



Didier Bouteloup
IGN/ENSG

TOPOMETRIE

CALCULS

TOPOMETRIQUES

ÉCOLE NATIONALE DES SCIENCES GÉOGRAPHIQUES.
6 et 8 avenue Blaise Pascal
77455 Marne la Vallée Cedex 2
www.ensg.ign.fr
© IGN 2006

www.GenieCivilPDF.com

Table des matières

Chapitre I. Gisement d'une direction.....	5
1. Qu'est-ce qu'un gisement ?.....	5
Chapitre II. Calcul gisement et distance entre 2 points.....	7
1. Calcul gisement et distance entre 2 points.....	7
🏠 Exercice n°1. Calcul de V0 et rayonnement.....	9
Chapitre III. Intersection.....	11
1. Intersection.....	11
Chapitre IV. Relèvement.....	15
1. Relèvement.....	15
Chapitre V. Station excentrée.....	19
1. Station excentrée.....	19
Chapitre VI. Cheminement polygonal.....	23
1. Cheminement polygonal.....	23
Corrigés des exercices.....	27

Gisement d'une direction

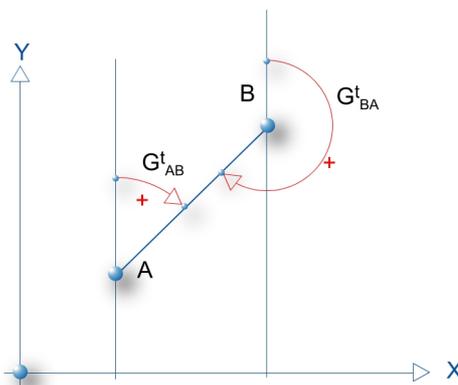
1. Qu'est-ce qu'un gisement ?



Définition

Le gisement est l'angle formé par la direction orientée AB avec l'axe parallèle à l'axe des ordonnées (axe Y) de la représentation.

Les gisements sont comptés positivement de 0 à 400 grades dans le sens des aiguilles d'une montre.



▲ SCH. 1

$$\text{Propriété : } G_{BA} = G_{AB} + 200_{\text{grades}}$$

Calcul gisement et distance entre 2 points

1. Calcul gisement et distance entre 2 points

1.1. Conversion Polaire --> Rectangulaire

Problème direct $(X_A, Y_A, G_{AM}, D_{AM}) \rightarrow (X_M, Y_M)$

Calcul des coordonnées d'un point M inconnu par la donnée des coordonnées d'un point A connu et de la mesure du gisement et de la distance AM.

$$X_M = X_A + D_{AM} \cdot \sin G_{AM}$$

$$Y_M = Y_A + D_{AM} \cdot \cos G_{AM}$$

1.2. Conversion Rectangulaire --> Polaire

Problème inverse $(X_A, Y_A, X_B, Y_B) \rightarrow (G_{AB}, D_{AB})$

Calcul du gisement et de la distance AB à partir des coordonnées des points A et B connus.

$$D_{AM} = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}$$

$$G_{AB} = \arctan \frac{(X_B - X_A)}{(Y_B - Y_A)} \quad (1)$$

ou

$$G_{AB} = 2 \cdot \arctan \frac{(X_B - X_A)}{\sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} + (Y_B - Y_A)} \quad (2)$$



Remarque

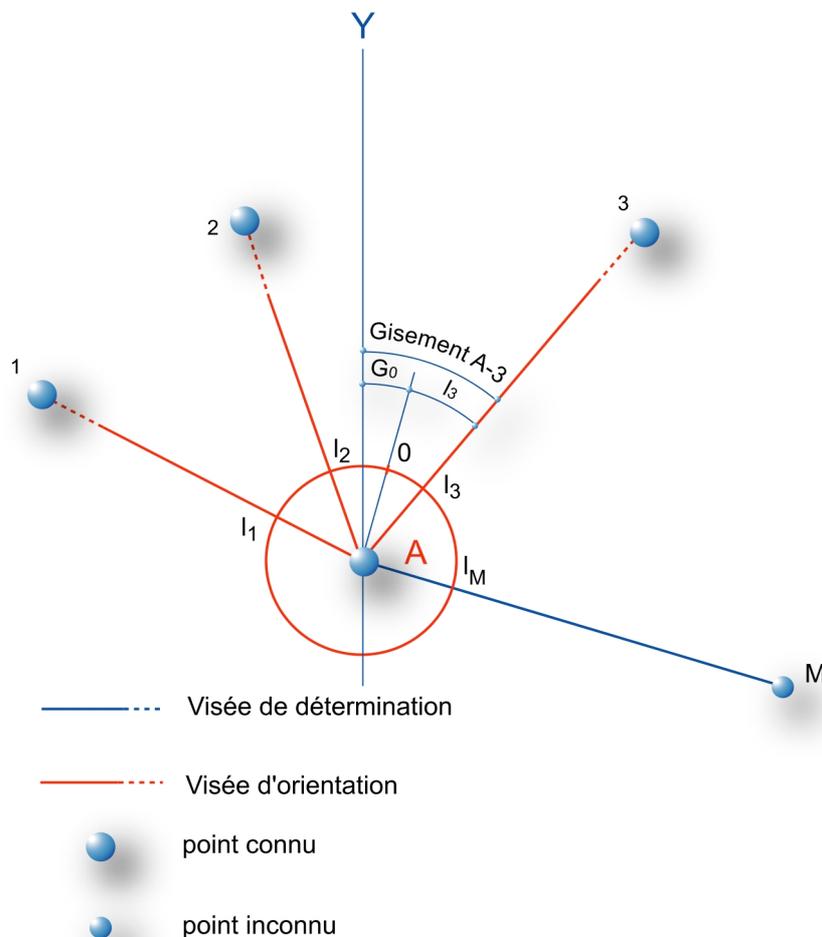
la formule (2) permet de lever l'ambiguïté de 200 grades sur le calcul de « arctan ».

