

# QUALITE DES MODELES NUMERIQUES DE TERRAIN DERVIES PAR CORRELATION AUTOMATIQUE

M. Ettarid<sup>1</sup>, H. Hadfat<sup>1</sup>, A. Zaza<sup>1</sup>, A. Khaldi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Département de Cartographie et de Photogrammétrie- Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II  
(m.ettarid@iav.ac.ma)

## Commission III, WG III/8

**KEY WORDS:** Photogrammetry, image matching, correlation, DEM/DTM, accuracy

### ABSTRACT:

Digital Terrain Models are playing an important role as information layer, mainly with the development of geographic information systems, since they describe the topographic surface of the terrain and hence it constitutes a valuable support for the study of variety of geographical and environmental events. With the advent of digital techniques and the advantages they are offering in terms of automation and precision, users are adopting image matching techniques to derive automatically Digital Terrain Models. The quality of these DTM are determined by different factors (photo scale, scanning resolution and software parameterization).

This paper is a contribution to evaluate the influence of some of some factors on the final accuracy of DTM derived by correlation. In this respect, different tests were carried out on two photo scales (1/7500 and 1/20000) flown on varying topography. The photos were scanned to 20, 25, 32 and 42 microns pixel sizes and digital terrain models were derived using ViruoZo software from Supresoft. The assessment of the derived DTMs quality was based on qualitative (visual comparisons of contours) and quantitative (RMS computed from residuals on ground check points) criteria.

Results showed that, in rugged terrain, DTM derived from 1/20000 photos are accurate to 32cm, which may enable deriving contours with 1 m interval. The introduction of break lines prior to the correlation seems to have less influence on the accuracy of derived DTM when the generated grid is very dense, but contributes to reduce the editing burden.

The high accuracy of automatically derived DTM may contribute to make less tight the map to photo scale ratio. For instance mapping at 1/5000 from 1/20000 photos can preserve the height accuracy, while with conventional methods, height accuracy at 1/5000 map scale is preserved usually for mapping from 1/12000.

## 1. INTRODUCTION

La représentation des formes du terrain consiste à traduire, dans un plan bidimensionnel, la surface topographique tridimensionnelle. Plusieurs formes de représentations du relief sont utilisées : les points cotés, les courbes de niveau, l'estompage ou les vues en perspective. Avec le développement de la cartographie numérique et les systèmes d'information géographique, l'information altimétrique sous forme numérique offre une souplesse et une flexibilité considérables. Cette forme numérique du relief s'appelle Modèle numérique du Terrain (MNT).

Les MNT permettent une description de la topographie du terrain et constituent une base de données altimétriques à partir de laquelle on peut dériver une multitude de produits : les courbes de niveau, les cartes de pentes, d'exposition ou d'inter visibilité, les volumes, les vues en perspective...

Les techniques qui permettent d'acquérir les données de base pour la génération de modèles numériques de terrain sont très variées et incluent entre autres le levé topographique direct, la photogrammétrie, l'interférométrie radar, le laser altimètre et la numérisation de courbes sur des cartes existantes.

Quoique qu'ils existent depuis près de 40 ans, les MNT n'ont gagné autant en popularité, rapidité de génération et précision qu'avec l'automatisation qu'a permis le développement de la photogrammétrie digitale et notamment la correspondance d'images communément appelée corrélation.

photogrammétrie digitale et notamment la correspondance d'images communément appelée corrélation.

## 2. LA CORRESPONDANCE D'IMAGE

L'opération de la génération automatique d'un MNT passe par trois opérations (Dupéret, 1996): La modélisation géométrique de la prise de vues (étalonnage et orientation) - La mise en correspondance des images et La reconstruction 3-D de l'espace objet (calcul des altitudes à partir des disparités).

Généralement, une densification est nécessaires, car souvent les altitudes générées par la correspondance ne sont pas assez denses pour répondre à l'objectif visé (zones occultées, échec local de la correspondance..)

La correspondance se fait sur la base de la mesure de la similarité entre deux ensembles de primitives issus des images de gauche et de droite. Ces primitives peuvent être soit le niveau de gris de zones centrées sur le pixel en question (corrélation zonale) ou un élément caractéristique de l'image et dont la description permet de le discriminer (corrélation structurale).

