

GUIDE MÉTIER

MÉTHODE DE LEVÉ PAR

STATION TOTALE

TABLE DES MATIERES

I. PRINCIPE.....	3
II. PRECISION	6
1) La précision ou l'imprécision.....	6
2) Combattre l'imprécision	6
III. TRAITEMENT DES DISTANCES	7
IV. PRINCIPES D'UN LEVE TOPO	10
1) Station et mise en station.....	10
2) Points rayonnés	11
3) Points de référence connus.....	11
4) Polygonale	12
a) Polygonale « ouverte »	13
b) Polygonale « fermée »	13
V. METHODE DE MISE EN STATION	15
1) Description	15
2) Préparation.....	15
3) Centrage	16
4) Quasi-verticalité.....	16
5) Verticalité fine – direction VC1-VC2	17
6) Rotation de l'alidade	17
7) Verticalité fine – direction VC3.....	18
VI. MÉTHODES DE LEVÉ	19
1) Station « classique ».....	19
2) Station libre	19
3) Méthode mixte : GNSS+station topo	20
4) Station locale	20
5) Cheminement de stations.....	21
VII. PRECAUTIONS ET OBLIGATIONS.....	22
VIII. CONSEILS	23
LEXIQUE.....	24

I. PRINCIPE

Matériel à visée optique appelé tachéomètre ou station totale



Le **tachéomètre** est un théodolite, mesurant en plus les distances.

La mesure des distances se fait grâce à un télémètre à visée infrarouge intégré dans le tachéomètre. La mesure se fait à l'aide d'un prisme réflecteur, placé à la verticale du point que l'on souhaite mesurer à l'aide d'une nivelle sphérique. La mesure peut être effectuée au laser avec le même système réflecteur, et même sans réflecteur, ce qui permet de collecter des mesures de points inaccessibles.



Un **théodolite** est un appareil servant à mesurer les angles horizontaux et verticaux pour déterminer des directions. Il est composé d'une lunette montée sur les deux axes vertical et horizontal. Chacun des axes est équipé d'un cercle gradué permettant les lectures des angles. Le théodolite se pose sur un support et doit être calé sur le plan horizontal à l'aide des nivelles. Il est souvent placé sur un trépied, et à la verticale exacte d'un point connu en coordonnées. L'ensemble de cette phase d'utilisation se nomme « **la mise en station** ».

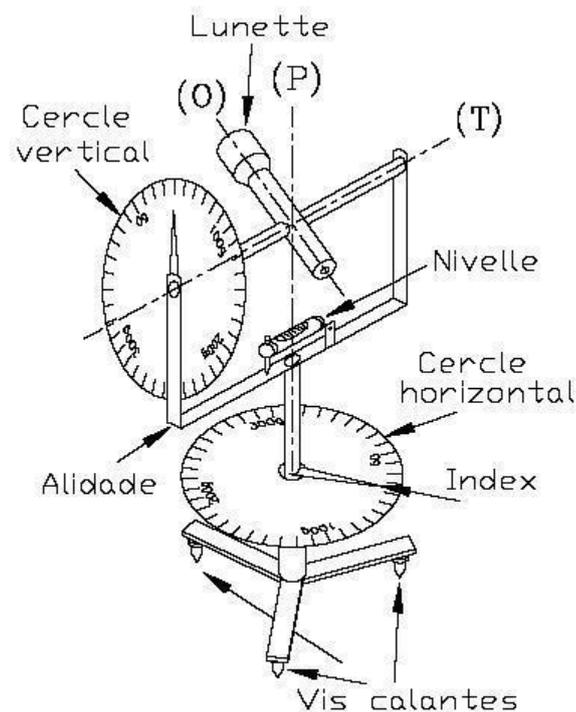
La visée se fait à travers la lunette par l'opérateur de visée qui pointe une mire tenue par un autre opérateur.

Les parties qui le constituent :

Le **cercle horizontal** (ou **limbe**) est la graduation du théodolite sur laquelle l'opérateur lit les **angles horizontaux**. Il est lié au socle de l'appareil mais peut aussi pivoter sur lui-même de manière à régler le zéro des graduations sur une direction donnée.

Les graduations sont croissantes de 0 à 400 gon dans le sens horaire.

Après la mise en station du théodolite, ce cercle est horizontal, ce qui explique que les angles lus soient des angles projetés sur le plan horizontal et appelés **angles horizontaux** (ou **azimutaux**), notés **H_z**.



Les outils du géomètre profitent constamment des progrès technologiques. Le théodolite, instrument quasi emblématique de la profession, n'échappe pas à cette règle. Dans un premier temps mécano-optique, cet instrument est pourvu d'un nombre grandissant de composants électroniques pour un gain croissant en termes de productivité.

Certains tachéomètres sont équipés de servomoteurs, permettant de diriger automatiquement leur lunette dans n'importe quelle direction. Le procédé de localisation automatique du réflecteur permet de diriger automatiquement l'instrument sur le prisme.

Là encore un gain croissant de productivité car l'opérateur est désormais seul à travailler sur le chantier. Il doit tenir le réflecteur et un module d'enregistrement. La liaison entre ces deux composantes s'effectue par ondes radio ou par Bluetooth.



II. PRECISION

1) La précision ou l'imprécision

La précision ou l'imprécision engendrée par ce type de solution dépend de différents facteurs :

- Du **matériel** : chaque appareil justifie d'une précision de mesure
- De la **mise en œuvre** lors de l'utilisation de l'appareil, pendant le calage de la station de travail ainsi qu'au moment de la prise de la mesure.
- Des **conditions** : la réfraction et la température ainsi que le vent, le soleil et les vibrations peuvent influencer sur les résultats de façon significative et jouer un rôle perturbateur important. On peut observer par exemple un doublement ou triplement des valeurs de précision nominales de l'appareil.
- Du **système de coordonnées utilisé**

2) Combattre l'imprécision

Comment la combattre l'imprécision :

Les limitations de conditions de levé sont liées aux conditions atmosphériques, distance, portée Bluetooth et peuvent jouer un rôle plus ou moins important sur l'imprécision d'une mesure ou d'un levé.

