

# DERIVATION DE COURBES DE NIVEAU

## PAR

### INTERPOLATION DE DONNEES HETEROGENES

*par D. MAIRECHE*  
*Institut National de Cartographie*

#### RESUME:

*Dans le cadre de l'acquisition d'orthoprojecteurs, l'Institut National de Cartographie a obtenu un logiciel d'interpolation (HIFI) composé de plusieurs modules dont celui de la génération de profils réguliers à partir d'un semis de points, et celui de la dérivation de courbes de niveau à partir de profils réguliers.*

*En matière de production deux processus sont possibles, l'un consisterait à calculer les profils réguliers nécessaires à la fabrication des orthos à partir des données de la restitution, l'autre à confectionner la planche de l'altimétrie par dérivation des courbes de niveau à partir de données combinées issues de la restitution et des profils saisis au niveau du service ortho, c'est ce dernier objectif qui est visé par notre expérimentation en vue de définir les limites d'utilisation d'une telle procédure à des fins cartographiques.*

*Notre étude sera basée sur la confection d'une planche combinée (courbes restituées et courbes calculées) pour permettre un examen visuel et sur une estimation statistique à partir d'un ensemble de points prélevés des 2 fichiers.*

#### **Mots-clés:**

*Courbes de niveau, Modèle Numérique de terrain (MNT), Height interpolation by finites elements (HIFI)*

#### **CHOIX DE LA ZONE DE TRAVAIL:**

Une zone de 2.16 Km \* 5.96 Km est choisie pour le test; celle-ci présente dans sa partie nord un terrain accidenté, avec un réseau hydrographique dense et dans sa partie sud un terrain assez régulier, ce qui permet de porter des jugements en fonction de la nature du terrain.

Quant au travail sur terrain plat, il fera l'objet d'un test au sol, pour mieux appréhender le problème parce qu'on digitalisera un semis de points irrégulier en mode statique (meilleure précision) par la méthode dite "Progressive Sampling" qui consiste à densifier la saisie uniquement dans les zones à relief. La même méthode ne peut être envisagée pour le cas du terrain accidenté car le nombre de points à saisir serait faramineux et prendrait un temps énorme, ce qui n'est guère le but recherché.

#### **PROGRAMMES UTILISES :**

Le bloc programme utilisé est le HIFI ("Height Interpolation by Finite Elements), ce dernier est composé de 3 programmes principaux:

##### 1 – HIFI O:

Orientation absolue à partir des données modèle et terrain, ce programme n'est pas utilisé dans notre test vu que la saisie se fait directement en coordonnées terrain.

##### 2 – HIFI P:

Interpolation à partir de données régulières ou éparses et confection d'une grille régulière.

##### 3 – HIFI C :

Calcul les courbes de niveau à partir d'un modèle numérique de terrain, et génération d'un fichier graphique.

#### **MATERIEL UTILISE POUR LE TEST:**

RESTITUTION: Appareil de restitution analytique type KERN DSR 11 assisté par micro PDP (Logiciel MAPS200, système d'exploitation RT11) avec table de dessin automatique type KERN GP1.

##### ORTHO:

Appareil de restitution analytique type ZEISS PLANICOMP C130 assisté par micro ordinateur type HEWLETT PACKARD HP1000 A-600 (système d'exploitation RTE A)

##### CALCUL ET DESSIN DE COURBES DERIVEES:

Un ordinateur HP 1000 A-900 (Système d'exploitation RTE A) est utilisé pour les calculs des profils (programme HIFI-P) et des générations de courbes de niveau (Programme HIFI-C), le dessin des courbes de niveau dérivées est ensuite effectué sur une table traçante automatique type Planitab T102 de la firme Zeïss.

#### **DONNEES DE BASE :**

Pour la réalisation du test 5 fichiers ont été récupérés:

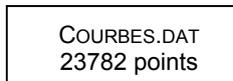
FICHER ISSU DE L'ORTHO A PARTIR D'UNE PRISE DE VUES AU1/20000:

1) Le fichier contenant les données issues d'un balayage, sous forme d'une grille régulière avec un pas de 40m en X,Y:

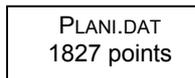
PROFILS.DAT 8250 points
----------------------------

FICHER ISSU DE LA RESTITUTION A PARTIR D'UNE PRISE DE VUES AU 1/40000 :

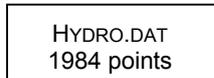
2) Le fichier contenant les courbes de niveau, ce dernier servira de référence pour l'expérimentation:



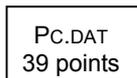
3) Le fichier de la planimétrie duquel on a éliminé toutes les constructions et ouvrages d'art de façon à conserver uniquement les côtes sol:



4) Le fichier contenant les données de l'hydrographie qui représente les lignes caractéristiques pour lesquelles le logiciel HIFI accorde plus de poids, (ces lignes servent de bases pour les triangles générés lors des calculs)

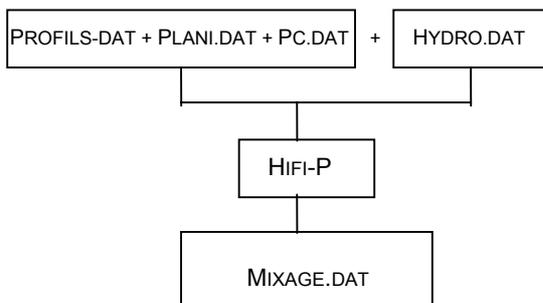


5) Le fichier contenant les points côtés utilisé pour renforcer les données planimétriques :



MIXAGE REALISE:

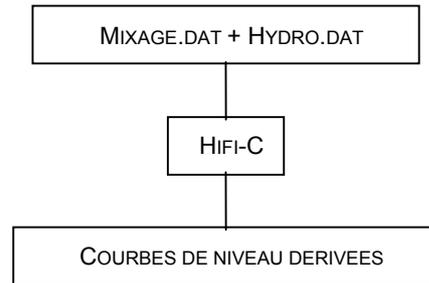
Une combinaison de quatre fichiers est réalisée en vue de permettre le calcul d'un Modèle Numérique de Terrain (M.N.T.) qui servira à la dérivation des courbes de niveau.



Dans ce cas, les 3 premiers fichiers sont utilisés comme données de base d'interpolation et le quatrième fichier pour situer les lignes caractéristiques.

Le fichier obtenu (MIXAGE.DAT) est composé de 8250 points.

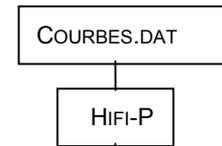
Ce dernier est sous forme d'une grille régulière et sera utilisé avec le fichier HYDRO.DAT pour dériver les courbes de niveau.



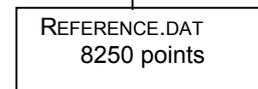
Cette combinaison est la plus souhaitée car elle permet aux deux structures de faire leur production normalement, sans qu'il y ait nécessité de saisie supplémentaire

En vue d'obtenir un équivalent du fichier MIXAGE.DAT, une interpolation suivant une grille régulière avec un pas de 40 m en X , Y est effectuée sur le fichier COURBES.DAT (restitution) sans lui ajouter le fichier des lignes caractéristiques qui sont dans ce cas représentées par la structure des courbes de niveau.

fichier utilisé :



fichier obtenu :



Une estimation statistique est effectuée sur tous les points des fichiers REFERENCE.DAT et MIXAGE-DAT, ce qui nous permet d'évaluer la précision du travail réalisé.

Le calcul des écarts est obtenu comme suit:

$$\text{Ecart}(\Delta Z) = Z_{(\text{reference.dat})} - Z_{(\text{mixage.dat})}$$

Les écarts obtenus sont ensuite classés et ordonnés dans un tableau (Voir page suivante) en vue de servir à la réalisation d'un histogramme. L'écart-type est calculé par la formule suivante:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum (v_i)^2}{n}}$$