1.3. G0 et Rayonnement



Orientation du limbe

Un théodolite permet d'effectuer des lectures d'angles horizontaux. Ces lectures sont comptées positivement dans le sens des aiguilles d'une montre par rapport à une direction origine correspondant à la lecture « zéro ».



▲ SCH. 2

Le gisement d'une direction peut se déduire du gisement de l'origine des lectures d'angles horizontaux mesurées lors du tour d'horizon. Celui ci appelé G_0 d'orientation peut se calculer à partir de l'observation de points connus en coordonnées.

G_0 individuel en station A sur le point visé connu i : $G_{0i} = G_{Ai} - l_i$



Définition

La moyenne de ces valeurs individuelles donne l'orientation moyenne du zéro du limbe au moment du tour d'horizon

$$G_{0(moyen)} = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n G_{0i}$$

◆ n est le nombre de points visés connus en coordonnées depuis la station

L'analyse des écarts entre les G_0 individuels et ce gisement moyen d'orientation permet de déceler les éventuelles erreurs de calculs et d'observations mais aussi de montrer un éventuel déplacement des points connus en coordonnées (borne déplacée, mauvaise identification de points visés. . .) .

Le gisement d'une direction à déterminer se calcule simplement ensuite :

$$G_{AM} = G_{0moyen} + L_M$$

Exercice n°1. Calcul de V_0 et rayonnement

Un géomètre procède à la détermination de 2 points nouveaux 80 et 81 à partir de points géodésiques les plus proches 50, 51, 52, 53 et 54 de coordonnées planes suivantes.

Points	E(m)	N(m)
50	982 591.010	3 155 242.710
51	983 111.450	3 157 891.810
52	986 130.980	3 154 407.730
53	979 758.400	3 154 999.820
54	982 679.857	3 154 794.980

▲ TAB. 1

Il stationne le point 50 et mesure le angles horizontaux suivants :

Point Visé	Moyenne des lectures réduites (grades)
80	0.0000
52	52.7859
81	156.6256
53	232.5948
51	350.3884
54	125.5665

▲ TAB. 2

Il mesure également les distances horizontales réduites à la projection depuis la station 50 :

Point Visé	Distances horizontales (m)
80	300.460
81	216.612

▲ TAB. 3

**Question1**

- ◆ Calculer pour chaque point connu le G0 individuel
- ◆ Calculer le G0 moyen de la station 50

