

République Tunisienne
Ministère de l'Équipement & de l'Habitat
Office de la Topographie & de la Cartographie
Direction de la Cartographie
Division de la Géodésie et des Levés Marins

Communication sur

LE NIVELLEMENT NUMERIQUE

Présentée par

Abdelmajid BEN HADJ SALEM

Ingénieur Géographe Principal

Abstract :

In this communication, we present the digital level. The principle of operation and measurements as well as the advantages of the digital level are detailed.

Résumé :

Dans cette communication, nous présentons le niveau numérique SDL. Le principe de fonctionnement et des mesures ainsi que les avantages du niveau numérique sont détaillés.

November 11, 2022

**Centre des Sciences de l'Ingénieur
4 Juin 1999**

LE NIVELLEMENT NUMERIQUE

I.Introduction

II.Présentation d'un niveau numérique

- 1.Principe
- 2.Observations
- 3.Traitement du signal
- 4.Code de la mire
- 5.Performance du nivellement numérique

III.Cas du niveau SDL1

IV. Conclusions

I. Introduction

- le développement en vue de l'automatisation du nivellement date de plusieurs décennies,
- mis au point le système de balayage électronique,
- technique Laser,
- **1990** lancement du niveau numérique Wild NA2000 : c'est un système de traitement d'image numérique unidimensionnel assimilable à une caméra CCD à ligne de visée stabilisée.

On a les étapes suivantes :

- identification par le capteur CCD de la division codée de la mire du nivellement,
- conversion en un modèle de signal,
- analyse du signal par une méthode de corrélation,
- détermination de la lecture et de la distance.

Après le NA2000, il a eu le NA3000 plus précis, utilisé particulièrement dans les travaux de nivellement du 1^{er} ordre.

II. Présentation d'un niveau électronique : le WILD NA2000

1. Principe

- Les niveaux numériques sont formés des mêmes éléments optiques et mécaniques que les niveaux classiques.

- L'image du code de la mire est reproduit sur le détecteur à diode.
- Le détecteur a une longueur de 6.5mm et a 256 Photodiodes sensibles à la lumière distants de 25µm.
- L'angle d'ouverture du système optique est de 2°, par suite la section de la mire reproduite sur le détecteur est de 61mm à la distance minimale et de 3.5 mm à 100 m.
- Un transmetteur détermine la position de la lentille de focalisation qui est utilisée comme valeur de distance approchée lors de la corrélation.
- Le détecteur convertit l'image code reçue en un signal vidéo analogique.
- Le signal est amplifié et digitalisé par un système électronique donnant un signal de mesure comprenant 256 pixels soit 256 niveaux de gris.
- Exploitation du signal par le microprocesseur.
- La lentille de focalisation peut être déplacée sur environ 14 mm de façon à permettre la mise au point dans une plage de 1.80 à 100 m. Sur la base de la position de cette lentille, la distance peut-être calculée avec la formule :

$$d = k/s \quad (1)$$

où :

d : distance de focalisation

k : constance optique

s : la position de la lentille de focalisation

2. Observations

- Visée et mise au point (observateur) : identique à celle du nivellement optique.
- Déclenchement de la mesure numérique (observateur) :
 - touche de mesure pressée,
 - le système détermine la position de la lentille de focalisation,
 - l'image du code barres est ensuite analysée et enregistrée.
- Corrélation approximative : but détermination de la valeur approchée de la hauteur de visée et de l'échelle de l'image à partir de la position de la lentille de focalisation (durée 1 s).
- Corrélation fine : détermination de la position et l'échelle avec une corrélation de 8 bits.

3. Traitement du signal

La procédure d'évaluation se fonde sur la corrélation :

- comparaison de l'image code barres avec un code de référence,
- optimisation des paramètres « hauteur » et « échelle ».

La fonction de corrélation s'exprime par :

$$F_{PQ} = \frac{\sum_{i=0, N} Q_i(y) * P_i(d, y + h)}{N} \quad (2)$$

où : F_{PQ} la fonction de corrélation entre P et Q,

$Q(y)$ signal de la mesure,

$P(d, y+h)$ signal de référence calculé,

- balayage automatique de la plage nécessite le calcul de 50000 coefficients de corrélation,
- pour les niveaux numériques, on a réduit ce nombre par l'emploi de la corrélation approximative et la corrélation fine,

La corrélation approximative

Elle fournit les coordonnées approchées de la crête dans une trame distance - hauteur.

- la zone de recherche est limitée (la position de la lentille fournit la distance approchée),
- la taille de mesure est ramenée à un bit (les pixels : 0 ou 1),
- la fonction de multiplication de la formule de corrélation est remplacée par une fonction d'équivalence.

Pour les niveaux numériques cette corrélation de 1 bit est définie par la relation :

$$F_{PQ} = \frac{\sum_{i=1, N-1} Q_i(y) \oplus P_i(d, y - h)}{N} \quad (3)$$

Où : F_{PQ} la fonction de corrélation de 1 bit,

$Q(y)$ signal du détecteur,

$P(d, y-d)$ Signal de référence,

Exemple :

P = 0011100011.....00011100100100100
 Q = 1100110010.....00100100100111100
 F_{PQ} = 0000101110.....11000111111100111

- la crête de corrélation se situe là où coïncident le signal de référence et le signal de mesure,

- grâce à cette technique, la durée de corrélation approximative peut être limitée à 1 s env.

La corrélation fine

La corrélation fine a pour objet de déterminer avec la plus haute précision possible la position relative de l'image du code par rapport au détecteur ainsi que l'échelle code-barres.