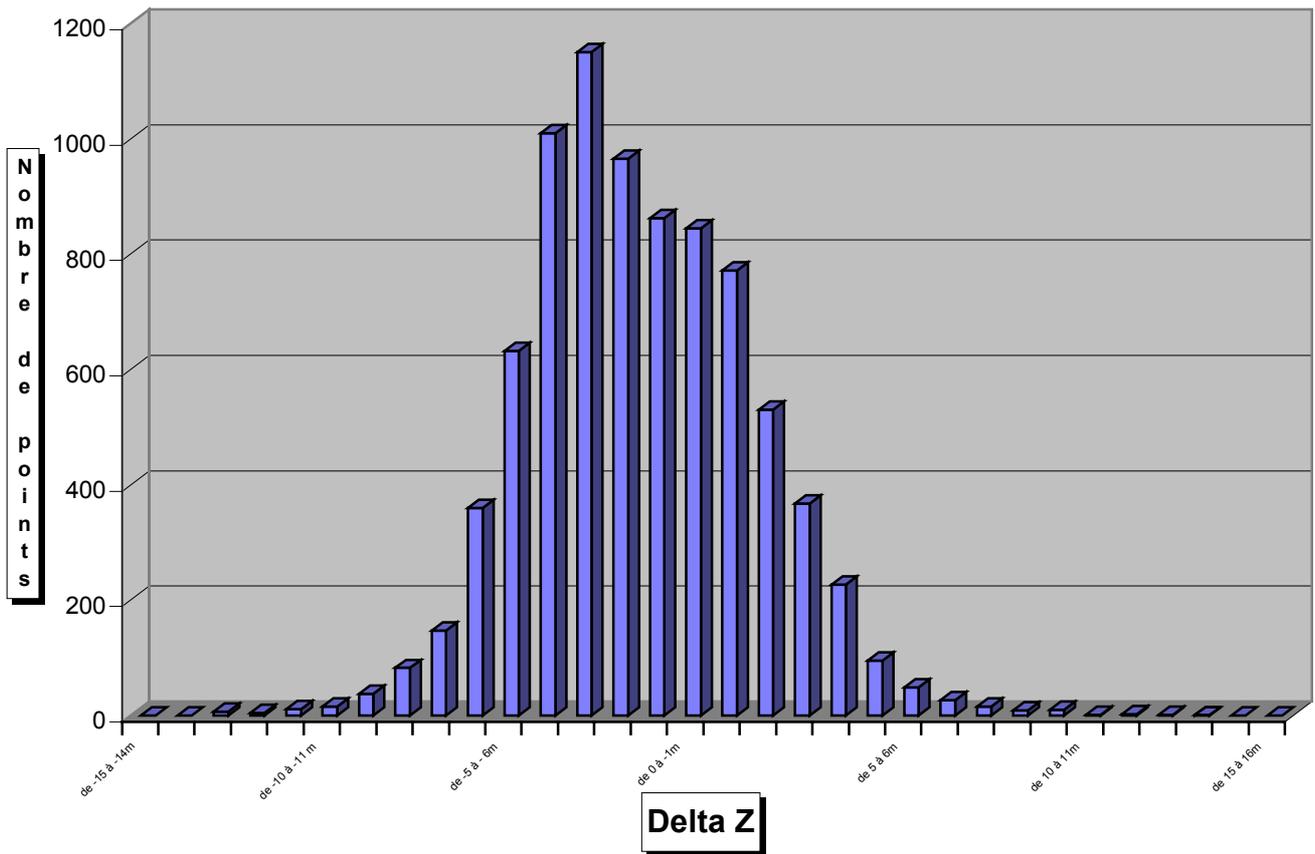
## CLASSIFICATION DES ECARTS

Classes Négatives	Nombre de points	Classes Positives	Nombre de points
Entre -14 et -15 m	0	Entre 0 et 1m	772
Entre -13 et -14m	7	Entre 1 et 2m	531
Entre -12 et -13m	5	Entre 2 et 3m	368
Entre -11 et -12m	12	Entre 3 et 4m	227
Entre -10 et -11m	16	Entre 4 et 5m	96
Entre -9 et -10m	38	Entre 5 et 6m	49
Entre -8 et -9m	83	Entre 6 et 7m	27
Entre -7 et -8m	148	Entre 7 et 8m	16
Entre -6 et -7m	360	Entre 8 et 9m	9
Entre -5 et -6m	633	Entre 9 et 10m	10
Entre -4 et -5m	1010	Entre 10 et 11m	2
Entre -3 et -4m	1151	Entre 11 et 12m	3
Entre -2 et -3m	966	Entre 12 et 13m	2
Entre -1 et -2m	863	Entre 13 et 14m	1
Entre 0 et -1m	845	Entre 14 et 15m	0

Nombre de points utilisés : 8250 points

Ecart-type =  $\pm 3.11$  m

### Représentation Graphique



La représentation des écarts sur un histogramme permet la mise en évidence d'une distribution normale et la détection d'un systématisme estimé à -2 mètres qui serait dû essentiellement aux:

- utilisations de 2 échelles de P.D.V différentes,
- observations faites par 2 opérateurs différents sur deux instruments différents.
- orientations absolues des modèles faites à partir de points d'appui différents.

#### ESTIMATION DES PRECISIONS:

Le nombre de points contenus dans le fichier utilisé pour les estimations de la précision est de 8250 points régulièrement répartis en X et Y avec un pas de 40 m, ce qui peut être considéré comme un échantillon bien représentatif de la population concernée.