**Question2**

- ◆ Calculer les coordonnées planes des points 80 et 81

Intersection

1. Intersection

1.1. Problématique



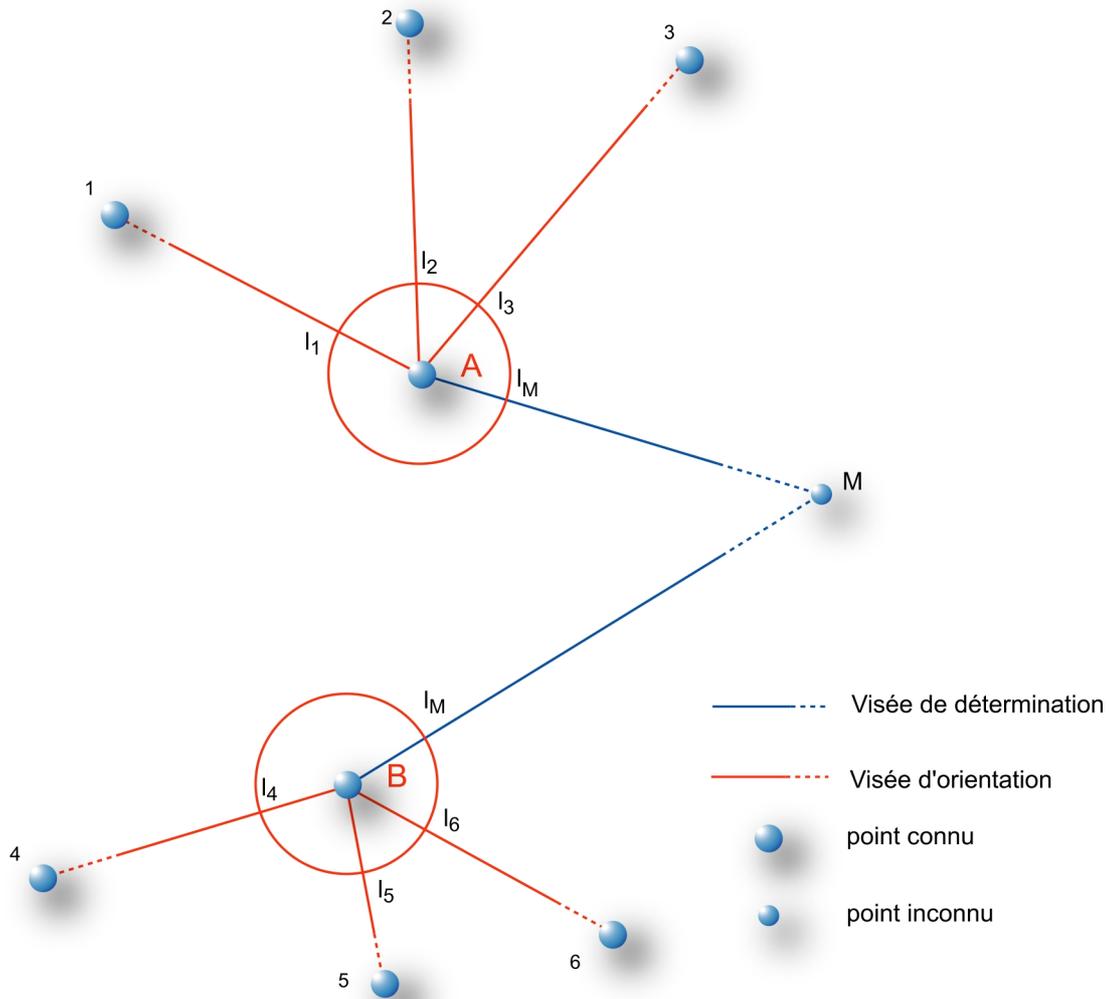
Methode

Comment déterminer les coordonnées (X_M , Y_M) d'un point **M** inaccessible (clocher, château d'eau, pylône, cible, . . .) à partir d'un réseau de points géodésiques

La distance n'étant pas mesurable directement, pour résoudre ce problème à 2 inconnues, 2 séries de mesures sont nécessaires.

A partir d'un point connu **A**, un tour d'horizon est effectué s'orientant sur des points connus (**1**, **2**, **3**) et le point **M** inconnu. Ces mesures d'angles horizontaux vont permettre de déterminer le gisement de la direction **AM**.

La même opération depuis un point connu **B** permettra de définir le gisement de la direction **BM**. Le calcul consiste à déterminer le lieu d'intersection de ces deux lieux géométriques ainsi définis.



▲ SCH. 3

1.2. Calcul d'un point isolé à partir de 2 visées d'intersection



Solution trigonométrique

1. Calcul des G0 moyen d'orientation en **A** et en **B** avec

$$G_{Ai} = 2\arctan\left(\frac{\Delta X}{\Delta Y + \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}}\right) = 2\arctan\left(\frac{\Delta X}{\Delta Y + D}\right)$$

avec

$$\Delta X = X_i - X_A, \quad \Delta Y = Y_i - Y_A$$

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

2. Calcul et validation du G0 moyen

$$G_{0_i} = G_{Ai} - l_i$$

$$G_{0(moyen)} = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n G_{0i}$$

3. Calcul des gisements G_{AM} et G_{BM}

pour la station en A $G_{AM} = G_{0(moyen)} + L_M$

pour la station en B $G_{BM} = G_{0(moyen)} + L_M$

4. Calcul du gisement et de la distance AB

$$G_{AB} = 2\arctan\left(\frac{X_B - X_A}{(Y_B - Y_A) + D_{AB}}\right)$$

avec

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

avec

$$\Delta X = X_B - X_A$$

$$\Delta Y = Y_B - Y_A$$

5. Résolution du triangle ABM (voir schéma ci dessous)

$$\hat{A} = G_{AB} - G_{AM} \text{ de meme } \hat{B} = G_{BM} - G_{BA} \text{ (dans le cas de la figure)}$$

$$\hat{M} = 200gon - \hat{A} - \hat{B}$$

La relation des sinus appliquée au triangle ABM permet d'écrire :

$$\frac{D_{AB}}{\sin \hat{M}} = \frac{D_{AM}}{\sin \hat{B}} = \frac{D_{BM}}{\sin \hat{A}}$$

