

# Le nivellement hydrostatique appliqué à la surveillance altimétrique

par Marc GELMAN  
ESGT

## I – INTRODUCTION

**1 - Généralités :** la mise en évidence et la surveillance altimétrique d'un terrain imposent deux types de contraintes :

a) D'une part la sensibilité du procédé de mesure doit être adaptée à l'amplitude prévisible du mouvement et à la précision souhaitée.

b) D'autre part la période entre chaque mesure ne doit pas masquer une caractéristique importante du mouvement. Il faut, là encore, en prévoir la vitesse et la forme générale pour choisir une fréquence de mesure suffisante.

**2 - Travaux souterrains :** ce problème se pose avec acuité lors des travaux souterrains en milieu urbain. Le percement d'une galerie de métro par exemple, exige une surveillance attentive des constructions situées au-dessus.

Le nivellement géométrique (N.G.) répond parfaitement à la première condition. En effet, les cheminements entre les repères stables et la zone à surveiller sont courts ; une précision de l'ordre de  $1/10^6$  de mm est accessible.

Par contre la deuxième condition est plus difficile à satisfaire par ce procédé de NG. On ne peut guère dépasser la fréquence d'une mesure par jour, et ceci peut s'avérer insuffisant pour déterminer toutes les caractéristiques du mouvement.

Lors d'une injection, par exemple, la réponse du terrain est rapide, et le maximum du soulèvement peut échapper à la surveillance.

De plus, la surveillance peut s'étaler sur plusieurs mois, et la nécessité d'interventions quotidiennes d'une équipe topographique rend ce procédé très coûteux. C'est pourquoi le procédé de Nivellement Hydrostatique (NH) paraît séduisant. Par son principe même, il autorise une surveillance continue du mouvement, et se prête à un enregistrement automatique des informations. Une précision de l'ordre de  $1/10^6$  de mm peut être atteinte moyennant quelques dispositions que nous allons voir rapidement.

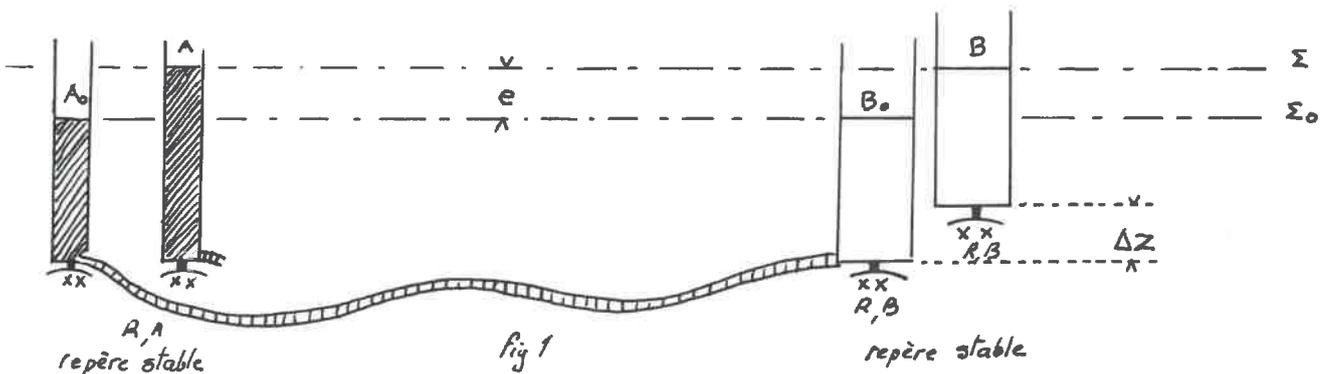
## II – PRINCIPE ET PRÉCAUTIONS D'UTILISATION DU NIVELLEMENT HYDROSTATIQUE

**1 - Principe :** quand l'altitude d'une extrémité de la Ligne Hydrostatique (LH) varie de  $\Delta z$ , l'équilibre initial sur la surface de niveau est détruit. Un nouvel équilibre s'établit sur la surface  $\Sigma$  (fig. 1). Comme le volume du liquide à l'intérieur n'a pas changé, nous avons :

$$e = \Delta z \times \frac{S_B}{S_A + S_B} \quad (1)$$

$S_A$  et  $S_B$  étant les sections des parties terminales A et B.

Théoriquement, il suffit donc de mesurer l'écart  $e$  à l'une des extrémités A ou B pour connaître la variation d'altitude  $\Delta z$  entre les deux repères  $R_A$  et  $R_B$ .