Parmi les précautions d'usage que l'on peut citer :

- Entretien son matériel de façon rigoureuse, humidité, condensation, poussière.
- Faire contrôler son matériel tous les ans.
- Mettre en œuvre des opérations de contrôle durant le levé du chantier (visée systématique de point ayant déjà été levé avant changement de station ou visée de point déjà acquis tous les 50 points)
- Utiliser les principes de la compensation de l'erreur par double retournement pour les mesures de points éloignés.
- Compensation par cheminement/polygonale (ouvert, fermé).

Plus généralement, nous pouvons admettre que les facteurs générant de l'imprécision dans ce type de mesure, levé ou repérage, sont maîtrisables pour la plupart ou contournables par des opérations de contrôle et de doubles ou triples mesures par double retournement.

III. TRAITEMENT DES DISTANCES

En fait, une distance, **mesurée sur le terrain**, doit subir quelques traitements numériques avant d'être introduite dans les **calculs** (ou reportée sur un **plan**).

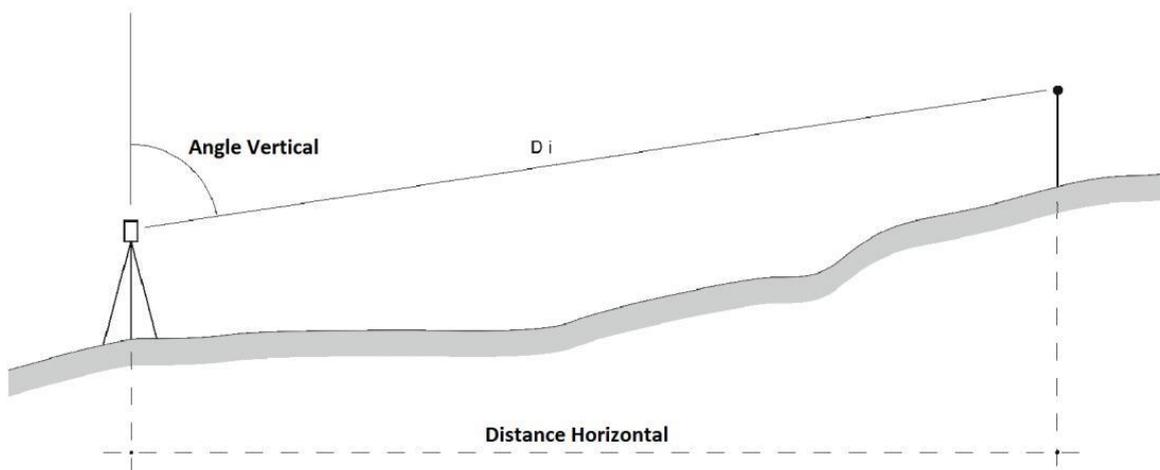
- L'exactitude de la visée laser doit être compensée par différents types de corrections liées à des phénomènes optiques et atmosphériques.
- Le report d'une mesure 3 dimensions avec un dénivelé sur un plan en 2 dimensions nécessite également une correction.
- Le fait d'utiliser un système de coordonnées projeté nécessite là encore une correction spécifique par rapport à l'emplacement géographique du levé et au système choisi.

L'ensemble de ces étapes s'appelle « **le traitement des distances** ».

Réduction à l'horizontale

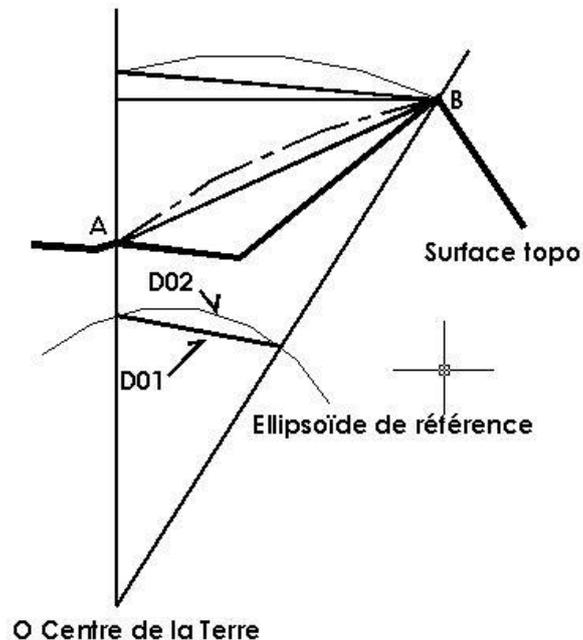
La distance inclinée est celle mesurée sur le terrain (suivant l'axe distance-mètre /réflecteur). La distance réduite à l'horizontale est celle séparant réellement deux points : c'est donc celle reportée sur le plan.

$D_h = D_i \times \sin(A_v)$ (Cette réduction est particulière à chaque mesure)



Réduction à l'ellipsoïde

$D_o = (D_h \times R) / (R + h)$ avec h = hauteur ellipsoïdale relative à la projection du point visé sur la verticale passant par la station. (Cette réduction est particulière à chaque visée en zone montagneuse, par contre, en plaine, on peut adopter un module commun au chantier, $m = R / (R + h)$, pour déduire $D_o = D_h \times m$)



La correction de représentation plane ou de projection.

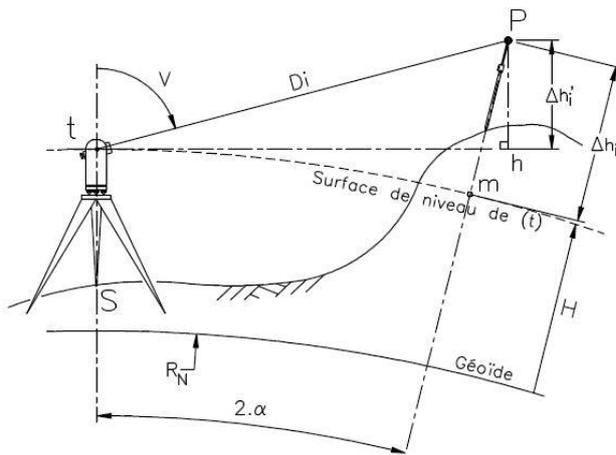
Nous traiterons ici la correction de réduction à la projection plane du système de coordonnées utilisé.