Fondamentalement, les méthodes de corrélation comparent les niveaux de gris par le biais de deux fenêtres centrées, la première sur le pixel courant p1 de la première image prise comme référence, et sur le candidat p2 pour la correspondance à p1 dans la deuxième image. La recherche est faite avec diverses tailles de fenêtres.

Pour optimiser la recherche, différentes stratégies pourraient être utilisées. A cet effet, la photogrammétrie tire profit de la géométrie épipolaire ou la recherche de la correspondance se ferait dans une seule dimension puisque la recherche du pixel correspondant est limitée à la ligne sur laquelle se trouve le pixel courant. L'approche hiérarchique est une autre méthode qui travaille avec des images sous échantillonnées à des résolutions plus faibles. A chaque étape la résolution est doublée et la corrélation est affinée jusqu'à atteinte de la résolution maximale.

Certaines méthodes emploient également les opérateurs d'intérêt pour extraire les détails caractéristiques de l'image, puis un algorithme de correspondance va essayer d'associer les détails extraits sur les deux images.

Avec l'automatisation apportée par le digital, aujourd'hui la photogrammétrie est une technique de mesure qui est adaptée à de nombreuses applications et dans des domaines divers. Cependant, la précision des MNT reste difficile à formaliser et ne peut être évaluée que de façon globale en fonction du processus photogramétrique utilisé.

### 3. QUALITE DES MNT GENERES PAR CORRELATION

La qualité d'un MNT peut être renseignée par le degré avec lequel le modèle construit épouse la géométrie et la forme du terrain qu'il représente. La qualité n'est en fait que relative, puisque elle dépend du type de l'application et de l'utilisation qui est faite du MNT : un MNT peut être jugé de qualité adéquate pour une application donnée, mais peut être inadéquat pour d'autres types d'applications. Plusieurs facteurs peuvent influencer la qualité de déterminations du MNT.

#### 3.1 Facteurs influençant la qualité des MNT dérivés par corrélation

**3.1.1 Effet de la résolution:** Les expériences menées (Salah & Scarpace, 2000 ; Baillard, 1997) ont montré que l'exactitude d'un MNT dépend dans une certaine mesure de la taille du pixel, mais sans que celle-ci soit vraiment déterminante et que la résolution n'est pas un facteur primaire de la précision de la surface. En pratique, des résolutions entre 15 et 30 microns sont acceptables, et permettent toujours la génération de MNT de haute précision (Ackermann, 1996).

La précision théorique des MNT dérivés par corrélation peut être dérivée de l'expression suivante (Salah et Scarpace, 2000) :

$$\Delta Z = p.R.\frac{H}{f}.\frac{H}{B} \quad (1)$$

Dans laquelle la précision altimétrique est déterminée par plusieurs facteurs dont, la résolution R, la focale f, le rapport B/H, la hauteur de vol H et le facteur p représentant la somme proportionnelle algébrique de toutes les erreurs potentielles.

**3.1.2 Effet de l'échelle de prise de vues:** La précision altimétrique superficielle a toujours été exprimée comme une proportion de la hauteur de vol, c'est-à-dire  $\Delta Z/H$  ( par exemple 0.1‰ ou 0.2‰). Ainsi pour des terrains plats ou modérément ondulés, la précision des MNT issus des mesures photogramétriques conventionnelles est de 0.2 à 0.4‰ de la hauteur de vol et est de 1 à 2‰ dans le cas des terrains montagneux ou accidentés. Ainsi, par voie de conséquence, l'échelle de la photographie est donc le facteur déterminant de la précision du MNT, abstraction faite des autres facteurs qui influencent également cette précision

**3.1.3 Effet du rapport B/H:** Deux paramètres importants de la prise de vues sont la base B entre les deux stations de prise de vues et la hauteur de vol. Un fort rapport B/H permet une bonne précision de reconstruction. A l'inverse, un faible rapport B/H permet une correspondance plus fiable mais réduirait la précision. Et donc, pour affiner la précision et en même temps réduire les ambiguïtés et l'influence des parties cachées, il faut utiliser un ensemble d'images régulièrement espacées avec un recouvrement suffisant qui fournirait des bases multiples (Beauvillain et Jamet, 1995).