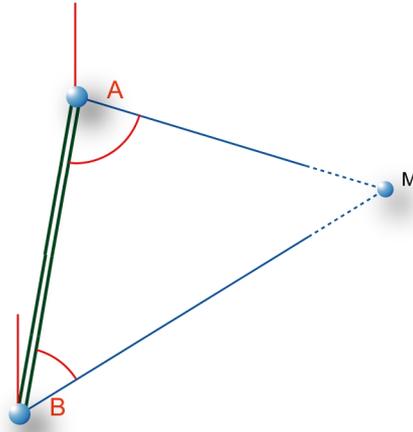
d'où

$$D_{AM} = \frac{D_{AB} \sin \hat{B}}{\sin \hat{M}} \text{ et } D_{BM} = \frac{D_{AB} \sin \hat{A}}{\sin \hat{M}}$$

6. Calcul des coordonnées de M à partir de A

$$X_M = X_A + D_{AM} \cdot \sin G_{AM}$$

$$Y_M = Y_A + D_{AM} \cdot \cos G_{AM}$$



▲ SCH. 4 : RÉOLUTION DU TRIANGLE ABM



Solution analytique

Cette solution repose sur l'écriture des équations des droites **AM** et **BM**, elle est plus facile à mettre en œuvre d'un point de vue informatique

$$Y_M = Y_A + \frac{(X_B - X_A) - (Y_B - Y_A) \cdot \tan G_{BM}}{\tan G_{AM} - \tan G_{BM}}$$

$$X_M = X_A + (Y_M - Y_A) \cdot \tan G_{AM}$$

ou

$$X_M = X_A + \frac{(Y_B - Y_A) - (X_B - X_A) \cdot \cot G_{BM}}{\cot G_{AM} - \cot G_{BM}}$$

$$Y_M = Y_A + (X_M - X_A) \cdot \cot G_{AM}$$



Remarque

Pour des questions de stabilité numérique, il est préférable de calculer la plus petite valeur de

$$\Delta X = X_M - X_A \text{ ou } \Delta Y = Y_M - Y_A$$

à partir de la plus grande de ces deux valeurs. Le contrôle du calcul consiste à comparer le gisement G_{BM} calculé au gisement issu des observations.

Relèvement

1. Relèvement

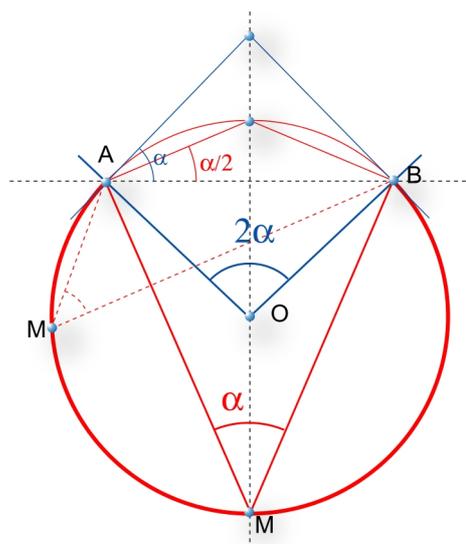
1.1. Arc capable

**Définition**

L'ensemble des points M sous lequel on peut voir 2 points A et B sous un angle constant α est une portion de cercle de centre O appelé arc capable AB

Propriété

L'angle observé au centre du cercle est le double de l'angle observé en un point quelconque de l'arc capable.



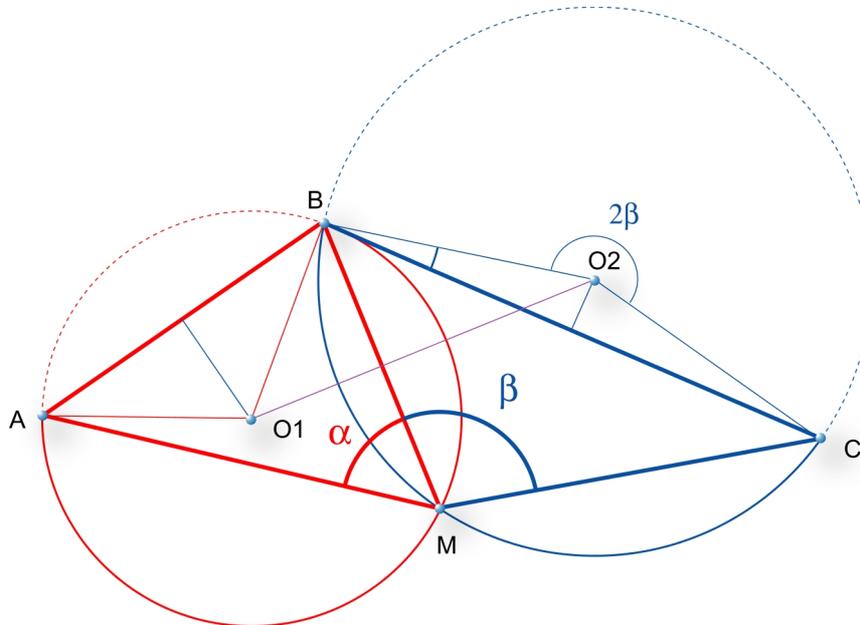
▲ Sch. 5

1.2. Relèvement

L'ensemble des points M sous lequel un opérateur aperçoit le segment AB sous un angle α et le segment BC sous un angle β se situe donc à l'intersection de 2 arcs capables.