Kf est le coefficient d'altération linéaire, il est donné dans l'abaque de L'IGN.

Correction du Niveau apparent

En nivellement indirect parfois les portées peuvent être importantes, à partir de **500 m** il faudra prendre en compte dans l'exploitation des données deux erreurs systématiques :

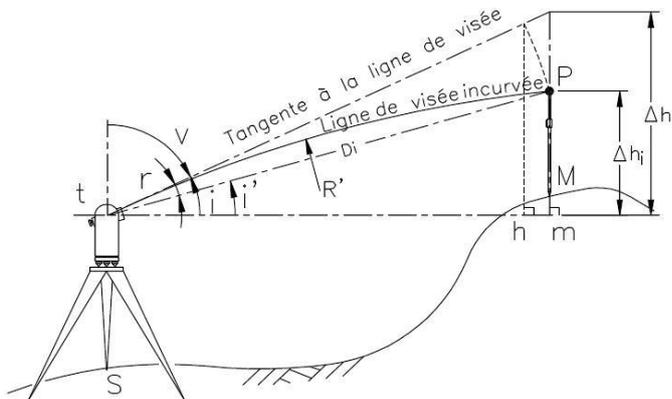
- L'erreur due à la sphéricité de la Terre



Les surfaces de niveaux ne sont pas planes et localement assimilables à des sphères de rayon $R_n + H$ (alt). Cela induit deux types d'erreurs :

- **L'erreur sur la dénivelée instrumentale**
- **L'erreur sur la distance horizontale**

- L'erreur due à la réfraction terrestre



Le trajet optique du rayon lumineux du tachéomètre n'est pas linéaire mais incurvé vers la surface terrestre du fait de la réfraction atmosphérique. L'angle de déviation ou de réfraction r est fonction de la pression et de la température.

Chacune de ces erreurs peut être corrigée séparément néanmoins il existe une correction globale, **toujours positive**, qui sera appliquée à la dénivelée : la **Correction du Niveau Apparent (CNA)**.

$$\mathbf{Cna} = \frac{Dh^2}{15,2} \quad (\text{avec Cna en mètre, et Dh en km})$$

Exemple : Cna = 0.7mm à 100m, 2mm à 200m et 1.6cm à 500m

NB : il est à noter que le flamboiement de l'air dû à la surchauffe du sol, occasionne un tremblement de l'image que vous percevez. Il est inutile d'essayer d'avoir des mesures précises dans ce cas de figure, il faut éviter les visées en bas de mire près du sol lorsqu'il fait chaud.

IV. PRINCIPES D'UN LEVE TOPO

Le principe d'un levé topo consiste à viser depuis une position fixe (**station**) à l'aide d'une station totale, des points de coordonnées inconnues (**points rayonnés**) ou connues (**points de référence**).



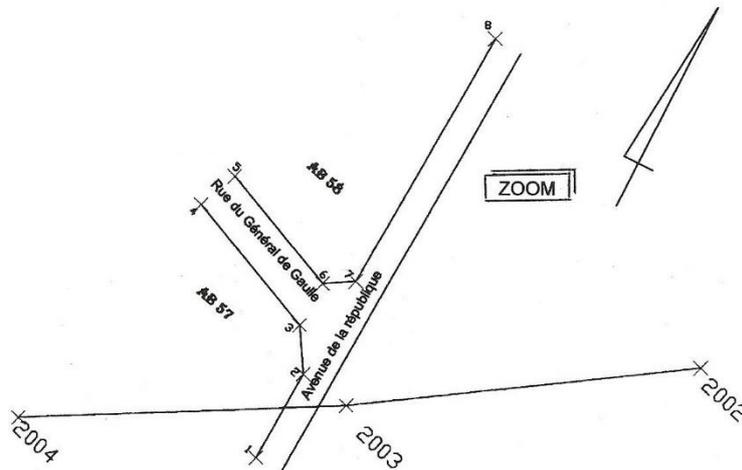
1) Station et mise en station

Comme nous l'avons vu précédemment, le Tachéomètre est un appareil permettant de mesurer des angles et des distances sur le plan horizontal et vertical par rapports à la gravité. Il travaille sur la surface de référence du géoïde. Ses données seront ensuite calculées pour être converties sur d'autres modèles de coordonnées ou de projection suivant nos besoins.

On peut comprendre facilement la nécessité que cet appareil soit positionné sur un point de référence précis et sur un plan horizontal parfait pour nous délivrer des mesures correctes car sans ça, toute donnée sortant de cet appareil serait erronée.

Le Tachéomètre se pose sur un support et doit se caler sur le plan horizontal. Il est souvent placé sur un trépied, et à la verticale exacte d'un point connu en coordonnées, à l'aide d'un fil à plomb, d'un plomb « optique » ou d'un plomb « laser », et d'un niveau à bulle sphérique. Sa base doit être parfaitement horizontale. L'ensemble de cette phase d'utilisation se nomme « la **mise en station** ».

