Ministère de l'Education Nationale, de l'Enseignement Technique et de la Formation Professionnelle

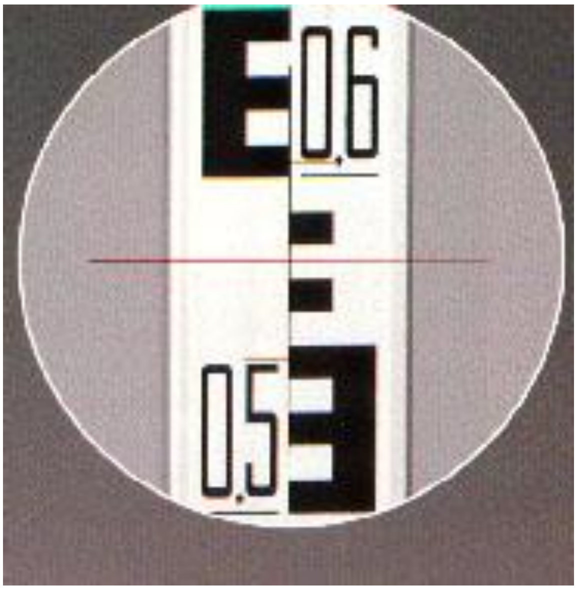
Secrétariat d'Etat chargé de l'Enseignement Technique et de la Formation Professionnelle

République de Côte d'Ivoire

Union- Discipline- Travail

LYCEE TECHNIQUE BOUAKE

SUPPORT PEDAGOGIQUE/ TOPOGRAPHIE Tle F4



CONSEIL D'ENSEIGNEMENT GENIE- CIVIL
L.T.BOUAKE

Contenu

CHAPITRE 1 : LA MESURE DES ANGLES

OBJECTIF INTERMEDIAIRE

Expliquer les méthodes de mesure des angles

OBJECTIFS PEDAGOGIQUES

1. identifier les instruments de mesure d’angles
2. Décrire le théodolite
3. Expliquer la mise en station du théodolite
4. Enoncer le principe de lecture angulaire
5. Un théodolite répétiteur étant donné, expliquer la méthode d’orientation d’une graduation du limbe sur une direction donnée.
6. Identifier les erreurs sur la mesure des angles horizontaux et les moyens d’y remédier
7. Enoncer les méthodes d’observation des angles en mode goniométrique
8. A partir de schémas, expliquer le principe de mesure des angles verticaux

PLAN DU COURS

Leçon1 : INSTRUMENTS DE MESURE D’ANGLES
1-Définitions
2-Les différentes sortes d’appareils
Leçon 2 : DESCRIPTION DU THEODOLITE
1-Définition
2-Description
Leçon3 : MISE EN STATION DU THEODOLITE
1-Définition
2-Mise en station
Leçon 4 : PRINCIPE DE LECTURE ANGULAIRE
1-Définition
2- Pointé sur une cible
3- Principe de lecture angulaire
Leçon 5 : ORIENTATION D’UNE GRADUATION DU LIMBE SUR UNE DIRECTION DONNEE
1-les mouvements en orientation du théodolite
2-Orientation d’une graduation du limbe sur une direction
Leçon 6 : ERREURS SUR LA MESURE DES ANGLES HORIZONTAUX
1-Les différents types d’erreurs
2-Erreurs et moyens d’y remédier
Leçon 7 : METHODES D’OBSERVATION DES ANGLES EN MODE GONIOMETRIQUE
1-Définition
2-Méthodes d’observation
Leçon 8 : MESURE DES ANGLES VERTICAUX
1-Différents types d’angles verticaux
2-Relations entre les angles verticaux
3- Erreur de collimation verticale
4- Principe de mesure des angles verticaux

PRESENTATION DE LA FORMATION

La mesure des angles est l'une des opérations les plus courantes en topographie. C'est pourquoi le présent chapitre vise à en présenter quelques méthodes. Pour le technicien en bâtiment, on se contentera de faire les mesures avec un seul cercle.

Il est nécessaire de faire des travaux pratiques après les leçons théoriques afin d'amener les élèves à intérioriser les gestes professionnels relatifs à la mesure des angles**.**

Leçon1 : INSTRUMENTS DE MESURE D'ANGLES

1. *Définitions*

1.1. *Angle horizontal*

Un angle horizontal est un angle formé par deux plans verticaux sécants, dont l'intersection est une droite verticale passant par le sommet de l'angle. Il est dans le plan horizontal.

1.2. Angle vertical

C'est un angle formé par un plan horizontal et un plan vertical sécants. Il est contenu dans le plan vertical. Il peut avoir pour origine la verticale du point stationné ou l'horizontal de l'appareil stationné sur ce point.

1.1.1.1.1.

2. Les différentes sortes d'appareils

Il existe plusieurs sortes d'appareils :

- Les appareils à angles fixes appelés équerres qui donnent des angles droits et des angles plats et parfois des angles de 50 grades.

- Les appareils permettant d'obtenir graphiquement les angles appelés goniographes.

- Les appareils modernes : ils donnent les angles par leur mesure numériques. Ils ont en général les fonctions de goniomètres et d'éclimètre.

De nos jours les théodolites sont les appareils de mesure d'angles les plus utilisés.

Leçon 2 : DESCRIPTION DU THEODOLITE

1. ***Définition***

Le théodolite est un instrument ou appareil topographique qui permet de mesurer les angles horizontaux et verticaux. Il permet parfois de mesurer les distances grâce à sa fonction de stadimètre.

2. ***Description***

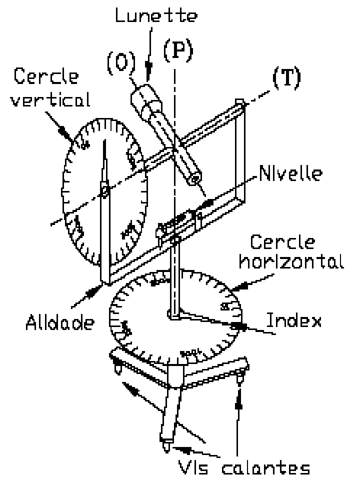


Fig. 3.1. : Schéma de principe d'un théodolite

Un théodolite est essentiellement constitué de trois axes et de deux cercles :

- Axe optique
- Axe de tourillons
- Axe principal
- Cercle horizontal
- Cercle vertical

2.1. Les axes

- **L'axe principal :** la rotation autour de cet axe permet de diriger la lunette dans une direction quelconque.
- **L'axe secondaire ou axe de tourillons** : le pivotement de la lunette autour de cet axe permet de la diriger à une hauteur quelconque. L'axe secondaire est perpendiculaire l'axe principal.
- **L'axe optique** : c'est la droite définie par le centre de l'objectif et la croix formée par les traits du réticule. L'axe optique de la lunette est perpendiculaire à l'axe des tourillons.

2.2. Les cercles

- **Le cercle horizontal**

Il est centré sur l'axe principal, il sert à la mesure des angles horizontaux ou azimuts. Il est constitué d'un limbe et d'une alidade.

- Le limbe : c'est une plaque de verre sur laquelle est gravée l'échelle à traits chiffrée généralement en grade dans le sens direct et plus rarement dans le sens en degré dans le sens rétrograde.

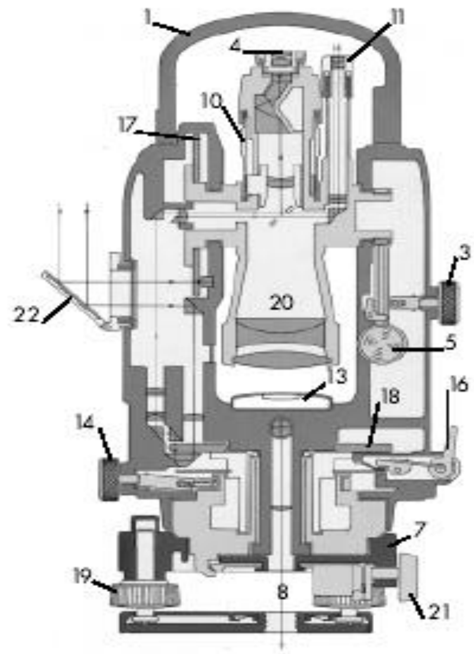
- L’alidade : c’est le cercle concentrique au limbe. Mobile autour du pivot, il porte outre la lunette, un index complété par un dispositif de mesure de l’appoint avec les théodolites optico-mécaniques et un capteur avec les théodolites électroniques.

L’index ou le capteur est fixe par rapport à la lunette.

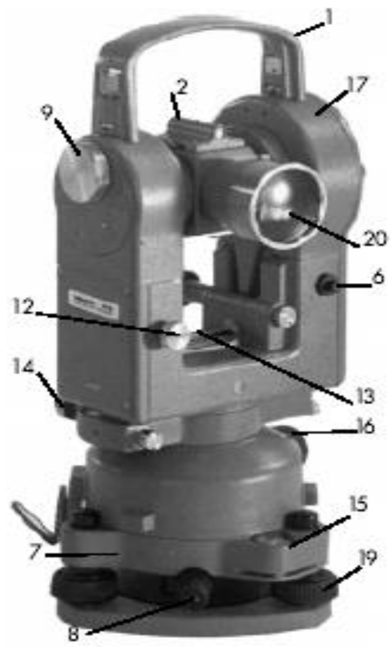
- ***Le cercle vertical***

Il est centré sur l’axe secondaire. Il permet de mesurer les angles verticaux. Le cercle vertical est constitué d’un limbe fixé à un montant et d’une alidade solidaire de l’axe secondaire dont l’index bascule dans le plan vertical en même temps que la lunette.

2.3. <u>Les commandes du théodolite</u>



T16 (coupe)



T2 vue extérieure

1 Poignée amovible
2 Viseur d’approche
3 Vis de blocage de la lunette
4 Oculaire de la lunette
5 Vis de fin pointé
6 Contrôle d’automatisme
7 Embase amovible
8 Plomb optique
9 Micromètre optique
10 Bague de mise au point
11 Microscope de lecture
12 Commutateur de lecture Hz - V
13 Nivelle d’alidade
14 Vis d’alidade de fin pointé
15 Nivelle sphérique
16 Débrayage du limbe
17 Cercle horizontal
18 Cercle vertical
19 Vis calantes
20 Objectif
21 Blocage de l’embase
22 Eclairage des cercles


Carrying handle
Optical sight (finder)
Telescope focusing ring
Telescope eyepiece
Diopter ring
Rectical plate cover
Plate level
Face-1 display and keyboard
Tribrach clamp knob
Battery mounting button
Battery pack BC-65
Vertical tangent screw
Vertical clamp
Horizontal clamp
Horizontal tangent screw
The laser safety label shown is attached to the underside of the keyboard
Complies with 21 CFR 1040, 10 and 1040,11 except for deviations pursuant to Laser Notice No. 50, dated July 26, 2001
MADE IN JAPAN
NIKON-TRIMBLE CO., LTD.
16-2, MINAMIKAMATA 2-CHOME, OTA-KU, TOKYO, JAPAN

<u>THEODOLITES ELECTRONIQUES (STATIONS TOTALES)</u>

Leçon3 : MISE EN STATION DU THEODOLITE

1. ***Définition***

La mise en station du théodolite est l'ensemble des opérations de centrage, de calage et de mise au point de la lunette qui permettent de rendre le théodolite apte à faire des observations.

2. ***Principe de Mise en station***

2.1. ***Le centrage***

C'est l'opération qui consiste à placer l'axe principal de l'instrument à la verticale du point au sol. Cette opération est réalisée à l'aide du fil à plomb, de la canne de centrage ou du plomb optique.

2.2. ***Le calage***

Le calage est l'opération qui consiste à rendre vertical l'axe principal du théodolite. On utilise à cet effet les vis calantes et la nivelle dont la bulle doit rester immobile quelle que soit la direction donnée à la lunette.

2.3. ***Mise au point de la lunette***

Les opérations ci-dessous doivent être effectuées dans l'ordre indiqué

2.3.1. ***Mise au point sur le réticul***

Ce réglage dépend de la vue de chaque opérateur. Il ne devrait être fait qu'une fois pour toute en début de séance d'observations.

On dirige la lunette vers le ciel (ne jamais observer le soleil avec une lunette sans protection) ou on place un papier blanc en face de la lunette, puis on règle la netteté des fils du réticule.

2.3.2. ***Mise au foyer de l'image***

Ce réglage se fait après la mise au point sur le réticule. Il a pour but d'assurer la netteté de l'image de l'objet visé. Il doit être fait pour chaque visée.

La qualité de ce réglage se vérifie en déplaçant latéralement l'œil. L'image du point visé doit rester fixe par rapport au trait du réticule

Leçon 4 : PRINCIPE DE LECTURE ANGULAIRE

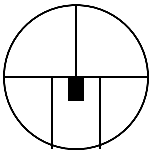
1. ***Définition***

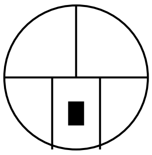
La lecture angulaire, c'est la mesure de la valeur d'échelle gravée sur le limbe depuis le zéro origine jusqu'à l'index.
La lecture se fait après avoir effectué un pointé sur une cible.

2. ***Pointé sur une cible***

2.1. ***Cas des angles horizontaux***

Faire le pointé d'une cible dans le cas des angles horizontaux consiste à bissecter ou à encadrer la dite cible à l'aide des fils verticaux du réticule.


Pointé par bissection


Pointé par encadrement

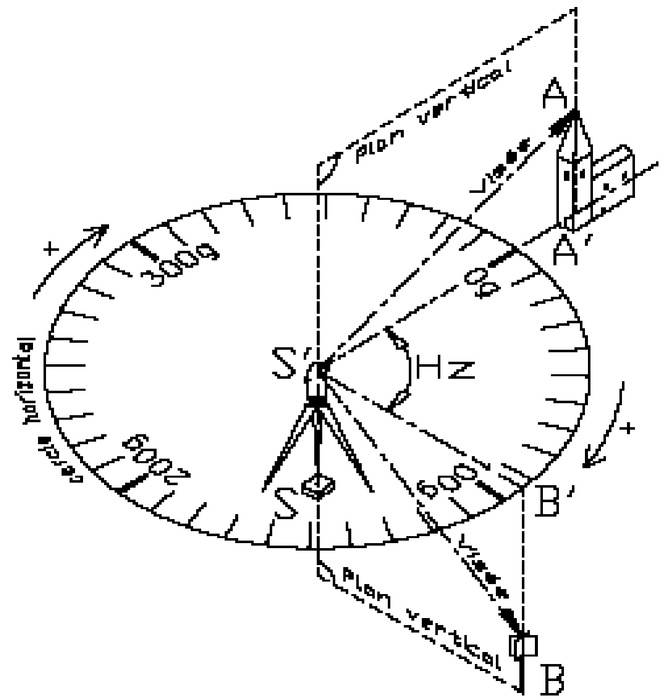
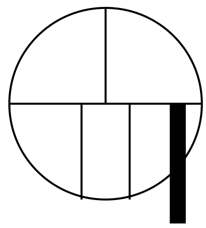


Fig. 3.19. : Mesure d'angles horizontaux

2.2. <u>Cas des angles verticaux</u>

Dans le cas des angles verticaux il s'agira d'encadrer avec les fils horizontaux ou de mettre en contact avec le fil niveleur.



Pointé par tangence ou par contact

3. <u>Principe de lecture angulaire</u>

L'évolution technique nous offre plusieurs procédés de lectures. Les anciens cercles gravés sur métal utilisent les systèmes de vernier pour donner les appoints.

Les cercles des appareils modernes généralement photogravés sur verre utilisent les principes de l'optique (microscope et micromètre).

Les lectures sur les différents cercles peuvent être directes, estimées, numériques et semi-numériques. Quel que soit le cas, la lecture comprend toujours deux parties : la partie entière et l'appoint.

Cas du théodolite Wild T2 et du T16

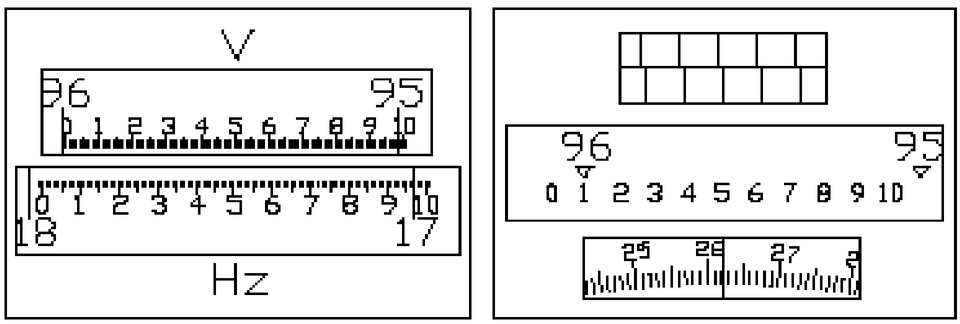


Fig. 3.15. : Lecture sur verniers gradués du T16 et du T2

Leçon 5 : ORIENTATION D'UNE GRADUATION DU LIMBE SUR UNE DIRECTION DONNEE

1. *Les mouvements en orientation du théodolite*

1.1. *Le mouvement général*

Lorsqu'on fixe le limbe de l'alidade, le mouvement de rotation que décrit l'alidade s'appelle le mouvement général. Au cours de ce mouvement les lectures angulaires restent invariables.

1.2. *Le mouvement particulier*

Lorsqu'on désolidarise le limbe de l'alidade, le mouvement de rotation que décrit l'alidade s'appelle le mouvement particulier. Pendant ce mouvement les lectures défilent.
Remarque: tous les appareils dits répétiteurs sont caractérisés par ces deux mouvements. Exemples T1, T16, RDS, etc.

2. *Orientation d'une graduation du limbe sur une direction*

2.1. *Affichage d'une graduation*

L'affichage d'une graduation particulière se fait de la façon suivante :
Rechercher la graduation sur l'échelle des angles horizontaux à l'aide du mouvement particulier. Au voisinage de la dite graduation, bloquer le mouvement particulier et procéder à l'affichage définitif à l'aide de la vis de rappel du mouvement particulier.

2.2. *Orientation*

- pour orienter la graduation choisie sur une direction, il faut :
- débloquer la vis du mouvement général
- faire une visée approximative à l'aide du collimateur de visée
- bloquer le mouvement général
- A l'aide de la vis de rappel du mouvement général, affiner le pointé.

Leçon 6 : ERREURS SUR LA MESURE DES ANGLES HORIZONTAUX

1. ***Les différents types d'erreurs***

La mesure des angles horizontaux avec un goniomètre est soumise à un certain nombre d'erreurs systématiques et accidentelles.

Certaines sont opératoires et d'autres instrumentales. Les méthodes d'observation auront pour but de les éliminer ou du moins de les réduire.

2. ***Erreurs et moyens d'y remédier***

2.1. ***Erreurs accidentelles***

- **L'erreur de pointé** : Cette erreur varie avec la forme de l'élément visé. On admet en moyenne pour l'erreur de pointé en direction σ = 0.007gr /G avec G = grossissement de la lunette.
  Pour lutter contre cette erreur, il faut choisir le pointé le mieux adapté à l'objet visé (visée par contact ou par encadrement et multiplier les mesures.

- **L'erreur de centrage :** il faut soigner d'autant plus les centrages que les visées seront courtes. Car l'erreur de centrage est inversement proportionnelle à la longueur de la visée.

- **L'erreur de lecture :** cette erreur dépend du type d'instrument utilisé. Cette erreur est donc due soit à l'estimation des appoints, soit au mauvais réglage du tambour micrométrique. Pour éviter cette erreur il faut multiplier les mesures.

2.2. ***Erreurs systématiques***

- **L'erreur de collimation horizontale :** c'est le défaut de perpendicularité de l'axe optique par rapport à l'axe des tourillons. Cette erreur est éliminée par le double retournement.

- **Le tourillonnement :** c'est le défaut de perpendicularité de l'axe des tourillons avec l'axe principal. Cette erreur est également éliminée par le double retournement.

- **Le défaut de verticalité de l'axe principal :** cette erreur provient de l'imprécision de la mise en station. Il faut donc soigner la mise en station.

Leçon 7 : METHODES D'OBSERVATION DES ANGLES EN MODE GONIOMETRIQUE

1. Définition
Observer des angles en mode goniométrique, c'est mesurer des angles horizontaux à l'aide du goniomètre.

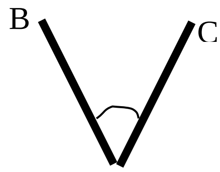
2. Méthodes d'observation

2.1. La répétition

C'est l'opération qui consiste à additionner celui-ci n fois sur le limbe. Sa valeur est égale à la différence entre la lecture finale sur le côté extrémité et la lecture initiale sur le côté origine divisé par n.
NB : la répétition implique un appareil répétiteur.

Mode opératoire
Soit l'angle Â à mesurer

- Stationner A
- Viser B et faire la lecture sur B (**L_{or}**)
- A l'aide du mouvement particulier, viser C et faire la lecture (Lc_1)
- Re-viser de nouveau le point B à l'aide du mouvement général
- A l'aide du mouvement particulier, viser de nouveau le point C (Lc
- Reprendre l'opération n fois (Lc_n).



Ainsi on aura $\hat{A} = (Lc_n - L_{or})/n$

Exemple :

Station	Point visé	1ère opération	2ère opération	3ère opération	4ère opération	Angle
A	B	12.45 gr	30.66 gr	48.89 gr	67.09 gr	18.21 gr
	C	30.66 gr	48.89 gr	67.09 gr	85.28 gr	

Remarque: la répétition, longue et à la merci d'un mauvais pointé n'élimine aucune erreur systématique.
Cette méthode ne fait que réduire l'erreur accidentelle de lecture. Par conséquent elle n'est pas souvent utilisée.

2.2. Le double retournement

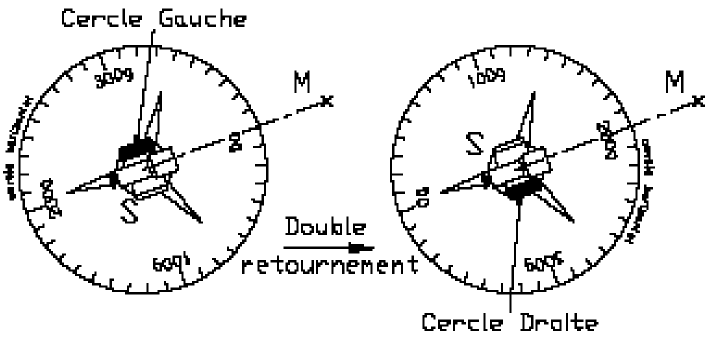
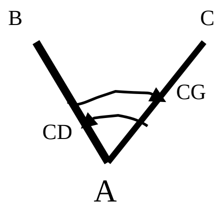


Fig. 3.20. : Double retournement

Il consiste à mesurer un angle dans les deux positions de la lunette (CG et CD) avec inversion du sens de rotation.
Exemple :



Station	*Pts visés*	*CG*	*CD*	*Lecture Moyenne*	*HZ*
A	**B**	150.142	350.144	150.143	194.082
	C	344.222	144.228	344.225	

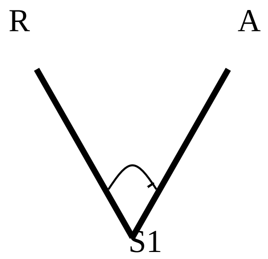
Lecture moyenne = $\frac{LCG+(LCD-200)}{2}$

NB : il faut commencer par le calcul entre les parenthèses. Si la différence est négative, il faut ajouter 400 grades au résultat.

2.3. La réitération

2.3.1. La séquence

C’est un ensemble de n +1 lectures effectuées au théodolite an une même station, sur n directions différentes avec une même origine du limbe, une même position du cercle par rapport à la lunette, un contrôle de fermeture sur la référence, répartition de l’écart de fermeture sur chaque direction. Ces lectures sont toujours réduites à zéro sur la référence.
Exemple :



Station	**Pts visés**	**CG**	**Lectures réduites à 0**
S1	**R**	0.0243	0.0000
	A	88.4252	88.4004
	R	0.0253	0.0000

Fermeture: + 10 dmgr
Moyenne : 0.0248

2.3.2. *La réitération ou tour d'horizon*

C'est la combinaison de plusieurs séquences avec changement d'origine, de cercle et de sens d'observations.

Composition d'une réitération

Une paire de séquence : **0** **100**

CG **CD**

Deux paires de séquences : **0** **100** **50** **150**

CG **CD** **CG** **CD**

Fermeture du tour d'horizon

C'est la différence entre les lectures d'ouverture et de fermeture. Elle doit être calculée sur le terrain.

On admet en général comme tolérance, la précision de l'instrument : exemple 5 mgr pour le T1.

Tout tour d'horizon ayant une fermeture supérieure à la tolérance devra être repris.

Réduction des lectures à zéro sur l'origine

Cette opération consiste à retirer à chaque lecture d'une même séquence la lecture moyenne sur la référence.

Exemple :

Station	Pts visés	Lectures CG	Lectures CG réduites à 0	Lectures CD	Lectures CD ramenées à 0	Moyenne	Pts visés
S	R	0.0243	0.0000	100.0714	0.0000	0.0000	R
	A	88.4252	88.4004	188.4727	88.4010	88.4007	A
	R	0.0253	0.0000	100.0720	0.0000	0.0000	R

Leçon 8 : MESURE DES ANGLES VERTICAUX

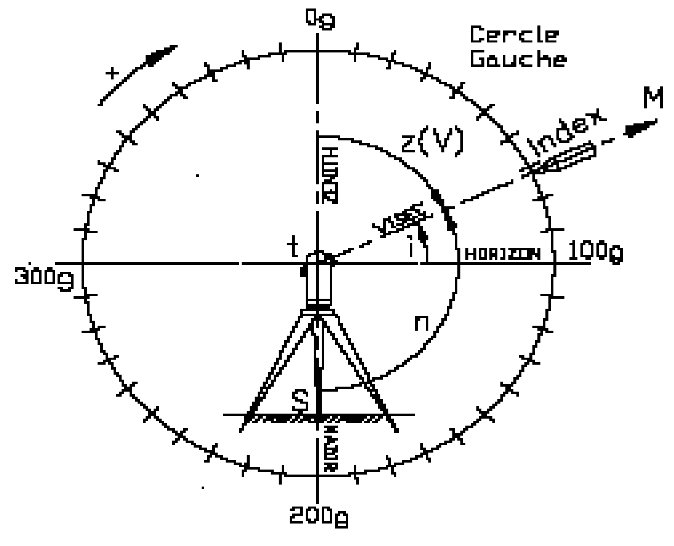
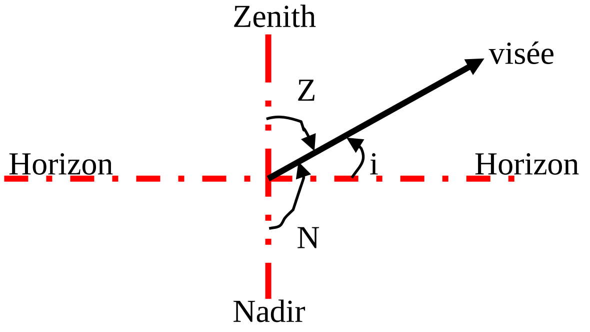


Fig. 3.35-b. : Angles verticaux z, i et n

1. *Différents types d'angles verticaux*



1.1. Angle de site (i)

C'est l'angle vertical qui a pour côté origine l'horizontal. On l'appelle angle de site ou angle d'inclinaison sur l'horizontal. Noté (i), l'angle de site est algébrique. Il est positif au-dessus de l'horizontal et négatif en dessous.

1.2. Angle zénithal (Z)

L'angle zénithal ou distance zénithale est l'angle vertical qui a pour côté origine la verticale ascendante (la direction du zénith). On le note(Z).

1.3. Angle nadiral (N)

Il a pour côté origine la verticale descendante (la direction du nadir). On le note (N).

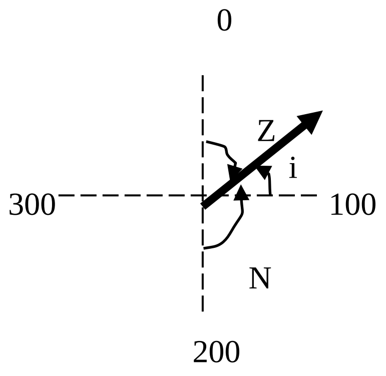
NB : Les tachéomètres et théodolites modernes mesurent le plus souvent les angles zénithaux et permettent dans tous les cas le double retournement.

2. *Relations entre les angles verticaux*

- l'angle zénithal et l'angle de site sont complémentaires
  i = 100-Z
- l'angle zénithal et l'angle nadiral sont supplémentaires

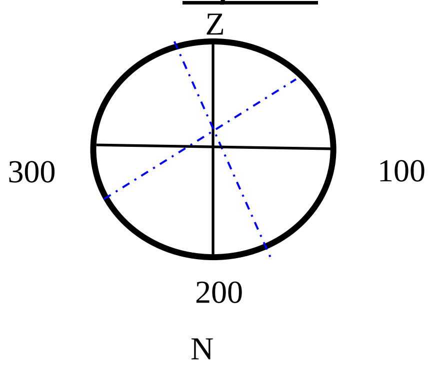
Z = 200 – N

- N = 100 + i



3. ***Erreur de collimation verticale***

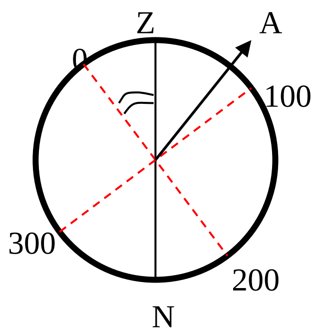
3.1. ***Définition***



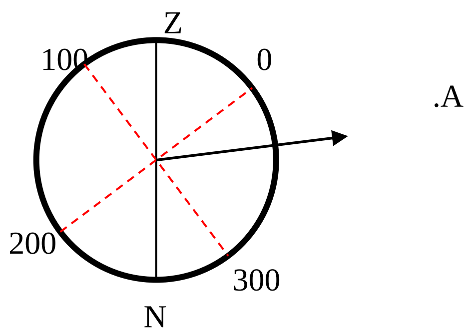
Les théodolites et tachéomètres ne calent pas en général le zéro au zénith.
La ligne 0-200 gr fait avec la verticale du lieu un petit angle appelé défaut de collimation verticale.
L'erreur de collimation verticale, c'est donc l'angle vertical de la direction du zéro du limbe.
Elle est appelée :

- z_0 lorsque l'origine est le zénith
- n_0 lorsque l'origine est le nadir
- i_0 lorsque l'horizontale est l'origine

3.2. ***Mise en évidence***



Position CG



Position CD

Etant donné que les théodolites ne calent pas en général le zéro au zénith, au nadir ou à l'horizon, on admet qu'il subsiste une erreur de collimation lorsqu'on observe dans les deux positions de la lunette.
La ligne 0-200 prend donc deux positions symétriques par rapport à la verticale comme indiqué ci-dessus.