Solution géométrique



▲ SCH. 6

1. Calcul des gisements et distances AB et BC.
2. Calcul des coordonnées des centres O_1 et O_2 des cercles support des arcs capables

$$G_{AO_1} = G_{AB} + \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) \quad \text{de même} \quad G_{BO_2} = G_{BC} - \left(\beta - \frac{\pi}{2} \right)$$

$$D_{AO_1} = \frac{D_{AB}}{2 \sin \alpha} \quad D_{BO_2} = \frac{D_{BC}}{2 \sin \beta}$$

3. Résolution du triangle O_1O_2M
4. Calcul des coordonnées de M à partir de O_1 et contrôle du calcul en calculant à partir de O_2 .



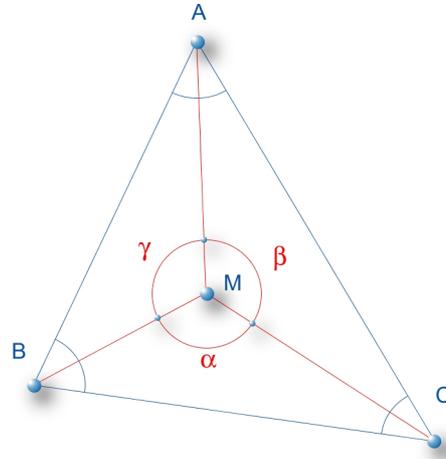
Solution Analytique

La solution M est le barycentre des points A, B et C affectés des coefficients p, m, n :

$$p \overrightarrow{MA} + m \overrightarrow{MB} + n \overrightarrow{MC} = \overrightarrow{0}$$

$$X_M = \frac{pX_A + mX_B + nX_C}{p+m+n}$$

$$Y_M = \frac{pY_A + mY_B + nY_C}{p+m+n}$$



▲ SCH. 7

Soient A et α les angles qui intersectent le segment BC respectivement en A et M

Soient B et β les angles qui intersectent le segment AC respectivement en B et M

Soient C et γ les angles qui intersectent le segment AB respectivement en C et M

Les poids p , m et n s'obtiennent comme suit :