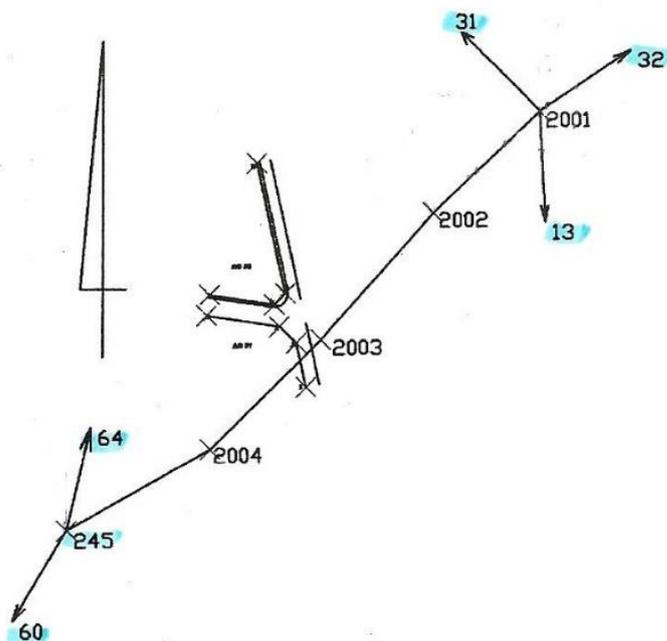
2) Points rayonnés



Dans cet exemple, nous avons des points station (2002, 2003 et 2004)

Les points rayonnés sont numérotés de 1 à 8, ils ont été levés avec le tachéomètre et ont permis de tracer le plan de voirie ci-contre.

3) Points de référence connus



Dans cet exemple, nous avons des points station (2001, 2002, 2003 et 2004) et 6 points connus en coordonnées (surlignés en bleu).

Ils servent généralement de référence pour faire

Une mise en station libre ou normale.

Ouvrir ou fermer une polygonale.

Pour vérifier la précision et l'exactitude d'un levé par des opérations de contrôle à chaque mise en station ou tous les 50 points levés (points rayonnés)

4) Polygonale

Lorsqu'il est impossible de viser un ou x points rayonnés (à cause de la distance ou d'obstacles physiques sur le terrain), il est nécessaire de **déplacer** l'appareil topo sur un autre point station et ainsi de suite jusqu'à ce que votre chantier entier soit "levé". Cette succession de station s'appelle un **cheminement**.

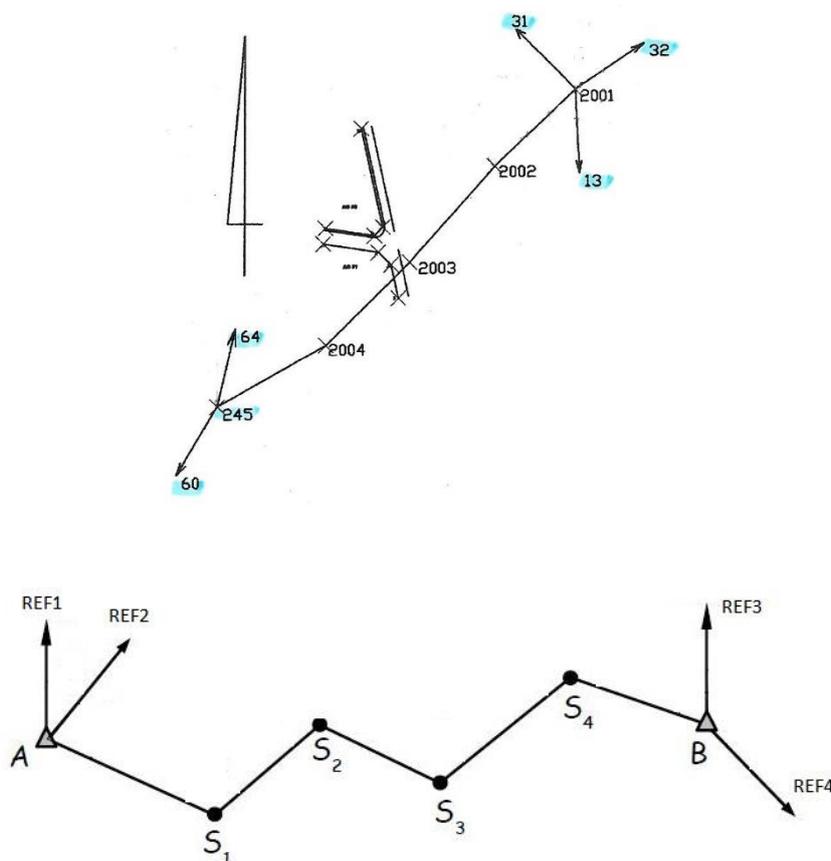
Partant du principe que chacune des mises en station et chaque point levé peut engendrer une erreur, nous pouvons considérer que toutes ces erreurs se cumulent pour arriver avec des données erronées en fin de levé sur la dernière station.

On appellera **polygonale** ou **cheminement polygonale** la ligne brisée qui relie tous les points station de notre levé (dont un au moins, est connu en coordonnées).

Connaissant les coordonnées du point de départ et/ou du point d'arrivée, on calcule les coordonnées de tous les sommets (stations) de la polygonale par la méthode des gisements à l'aide de l'angle entre chaque segment.

Cette opération s'effectue en post traitement et affecte à chaque point rayonné levé la correction de compensation calculée sur sa station de référence.

Ci-dessous, deux levés nécessitant une polygonale.

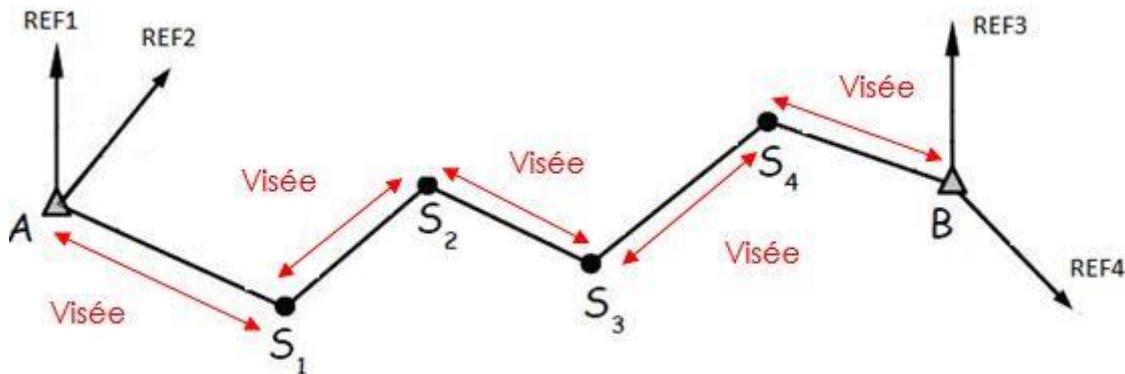


a) Polygone « ouverte »

