



## CHAPITRE 9

# LA MESURE DES DÉNIVELÉES

La mesure des dénivelées DZ s'effectue de plus en plus au moyen du tachéomètre électronique, capable de les déterminer avec une précision de quelques millimètres, pourvu que l'on soigne les mesures. Les niveaux seront davantage employés pour des travaux de précision, voire en métrologie. Enfin, notons que les récepteurs GPS fournissent des résultats corrects pour des lignes de base inférieures à 3 km.

## I. LES NIVEAUX

Les niveaux utilisent le procédé du nivellement direct, ou nivellement géométrique, qui consiste à déterminer la différence d'altitude entre deux points par comparaison de deux distances verticales prises par rapport à un plan horizontal, matérialisé par la rotation de l'axe de visée de la lunette, avec une précision de 0,01 à 5 mm. La visée horizontale est assurée par une nivelle ou par un dispositif pendulaire.

### A. Principe du nivellement direct

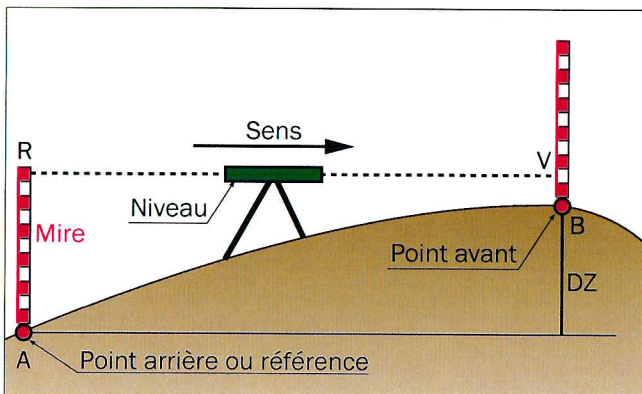


Figure 211. © ECS

#### ► Convention

Soit :

- R = lecture arrière sur référence connue ;
- V = lecture avant sur point à déterminer.

On a par convention :

$$DZ = R - V$$

Le Zéro de la mire est sur le point.

La lecture est négative si la mire est à l'envers.

$$Z_{\text{point B}} = Z_{\text{référence A}} + DZ$$

## B. Sortes de niveaux

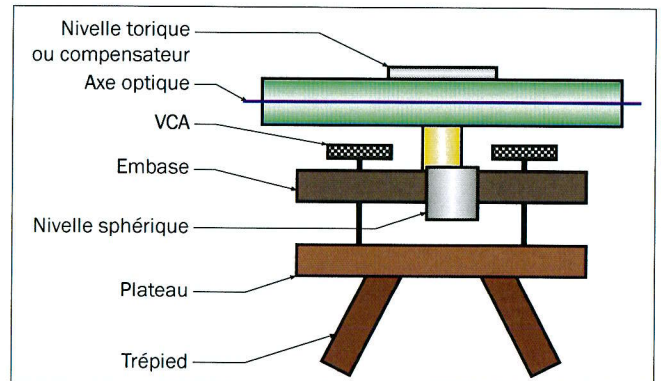


Figure 212. © ECS

### 1. Niveau monobloc

Constitué d'une lunette solidaire d'une nivelle. Il est en voie de disparition.

Une vis de basculement cale la nivelle torique à 1/4 de bulle.



Figure 213. LEICA NK05 © DR

#### Commentaires :

- Peu rapide d'emploi car il faut caler la nivelle à chaque visée.
- Robuste et fiable.
- Il comprend pourtant le niveau le plus précis du monde : le Leica N3.
- Précisions de 0,01 mm et plus.

### 2. Niveau réversible

Niveau Monobloc à nivelle double : la lunette tourne autour de son axe géométrique.

Il n'est plus guère utilisé.



Figure 214. LEICA NI © DR

#### Commentaires :

- Il permet d'effectuer deux lectures symétriques par rapport à l'horizontale : élimine l'erreur de collimation verticale de ce fait.
- Précisions de 0,03 mm et plus.

### 3. Niveau automatique

Plus de nivelle torique : un compensateur oblige la visée horizontale à passer automatiquement par le réticule.



Figure 215. LEICA NA700 © DR

La nivelle sphérique doit être parfaitement réglée.

#### Commentaires :

- Très répandu.
- Rapide d'emploi car plus de calage à chaque visée.
- Fragile dans les transports.
- Sensible au vent et aux trépidations.
- Risque de blocage du compensateur.
- Précisions de 0,03 mm et plus.

### 4. Niveau numérique

Niveau automatique muni d'une caméra qui lit sur une mire à code-barres.

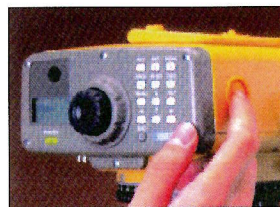


Figure 216. TOPCON DL101C © DR

L'image de la mire mémorisée est comparée à l'image interceptée par la caméra. La corrélation donne la distance et la lecture de la visée.

#### Commentaires :

- Rapide d'emploi, élimine l'erreur de lecture et surtout, enregistre les mesures.
- Gère les erreurs et les calculs.
- Sensible aux variations de lumière.
- Précisions de 0,2 mm et plus.
- Visée limitée par le faisceau.

### 5. Niveau laser

Le rayon laser est rendu horizontal par un dispositif compensateur rotatif.

Il est intercepté par un capteur que l'on fait coulisser le long d'une mire.



Figure 217. TRIMBLE GL722 © DR

Utilisé surtout en chantier BTP.

#### Commentaires :

- Rapide et économique car il dispense d'un porte-mire.
- Il peut servir à plusieurs cellules en même temps.
- Moins précis que les autres niveaux.
- Précisions de 3 mm et plus.



**Il faut contrôler régulièrement les niveaux automatiques !**

## C. Accessoires divers

### 1. Mires

Mires pliantes ou rigides, en bois, en aluminium, en fibre de verre, sont utilisées pour le nivellement ordinaire.

Mires Invar et contrefiches sont indispensables pour la précision, l'auscultation et la métrologie. Ces mires sont souvent à double graduation pour contrôle immédiat des lectures.

Réglottes et mirettes en Invar sont employées en métrologie.

Dans tous les cas, il est vivement conseillé de les poser sur un socle de mire, appelé plus couramment « crapaud ».