$$p = \frac{1}{\cot A - \cot \alpha}$$

$$m = \frac{1}{\cot B - \cot \beta}$$

$$n = \frac{1}{\cot C - \cot \gamma}$$

Station excentrée

1. Station excentrée



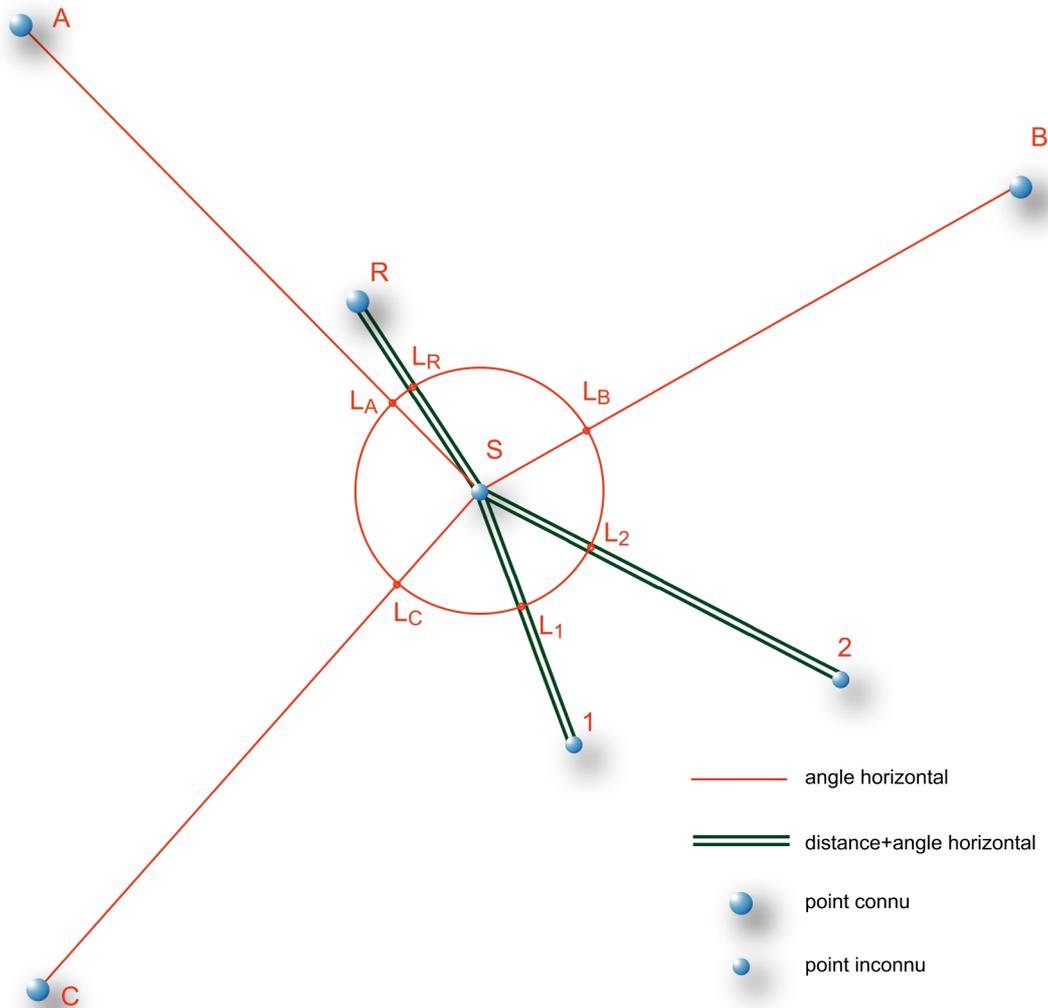
Problématique

Afin de déterminer les coordonnées de points nouveaux **1** et **2** et lorsque les conditions d'observation du repère connu **R** n'autorisent pas le centrage du théodolite sur ce dernier il est nécessaire d'effectuer des observations à partir d'un point auxiliaire temporaire **S** :

Mesures d'angles horizontaux sur des points connus **A, B, C, . . .** et inconnus **1, 2, . . .** (**notation : α_i**)

Mesures de distance sur le repère proche **R** (**notation : d_{sr}**)

Mesures de distances sur les points à déterminer **1, 2, . . .** (**notation : D_{si}**)



▲ Sch. 8



Calculs

Une solution consiste à calculer au préalable les coordonnées de la station excentrée **S**.

Pour calculer les gisements **Si**, il suffit de corriger le gisement **Ri** d'un petit angle ϵ avec :

1. Calcul des gisements et distances entre la station connue et les points d'orientation

$$G_{Ri} = 2 \arctan \left(\frac{\Delta X}{\Delta Y + \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}} \right)$$

$$\Delta X = X_i - X_R$$

$$\Delta Y = Y_i - Y_R$$

2. Calcul de la correction à appliquer aux gisements

$$\sin \varepsilon_i = \frac{d_{RS} \cdot \sin(l_i - l_R)}{D_{Ri}} \text{ et } G_{Si} = G_{Ri} - \varepsilon_i$$

3. Calcul du gisement moyen d'orientation en S

$$G0_i = G_{Si} - l_i$$

$$G0_{moyen} = \frac{\sum^n G0_i}{n}$$

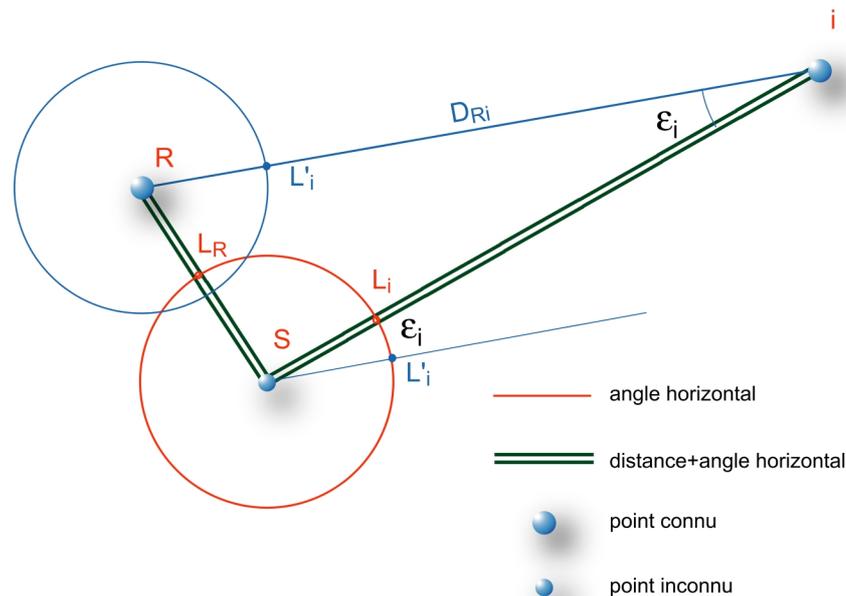
4. Il suffit ensuite de calculer les coordonnées de S à partir :

