$, $d3$ différentes, tous les points situés sur le cercle rouge recevront par exemple la lettre Z alors que tous les points situés sur le cercle vert recevront la lettre H et tous les points situés sur le cercle bleu recevront la lettre A.

A cette date t , Le récepteur situé en P recevra la combinaison ZHA. Seul ce point peut

recevoir cette combinaison à cette date. Un récepteur situé ailleurs recevrait une combinaison de lettres différente.

On conçoit donc que du décodage de signaux véhiculés par ondes porteuses et provenant de satellites plus ou moins éloignés, on puisse déduire la position géographique d'un récepteur puisque chaque satellite est connu en coordonnées dans le référentiel GPS géocentrique, aussi l'angle entre la ligne de visée satellite-point est connu ainsi que la distance point-satellite et donc on peut avoir les coordonnées du point: c'est le principe du relèvement spatial.

Cependant, il faut au minimum 3 satellites pour avoir une localisation en 2 dimensions à la surface de la Terre et 4 satellites pour accéder à l'altitude et un 5ème satellite pour avoir le paramètre temps.

5. Le nivellement

✓ Définition et objectifs

Le nivellement est l'ensemble des procédés topographiques qui permettent de déterminer la position altimétrique d'un point. On distingue entre nivellement direct et le nivellement indirect.

✓ Nivellement direct

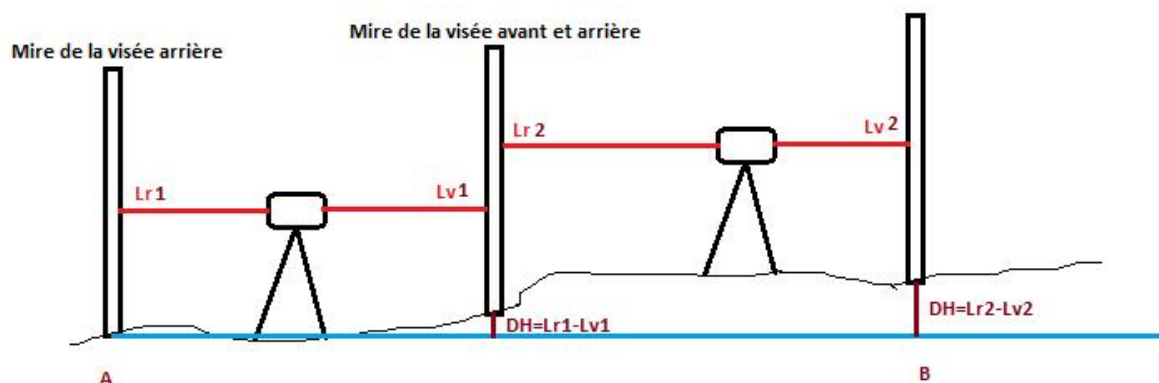
c'est un procédé de calcul de la position altimétrique d'un point à partir d'un autre point dont l'altitude est connue en utilisant comme données les différences de lectures issues directement d'un appareil appelé niveau.

Les niveaux actuels sont des appareils électroniques utilisés avec des mires à code barre qui permettent de lire des valeurs de hauteurs en convertissant le signal optique (quand l'opérateur vise la mire) en valeur numérique de hauteur.



Le principe de nivellement est de positionner le niveau entre deux points et faire des lectures arrière puis avant sur les mires posées sur les deux points.

Le schéma ci-dessous illustre le mode opératoire:



Le calcul de la dénivelée (différence de niveau) se fait par le calcul de la différence entre les lectures arrière et avant depuis le point de départ A connu en hauteur jusqu'au point d'arrivée B connu en hauteur.

Les observations issues du terrain sont de la forme suivante:

Points	Lr (m)	Lv (m)	Distance (m)	Hauteur connue	Dénivelée approchée (m)
PS293	3,0749		19,29	2.8047	2,8105
PS288		0,2644	22,79		
PS288	1,1347		16,2		0,4745
H18OA7N8		0,6602	29,51		
H18OA7N8	1,1982		26,66		-0,1053
1		1,3035	28,91		
1	1,7703		26,81		1,1458
H18OA9N4		0,6245	28,13		
H18OA9N4	0,6383		27,53		-1,0739
PS291		1,7122	23,49		
PS291	1,0285		35,59		-0,2113
H18OA7N2		1,2398	46,99		
H18OA7N2	1,2193		13,27		-0,2356
PS288		1,4549	11,25	5,6090	

Les dénivelées approchées sont calculées par la formule:

Ensuite on calcul la fermeture altimétrique:

et la tolérance altimétrique:

On compare ensuite la fermeture altimétrique et la tolérance:

Si la fermeture calculée est inférieure à la tolérance alors notre calcul est bon et on passe à la compensation.

Si la fermeture est supérieure à la tolérance alors on doit refaire le calcul ou ressortir sur terrain.