Dans la réalité des perturbations peuvent écarter les surfaces du liquide de la surface de niveau  $\Sigma$ , et certaines précautions sont nécessaires.

En outre, les repères à chaque extrémité doivent être sensiblement à la même altitude pour que ce nivellement soit applicable. Ceci constitue une limitation importante de ce procédé.

## 2 - Précautions d'utilisation

**2.1 Variation de température :** l'influence d'une variation de température  $d\theta$  le long d'un segment ascendant ou descendant de hauteur  $\Delta h$  (fig. 2) est donnée par la relation :

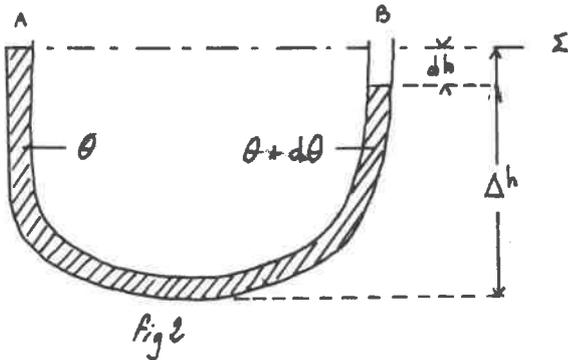


Fig 2

$$dh = -\alpha \times \Delta h \times d\theta \quad (2)$$

avec  $\alpha$  coefficient de dilatation du liquide.

Le meilleur moyen de la réduire est de déposer la ligne hydrostatique aussi horizontalement que possible.

Nous nous intéressons aux variations de la dénivelée  $R_A - R_B$ , et non à la dénivelée elle-même. Il s'agit donc de s'affranchir de l'effet des variations dans le temps. Les différences de température le long de la ligne hydrostatique ne nous dérangent pas si elles sont constantes.

En milieu urbain, on peut envisager de déposer la ligne hydrostatique à l'intérieur d'un réseau d'évacuation des eaux, où la température varie peu et dont la pente est faible. Les stations pourraient être implantées dans des caves d'immeubles.

Les changements d'altitude doivent être aussi localisés et calorifugés que possible pour atténuer les variations de la température extérieure. Le profil idéal de la ligne hydrostatique est à angle droit (fig. 3).

Quel que soit le profil de la ligne hydrostatique, la dilatation du tuyau et celle du liquide ne se compensent qu'exceptionnellement, et une variation de la température moyenne provoque une variation de niveau égale à chaque extrémité.

Ce phénomène est atténué si on augmente la section totale des parties terminales. Appelons R le rap-

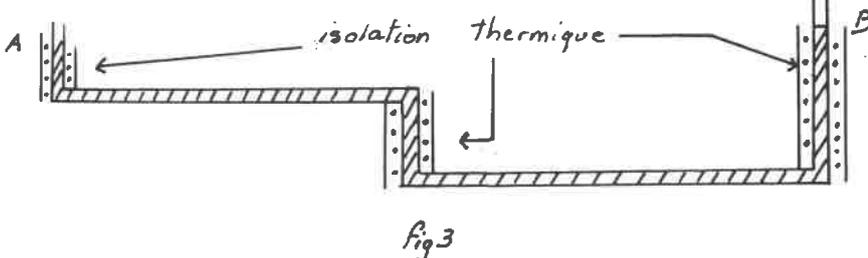


Fig 3

port de cette surface sur la section du tuyau lui-même.

Pour de l'eau aux environs de 20° C, une variation de température de 5° C sur une longueur de 100 m provoque une variation du niveau inférieure à 0,1 mm si  $K = 1\ 000$ .

De toutes façons, si les variations de température ne peuvent être négligées au cours de la journée ou de l'année, il n'est pas très contraignant d'établir un horaire ou un calendrier des corrections à apporter.

**2.2 Différence de pression atmosphérique :** une différence de pression entre les extrémités de la LH crée un écart entre ( $\Sigma$ ) et la position d'équilibre (fig. 4).



Fig 4

$$dh = \frac{\Delta P_{AB}}{\rho \times g} \quad (3) \text{ avec } \rho : \text{masse volumique du liquide}$$

L'utilisation d'un tuyau de liaison en air (fig. 5) permet, sinon d'égaliser parfaitement les pressions en A et B, du moins de maintenir  $\Delta P_{AB}$ , donc dh constante.