On a: CG => $Z = L_{CG} - z_0$
CD => $Z = 400 - L_{CD} + z_0$
En résolvant le système on obtient :

$-Z = -L_{CG} + z_0$
$Z = 400 - L_{CD} + z_0$

$0 = 400 – (L_{CG} + L_{CD}) + 2 z_0$
$2z_0 = L_{CG} + L_{CD} - 400$
$\mathbf{z_0 = ((L_{CG} + L_{CD}) – 400)/2}$
Par analogie on aura : $\mathbf{i_0 = ((L_{CG} + L_{CD}) – 400) /2}$
$\mathbf{N_0 = ((L_{CG} + L_{CD}) –400)/2}$
NB : les lectures de distances zénithales sont donc entachées de l'erreur de collimation z_0. Elles doivent être corrigées de C_0
$C_0 = -z_0$
$C_0 = -i_0$
$C_0 = -n_0$

4. *Principe de mesure des angles verticaux*

4.1. *Observation*

Pour observer un angle vertical, il faut que l'éclimètre soit en station :
- On vise le point à l'aide du fil niveleur ou de la croix du réticule
- On cale la nivelle de collimation s'il y a lieu
- On fait la lecture de l'angle vertical sur le cercle correspondant

Le système de lecture du cercle vertical est le même que celui du cercle horizontal.

4.2. *Détermination de l'angle vertical*

Cas de l'utilisation du cercle directeur seul (CG)

Dans ce cas, il est indispensable de déterminer l'erreur de collimation verticale de l'instrument à l'avance. L'angle vertical sera obtenu en ajoutant à la mesure angulaire (CG) observée, la correction C_0. Ainsi on a :
$Z = LCG + C_0$
$N = LCG + C_0$
$i = LCG + C_0$

Cas d'une observation en double retournement

Nous avons :
CG => $Z = L_{CG} – z_0$
CD => $Z = 400 - L_{CD} + z_0$
En additionnant les équations membre à membre on obtient :
$Z = L_{CG} – z_0$
$Z = 400 - L_{CD} + z_0$

$2Z = 400 – L_{CD} + L_{CG}$ => $\mathbf{Z= ((400 + L_{CG}) – L_{CD})/2}$

Par analogie on a :
$\mathbf{i= ((400 + L_{CG}) – L_{CD})/2}$
$\mathbf{n= ((400 + L_{CG}) – L_{CD})/2}$

NB: ***Ces expressions nous permettent d'avoir directement l'angle vertical corrigé de l'erreur de collimation verticale. On dit que le double retournement élimine l'erreur de collimation verticale.***

Chapitre 2 : CALCULS TOPOMETRIQUES

OBJECTIF INTERMEDIAIRE

Résoudre un problème topographique par les mathématiques

OBJECTIFS PEDAGOGIQUES

1. Enoncer les conventions en calculs topométriques
2. Enoncer les formules liant les éléments du triangle
3. Résoudre un triangle
4. Transformer les coordonnées polaires en coordonnées rectangulaires
5. Transformer les coordonnées polaires d'un point en coordonnées rectangulaires
6. Calculer du gisement suivant les différents quadrants
7. Calculer la surface d'un contour polygonal défini par ses coordonnées polaires
8. Calculer la surface d'un contour polygonal défini par ses coordonnées rectangulaires

PLAN DU COURS

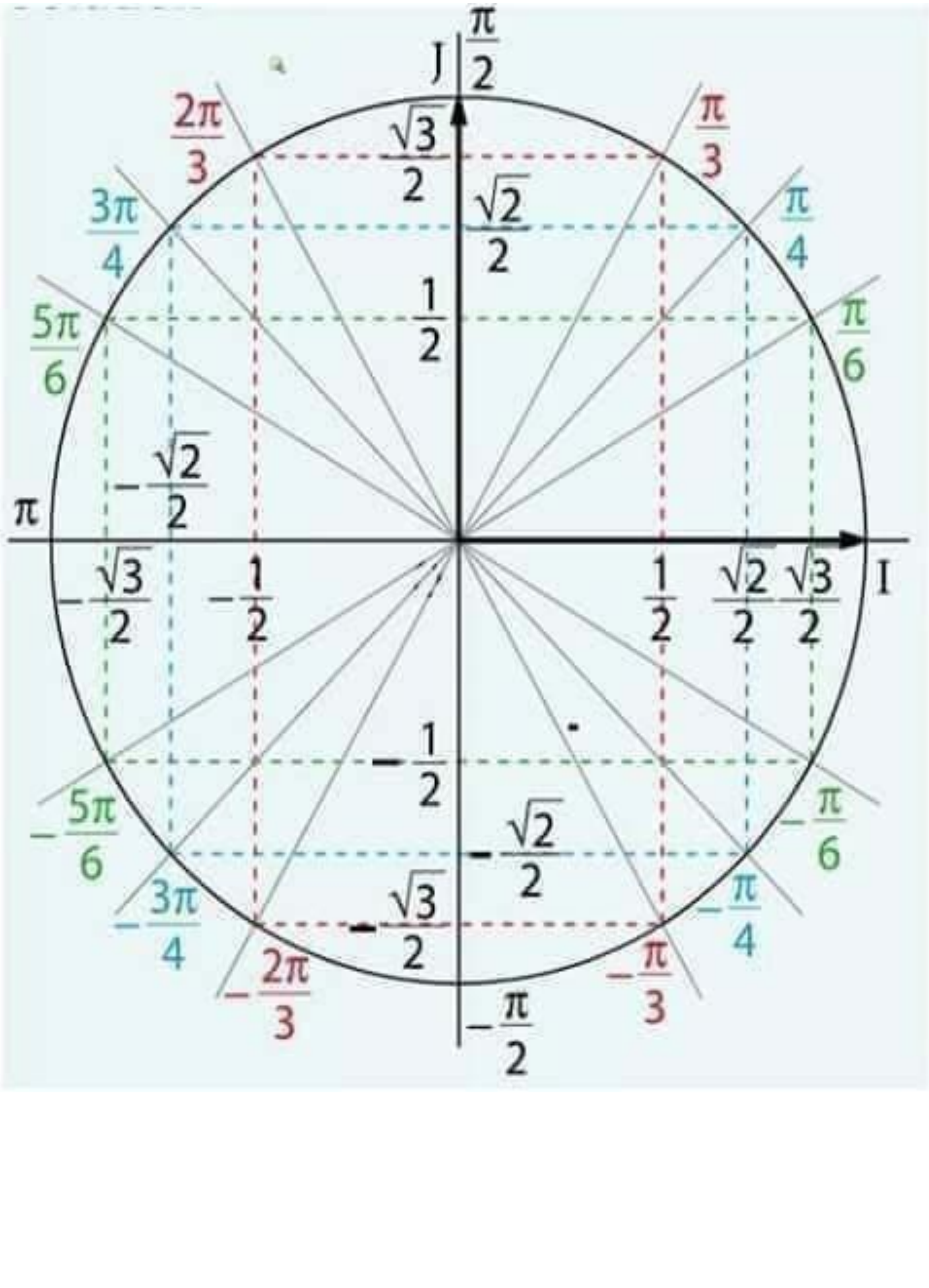
PREAMBULE : FORMULES ET FIGURES GEOMETRIQUES

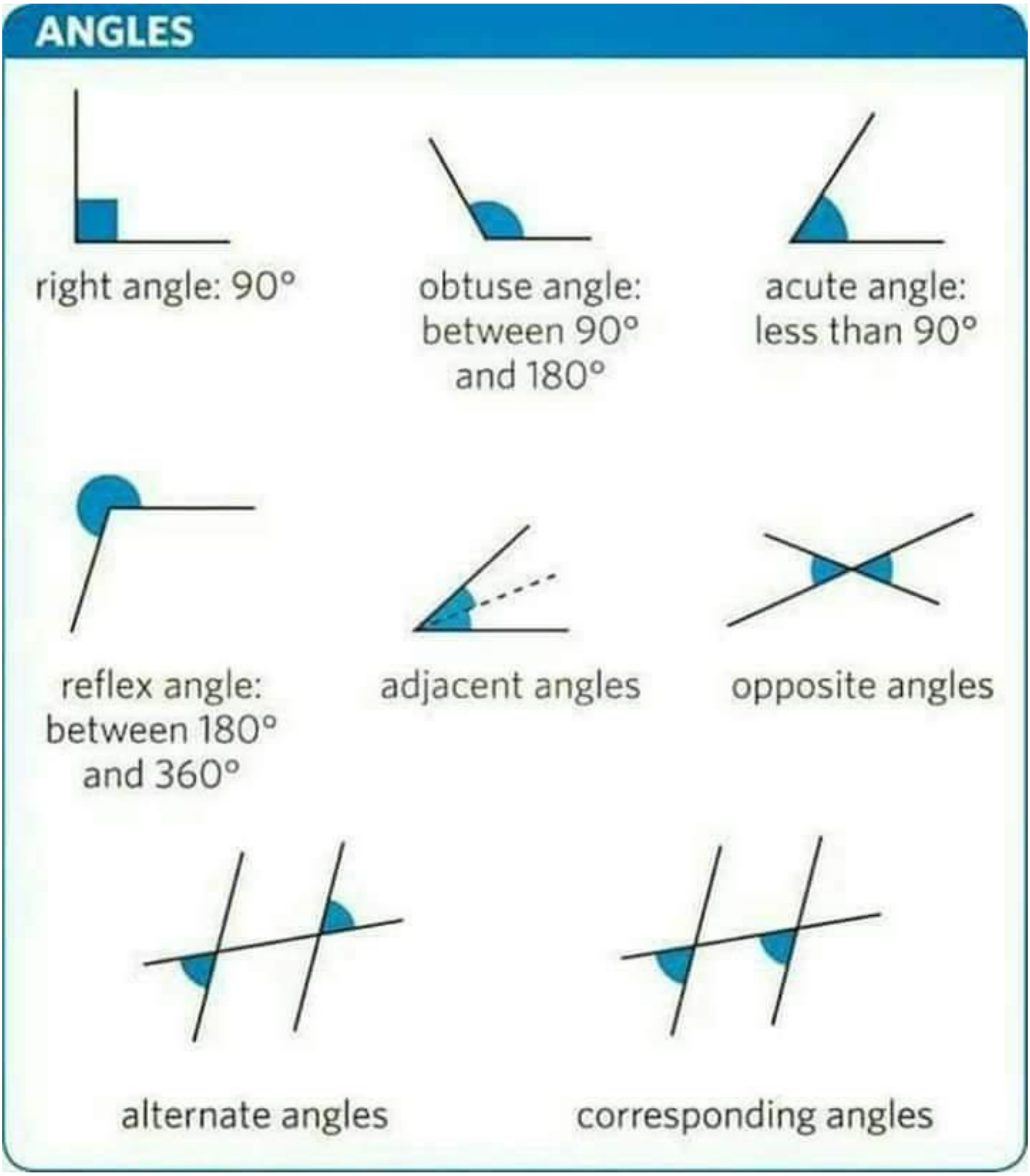
Leçon 1 : CONVENTION EN CALCULS TOPOMETRIQUES
1-Définition
2-Convention en topométrie
Leçon 2 : FORMULE DANS LE TRIANGLE QUELCONQUE
1-Eléménts d'un triangle
2-Formules liant les éléments du triangle
Leçon 3 : RESOLUTION DE TRIANGLE
1-les différents cas possibles
2-Etude de cas
2-1 Cas du triangle défini par un côté et les deux angles adjacents
2-2 Cas du triangle défini par un angle et les deux côtés de cet angle
2-3 Cas du triangle défini par un angle, un côté de cet angle et le côté opposé à cet angle
2-4 Cas du triangle défini par ses trois côtés
Leçon 4 : TRANSFORMATION DE COORDONNEES RECTANGULAIRES EN COORDONNEES POLAIRES
1-Coordonnées polaires
2-Calcul des coordonnées polaires
Leçon 5 : TRANSFORMATION DE COORDONNEES POLAIRES EN COORDONNEES RECTANGULAIRES
1-Hypothèse

PRESENTATION DE LA FORMATION

Les calculs topographiques étant un champ très vaste, nous nous sommes contentés ici de donner les outils mathématiques nécessaires à la résolution des problèmes topographiques qui seront abordés plus tard.

PREAMBULE : FORMULES ET FIGURES GEOMETRIQUES




ANGLES
right angle: 90°
obtuse angle: between 90° and 180°
acute angle: less than 90°
reflex angle: between 180° and 360°
adjacent angles
opposite angles
alternate angles
corresponding angles

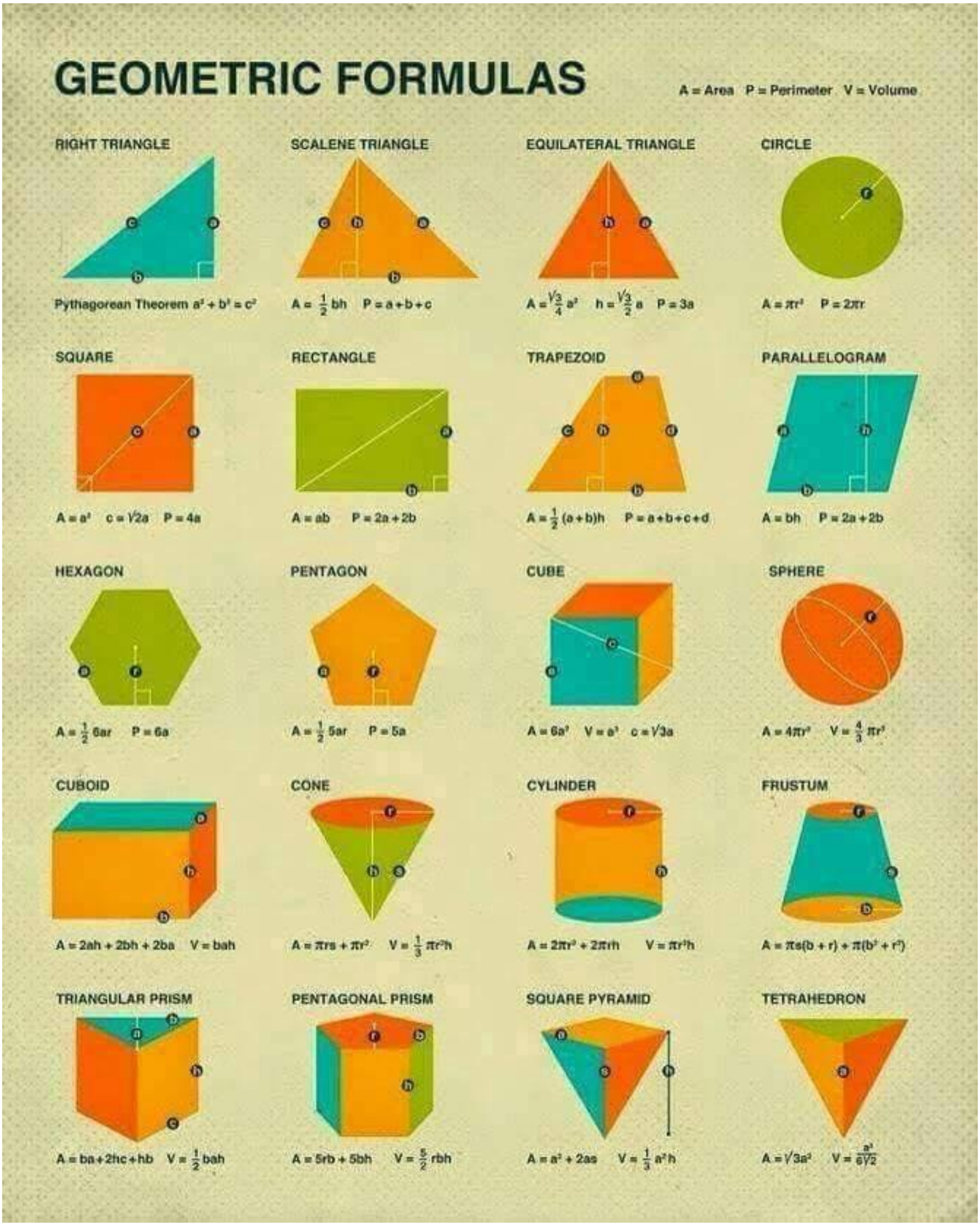
Square and Square Root Table

Square	Square Root	Square	Square Root
$1^2 = 1$	$\sqrt{1} = 1$	$16^2 = 256$	$\sqrt{256} = 16$
$2^2 = 4$	$\sqrt{4} = 2$	$17^2 = 289$	$\sqrt{289} = 17$
$3^2 = 9$	$\sqrt{9} = 3$	$18^2 = 324$	$\sqrt{324} = 18$
$4^2 = 16$	$\sqrt{16} = 4$	$19^2 = 361$	$\sqrt{361} = 19$
$5^2 = 25$	$\sqrt{25} = 5$	$20^2 = 400$	$\sqrt{400} = 20$
$6^2 = 36$	$\sqrt{36} = 6$	$21^2 = 441$	$\sqrt{441} = 21$
$7^2 = 49$	$\sqrt{49} = 7$	$22^2 = 484$	$\sqrt{484} = 22$
$8^2 = 64$	$\sqrt{64} = 8$	$23^2 = 529$	$\sqrt{529} = 23$
$9^2 = 81$	$\sqrt{81} = 9$	$24^2 = 576$	$\sqrt{576} = 24$
$10^2 = 100$	$\sqrt{100} = 10$	$25^2 = 625$	$\sqrt{625} = 25$
$11^2 = 121$	$\sqrt{121} = 11$	$26^2 = 676$	$\sqrt{676} = 26$
$12^2 = 144$	$\sqrt{144} = 12$	$27^2 = 729$	$\sqrt{729} = 27$
$13^2 = 169$	$\sqrt{169} = 13$	$28^2 = 784$	$\sqrt{784} = 28$
$14^2 = 196$	$\sqrt{196} = 14$	$29^2 = 841$	$\sqrt{841} = 29$
$15^2 = 225$	$\sqrt{225} = 15$	$30^2 = 900$	$\sqrt{900} = 30$

Laws of Indices

www.cazoommaths.com

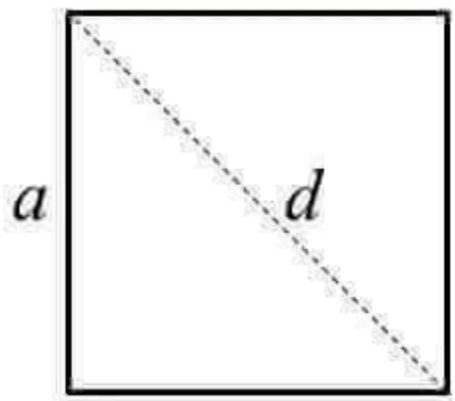
Regra	Exemplo
$a^m \times a^n = a^{m+n}$	$2^5 \times 2^3 = 2^8$
$a^m \div a^n = a^{m-n}$	$5^7 \div 5^3 = 5^4$
$(a^m)^n = a^{m \times n}$	$(10^3)^7 = 10^{21}$
$a^1 = a$	$17^1 = 17$
$a^0 = 1$	$34^0 = 1$
$\left(\frac{a}{b}\right)^m = \frac{a^m}{b^m}$	$\left(\frac{5}{6}\right)^2 = \frac{25}{36}$
$a^{-m} = \frac{1}{a^m}$	$9^{-2} = \frac{1}{81}$
$a^{\frac{x}{y}} = \sqrt[y]{a^x}$	$49^{\frac{1}{2}} = \sqrt[2]{49} = 7$


GEOMETRIC FORMULAS
A = Area P = Perimeter V = Volume
RIGHT TRIANGLE
Pythagorean Theorem $a^2 + b^2 = c^2$
SCALENE TRIANGLE
$A = \frac{1}{2}bh$ $P = a+b+c$
EQUILATERAL TRIANGLE
$A = \frac{\sqrt{3}}{4}a^2$ $h = \frac{\sqrt{3}}{2}a$ $P = 3a$
CIRCLE
$A = \pi r^2$ $P = 2\pi r$
SQUARE
$A = a^2$ $c = \sqrt{2}a$ $P = 4a$
RECTANGLE
$A = ab$ $P = 2a + 2b$
TRAPEZOID
$A = \frac{1}{2}(a+b)h$ $P = a+b+c+d$
PARALLELOGRAM
$A = bh$ $P = 2a + 2b$
HEXAGON
$A = \frac{1}{2}6ar$ $P = 6a$
PENTAGON
$A = \frac{1}{2}5ar$ $P = 5a$
CUBE
$A = 6a^2$ $V = a^3$ $c = \sqrt{3}a$
SPHERE
$A = 4\pi r^2$ $V = \frac{4}{3}\pi r^3$
CUBOID
$A = 2ah + 2bh + 2ba$ $V = bah$
CONE
$A = \pi rs + \pi r^2$ $V = \frac{1}{3}\pi r^2 h$
CYLINDER
$A = 2\pi r^2 + 2\pi rh$ $V = \pi r^2 h$
FRUSTUM
$A = \pi s(b + r) + \pi(b^2 + r^2)$
TRIANGULAR PRISM
$A = ba + 2hc + hb$ $V = \frac{1}{2}bah$
PENTAGONAL PRISM
$A = 5rb + 5bh$ $V = \frac{5}{2}rbh$
SQUARE PYRAMID
$A = a^2 + 2as$ $V = \frac{1}{3}a^2 h$
TETRAHEDRON
$A = \sqrt{3}a^2$ $V = \frac{a^3}{6\sqrt{2}}$

$$P = 4 \times a$$

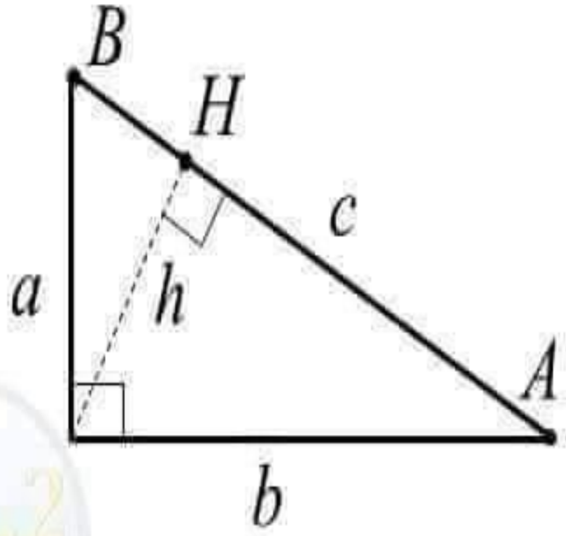
$$A = a^2$$

$$d = a \times \sqrt{2}$$



$$a^2 + b^2 = c^2$$

$$A = \frac{1}{2}ab = \frac{1}{2}ch$$



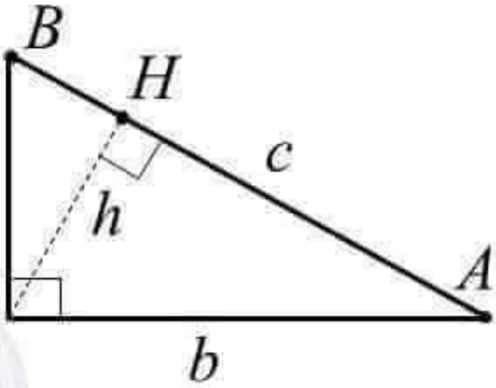
$$\frac{1}{h^2} = \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}$$

$$a^2 = BH.c, \qquad b^2 = AH.c$$

$$h^2 = AH.BH$$

$$a^2 + b^2 = c^2$$

$$A = \frac{1}{2}ab = \frac{1}{2}ch$$



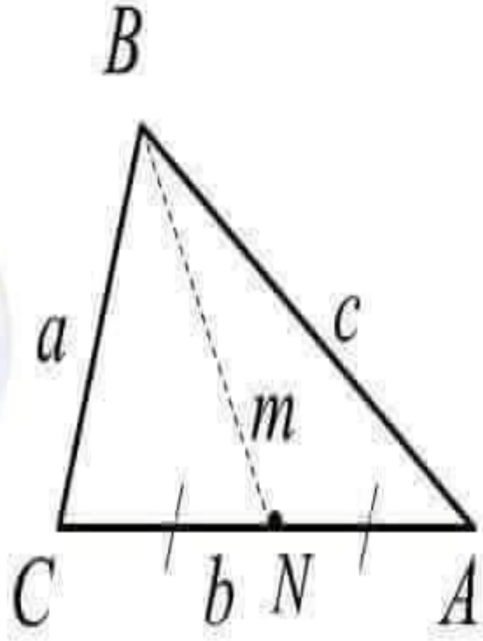
$$\frac{1}{h^2} = \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}$$

$$a^2 = BH.c, \qquad b^2 = AH.c$$

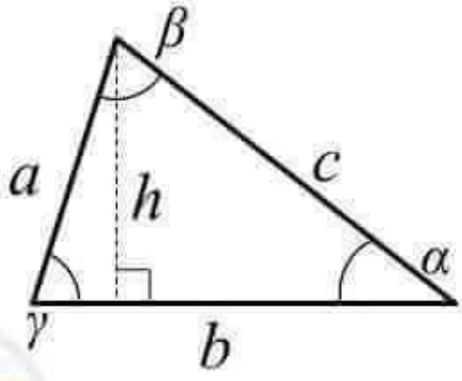
$$h^2 = AH.BH$$

$$CN = AN$$

$$m = \frac{1}{2}\sqrt{2a^2 + 2c^2 - b^2}$$



$$A = \frac{b \times h}{2}$$



$$P = a + b + c$$

$$A = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)};$$

$$s = \frac{a+b+c}{2} = \frac{P}{2}.$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 180°$$

	sinα	cosα	tanα	cotα
$\sin\alpha =$		$\pm\sqrt{1-\cos^2\alpha}$	$\pm\dfrac{\tan\alpha}{\sqrt{1+\tan^2\alpha}}$	$\pm\dfrac{1}{\sqrt{1+\cot\tan^2\alpha}}$
$\cos\alpha =$	$\pm\sqrt{1-\sin^2\alpha}$		$\pm\dfrac{1}{\sqrt{1+\tan^2\alpha}}$	$\pm\dfrac{\cot\tan\alpha}{\sqrt{1+\cot\tan^2\alpha}}$
$\tan\alpha =$	$\pm\dfrac{\sin\alpha}{\sqrt{1-\sin^2\alpha}}$	$\pm\dfrac{\sqrt{1-\cos^2\alpha}}{\cos\alpha}$		$\dfrac{1}{\cot\tan\alpha}$
$\cot\alpha =$	$\pm\dfrac{\sqrt{1-\sin^2\alpha}}{\sin\alpha}$	$\pm\dfrac{\cos\alpha}{\sqrt{1-\cos^2\alpha}}$	$\dfrac{1}{\tan\alpha}$	

$$\sin\alpha + \sin\beta + \sin\gamma = 4\cos\frac{\alpha}{2}\cos\frac{\beta}{2}\cos\frac{\gamma}{2}$$

$$\cos\alpha + \cos\beta + \cos\gamma = 4\sin\frac{\alpha}{2}\sin\frac{\beta}{2}\sin\frac{\gamma}{2} + 1$$

$$\sin\alpha + \sin\beta - \sin\gamma = 4\sin\frac{\alpha}{2}\sin\frac{\beta}{2}\cos\frac{\gamma}{2}$$

$$\cos\alpha + \cos\beta - \cos\gamma = 4\cos\frac{\alpha}{2}\cos\frac{\beta}{2}\sin\frac{\gamma}{2} - 1$$

$$\sin^2\alpha + \sin^2\beta + \sin^2\gamma = 2\cos\alpha\cos\beta\cos\gamma + 2$$

$$\sin^2\alpha + \sin^2\beta - \sin^2\gamma = 2\sin\alpha\sin\beta\cos\gamma$$

$$\sin 2\alpha + \sin 2\beta + \sin 2\gamma = 4\sin\alpha\sin\beta\sin\gamma$$

$$\sin 2\alpha + \sin 2\beta - \sin 2\gamma = 4\cos\alpha\cos\beta\sin\gamma$$

$$\tan\alpha + \tan\beta + \tan\gamma = \tan\alpha\tan\beta\tan\gamma$$

$$\cot\tan\frac{\alpha}{2} + \cot\tan\frac{\beta}{2} + \cot\tan\frac{\gamma}{2} = \cot\tan\frac{\alpha}{2}\cot\tan\frac{\beta}{2}\cot\tan\frac{\gamma}{2}$$

$$\cot\tan\alpha\cot\tan\beta + \cot\tan\alpha\cot\tan\gamma + \cot\tan\beta\cot\tan\gamma = 1$$

$$\sin\alpha + \sin\beta + \sin\gamma = 4\cos\frac{\alpha}{2}\cos\frac{\beta}{2}\cos\frac{\gamma}{2}$$

$$\cos\alpha + \cos\beta + \cos\gamma = 4\sin\frac{\alpha}{2}\sin\frac{\beta}{2}\sin\frac{\gamma}{2} + 1$$

$$\sin\alpha + \sin\beta - \sin\gamma = 4\sin\frac{\alpha}{2}\sin\frac{\beta}{2}\cos\frac{\gamma}{2}$$

$$\cos\alpha + \cos\beta - \cos\gamma = 4\cos\frac{\alpha}{2}\cos\frac{\beta}{2}\sin\frac{\gamma}{2} - 1$$

$$\sin^2\alpha + \sin^2\beta + \sin^2\gamma = 2\cos\alpha\cos\beta\cos\gamma + 2$$

$$\sin^2\alpha + \sin^2\beta - \sin^2\gamma = 2\sin\alpha\sin\beta\cos\gamma$$

$$\sin 2\alpha + \sin 2\beta + \sin 2\gamma = 4\sin\alpha\sin\beta\sin\gamma$$

$$\sin 2\alpha + \sin 2\beta - \sin 2\gamma = 4\cos\alpha\cos\beta\sin\gamma$$

$$\tan\alpha + \tan\beta + \tan\gamma = \tan\alpha\tan\beta\tan\gamma$$

$$\cot\tan\frac{\alpha}{2} + \cot\tan\frac{\beta}{2} + \cot\tan\frac{\gamma}{2} = \cot\tan\frac{\alpha}{2}\cot\tan\frac{\beta}{2}\cot\tan\frac{\gamma}{2}$$

$$\cot\tan\alpha\cot\tan\beta + \cot\tan\alpha\cot\tan\gamma + \cot\tan\beta\cot\tan\gamma = 1$$

$$\sin\frac{\alpha}{2} = \pm\sqrt{\frac{1-\cos\alpha}{2}}$$

$$\cos\frac{\alpha}{2} = \pm\sqrt{\frac{1+\cos\alpha}{2}}$$

$$\tan\frac{\alpha}{2} = \frac{\sin\alpha}{1+\cos\alpha} = \frac{1-\cos\alpha}{\sin\alpha} = \pm\sqrt{\frac{1-\cos\alpha}{1+\cos\alpha}}$$

$$\cot\tan\frac{\alpha}{2} = \frac{\sin\alpha}{1-\cos\alpha} = \frac{1+\cos\alpha}{\sin\alpha} = \pm\sqrt{\frac{1+\cos\alpha}{1-\cos\alpha}}$$

$$\sin\alpha = \frac{2\tan\frac{\alpha}{2}}{1+\tan^2\frac{\alpha}{2}}$$

$$\cos\alpha = \frac{1-\tan^2\frac{\alpha}{2}}{1+\tan^2\frac{\alpha}{2}}$$

$$\tan\alpha = \frac{2\tan\frac{\alpha}{2}}{1-\tan^2\frac{\alpha}{2}}$$

$$\cos\alpha + \cos\beta = 2\cos\frac{\alpha+\beta}{2}\cos\frac{\alpha-\beta}{2}$$