- le signal de mesure et le signal de référence sont comparés avec l'information complète sur 8 bits dans la plage de recherche,
- la fonction de corrélation est normée :

$$F_{PQ} = \frac{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} Q_i P_i - \bar{Q} \cdot \bar{P}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} Q_i^2 - \bar{Q}^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} P_i^2 - \bar{P}^2}} \quad (4)$$

Donc le coefficient de corrélation se situe toujours autour de 1.0 d'où la possibilité de qualifier le résultat de la mesure à la fin de la corrélation.

4. Code de la mire

- la mire est composée d'éléments blancs et noirs,
- le code de la mire constitue un code binaire,
- un élément de base mesure 2.025 mm,
- le code barres complet comprend 2000 éléments sur une longueur de 4.050m,
- le modèle de code est non périodique et aléatoire,
- en cas d'éléments code manquants, on tolère jusqu'à 20% du recouvrement sans perdre la précision et sans que la fiabilité des mesures soit affectée,
- éviter les mesures aux extrémités de la mire pour les levés de haute précision.

5. Performance du Nivellement Numérique

- La visée et la mise au point ont un effet négligeable sur la précision des mesures.
- Comme pour le nivellement optique, éviter des mesures en présence de turbulences atmosphériques et des vibrations (cas de vent, à proximité de machines de construction, etc.).
- Comme pour le nivellement optique, l'éclairage de la mire est important. En cas de nivellement sous lumière artificielle, celle-ci doit renfermer une composante infrarouge (comme la lumière du jour).
- **La précision interne :**
 - la résolution du système de mesure altimétrique est de :
 $\sigma = 0.1 \text{ mm (NA2002)}$

$$\sigma = 0.01 \text{ mm (NA3003)}$$

- la précision de mesure de la distance est de $\sigma = 0.01 \text{ mm}$ pour les 2 instruments.
 - **La précision du système :** la précision du système (mm/km en nivellement aller-retour) dépend du modèle d'instrument utilisé, du type de mire, et des conditions d'observations (portée, réfraction, rapidité des mesures...), on a le tableau suivant :

Niveau	Mire	
	Double face en fibre de verre	Invar /aluminium
NA2002	$\sigma = 1.5 \text{ mm/km}$	$\sigma = 0.9 \text{ mm/km}$
NA3003	$\sigma = 1.2 \text{ mm/km}$	$\sigma = 0.4 \text{ mm/km}$

- **Les avantages :** le principal avantage d'un niveau numérique est son rendement élevé permettant de réaliser un gain de temps jusqu'à 50% grâce à la mesure, au calcul et à l'enregistrement automatiques. Les avantages des niveaux numériques sont :

Avantages et Résultats :

- Mesure automatique
 - mesure sans fatigue,
 - pas d'erreur de lecture,
 - sécurité personnelle,
 - mesure rapide,
 - valeur affichée à l'instrument,
 - mesure plus précise grâce au code barres de la mire,
 - plus grande précision lors des vibrations de l'air,
 - mesure même lorsque la mire est en partie recouverte,
 - connexion en ligne.
- Enregistrement des valeurs
 - pas d'erreur d'écriture,
 - possibilité d'un traitement automatique ultérieur.
- Programmes de calculs intégrés
 - calcul et affichage immédiats des altitudes,
 - dans l'écran, guidage de l'opérateur pendant la mesure,
 - implantation altimétrique avec calcul et affichage des dénivelés,
 - pas de calcul mental.
- Instrument compact
 - mesure, calcul et enregistrement sans câble.
- Système
 - logiciel d'analyse avec compensations de lignes et de réseaux.

- Large choix de mires
 - applications très diverses,
 - éclairage de mire pour mesures souterraines ou de nuit.

III. Le niveau SDL1

- niveau numérique avec mires à code barres,
- capteur CCD pour la mesure de la distance et la dénivelée,
- correction automatique de la ligne de visée grâce à son compensateur intégré,
- corrections des mesures de la courbure terrestre, de la réfraction,...
- écran graphique (128x32 pixels),
- sélection du menu,
- programme de contrôle,
- édition et calculs des données,
- mémoire peut contenir 2000 lignes de données,
- la résolution des mesures altimétriques est de 0.01 mm,
- la résolution de la mesure de la distance est de 1 mm,
- mesures répétées,
- transfert de données,
- **La précision du système** : la précision du nivellement (mm/km en nivellement aller-retour) est de **0.3 mm** pour la mire code barres invar,

III.1. Tableau comparatif

Nom du repère	Z classique en m	Z Numérique en m	Znum – Zclass en mm
P4	93.7262	93.7268	0.6
C13	88.5665	88.5632	-3.3
C12	88.5764	88.5742	-2.2
C11	88.5549	88.5524	-2.5
C10	88.5485	88.5461	-2.4
C9	88.5601	88.5573	-2.8
C8	88.9030	88.8997	-3.3
C7	88.9507	88.9468	-3.9
C6	88.7566	88.7534	-3.2
C5	88.6030	88.6008	-2.4
C4	88.5319	88.5299	-2.0
C3	88.4746	88.4739	-0.7
C2	88.5634	88.5632	-0.2
C1	88.5875	88.5875	0.0

III. Conclusions

- les niveaux numériques ont perfectionné le nivellement automatisé,
- élimination des risques d'erreurs de lecture et de transfert,
- accroissement de la productivité jusqu'à 50%,
- un seul opérateur dans les travaux d'observations des réseaux de nivellement de précision.

IV. Références

1. Rapport technique sur les niveaux numériques, Leica. 1994.
2. Information sur les niveaux numériques, Leica. 1994.
3. Manuel opératoire des niveaux numériques SDL1/SDL2/SDL1S, Sokkia, 1996.