**3.1.4 Effet de la grille de correspondance:** Généralement, l'intervalle en X et en Y de la grille de correspondance doit être plus petit ou égal à la dimension de la fenêtre de recherche, et aussi, il doit être plus petit que la dimension du maillage du MNT rapporté à l'image.

L'intervalle de la grille de correspondance influence directement la densité des points corrélés. Normalement, la détermination de cette valeur est en relation directe avec la précision de l'application envisagée.

La précision du MNT dépend de la densité des mesures servant de base pour l'élaboration du MNT. En effet, une densité adaptée à la variabilité du terrain implique une description de la majorité des lignes de rupture et, par conséquent, une meilleure représentation de la morphologie du terrain. En plus, la densité élevée des mesures rend efficace l'extraction automatique des lignes caractéristiques de la morphologie du terrain.

**3.1.5 Effet du pas de la grille du MNT:** Cette grille fait référence à la distribution régulière des nœuds du MNT final. Plus l'espacement des nœuds de la grille de ce MNT est fin, plus l'exactitude implicite est meilleure. Ackermann (1996) suggère qu'en règle générale, la grille du MNT devrait être telle que la précision altimétrique correspondrait environ au  $1/20^{\text{ème}}$  (pour un terrain lisse) et au  $1/10^{\text{ème}}$  (Pour un terrain plus rugueux ) de la taille linéaire de la grille. Ce qui impliquerait, pour un intervalle de la grille de 10m, une précision de  $\pm 0.5m$  à  $\pm 1.0m$ .

Normalement, quand les lignes caractéristiques sont générées par des méthodes alternatives (manuellement par restitution photogramétrique par exemple) pour compléter les données du MNT, alors l'espacement des nœuds du MNT peut être relaxé

**3.1.6 Stratégie de correspondance:** La correspondance se fait selon une stratégie donnée, qui permet de gérer un ensemble de contraintes pour optimiser et faire correspondre correctement les primitives.

Les correspondances zonale et structurales ont chacune ses conséquences sur la performance du système. Les études ont montré que la correspondance structurale donne une précision de la disparité de l'ordre de 0.3 à 0.4 Pixel et que la correspondance zonale permet des précisions de l'ordre de 0.1 à 0.2 pixel sur la disparité (Ackermann et Krzystek, 1995).

### 3.2 Précision des MNT dérivés par corrélation

La notion de qualité est un terme global qui doit s'adapter au but ou encore à l'application envisagée. Cette notion de qualité englobe plusieurs composantes ou critères dont la précision géométrique en constitue une. Ces critères incluent (Tahiri, 1999) :

- **La composante généalogique** qui fournit, en plus de l'identification du producteur, une description détaillée concernant les sources du MNT, les structures des données, les techniques d'interpolation, ainsi que les différentes opérations appliquées sur les MNT.

- **La cohérence logique** qui définit la cohérence interne et décrit les incohérences, telles que la présence d'un point dont l'altitude dépasse l'intervalle fixé par les courbes de niveau voisines.

- **L'exhaustivité** qui décrit la conformité et la présence ou de l'absence de données par rapport au terrain nominal. Elle renseigne sur l'importance de l'intégration des éléments caractéristiques de la morphologie du terrain dans la construction du modèle.

- **La précision sémantique** qui peu être utilisée, dans le cas du MNT, pour décrire la précision des attributs relatifs à la nature des éléments géométriques et leurs relations (points cotés, falaises, lignes de crêtes, etc).

- **La précision géométrique**, c'est la composante principale de l'information qualité du MNT. Elle décrit le décalage entre la surface du terrain et celle décrite par le modèle. Cette composante a un aspect quantitatif. C'est cette composante géométrique que nous essayerons d'évaluer dans le cadre de travail.

## 4. EXPERIMENTATION

Pour évaluer la précision géométrique des Modèles Numériques de Terrain, plusieurs tests ont été conduits sur un ensemble de données avec différentes combinaisons de paramètres pour essayer de dégager l'influence de ceux-ci.

### 4.1 Description des données test

Les critères ayant présidé dans le choix des données consistent à réunir les facteurs que l'évaluation va concerner, à savoir : des zones de relief varié - des prises de vues à des échelles différentes et des résolutions de scannage variées

Ainsi, les données test comprennent des photos aériennes couvrant trois zones : Khénifra (relief très accidenté), Bouregreg (relief vallonné) et Khouribga (relief plat). Khénifra et Khouribga sont couvertes avec des photos à l'échelle 1/20000 et Bouregreg avec des photos à l'échelle 1/7500. Les différentes photos ont été scannées avec des résolutions de 20, 25, 32 et 42 microns.