$$\cos\alpha - \cos\beta = -2\sin\frac{\alpha+\beta}{2}\sin\frac{\alpha-\beta}{2}$$

$$\sin\alpha + \sin\beta = 2\sin\frac{\alpha+\beta}{2}\cos\frac{\alpha-\beta}{2}$$

$$\sin\alpha - \sin\beta = 2\cos\frac{\alpha+\beta}{2}\sin\frac{\alpha-\beta}{2}$$

$$\sin\alpha + \cos\alpha = \sqrt{2}\sin\left(\alpha+\frac{\pi}{4}\right) = \sqrt{2}\cos\left(\frac{\pi}{4}-\alpha\right)$$

$$\sin\alpha - \cos\alpha = \sqrt{2}\sin\left(\alpha-\frac{\pi}{4}\right) = -\sqrt{2}\cos\left(\frac{\pi}{4}-\alpha\right)$$

$$\tan\alpha + \tan\beta = \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\cos\alpha\cos\beta}$$

$$\tan\alpha - \tan\beta = \frac{\sin(\alpha-\beta)}{\cos\alpha\cos\beta}$$

$$\cot\tan\alpha + \cot\tan\beta = \frac{\sin(\alpha-\beta)}{\sin\alpha\sin\beta}$$

$$\cot\tan\alpha - \cot\tan\beta = \frac{\sin(\beta-\alpha)}{\sin\alpha\sin\beta}$$

$$\tan\alpha + \cot\tan\alpha = 2\cos\sec 2\alpha$$

$$\tan\alpha - \cot\tan\alpha = -2\cot\tan 2\alpha$$

$$\cos\alpha\cos\beta = \frac{1}{2}[\cos(\alpha-\beta)+\cos(\alpha+\beta)]$$

$$\sin\alpha\sin\beta = \frac{1}{2}[\cos(\alpha-\beta)-\cos(\alpha+\beta)]$$

$$\sin\alpha\cos\beta = \frac{1}{2}[\sin(\alpha+\beta)+\sin(\alpha-\beta)]$$

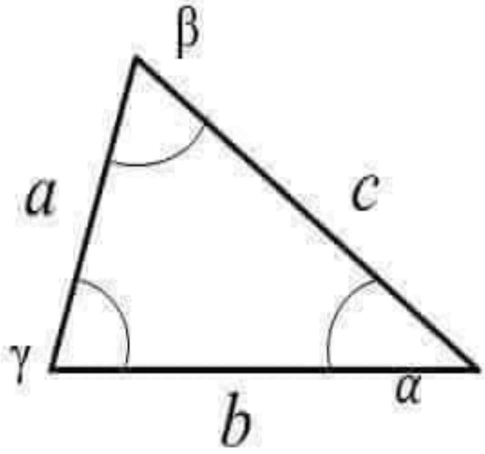
$$\tan\alpha\tan\beta = \frac{\tan\alpha+\tan\beta}{\cot\tan\alpha+\cot\tan\beta} = -\frac{\tan\alpha-\tan\beta}{\cot\tan\alpha-\cot\tan\beta}$$

$$\cot\tan\alpha\cot\tan\beta = \frac{\cot\tan\alpha+\cot\tan\beta}{\tan\alpha+\tan\beta} = -\frac{\cot\tan\alpha-\cot\tan\beta}{\tan\alpha-\tan\beta}$$

$$\cot\tan\alpha\tan\beta = \frac{\cot\tan\alpha+\tan\beta}{\tan\alpha+\cot\tan\beta} = -\frac{\cot\tan\alpha-\tan\beta}{\tan\alpha-\cot\tan\beta}$$

$$\frac{a}{\sin\alpha} = \frac{b}{\sin\beta} = \frac{c}{\sin\gamma}$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\gamma$$



$$\frac{a+b}{a-b} = \frac{\tan\left(\frac{\alpha+\beta}{2}\right)}{\tan\left(\frac{\alpha-\beta}{2}\right)}$$

$$\frac{a+b}{c} = \frac{\cos\left(\frac{\alpha-\beta}{2}\right)}{\sin\frac{\gamma}{2}}$$

$$\frac{a-b}{c} = \frac{\sin\left(\frac{\alpha-\beta}{2}\right)}{\cos\frac{\gamma}{2}}$$

$$\sin\alpha = \frac{2}{bc}\sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$$

$$s = \frac{1}{2}(a+b+c)$$

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha\cos\beta \pm \cos\alpha\sin\beta$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos\alpha\cos\beta \mp \sin\alpha\sin\beta$$

$$\tan(\alpha \pm \beta) = \frac{\tan\alpha \pm \tan\beta}{1 \mp \tan\alpha\tan\beta}$$

$$\cot(\alpha \pm \beta) = \frac{\cot\alpha\cot\beta \mp 1}{\cot\beta \pm \cot\alpha}$$

$$\sin^2\alpha = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\alpha)$$

$$\cos^2\alpha = \frac{1}{2}(1 + \cos 2\alpha)$$

$$\tan^2\alpha = \frac{1 - \cos 2\alpha}{1 + \cos 2\alpha}$$

$$\sin^3\alpha = \frac{1}{4}(3\sin\alpha - \sin 3\alpha)$$

$$\cos^3\alpha = \frac{1}{4}(3\cos\alpha + \cos 3\alpha)$$

$$\sin^4\alpha = \frac{1}{8}\left(\cos 4\alpha - 4\cos 2\alpha + \frac{6}{2}\right)$$

$$\cos^4\alpha = \frac{1}{8}\left(\cos 4\alpha + 4\cos 2\alpha + \frac{6}{2}\right)$$

$$\sin^5\alpha = \frac{1}{16}(\sin 5\alpha - 5\sin 3\alpha + 10\sin\alpha)$$

$$\cos^5\alpha = \frac{1}{16}(\cos 5\alpha + 5\cos 3\alpha + 10\cos\alpha)$$

$$\sin 2\alpha = 2\sin\alpha\cos\alpha$$

$$\cos 2\alpha = 2\cos^2\alpha - 1 = 1 - 2\sin^2\alpha$$

$$= \cos^2\alpha - \sin^2\alpha$$

$$\tan 2\alpha = \frac{2\tan\alpha}{1-\tan^2\alpha}$$

$$\cot\tan 2\alpha = \frac{\cot\tan^2\alpha - 1}{2\cot\tan\alpha} = \frac{\cot\tan\alpha - \tan\alpha}{2}$$

$$\sin 3\alpha = 3\sin\alpha - 4\sin^3\alpha$$

$$\cos 3\alpha = 4\cos^3\alpha - 3\cos\alpha$$

$$\tan 3\alpha = \frac{3\tan\alpha - \tan^3\alpha}{1-3\tan^2\alpha}$$

$$\cot\tan 3\alpha = \frac{\cot\tan^3\alpha - 3\cot\tan\alpha}{3\cot\tan^2\alpha - 1}$$

$$\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1$$

$$\tan\alpha . \cot\tan\alpha = 1$$

$$\tan\alpha = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \frac{1}{\cot\tan\alpha}$$

$$\cot\tan\alpha = \frac{\cos\alpha}{\sin\alpha} = \frac{1}{\tan\alpha}$$

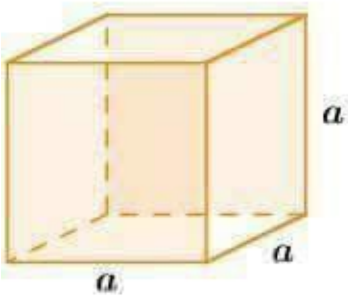
$$1 + \tan^2\alpha = \frac{1}{\cos^2\alpha} = \sec^2\alpha$$

$$1 + \cot\tan^2\alpha = \frac{1}{\sin^2\alpha} = \cos\sec^2\alpha$$

	sin	cos	tan	cot
$-\alpha$	$-\sin\alpha$	$+\cos\alpha$	$-\tan\alpha$	$-\cot\alpha$
$90° - \alpha$	$+\cos\alpha$	$+\sin\alpha$	$+\cot\alpha$	$+\tan\alpha$
$90° + \alpha$	$+\cos\alpha$	$-\sin\alpha$	$-\cot\alpha$	$-\tan\alpha$
$180° - \alpha$	$+\sin\alpha$	$-\cos\alpha$	$-\tan\alpha$	$-\cot\alpha$
$180° + \alpha$	$-\sin\alpha$	$-\cos\alpha$	$+\tan\alpha$	$+\cot\alpha$
$270° - \alpha$	$-\cos\alpha$	$-\sin\alpha$	$+\cot\alpha$	$+\tan\alpha$
$270° + \alpha$	$-\cos\alpha$	$+\sin\alpha$	$-\cot\alpha$	$-\tan\alpha$
$360°k - \alpha$	$-\sin\alpha$	$+\cos\alpha$	$-\tan\alpha$	$-\cot\alpha$
$360°k + \alpha$	$+\sin\alpha$	$+\cos\alpha$	$+\tan\alpha$	$+\cot\alpha$

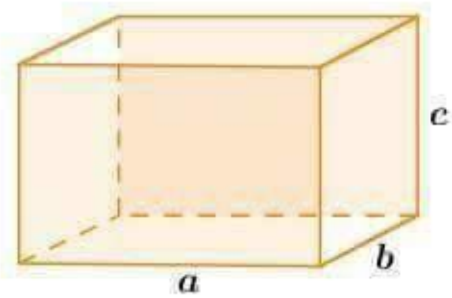
$$\boxed{2\pi = 360°}$$

Le cube



$$V = a^3$$

Le pavé droit

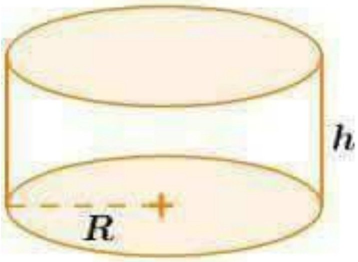


$$V = a \times b \times c$$

Le prisme

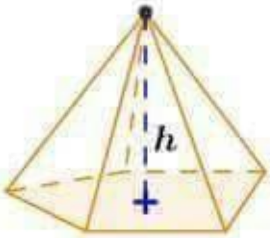
$$V = Aire\ de\ la\ base \times h$$

Le cylindre



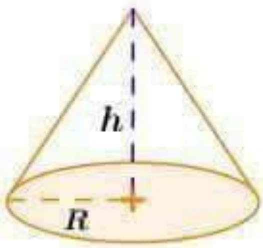
$$V = \pi \times R^2 \times h$$

La pyramide



$$V = \frac{Aire\ de\ la\ base \times h}{3}$$

Le cône



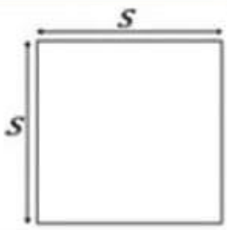
$$V = \frac{\pi \times R^2 \times h}{3}$$

La boule

$$V = \frac{4}{3} \times \pi \times R^3$$

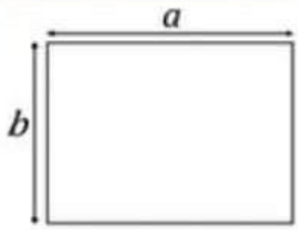
SQUARE

$P = 4s$
$A = s^2$



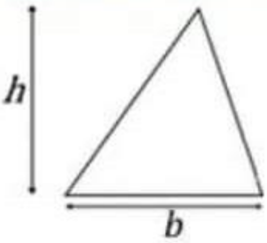
RECTANGLE

$P = 2a + 2b$
$A = ab$



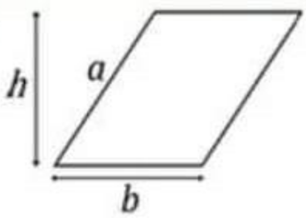
TRIANGLE

$P = a + b + c$
$A = \frac{1}{2}bh$



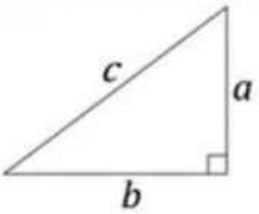
PARALLELOGRAM

$P = 2a + 2b$
$A = bh$



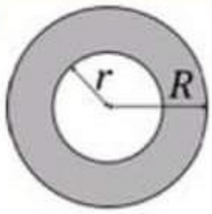
PYTHAGOREAN THEOREM

$a^2 + b^2 = c^2$
$c = \sqrt{a^2 + b^2}$



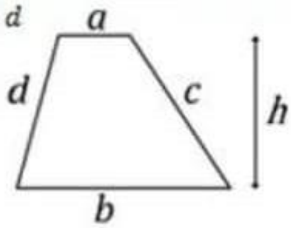
CIRCULAR RING

$A = \pi(R^2 - r^2)$



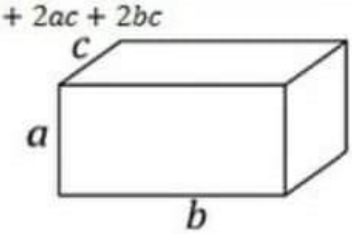
TRAPEZOID

$P = a + b + c + d$
$A = h\frac{a + b}{2}$



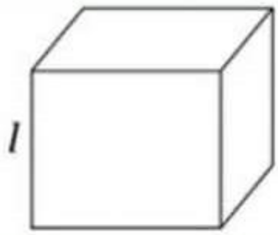
RECTANGULAR BOX

$A = 2ab + 2ac + 2bc$
$V = abc$



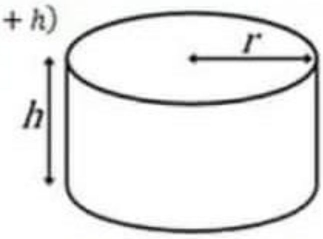
CUBE

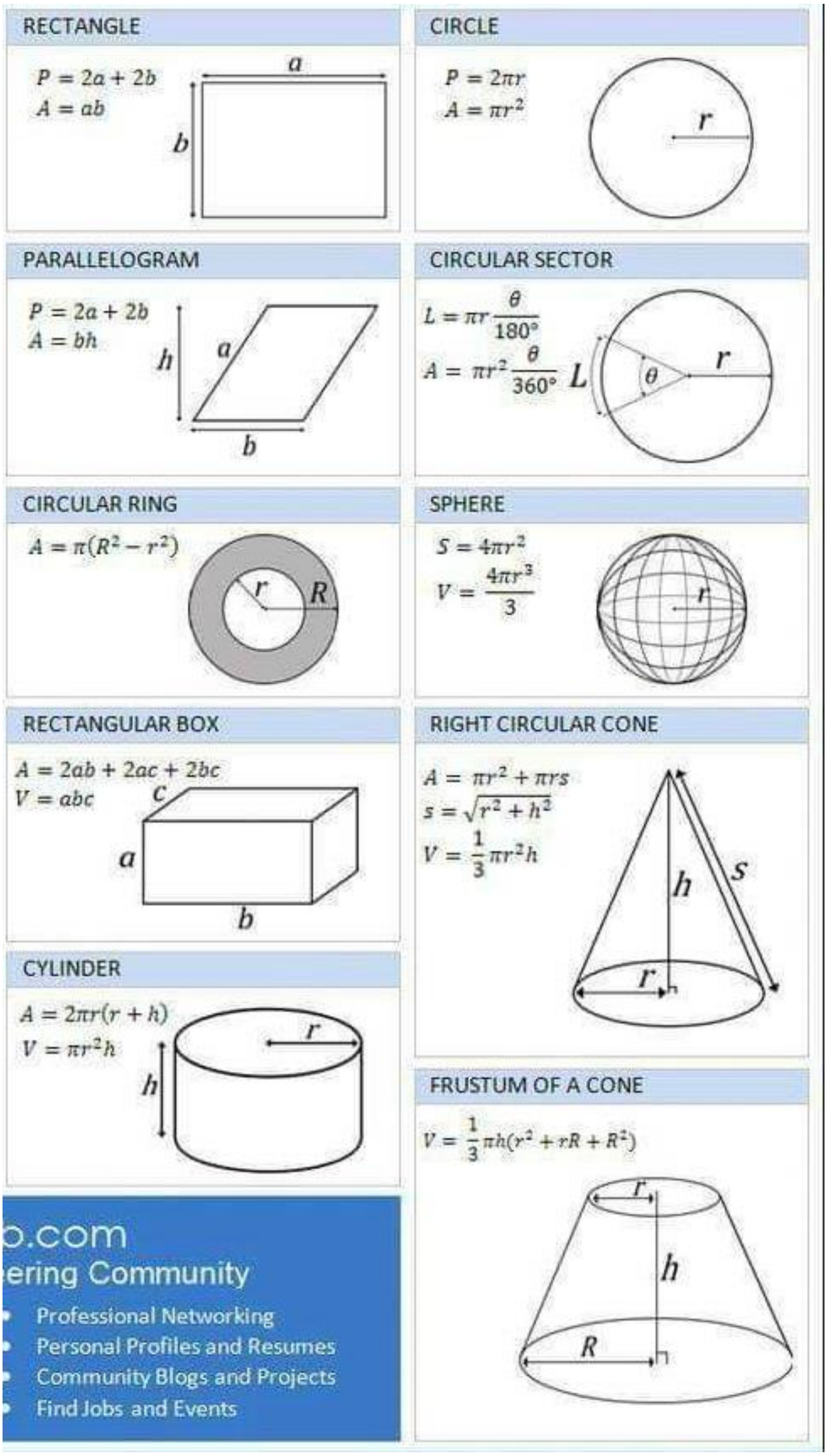
$A = 6l^2$
$V = l^3$



CYLINDER

$A = 2\pi r(r + h)$
$V = \pi r^2 h$




RECTANGLE
$P = 2a + 2b$
$A = ab$
CIRCLE
$P = 2\pi r$
$A = \pi r^2$
PARALLELOGRAM
$P = 2a + 2b$
$A = bh$
CIRCULAR SECTOR
$L = \pi r \frac{\theta}{180°}$
$A = \pi r^2 \frac{\theta}{360°}$
CIRCULAR RING
$A = \pi(R^2 - r^2)$
SPHERE
$S = 4\pi r^2$
$V = \frac{4\pi r^3}{3}$
RECTANGULAR BOX
$A = 2ab + 2ac + 2bc$
$V = abc$
RIGHT CIRCULAR CONE
$A = \pi r^2 + \pi rs$
$s = \sqrt{r^2 + h^2}$
$V = \frac{1}{3}\pi r^2 h$
CYLINDER
$A = 2\pi r(r + h)$
$V = \pi r^2 h$
FRUSTUM OF A CONE
$V = \frac{1}{3}\pi h(r^2 + rR + R^2)$
o.com
ering Community
Professional Networking
Personal Profiles and Resumes
Community Blogs and Projects
Find Jobs and Events

Leçon 1 : CONVENTIONS EN CALCULS TOPOMETRIQUES

1. *Définition*

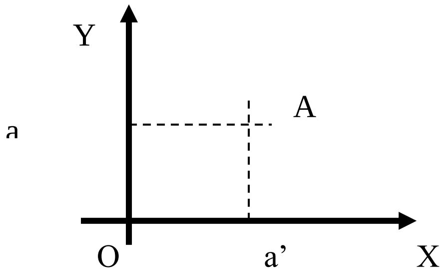
Le calcul topométrique est l'ensemble des méthodes de calcul relatif à l'obtention des éléments indispensables à la réalisation d'un plan à grande échelle ou à l'implantation d'un ouvrage.

2. *Convention en topométrie*

2.1. *Axes de coordonnées*

Les calculs se font dans un système international (OXY) formé par deux axes perpendiculaires OX et OY.

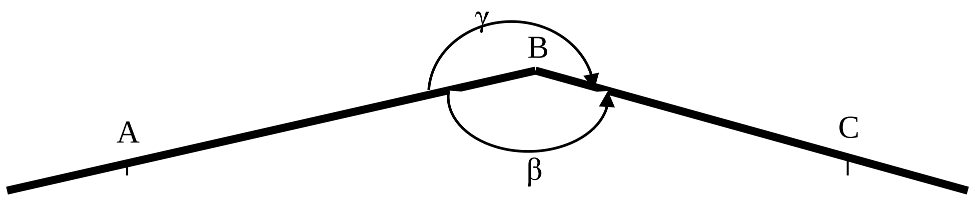
- OX axe des abscisses dirigé vers la droite
- OY axe des ordonnées dirigé vers le haut.



Les coordonnées du point A sont :
X_A = Oa'   et Y_A = Oa
a' et a sont les projetés perpendiculaires respectifs de A sur OX et OY

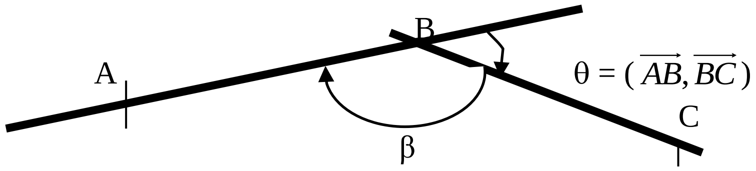
2.2. *Angles topographiques*

Un angle topographique de deux droites est l'angle formé par ces deux droites en adoptant un sens de parcours (par exemple de A →B ou de B→A).
On peut avoir un angle topographique de gauche ou un angle topographique de droite



γ = angle topographique de gauche
β = angle topographique de droite

2.3. *Angles dirigés*

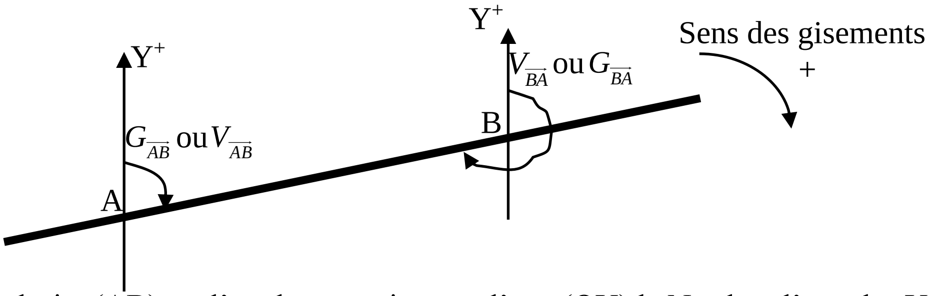


L'angle dirigé de deux droites orientées $\overrightarrow{AB}$, $\overrightarrow{BC}$ est l'angle balayé par $\overrightarrow{AB}$ en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre venant coïncider avec $\overrightarrow{BC}$ dans le même sens.

$\theta = (\overrightarrow{AB}, \overrightarrow{BC})$ = angle dirigé $(\overrightarrow{AB}, \overrightarrow{BC})$

β = (Angle inverse de θ) = $(\overrightarrow{BC}, \overrightarrow{AB})$ = 200gr – $(\overrightarrow{AB}, \overrightarrow{BC})$ = Π - $(\overrightarrow{AB}, \overrightarrow{BC})$

2.4. ***Gisement***



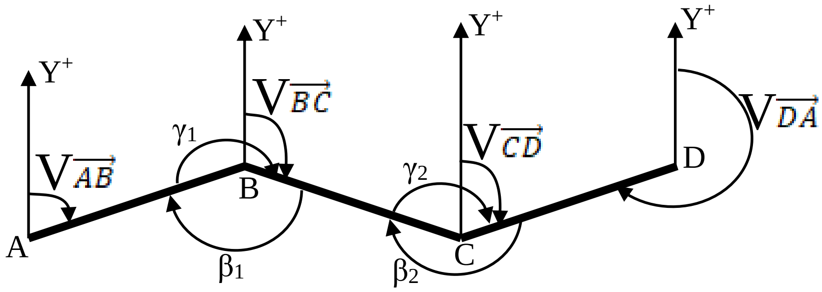
Le gisement d'une droite (AB) est l'angle compris entre l'axe (OY) le Nord ou l'axe des Y local et la direction d'une droite donnée.

Cet angle est mesuré dans le sens de rotation des aiguilles d'une montre (sens positif ou sens des gisements ou sens horaire).

Connaissant $G_{\overrightarrow{AB}}$ on a : $G_{\overrightarrow{BA}} = G_{\overrightarrow{AB}}$ **± 200 gr**

Gisement inverse = gisement de départ ± 200gr

*2.5. **Transmission de gisement***



Connaissant $V_{\overrightarrow{AB}}$ et γ_1, on a : $V_{\overrightarrow{BC}} = V_{\overrightarrow{AB}}$ **– 200 + γ₁**

$V_{\overrightarrow{BC}} = V_{\overrightarrow{BA}}$ **+ γ_1 – 200 gr**

Connaissant $V_{\overrightarrow{AB}}$ et β_1, on a : $V_{\overrightarrow{BC}} = V_{\overrightarrow{AB}}$ **+ 200 - β_1**

$V_{\overrightarrow{BC}} = V_{\overrightarrow{BA}}$ **- β_1 + 200 gr**

Notons que lorsqu'on a un contour polygonal ABCD…, le gisement de chaque côté s'obtient à partir des gisements du côté précédent à l'aide de l'une ou l'autre des formules ci-dessus.

Leçon 2 : FORMULES DANS LE TRIANGLE QUELCONQUE

1. Eléments d'un triangle

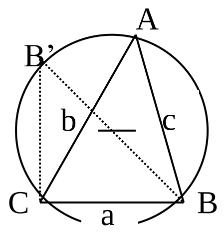
Un triangle est une figure géométrique fermée qui a 3 côtés, 3 angles et une surface. Résoudre un triangle revient à déterminer les éléments précités les uns à partir des autres.

2. Formules liant les éléments du triangle

2.1. Somme des angles d'un triangle

La somme des angles d'un triangle est égale à 200 grades.

2.2. Théorème des sinus



Soit le triangle quelconque ABC. Soit R le rayon du cercle circonscrit. $\hat{A} = \widehat{B'}$ ⇒ angles interceptant le même arc. B'B = 2R

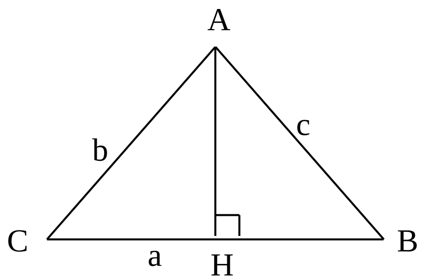
$$\sin B' = \frac{BC}{BB'} \Rightarrow BB' = \frac{BC}{\sin B'}$$

$$2R = \frac{BC}{\sin A} = \frac{a}{\sin A}$$

On démontre ainsi que:

$$\boxed{2R = \frac{a.b.c}{2.S} = \frac{a}{\sin \hat{A}} = \frac{b}{\sin \hat{B}} = \frac{c}{\sin \hat{C}}}$$

2.3. Théorème des cosinus



Soit ABC triangle quelconque de hauteur AH.

$AC^2 = AH^2 + CH^2$

$AH^2 = AB^2 – BH^2$

$AC^2 = AB^2 – BH^2 + BC^2 + BH^2 – 2BC.BH$

$AC^2 = AB^2 + BC^2 – 2BC.BH$ **or** $BH = AB \cos \hat{B}$

$$\mathbf{AC^2 = AB^2 + BC^2 - 2AB.\,BC \cos \hat{B}}$$

Par analogie, on a :

$a^2 = b^2 + c^2 – 2.b.c.\cos \hat{A}$

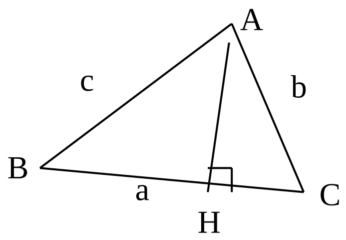
$b^2 = a^2 + c^2 – 2.a.c.\cos \hat{B}$

$c^2 = a^2 + b^2 – 2.a.b.\cos \hat{C}$

<u>Théorème des cosinus</u> : Le carré d'un côté est égal à la somme des carrés des deux autres côtés diminuée du double produit de ces côtés multiplié par le cosinus de l'angle qu'ils contiennent.

2.4. Aire du triangle

2.4.1. Angles et côtés connus



ABC triangle quelconque de hauteur AH. S = $\frac{BC.AH}{2}$

S = $\frac{1}{2}$.AH×BC

Sin $\hat{B}$ = $\frac{AH}{AB} \Rightarrow$ AH = AB sin $\hat{B}$

S = $\frac{1}{2}$AB.BC.sin $\hat{B}$; **S = $\frac{1}{2}$ a.c.sin $\hat{B}$**

Par analogie on a : S = $\frac{1}{2}$a.csin$\hat{B}$; S = $\frac{1}{2}$b.csinÂ ; S = $\frac{1}{2}$½ a.bsin$\hat{C}$

2.4.2. Côtés connus

On démontre que S = $\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$

Avec p = demi périmètre du triangle : p = $\frac{a+b+c}{2}$

SUGGESTION DE TABLEAU DE RESOLUTION DE TRIANGLE

DONNEES	FORMULES	APPLICATIONS NUMERIQUES	RESULTATS	CONTROLES

Leçon 3 : RESOLUTION DE TRIANGLE

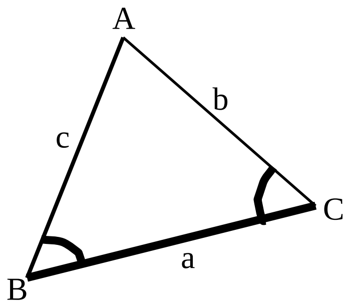
1. ***Les différents cas possibles***

Il existe quatre cas de résolution de triangle quelconque :

- Le triangle défini par un côté et les deux angles adjacents
- Le triangle défini par un angle et les deux côtés de cet angle
- Le triangle défini par un angle, un côté de cet angle et le côté opposé à cet angle
- Le triangle défini par ses trois côtés

2. ***Etude de cas***

2.1-Cas du triangle défini par un côté et les deux angles adjacents



Données

a, $\hat{B}$ et $\hat{C}$

Inconnues

$\hat{A}$, b, c et S (superficies)

2.1-1. ***Formules de calcul***

$$\boxed{\hat{A} = 200 - (\hat{B} + \hat{C})}$$

b = $\frac{a.\sin\hat{B}}{\sin\hat{A}}$ et c = $\frac{a.\sin\hat{C}}{\sin\hat{A}}$ comme $\sin(200 - \alpha) = \sin\alpha$, on a : $\boxed{a = \frac{a.\sin\hat{B}}{\sin(\hat{B}+\hat{C})}}$ et $\boxed{c = \frac{a.\sin\hat{C}}{\sin(\hat{B}+\hat{C})}}$

$$\boxed{S = \frac{1}{2}\,b.c.\sin\hat{A}}$$

2.1-2. ***Application numérique***

Soit le triangle ABC

Données

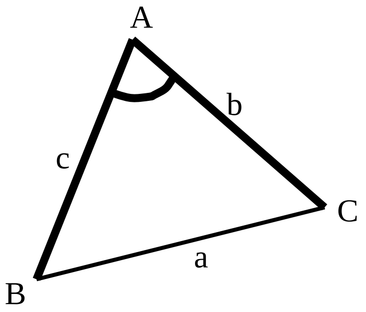
$\hat{B}$ = 69.894 gr ; $\hat{C}$ = 51.312 gr et a = 315.17m

Travail à faire

Calculez les éléments suivants : $\hat{A}$; b ; c et S

Réponse : $\hat{A}$ =78.794 ; b =296.90 m ; c = 240.63 m ; S = 33758.11 m^2

2.2- Cas du triangle défini par un angle et les deux côtés de cet angle



Données
$\hat{A}$, b et c
Inconnues
$\hat{B}$, $\hat{C}$, a et S (superficie)

2.2-1. Formules de calcul

Cas 1

$a^2 = b^2 + c^2 - 2.b.c.\cos \hat{A}$

$\tan \hat{B} = \frac{b.\sin \hat{A}}{c - b.\cos \hat{A}}$ et $\tan \hat{C} = \frac{c.\sin \hat{A}}{b - c.\cos \hat{A}}$

$\mathbf{S = \frac{1}{2}.b.c.\sin \hat{A}}$

Si on obtient une tangente négative, il faudra ajouter 200gr à l'angle négatif qu'on obtiendra.

