

**EVALUATION D'UN PROCESSUS AUTOMATIQUE
DE PRODUCTION DE COURBES DE NIVEAU**

Edouard BEAUVILLAIN, Philippe GUILAVARCIH, Olivier JAMET
Laboratoire MATIS¹ - Direction Technique - Institut Géographique National
2, Avenue Pasteur - 94160 Saint-Mandé - FRANCE

Mots clés

Courbes de niveau, Modèle Numérique de Terrain (MNT), BDTopo®, Evaluation, Occupation du sol.

Key words

Contour lines, Digital Terrain Model, TOPOgraphic DataBase, Evaluation, Land use.

Résumé

La mise au point de processus automatiques d'acquisition d'information topographique et leur intégration dans les chaînes de production de la Base de Données TOPOgraphiques de l'IGN pose le problème de la validation de telles méthodes, par rapport à des techniques photogrammétriques "habituelles".

Nous nous intéressons ici à la validation du thème altimétrique que nous restituons par Modèles Numériques de Terrain issus de corrélation automatique sur photographies aériennes. Des évaluations sont effectuées en tenant compte à la fois du type de relief et du paysage présents sur les zones d'étude: leur influence ne peut être négligée.

Abstract

Automation of topographic data acquisition in the IGN topographic DataBase production units poses the problem of data quality evaluation with respect to classical photogrammetric technics.

In this paper, we study the altimetric information, usually represented with contour lines. An evaluation of altimetric data derived from DTM obtained from automatic correlation of aerial photographs is presented. The influence of relief and land use of the test areas on DTM quality is investigated.

1 Introduction

L'objectif principal de l'Institut Géographique National actuellement concerne la constitution des bases de données. La plus importante, et probablement la plus lourde à acquérir, est la base de données topographiques (BD TOPO®). La BD TOPO® est une base de données d'informations

¹ Méthodes d'Analyse et de Traitement d'Images pour la Stéréoresitution

géographiques correspondant au contenu de la carte "classique" au 1:25 000 avec une précision planimétrique aussi bien qu'altimétrique de l'ordre du mètre. L'un des objectifs du MATIS est de faciliter l'acquisition de la BD TOPO® en mettant au point des méthodes automatiques, ou semi-automatiques, d'extraction de données à partir de photographies aériennes numérisées. L'un des thèmes qui nous concernent est le relief.

La méthode la plus répandue de représentation du relief est certainement l'utilisation de Courbes de Niveau (CN). C'est un moyen simple et clair de modéliser la surface du terrain en termes d'altitude. Nous allons ici souvent parler de Modèle Numérique de Terrain (MNT), qui n'est en fait qu'un échantillonnage régulier des altitudes, car les données en format vecteur sont toujours plus difficiles à gérer et à contrôler que les données maillées. La transition entre CN et MNT, du fait qu'ils sont sous des formats différents (vecteur-maillé), va poser des problèmes d'interpolation mais également de bijection entre les deux jeux d'informations. Ce problème est ici supposé résolu, ou du moins maîtrisé.

La partie qui nous intéresse concerne le contrôle et l'évaluation d'un jeu de données altimétriques, ici sous la forme d'un MNT, susceptible de fournir des courbes de niveau répondant aux spécifications de la BD TOPO®. Ces spécifications doivent permettre de valider le processus d'obtention des courbes de niveau.

2 La méthode de production de courbes

Le processus actuel de saisie de la BD TOPO® est constitué d'une phase de photogrammétrie classique suivi d'un complètement sur le terrain. On propose une méthode qui automatiserait tout ou partie du procédé en utilisant des photographies aériennes numérisées.

2.1 La corrélation automatique

A partir d'un couple stéréoscopique de photographies, on va utiliser la corrélation automatique pour déterminer la parallaxe.

On procède tout d'abord à l'orientation du couple stéréoscopique, puis au calcul épipolaire qui consiste à rectifier les images brutes de manière à avoir deux images en géométrie épipolaire². Ensuite, on utilise un algorithme de corrélation automatique linéaire [1]. La corrélation entre les deux images permet d'obtenir les couples de points homologues dont on dérive une image de parallaxes.