Les photos ont été scannées avec un scanner photogrammétrique de type *DSW500 de LH Systems*.

Les différents traitements photogrammétriques ont été effectués sur le logiciel de photogrammétrie digitale *VirtuoZo NT de Supresoft*.

### 4.2 Méthodologie et conditions expérimentales

**4.2.1 Etapes de l'expérimentation:** Les différentes étapes qui conduisent à la génération automatiques des MNT sont :

- Etape préparatoire (conversion des données au format VirtuoZo, création de projets et entrée de données )

- Orientations des couples (orientations intérieure, relative et absolue et création des images épipolaires)
- Préparation de la corrélation automatique (saisie des lignes et points caractéristiques)
- Mise en correspondance automatique
- Edition des résultats de la corrélation
- Génération du MNT

**4.2.2 Variantes de l'expérimentation:** Dans cette expérimentation nous avons considéré l'effet de plusieurs facteurs :

- **1<sup>er</sup> Cas : Taille de la fenêtre de recherche**, l'effet de ce paramètre a été testé sur la zone de Khénifra pour une résolution de 20 microns, un pas du MNT de 5m et 7x7 pour la taille de la grille de correspondance. Les tests ont été effectués des tailles de la fenêtre de recherche de 7x7, 13x13 et 15x15

- **2<sup>ème</sup> Cas : Résolution de scannage**, les tests ont porté sur des résolutions de 20, 25, 32 et 42µm. Les autres paramètres étaient maintenus à 13x13 pour la fenêtre de recherche, 5m pour le pas du MNT et 7x7 pour la grille de correspondance.

- **3<sup>ème</sup> Cas : effet des lignes caractéristiques**, Pour la zone de Khénifra, les lignes caractéristiques ont acquises par restitution photogrammétrique et utilisées comme contraintes lors de la corrélation. Le MNT a été généré avec une résolution de 20µm, 13x13 pour la fenêtre de recherche et un pas de 1m pour le MNT.

- **4<sup>ème</sup> Cas : Effet de la grille de correspondance**, les tests ont concerné les pas 7x7, 9x9, 11x11 et 17x17 sur la zone de Khénifra avec une résolution de 20µm, une fenêtre de recherche de 13x13 et un pas du MNT de 1m.

- **5<sup>ème</sup> Cas : Effet du pas du MNT**, sur les photos de Khénifra scannées à 20µm, le MNT était extrait à des pas différents de 5, 10, 15 et 20m. La fenêtre de recherche utilisée est de 13x13 et la grille de correspondance avait une taille de 7x7.

- **6<sup>ème</sup> Cas : Effet de l'échelle**, la comparaison s'est faite sur les échelles 1/20000 (Khénifra) et 1/7500 (Bouregreg) pour une résolution de 20µm, une fenêtre de recherche de 13x13 et un pas du MNT de 5m.

### 4.3 Evaluation et interprétation des résultats

**4.3.1 Critères d'évaluation:** Deux méthodes d'évaluation des résultats ont été adoptées dans cette expérimentation :

1- Une évaluation qualitative basé sur le rendu visuel et qui consiste à :

a) Superposer les courbes de niveau sur le modèle et à les observer en stéréoscopie pour voir à quel degré elles rendent compte des formes du relief.

b) Superposer les courbes de niveau générées des MNT résultants des différentes variantes de l'expérimentation entre elles et avec les lignes caractéristiques restituées manuellement (notamment le réseau hydrographique) pour voir dans mesure les différents MNT rendent comptent des subtilités de la morphologie du terrain.

2- Une évaluation quantitative basée sur l'évaluation statistique de la précision en terme d'erreur moyenne quadratique (EMQ) calculée à partir des différences entre les altitudes dérivées de la corrélation et des altitudes de référence (mesurée avec une méthode plus précise) d'un certain nombre de points de contrôle. A cet effet, nous sortes de référence ont été utilisées dans cette évaluation :

- c) Des points de contrôle dont les altitudes ont été déterminées sur le terrain par des méthodes topo métriques directes conventionnelles.
- d) Des points de référence dont les altitudes ont été acquises manuellement par méthode photogrammétriques à partir du modèle stéréoscopique.