Cas 2

$a^2 = b^2 + c^2 - 2.b.c.\cos \hat{A}$

$\sin \hat{B} = \frac{b.\sin \hat{A}}{a}$ et $\sin \hat{C} = \frac{c.\sin \hat{A}}{a}$

$\mathbf{S = \frac{1}{2}.b.c.\sin \hat{A}}$

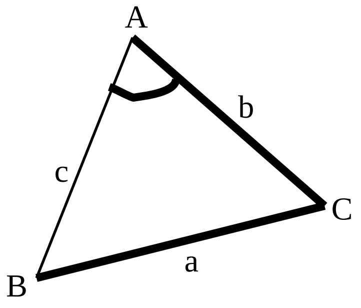
Sachant que sin (π-x) = sin x il faut en tenir compte pour le calcul de B et C

2.2-2. Application numérique

Soit le triangle ABC
Données
$\hat{A}$ = 31.283 gr ; b = 251.36 m et c = 412.29m
Travail à faire
Calculez les éléments suivants : $\hat{B}$; a ; c et S

Réponse : $\hat{B}$ =35.426 gr ; a =224.55 m ; c = 133.291 m ; S = 24449.86 m^2

2.3- Cas du triangle défini par un angle, un côté de cet angle et le côté opposé à cet angle



Données
$\hat{A}$, a et b
Inconnues
$\hat{B}$, $\hat{C}$, c et S (superficie)

2.3-1. Formules de calcul

Ce cas est appelé cas douteux car on a d'autre choix que d'utiliser la relation des sinus pour calculer les angles. Sachant que **sin(π-x) = sin x,** deux solutions peuvent donc se présenter. Il faut choisir celle dont on a besoin.

1ère solution

$\hat{B} = \sin^{-1}(\frac{b.\sin\hat{A}}{a})$

$\hat{C} = 200-(\hat{A}+\hat{B})$

$c = \frac{a.\sin\hat{C}}{\sin\hat{A}} = \frac{b.\sin\hat{C}}{\sin\hat{B}}$ **et** $S = \frac{1}{2}.a.b.\sin\hat{C}$

2è solution

$\hat{B}' = 200-\hat{B}$

$\hat{C}' = 200-(\hat{A}+\hat{B}')$

$c' = \frac{a.\sin C'}{\sin A} = \frac{b.\sin C'}{\sin B}$

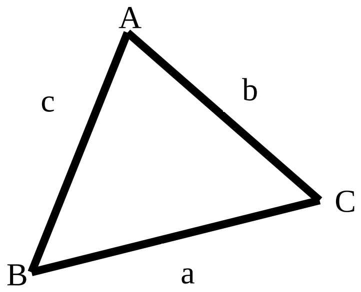
$S' = \frac{1}{2}.a.b.\sin\hat{C}'$

2.3-2. Application numérique

Soit le triangle ABC
<u>Données</u>
$\hat{A}$ = 33.632 gr ; b = 301.45 m et a = 165.33 m
<u>Travail à faire</u>
Calculez les éléments suivants : $\hat{B}$; $\hat{C}$; c et S

Réponse: $\hat{B}$ **=74.210 gr;** $\hat{C}$ **=92.158 gr; c = 325.51 m; S = 24730.54 m²**
$\hat{B}'$ **=125.790 gr;** $\hat{C}'$ **=40.578 gr; c' = 195.19 m; S' = 14829.37 m²**

2.4- Cas du triangle défini par ses trois côtés



Données
a, b et c
Inconnues
$\hat{A}$, $\hat{B}$, $\hat{C}$ et S (superficie)

2.4.1. Formules de calcul

P = $\dfrac{a+b+c}{2}$ et S = $\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$

$\hat{A}$ = arc cos ($\dfrac{b^2+c^2-a^2}{2bc}$); $\hat{B}$ = arc cos ($\dfrac{a^2+c^2-b^2}{2ac}$); $\hat{C}$ = arc cos ($\dfrac{a^2+b^2-c^2}{2ab}$)

2.4.2. Application numérique

Soit le triangle ABC
Données
a = 198.12 m ; b = 246.86 m et c = 171.14m
Travail à faire
Calculez les éléments suivants : $\hat{A}$; $\hat{B}$; $\hat{C}$ et S

Réponse : $\hat{A}$ =58.769 gr ; $\hat{B}$ =92.850 gr ; $\hat{C}$ = 48.381 gr ; S = 16846.25 m^2

2.5. ***Cas du triangle dont la surface figure dans les données***

Il peut arriver qu'un triangle soit défini par les éléments linéaires ou angulaires et sa superficie. Notamment dans le cas de partage de terrain. Pour résoudre ce problème, il faudra appliquer les formules donnant la superficie d'un triangle et ramener le plus souvent le problème à un cas classique.

- On donne : b, $\hat{A}$ et S.

On a : 2S = b.c.$\sin\hat{A} \Rightarrow \boldsymbol{c} = \frac{2S}{b.\sin\hat{A}}$

On est ramené à un cas classique.

- On donne : a, b et S

On a : 2S = a.b.$\sin\hat{C} \Rightarrow \hat{C} = \boldsymbol{Arcsin}\frac{2S}{a.b}$

On est également à un cas classique.

- On donne : $\hat{A}$, $\hat{B}$, $\hat{C}$ et S.

On a : S = $\frac{1}{2}$.b.c.$\sin\hat{A}$, on a : $\frac{b}{\sin\hat{B}} = \frac{c}{\sin\hat{C}} \Rightarrow$ b = $\frac{c\sin\hat{B}}{\sin\hat{C}}$

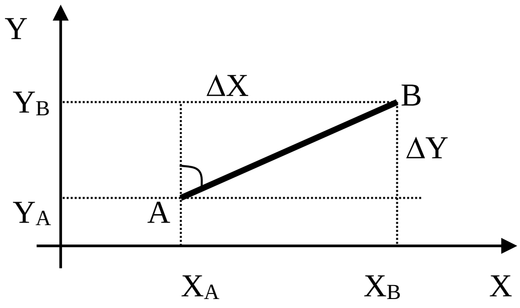
2S = $\frac{c.\sin\hat{B}}{\sin\hat{C}}$. c. $\sin\hat{A}$

2S = $\frac{c^2\sin\hat{B}\sin\hat{A}}{\sin\hat{C}}$

$$\boldsymbol{c^2} = \frac{2S.\sin\hat{C}}{\sin\hat{A}.\sin\hat{B}}\ ; \quad \boldsymbol{a^2} = \frac{2S.\sin\hat{A}}{\sin\hat{B}.\sin\hat{C}}\ ; \quad \boldsymbol{b^2} = \frac{2S.\sin\hat{B}}{\sin\hat{A}.\sin\hat{C}}$$

Leçon 4 : TRANSFORMATION DE COORDONNEES RECTANGULAIRES EN COORDONNEES POLAIRES

1. ***Coordonnées polaires***



Si le pôle est le point A et la direction de référence est confondue à l'axe des y positifs passant par ce point alors le gisement ($G_{\overline{AB}}$) et la distance AB forment les coordonnées polaires du point B.

2. ***Calcul des coordonnées polaires***

Connaissant les coordonnées rectangulaires des points A(le pôle) et B, il s'agit de calculer la distance AB et le gisement AB.

2.1- ***Formule de calcul du gisement*** **($G_{\overline{AB}}$)**

$$G_{\overline{AB}} = \text{arc tg } \frac{\Delta x}{\Delta y}$$

Pour simplifier les calculs on déterminera une quantité **g** telle que:

$$\mathbf{g = arc\ tg}\ \frac{|\Delta x|}{|\Delta y|}$$

$G_{\overline{AB}}$ **= g si ΔX >0 et ΔY > 0**

- $G_{\overline{AB}}$ **= 200 - g si ΔX >0 et ΔY < 0**
- $G_{\overline{AB}}$ **= 200 + g si ΔX < 0 et ΔY < 0**
- $G_{\overline{AB}}$ **= 400 - g si ΔX <0 et ΔY > 0**

2.2- ***Calcul de la distance AB***

La distance AB est donnée par la relation suivante :

$$\boxed{AB = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}}$$

Contrôle : AB $= \dfrac{\Delta X}{\sin G\overline{AB}} = \dfrac{\Delta Y}{\cos G\overline{AB}}$

2.3- Exercice d'application

Calculez les distances AC, AB, BC et les gisements $G_{\overline{AB}}$, $G_{\overline{AC}}$, $G_{\overline{BC}}$. On donne :

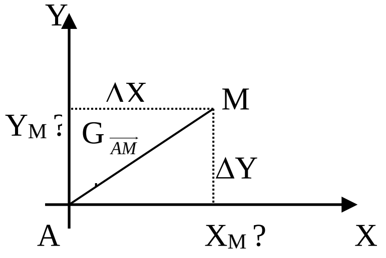
POINTS	**X**	**Y**
A	710.28	409.94
B	680.00	116.26
C	724.59	131.48

<u>SUGGESTION DE TABLEAU DE CALCUL</u>

POINTS	X(m)	Y(m)	ΔX(m)	ΔY(m)	D(m)	g (gr)	G (gr)
A	710.28	409.94					
B	680.00	116.26					
C	724.59	131.48					
A	710.28	409.94					
C	724.59	131.48					

Leçon 5 : TRANSFORMATION DE COORDONNEES POLAIRES EN COORDONNEES RECTANGULAIRES

1- Hypothèse



Connaissant les coordonnées rectangulaires de **A**, le gisement de la direction **AM** ($G_{\overline{AM}}$) et la distance **AM** ; on demande de calculer les coordonnées rectangulaires du point **M**.

2- Calcul des coordonnées rectangulaires

2.1- Calcul des coordonnées relatives de M : ΔX et ΔY

$\sin G_{\overline{AM}} = \frac{\Delta X}{AM} \Rightarrow \Delta X = AM \sin G_{\overline{AM}}$ **et** $\cos G_{\overline{AM}} = \frac{\Delta Y}{AM} \Rightarrow \Delta Y = AM \cos G_{\overline{AM}}$

2.2- Calcul des coordonnées absolues de M

$$X_M = X_A + \Delta X_{AM} \Rightarrow X_M = X_A + AM \sin G_{\overline{AM}}$$

$$Y_M = Y_A + \Delta Y_{AM} \Rightarrow Y_M = Y_A + AM \cos G_{\overline{AM}}$$

2.3- Exercice d'application

Données

$X_B = 7586.25$ m ; $Y_B = 10111.41$m

BK = 235.631 m ; $G_{\overrightarrow{BK}} = 135.2678$ grades

Travail à faire

Calculez les coordonnées rectangulaires de K

SUGGESTION DE TABLEAU DE CALCUL

POINTS	D(m)	G (gr)	ΔX	ΔY	X(m)	Y(m)
B					**7586.25**	**10111.41**
	235.631	**135.2678**				
K						

Leçon 6 : CALCUL DU GISEMENT SUIVANT LES DIFFERENTS QUADRANTS

1- ***Définition***

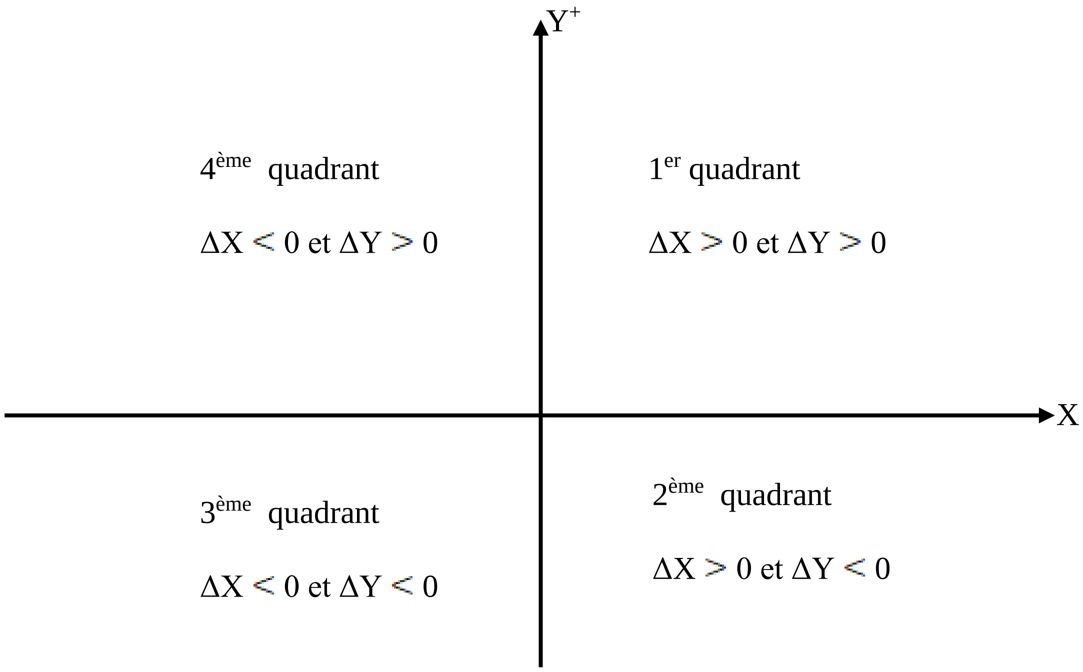
Le gisement est l'angle que fait une direction quelconque avec la direction du Nord de la Projection appelé Nord du Quadrillage ou Nord Lambert ou encore Nord de la direction des Y positifs (Y^+).
Noté G ou V, il est compté de 0 à 400 grades dans le sens des aiguilles d'une montre ou sens horaire ou encore sens direct (sens des gisements). Il a pour origine toujours la direction des Y^+.
Connaissant les coordonnées rectangulaires de deux points, on peut calculer le gisement de la direction que forment ces deux points.

2- ***Formule générale de calcul du gisement***

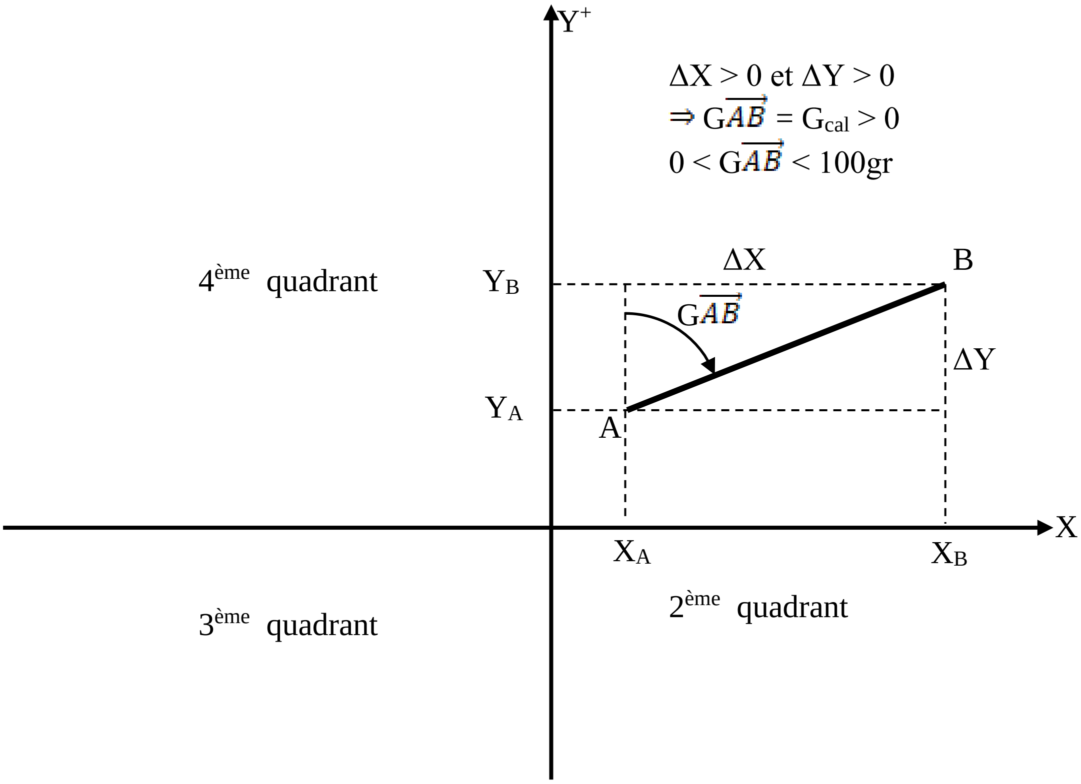
$$\boxed{G\overrightarrow{AB} = \text{Arctan}\left(\frac{\Delta X}{\Delta Y}\right)}$$

Le gisement est fonction du signe de ΔX et du signe de ΔY. Les coordonnées rectangulaires définies dans un système d'axes orthonormés établissent ainsi quatre parties, d'où la notion de **QUADRANTS**.

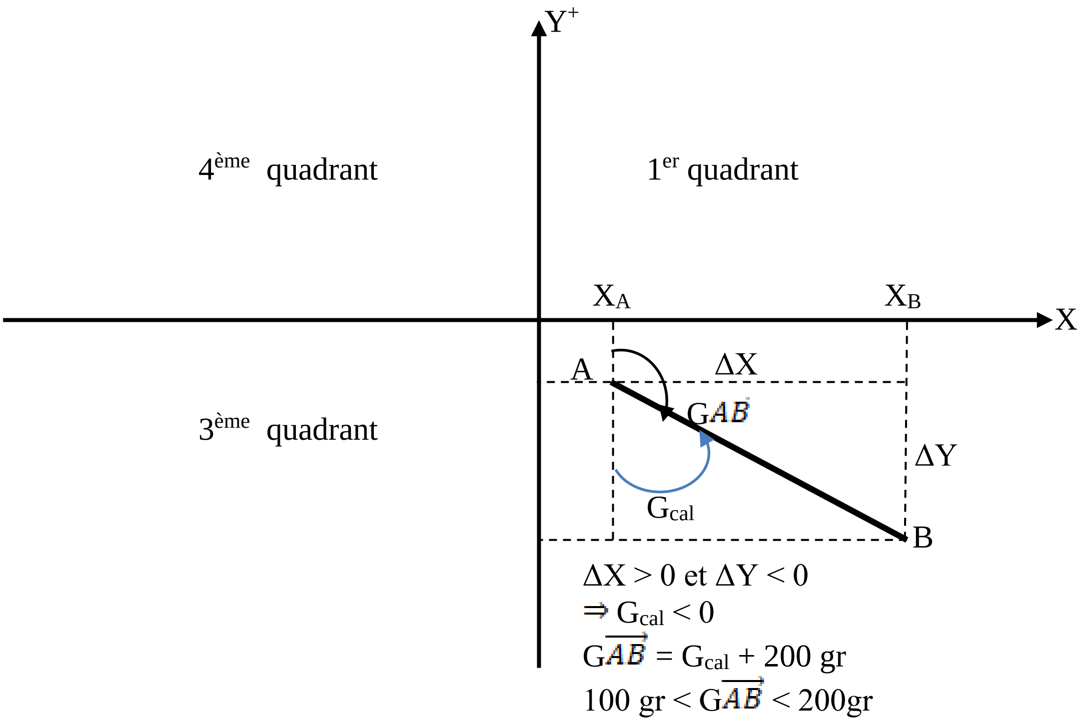
3- ***Différents quadrants***



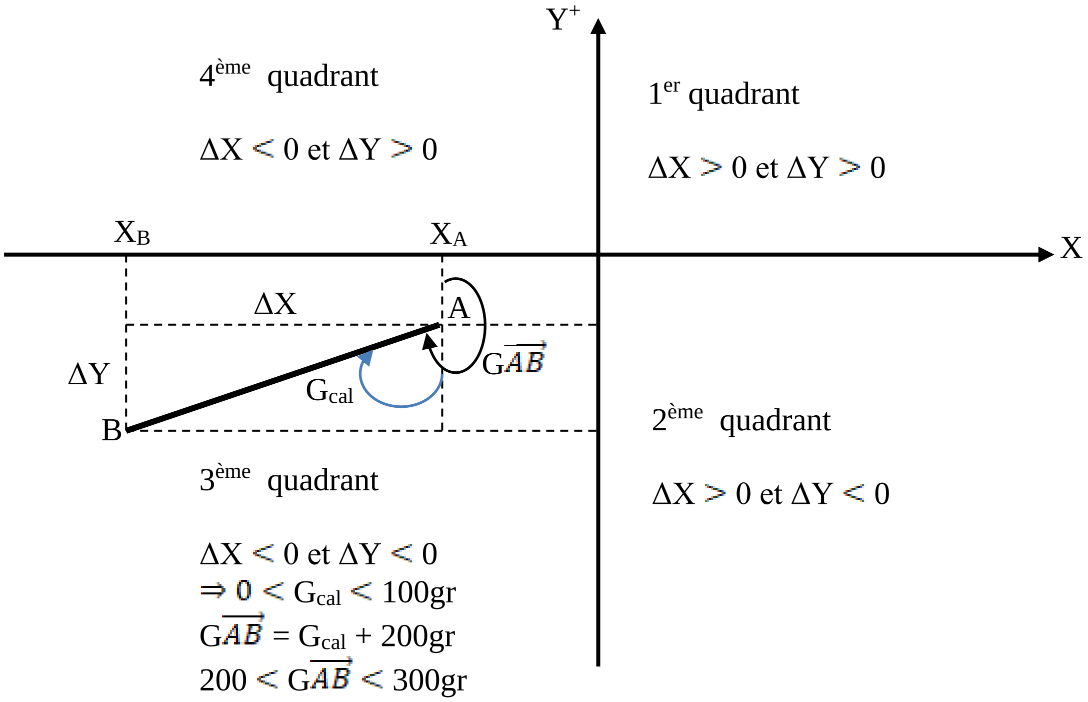
3.1- *Calcul du gisement suivant le 1er quadrant*



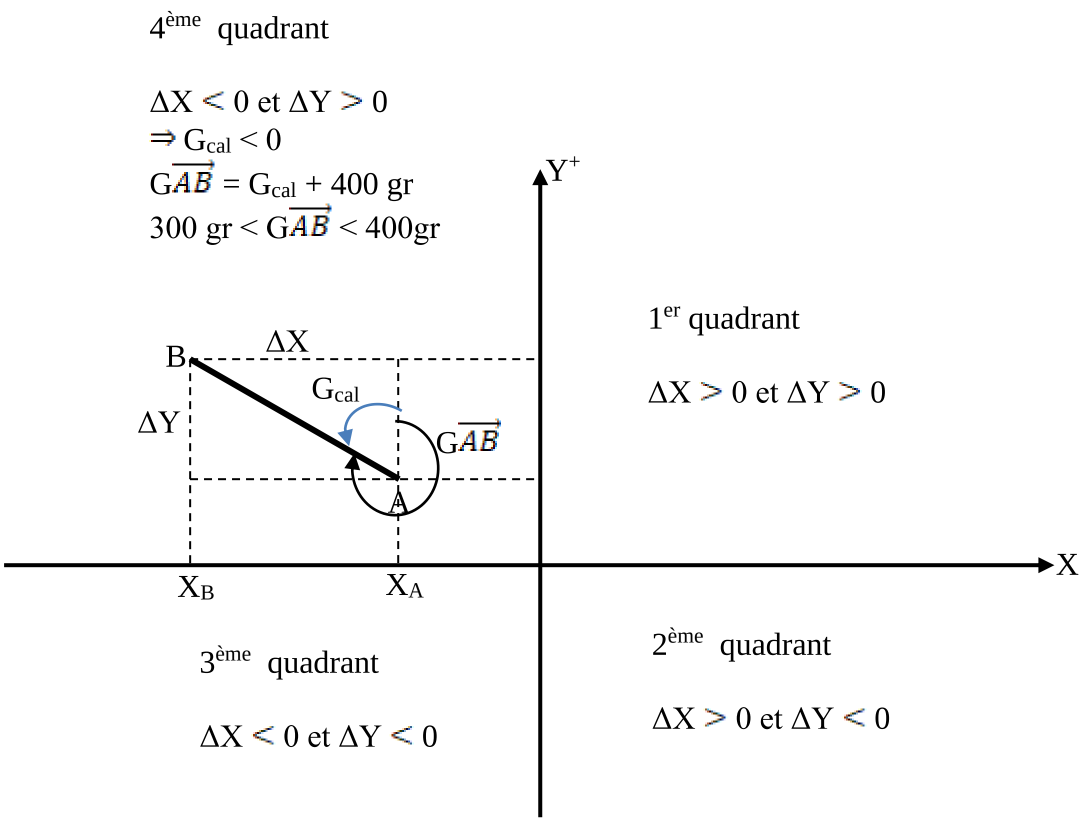
3.2- *Calcul du gisement suivant le 2ème quadrant*



3.3- ***Calcul du gisement suivant le 3ème quadrant***



3.4- Calcul du gisement suivant le 4ème quadrant



Cas particuliers

- ✓ $\Delta X = 0$ et $\Delta Y = 0 \Longrightarrow G = 0$
- ✓ $\Delta X = 0$ et $\Delta Y > 0 \Longrightarrow G = 0$
- ✓ $\Delta X > 0$ et $\Delta Y = 0 \Longrightarrow G = 100gr$
- ✓ $\Delta X = 0$ et $\Delta Y < 0 \Longrightarrow G = 200gr$
- ✓ $\Delta X < 0$ et $\Delta Y = 0 \Longrightarrow G = 300gr$

3.5- Gisement inverse d'une direction

$$G\overrightarrow{BA} = G\overrightarrow{AB} \pm 200gr$$

3.6- Gisement d'une direction perpendiculaire

$$G\overrightarrow{CD} = G\overrightarrow{AB} \pm 100gr$$

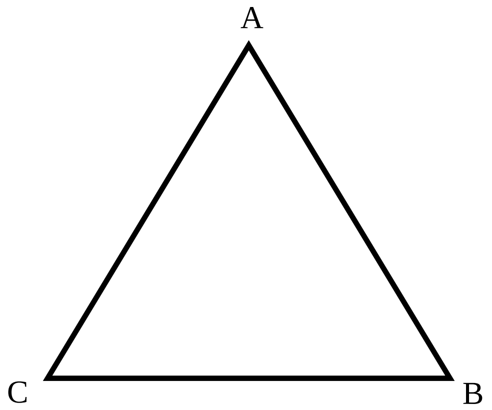
3.7- Relation entre gisement et angle

$$G\overrightarrow{BA} = G\overrightarrow{AB} \pm 200gr$$

$$G\overrightarrow{CA} = G\overrightarrow{AC} \pm 200gr$$

$$G\overrightarrow{CB} = G\overrightarrow{BC} \pm 200gr$$

$$\left.\begin{array}{l} \hat{A} = G\overrightarrow{AC} - G\overrightarrow{AB} \\ \hat{B} = G\overrightarrow{BA} - G\overrightarrow{BC} \\ \hat{C} = G\overrightarrow{CB} - G\overrightarrow{CA} \end{array}\right] \quad \hat{A} + \hat{B} + \hat{C} = 200gr$$

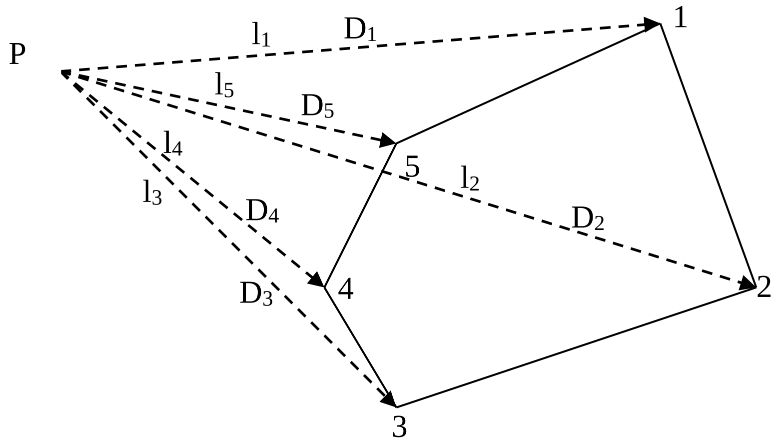


SUGGESTION DE TABLEAU DE CALCUL

POINTS	X(m)	Y(m)	ΔX(m)	ΔY(m)	D(m)	G_{cal} (gr)	G (gr)	G(inverse)gr
A	710.28	409.94						
B	680.00	116.26						
C	724.59	131.48						
A	710.28	409.94						
C	724.59	131.48						

Leçon 7 : CALCUL DE SURFACE PAR LES CORDONNEES POLAIRES

1- Position du problème



Soit le polygone 1, 2, 3, 4, 5 définit par ses coordonnées polaires à partir du pôle P. il s'agit de calculer la surface de ce polygone à partir de ses coordonnées polaires.

2-Calcul

2-1 Formules de calcul

Sur la figure on observe que :

$$\left.\begin{aligned}
&S = S_{P12} + S_{P23} - S_{P43} - S_{P54} - S_{P15}\\
&S_1 = S_{P12} = \frac{1}{2} \times D_1 \times D_2 \times sin(\ell_2 - \ell_1)\\
&S_2 = S_{P23} = \frac{1}{2} \times D_2 \times D_3 \times sin(\ell_3 - \ell_2)\\
&S_3 = S_{P43} = \frac{1}{2} \times D_3 \times D_4 \times sin(\ell_4 - \ell_3)\\
&S_4 = S_{P54} = \frac{1}{2} \times D_5 \times D_4 \times sin(\ell_5 - \ell_4)\\
&S_5 = S_{P15} = \frac{1}{2} \times D_1 \times D_5 \times sin(\ell_1 - \ell_5)
\end{aligned}\right\}
\quad
\begin{aligned}
&S_i = \frac{1}{2} \times D_{i+1} \times D_i \times sin(\ell_{i+1} - \ell_i)\\
&S = \sum_{i=1}^{n} S_i
\end{aligned}$$

$$\boxed{S = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2} * \mathrm{Di} + 1 * \mathrm{Di} * \sin(li + 1 - li)}$$

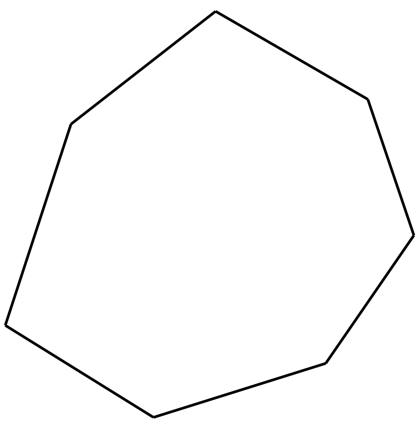
2-2 Application numérique

2-2-1 Suggestion de tableau de calcul

N°	D_i	$D_i \cdot D_{i+1}$	l_i	$l_{i+1} - l_i$	$2S_i$	N°
1	D_1		l_1			
		$D_1 \cdot D_2$		α_1	$2S_1$	**1**
2	D_2		l_2			
		$D_2 \cdot D_3$		α_2	$2S_2$	**2**
3	D_3		l_3			
		$D_3 . D_4$		α_3	$2S_3$	**3**
4	D_4		l_4			
		$D_4 \cdot D_5$		α_4	$2S_4$	**4**
. . .		. . .				
n	D_n		l_n			
		$D_n \cdot D_1$		α_n	$2S_n$	**n**
1	D_1		l_1			
					$\sum 2S_i$	

2.2.2- Exercice d'application

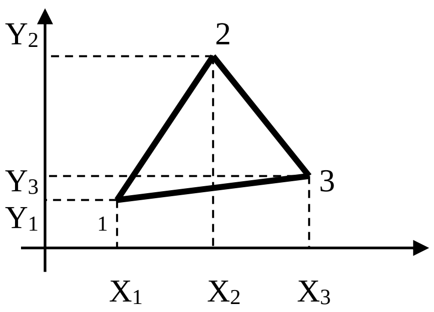
Calculez la surface de ce Polygone.