2.2 La reconstitution du MNT

Sur certaines zones, la corrélation n'a pas pu s'effectuer (zones d'occlusion, corrélation trop faible,...), on va alors utiliser la méthode de la grille élastique [2] pour reconstituer les parties manquantes de l'image des parallaxes. Les parallaxes étant ainsi lissées, on peut calculer le MNT au pas voulu. Le MNT ainsi obtenu ("brut") comporte généralement beaucoup d'artefacts (voir figure 1a), ces artefacts proviennent de la phase de corrélation (possibilité de fausse corrélation par exemple) ainsi que de la présence éventuelle de sursol. Par conséquent, on est amené à faire des post-traitements.

² Deux images sont en géométrie épipolaire si l'homologue d'une ligne d'une des images est une ligne de l'autre image. La recherche de l'homologue d'un point va, par conséquent, s'effectuer le long d'une ligne et non plus dans toute l'image.

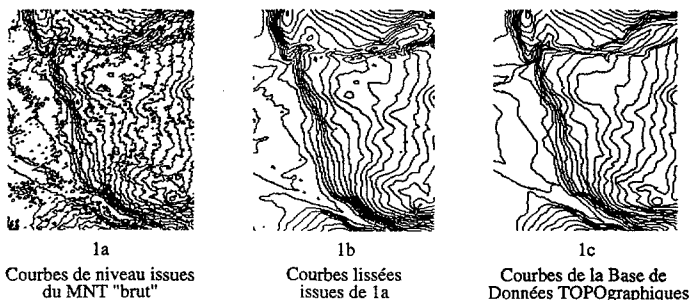


Figure 1 : Echelle 1:36000, Equidistance 10m

En effet, les courbes de niveau que l'on peut dériver directement du MNT "brut" n'ont pas un aspect cartographiquement satisfaisant. On peut alors utiliser un lissage de type gaussien pour une zone possédant un relief modéré. Par contre, pour une zone plus accidentée, on prendra en compte les éléments caractéristiques du terrain (crêtes, thalwegs); voir Figure 1b. Un problème se pose lorsque l'on rencontre des zones de sursol (bâti, forêts,...); dans ce cas les altitudes du MNT sont fortement influencées [3].

Les courbes de niveau obtenues à partir du MNT peuvent être visualisées : on dessine les courbes isovaleurs en les superposant à l'image maillée du MNT. Cela permet d'avoir une représentation du relief sous forme de niveaux de gris hypsométriques et de jeu de courbes de niveau en même temps.

3 Les principes de l'évaluation

3.1 Détermination de la référence

Lorsque l'on veut évaluer un jeu de données, il faut avoir à sa disposition une référence dont le degré de confiance (ou de précision) est connu et supérieur à celui des données. Ici, il s'agit d'évaluer des altitudes, par conséquent, l'altitude des objets références doit être aussi bonne que possible.

Notre objectif est d'obtenir une information altimétrique qui satisfasse les spécifications de la BD TOPO® [4], par conséquent, il semble tout naturel d'utiliser un jeu de données provenant de la BD TOPO® (exemple Figure 1c) pour effectuer les comparaisons altimétriques.

3.2 Le contrôle ponctuel

Nous avons sélectionné dans la BD TOPO® un certain nombre d'objets (connus en planimétrie et en altimétrie) dont l'altitude peut être considérée comme fiable. On distingue deux types d'objets au sol (linéaires et ponctuels) pour lesquels une comparaison point à point des altitudes avec celles du MNT a été faite.

Dans le cas des objets ponctuels (point coté, col, sommet, ...) une simple interpolation bilinéaire de l'altitude qu'aurait ce point sur le MNT est faite (Figure 2a). Pour les objets linéaires (courbe de niveau, route, chemin, limite de culture, ...), nous avons effectué un contrôle ponctuel (identique à celui des objets ponctuels explicité précédemment) sur les sommets des segments constituant ces objets (voir figure-2b).