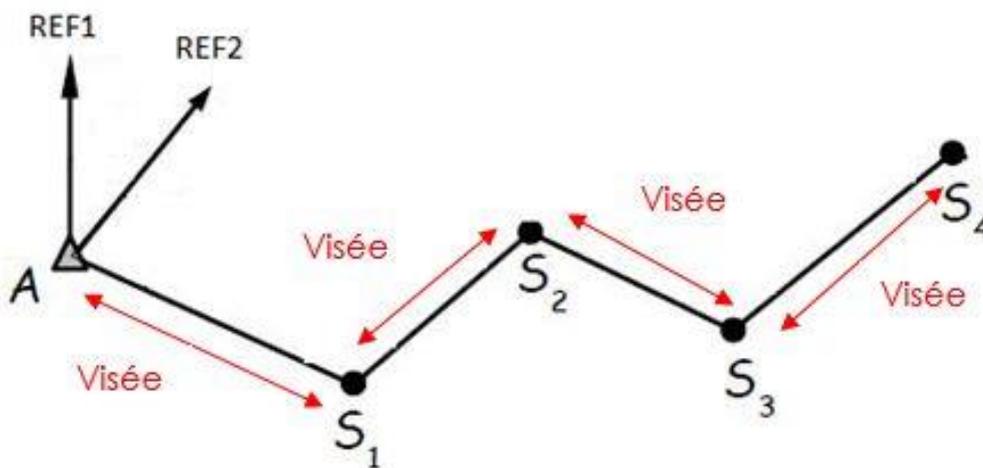
Lorsqu'elle n'est pas fermée la **polygone** est dite **ouverte**.

Elle peut être alors **encadrée** ou en **antenne**.

- **Encadrée** : les coordonnées des points de départ A et d'arrivée B sont connues. C'est la méthode la plus fréquemment utilisée et permet un calcul polygonal satisfaisant.



- **En antenne** : en général elle est reliée à une autre polygonale (seules les coordonnées du point de départ A sont connues)

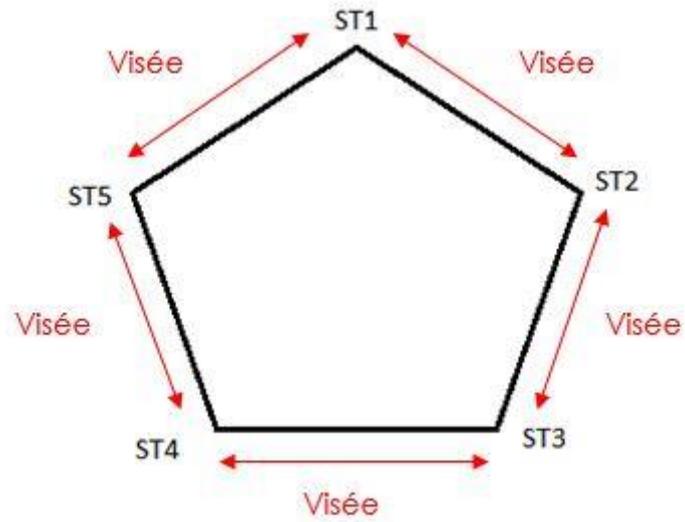


b) Polygone « fermée »

Lorsque les points de départ et d'arrivée sont confondus, formant ainsi un polygone, la **polygone** est dite **fermée**.

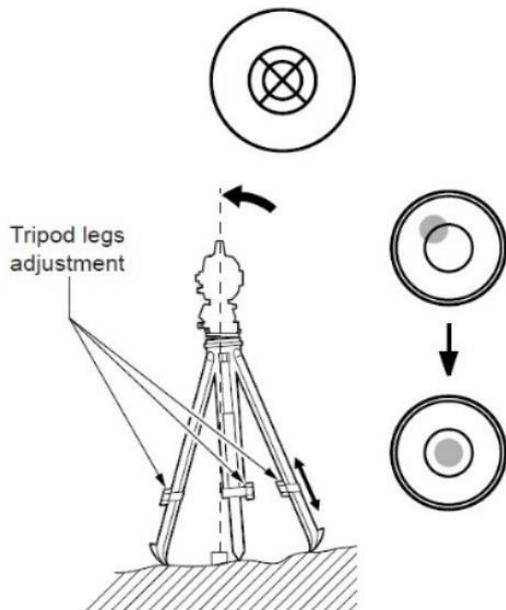
Cette méthode permet un calcul polygonal parfait.

NB : une visée avant et arrière entre chaque station est nécessaire (y compris de ST1 vers ST5) ce qui implique que lors de la 1ere mise en station (ST1) on pense à viser la "future" ST5.



V. METHODE DE MISE EN STATION

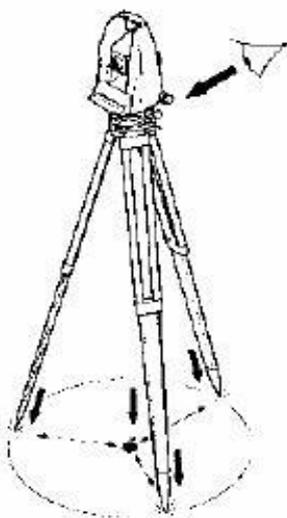
1) Description



Le Tachéomètre se pose sur un support et doit se caler sur le plan horizontal. Il est souvent placé sur un trépied, et à la verticale exacte d'un point connu en coordonnées, à l'aide d'un fil à plomb, d'un plomb « optique » ou d'un plomb « laser », et d'un niveau à bulle sphérique. Sa base doit être parfaitement horizontale (utilisation d'une **nivelle torique**, ainsi que d'une **nivelle sphérique**). L'ensemble de cette phase d'utilisation se nomme la « **mise en station** ». En fait, c'est l'axe de rotation principal (vertical) de l'instrument qui est rendu parfaitement vertical à l'aide des nivelles. On dégrossit la mise en station avec la nivelle sphérique (moins précise) et on l'affine à l'aide de la nivelle torique (très précise).