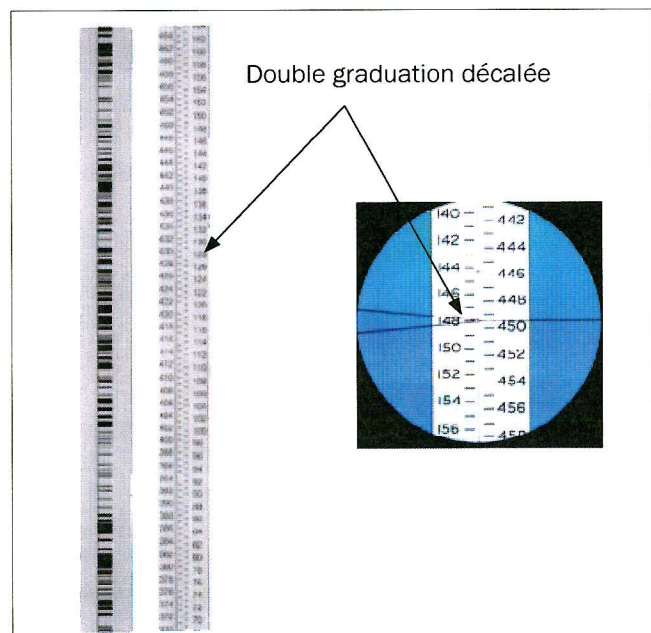


Figure 218. © Leica

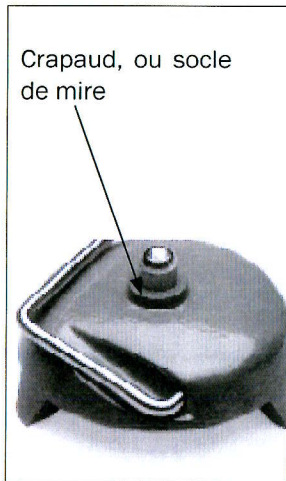


Figure 219. © DR

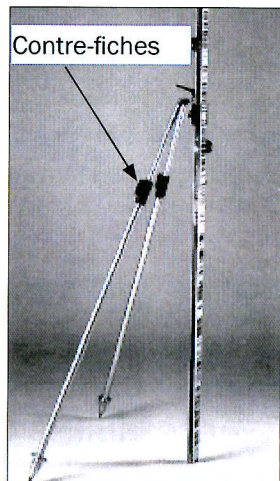


Figure 220. © DR

## 2. Nivelles à ¼ de bulle

Trouaille technique qui améliore de 2 fois le centrage de la bulle, qui se fait ici par coïncidence.

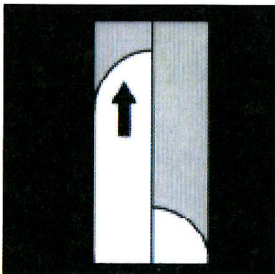


Figure 221. © DR

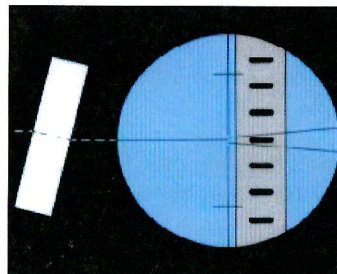


Figure 222. © DR

## 3. Micromètres optiques

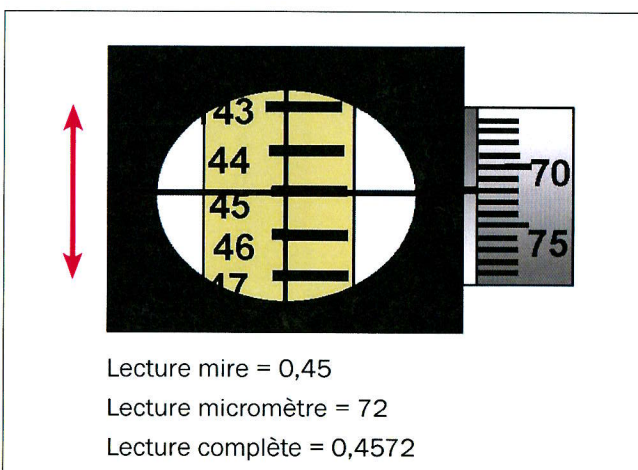


Figure 223. © DR

Le micromètre optique est une lame à faces parallèles, d'usinage très précis, adaptée ou incorporée au niveau, qui va dévier le rayon lumineux sur une cote **ronde** de la mire, afin d'éviter l'imprécision de l'estimation du mm : l'appoint est lu sur un tambour (ou une graduation) du micromètre, avec une précision pouvant atteindre le 1/100 de mm.

### Deux précautions :

- prendre le complément de l'appoint quand la mire est à l'envers (exemple, lire 36 au lieu de 64) ;
- toujours imposer l'appoint au micromètre **avant** d'imposer la lecture ronde, en implantation.

## 4. Cellule sensible

La cellule sensible, qui intercepte le rayon laser du niveau laser, coulisse sur une mire ordinaire. Elle peut aussi s'adapter sur une mire coulissante qui permet au porte-mire de lire directement la dénivelée sur la graduation prévue à cet effet. Des cellules relais, reliées à un écran situé plus bas, permettent des visées élevées.