- Coordonnées de R
- Gisement RS :

$$G_{RS} = G0_{moyen} + l_R + 200_{grades}$$
- Distance mesurée d_{rs}

5. Enfin de calculer les coordonnées des points nouveaux à partir de S :

- Coordonnées de S
- Gisement S_i : $G_{Si} = G0_{moyen} + l_i$
- Distance mesurée d_{si}



▲ SCH. 9 : CAS D'UN POINT I INCONNU

Cheminement polygonal

1. Cheminement polygonal

1.1. Definition



Une ligne polygonale ou polygonation est un ensemble de sommets formant une ligne brisée dont on a pris soin de mesurer les angles ainsi que la longueur des cotés pour ainsi déterminer les coordonnées de chacun de ses sommets.

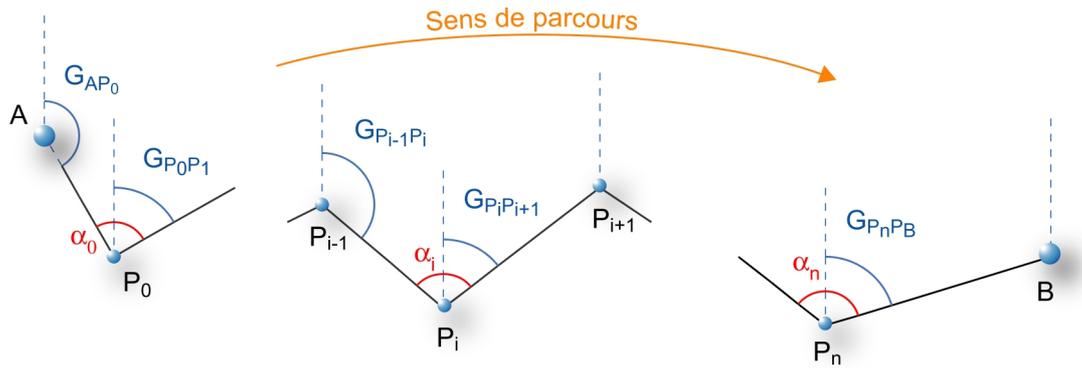
Ce cheminement est dit encadré lorsque les coordonnées de point de départ et d'arrivée sont connues, il est dit en antenne lorsque seule les coordonnées du point de départ sont connues, et fermé lorsque les points de départ et d'arrivée sont confondus.

1.2. Calculs



Transmission des gisements

L'orientation du premier coté du cheminement est calculée à partir de visées d'orientation sur d'autres points connus, la transmission de cette orientation s'effectue à l'aide de l'angle observé à chaque sommet. (*voir chapitre 1. 3 G0 et rayonnement*)



▲ SCH. 11

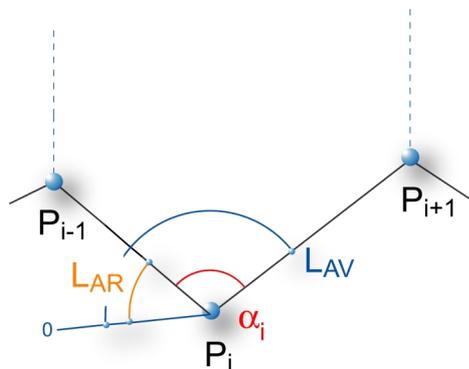
$$G_{P_0P_1} = G_{AP_0} + 200gr + \alpha_0$$

Fondamentaux

$$G_{P_nP_{n+1}} = G_{P_{n-1}P_n} + 200gr + \alpha_n$$

L'angle α_i est calculé par différence de lectures azimutales entre la visée « avant » et la visée « arrière » soit :

$$\alpha_i = LAV_i - LAR_i$$



▲ SCH. 12



Exemple de calcul d'un cheminement encadré

Coordonnées des points S0 et S5 :

$$X_{S0} = 782875,12 \quad X_{S5} = 783228,94$$

$$Y_{S0} = 215320,46 \quad Y_{S5} = 215327,80$$

Les gisements G_{AS0} et G_{S5B} ont été précédemment calculés à partir des coordonnées de A, S0, S5 et B

Transmission des gisements								
Station s	Points visés	Lecture		α_i gr.	Gisements	C_i milligr.	ΣC_i	Gisements gr.
		AR	AV		Calculés (gr.)			
A	S ₀				251,324			
S ₀	A	0,000		39,432	90,756	+4	+ 4	90,760
	S ₁		39,432					
S ₁	S ₀	0,000		219,887	110,643	+4	+ 8	110,651
	S ₂		219,887					
S ₂	S ₁	0,000		182,143	92,786	+4	+ 12	92,798
	S ₃		182,143					
S ₃	S ₂	0,000		228,478	121,264	+4	+ 16	121,280
	S ₄		228,478					
S ₄	S ₃	0,000		151,73	73,002	+4	+ 20	73,022
	S ₅		151,738					
S ₅	S ₄	0,000		257,128	130,130	+4	+ 24	130,154
	B		257,128					
B					130,154			

$$f = -0,024$$

▲ IMG. 1



Compensation des gisements

L'imprécision des angles observés, fait que le gisement d'arrivée calculé, diffère du gisement connu G_{S_5B} . Cette quantité s'appelle l'écart de fermeture angulaire (f).