Le point de station au sol est parfaitement dans le prolongement de cet axe principal. Il est matérialisé par un clou d'arpentage et implanté dans le sol de manière que sa durabilité soit garantie et choisi de telle sorte qu'il puisse être aisément réutilisé.

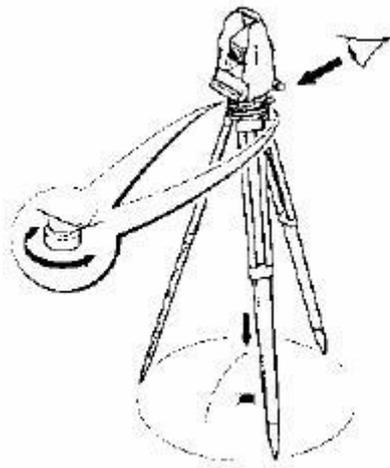
2) Préparation



Disposer les jambes du trépied à égale distance du point de station. Enfoncer les dans le sol.

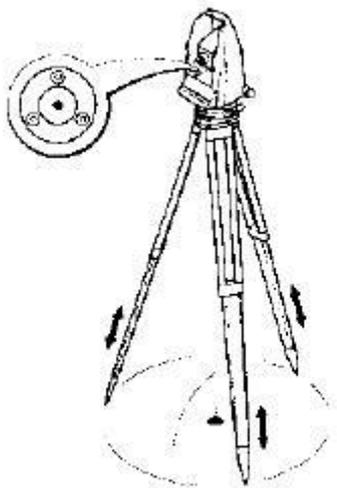
Vérifier que les vis calantes sont à mi-course et que le plateau est horizontal.

3) Centrage



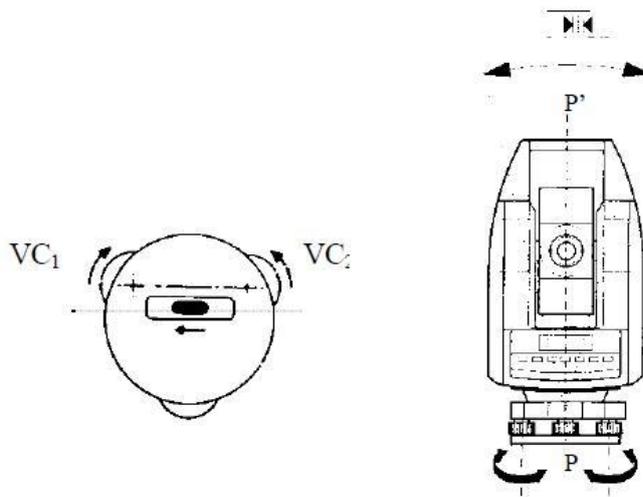
Faire passer l'axe principal par le point de station en tournant les 3 vis calantes tout en observant le point de station à l'aide du plomb optique.

4) Quasi-verticalité



Caler la bulle de la nivelle sphérique en modifiant la longueur des jambes du trépied.

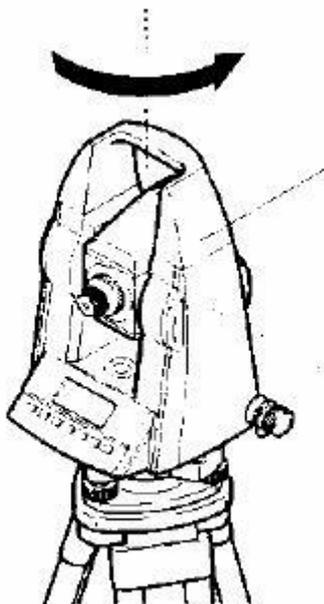
5) Verticalité fine – direction VC1-VC2



Tourner l'alidade pour amener la nivelle torique dans la position VC1-VC2.

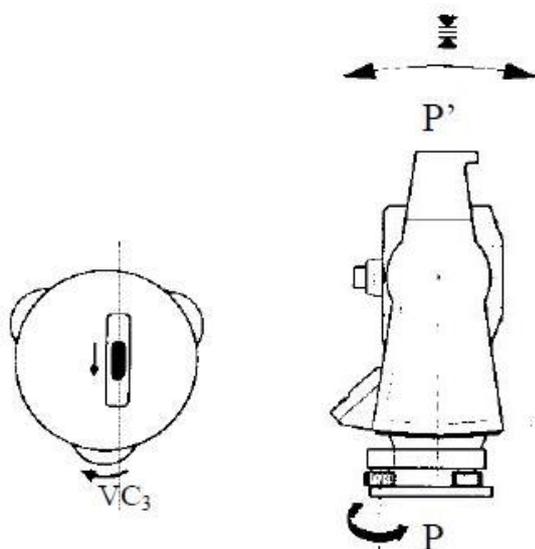
Tourner les 2 vis calantes VC1-VC2 en sens opposé pour caler la bulle de la nivelle torique. L'axe principal PP' est vertical quand la bulle est calée.

6) Rotation de l'alidade



Faire pivoter l'alidade de 100 gon (1/4 de tour)

7) Verticalité fine – direction VC3



Tourner la troisième vis calante VC3 pour caler la nivelle torique.

L'axe principal PP' est vertical quand la bulle est calée.

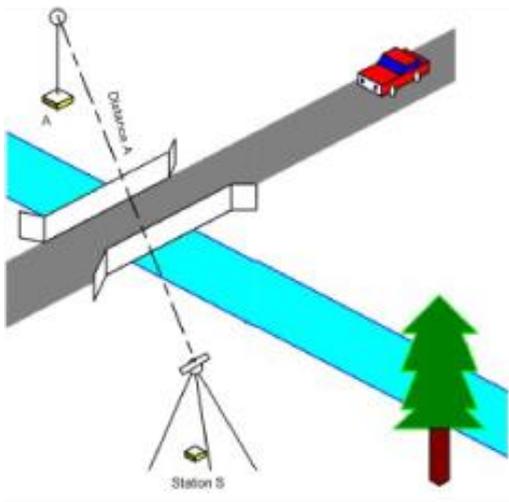
VI. MÉTHODES DE LEVÉ

Après la mise en station, il est nécessaire de choisir la méthode de levé envisagée.