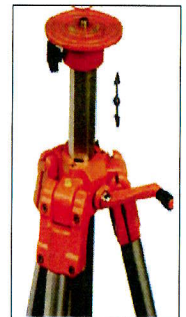


Figure 224. Trépied à crémaillère pour faciliter la mise à hauteur  
© Leica

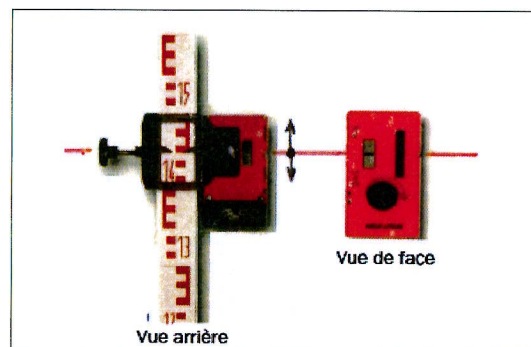


Figure 225. Cellule pour mire normale © Leica



Figure 226. Cellule pour engin et relais © Laser Algt

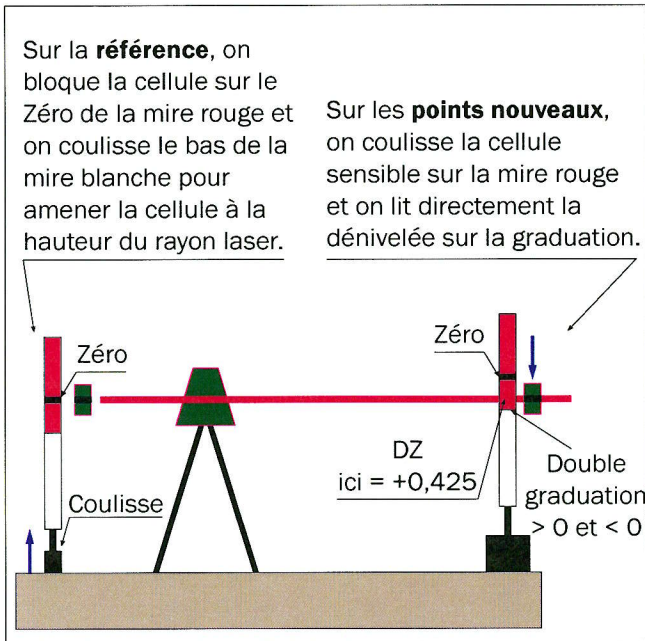


Figure 227. Emploi d'une mire à coulisse © ECS

On stationne enfin le spit n° 4 et on effectue les lectures L3 au spit n° 3 et L4 au spit n° 2. La vraie lecture horizontale LH à faire au spit n° 2 se déduit des lectures L1, L2 et L3 :

$$LH = L1 - L2 + L3$$

Si cette lecture vraie est fort différente de L4, il y a collimation verticale, de valeur :

$$\tan(c) = \frac{L4 - LH}{50 \text{ m}} \quad (c > 0 \text{ au-dessus de l'horizontale})$$

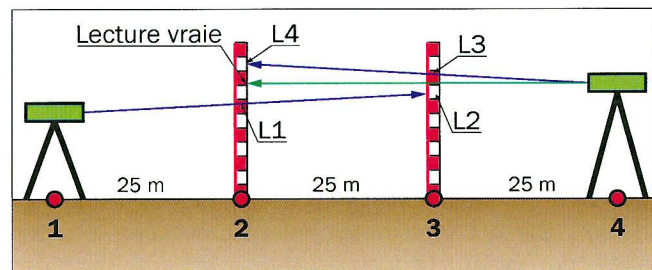


Figure 229. © ECS

## D. Erreurs systématiques

### 1. Erreur de collimation verticale

C'est l'erreur type du niveau, qu'on dénomme aussi « défaut d'horizontalité » : lorsque la nivelle est calée, ou que le compensateur est libre, l'axe optique n'est pas horizontal. Il accuse un angle de collimation  $c$  avec l'horizontale. Cette erreur cause un défaut de lecture qui n'est pas annulé quand les visées avant et arrière sont **inégaes** :

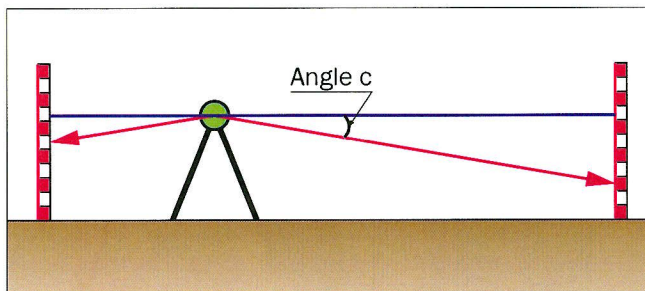


Figure 228. © ECS

La collimation verticale se détecte et se règle facilement au moyen de la méthode « WILD ». On espace, en ligne droite, quatre spits distants de **25 m**. On stationne le spit n° 1 et on effectue les lectures L1 au spit n° 2 et L2 au spit n° 3.

#### Exemple

Soit  $L1 = 1,465$  ;  $L2 = 1,482$  ;  $L3 = 1,526$  ;  $L4 = 1,543$ .

D'où :

$$LH = 1,509$$

Il faut donc baisser la visée de 34 mm !

$$\tan(c) = 0,00068$$

Soit une correction de  $-0,7$  mm par mètre !

#### ► Élimination

L'élimination de l'erreur de collimation verticale peut se faire :

##### • Par calcul :

Il suffit de corriger toutes les lectures de la quantité  $(-D \cdot \tan(c))$ , où  $D$  est la distance de la visée. Cette correction est effectuée automatiquement par les niveaux numériques.

##### • Par réglage :

Pour les niveaux Monoblocs, on bascule la visée sur la vraie lecture et on recentre la nivelle au moyen de sa vis de réglage Vni. Pour les niveaux automatiques, il suffit de dévisser le carter de protection du réticule et d'agir sur ce dernier afin de lire la lecture vraie LH.

En cas de réglage fin, les lectures ont été effectuées au micromètre optique. L'appoint sera d'abord imposé au micromètre avant de basculer le fil niveleur sur la lecture ronde.

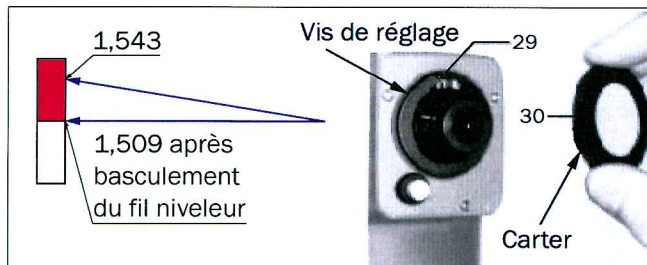


Figure 230. © ECS

## 2. Erreur de compensateur

Cette erreur affecte les niveaux automatiques (et numériques) : elle est systématiquement provoquée lors du calage du niveau. Le compensateur est tributaire de l'axe géométrique de la lunette et un léger dérèglement de la nivelle sphérique entraîne une inclinaison de l'axe de la lunette, et donc du système pendulaire. Cette erreur ne s'annule pas par portées égales : seul un calage de nivelle inversé en chaque station peut l'éliminer.