Il est généralement admis une précision équivalente au tiers (1/3) de l'équidistance des courbes de niveau restituées, partant de là, une analyse des résultats est faite comme suit:

#### EQUIDISTANCE : 5 mètres.

Précision exigée  $\sigma = \pm 1.7$  m

Tolérance admise ( $2.7 * \sigma_{(z)}$ ) =  $\pm 4.6$  m

Nombre de points satisfaisant à la précision exigée: 2641 points, soit 32 % du total.

Nombre de points en dehors de la précision exigée mais dans la tolérance : 3801 points, soit 46 % du total, points admissibles mais de précision moindre.

Nombre de point hors tolérance : 1808 points, soit 22 % du total, les observations effectuées sur ces points sont considérées comme des fautes.

#### EQUIDISTANCE: 10 mètres.

Précision exigée ( $\sigma_{(z)}$ ) :  $\pm 3.3$  m

Tolérance admise ( $2.7 * \sigma_{(z)}$ ) :  $\pm 8.9$  m

Nombre de points satisfaisant à la précision exigée: 4787 points, soit 58 % du total.

Nombre de points en dehors de la précision exigée mais dans la tolérance : 3366 points, soit 41 % du total, points admissibles mais de précision moindre.

Nombre de point hors tolérance : 97 points, soit 1 % du total, les observations effectuées sur ces points sont considérées comme des fautes.

#### **CONCLUSION:**

Compte tenu de ces premiers résultats numériques et graphiques, on aboutit aux conclusions suivantes:

##### Pour une équidistance de 5m:

A priori, un tel travail ne peut être envisagé pour la réalisation de la planche altimétrique, vu que l'écart-type des mesures effectuées est double de la précision exigée.

##### Pour une équidistance de 10m:

Les résultats nous montrent que:

l'écart-type des mesures est pratiquement égal à la précision exigée,

58% des points sont de bonne précision,

41% sont de précision moindre,

dans 1% des points seulement, il y a présomption de fautes car il y a dépassement de valeurs critiques.

Vu le pourcentage des points dont la précision est considérée comme faible et vu le résultat graphique (les courbes calculées sont lissées et les mouvements fins du terrain n'apparaissent pas), la solution de dérivation de courbes de niveau calculées est à rejeter si les exigences en matière de précision sont élevées.

#### EQUIDISTANCE : 20 METRES.

Précision exigée:  $\pm 6.7$  m

Tolérance admise ( $2.7 * \sigma_{(z)}$ ) :  $\pm 18.1$

Nombre de points satisfaisant à la précision exigée 7805 points, soit 95% du total.

Nombre de points en dehors de la précision exigée mais dans la tolérance : 443 points, soit 5% du total, points admissible mais de précision moindre.

Nombre de points hors tolérance : 2 points; quantité négligeable.

Un tri est ensuite réalisé pour sélectionner les points dont la précision dépasse  $\pm 8.9$  m, ce qui permet de dégager les 97 points hors tolérance qui apparaissent dans le cas d'une équidistance de 10 m, ces derniers sont reportés sur une minute en vue de permettre une interprétation sur la localisation des erreurs, l'examen de cette planche montre qu'en dehors de quelques points isolés la plupart des autres sont réunis par petits lots.

Après superposition de la minute obtenue sur la planche des courbes de niveau de référence et sur la planche hydro, et en observant sous stéréoscope les photographies aériennes, il se trouve qu'un ensemble de points appartient à une zone non couverte par la restitution (partie nord-ouest, les autres petits groupes appartiennent à des zones où les lignes caractéristiques sont négligées par l'opérateur vu leur dimension réduite et sont concentrés sur la partie centrale qui est assez chahutée. La partie sud du projet qui est un terrain régulier présente quelques points isolés qui ne sont pas justifiés, donc à considérer comme étant des fautes.

En vue de permettre un examen visuel du travail obtenu, une planche de synthèse (voir page suivante) est réalisée par combinaison des planches suivantes:

\* courbes de niveau restituées

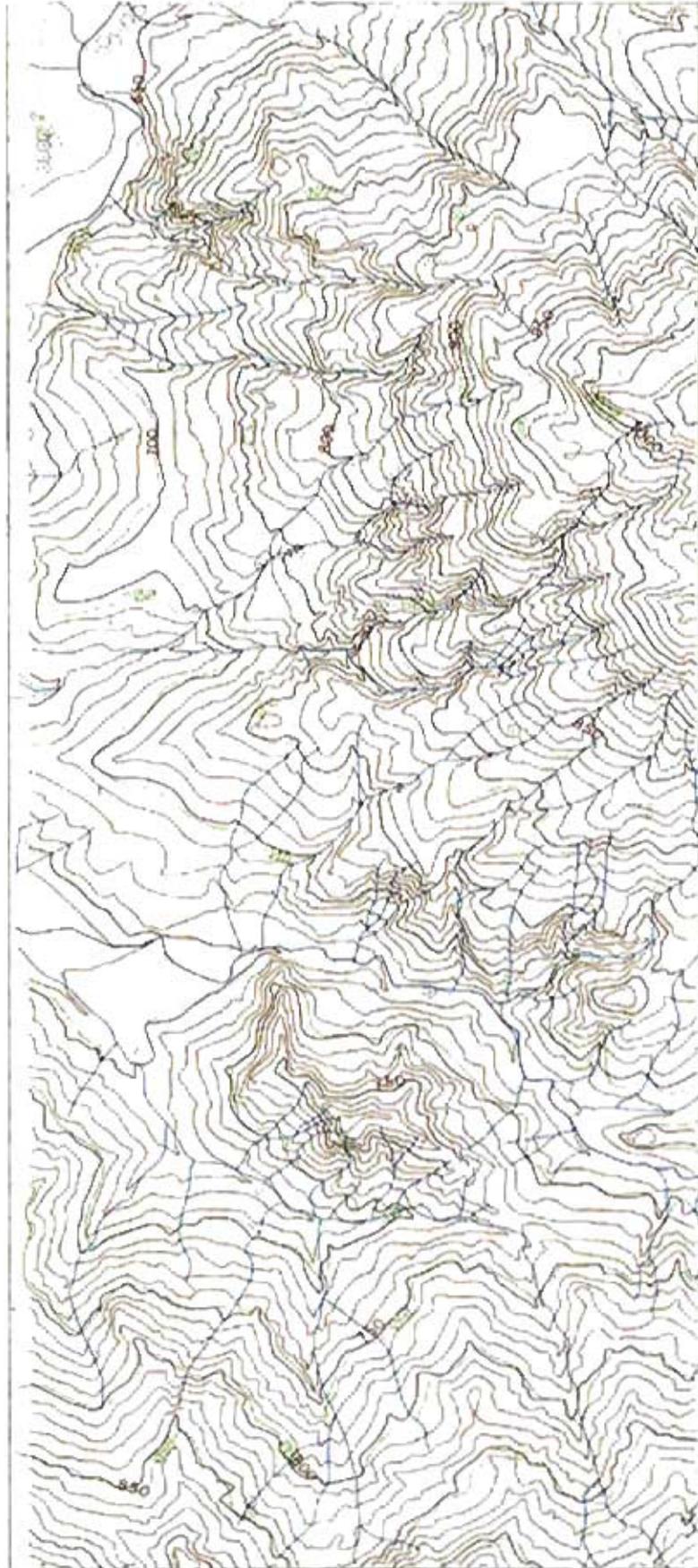
\* courbes de niveau calculées par HIFI

\* réseau hydrographique obtenu par restitution

\* points de divergences ( $-8.9m > \sigma_{(z)} > 1 + 8.9m$ )

## PLANCHE DE SYNTHÈSE .

1/25.000



## LEGENDE

-  : Courbes restituées
-  : Courbes calculées
-  : Réseau hydrographique
-  : Points de divergence

Pour une équidistance de 20m:

Compte tenu des résultats manifestement positifs (95 % des points sont de bonne précision), on peut déduire que l'utilisation des données hétérogènes pourrait être envisagée pour la confection de la planche de l'altimétrie.

Il faudrait toutefois retenir qu'il a fallu environ 3 fois plus de temps pour réaliser la saisie de l'ortho (vitesse de balayage minimum) et que pour affiner notre étude, il serait judicieux de déterminer un nombre assez important de points de contrôle sur le terrain en vue de définir la précision des courbes de niveau restituées qui sont dans notre cas utilisées comme référence.

Il reste entendu que le meilleur moyen d'assurer une production jumelée entre le service ortho et le service restitution, c'est d'utiliser les courbes de niveau restituées pour générer des modèles numériques de terrain en vue de produire des orthos, mais cela suppose qu'on travaille dans la même assiette, ce qui est généralement très rare compte tenu des impératifs .

**Bibliographie :**

Analyse numérique – Statistiques - *HOTTIER*

Introduction à la théorie des observations statistiques – *MOLENAAR*

Modèles numériques de terrain – Acquisition et traitement des données - *PARES/*

Interpolation and filtering - *TEMPFLI*

\*\*\*