Le choix de la méthode dépend des équipements disponibles (GNSS+Station ou station topo seule) et de la localisation du chantier :

- Si le chantier se trouve dans une zone où le GNSS permet l'acquisition (en RTK) de tous les points => on utilise le **GNSS seul** (voir chapitre sur le levé GNSS)
- Si le chantier se trouve dans une zone où le GNSS ne permet pas l'acquisition (en RTK) de tous les points on utilise soit la **station seule**, soit le **GNSS + la station**

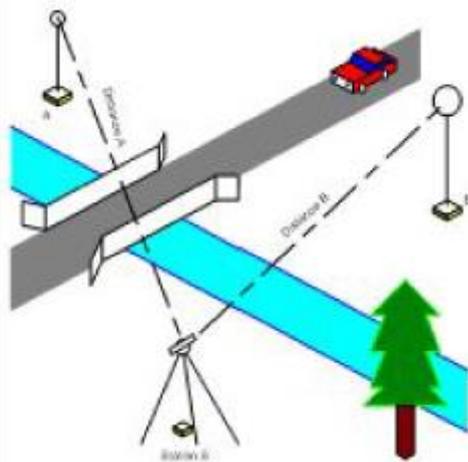
1) Station « classique »



Cette méthode consiste à placer la station sur un point connu (point S) et de viser au moins 1 point dont nous connaissons également les coordonnées (A).

Cette méthode est à prioriser dans tous les cas de figure.

2) Station libre



Cette méthode consiste à placer la station sur un point inconnu (point S, sans connaître ses coordonnées) et de viser au moins 2 points dont nous connaissons les coordonnées (A et B).

3) Méthode mixte : GNSS+station topo

Cette méthode permet d'obtenir les coordonnées d'une station en visant au moins 2 points dont les coordonnées sont connues (par exemple obtenues par GNSS).

Les points rayonnés visés sont alors directement en coordonnées.

Aucun post traitement des mesures obtenues n'est nécessaire.

L'avantage de cette méthode réside dans sa facilité de mise en œuvre :

- Mise en station facilitée car il n'est pas nécessaire de se mettre à la verticale, précisément, d'un point dont on connaît les coordonnées au sol.
- Possibilité de placer la station dans un endroit stratégique vis à vis des points à mesurer sur notre chantier.
- Peut ainsi limiter le nombre de mises en station
- Peut éviter de faire une compensation par cheminement/polygonale (ouvert, fermé).

L'inconvénient de cette méthode est **qu'elle délivre une coordonnée de station calculée** à partir de x points distants et donc **la position ainsi obtenue reste approximative**. Si vous effectuez un cheminement à partir d'une station libre, vous générez une imprécision dès le départ qui grandira au fur et à mesure que vous créez des points station dans votre cheminement.

Cette méthode est parfaite pour effectuer un levé à partir d'une seule station ou pour un complément de levé.

4) Station locale

Cette méthode permet d'obtenir un squelette de stations en coordonnées locales.

La première mise en station se fait soit en visant le point station suivant soit en visant un point quelconque (pourquoi pas la direction approximative du nord). Les stations se visent mutuellement par "visée avant, arrière".

Les points rayonnés visés à partir de chacune des stations sont également en coordonnées locales.

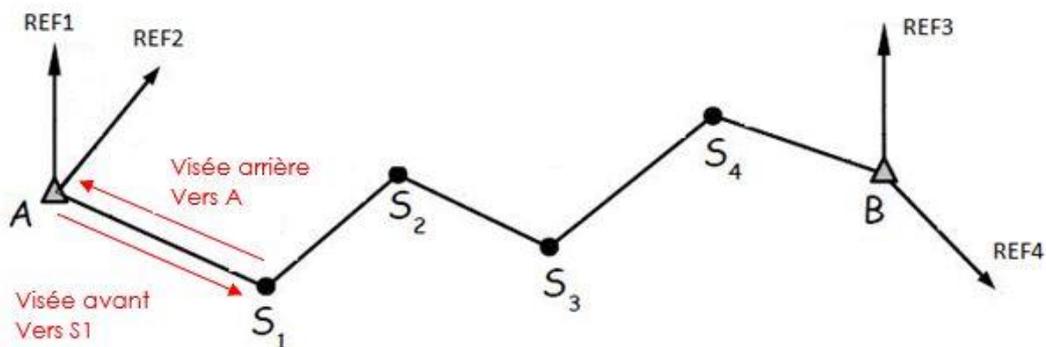
Un post traitement des mesures obtenues est nécessaire afin de caller le levé dans un système de coordonnées officiel mais aussi afin de prendre en compte l'erreur et de compenser chaque point levé (polygonale).

5) Cheminement de stations

Lorsqu'il est impossible de viser un ou x points rayonnés (à cause de la distance ou d'obstacles physiques sur le terrain), il est nécessaire de **déplacer** l'appareil topo sur un autre point station et ainsi de suite jusqu'à ce que le chantier entier soit "levé". Cette succession de station s'appelle un **cheminement**.

A partir du point de station 1, viser la position de la station 2 (visée avant) pour connaître les coordonnées de celle-ci et pour que le repérage soit complet, il ne faut pas oublier de viser depuis la station 2 la position de la station 1 (visée arrière).

Les points de station successifs (station 1, station 2, station 3, etc.) s'articulent ainsi les uns aux autres.



Dans cet exemple :

La station A est placée en station libre avec deux points de référence connus visés (REF1 et REF2). Depuis la station A, une "visée avant" est réalisée sur le point S1. Un levé de points rayonnés est réalisé ensuite.