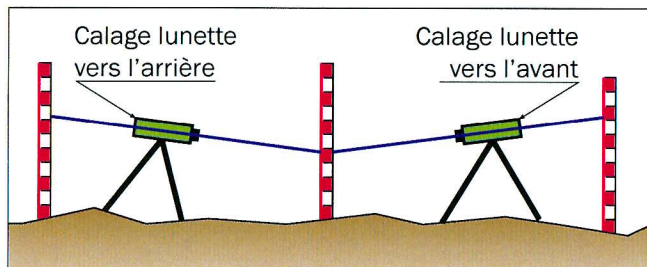


Figure 231. © ECS

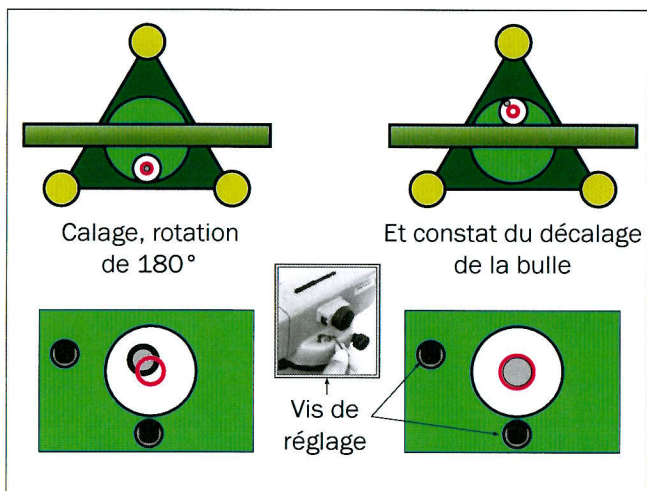


Figure 232. Vérification et réglage de la nivelle sphérique © ECS



On ramène de la moitié du décalage au moyen des vis calantes : la nivelle est réglée !

## 3. Erreur d'étalonnage de la mire

Si la mire se dilate ou se contracte, la lecture lue est faussée. Cette erreur ne peut plus s'annuler si les lectures avant et arrière sont très différentes (bas de la mire pour LR et haut de la mire pour LV dans le pire des cas, et vice versa).

Pour des mesures de haute précision, on emploie une **mire Invar** : la lame Invar graduée est insensible aux variations de température.

**Remarque :** on se méfiera de l'emploi de plusieurs mires dans un même nivellement : une **erreur d'usure de talon** peut provoquer une erreur systématique qui ne s'éliminerait qu'en intervertissant les mires en chaque station !

## 4. Erreur d'inclinaison de la mire

L'inclinaison de la mire peut être provoquée par une mauvaise tenue de la mire : c'est alors une erreur accidentelle.

Par contre, si la nivelle sphérique de cette mire est dérèglée, la mire s'inclinera systématiquement du même penchant dès que la nivelle sera calée. Négligeable pour des lectures en bas de la mire, cette erreur peut devenir importante pour des lectures hautes. On règle aisément la nivelle en la posant contre un chambranle de porte.

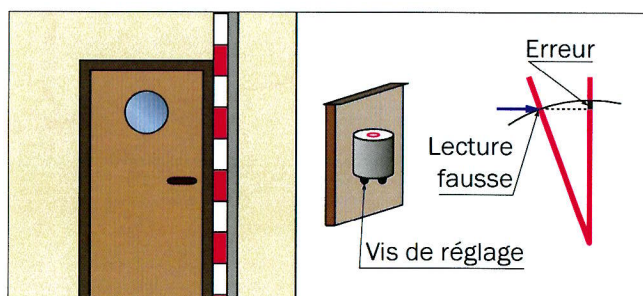


Figure 233. © ECS

### E. Erreurs d'emploi

Erreur	Grandeur	Remède
Parallaxe	Quelques mm	Bonne mise au point
Estime sur la mire	1 à 2 mm à 50 m	Usage d'un micromètre optique. Viser à la distance optimum : environ $2,5 \times G$
Inégalités de portées	Dépend de la collimation	Réglage de la collimation verticale
Réfraction	Imprévisible	Éviter de viser tout en bas de la mire par temps chaud
Perspective	Le mm	Bien tenir la face de la mire perpendiculaire à la visée
Pose de la mire	Quelques mm	Utiliser un crapaud
Contraste pour les niveaux numériques	Lecture impossible	Bon éclairage de la mire à code-barres
Blocage du compensateur	Lecture farfelue	Actionner le bouton libérateur du compensateur
Verticalité de mire	Quelques mm en haut	Contrefiches ou jalon

Tableau 39. Erreurs d'emploi

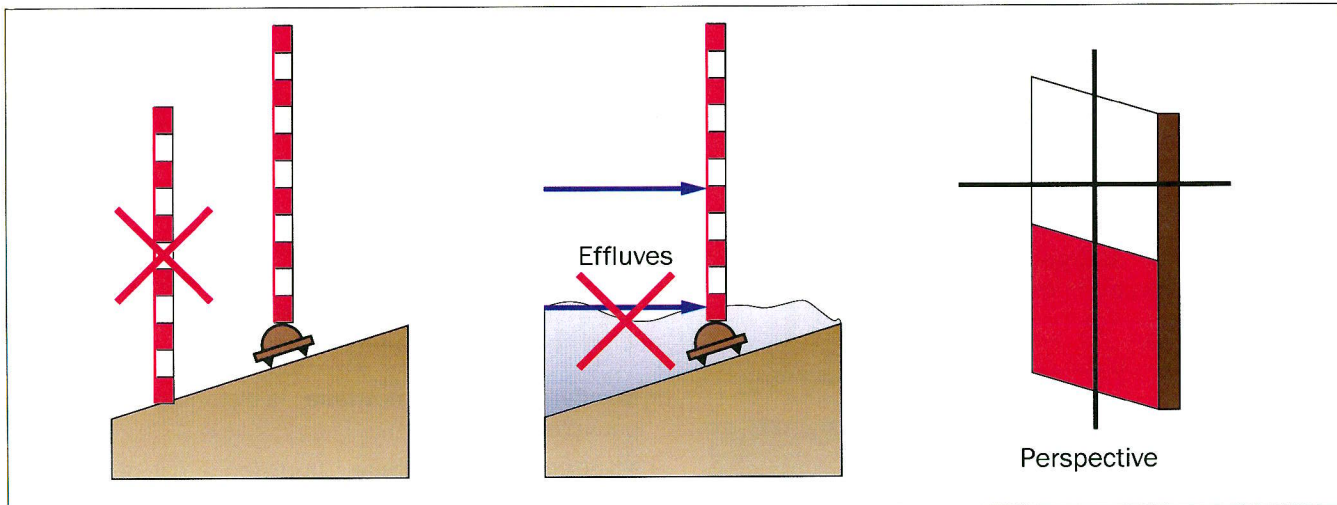


Figure 234. © ECS

Bien vérifier le degré de liberté du compensateur en actionnant le bouton exprès :