La compensation des valeurs approchées calculées sert à partager les erreurs accidentelles ayant entacher l'observation sur tous les points observés en ajoutant une correction d_i aux valeurs d'altitudes approchées:

Et on a finalement pour chaque point, son altitude à adopter:

$$H_M = H_M + \sum d(\Delta_i)$$

Application:

Pour les mêmes observations données ci-dessus, calculer les hauteurs compensées des points en complétant le tableau:

On donne $L = 0.0001 \text{ m}$

Points	Lr (m)	Lv (m)	Distance (m)	Hauteur connue	Dénivelée approchée (m)
PS293	3,0749		19,29	2.8047	2,8105
PS288		0,2644	22,79		
PS288	1,1347		16,2		0,4745
H18OA7N8		0,6602	29,51		

H18OA7N8	1,1982		26,66		-0,1053
1		1,3035	28,91		
1	1,7703		26,81		1,1458
H18OA9N4		0,6245	28,13		
H18OA9N4	0,6383		27,53		-1,0739
PS291		1,7122	23,49		
PS291	1,0285		35,59		-0,2113
H18OA7N2		1,2398	46,99		
H18OA7N2	1,2193		13,27		-0,2356
PS288		1,4549	11,25	5,6090	

On calcul d'abord, les altitudes approchées et on obtient:

Points	Altitudes approchées (m)
PS293	2.8047
PS288	5.6152
PS288	5.6152
H18OA7N8	6.0897
H18OA7N8	6.0897
1	5.9844
1	5.9844
H18OA9N4	7.1302
H18OA9N4	7.1302
PS291	6.0563
PS291	6.0563
H18OA7N2	5.8450
H18OA7N2	5.8450
PS288	5.6094

La fermeture altimétrique donne:

et la tolérance est de:

On pourra donc passer à la compensation des hauteurs:

Pour chaque dénivelée la valeur de correction est:

Pour chaque hauteur approchée on la corrige par la formule:

Et on obtient le tableau final:

Points	Lr (m)	Lv (m)	Distance (m)	Hauteur connue	Dénivelée approchée (m)	Altitudes approchées (m)	Correction à apporter (d hi)(m)	Hauteurs Compensée
PS293	3.0749		19.29	2.8047	2.8105	2.8047	-0.00040	2.8047
PS288		0.2644	22.79			5.6152		5.6148
PS288	1.1347		16.2		0.4745	5.6152	-0.00007	
H18OA7N8		0.6602	29.51			6.0897		6.0892
H18OA7N8	1.1982		26.66		-0.1053	6.0897	0.00002	
1		1.3035	28.91			5.9844		5.9839
1	1.7703		26.81		1.1458	5.9844	-0.00016	
H18OA9N4		0.6245	28.13			7.1302		7.1296
H18OA9N4	0.6383		27.53		-1.0739	7.1302	0.00015	
PS291		1.7122	23.49			6.0563		6.0558
PS291	1.0285		35.59		-0.2113	6.0563	0.00003	
H18OA7N2		1.2398	46.99			5.845		5.8446
H18OA7N2	1.2193		13.27		-0.2356	5.845	0.00003	
B		1.4549	11.25	5.6090		5.6094		5.6090

✓ Nivellement indirect

c'est un procédé de calcul de la position altimétrique d'un point à partir d'un autre point dont l'altitude est connue en utilisant comme données l'angle vertical et la distance observés par un tachéomètre sur terrain.

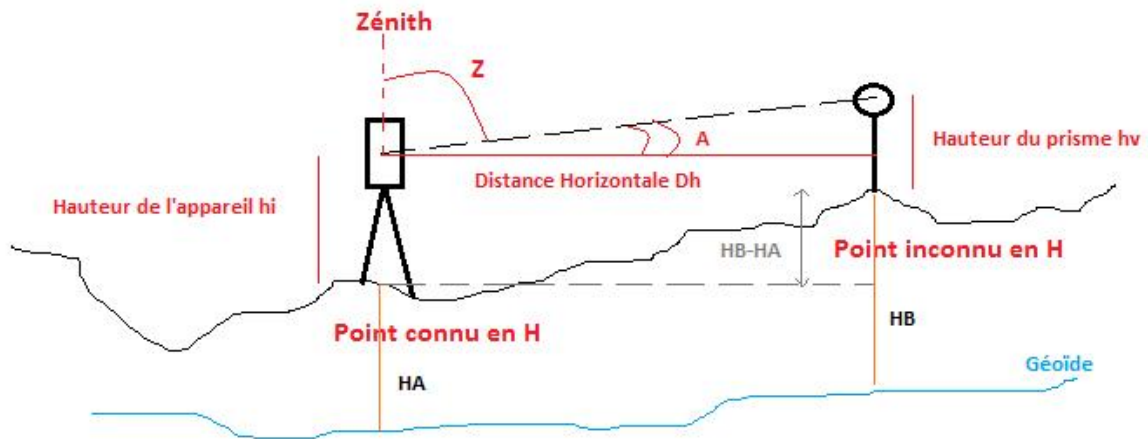
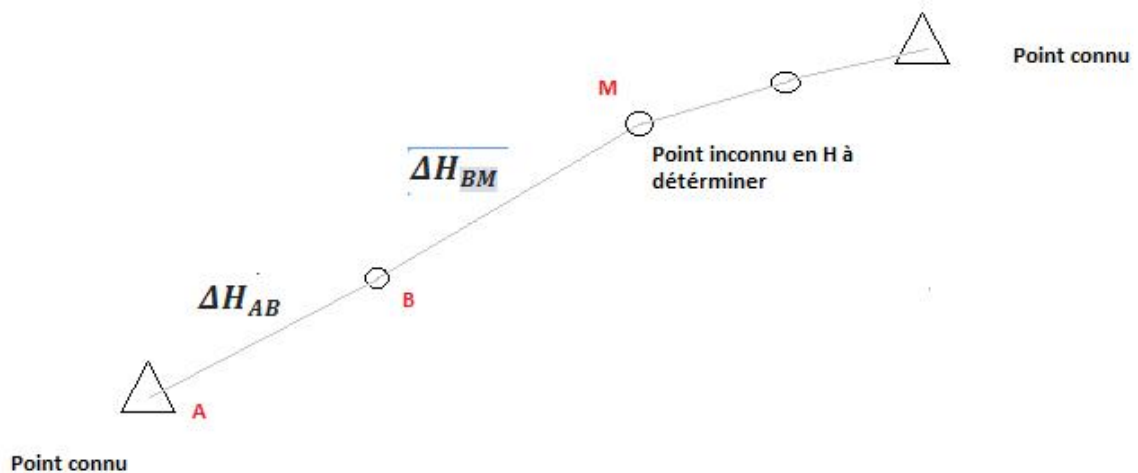