N°	Lectures angulaires (Hi) en grades	Distances (Di) en mètres
1	**30, 000**	**100, 00**
2	**0, 000**	**220, 00**
3	**13, 000**	**270, 00**
4	**50, 000**	**290, 00**
5	**65, 000**	**260, 00**
6	**80, 000**	**170, 00**
7	**85, 000**	**130, 00**

Leçon 8 : CALCUL DE SURFACE PAR LES CORDONNEES RECTANGULAIRES

1- *Position du problème*



Soit la parcelle 12 3 définie par les coordonnées rectangulaires de ces sommets. On se propose de déterminer la surface du polygone ainsi constitué. Pour ce faire on projette les points sur l'axe des X et on calcule la surface par combinaison de surfaces de trapèze.

2- *Calcul de surface*

2.1- Formule de calcul

$S_{1\,2\,3} = S_{1\,2\,X2\,X1} + S_{X2\,2\,3\,X3} - S_{1\,3\,X3\,X1}$

Ainsi on a : $2S = \left[\begin{array}{lll} & (\mathbf{X2 - X1}) & (\mathbf{Y1 + Y2}) \\ + & (\mathbf{X3 - X2}) &)(\mathbf{Y2 + Y3}) \\ - & (\mathbf{X3 - X1}) & (\mathbf{Y1 + Y3}) \end{array}\right]$

Après développement et réduction on obtient :

$2S = X_2(Y_1\text{-}Y_3) + X_1(Y_3\text{-}Y_2) + X_3(Y_2\text{-}Y_1)$
$2S = Y_1(X_2\text{-}X_3) + Y_2(X_3\text{-}X_1) + Y_3(X_1\text{-}X_2)$

Ainsi, d'une manière générale pour n sommets parcourus dans le sens direct ou rétrograde, on obtient :

$$\mathbf{S} = \frac{1}{2}\ |\Sigma\ \mathbf{Yi}\ (\mathbf{Xi + 1 - Xi - 1})| = \frac{1}{2}\,|\Sigma\ \mathbf{Xi}\ (\mathbf{Yi + 1 - Yi - 1})|$$

$$\mathbf{S} = \frac{1}{2}\ |\Sigma\ \mathbf{Yi}\ (\mathbf{Xi - 1 - Xi + 1})| = \frac{1}{2}\,|\Sigma\ \mathbf{Xi}\ (\mathbf{Yi - 1 - Yi + 1})|$$

2.2- Application numérique

Soit un polygone défini par les coordonnées de ses sommets.

Données

sommet	X(m)	Y(m)
1	586040.00	384280.00
2	586200.00	384470.00
3	586350.00	384410.00
4	586360.00	384230.00
5	586280.00	384080.00
6	586135.00	384040.00
7	586030.00	384090.00

Travail à faire

Calculez la surface du polygone ci-dessus défini en utilisant la méthode de calcul par les coordonnées rectangulaires

Suggestion de tableau de calcul

N°	$Y_i (X_{i+1} - X_{i-1})$	$X_{i+1} - X_{i-1}$	X_i	Y_i
n			X n	Y n
1			X 1	Y 1
2			X 2	Y 2
n			X n	Y n
1			X 1	Y 1
	∑ =2 S	∑ = 0		

Corrigé de l'exercice d'application

N°	$Y_i (X_{i+1} - X_{i-1})$	$X_{i+1} - X_{i-1}$	X_i	Y_i
7			586030	384090
1			586040	384280
2			586200	384470
3			586350	384410
4			586360	384230
5			586280	384080
6			586135	384040
7			586030	384090
1			586040	384280
	∑ =2 S	∑ = 0		

N° POINTS	X(m)	Y(m)	$X_{i+1} - X_{i-1}$	$Y_{i+1} - Y_{i-1}$	$2Si = Xi\,(Y_{i+1} - Y_{i-1})$	$2Si = Y_i\,(X_{i+1} - X_{i-1})$	N° POINTS
B1							B1
B2							B2
B3							B3
B4							B4
B5							B5
B6							B6
B7							B7
B8							B8
B9							B9
B10							B10
B11							B11
B12							B12
B1							B1
B2							B2
$\sum$			$\sum = 0$	$\sum = 0$	$2S = \lvert\sum\rvert =$	$2S = \lvert\sum\rvert =$	

*Chapitre 3 : MESURES INDIRECTES DE DISTANCES ET **DE DENIVELEES***

OBJECTIF INTERMEDIAIRE

Enoncer les principes de mesures indirectes de distances et de dénivelées

OBJECTIFS PEDAGOGIQUES

1. Expliquer le principe des différents types de mesure indirecte de distance
2. Enoncer le principe du nivellement indirect

PLAN DU COURS

Leçon 1 : PRINCIPE DU NIVELLEMENT INDIRECT

1- Définition

2- principe

3- Mode opératoire

Leçon 2: CALCUL DU NIVELLEMENT INDIRECT

1-formules de calcul

2-application numérique

PRESENTATION DE LA FORMATION

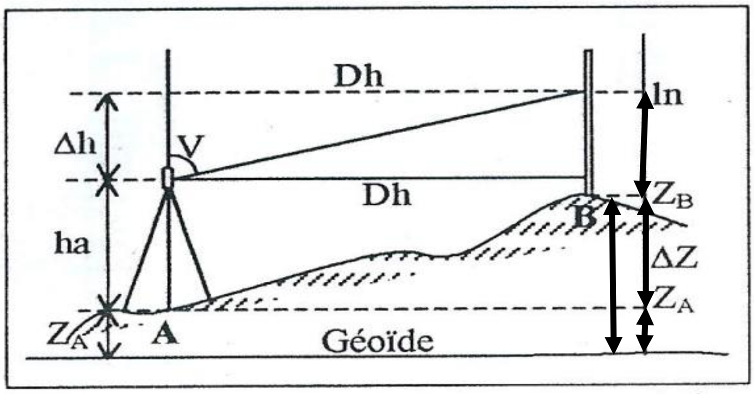
Ce chapitre se veut volontairement court et très pratique. Il vise essentiellement à apprendre aux élèves à mesurer les distances à l'aide d'un niveau, d'un théodolite optico-mécanique et surtout d'un distance mètre et les dénivelées à l'aide d'un théodolite. De nos jours, ce sont ces procédés qui sont les plus utilisés sur le terrain ; du moins pour les longues distances.
C'est pourquoi il devra nécessairement être suivi de travaux pratiques qui permettront aux élèves de maîtriser ce procédé de mesure de distances.

Leçon 1: PRINCIPE DU NIVELLEMENT INDIRECT

1- Définition

Le nivellement indirect consiste à calculer la dénivelée entre deux points à l'aide de la distance qui les sépare et l'angle vertical de la visée faite d'un point sur l'autre.
On distingue le nivellement trigonométrique et le nivellement géodésique.

2- Principe



Il se fait à courtes distances : D ≤ 400 m

3- Mode opératoire

Connaissant la distance horizontale entre **A** et **B** points entre lesquels la dénivelée va être déterminée, on place un tachéomètre en **A** avec pour hauteur de tourillon **ht ou ha**, qui vise une mire placée en **B** à la hauteur **hv ou ln avec les lectures sur mire li, ln et ls**. On mesure enfin l'angle zénithal **V** ou **Z.**

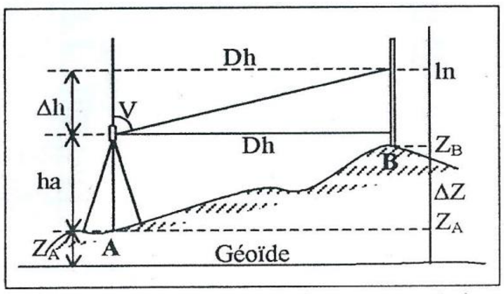
Leçon 2: CALCUL DU NIVELLEMENT INDIRECT

Objectif Pédagogique :

Calculer un nivellement indirect à partir d'observation faites au théodolite de classe T1

1- CALCUL DE LA DISTANCE HORIZONTALE Dh

$$\text{SinV} \quad \frac{\text{Dh}}{\text{Dp}}$$



Dh = Dp.SinV

Avec Dp = 100(ls-li)SinV

$$\boxed{\mathbf{Dh = 100(ls\text{-}li)\ .\ Sin^2V}}$$

ls=lecture au fil supérieur ; li = lecture au fil inférieur et V = angle vertical

Exercice d'application

Calculer la distance horizontale Dh sachant que li = 1000 ; ls = 1480 et V =99.753gr

Correction

Dh = 100 (1.480 – 1.000) x $(\sin 99.753)^2$
Dh = 47.999m

2- CALCUL DE LA DENIVELEE INSTRUMENTALZ Δh

$$\tan V = \frac{Dh}{\Delta h}$$
$$\Delta h = \frac{Dh}{\tan V}$$

$$\boxed{\mathbf{\Delta h = Dh\ .\ cotanV}}$$

avec Dh = distance horizontale et V = angle vertical

Exercice d'application

Calculer la dénivelée instrumentale (Δh) sachant que Dh = 47.999m et V = 99.753gr

Correction

Δh = 47.999 x cotan99.753

Δh = 0.186m

3- <u>CALCUL DE LA DENIVELLEE</u> ΔZ

$\Delta Z + ln = \Delta h + ha$

$\boldsymbol{\Delta Z = \Delta h + ha - ln}$

Avec ha = hauteur de station et ln = lecture au fil niveleur

Exercice d'application

Calculer la dénivelée (ΔZ) sachant que ha = 1.62m ; ln = 1240 ; Δh = 0.186m

Correction

$\Delta Z = 0.186 + 1.62 - 1.240$

$\Delta Z = 0.566m$

4- <u>CALCUL DE L'ALTITUDE</u> Z

$\Delta Z_{AB} = Z_B - Z_A$

$\boldsymbol{Z_B = Z_A + \Delta Z_{AB}}$ avec Z_A = altitude du point stationné

Exercice d'application

Calculer l'altitude de b sachant que ZA = 45.85m et ΔZAB = 0.566m

Correction

$Z_B = 45.85 + 0.566$

$Z_B = 46.42m$

TABLEAU RECAPITULATIF

St A	PV	li	ln	ls	V	Dh (m)	Δh (m)	ΔZ (m)	Z (m)
						100(ls-li).sin²V	Dh.cotanV	Δh + ha - ln	Zn + ΔZ
Z_A = 45,85m Ha = 1,62m	B	1000	1240	1480	99,753	47,999	0,186	0,566	46,42

EXERCICE D'APPLICATION

Monsieur DONISSONGUY a effectué un nivellement trigonométrique au théodolite T_1 sur une bande routière reliant deux villages de la sous-préfecture de DIAWALA.
Voici un extrait de son carnet d'observation.
Calculez les altitudes des points 1 et 2 .

ST	PV	li	ln	ls	V
S1 Z_{S1} =18.52m Ha = 1.64	1	1100	1174	1248	101.902
	2	1000	1480	1960	99.809

CORRECTION

ST	PV	li	ln	ls	V	Dh (m)	Δh (m)	ΔZ (m)	Z (m)
						100(ls-li)Sin²V	Dh x cotanV	Δh + ha – ln	Z_n + ΔZ
S1 Z_{S1} =18.52m Ha = 1.64	1	1100	1174	1248	101.902	14.786	-0.442	0.024	18.54
	2	1000	1480	1960	99.809	96.000	0.290	0.448	18.97

Chapitre 4: LA POLYGONOMETRIE

Objectif intermédiaire

Ajuster un cheminement polygonal

Objectifs Pédagogiques

A la fin de cette séquence de formation l'étudiant sera capable de :

- Identifier les différents types de cheminement
- Transmettre les coordonnées rectangulaires
- Ajuster les angles d'un cheminement encadré ou fermé
- Effectuer l'ajustement planimétrique d'un cheminement encadré ou fermé
- Calculer la précision d'un cheminement polygonal
- Rechercher une faute dans un cheminement polygonal

Plan du cours

Leçon 1 : DIFFERENTS TYPES DE POLYGONALES

1-Définition
2-Les données de référence d'un cheminement
3-Les modes de levé d'un cheminement polygonal
3-1 Le cheminement polygonal en mode goniométrique
3-2 La polygonale en mode orienté
4-Objet du calcul et de l'ajustement
5-Les différents types de polygonales

Leçon 2 : PRINCIPE DE TRANSMISSION CALCULEE DES COORDONNEES RECTANGULAIRES

1-Les angles horizontaux
2-Transmission de gisement
3-Transmission des coordonnées rectangulaires
3-1 Formules de calcul
3-2 Exercice d'application

Leçon 3 : Ajustement angulaire des cheminements encadrés ou fermés

1-Objet
2-Formule de calcul de l'écart de fermeture E_V
3-Tolérance angulaire T_V
4-Ajustement des angles
4-1 Formules
4-2 Exercice d'application

Leçon 4 : Ajustement planimétrique des cheminements encadrés ou fermés

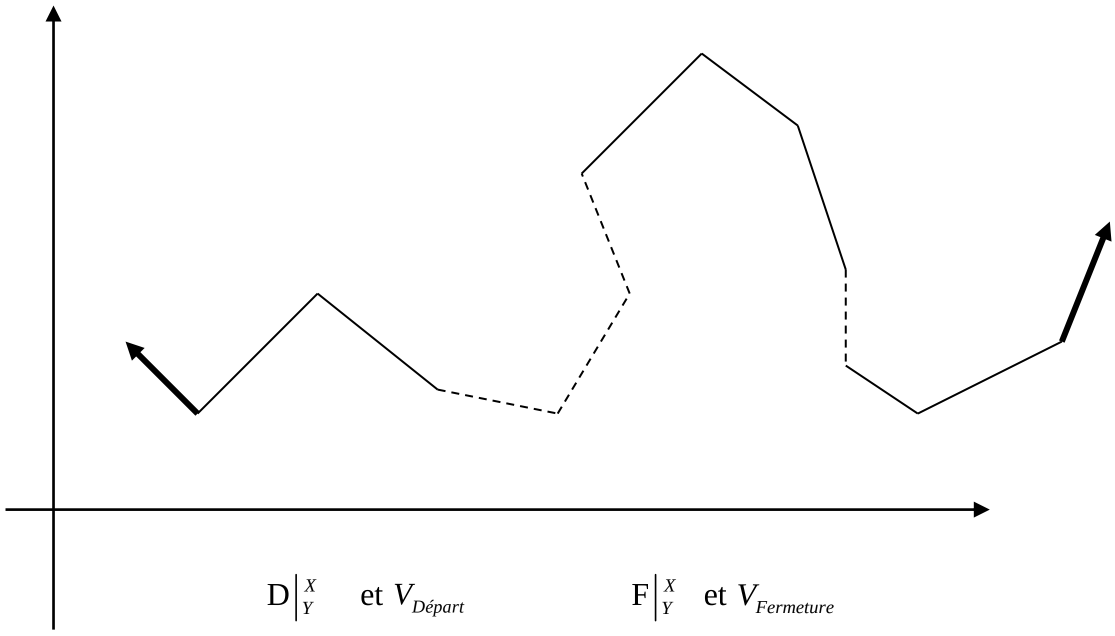
1-Fermeture planimétrique
2-Ajustement planimétrique
2-1Ajustement par répartition parallèle simple
2-2 Ajustement par répartition parallèle proportionnelle
2-3 Ajustement par répartition proportionnelle aux coordonnées relatives

Leçon 1 : DIFFERENTS TYPES DE POLYGONALES

1- Définition

La polygonométrie est l'action d'observer, calculer et ajuster les lignes polygonales ou cheminements polygonaux qui servent de canevas aux opérations topométriques.

2- Les données de référence d'un cheminement



Pour tout cheminement, il faut absolument une référence de départ et éventuellement une référence de fermeture. Les références l'orientation et les coordonnées rectangulaires :

3- Les modes de levé d'un cheminement polygonal

3.1- Le cheminement polygonal en mode goniométrique

Dans ce cas, on mesure les angles horizontaux α_i et les longueurs l_i. Les gisements V_i seront déterminés par le calcul.

3.2- La polygonale en mode orienté

On mesure les longueurs et les V_i (azimut magnétique en général).

4- Objet du calcul et de l'ajustement

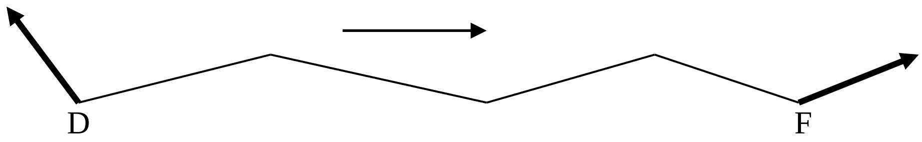
Il s'agit de déterminer les coordonnées rectangulaires de chaque sommet de la ligne polygonale. La ligne polygonale ou polygonale est une ligne brisée dont les sommets sont généralement des points matérialisés sur le terrain topographique.

Ses sommets définis en coordonnées doivent permettre ultérieurement d'effectuer des levers ou implantation topométriques qui seront automatiquement ramenés au système de coordonnées (ox, oy).

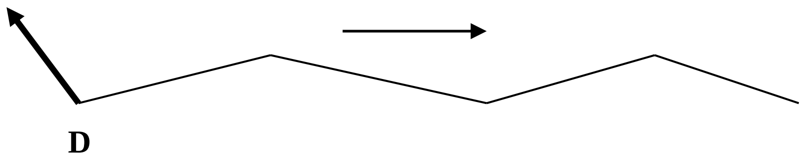
Lorsqu'une ligne polygonale relie deux points géodésiques déjà connus en coordonnées, les sommets de cette polygonale constitue une densification locale du réseau géodésique.

5- <u>Les différents types de polygonales</u>
Il y'a plusieurs types de cheminement :

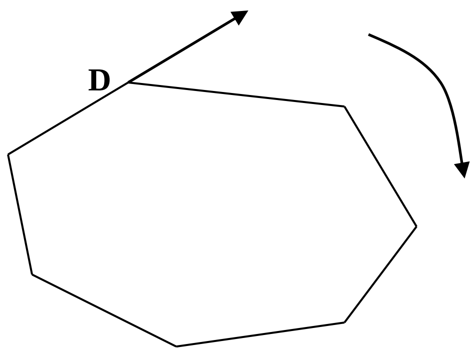
« polygonale » encadrée
C'est une polygonale qui part d'un point connu et une orientation de départ, qui passe par un certain nombre de point à déterminer et se referme sur un point également connu et une orientation.



« polygonale » en antenne (ouverte)



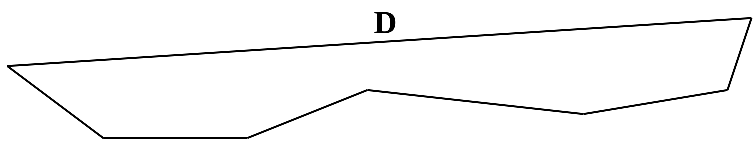
« polygonale » fermée (sur son point de départ)



C'est un cheminement qui part d'un point connu et se referme sur le même point.

Cheminement « tendu »
Un cheminement est dit tendu si la relation suivante est vérifiée.

$$\sum_{i=1}^{n} l_i \leq 1,5D$$



Cheminement non « tendu »
Un cheminement est dit tendu si la relation suivante est vérifiée.

$$\sum_{i=1}^{n} l_i \geq 1,5D$$

Leçon 2 : PRINCIPE DE TRANSMISSION DE GISEMENTS DANS UN CHEMINEMENT ENCADRE OU FERME

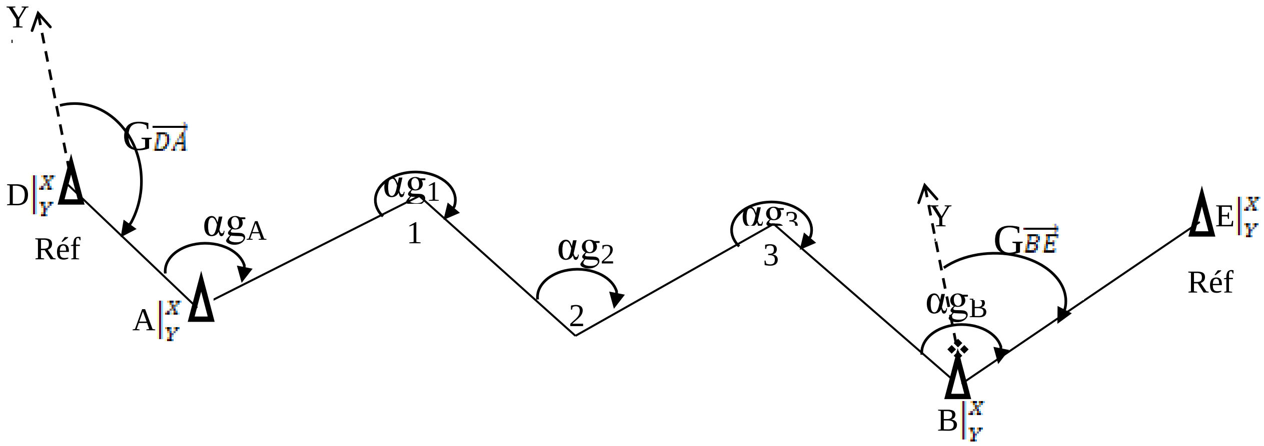
OBJECTIF PEDAGOGIQUE :
A partir d'un schéma de polygonation, effectuer la transmission de gisements sur tous les côtés de la polygonale l'un après l'autre.

1- Définition

La transmission de gisements dans un cheminement planimétrique, consiste à calculer les gisements observés des côtés de la polygonale à partir d'un gisement connu ou calculé et des angles obtenus aux différents sommets avec les lectures angulaires.

2- Transmission de gisements

Soit un cheminement de A vers B comportant n côtés et n+1 sommets ou angles tels que : $G\overrightarrow{DA}$ soit le gisement calculé ou connu de départ et $G\overrightarrow{BE}$ soit le gisement calculé ou connu d'arrivé.



3- *Principe de transmission de gisements*

On part d'un point connu en coordonnées **A**, on vise un point également connu **D** et orienté au départ, pour se fermer sur un point connu en coordonnées **B** et viser un point connu et orienté à l'arrivée **E**.

Le contrôle se fait par comparaison du gisement calculé à l'arrivée $G\overrightarrow{BE}_{cal}$ et le gisement observé à l'arrivée $G\overrightarrow{BE}_{obs.}$

L'orientation au départ et à l'arrivée permet de transmettre les gisements :

- $\boxed{1}$ Gisement connu ou calculé au départ ; $G\overrightarrow{DA}$.
- $\boxed{2}$ $\alpha g_i = l_{i+1} - l_{i-1}$; exemple : $\alpha g_A = l_1 - l_D$
- $\boxed{3}$ $G\overrightarrow{A1}_{obs} = G_{dép.} + \alpha g_A - 200gr$
- $\boxed{4}$ $G\overrightarrow{12}_{obs} = G\overrightarrow{A1} + \alpha g_1 - 200gr$
- $\boxed{5}$ $G\overrightarrow{23}_{obs} = G\overrightarrow{12} + \alpha g_2 - 200gr$
- $\boxed{6}$ $G\overrightarrow{3B}_{obs} = G\overrightarrow{23} + \alpha g_3 - 200gr$
- $\boxed{7}$ $G\overrightarrow{BE}_{obs} = G\overrightarrow{3B} + \alpha g_B - 200gr$

$$G\overrightarrow{BE}_{obs} = G_{dép.} + \alpha g_A + \alpha g_1 + \alpha g_2 + \alpha g_3 + \alpha g_B - 200gr - 200gr - 200gr - 200gr - 200gr$$

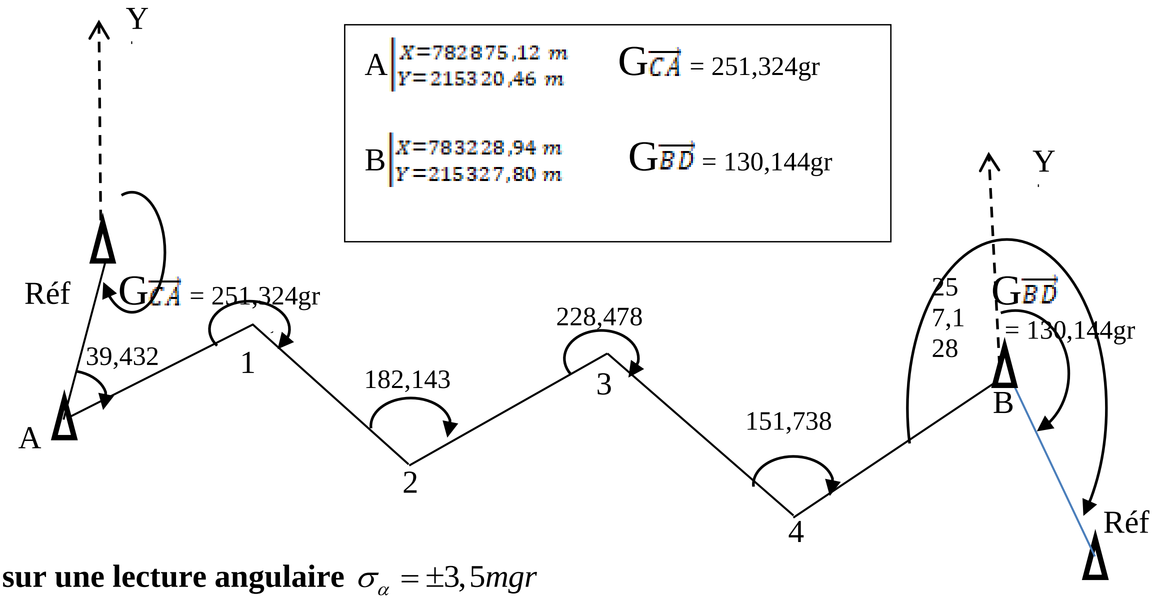
$$\boxed{G\overrightarrow{BE}_{obs} = G_{dép} + \sum_{i=1}^{n+1} \alpha gi - (n+1)*200gr}$$

ou

$$\boxed{G\overrightarrow{BE}_{obs} = G_{dép} - \sum_{i=1}^{n+1} \alpha gi + (n+1)*200gr}$$

NB : Dans la pratique, on ajoute 400gr à tout résultat négatif et on retranche 400gr à tout résultat supérieur à 400gr.

4- <u>Application</u>



Ecart type sur une lecture angulaire $\sigma_\alpha = \pm 3,5 mgr$

Ecart type sur une portée de chaîne $\sigma_p = \pm 1 cm$

Station	Points visés	Lecture angulaire (gr)	Angles (gr)	Gisements (gr)	Distance(m)
A	C	0,913	39,432	251,324	
	1	40,345		90,756	78,12
1	A	0,073	219,887		
	2	219,960		110,643	89,72
2	1	0,336	182,143		
	3	182,479		92,786	63,41
3	2	0,017	228,478		
	4	228,495		121,264	69,68
4	3	0,231	151,738		
	B	151,969		73,002	64,93
B	4	0,008	257,128		
	D	257,136		130,130	
∑			1078,806	130,144	365,86

Leçon 3 : COMPENSATION ANGULAIRE D'UN CHEMINEMENT ENCADRE OU FERME

1- *Ecart de fermeture angulaire (Efa ou Efα)*

Du fait de l'imprécision des gisements de référence et des angles observés (mesurés), le gisement calculé arrivé diffère le plus souvent du gisement observé arrivé d'une quantité Efa ou Efα appelée **écart de fermeture angulaire.**

$$\boxed{Efa = Ef\alpha = G_{obs.Arr} - G_{cal.Arr.}}$$

$$\boxed{G_{obs.Arr} = G_{dép} + \sum_{i=1}^{n+1} \alpha gi - (n+1)*200gr}$$

$$\boxed{G_{cal.Arr} = \text{Arctan}\left[\left[\frac{XE-XB}{YE-YB}\right]\right]}$$

Avec n = nombre de côtés

2- *Tolérance angulaire (Ta ou Tα)*

La tolérance notée Ta ou Tα est l'erreur limite définie comme la valeur extrême en plus ou en moins tolérée par les règlements.
Au-delà donc de cette valeur, les observations sont à reprendre.
Soit σ_a ou σ_α l'écart- type angulaire par station ou pour chaque angle observé (deux lectures angulaires).
Pendant la transmission des gisements, les angles s'ajoutant les uns aux autres, les erreurs vont se composer pour donner une erreur résultante $\sigma = \sigma_a * \sqrt{n+1}$ avec n = nombre de côtés.
Ainsi, nous avons :

- $Ta = T\alpha = \pm 8/3 \cdot \sigma a \cdot \sqrt{n+1}$ si σ_a est l'écart- type angulaire par station ou pour un angle observé. Avec n = nombre de côtés et n + 1 = nombre d'angles.

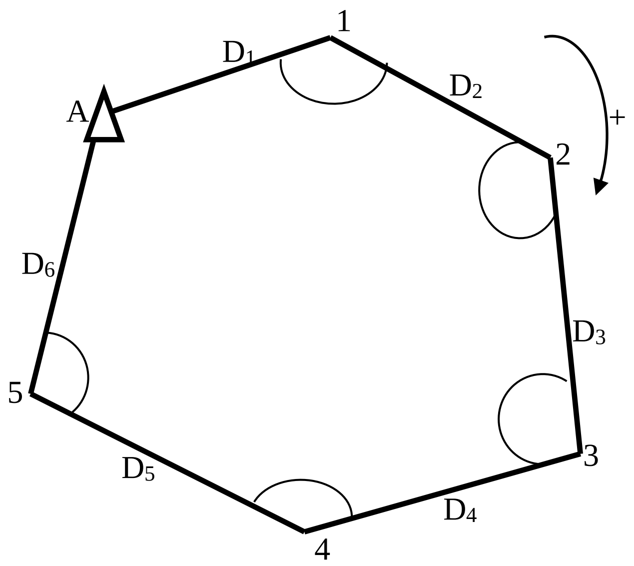
- $Ta = T\alpha = \pm 8/3 \cdot \sigma a \cdot \sqrt{2(n+1)}$ si σ_a est l'écart- type angulaire par lecture angulaire ou pour une visée. Avec n = nombre de côtés et n + 1 = nombre d'angles.