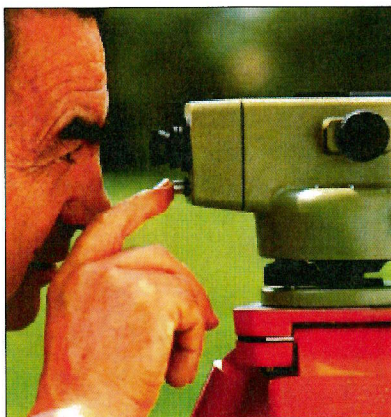


Figure 235. Compensateur Leica © Leica

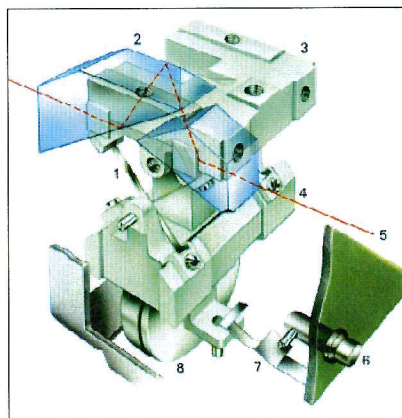


Figure 236. Compensateur Leica © Leica

## F. Tableau comparatif de niveaux

Travaux	Marque	Écart-type
Chantier	Laser TOPCON LS70C	7 mm à 100 m
	Laser LEICA LLH490	6 mm à 100 m
	Laserplane L130	8 mm à 100 m
	Laser alignement LB10	6 mm à 100 m
	LEICA NA20	2,5 mm par km
Ordinaires	TOPCON DL102C	1,5 mm par km
	LEICA DNA 10	1,5 mm par km
	TRIMBLE DINI22	1,3 mm par km
	LEICA NA28	1,5 mm par km
Précision	TOPCON DL101C	0,4 mm par km
	LEICA DNA 03	0,3 mm par km
	TRIMBLE DINI12	0,3 mm par km
	LEICA NA2 + micromètre	0,3 mm par km
Haute précision	LEICA N3	0,2 mm par km
	ZEISS Ni002A	0,2 mm par km

Tableau 40

**Remarque :** les écarts-types sont toujours donnés par  $\text{km}^{1/2}$  de cheminement double. Il faut donc les multiplier par 1,4 pour des cheminements simples, ou les diviser par 0,8 pour un cheminement à trois lectures (lectures au fil niveleur et aux deux fils stadiométriques).



Figure 237. Le Dini10n est motorisé pour les auscultations en continu © Zeiss

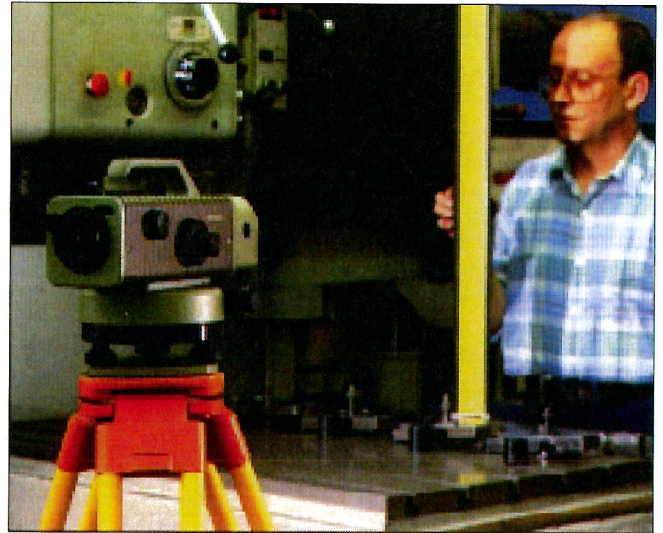


Figure 238. Métrologie au N3 © Leica

## II. LES THÉODOLITES ET TACHÉOMÈTRES

Les théodolites ou les tachéomètres utilisent le procédé du nivellement indirect, ou nivellement trigonométrique : la dénivelée est calculée par l'association d'une distance et d'un angle vertical (ou d'une pente).

- **Nivellement tachéométrique :** la distance est mesurée par le tachéomètre.
- **Nivellement géodésique :** la distance est déduite de coordonnées.

### A. Principe du nivellement indirect

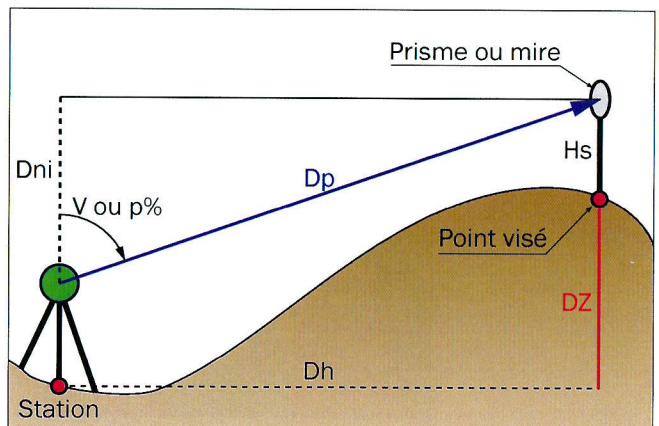


Figure 239. © ECS

- Dni = dénivellée instrumentale négative, positive ou nulle (visée horizontale)
- DZ = dénivellée totale
- V = angle vertical (éclimètre)
- p% = pente sur certains instruments (clisimètre)
- Ht = hauteur des tourillons
- Hs = hauteur signal (ou Hp = hauteur prisme)
- CNA = correction de niveau apparent

$$Dni = Dp \cdot \cos(V)$$

$$Dni = \frac{Dh}{\tan(V)}$$

$$Dni = \frac{Dh \cdot p\%}{100}$$

$$Dz = Dni + Ht - Hs + CNA$$

$$Z_{\text{point visé}} = Z_{\text{station}} + DZ$$

**!** En utilisant un prisme, **Hs** est souvent abaissé à 1,30 m.

L'enregistrement standard des valeurs telles que Dp, V, obligent ultérieurement à tenir compte de la correction de niveau apparent. Mais l'affichage de DZ ou Dni à l'écran a **déjà** fait subir cette correction par le calculateur du tachéomètre.