L'écart de fermeture angulaire (f) est réparti soit :

- ◆ uniformément sur chaque gisement

$$C_0 = C_1 = \dots = C_i = \dots = C_n = \frac{-f}{n+1} \text{ ici } C_i = \frac{+24}{6} = +4 \text{ milligrades}$$

- ◆ proportionnellement à la longueur des côtés,

$$C_i = \frac{D_{S_i S_{i+1}} \cdot (-f)}{\Sigma D_{S_i S_{i+1}}}$$

Transmission des coordonnées											
Stations	Points	Gisements	Distances	ΔX	C	ΣC_{Xi}	X	ΔY	C_{Yi}	ΣC_{Yi}	Y
	visés	gr.	m	m	x	mm	m	m	mm		m
A	S ₀						782875,12				215320,46
S ₀	S ₁	90,760	78,12	+ 77,299	+ 8		782952,43	+ 11,299	- 3		215331,76
S ₁	S ₂	110,651	89,72	+ 88,467	+ 18		783040,90	- 14,940	- 4		215316,81
S ₂	S ₃	92,798	63,41	+ 63,005	+ 25		783103,92	+ 7,158	- 3		215323,97
S ₃	S ₄	121,280	69,68	+ 65,823	+ 32		783169,75	- 22,860	- 3		215301,10
S ₄	S ₅	73,022	64,93	+ 59,187	+ 39		783228,94	+ 26,699	- 3		215327,80
				365,86	+ 353,781			+ 7,356			
				783228,94 - 782875,12 =	+ 353,820		215327,80 - 215320,46 =	+ 7,340			
				$f_x = - 0,039$				$f_y = + 0,016$			

▲ IMG. 2



Compensation des ΔX et ΔY

Pour chaque coté, on peut calculer à partir du gisement compensé et de la distance mesurée (réduite à la projection) ΔX et ΔY . L'imprécision des angles et des distances observées, cumulée à l'imprécision des coordonnées des points de départ et d'arrivée provoque une différence entre :

Les coordonnées calculées du point d'arrivée

$$X_{S5\text{calculée}} = X_{S0} + \sum \Delta X$$

$$Y_{S5\text{calculée}} = Y_{S0} + \sum \Delta Y$$

et les coordonnées connues du point d'arrivée

(X_{S5} , Y_{S5})

Ces quantités s'appellent écarts de fermeture planimétrique selon les axes de la projection, respectivement (f_x) selon l'axe des abscisses X et (f_y) selon l'axe des ordonnées Y.

Ces écarts de fermeture sont ensuite répartis proportionnellement à la longueur des cotés :

$$\text{Compensation des } \Delta X \text{ et } \Delta Y \quad C_{X_i} = \frac{D_{S_i S_{i+1}} \cdot (-f_x)}{\sum D_{S_i S_{i+1}}}$$

$$C_{Y_i} = \frac{D_{S_i S_{i+1}} \cdot (-f_y)}{\sum D_{S_i S_{i+1}}}$$

$$\text{ici par exemple} \quad C_{X_0} = \frac{78,12 \cdot (39)}{365,86} \approx + 8$$

$$C_{Y_0} = \frac{78,12 \cdot (-16)}{365,86} \approx - 3$$

Corrigés des exercices

Corrigé de l'exercice n°1 : Calcul de V0 et rayonnement

Question n°1

Station	Pt Visé	Gisement	Distanc	Lecture	V0i	Poids	pV0i	ei	Toléran	Distanc
		grades	m		grades			grades	grades	m
50	51	12,3497	2699,739	350,3884	61,9613	1,00	61,9613	-0,0003	0,0009	-0,012
50	52	114,7465	3637,111	52,7859	61,9606	1,00	61,9606	0,0004	0,0008	0,022
50	53	294,5544	2843,005	232,5948	61,9596	1,00	61,9596	0,0014	0,0009	0,061
50	54	187,5290	456,460	125,5665	61,9625	1,00	61,9625	-0,0015	0,0049	-0,011

▲ TAB. 4

Gisement moyen	61,9610	grades
écart moyen d'orientation	0,0012	grades

▲ TAB. 5

Question n°2

Station	Point Visé	Lectures	Distances	DX	DY	X	Y
		grades	m	m	m		
50	80	0,0000	300,460	248,401	169,036	982839,411	3155411,746
50	81	156,6256	216,612	-62,347	-207,445	982528,663	3155035,265

▲ TAB. 6 : CALCUL DES POINTS RAYONNÉS