**4.3.2 Présentation et discussion des résultats:** Pour assurer une certaine homogénéité dans les comparaisons des résultats, l'orientation absolue a été faite sur les images scannées à la résolution la plus fine (20µm), puis les paramètres d'orientation ont été transférés pour les images de faibles résolutions. Le tableau 1 donne les précisions des orientations

Zone	O. Intérieure (µm)		O. Relative (µm)	O. Absolue (m)
	Image de Gauche	Image de droite		
Khénifra	Mx=3 My=3	Mx=2 My=1	4	Mxy=0.09 Mz=0.26
Khouribga	Mx=9 My=4	Mx=2 My=1	9	Mxy=0.21 Mz=0.21
Bouregreg	Mx=2 My=5	Mx=3 My=3	6	Mxy=0.16 Mz=0.11

Tableau 1 : Résultats des orientations pour les 3 modèles du test

La densité des mesures, en plus de la rapidité, reste le point fort de la photogrammétrie digitale. Le tableau 2 donne la densité des nœuds de la grille de corrélation et du MNT généré pour les couples de Khénifra (1/20000) et Bouregreg (1/7500)

Zone	Nbre des nœuds de la grille de correspondance			Nbre des nœuds de la grille MNT		
	7x7	9x9	11x11	5m	10m	15m
Khénifra 1/20000	1025903	620608	415448	321723	80430	35747
Bouregreg 1/7500	984027	595275	398490	43395	10849	4822

Tableau 2 : densités des mesures pour les MNT (5, 10 et 145m) Pour les couples de Khénifra et Bouregreg

Comparant la densité de la grille de correspondance à celle du MNT, on constate clairement la redondance des déterminations, puisque chaque nœud du MNT est interpolé à partir de 28 nœuds de la grille de correspondance pour la zone de Khénifra et à partir de 204 nœuds pour le cas de Bouregreg. Ainsi, on passe d'un problème d'interpolation à un problème d'ajustement. Cette forte densité de la grille de correspondance a pour conséquence de permettre une extraction automatique aisée des lignes caractéristiques; elle permet en outre une détection des artefacts: les obstacles sont automatiquement identifiés et peuvent être supprimés, puisqu'ils s'écartent du sol.

#### 4.3.2.1 Evaluation qualitative

**Effet de la taille de la fenêtre de recherche:** Les courbes de niveau générées à partir des MNT dérivés par corrélation automatique du modèle Khénifra avec trois fenêtres de tailles différentes (7x7, 13x13 et 15x15) ont été parfaitement superposables (Figure 1 en annexe) excepté dans aux endroits où elles intersectent le réseau hydrographiques.

**Effet de la résolution de scannage:** La superposition des courbes de niveau provenant de différentes résolutions (Figure 2 en annexe) montre une certaine perte de l'information, surtout

en terrain accidenté lorsque la résolution est dégradée. Les courbes provenant de la faible résolution sont plus lisses et ne rendent pas compte du réseau hydrographique.

**Effet des lignes caractéristiques:** La superposition montre que les courbes avec et sans introduction des lignes caractéristiques (Figure 3 en annexe) ne montrent qu'une légère différence des changements de courbure des courbes à la rencontre du réseau hydrographique. Ceci peut être expliqué par la densité forte des mesures des points du MNT, ce qui permet de rendre compte automatiquement des lignes caractéristiques sans les saisir manuellement.

**Effet de la densité de la grille de correspondance:** Les courbes de niveau qui découlent des quatre tailles de la grille de correspondance (7x7, 9x9 et 11x11) ne montrent pas de grandes différences (Figure 4 en annexe), sauf lorsqu'elles croisent les lignes du réseau hydrographiques.

**Effet du pas du MNT:** L'effet du pas du MNT (Figure 5 en annexe) est perceptible de l'angularité plus prononcée pour le pas trop espacé ainsi qu'au niveau du croisement des courbes et des lignes caractéristiques.

#### 4.3.2.2 Evaluation quantitative

L'évaluation de la précision ici est basée sur l'erreur moyenne quadratique (EMQ), calculée à partir des différences entre les altitudes MNT de 28 points et les altitudes de ces mêmes points déterminées de façon conventionnelle.