**!** En nivellement géodésique, on prend Dh et non pas Do !

La hauteur des tourillons est mesurée à 5 mm près : peu importe, les altitudes des détails sont calculées depuis le centre optique du tachéomètre. Pour un nivellement de précision, le théodolite visera au départ **directement** le repère, s'affranchissant ainsi de toute incertitude ! Les altitudes sont ensuite transmises de centre optique en centre optique.

**!** Attention,  $\tan(v)$  est négative en position II.

La hauteur du signal Hs n'a pas à être égale à Ht sous prétexte de simplification des calculs ! L'exploitation automatique des mesures enregistrées nous épargne cette contrainte. Il vaut mieux baisser la canne à prisme à fond : elle n'ira pas plus bas à cause de secousses intempestives ! Hs peut aussi représenter la lecture sur mire. Enfin, Hs est nul si l'on vise directement le signal ! Pour un prisme, Hs varie entre 1,30 m et 2,15 m (remonté à fond).

## B. Erreur de niveau apparent

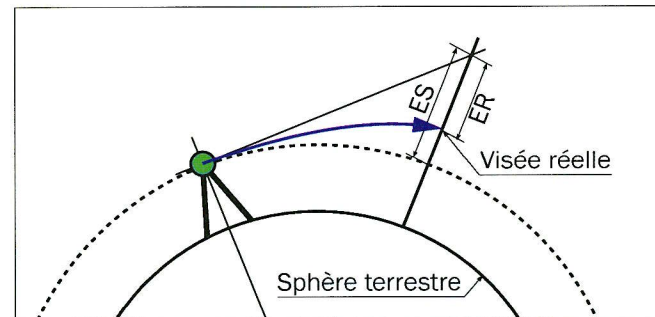


Figure 240. © ECS

L'erreur de niveau apparent est la résultante de deux erreurs antagonistes :

- l'erreur de sphéricité de la terre, mathématique, égale à  $\frac{Dp^2}{2R}$  ;
- l'erreur de réfraction, empirique, égale à environ  $\frac{0,066 \cdot Dp^2}{2R}$ .

La combinaison de ces deux erreurs prend pour correction de niveau apparent :

$$CNA = + \frac{(Dp_{km})^2}{15}$$

Autant dire que pour des visées tachéométriques inférieures à 300 m, cette erreur n'est pas importante (6 mm à 300 m). Par contre, il faut en tenir compte pour le nivellement géodésique, si les visées dépassent franchement 300 m. Cette erreur systématique s'annule par visées réciproques.

## C. L'erreur d'index

Les théodolites modernes (électroniques) sont tous munis d'un système compensateur qui dispense d'associer le cercle vertical à une nivelle torique. Ainsi, la collimation verticale, due à un mauvais calage de nivelle, est inexistante.

Cependant, cela n'empêche pas que ce cercle soit mal disposé dans le théodolite, et que l'on lise un angle vertical différent de 100 grades quand la visée est horizontale : c'est **l'erreur d'index**, à ne pas confondre avec l'erreur de collimation verticale !

L'erreur d'index se détecte soit par lecture de l'angle V sur un signal en positions 1 et 2, soit par visées réciproques (visée directe et visée inverse).

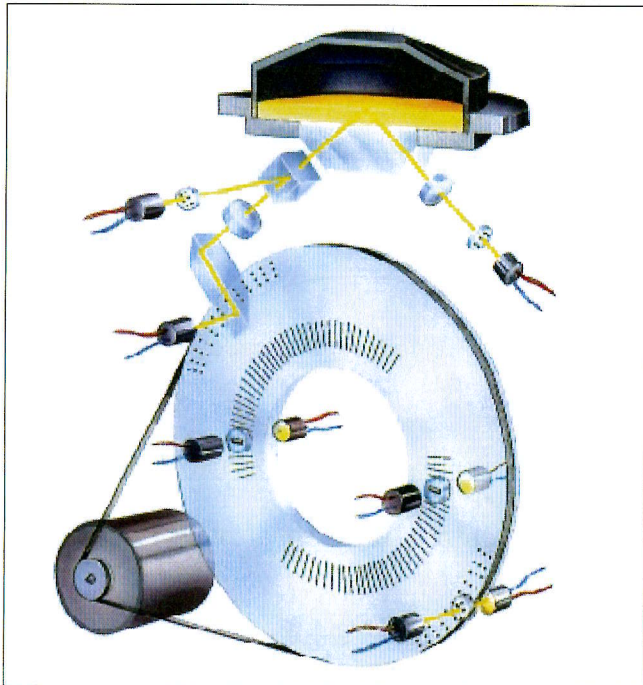


Figure 241. Système compensateur du TC2002 © Leica

## 1. Détection par visées en positions 1 et 2

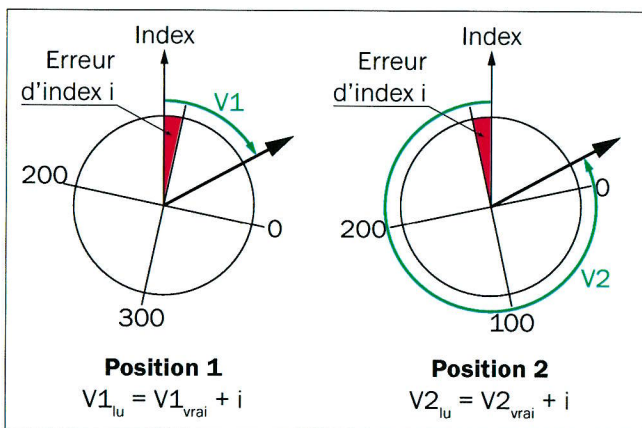


Figure 242. © ECS

Comme  $V2 = 400 - V1$ , la moyenne des deux lectures donne l'angle vrai en position 1 :

$$\frac{V1_{\text{vrai}} + i + 400 - (V2_{\text{vrai}} + i)}{2} = V1_{\text{vrai}}$$

avec  $i = V1_{\text{vrai}} - V1_{\text{lu}}$

Donc :

$$V1_{\text{vrai}} = \frac{V1_{\text{lu}} + 400 - V2_{\text{lu}}}{2}$$

### Exemple

On lit  $V1 = 112,364$  gon et  $V2 = 287,630$  gon soit  $V1' = 112,370$  gon.