En effet, ce tuyau suit le même trajet que le tuyau de liquide. Il est soumis aux mêmes variations de températures et leur influence est beaucoup plus faible.



Fig 5

**2.3 Capillarité :** l'ascension ou la descente du niveau d'un liquide dans un tube cylindrique par capillarité est décrite par la loi de Jurin :

$$dh = \frac{\tau \times \cos \varphi}{\rho \times d \times g} \quad (4)$$

avec  $\tau$  : tension superficielle du liquide et les notations de la figure 6.

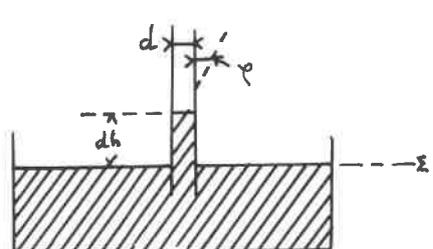


Fig 6

Dans du verre l'angle  $\varphi$  vaut théoriquement zéro degré pour l'eau et l'alcool éthylique (ascension) et 139 degrés pour du mercure (descente).

Seules nous intéressent les variations de la dénivellée  $R_A - R_B$ , et les fioles terminales peuvent être de diamètres différents sans inconvénients ( $dh_A \neq dh_B$ ).

Par contre il faut veiller à la propreté des parois et du liquide, car la présence d'un film "tensio-actif" (graisse, détergent...) à la surface modifie considérablement l'effet de capillarité.

Exemple pour un tube de 1 cm de diamètre :

- Eau :  $dh = + 3,0$  mm
- Alcool :  $dh = + 1,2$  mm
- Mercure :  $dh = + 1,1$  mm

**2.4 Mouvements du liquide :** nous excluons ici un déséquilibre brutal du niveau (apport de liquide par exemple).

Les seules causes d'un mouvement de liquide sont alors les variations de température et de l'altitude de l'extrémité instable. Nous admettons qu'elles sont suffisamment progressives pour ne créer, par rapport à  $\Sigma$ , que des écarts négligeables.

### III - ENREGISTREMENT DES VARIATIONS D'ALTITUDE

**1 - Principes généraux :** un dispositif de lecture mesure respectivement l'écart "e" ou " $\Delta z - e$ " selon l'extrémité A stable ou B instable à laquelle il est placé (fig. 1).

Il est intéressant de répartir la surface totale des parties terminales :  $S = S_A + S_B$  de manière à augmenter la quantité mesurée (cf : relation I).

— Dispositif de lecture en A :

$$S_B \gg S_A \Rightarrow \frac{e}{\Delta Z} \approx 1$$

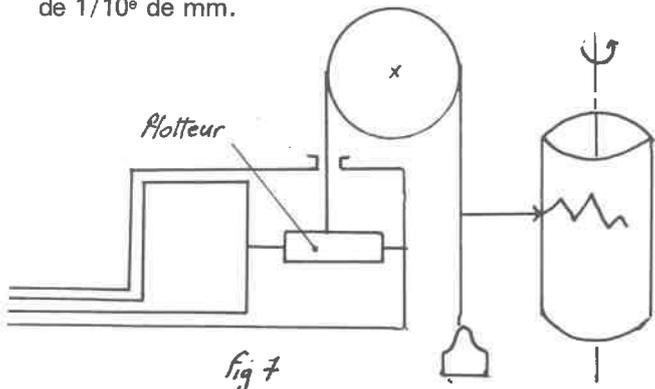
— Dispositif de lecture en B :

$$S_A \gg S_B \Rightarrow \frac{\Delta Z - e}{\Delta Z} \approx 1$$

D'autre part les fioles terminales doivent rester étanches à l'air, du moins pour de faibles différences de pressions, pour que le tuyau de liaison en air joue son rôle.

#### 2 - Quelques systèmes d'enregistrement :

**2.1 Système à flotteur :** c'est un système très simple, l'enregistrement se fait graphiquement sur un tambour (fig. 7). La réalisation pratique peut poser des problèmes pour obtenir une sensibilité de l'ordre de  $1/10^0$  de mm.