Remarque :

Pour un cheminement fermé, on part d'un point connu en coordonnées et on revient se fermé sur ce même point. Il permet un contrôle par le calcul des angles intérieurs.

$\Sigma\alpha_i = (n - 2) \times 200gr$

$Ta = T\alpha = \pm \frac{8}{3} . \sigma_\alpha . \sqrt{n}$ ou $Ta = T\alpha = \pm \frac{8}{3} . \sigma_\alpha . \sqrt{2n}$



Avec

α_i = angle intérieur

n = nombre de côtés

Exemple : Calculez Ta pour un parcours fermé de six stations mesuré au moyen d'un T_1 avec pour valeur usuelle de l'écart- type angulaire $\sigma_\alpha = \pm 2{,}5$ mgr.

Réponse : $Ta = T\alpha = \pm \frac{8}{3} \times 2{,}5 \times \sqrt{6} = \pm 6{,}66 \times \sqrt{6} = 16{,}33$ mgr

3- <u>Compensation</u>

3.1- <u>Objet</u>

La compensation se fait en vue de rendre le cheminement réversible ; c'est-à-dire, d'obtenir le même résultat quel que soit le sens de calcul utilisé.

Pour ce faire, on repartira l'écart de fermeture, si et seulement si, il est inférieur ou égal à la tolérance sur l'ensemble des angles observés. Ce qui va avoir une incidence sur les différents gisements.

3.2- __Principe de compensation__

La compensation se fait :

- Proportionnellement au nombre d'angles. Il faut donc apporter à chaque angle, une correction notée $C\alpha_i$.

$$\boxed{C\alpha_i = \frac{Efa}{n+1}}$$ avec n = nombre de côtés

- Proportionnellement à la valeur de chaque angle. Il faut donc apporter à chaque angle, une correction notée $C\alpha_i$.

$$\boxed{C\alpha_i = \frac{Efa}{\sum_{i=1}^{n+1} \alpha gi} * \alpha g_i}$$ avec n = nombre de côtés

On obtient : $\alpha gi_{compensé} = \alpha g_{obs.} + C\alpha_i = \overline{\alpha gi}$

$$\boxed{\overline{\alpha gi} = \alpha g_i + C\alpha_i}$$ Et $$\boxed{Efa = G_{obs.Arr.} - G_{cal.Arr.} = 0}$$

3.3- __Transmission des gisements compensés__

Après application de la correction angulaire, les gisements qui sont transmis sont dits compensés.
Une fois ces gisements compensés obtenus, on dit qu'on a rendu le cheminement réversible ; car ce sont ces gisements qui vont être utilisés pour le calcul des coordonnées rectangulaires des sommets de la polygonale. On obtient :

$G_{icompensé} = G_{i-1\ compensé} + \overline{\alpha gi} - 200gr$

Ou

$G_{icompensé} = G_{i-1\ compensé} - \overline{\alpha di} + 200gr$

Et

$$\boxed{Efa = G_{obs.Arr.} - G_{cal.Arr.} = 0}$$

4- Application

Calculez $\overline{\alpha gi}$ et $\overline{Gi}$ avec $\sigma_\alpha = \pm$ 2,5 mgr / Angle

POINTS	αg_i(gr)	$\overline{\alpha gi}$	G_i(gr)	$\overline{Gi}$	D_i(m)
C					
			251,324	251,324	
A	39,432^{+1}	39,433			
			90,756	90,757	78,12
1	219,887^{+3}	219,890			
			110,643	110,647	89,72
2	182,143^{+2}	182,145			
			92,786	92,792	63,41
3	228,478^{+3}	228,481			
			121,264	121,273	69,68
4	151,738^{+2}	151,740			
			73,002	73,013	64,93
B	257,128^{+3}	257,131			
			130,130	130,144	
D					
Σ	1078,806				365,86

$Efa = G_{obs.Arr.} - G_{cal.Arr.} = 130,130 - 130,144$ Efa = 0,014gr   **Efa = - 14 mgr**

$Ta = \pm \frac{8}{3} * \sigma_\alpha * \sqrt{n+1}$ $Ta = \pm \frac{8}{3} \times 2,5 \times \sqrt{6}$

Ta = ± 16,33 mgr

On a : $|Efa| < |Ta| \Rightarrow$ compensation

$C\alpha$ = - Efa ⇒ **$C\alpha$ = + 14 mgr**

Compensation proportionnelle à la valeur de chaque angle.

$C\alpha_i = \frac{Efa}{\sum_{i=1}^{n+1} \alpha gi} * \alpha g_i$

$C\alpha_A = \frac{+14}{1078,86} \times 39,432 = +0.51 \simeq +1$ mgr $C\alpha_4 = \frac{+14}{1078,86} \times 151,738 = +1,97 \simeq +2$ mgr

$C\alpha_1 = \frac{+14}{1078,86} \times 219,887 = +2.85 \simeq +3$ mgr $C\alpha_B = \frac{+14}{1078,86} \times 257,128 = +3,34 \simeq +3$ mgr

$C\alpha_2 = \frac{+14}{1078,86} \times 182,143 = +2,36 \simeq +2$ mgr

$C\alpha_3 = \frac{+14}{1078,86} \times 228,478 = +2,96 \simeq +3$ mgr

Leçon 4 : CALCUL DES COORDONNEES RECTANGULAIRES D'UNE POLYGONALE

1- <u>Principe</u>

Connaissant le gisement et la distance de chaque côté de la polygonale, les coordonnées rectangulaires des sommets successifs se calculent de proche en proche de l'origine (départ) vers l'extrémité (arrivée).

2- <u>Calcul de coordonnées relatives</u> : ΔX et ΔY

On appelle coordonnées relatives les ΔX et ΔY qui représentent la différence des abscisses et celle de ordonnées.

$\Delta X_1 = D_1.\sin G1$

$\Delta Y_1 = D_1.\cos G1$

D'où

$\Delta \mathbf{X_{AB}} = \sum_{i=1}^{n} \Delta Xi$

$\Delta \mathbf{Y_{AB}} = \sum_{i=1}^{n} \Delta Yi$

Avec n = nombre de côtés.

1- <u>Calcul des coordonnées absolues</u> : X et Y

$X_1 = X_A + D_1.\sin G\overrightarrow{A1}$

$X_2 = X_1 + D_2.\sin G\overrightarrow{12}$

$X_3 = X_2 + D_3.\sin G\overrightarrow{23}$

$X_4 = X_3 + D_4.\sin G\overrightarrow{34}$

$X_B = X_4 + D_5.\sin G\overrightarrow{4B}$

$\mathbf{X_B = X_A + \sum Di.\sin Gi}$

$Y_1 = Y_A + D_1.\cos G\overrightarrow{A1}$

$Y_2 = Y_1 + D_2.\cos G\overrightarrow{12}$

$Y_3 = Y_2 + D_3.\cos G\overrightarrow{23}$

$Y_2 = Y_3 + D_4.\cos G\overrightarrow{34}$

$Y_B = Y_4 + D_5.\cos G\overrightarrow{4B}$

$\mathbf{Y_B = Y_A + \sum Di.\cos Gi}$

2- Application

ΔX	ΔY	X	Y
		782875.12	215320.46
+77.298	+11.301		
		782952.42	215331.76
+88.468	-14.935		
		783040.89	215316.83
+63.004	+7.164		
		783103.89	215323.99
+65.826	-22.853		
		783169.72	215301.14
+59.183	+26.707		
		783228.90	215327.84

Remarques

Les coordonnées ici calculées sont dites provisoires. Elles feront l'objet d'une autre compensation plutard. Voilà pourquoi les coordonnées calculées à l'arrivée sont quelque peu différentes des coordonnées connues au point d'arrivée.

TABLEAU RECAPITULATIF

N° pts	α_{gi}	G_i	D_i	$\overline{\alpha gi}$	$\overline{Gi}$	ΔX	ΔY	X_p	Y_p
C									
		251.324			251.324				
A	36.432^{+1}			39.434				782875.12	215320.46
		90.756	78.12		90.758	+77.298	+11.301		
1	219.887^{+3}			219.889				782952.42	215331.76
		110.643	89.72		110.647	+88.468	-14.935		
2	182.143^{+2}			182.145				783040.89	215316.83
		92.786	63.41		92.792	+63.004	+7.164		
3	228.478^{+3}			228.481				783103.89	215323.99
		121.264	69.68		121.273	+65.826	-22.853		
4	151.738^{+2}			151.741				783169.72	215301.14
		73.002	64.93		73.014	+59.183	+26.707		
B	257.128^{+3}			257.130				783228.90	215327.84
		130.130			130.144				
D									
Σ	1078.806		365.86			+353.779	+7.384		

Leçon 5 : COMPENSATION PLANIMETRIQUE D'UN CHEMINEMENT ENCADRE OU FERME

1- <u>Définition</u>

La compensation planimétrique d'un cheminement est l'opération qui consiste à repartir l'erreur commise en abscisses et en ordonnées sur les coordonnées rectangulaires provisoires. La compensation se fait si et seulement si, les écarts de fermetures planimétriques (Fx et Fy) sont inférieurs aux tolérances planimétriques (Tx et Ty).

2- <u>Ecart de fermeture</u>

2.1- <u>Ecart de fermeture en abscisses</u>

C'est la différence entre l'abscisse obtenue à l'arrivée et l'abscisse connue à l'arrivée. Il est noté : E_X ou F_X.

$E_X = F_X = X_{obs.arr.} - X_{connue\ arr.}$

$E_X = F_X = X_{B\ obs} - X_{B\ connue}$

$E_X = F_X = X_A + \sum_{i=1}^{n} \Delta Xi - X_{connnue\ arr.}$

2.2- *<u>Ecart de fermeture en ordonnées</u>*

C'est la différence entre l'abscisse obtenue à l'arrivée et l'abscisse connue à l'arrivée. Il est noté : E_Y ou F_Y

$E_Y = F_Y = Y_{obs.arr.} - Y_{connue\ arr.}$

$E_Y = F_Y = Y_{B\ obs} - Y_{B\ connue}$

$E_Y = F_Y = Y_A + \sum_{i=1}^{n} \Delta Yi - Y_{connnue\ arr.}$

3- Compensation des coordonnées

3.1- Compensation en abscisses relatives

La compensation totale notée C_X est : $C_X = -E_X = -F_X$
La compensation élémentaire sur chaque abscisse est notée : $C_{\Delta Xi}$

$$C_{\Delta Xi} = \frac{Cx}{\sum_{i=1}^{n} Di} * D_i = \frac{-Ex}{\sum_{i=1}^{n} Di} * D_i = \frac{-Fx}{\sum_{i=1}^{n} Di} * D_i$$

$$\boxed{C_{\Delta Xi} = \frac{Cx}{\sum_{i=1}^{n} Di} * D_i}$$ Et $$\boxed{\overline{\Delta Xi} = \Delta X_i + C_{\Delta Xi}}$$ D'où $E_X = 0$

3.2- Compensation en ordonnées relatives

La compensation totale notée C_Y est : $C_Y = -E_Y = -F_Y$
La compensation élémentaire sur chaque abscisse est notée : $C_{\Delta Yi}$

$$C_{\Delta Yi} = \frac{CY}{\sum_{i=1}^{n} Di} * D_i = \frac{-EY}{\sum_{i=1}^{n} Di} * D_i = \frac{-FY}{\sum_{i=1}^{n} Di} * D_i$$

$$\boxed{C_{\Delta Yi} = \frac{CY}{\sum_{i=1}^{n} Di} * D_i}$$ et $$\boxed{\overline{\Delta Yi} = \Delta Y_i + C_{\Delta Yi}}$$ D'où $E_Y = 0$

4- Application

	ΔX	ΔY	X_P	Y_P	X	Y
C						
A			782875.12	215320.46	782875.12	215320.46
	$+77.298^{+9}$	$+11.301^{-9}$				
1			782952.42	215331.76	782952.43	215331.75
	$+88.468^{+10}$	-14.935^{-10}				
2			783040.89	215316.83	783040.91	215316.81
	$+63.004^{+7}$	$+7.164^{-7}$				
3			783103.89	215323.99	783103.92	215323.96
	$+65.826^{+8}$	-22.853^{-8}				
4			783169.72	215301.14	783169.75	215301.10
	$+59.183^{+7}$	$+26.707^{-7}$				
B			783228.90	215327.84	783228.94	215327.80
D						

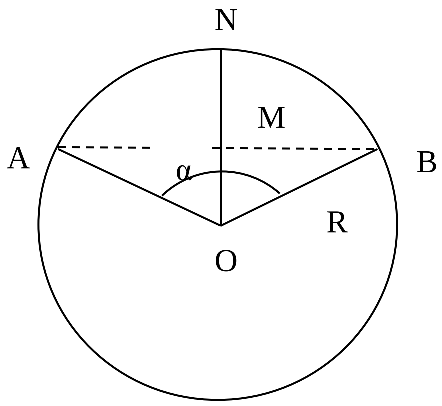
TABLEAU RECAPITALATIF

N° pts	α_{gi}	G_i	D_i	$\overline{\alpha_{gi}}$	$\overline{G_i}$	ΔX	ΔY	X_p	Y_p	X	Y
C											
		251.324			251.324						
A	36.432^{+1}			39.434				782875.12	215320.46	782875.12	215320.46
		90.756	78.12		90.758	$+77.298^{+9}$	$+11.301^{-9}$				
1	219.887^{+3}			219.889				782952.42	215331.76	782952.43	215331.75
		110.643	89.72		110.647	$+88.468^{+10}$	-14.935^{-10}				
2	182.143^{+2}			182.145				783040.89	215316.83	783040.91	215316.81
		92.786	63.41		92.792	$+63.004^{+7}$	$+7.164^{-7}$				
3	228.478^{+3}			228.481				783103.89	215323.99	783103.82	215323.96
		121.264	69.68		121.273	$+65.826^{+8}$	-22.853^{-8}				
4	151.738^{+2}			151.741				783169.72	215301.14	783169.75	215301.10
		73.002	64.93		73.014	$+59.183^{+7}$	$+26.707^{-7}$				
B	257.128^{+3}			257.130				783228.90	215327.84	783228.94	215327.80
		130.130			130.144						
D											
Σ	1078.806		365.86			+353.779	+7.384				

Chapitre 5 : RACCORDEMENTS CIRCULAIRES

Leçon 1 : **PROPRIETES DU CERCLE**

1- Equation



Soit un cercle C (O, R).
L'équation d'un cercle de centre O (X_o, Y_o) et de rayon R est :

$$\boxed{(X - X_o)^2 + (Y - Y_o)^2 = R^2}$$

2- Notions d'Arc, de Flèche, de Corde

a) On appelle arc la partie circulaire AB notée AB, d'angle au centre α.
b) On appelle corde la longueur du segment$[AB]$.
c) On appelle flèche la longueur du segment$[MN]$.

2.1- **Relation entre les éléments du cercle**

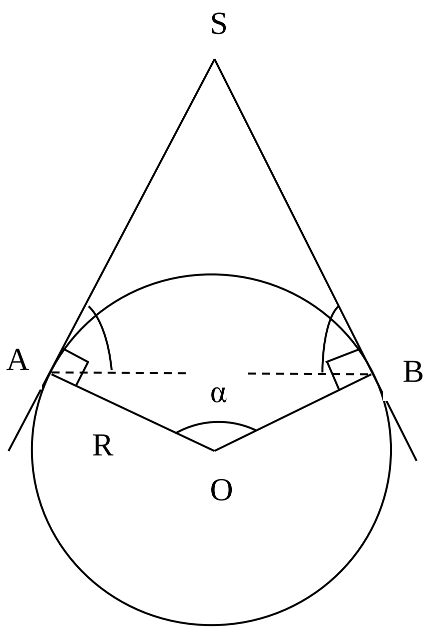
$$\boxed{AB = 2R * \sin(\frac{\alpha}{2})}$$

$$\boxed{MN = R - R * \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = R\left[1 - \cos(\frac{\alpha}{2})\right]}$$

$$\boxed{AB = R - \alpha rad = R * \frac{\pi}{200} * \alpha gr}$$

2.2- <u>Relation d'angle entre corde et tangente</u>

L'angle entre la corde $[AB]$ et la tangente au cercle en A(ou en B) vaut α/2.



Démonstration

Le triangle AOB étant isocèle, on a :

$\widehat{BAO}=\widehat{ABO}=\frac{200-\alpha}{2}$= 100-α/2

La tangente en A au cercle étant perpendiculaire au rayon OA= R, il vient que l'angle entre la tangente et la corde est α/2.

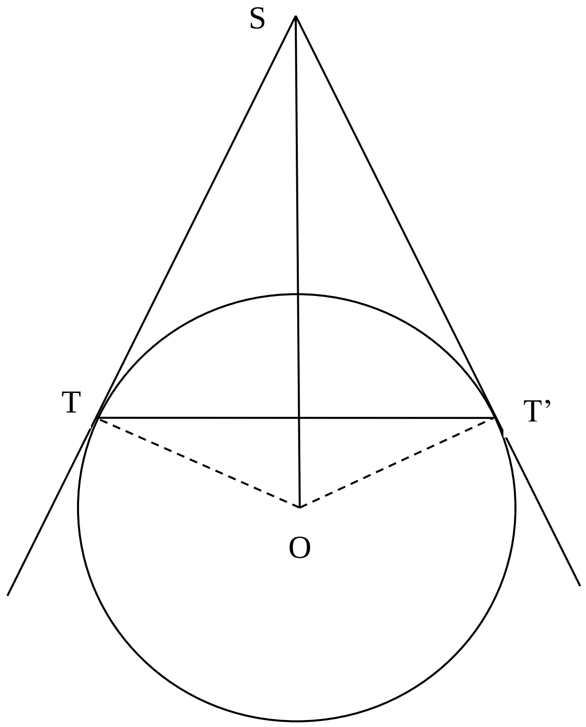
Le même raisonnement s'applique en B.

Leçon 2 : **RACCORDEMENTS CIRCULAIRES SIMPLES**

1- Définition

Un raccordement circulaire simple est un arc de cercle TT' tangent à deux alignements droits ST et ST'.

Le point S est le sommet du raccordement ; il est l'intersection des deux alignements droits.



(OS) bissectrice des angles $\hat{S}$ et α.
On démontre que dans le triangle STO rectangle en T, $100 = \frac{S}{2} + \frac{\alpha}{2} \Rightarrow \frac{S}{2} = 100 - \frac{\alpha}{2}$

Donc $\widehat{OTT'} = \widehat{OT'T} = \frac{S}{2}$

2- Calcul des principaux éléments d'une courbe circulaire

2.1- **Eléments connus**

- l'angle au sommet ($\hat{S}$)
- le rayon de raccordement (R)

2.2- **Eléments inconnus**

- les tangentes ST et ST'.
- la corde TT'
- la flèche F
- le développement de la courbe TT'.

3- <u>formules de calcul des principaux éléments</u>

3.1- **<u>Tangente ST ou ST'</u>**

On considère le triangle OTS rectangle en T.

$\alpha = 200 - \hat{S}$ $\quad tg(\frac{\hat{S}}{2}) = \frac{R}{ST}$ $\quad \Rightarrow$ $\boxed{ST = ST' = R.\tan(\alpha/2)}$

$\boxed{ST = ST' = R.\ \mathrm{cotan}(S/2)}$

3.2- **<u>Corde TT'</u>**

On considère le triangle OTM rectangle en M.

$TM = R\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ or $2TM = TT'$ $\Rightarrow TT' = 2R\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$

$TM = R\cos\left(\frac{\hat{S}}{2}\right)$ or $2TM = TT'$ $\Rightarrow TT' = 2R\cos\left(\frac{\hat{S}}{2}\right)$

3.3- **<u>Flèche MN = F</u>**

On considère le triangle OTM rectangle en M.

$F = MN = R - OM$; or, $OM = R\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ $\Rightarrow$

$F = R - = R\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = R\left[1 - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right]$ ou $F = R\left[1 - \sin\left(\frac{\hat{S}}{2}\right)\right]$

$$\boxed{F = R\left[1 - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right] = R\left[1 - \sin\left(\frac{\hat{S}}{2}\right)\right]}$$

3.4- **<u>Développement de la courbe</u>** D

$2\pi R \rightarrow 400gr$

$\Rightarrow \frac{2\pi R}{D} = \frac{400}{\alpha} \Rightarrow D = \frac{2\pi R\alpha}{400} = \frac{\pi R\alpha}{200}$ $\boxed{\mathbf{D} = \frac{\pi R\alpha}{200}}$

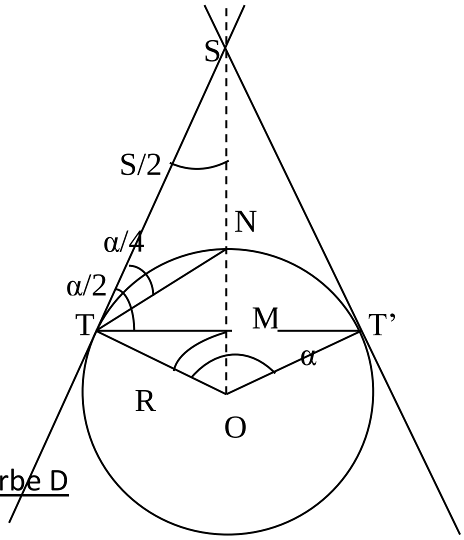
$D \leftarrow \alpha$

Leçon 3 : IMPLANTATION DE COURBE PAR COORDONNEES POLAIRES

1- Formule de calcul des tangentes

R et $\hat{S}$ sont connus.

ST = ST' =R.cotg($\frac{\hat{S}}{2}$)

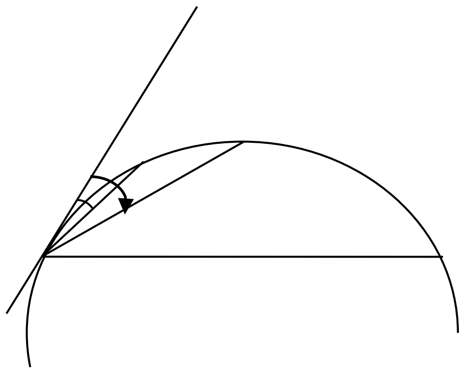


2- formule de calcul du développement de la courbe D

$$\boxed{D = \frac{\pi R \alpha}{200}}$$

3- Formule de calcul des éléments d'implantation

3.1- Angles d'implantation



On sait que TN = D/2 → α/4 = λ

x → λ

$\frac{\lambda.D}{2} = \frac{x\alpha}{4} \Rightarrow \lambda.D = \frac{x\alpha}{2} \Rightarrow 2\lambda.D = x\alpha$

$\lambda = \frac{x\alpha}{2D}$ or $D = \frac{\pi R\alpha}{200}$ d'où $\lambda = \frac{100.x.\alpha}{\pi R\alpha} = \frac{x.100}{\pi R}$

$$\boxed{\lambda = \frac{x.100}{\pi R}}$$

b- **Longueurs d'implantation**

Dans le triangle OTI, on a :

$\sin\lambda = \frac{\frac{l}{2}}{R}$ $\Rightarrow$ R.$\sin\lambda = \frac{l}{2}$

$\Rightarrow$ l = 2.R.$\sin\lambda$

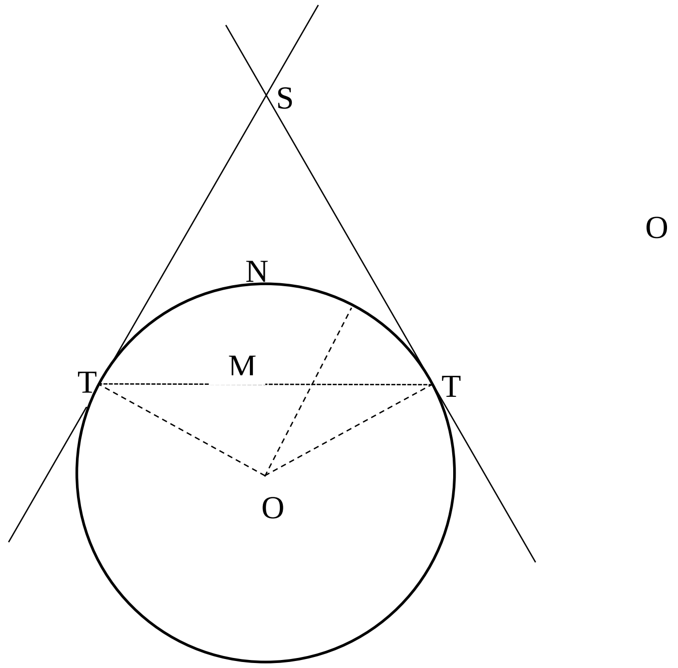
Calculez les elements d'implantation de la courbe de rayon R = 30m et l'angle au sommet $\hat{S}$ = 150gr. (tous les 2m = x sur la courbe).

$\hat{S}$ = 150gr	α = 50gr		R = 30m	
ST = R.$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ ST = R.$\cot\left(\frac{\hat{S}}{2}\right)$		D = $\frac{\pi R\alpha}{200}$	$\lambda = \frac{x.100}{\pi R}$	
ST = 12.426m		D = 23.562m	$\lambda = \frac{x.100}{\pi R}$	
Station	pts	x	$\lambda = \frac{x.100}{\pi R}$	l =2R$\sin\lambda$
T	N	11.781	12.500	11.705
	1	2	2.122	2.00
	2	4	4.244	4.00
	3	6	6.366	5.990
	4	8	8.488	7.976
	5	10	10.610	9.953
T'	N	11.781	387.500	11.705

IMPLANTATION DE COURBE PAR ABSCISSES ET ORDONNEES SUR LA CORDE

1. Principe

On détermine en coordonnées (X, Y) les points courants de la courbe en prenant pour axe des abscisses la corde et pour origine le milieu de celle- ci.
On prendra pour axe des ordonnées la flèche et on calculera les coordonnées (X, Y) sur une partie de la corde et par symétrie, on déduira celles de l'autre partie.



2. Calcul du développement de la courbe

D = $\frac{\pi . R . \alpha}{200}$

On sait que : D → α

x → β

$\Longrightarrow \beta = \frac{x . \alpha}{D} = \frac{200 . x . \alpha}{\pi . R . \alpha}$

$\boxed{\beta = \frac{200 . x}{\pi . R}}$

Calcul des éléments d'implantation

Abscisse

Dans le triangle OPY, on a : $\sin\beta = \frac{X}{R} \Longrightarrow$ X = R.$\sin\beta$

3.2. Ordonnée

Y = OY – OM, or dans le triangle OPY rectangle en Y, $\cos\beta = \frac{OY}{R}$ et dans le triangle OMT' rectangle en M, $\cos(\alpha/2) = \frac{OM}{R} \Longrightarrow$ OY = R.$\cos\beta$ et OM = R.$\cos(\alpha/2)$

D'où, Y = R.$\cos\beta$ – R.$\cos(\alpha/_2)$

$$\boxed{Y = R[\cos\beta - \cos(\alpha/_2)]}$$

NB :

- β est l'angle au centre correspondant au point à implanter.
- α est l'angle au centre correspondant à la courbe à implanter.

4. Application

Calculez les éléments d'implantation de la courbe de rayon R = 200,00 m et d'angle au sommet $\hat{S}$ = 175,000 gr. Les points seront implantés régulièrement tous les 5,00 m.

$\hat{S}$ = 175,000 gr	α = 25,000 gr	R = 200,00 m		
ST = R.$\tan(\alpha/_2)$ ST = R.$\cot(\hat{S}/_2)$ ST = 39,78 m		D = $\frac{\pi.R.\alpha}{200}$ D = 78,540 m	TT' = 2.R.$\sin(\alpha/_2)$ TT' = 78,036 m	
β = $\frac{x.200}{\pi.R}$	$\Longrightarrow$ β = $\frac{5\ X\ 200}{\pi.R}$		$\Longrightarrow$ β = 1,5915 gr	
Pts	x	Angle β	X = π.R.$\sin\beta$	Y = R[$\sin\beta$] – $\cos(\alpha/_2)$
N	0	0	0	3,843
1	5	1,5915	5,000	3,780
2	10	3,1831	9,996	3,593
3	15	4,7746	14,986	3,821
4	20	6,3662	19,967	2,844
5	25	7,9577	24,935	2,283
6	30	9,5493	29,888	1,597
7	35	11,1408	34,821	0,788
T'	39 ,27	12,5000	39,018	0,000

EVALUATION FORMATIVE

ENONCE

1- Calculez les éléments d'implantation de la courbe de rayon R = 400,00 m et d'angle au sommet $\hat{S}$ = 185,750 gr. (Les points seront implantés tous les 5,00 m)
2- Définissez le mode opératoire d'implantation de la courbe sur le terrain par abscisses et ordonnées sur la corde.

CORRIGE DE L'EVALUATION FORMATIVE

R = 400,00 m	$\hat{S}$ =8,000 gr	α = 14,250 gr	
ST = R.$\tan(\alpha/_2)$ ST = R.$\cot(\hat{S}/_2)$ ST = 44,956 m		D = $\frac{\pi.R.\alpha}{200}$ D = 89,535 m	TT' = 2.R.$\sin(\alpha/_2)$ TT' = 89,349 m
β = $\frac{x.200}{\pi.R}$	$\Longrightarrow$ β = $\frac{5\ X\ 200}{\pi.400}$		$\Longrightarrow$ 0,7958 gr

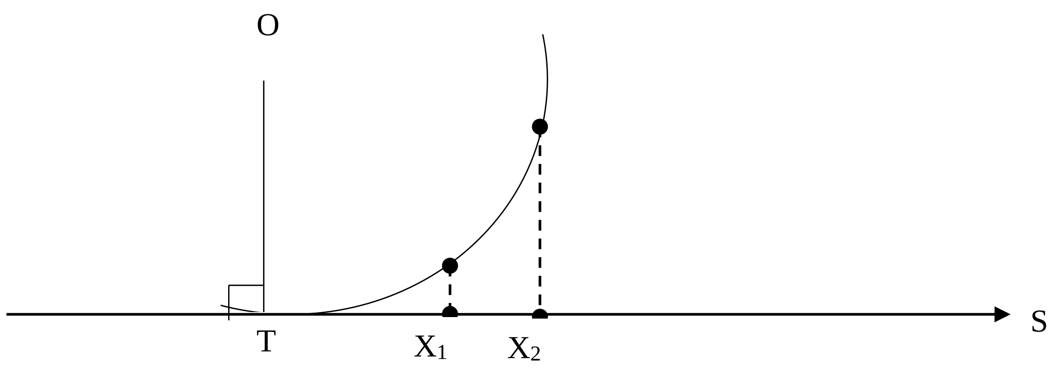
Pts	x	Angle β	$X = \pi.R.\sin\beta$	$Y = R[\sin\beta] - \cos(\alpha/2)$
N	0	0	0	2,503
1	5	0,7958	5,000	2,471
2	10	1,5915	9,999	2,378
3	15	2,3878	14,996	2,221
4	20	3,1831	19,992	2,003
5	25	3,9789	24,984	1,722
6	30	4,7746	29,972	1,378
7	35	5,5704	34,955	0,972
8	40	6,3662	39,933	0,504
T’	44,7676	7,125	44,674	0,000

LECON 21

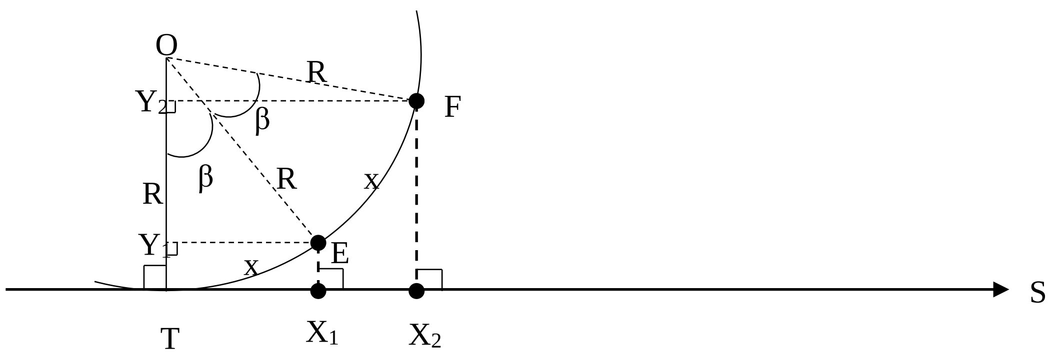
IMPLANTATION DE COURBE PAR ABSCISSES ET ORDONNEES SUR LA TANGENTE

1. Principe

On détermine en coordonnées (X, Y) les points courants de la courbe en prenant pour axe des abscisses la tangente (TS) et pour origine le point de tangence T. cela suppose que les points de tangence ont été préalablement implantés.