Zone	Facteur	Variante	EMQ (cm)	% H	
Khénifra	G=7x7 P=5m R=20µm	Taille fenêtre recherche	7x7	34.35	0.09
			13x13	32.54	0.09
			15x15	45.13	0.12
Khénifra	F=13x13 3 G=7x7 P=5m	Résolution	20µm	32.54	0.09
			25µm	41.55	0.12
			32µm	47.49	0.13
			42µm	58.42	0.16
Khouribga	F=13x13 G=7x7 P=5m	Résolution	20µm	87.36	0.24
			32µm	63.84	0.17
			42µm	50.68	0.14
Khénifra	F=13x13 G=7x7 P=5m R=20µm	Lignes caractéristiques	Sans LC	32.54	0.09
			Avec LC	29.09	0.08
Khénifra	F=13x13 P=5m R=20µm	Taille grille de correspondance	7x7	32.54	0.09
			9x9	37.21	0.10
			11x11	37.85	0.10
			17x17	39.05	0.11
Khénifra	F=13x13 G=7x7 R=20µm	Pas grille MNT	5m	32.54	0.09
			10m	36.96	0.10
			15m	37.49	0.10
			20m	41.18	0.11
Khénifra & Bouregreg	F=13x13 G=7x7 P=5m R=20µm	Echelle	1/2000	32.54	0.09
			0		
			1/7500	17.35	0.14

Tableau 3. Récapitulatif des erreurs moyennes quadratiques pour toutes les variantes de l'expérimentation (F=fenêtre de recherche, G=grille de correspondance, R=résolution, P=pas de MNT, Lc=lignes caractéristiques)

Le tableau 3 présente un récapitulatif des différents tests réalisés dans le cadre de cette expérimentation.

Ce tableau montre que la précision du MNT généré n'augmente pas forcément avec la taille de la fenêtre de recherche et que celle reste corrélée surtout avec la modélisation de la prise de vues, le type de relief et la texture de l'image.

D'autre part, la dégradation de la résolution conduit à une dégradation de la précision du MNT généré, sauf, paradoxalement, pour le cas de la zone de Khouribga à terrain,

où on remarque que la précision s'améliore avec la dégradation de la résolution. Ceci peut trouver une explication dans le fait que la zone de Khouribga est une zone homogène avec très peu de contraste, et donc la réduction de la résolution tend à réduire les zones homogènes par suite l'ambiguïté et améliore ainsi la qualité de la corrélation.

La figure 6 montre une comparaison entre les valeurs des précisions théorique (Equation 1) et pratique. La figure montre clairement que la précision expérimentale avoisine la précision théorique calculé pour  $p=0.3$ , ce qui veut dire que la corrélation s'est faite au 1/3 du pixel près. La figure illustre aussi le phénomène précédent du terrain plat de Khouribga où la précision s'améliore avec la dégradation de la résolution.

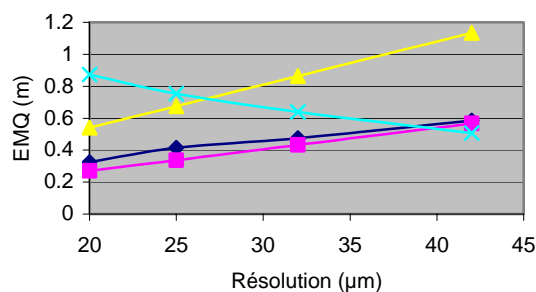


Figure 6: valeurs théoriques et expérimentales de l'erreur moyenne quadratique

Rouge : valeur théorique de EMQ avec  $p=0.3$

Jaune : valeur théorique de EMQ avec  $p=0.6$

Bleu : valeur expérimentale de EMQ (terrain accidenté)

Cyan : valeur expérimentale de EMQ (terrain plat)

Encore une fois l'évaluation quantitative confirme ce qu'on a noté lors de l'évaluation qualitative en ce qui concerne l'apport des lignes caractéristiques, qui n'est pas significatif vu la densité très forte des mesures.

Les valeurs du tableau 3 confirment que la précision altimétrique est liée au pas du MNT, mais aussi à la densité des mesures de base qui est renseigné ici pas la taille de la grille de correspondance.