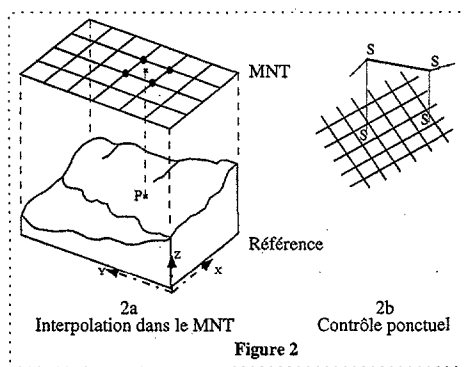


Figure 2

Un contrôle est effectué pour certains des thèmes de la BD TOPO® que nous avons sélectionnés.

On réalise ici un contrôle ponctuel en faisant une comparaison d'altitudes, cependant une variation planimétrique provenant d'une généralisation des données de la référence va engendrer un écart en altimétrie. Par conséquent, il faudrait s'assurer de l'exactitude planimétrique des données linéaires (voir [5]); ces méthodes encore en cours d'élaboration ne seront pas utilisées dans cette étude.

3.3 Définition des mesures

Dans la littérature, on trouve de nombreux exemples d'évaluations altimétriques. Différents critères entrent en ligne de compte, et, l'erreur moyenne quadratique (emq) est le plus utilisé [6]. On a cependant constaté que l'emq ne pouvait en aucun cas constituer un critère suffisant pour une évaluation : en effet, l'étude de la répartition des erreurs et de leurs causes, par exemple, sont des éléments qu'il est intéressant d'étudier.

D'autres auteurs se sont particulièrement concentrés sur les causes d'erreurs, telles que celles provenant de la méthode de fabrication, ou bien encore du type de terrain [7,8]; pour notre part, nous avons observé l'influence que pouvait avoir le type d'occupation du sol [3] et cela va constituer une part importante de notre discussion par la suite.

En premier lieu, nous avons estimé la répartition statistique des erreurs en calculant l'emq ainsi que les écarts altimétriques extrêmes (entre l'altitude d'un objet provenant de la BD TOPO® et celle interpolée sur le MNT).

Un jeu de données peut parfois être entaché de quelques valeurs parasites, par conséquent, nous nous sommes intéressés à l'évolution de l'emq lorsque l'on se restreint aux valeurs les plus proches de la

moyenne. L'emq a été calculée en éliminant 1 puis 5 et 10% des objets dont l'altitude est - a priori - la plus différente de celle que l'on obtiendrait sur le MNT. Si les emq décroissent fortement, cela signifie que quelques objets du thème ont une valeur altimétrique interpolée dans le MNT aberrante par rapport à celle de la BD TOPO® : lorsque l'on élimine ces objets dans le calcul, la valeur de l'emq est plus représentative du thème.

4 Description de l'expérience

4.1 Résultats préliminaires [3]

Dans une première expérience, nous nous sommes intéressés à l'évaluation d'un modèle numérique de terrain d'une zone comportant un relief et un type de paysage variables. La comparaison des altitudes d'objets de la base topographique avec les altitudes du MNT nous a fourni des résultats très inégaux.

La zone d'étude est située dans une vallée des Alpes. Le relief est assez disparate (dénivelée de 800m sur une zone de 3 x 3,7 Km) et la zone comporte des parties de sol nu et de couverture forestière.

Les écarts pour les objets "courbes de niveau" et "cours d'eau" sont relativement importants : six mètres environ, alors que pour les "points cotés" et les "routes" l'écart moyen n'est que de deux mètres. De telles différences s'expliquent par le fait que les courbes de niveau et surtout les cours d'eau peuvent être situés en zone boisée : il faut prendre en compte le sursol. En effet, si les rivières coulent dans les thalwegs, il est extrêmement probable que l'on trouve au fond de ces thalwegs de la végétation (arbustes, plantes,...) ce qui va modifier d'autant l'altitude "vue" lors de la corrélation automatique (la corrélation permet de restituer l'altitude des objets vus, pas forcément celle du sol).

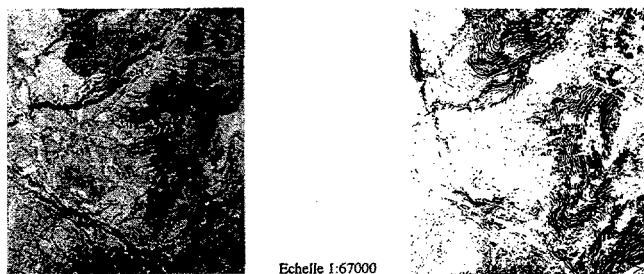


Figure 3 : Orthophotographie et carte des écarts supérieures à 5 m.