Moyenne = **112,367 gon**

Erreur d'index = **-3 mgon**

Correction d'index = **+3 mgon**

### ► Visées réciproques

Dans un cheminement polygonal, en chaque station, on vise systématiquement la station arrière et la station avant. De ce fait, un angle vertical  $V1$  est lu en A sur B : c'est la visée directe, dans le sens du cheminement ; puis en B, on lit l'angle vertical  $V2$  sur A : c'est la visée inverse, de sens contraire au cheminement.

- Les visées réciproques sont parallèles quand la hauteur des tourillons est égale à la hauteur du signal. Dans ce cas, et seulement dans ce cas, la somme des angles verticaux  $V1$  et  $V2$  serait égale à 200 gon si l'erreur d'index était nulle ! (Figure 243)
- Les visées réciproques ne sont pas parallèles (cas général), la somme des angles  $V1$  et  $V2$  n'est pas du tout égale à 200 gon. Mais les dénivelées calculées le seront, à défaut d'erreur d'index, au signe près ! (Figure 243)

L'erreur d'index s'élimine par visées réciproques comme démontré plus loin ; la dénivelée moyenne est donc affranchie de cette erreur :

$$DZ_{\text{vraie}} = \frac{DZ_{\text{directe}} - DZ_{\text{inverse}}}{2}$$

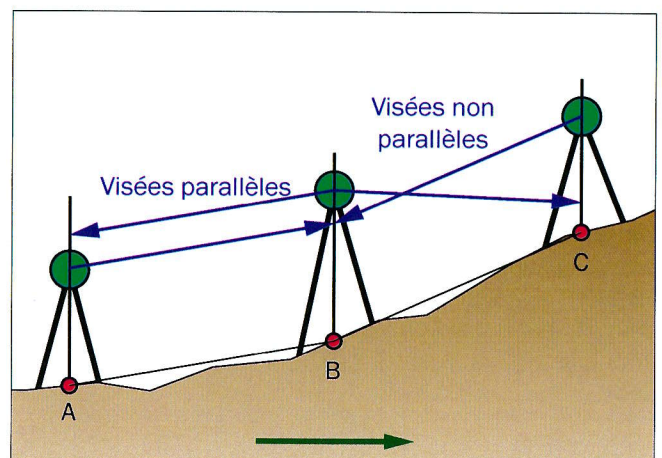


Figure 243. © ECS

## 2. Détection par visées réciproques parallèles

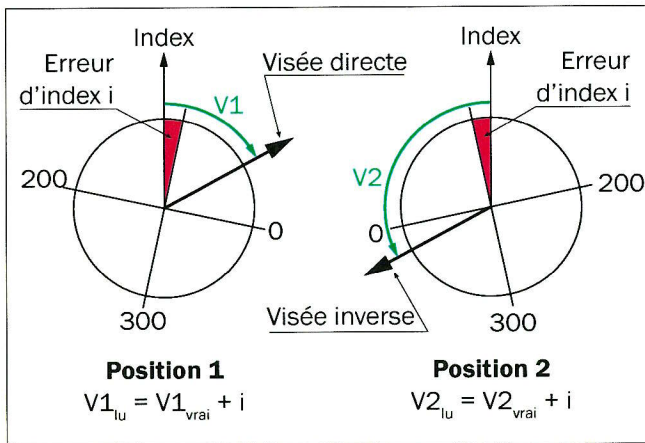


Figure 244. © ECS

Comme  $V1 = 200 - V2$ , on a :

$$\text{angle vrai } V1 = \frac{V1_{lu} + 200 - V2_{lu}}{2}$$

### Exemple

On a lu  $V1 = 102,704$  gon et  $V2 = 97,300$  gon. Donc :

$$\begin{aligned} \text{angle } V1_{\text{vrai}} &= \frac{102,704 + 200 - 97,300}{2} \\ &= 102,702 \text{ gon} \end{aligned}$$

Correction d'index = -2 mgon.

## 3. Élimination de l'erreur d'index

Comme il est délicat de modifier la position du cercle vertical dans les tachéomètres électroniques, il est souhaitable d'éliminer l'erreur par calcul, en rajoutant systématiquement la correction d'index aux angles lus. Opération inutile pour les visées réciproques bien sûr !

Une procédure de mémorisation de cette erreur existe pour tous les théodolites électroniques : l'angle vertical lu est ensuite automatiquement corrigé dans une **seule position** de l'instrument, et quelle que soit cette position (le signe de la correction restant **invariable**).

## D. Erreurs d'emploi

Erreur	Grandeur	Remèdes
Mauvais calage de la nivelle du cercle vertical	Quelques mgon	Bien caler la nivelle Erreur inexistante avec les compensateurs
Mauvaise procédure de détection de l'erreur d'index	Quelques mgon	Soigner les pointés à 100 m
Lecture erronée	Quelques mgon ou dmgon	Erreur inexistante avec les instruments enregistreurs
Mauvais pointé dû à la parallaxe ou à la maladresse	Variable avec la distance	Soigner la mise au point Soigner le pointé Bien placer la canne à prisme ou la mire Éviter les effluves Centrage forcé
Non verticalité de la mire ou de la canne à prisme	Variable avec l'inclinaison	Utiliser un jalon ou un tripode Centrage forcé
Mauvaise mesure de Ht	Quelques mm	Viser directement le repère
Variation de l'indice de réfraction	Quelques dmgon	Visées réciproques simultanées
Réfraction anormale		Éviter les visées rasantes

Tableau 41



Ne jamais oublier de mesurer Ht !

## E. Précisions instrumentales

Les écarts-types des angles verticaux sont toujours les mêmes que ceux des angles horizontaux : on se rapportera donc au tableau comparatif de la page 128. L'influence de l'erreur angulaire sur la dénivelée est égale à :

$$(\sigma_{DZ})^2 = (\sigma_{Dp} \cdot \cos(V))^2 + (\tan(\sigma_V) \cdot Dp \cdot \sin(V))^2$$

Pour des travaux courants de topométrie, et pour des angles  $V$  compris entre 95 gon et 105 gon, on peut admettre cet écart-type :

$$\sigma_{DZ} = Dp \cdot \tan(\sigma_V)$$

Pour une précision angulaire de 1,5 mgon, un tachéomètre aura une précision de 6 mm à 250 m. En métrologie, le point est directement intersecté dans l'espace : on parle **d'intersection spatiale**. La précision angulaire (3 dmgon) permet des précisions de positionnement de l'ordre du mm !