Schéma d'observation pour un nivellement indirect

Une fois le premier point observé, on déplace le tachéomètre au point inconnu et on observe le prochain point inconnu pour faire un chemin qui va se fermer sur un point connu.



pour calculer la hauteur du point inconnu B on a:

$$\Delta_A = H_B - H_A = D_h \tan A + h - h$$

On calcul en premier temps les hauteurs approchés des points:

$$H_B = H_A + \Delta_A$$

$$H_M = H_A + \Delta_A + \Delta_B$$

Et pour tous les points du chemin on a: $H_{i;} = H_A + \sum_{i=1}^n \Delta_i$

avec n le nombre de stations.

Ensuite on calcul les fermetures et tolérances telles que:

Si la fermeture calculée est inférieure à la tolérance alors notre calcul est bon et on passe à la compensation.

Si la fermeture est supérieure à la tolérance alors on doit refaire le calcul ou ressortir sur terrain.

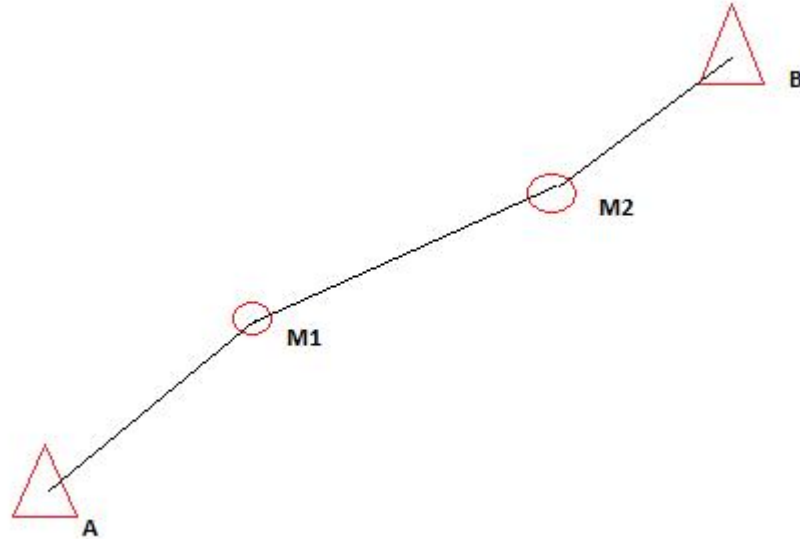
La compensation des valeurs approchées calculées sert à partager les erreurs accidentelles ayant entacher l'observation sur tous les points observés en ajoutant une correction d_i aux valeurs d'altitudes approchées:

Et on a finalement pour chaque point, son altitude à adopter:

$$H_M = H_M + d(\Delta_i)$$

Application:

Soit un nivellement indirect effectué sur terrain pour observer la hauteur de deux points inconnus sur terrain. On donne le schéma:



On donne: $H_A = 25.236$ m et $H_B = 28.810$ m

On donne les observations faites sur terrain:

Tronçon	Angle zénithal (grade)	Distance (m)
A-M1	98.4380	56.234
M1-M2	97.7349	48.251
M2-B	99.7614	46.756

On donne pour tous les points:

* Hauteur de l'instrument: 1.60 m

* Hauteur de prisme: 1.50 m

* $\frac{z}{Z} = 0.0001$ grade

* Pour les points connus A et B $\frac{z}{H} = 0$

* $\frac{z}{D} = (2\text{mm} + 2\text{ppm } D)\text{mm}$

* $\frac{z}{h} = \frac{z}{h} = 0$

On cherche les hauteurs définitives à adopter pour les points M1 et M2.