Il apparaît aussi des résultats, que la précision du MNT varie linéairement avec l'échelle.

## 5. CONCLUSION

De façon globale, la précision relative superficielle des MNT générés par corrélation automatique dans le pire des cas supérieure à 0.2% de la hauteur de vol et donc supérieure aux précisions altimétriques des méthodes photogrammétriques conventionnelles. La taille de la fenêtre de corrélation reste un paramètre logiciel critique, qui dépend de la texture de l'image et du relief. Lorsque la densité des mesures est forte, l'introduction des lignes caractéristiques n'apporte pas d'amélioration notable. Les tests ont confirmé que la précision

du MNT dérivé automatiquement (0.2%) correspond à une précision de mesure de la parallaxe de 0.3 pixel. Cette précision est supérieure à celle des MNT dérivés par méthodes conventionnelles, ce qui permet une relaxation du rapport échelle carte/échelle de prise de vues

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient L'Agence Nationale de la Conservation Foncière, du Cadastre et de la Cartographie d'avoir fourni les images scannées et les points de contrôle pour les besoins de cette expérimentation. Ils remercient également les techniciens du Laboratoire de photogrammétrie, département de Cartographie et de Photogrammétrie de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, d'avoir contribué à la réalisation de ces tests.

## REFERENCES

- Ackermann, F. 1996. Some Considerations about Feature Matching for the Automatic Generation of Digital Elevation Models. Kölbl, O. Editor, Lausanne, SUISSE.
- Baillard, C., 1997. Analyse d'Images Aériennes Stéréoscopiques pour la Restitution 3-D des Milieux Urbains. Thèse Doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications. FRANCE.
- Beauvillain, E. & Jamet, O., 1995. Evaluation de la qualité d'un MNT issu de corrélation automatique de photographies aériennes. Résumé Bull. S.F.P.T. (137) : p. 108-112.
- Dupéret, A., 1996. Automatic Derivation of DTM to Produce Contour Lines. Unité pilote BDTopo, service de l'Information Topographique, IGN, FRANCE.
- Ettarid, M., 2001. Photogrammétrie Digitale. Notes de cours, I.A.V. Hassan II. Rabat. Maroc.
- Saleh, R. & Scarpace, F., 2000. Image Scanning Resolution and Surface Accuracy; Experimental Results. International archives of photogrammetry and remote sensing. Part B (p.482-485). Amsterdam. Netherland.
- Tahiri, D., 1999. Les Modèles Numériques de Terrain. Notes de cours. I.A.V. Hassan II. Rabat. Maroc.

**ANNEXE : SUPERPOSITION D'EXTRAITS DE COURBES DE NIVEAU RESULTANT DES MNT DERIVES AVEC DIFFERENTES VARIANTES**

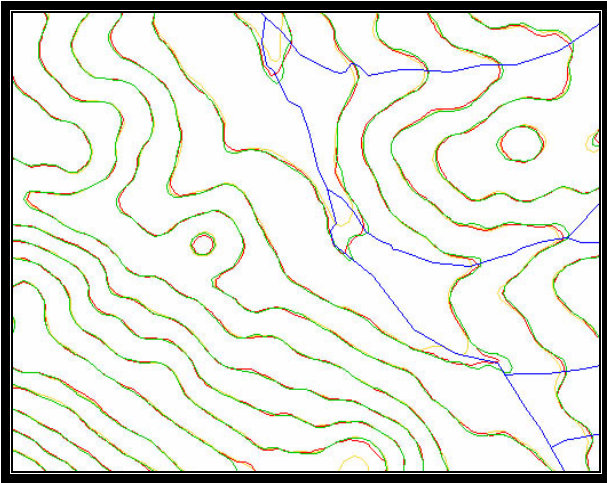


Figure 1: superposition des courbes de niveau générées Avec différentes tailles de fenêtres de recherche 7x7(rouge), 13x13(vert), 15x15(jaune)