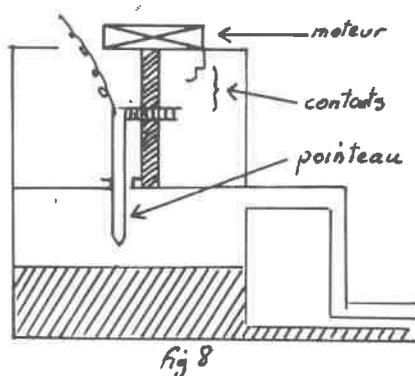


**2.2 Système à contact électrique :** un moteur entraîne la descente d'un pointeau. La détection du niveau liquide par contact électrique provoque la remontée du pointeau. Le nombre de tours-moteurs est compté électroniquement. EDF utilise ce système et le CERN l'expérimente également (fig. 7). La réalisation de la mesure atteint quelques  $1/100$  de mm. La séquence de mesure peut être répétée à intervalles réguliers et les informations enregistrées.

**2.3 Système optique :** on peut imaginer différents dispositifs utilisant la réflexion ou la réfraction de la lumière à la surface du liquide, et l'enregistrement des informations sur une émulsion photosensible.

#### 3 - Amplification de la variation d'altitude :

##### 3.1 Avec deux liquides : A l'équilibre :



$$h_2 = \rho_1/\rho_2 \times h_1$$

Après une variation d'altitude nous avons :

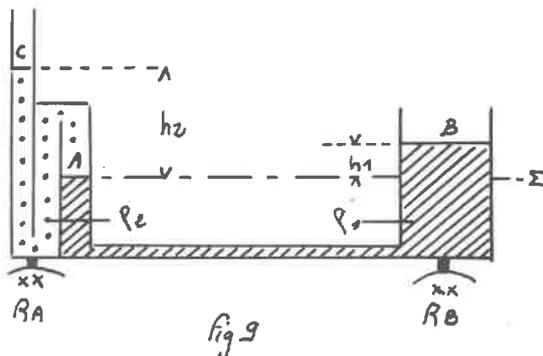
$$ec = \Delta Z \times \frac{S_B}{S_C + \rho_2/\rho_1 \times S_B} \quad (1 \text{ bis})$$

La limite du rapport  $ec/\Delta Z$  est donc :  $\rho_1/\rho_2$  qui peut être supérieure à 1 :

- eau-alcool  $\rho_1/\rho_2 = 1,25$
- mercure-eau  $\rho_1/\rho_2 = 13,6$
- mercure-alcool  $\rho_1/\rho_2 = 17$ .

Cette amplification de la variation d'altitude  $\Delta Z$  peut accroître la précision du procédé de lecture. Cependant elle aggrave la contrainte sur la température car le rapport  $\rho_1/\rho_2$ , doit être constant.

**3.2. Autres procédés :** d'autres procédés, mécaniques ou optiques selon le système d'enregistrement, amplifient également l'incertitude sur la détection du niveau liquide. Ils ne sont intéressants que si celle-ci est très petite.



#### IV — CONCLUSION

##### 1 - Aspect technique.

Des études et des expériences sont nécessaires pour rendre opérationnelle cette application du nivellement hydrostatique, notamment en ce qui concerne les systèmes d'enregistrement automatique.

Il reste que le principe du nivellement hydrostatique paraît beaucoup plus adapté à la surveillance des mouvements du sol que le nivellement géométrique. La précision requise devrait être accessible assez rapidement et simplement.

##### 2 - Aspect économique

L'appareillage nécessaire n'est pas commercialisé actuellement, aussi est-il difficile de chiffrer le coût de ce procédé. Cependant cet appareillage constitue

un investissement qui s'amortit sur plusieurs années, et dont la mise en œuvre, contrairement au nivellement géométrique nécessite peu de main d'œuvre. On peut estimer que le seuil de rentabilité est atteint pour une durée d'observation de quelques mois.

#### BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- Systematische Fehler des Hydrostatischen Nivellements und Verfahren zu ihrer Ausschalt : G. SCHEEL.
- Notice d'information technologique du CERN.
- Report on hydrostatic levelling across the Westerschelde : A. WAALEWIJN.
- Le Nivellement Hydrostatique, mémoire ESGT (octobre 81).





**Ets GUIZOU**  
215, RUE DU ROUET  
13008 MARSEILLE

**91/79,41,41**

**LOCATION**

notre parc d'instruments  
topographiques  
à votre disposition

**ne restez pas  
en panne...**

**louez un appareil.**

NIVEAUX  
THEODOLITES  
TACHEOMETRES  
DISTOMATS D13S  
LASERS

Expédition Express sur toute la France  
Tarif location sur demande