2. Calcul du développement de la courbe



D = $\frac{\pi.R.\alpha}{200}$

On sait que $\left.\begin{array}{l} D \rightarrow \alpha \\ x \rightarrow \beta \end{array}\right\} \Longrightarrow \beta = \frac{200 * x}{\pi.R}$

T

3. Calcul des éléments d'implantation

3.1. Abscisse

Dans le triangle OEY_1 rectangle en Y_1, on a :

$\sin\beta = \frac{X1}{R} \Longrightarrow X_1 = R.\sin\beta$

$$\boxed{X = R.\sin\beta}$$

3.2. Ordonnée

$Y_1 = R - OY_1$; or $\cos\beta = \frac{OY1}{R} \Longrightarrow OY_1 = R.\cos\beta$; d'où $Y_1 = R - R.\cos\beta = R(1 - \cos\beta)$

$$\boxed{Y = R(1 - \cos\beta)}$$

NB : β est l'angle au centre correspondant au point à implanter.

4. Application

Soit un cercle de rayon R = 30,00 m et d'angle au sommet $\hat{S}$ = 65, 730 gr.
Calculez les abscisses et les ordonnées des points de la courbe sur la tangente pour chaque arc régulier de 5,00 m.

R = 30,00 m		$\hat{S}$ = 65,730 gr		α = 134,270 gr
ST = $R.\tan(\alpha/2)$ ST = $R.\cot(\hat{S}/2)$			D = $\frac{\pi.R.\alpha}{200}$	$TT' = 2.R.\sin(\alpha/2)$
ST = 52,856 m			D = 63,273 m	TT' = 52,181 m
β = $\frac{x.200}{\pi.R}$		$\Longrightarrow$ β = $\frac{5\ X\ 200}{\pi.R}$		$\Longrightarrow$ β = 10,6103 gr
Pts	x	Angle β	X = $R.\sin\beta$	Y = $R.(1 - \cos\beta)$
N	31,637	67,1358	26,091	15,192
1	5	10,6103	4,979	0,416
2	10	21,221	9,816	1,651
3	15	31,831	14,383	3,673
4	20	42,441	18,551	6,423
5	25	53,052	22,205	9,828
6	30	63,6620	25,244	13,791

EVALUATION FORMATIVE

ENONCE DE L'EVALUATION FORMATIVE

On donne : R = 500,00 m ; $\hat{S}$ = 175,899 gr

Calculez les points courants de la courbe par abscisse et ordonnées sur la tangente avec un arc régulier de 10,00 m.

R = 500,00 m	$\hat{S}$ = 175,899 gr	α = ... gr
ST = R.$\tan\left({}^{\alpha}/_{2}\right)$ ST = R.$\cot\left({}^{\hat{S}}/_{2}\right)$	D = $\frac{\pi.R.\alpha}{200}$	TT' = 2.R.$\sin\left({}^{\alpha}/_{2}\right)$
ST = ... m	D = ... m	TT' = ... m
β = $\frac{x.200}{\pi.R}$	⟹ β = $\frac{10\ X\ 200}{\pi.R}$	⟹ β = ... gr

Pts	x (m)	Angle β (gr)	X = R.$\sin\beta$ (m)	Y = R.$(1-\cos\beta)$ (m)
N				

CORRIGE DE L'EVALUATION FORMATIVE

R = 500,00 m	$\hat{S}$ = 175,899 gr	α = 24,101 gr
ST = R.$\tan\left({}^{\alpha}/_{2}\right)$ ST = R.$\cot\left({}^{\hat{S}}/_{2}\right)$	D = $\frac{\pi.R.\alpha}{200}$	TT' = 2.R.$\sin\left({}^{\alpha}/_{2}\right)$
ST = 95,791 m	D = 189,289 m	TT' = 188,161 m
β = $\frac{x.200}{\pi.R}$	⟹ β = $\frac{10\ X\ 200}{\pi.R}$	⟹ β = 1.2732 gr

Pts	x	Angle β	X = R.$\sin\beta$	Y = R.$(1-\cos\beta)$
N	94.6445	12,0505	94,080	9,931
1	10	1,2732	9,999	0.100
2	20	2,5465	19,995	0.400
3	30	3,8197	29,982	0,900
4	40	5,0930	39,958	1,599
5	50	6,3662	49,917	2,498
6	60	7,6394	59,8558	3,596
7	70	8,9127	69,772	4,892
8	80	10,1859	79,659	6,386
9	90	11,4592	89,515	8,078

Chapitre 6: PROCEDES GENERAUX D'IMPLANTATION

OBJECTIF INTERMEDIAIRE

Enoncer les procédés généraux d'implantation d'ouvrages

OBJECTIFS PEDAGOGIQUES

1. Identifier les différentes phases de l'implantation d'un ouvrage de génie civil
2. Enoncer les procédés d'implantation par mesures linéaire
3. Enoncer les procédés d'implantation avec l'équerre optique
4. Enoncer les procédés d'implantation avec un goniomètre
5. Identifier les différentes façons de matérialiser les points
6. Expliquer le procédé de l'implantation d'un repère altimétrique

PLAN DU COURS

Leçon 1 : PHASES DE L'IMPLANTATION
1-Définition
2- Les instruments
3-Points communs entre implantation et lever
4- Les phases de l'implantation
Leçon 2 : TRACES EXPEDIES PAR MESURES LINEAIRES
1-Définition
2-Procédés d'implantation
Leçon 3 : TRACES A L'AIDE DE L'EQUERRE OPTIQUE
1-L'équerre à double prisme
2-Procédés d'implantation
Leçon 4 : TRACE E L'AIDE D'UN GONIOMETRE
1-Nécessité
2-Procédés de tracé
Leçon 5 : MATERIALISATION DES POINTS
1-Définition
2-Matérialisation
Leçon 6 : IMPLANTATION DE REPERES ALTIMETRIQUES
1-Définition
2- Pose d'un trait de niveau ou nivellement d'un repère.

PRESENTATION DE LA FORMATION

Préalable à l'implantation proprement dite, ce chapitre vise à expliquer les procédés principaux d'implantation. Ce qui permettra de faire les différents choix en connaissance de cause.

Leçon 1: PHASES DE L'IMPLANTATION

1- ***Définition***

L'implantation consiste à tracer sur le terrain, suivant les indications d'un plan, la position exacte d'un ou plusieurs bâtiments, ouvrages d'art, axes des voies de communication, alignements prescrits par les services publics, etc.

2- ***Les instruments***

Les instruments nécessaires à une implantation peuvent être suivant la précision requise, les théodolites, les niveaux, les équerres optiques, les jalons, les fiches, les chaînes, les marteaux, etc.

5- ***Points communs entre implantation et lever***

L'implantation qui est une application directe des connaissances de topographie intervient souvent après un levé de plan.
Un certain nombre de points communs existent entre les opérations de lever et les opérations d'implantation.

- Nécessité d'utiliser un canevas de base. Dans ce cas, celui qui a servi au levé du terrain est utilisé pour l'implantation.
- Etablir la chronologie des opérations en respectant le principe fondamental de ne jamais faire une mesure sans prévoir de canevas.
- Usage de même procédés planimétriques et altimétriques
- Nécessité de mesures surabondantes pour assurer les contrôles et la compensation des erreurs accidentelles.

4- ***Les phases de l'implantation***

Une implantation comporte deux phases d'exécution :

- Exploitation des documents de terrain ou de plans dont on dispose pour en extraire par lecture directe ou par calcul, les éléments d'implantation.

- Application sur le terrain des moyens et des procédés nécessaires à l'implantation.

Leçon 2 : TRACES EXPEDIES PAR MESURES LINEAIRES

1- *Définition*

L'implantation par mesure linéaire se fait uniquement à l'aide des instruments de mesures linéaires. Elle est peu précise.

2- *Procédés d'implantation*

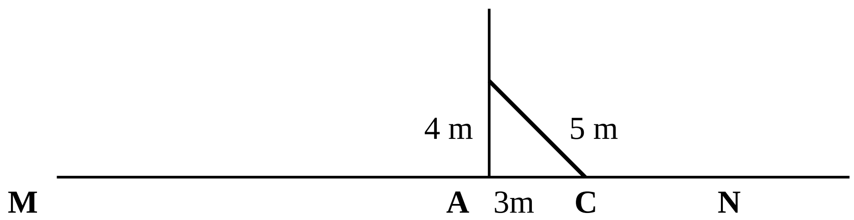
2.1- Alignement entre deux points connus

Pour matérialiser l'alignement entre deux points, il suffit de procéder par un jalonnement ou tendre un cordeau entre les deux points si cela est possible.

2.2- Elever une perpendiculaire à une droite

2.2.1- Le procédé du 3-4-5

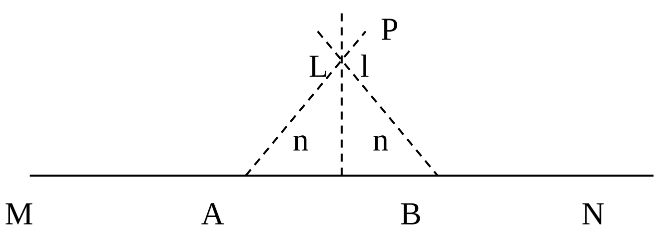
Ce procédé repose sur l'utilisation du théorème de Pythagore. En effet dans un triangle rectangle la somme des carrés des côtés de l'angle droit est égale au carré de l'hypoténuse.
Sur un axe MN, A étant donné il suffit d'aligner C à 3m, le point B se trouvera à l'intersection de deux arcs de cercle de rayon AB = 4m et CB = 5m.



L'erreur commise sur le point est de 1 à 2 cm.
On peut également utiliser des multiples du 3-4-5. Ce procédé est valable pour une distance ne dépassant pas une dizaine de mètres.

2.2.1- Le procédé de la médiatrice

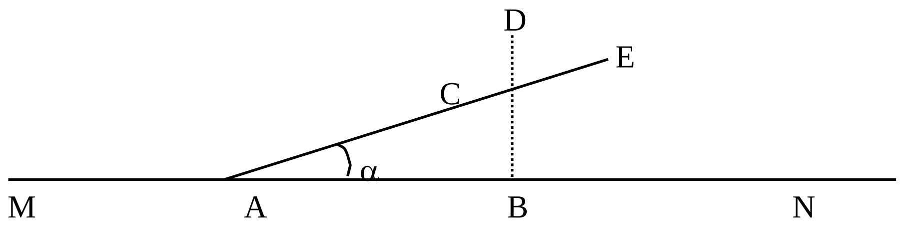
Ce procédé s'appuie sur la propriété suivante : Tout point de la médiatrice se trouve à égale distance des extrémités A et B du segment AB.



Sur un axe MN, H étant donné il suffit de d'aligner A et B à une distance n de H, le point P se trouvera à l'intersection de deux arcs de cercle de rayon l.. La précision planimétrique du point P est de l'ordre de 1à 2 cm.

2.3- Tracé d'un angle donné

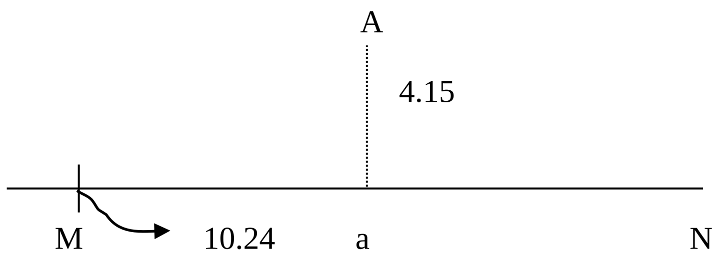
Soient un point donné A sur un axe MN et un alignement AE à tracer de telle sorte que l'angle EAN = α.



Aligner B sur MN à une distance l du point A. Tracer une perpendiculaire BD à l'axe MN, avec les procédés 3-4-5 ou médiatrice. Sur cette perpendiculaire Bd aligner C à une distance BC égale à l×tgα.

2.3- Implantation de points par abscisses et ordonnées

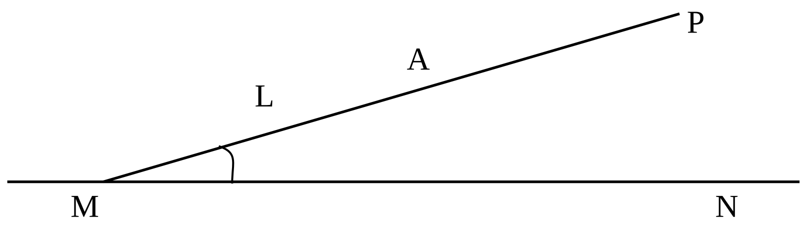
Soient un axe donné MN, et un point à implanter A dont on connaît les coordonnées rectangulaires.



Les coordonnées du point A, relatives à l'axe MN sont les suivantes:
X=10.24m
Y=4.15m
Matérialiser le point a sur l'alignement MN à une distance Ma = 10.24m. Du point a, tracer une perpendiculaire sur laquelle on placera A à 4.15m.

2-4-Implantation de points par rayonnement

Soient un axe donné MN et un point à implanter A dont on connaît les coordonnées polaires.



Les coordonnées du point A sont les suivantes : Angle AMN = α et distance MA = L
Tracer l'alignement en utilisant le procédé du 2-3. Sur cet alignement matérialiser le point A à une distance L du point M.

Leçon 3 : TRACES A L'AIDE DE L'EQUERRE OPTIQUE

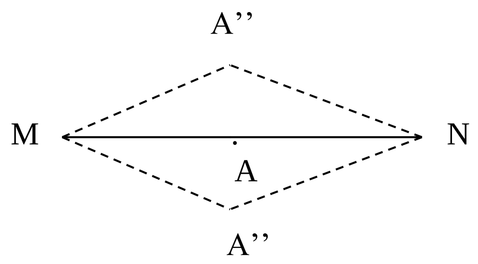
1- L'équerre à double prisme

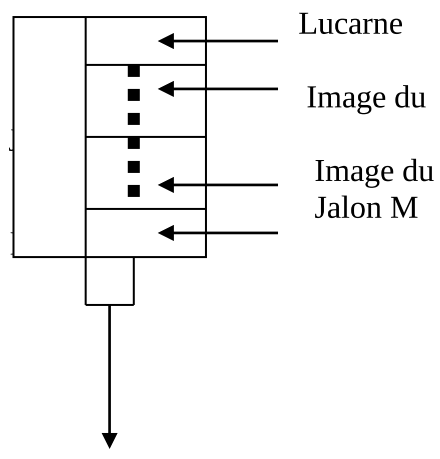
Elle est constituée par deux prismes superposés. Elle permet à un seul opérateur de placer un point sur l'alignement entre deux repères matérialisés par deux jalons.

2- Procédés d'implantation

2.1- Alignement entre deux points

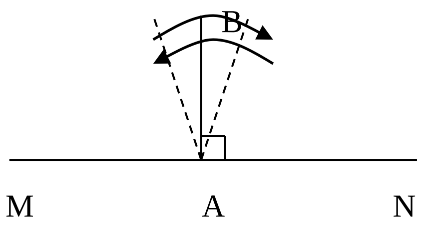
Soit un point A à placer sur un alignement MN :
L'opérateur se place à peu près sur l'alignement, tient l'équerre à hauteur des yeux, avance ou recule perpendiculairement à l'alignement jusqu'à coïncidence des images des deux jalons M et N vus par réflexion dans les prismes. A ce moment le fil à plomb ou la canne de centrage de l'équerre définit un point aligné sur MN.





2.2- D'un point pris sur l'alignement, tracé d'une perpendiculaire à celui-ci

En maintenant l'équerre à l'aplomb du point A, précédemment aligné sur MN, faire déplacer par un aide un jalon B jusqu'à l'amener en prolongement des images des jalons M et N.

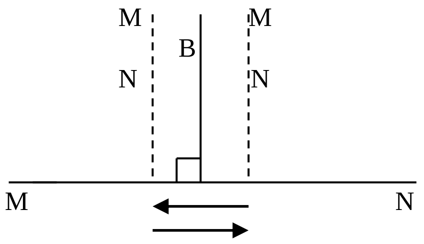


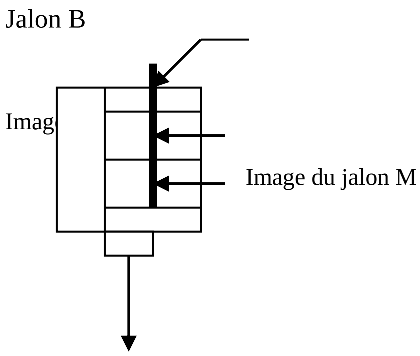
2.3- <u>D'un point extérieur, tracé d'une perpendiculaire sur un alignement</u>

L'opérateur se place à peu près sur l'alignement et au pied approché de la perpendiculaire issue du point extérieur. Il s'aligne exactement sur MN comme décrit précédemment. Les images M et N étant par conséquent en prolongement l'une de l'autre.

Après quoi en conservant le prolongement des images de M et N dans l'équerre, il se déplace sur l'alignement jusqu'à ce que le jalon B vu directement dans la lucarne de l'équerre soit dans le prolongement des images M et N.

L'aplomb de l'équerre donne le point A cherché :





Les tracés avec équerre optique sont peu précis. Les points sont matérialisés au sol avec une précision de quelques centimètres pour des visées limitées à une quinzaine de mètres.

Leçon 4 : TRACE A L'AIDE D'UN GONIOMETRE

1- Nécessité

Les implantations rigoureuses de groupes de bâtiment, routes, voies ferrées, lignes à haute tension, canaux, etc., … nécessitent l'usage d'instruments précis tels que les théodolites, les tachéomètres.

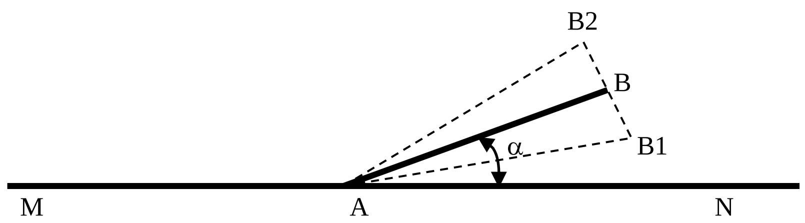
2- Procédés de tracé

2.1- Tracé de grands alignements

Ces grands alignements concernent les voies de communication, ils atteignent des distances de plusieurs centaines de mètres.
La méthode de tracé de grands alignements à l'aide du théodolite est fonction de l'état du terrain. D'une façon générale on retiendra qu'en terrain plat on centre l'instrument sur le point stationnable et on vise l'autre point. On fait alors placer par un aide les points intermédiaires.

2-1 Tracé d'un angle

Soit un point A situé sur l'alignement MN et un alignement AB à tracer faisant un angle α avec MN.

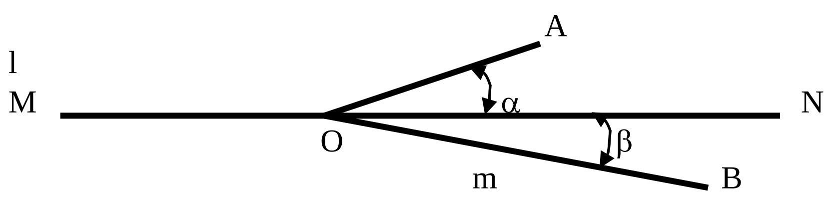


Centrer l'instrument sur A, à l'aide du mouvement particulier rechercher le zéro du limbe et amener cette lecture sur la référence grâce au mouvement général. Ouvrir ensuite l'angle souhaité et matérialiser la direction par un piquet.

2.3- Piquetage de points

2.3.1- Par coordonnées polaires (rayonnement)

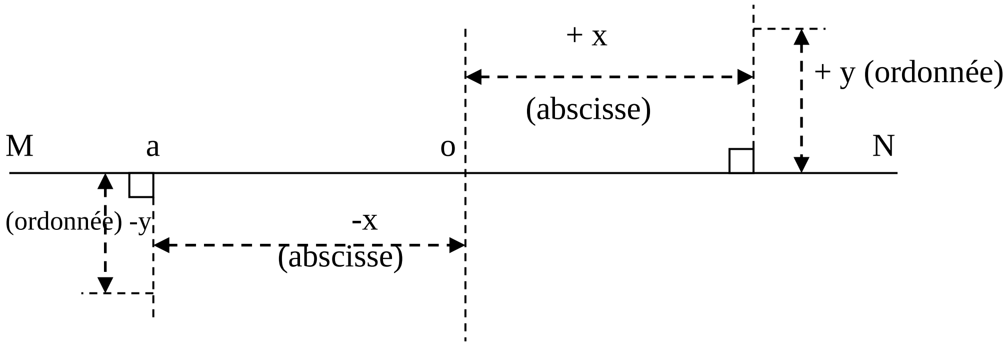
Le procédé consiste à implanter des points connaissant leur distance à un point connu sur un axe donné et leur orientation par rapport à cet axe.
Soient les points A et B à reporter connaissant les angles α,β et les distances l, m à partir d'un point O sur un axe d'implantation dont le gisement est connu.



Connaissant les coordonnées des points A,B et O, il est facile de calculer au préalable les angles et les distances nécessaires à l'implantation. On calcule également les distances entre les points de détails comme éléments de contrôle.

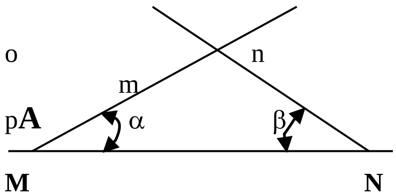
2-3.1 Par coordonnées rectangulaires

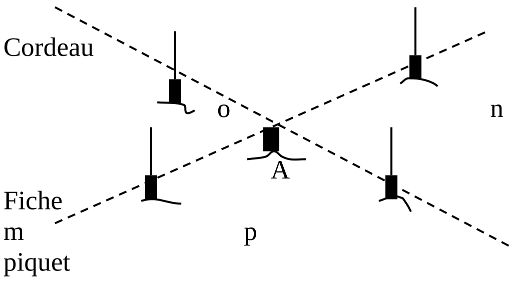
Le procédé consiste à aligner des points auxiliaires, à des distances données (abscisses) sur un axe d'implantation. Des points auxiliaires, on élève des perpendiculaires à l'axe. Sur ces perpendiculaires on pote les distances (ordonnées) des points cherchés. Les abscisses se portent généralement à partir d'une origine, point O de la base reportée sur le terrain. Selon les conventions, abscisses et ordonnées peuvent être positives ou négatives.



2-3.2 Par triangulation

Ce procédé est utilisé sur de grands chantiers (barrages, digues, etc.) où il est difficile de mesurer les distances. Les points nouveaux à implanter sont calculés en coordonnées, et intersectés au théodolite centré successivement sur des points connus.
Soient les points connus M et N sur un axe donné et un point A à implanter :





Les angles α et β sont calculés avec les coordonnées des points de base M,N et du point A à implanter.
Avec le théodolite on trace les angles donnés αet β. Sur les tracés respectifs on porte les points auxiliaires m, n ,o et p proches du point A. Avec deux cordeaux on trace l'intersection A des segments de droite mn et op, puis on matérialise avec un piquet et un clou.

Leçon 5 : MATERIALISATION DES POINTS

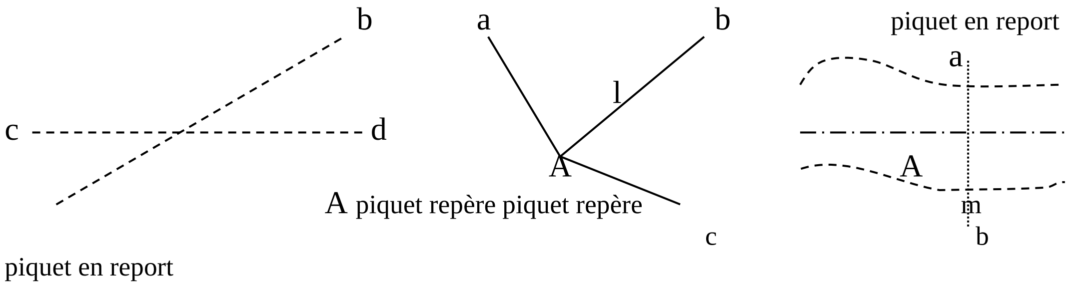
1- ***Définition***

Matérialiser un point, c'est mettre un repère sur le terrain permettant de retrouver le dit point.
En général les points sont matérialisés par des piquets (bois, fer) ou des bornes.

2- ***Matérialisation***

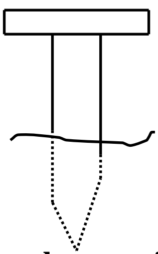
2.1- Les piquets de repèrement

Tous les procédés d'implantation aboutissent à la pose de piquets et clous matérialisant les repères. Au cours des terrassements les piquets risquent de disparaître. Il est indispensable de prévoir des piquets auxiliaires de repèrement implantés en dehors de la zone des travaux. Ces piquets de repèrement doivent permettre une repose facile du repère par alignement ou intersection de mesures linéaires.

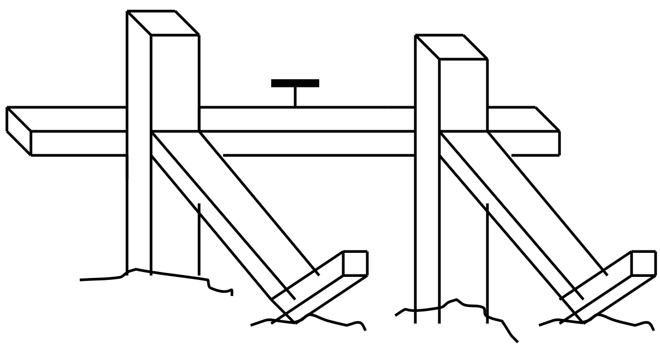


2.2- Les broches et les chaises d'implantation

Pour l'implantation des fouilles destinées aux fondations de bâtiment ou d'ouvrages d'art on utilise des broches ou des chaises disposées hors de l'emprise de l'ouvrage.



Broche sur piquet

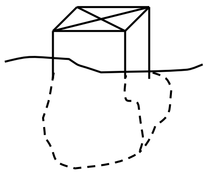


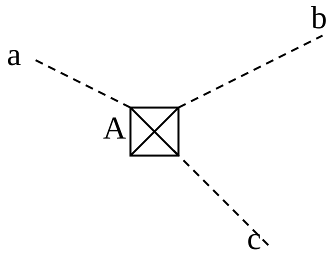
Chaise renforcée

2.3- Les bornes

Les points importants ayant nécessité des opérations topographiques poussées sont matérialisés sur le terrain par des bornes enfoncées dans le sol ou scellées dans un massif de maçonnerie.

On ne peut pas placer directement la borne sur le terrain lors des travaux de piquetage ; on la remplace par un piquet provisoire A entouré de quatre autres piquets a, b, c et d qui serviront au calage de la borne et à la gravure de la croix repère.





Leçon 6 : IMPLANTATION DE REPERES ALTIMETRIQUES

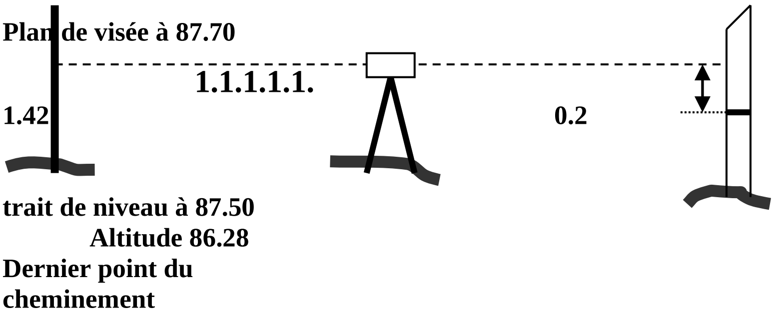
1- Définition

Implanter un repère altimétrique consiste à matérialiser sur le terrain la position exacte de ce repère d'altitude connue. Il s'agit par exemple pour une chaise d'implantation de déterminer la position exacte du chant supérieur de la traverse.

2- Pose d'un trait de niveau ou nivellement d'un repère.

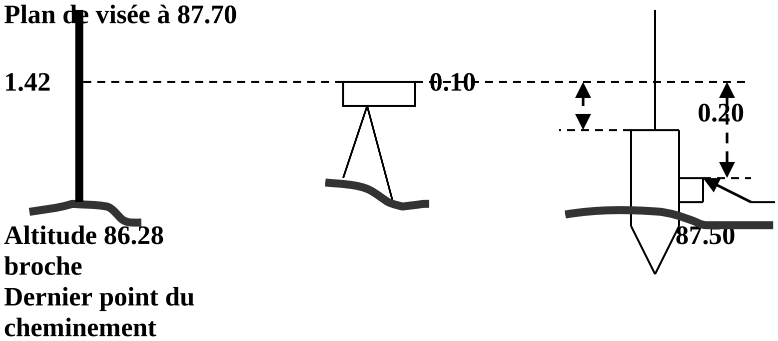
La pose d'un trait de niveau nécessite le calcul de l'altitude de l'axe optique (altitude du plan horizontal de visée) de la station à partir de laquelle on implante le trait.
L'altitude d du plan horizontal de visée ou la cote bleue se calcule en additionnant l'altitude du repère de référence et la lecture arrière faite sur ce dernier.

La trace du plan de visée est alors matérialisée sur le support repère.



Avec un mètre de poche on porte au-dessus ou en dessous de la trace du plan de visée l'appoint nécessaire à la pose du trait de niveau demandé.

Le procédé est un peu différent pour placer un trait de niveau sur un piquet ou une chaise.



Opérer comme précédemment, la tête du piquet aura comme altitude celle du plan visée diminuée de la lecture sur mire du piquet.