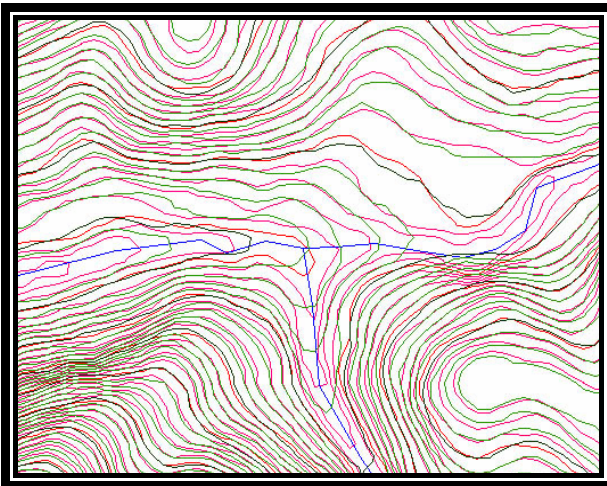


Figure 2: Courbes générées à partir de MNT dérivés de différentes résolutions 1270 dpi (rouge), 600 dpi (vert)

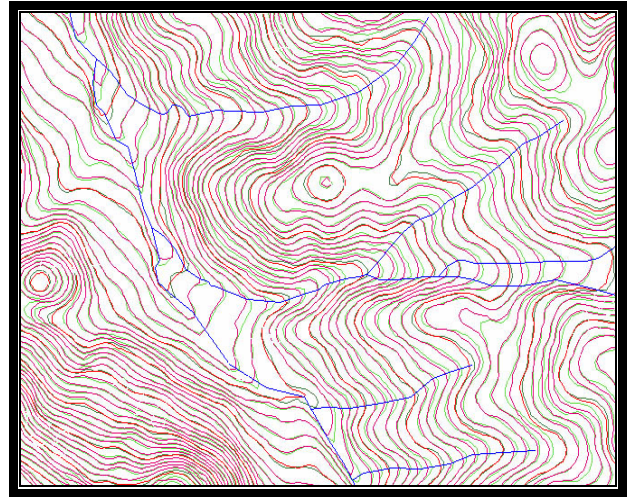


Figure 3: courbes générées à partir de MNT dérivés avec (vert) et sans (rouge) lignes caractéristiques

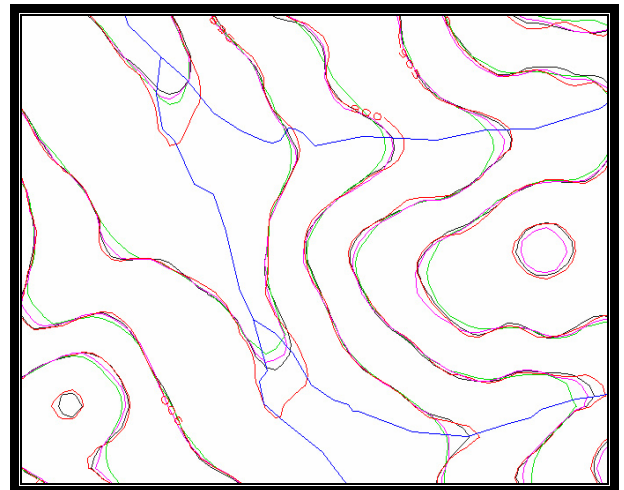


Figure 4: courbes générées à partir de MNT dérivés avec différentes tailles de la grille de correspondance 7x7 (rouge), 9x9(noir), 11x11(magenta), 17x17(vert)

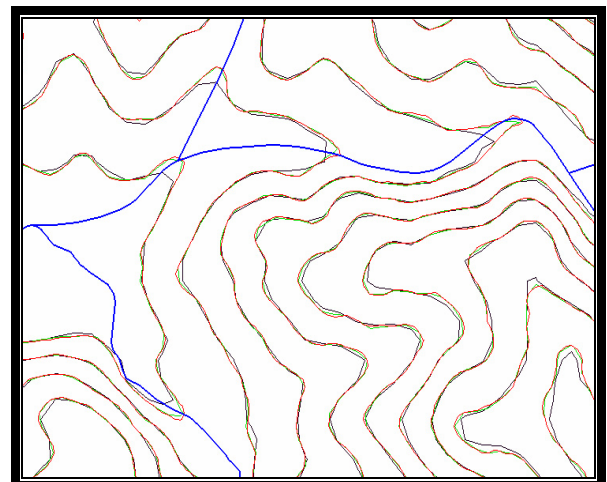


Figure 5: courbes générées à partir de MNT De différents pas 5m(rouge), 10m(vert), 15m(noir)