### III. INSTRUMENTS DIVERS

#### A. Récepteurs GNSS

Le récepteur GNSS n'est pas spécialement un instrument de mesure de dénivelée. Il détermine cependant la hauteur du point stationné par rapport à l'ellipsoïde. Il faut donc tenir compte de l'ondulation pour transformer la hauteur  $h$  en altitude  $H$ .

La précision de la dénivelée est environ **2 fois moins bonne** que la précision planimétrique. Il est donc impossible d'obtenir des altitudes de précision millimétrique en GNSS topographique.

#### B. Altimètre

Il s'agit tout simplement d'un baromètre qui indique l'altitude en fonction de la pression atmosphérique. La précision étant de l'ordre de **quelques mètres**, son emploi est réservé au dégrossissement de l'altitude moyenne d'un chantier. On pourrait d'ailleurs imaginer l'incorporation d'un tel dispositif dans le tachéomètre, pour le calcul automatique de la réduction à l'ellipsoïde !

#### C. Dendromètre

C'est une sorte de clinomètre de poche qui donne la pente entre l'œil de l'observateur et le sommet d'un objet dont on désire connaître la hauteur.



Figure 245. © DR

De précision métrique, le dendromètre, comme son nom l'indique, sert

à mesurer la hauteur des arbres. Mais on peut l'utiliser pour des missions de préparation de GPS : pour évaluer les masques.

#### D. Niveau de déclivité

Niveau à main dont la nivelle est rotative. Calée, elle indique sur une graduation, la pente correspondant au support.

Très pratique dans le BTP pour évaluer des pentes de chaussées, de talus...

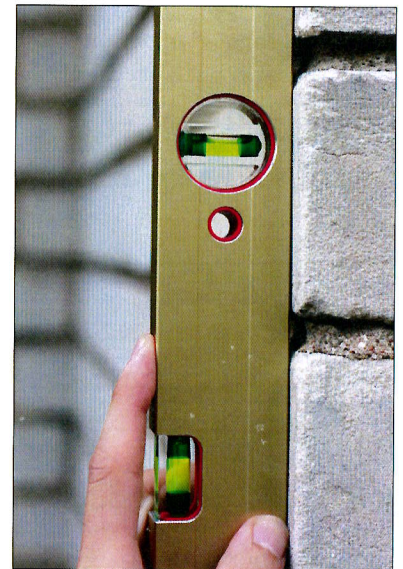


Figure 246. © ronstik - Fotolia



### Résumé du chapitre 9

#### Les niveaux

Le niveau est un instrument capable de déterminer des dénivelées avec une précision égale ou inférieure au mm, par nivellement « direct ». Son champ d'action est donc limité.

Formule type :  $DZ = R - V$

avec :  $R$  = lecture arrière

$V$  = lecture avant

Zéro de la mire sur le point, lecture négative si mire à l'envers

On distingue les niveaux monoblocs et réversibles (à bulle, plus guère utilisés), les niveaux automatiques (plus rapides et aussi précis), les niveaux numériques, à code-barres (capables de mémoriser et de calculer), les niveaux lasers (permettant de travailler seul).

Les travaux de précision exigent l'emploi d'accessoires indispensables tels que mire Invar, crapauds ou socles de mire, contrefiches et surtout micromètre optique.

La principale **erreur systématique** du niveau est l'erreur de « défaut d'horizontalité » appelée aussi « erreur de collimation verticale ». Elle se détecte par la méthode « WILD » (quatre lectures sur deux mires et  $LH = L1 - L2 + L3$ ) et s'élimine par calcul (procédure pour les niveaux numériques), réglage ou mode opératoire (visées égales de cheminement).

Les **erreurs d'emploi** sont essentiellement :

- l'erreur due à la parallaxe (soigner la mise au point) ;
- l'erreur d'estime sur la mire (utiliser un micromètre) ;
- l'erreur de pose au sol (utiliser un crapaud) ;
- l'erreur due à la non-verticalité de la mire (emploi de contrefiches) ;
- l'erreur due à la réfraction (éviter les visées rasantes) ;
- la faute due au blocage du pendule (vérifier le réglage de la nivelle sphérique par rotation à 200 grades) ;
- le blocage dû aux mauvais contrastes pour les niveaux à code-barres...

Précisions : de 0,2 mm à 3 mm au  $km^{1/2}$  de cheminement.

#### Les tachéomètres

Les tachéomètres et théodolites sont davantage utilisés en lever topométrique pour des précisions centimétriques, par nivellement « indirect ». Mais le mm reste accessible en métrologie, par intersection spatiale !

Formule type :  $DZ = Dp \cdot \cos(V) + ht - hs + CNA$

ou bien :  $DZ = \frac{Dh}{\tan(V)} + ht - hs + CNA$

avec :  $ht$  = hauteur des tourillons

$hs$  = hauteur du signal (ou prisme)

$CNA$  = correction de niveau apparent

(en général  $\frac{D_{km}^2}{15}$ )

En nivellement tachéométrique, on mesure la distance  $Dp$  ; en nivellement géodésique, on calcule la distance  $Dh$  !

**L'erreur systématique** du théodolite, en nivellement indirect, est l'erreur d'index. On la détecte par double retournement ou par visées réciproques. Elle s'élimine par calcul (procédure pour les tachéomètres électroniques), par réglage ou par mode opératoire (lectures en positions I et II, ou par visées réciproques en cheminement).

Les principales **erreurs d'emploi** sont :

- l'erreur d'index résiduelle (mauvais réglage ou mauvaise procédure) ;
- l'erreur de pointé ;
- la parallaxe ;
- l'erreur due à la non-verticalité de la mire ou de la canne à prisme ;
- l'erreur due à une mauvaise réfraction (éviter les portées trop longues)...

Précisions : on peut s'attendre à 5 mm sur un point tachéométrique, à 5 mm de cheminement kilométrique (centrage forcé), à mieux que le mm en intersection spatiale (métrologie).

A large rectangular area of light brown paper with horizontal dashed lines, intended for personal notes. The lines are evenly spaced and run across the width of the page.