Avec un mètre de poche on porte au-dessous du plan de visée l'appoint nécessaire pour obtenir le trait de niveau demandé.
Pour tracer le même trait de niveau sur plusieurs piquets on aura avantage à utiliser une pige (latte de bois) de dimension égale à l'appoint nécessaire. L'aide placera alors verticalement la pige contre chaque piquet et guidé par geste de l'opérateur, la fera coulisser dans un sens ou dans l'autre jusqu'à ce que l'extrémité supérieure de la pige coïncide avec le trait niveleur, l'aide n'aura plus qu'à marquer d'un trait la partie inférieure de la latte.

Chapitre 7 : IMPLANTATION DE BATIMENT ET D'OUVRAGE D'ART

OBJECTIF INTERMEDIAIRE

Expliquer l'implantation d'un bâtiment et d'un ouvrage d'art

OBJECTIFS PEDAGOGIQUES

1. Enoncer les étapes de l'implantation d'un ouvrage
2. Expliquer quelques cas particuliers d'implantation

PLAN DU COURS

Leçon1 : ETAPES D'IMPLANTATION D'UN BÂTIMENT
1-Objet de l'implantation
2-Implantation de bâtiment
Leçon 2 : QUELQUES CAS PARTICULIERS D'IMPLANTATION
1-Translation verticale de repères au sol
2-Pose d'un trait de niveau
3-Nivellement de chaise d'implantation
4-Piquetage d'une pente passant par deux points donnés

PRESENTATION DE LA FORMATION

L'implantation d'un ouvrage constitue la finalité du programme de topographie chez le technicien de bâtiment. C'est pourquoi ce chapitre sera nécessairement suivi de travaux pratiques qui prendront en compte les aspects planimétriques et altimétriques.
On s'emploiera à poser un problème qui concerne un bâtiment simple et qui inclue le calcul des éléments d'implantation.

Leçon1 : ETAPES D'IMPLANTATION D'UN BÂTIMENT

1- Objet de l'implantation

L'implantation d'un ouvrage consiste à mettre en place, sur le terrain, les repères nécessaires à la construction.
L'implantation intervient souvent après le levé du terrain concerné et, dans ce cas, le canevas de base qui a servi au levé est utilisé pour le piquetage des repères.

2- Implantation de bâtiment

2.1- Travaux préparatoires

L'implantation s'appuie sur les documents de levé de terrain et les plans de situation et de masse annexés au projet. Il est indispensable de disposer du schéma d'implantation de l'architecte.
Après l'examen des documents, on procède à la préparation du plan de piquetage. On recherche les repères existants, les alignements publics, etc.

2.2- Piquetage en plan

2.2.1- Alignements

Si le projet n'indique pas de base de référence pour le piquetage, il est nécessaire de tracer, sur le terrain un alignement de référence. Cet alignement peut être parallèle à la limite du domaine public ou orienté de telle sorte qu'il soit hors terrassement et sensiblement parallèle aux façades principales des futurs bâtiments.

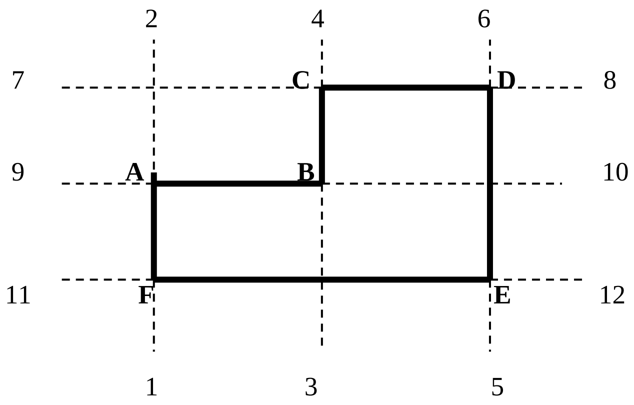
Cet alignement principal est matérialisé par des repères (piquets, broches, chaises, bornes, etc.).
Il est quelque fois tracé en continu par des cordeaux tendus entre piquets, broches ou chaises, ou bien encore par des sillons creusés à la pioche, ou à l'aide d'un cordeau enduit de bleu, projeté sur une surface préparée.

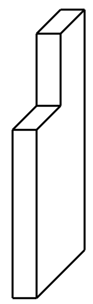
2-2-2 Phases successives de l'implantation des bâtiments

L'implantation consiste à matérialiser successivement sur le terrain le périmètre du terrassement général, puis celui des fouilles, et enfin les repères des fondations de l'ouvrage.

- **Le piquetage de l'emprise du terrassement**

Il consiste en général à indiquer aux conducteurs d'engin les alignements délimitant le terrain à niveler ou à creuser.
Soit par exemple la fouille prévue ABCDEF et les alignements correspondant 1/2, 3 / 4, 5/6, etc. Ces alignements sont matérialisés hors fouilles par des piquets portant un repère d'altitude (entaille ou trait de couleur) permettant de situer le niveau du fond de fouille.

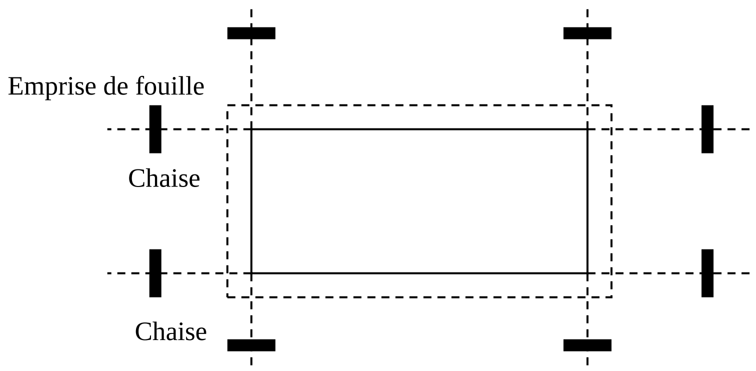




Piquet d'altitude

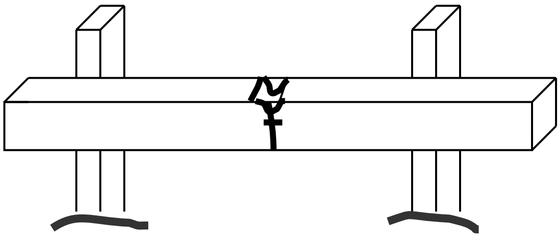
- **L'implantation en bord de fouille**

Un ouvrage peut être implanté suivant son axe longitudinal, mais en général on procède au piquetage de ses points périmétriques.
Les repères sont posés dans les prolongements d'axes, ou des côtés sur des chaises placées en dehors de l'emprise des fouilles.



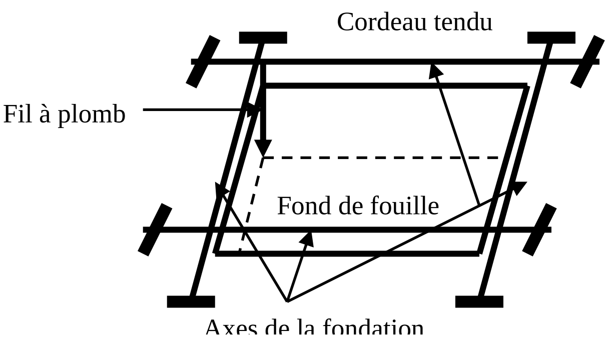
Les chaises sont matérialisées par des traverses clouées horizontalement sur deux pieux verticaux enfoncés de part et d'autre de la ligne implantée. Elles ne doivent pas être placées trop près des fouilles (1.50 m environ) et leurs traverses doivent se trouver dans le même plan horizontal à quelques centimètres près.
Les axes sont matérialisés sur le chant supérieur des traverses par une encoche ou un clou. La cote d'altitude du chant supérieur sert de repère pour déterminer le niveau de fond de fouille (arase).

Pour éviter que les cordeaux soient tendus entre les chaises se touchent en se croisant, on place les traverses à des niveaux différents de 2 à 3 cm.



Exemple de chaise d'implantation avec une encoche

- **Report en fond de fouille des axes d'implantation matérialisés par des cordeaux tendus.**



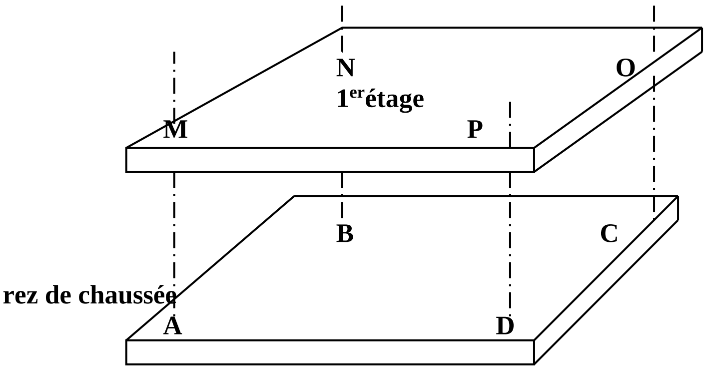
On accroche successivement à l'intersection de deux cordeaux, un fil à plomb dont la pointe matérialise sur le sol du fond de fouille l'intersection des axes de fondation de l'ouvrage. En principe le sol est préalablement nettoyé et couvert d'une couche de béton maigre placée au niveau prescrit.

On contrôle en fond de fouille la perpendicularité des axes et les distances entre repères indiquées sur le plan de fondation. Les retouches nécessaires sont éventuellement pratiquées

Leçon 2 : QUELQUES CAS PARTICULIERS D'IMPLANTATION

1-Translation verticale de repères au sol

1-1 Implantation de points nouveaux à la verticale des repères connus



Soit le plancher bas d'un rez-de-chaussée sur lequel sont matérialisés les repères A, B, C, D. on désire projeter verticalement sur le plancher haut du 1er étage les repères A, B, C, D de telle sorte que l'on puisse disposer de points de référence (M, N, O, P par exemple).

Pour cela, on prévoit dans le plancher haut quatre ouvertures (environ 20 × 20cm) sensiblement à la verticale des points au sol.

Un théodolite est mis en station sur chaque ouverture, et centré, à l'aide du dispositif de centrage optique, sur le point correspondant de l'étage inférieur.

Une plaque gravée d'une croix est placée sur l'ouverture, l'opérateur la fait déplacer jusqu'à ce que la croix guide soit à l'aplomb de l'instrument.

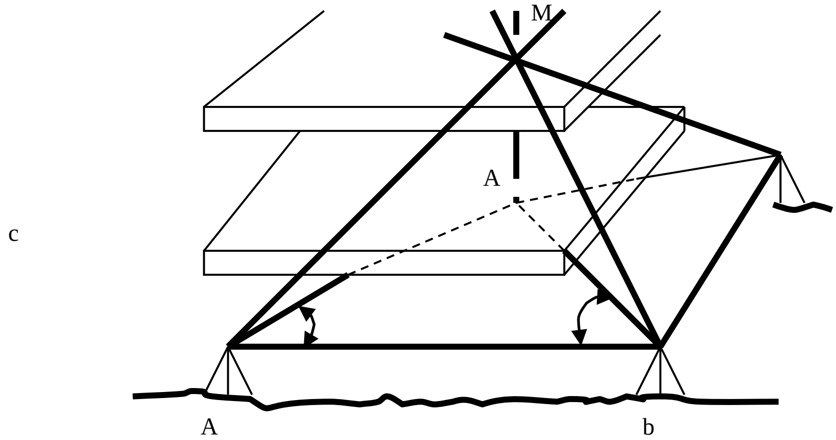
Les bras de la croix sont ensuite largement prolongés sur le plancher haut par des traits de couleur. La plaque est retirée et les trous sont bouchés. On matérialise de nouveau le point cherché en utilisant des points de repèrement.

Il faut noter que l'opérateur a intérêt à contrôler la verticalité du dispositif de centrage de son instrument. Il est également possible d'utiliser un équipement spécial de théodolite (oculaire coudé) qui permet de placer verticalement les points du plancher haut en stationnant les points du plancher bas.

Des équipements laser sont également utilisables pour assurer la verticalité des grands ouvrages.

On peut également utiliser un fil à plomb suspendu à chaque ouverture pratiquée à l'étage supérieur à l'aide d'un trépied de fortune. Le plomb est rendu immobile par immersion dans un bain d'huile.

1-2-Pose de nouveaux repères en altitude, à la verticale de repère au sol



Soit un repère A d'altitude connue, matérialisé sur un plancher bas et un repère M à poser sur un plancher haut. Le repère nouveau doit être à la verticale du point A et son altitude est demandée.

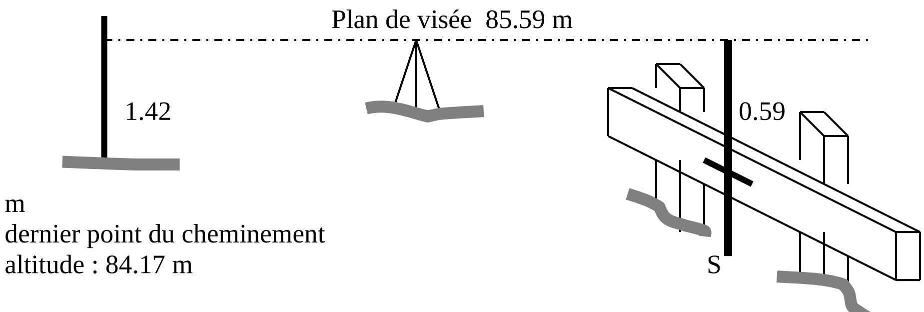
Le procédé consiste à choisir deux points extérieurs a et b visibles entre eux et permettant d'observer simultanément les points A et M. le théodolite est centré sur le point a et la lunette orientée sur A. un aide matérialise la trace du plan vertical de visée en ***l*** et ***m*** sur le plancher haut. La même opération est répétée sur le point b, d'où le plan vertical de visée passant par A est matérialisé en ***n*** et ***o***. l'intersection des deux droites ***lm*** et ***no*** donne le point M cherché à l'aplomb du point A.
Les distances horizontales **aA** et **bA** peuvent être mesurées directement ou obtenues par la résolution du triangle **abA** dont on mesure la base ab et les deux angles en a et b.
Pour obtenir la différence de niveau entre A et M on procède par nivellement indirect.
Le procédé permet d'obtenir les différences de niveau entre A et les points a et b, puis les différences de niveau entre les points a et b et le repère M. Deux altitudes de M sont ainsi déterminé à partir de a et b dont on prendra la moyenne si leur différence n'est pas hors tolérance.
Pour améliorer la précision de résultats il est souhaitable de prévoir un deuxième triangle d'observation tel que Abc.

2-Pose d'un trait de niveau

Soit un point m dont l'altitude calculée est 84.17m et une chaise S sur laquelle un trait de niveau à 85 m doit être posé.

L'opérateur place un niveau à équidistance de m et S, il fait une lecture sur m égale à 1.42m. L'altitude du plan de visée est égale à 84.17 + 1.42 = 85.59.

Le trait de niveau à poser est donc à 0.59 m en – dessous du plan de visée. Un aide guidé par l'opérateur place verticalement contre la chaise un mètre dont l'origine coïncide avec le plan de visée. Il suffit de tracer sur la chaise un trait à 0.59m lu sur le mètre.



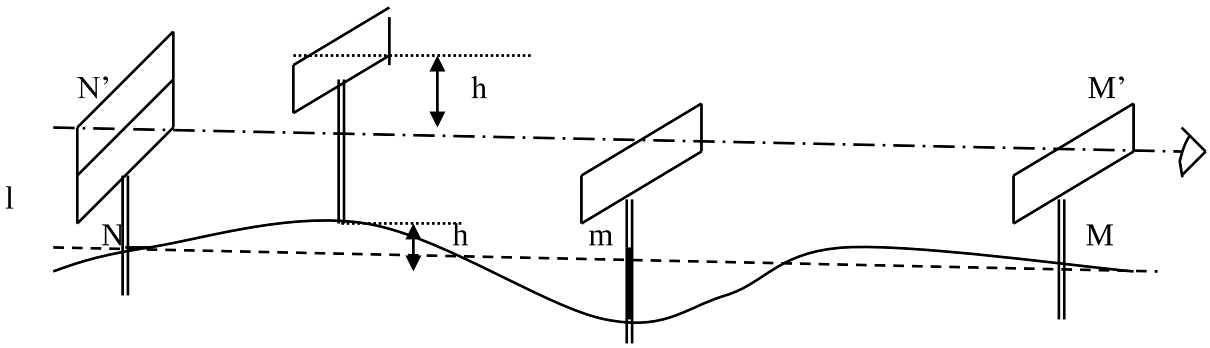
Trait de niveau placé à 85 m

3-Nivellement de chaise d'implantation

Il est nécessaire que les faces supérieures (chant) des broches de chaises se faisant vis-à-vis soient sensiblement à la même altitude pour éviter les erreurs de report de distances.

Pour la mise en place de nombreuses chaises, le procédé suivant est couramment employé.
L'opérateur place son niveau de telle sorte qu'il puisse opérer sur l'ensemble des chaises à implanter et fait une lecture arrière sur le piquet repère le plus proche. Soit par exemple, un niveau dont l'altitude du plan de visée est de 105.57 – 104.50 = 1.07 de longueur. Cette latte ou pige est tenue verticalement par un aide contre chaque piquet support de chaise. Guidé par l'opérateur l'aide fait coïncider le haut de la pige avec le plan de visée et trace un trait sur le piquet au niveau du talon de la pige.

4-Piquetage d'une pente passant par deux points donnés
Soient deux points M et N matérialisés par deux piquets enfoncés au ras de du sol et d'altitude connue. Le profil du sol naturel entre les 2 piquets est à niveler selon la ligne de pente donnée MN.



Le piquetage peut être assuré avec un instrument, cependant la précision demandée n'étant pas rigoureuse, l'emploi de nivelettes est le plus courant.

On dispose en général d'un jeu de trois nivelettes dont deux ont une hauteur de 1m, l'une est munie d'un voyant rouge (nivelette d'observation), et l'autre d'un voyant blanc (nivelette mobile). La troisième nivelette est munie d'un voyant bicolore (rouge et blanc), le trait médian séparant les deux couleurs est à 1m du pied de la nivelette.

L'opérateur pose le pied de la nivelette rouge sur le piquet repère M et vise le trait médian de la nivelette bicolore (rouge et blanc) dont le pied est sur le piquet N. La visée M'N' est parallèle et à 1 m de la droite MN. Un aide déplace l'alignement MN la nivelette blanche, par exemple au point l, la nivelette occulte la nivelette N, il est facile d'apprécier la différence de niveau h (épaisseur de terre à déblayer) qui est indiquée sur un piquet enfoncé en terre.

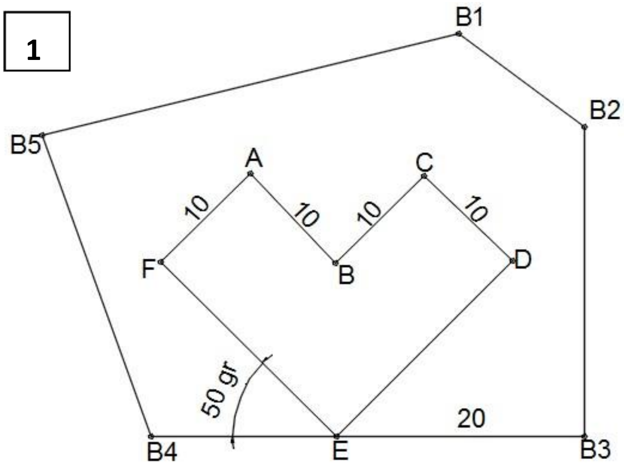
Au point m, la nivelette est située au-dessous de la ligne de visée et fait apparaître une zone à remblayer. Un piquet est enfoncé jusqu'à ce que la nivelette soit alignée jusqu'à ce que la nivelette soit alignée sur M'N'.

Le même procédé peut être utilisé pour poser des canalisations en tranchée selon une pente donnée.

Si la tranchée est profonde les nivelettes sont remplacées par des piges de longueur convenable.

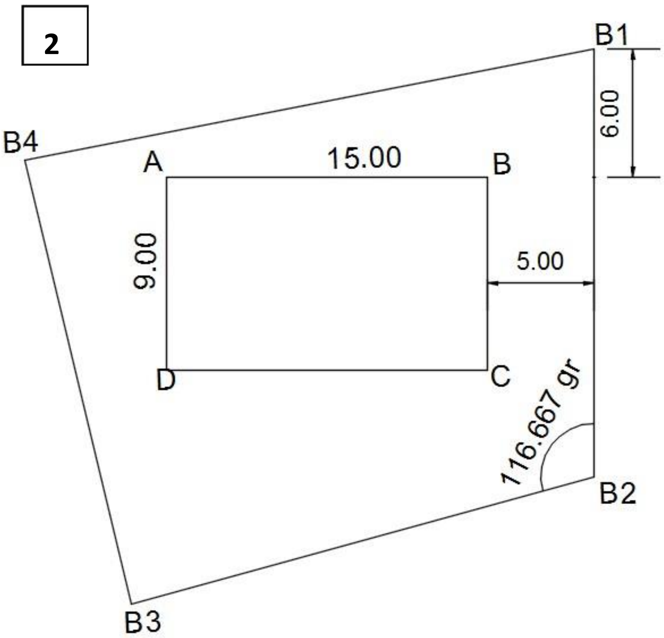
ACTIVITE I

1

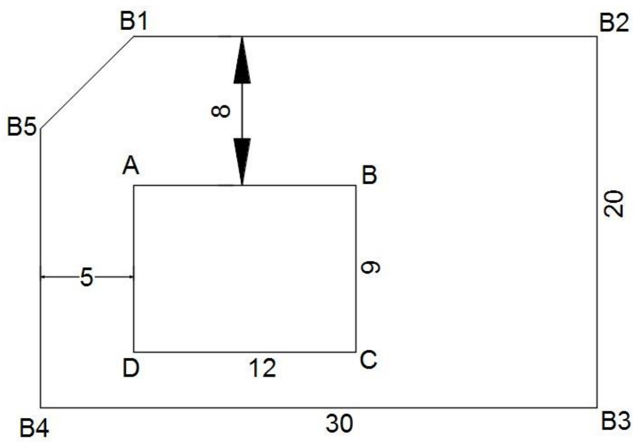


Calculez les éléments d'implantation des sommets A, B, C, D et F du bâtiment en prenant comme station le sommet E et référence la borne B2.

2



3

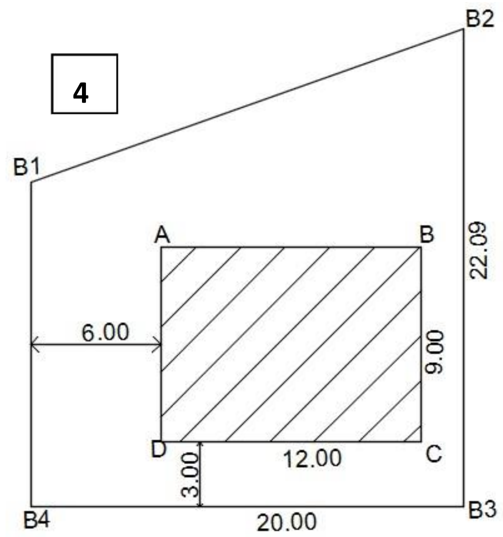


Calculez les éléments d'implantation des sommets A, B, C et D du bâtiment en prenant pour station B2 et référence sur B4.

Calculez les éléments d'implantation des sommets A, B, C et D du bâtiment en prenant pour station B3 et référence sur B4.

Calculez les éléments d'implantation des sommets A, B, C et D du bâtiment en prenant pour station B2 et référence su B4.

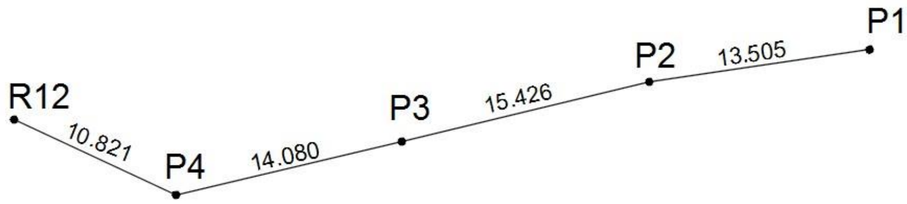
4



ACTIVITE II

1

Point	Lecture (mm)		Altitude (m)
	AR	AV	
P1	1456		100.00
P2	0891	1702	
P3	1515	1163	
P4	1095	1743	
R12		1325	99.032



Pour connecter un bâtiment au réseau général d'assainissement, un nivellement direct est réalisé entre la borne P1 et le regard R12 passant sur les piquets P2, P3 et P4. L'appareil utilisé a pour écart type ±2 mm par dénivelée observée. Les lectures sur mire et le croquis sont ci-dessus données.

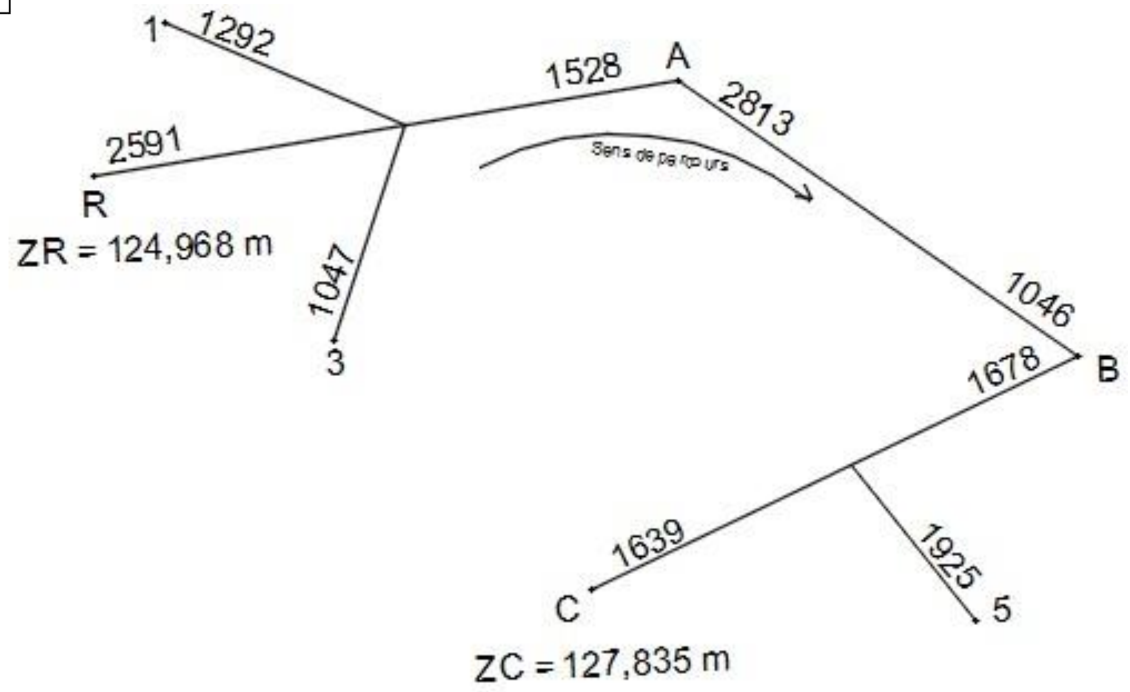
1-Quelle est la technique de nivellement direct exécutée?

2-Calculez les altitudes des têtes de piquet.

3-L'altitude projet étant de 90cm en dessous de R12 et la pente projet constante entre les piquets à -2% de P1 à R12, calculez l'altitude projet en dessous de chaque piquet.

4-Calculez au droit de chaque piquet la profondeur de fouille.

2



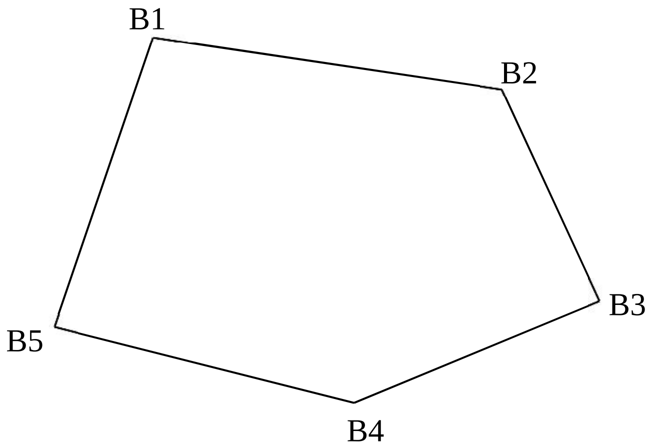
Voici ci-dessus schématisé un nivellement direct. L’écart type de l’appareil étant de 1 mm par lecture, calculez si possible les altitudes des points observés.

1

ACTIVITE III

<u>Données</u> :

Points	X (m)	Y (m)
B1	1107,048	1100,505
B2	1152,713	1096,337
B3	1167,862	1070,670
B4	1130,320	1060,140
B5	1094,753	1077,910



<u>Travail demandé</u> :

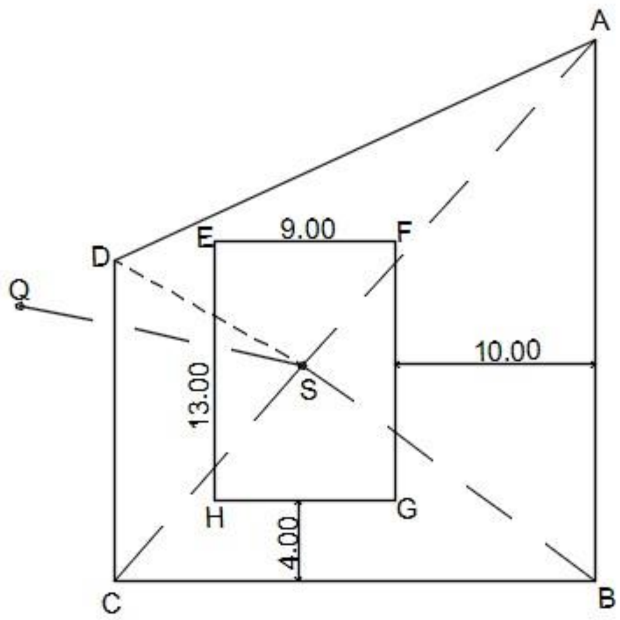
1) Calculez les angles intérieurs et les côtés périmétriques de la parcelle B1B2B3B4B5.

2

Station	Points Visées	Lectures angulaires (gr)	Distances (m)
S	Q	16,236	
	D	35,125	10,75
	A	149,569	21,89
	B	244,014	18.15
	C	348,458	14.31

S(X=2774.24m; Y=1380.01m); Q(X=2760.12m; Y=1382.99m)

Calculez les coordonnées rectangulaires des sommets de la parcelle ABCD.



BIBLIOGRAPHIE

- Michel BRABANT. Technique & vulgarisation(1980). Topométrie Opérationnelle.
- Gérard DURBEC. EYROLLES (1978). Cours de topométrie générale Tome 1.
- Topographie appliquée au bâtiment et aux travaux publics
- Bernard DUBUISSON. EYROLLES(1985). Cours élémentaire de topographie
- Maxime POTIER. ENSTP(1983). Note de cours. La topographie et l'hydraulique
- Maxime POTIER. ENSTP(1983). Note de cours. Cours de topographie du bâtiment
- Danièle VILLESUZANNE. Le calcul du géomètre.