Nous déplaçons ensuite la station sur le point S1 et nous réalisons une "visée arrière" vers le point A. Un levé de points rayonnés est réalisé ensuite.

Nous déplaçons ensuite la station sur le point S2 et nous réalisons une "visée arrière" vers le point S1. Un levé de points rayonnés est réalisé ensuite.

etc.... jusqu'au point station B où nous réaliserons une "visée arrière" vers le point S4 + des visées sur REF3 et REF4.

Un post traitement des mesures obtenues est nécessaire afin de prendre en compte l'erreur et de compenser chaque point levé (ici, une polygone encadrée).

VII. PRECAUTIONS ET OBLIGATIONS

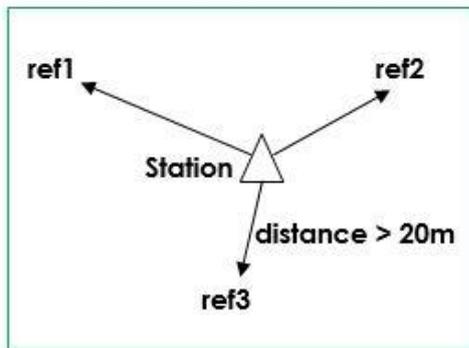
1. **Initialisation du théodolite** : l'implantation de la station (mise à niveau) doit être réalisée de manière irréprochable.
2. **Bullage prise de point** : il faut apporter une attention particulière lors du bullage. Plus la hauteur de canne est importante plus l'erreur sera amplifiée.
3. **Point de référence** : plus les points de référence visés pour l'encadrement de la polygonale seront loin et étalés meilleure sera la précision du calcul.

VIII. CONSEILS

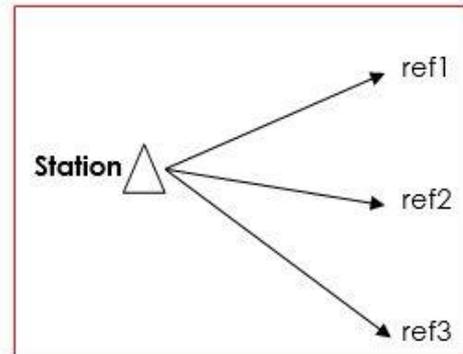
Initialisation en station libre

Le positionnement de la station doit être choisi judicieusement de façon à pouvoir viser un maximum de points de référence, qu'ils soient suffisamment éloignés et qu'ils soient bien répartis autour de la station.

En effet, même si 2 points de référence sont suffisants pour faire une mise en station libre, il est cependant conseillé d'en prendre au moins 3 pour obtenir une coordonnée de station plus fine (celle-ci étant calculée).



Bonne implantation
Calcul fiable de la position de la station



Mauvaise implantation
Calcul approximatif de la position de la station

LEXIQUE

Azimut

En topographie, l'azimut d'une direction est l'angle horaire (c'est-à-dire dans le sens des aiguilles d'une montre) compté de 0 à 400 grades, depuis une direction de référence.

Coordonnées géographiques

Position d'un point à la surface de la Terre, définie par une longitude et une latitude. Les coordonnées géographiques découlent d'un système géodésique (cf. définition).

Equidistance des courbes de niveau

Différence d'altitude entre deux courbes de niveau successives.

Géodésie

Science ayant pour but de déterminer la forme et les dimensions de la Terre.

Gisement

C'est l'angle horaire (c'est-à-dire dans le sens des aiguilles d'une montre) compris entre la direction de l'axe des Y et celle d'un point vers un autre.

G.P.S

(Global Positioning System) système de positionnement, en tout point du globe terrestre, à partir de satellites. Les coordonnées G.P.S. sont exprimées dans le système géodésique W.G.S. 84 (cf. définition). Il existe d'autres systèmes de positionnement, par exemple Galiléo (en projet).

Grade

Unité de mesure d'angle utilisée en topographie (de 0 à 400 gr.).

Niveau de chantier

Instrument topographique permettant de mesurer des hauteurs ou des différences d'altitudes.

Nord géographique

C'est la direction du méridien d'un point vers le pôle nord. L'angle compris entre le nord géographique et le nord du quadrillage (ou des Y, cf. définition) est appelé convergence des méridiens.

Nord magnétique

C'est la direction de la pointe de l'aiguille aimantée de la boussole, c'est à dire du champ magnétique terrestre du moment et du lieu.

Nord des Y ou nord du quadrillage

C'est la direction de l'axe des Y en un point ; on parle alors de nord U.T.M., nord Lambert, ...

Polygonale

En topographie, une polygonale (ou cheminement polygonal) est un ensemble de stations, mesurées et calculées les unes par rapport aux autres.

Projection cartographique

C'est un ensemble de techniques permettant de représenter la surface plus ou moins sphérique de la Terre dans son ensemble ou en partie sur la surface plane d'une carte ou d'un plan. Les projections conformes conservent les angles (Mercator, Lambert, U.T.M.), les projections équivalentes conservent les surfaces (Bonne, Peters).

Station totale

Tachéomètre doté d'une carte mémoire qui enregistre les données relevées sur le terrain.

Système géodésique

C'est un système de référence permettant d'exprimer les positions au voisinage de la Terre. Les coordonnées géodésiques d'un point dans un système géodésique considéré sont la latitude, la longitude, et la hauteur géodésique. Les systèmes géodésiques les plus connus sont par exemple le W.G.S. 84, la NTF (Nouvelle Triangulation de la France), EUROPE 50, ou ED 50 (pour European Datum 50).

Théodolite

Instrument topographique de mesure d'angles (horizontaux et verticaux).

Vo

Le Vo (parfois appelé Go) correspond au gisement du 0,000 gr du cercle horizontal de l'appareil en station, dans un système planimétrique donné (voir le manuel de topographie).

Tachéomètre

Instrument topographique de mesure d'angles (horizontaux et verticaux) et de distances. Un tachéomètre qui enregistre les données de terrain est une station totale.