

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<sup>er</sup> 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.