Après comparaison de la localisation des erreurs les plus importantes en fonction de l'occupation du sol, nous avons constaté que la présence de forêts avait une forte influence sur l'écart entre les altitudes du MNT et celles des objets BD TOPO® et ceci pour les différents thèmes que nous avons utilisés. On pourra voir, sur la figure 3, l'orthophotographie du site-test et la carte des zones d'erreurs supérieures à cinq mètres.

L'analyse des premiers résultats nous a permis de constater que les écarts entre altitudes des objets topographiques et celles interpolées dans le MNT dépendent de la validité du thème topographique choisi mais surtout de la présence de sursol. En effet, et comme on peut le voir sur la Figure 3, il y a une forte corrélation entre les zones où l'écart est supérieur à 5m et les zones boisées. Les mesures sont donc influencées par le type d'occupation du sol (principalement végétation et habitat dispersé ou dense).

L'intérêt de cette expérience est donc d'effectuer des mesures sur une zone ayant un relief et un type d'occupation du sol homogènes. C'est ce que nous nous proposons de montrer dans la deuxième partie de cet article.

Le principe général est de déterminer les écarts altimétriques, pour un relief et un type de paysage donnés, de manière à pouvoir modéliser puis éventuellement prévoir les erreurs en fonction de la zone d'étude.

4.2 Présentation des zones de tests

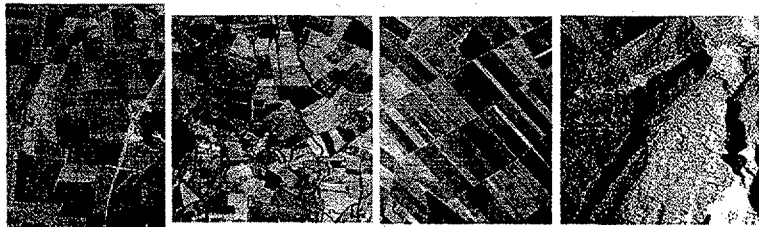
Nous avons sélectionné différentes zones de relief homogène et comportant une classe dominante de paysage (voir figure 4) :

Corbeil : zone de très faible relief, composée principalement de parcellaire. Equidistance des courbes BD TOPO® = 5m.

Agen : relief modéré, pente sensiblement constante, zone de bocage, présence d'habitat clairsemé. Equidistance des courbes = 5m.

Reims : zone de relief modéré, présence de parcellaire et d'une zone urbaine. Equidistance = 5m.

Grenoble : relief fort et accidenté, zone totalement recouverte de forêts. Equidistance = 10m.



Echelle : 1:75000 (Corbeil) ; 1:55000 (Agen, Reims, Grenoble)

Figure 4 : Extraits des zones tests, respectivement : Corbeil, Agen, Reims, Grenoble.

4.3 Acquisition des images

Deux types de caméras ont été utilisés : * RMKTOP (Zeiss) avec compensation de filé pour le site de Reims; * RC10 (Leica) pour Agen, Grenoble et Corbeil (pour ce dernier, la qualité des images est médiocre). L'échelle des clichés est le 1:30 000.

En ce qui concerne le scannage des clichés, nous avons utilisé le DSW200 (Helewa) avec une résolution de 12,5 μm et PS1 (Intergraph-Zeiss) à 15 μm .

4.4 Choix dans l'évaluation

Mis à part le fait que nous avons sélectionné plusieurs sites tests, nous avons envisagé l'utilisation de différentes méthodes de fabrication d'un modèle numérique de terrain. En effet, la méthode "classique" que nous utilisons au MATIS est la corrélation automatique ponctuelle sur photographies numérisées. Or nous avons eu l'opportunité de tester deux autres méthodes de fabrication de MNT, et il nous a semblé intéressant de comparer les résultats obtenus avec ces deux MNT supplémentaires.

Sur le MNT obtenu par corrélation automatique (qui sera notre MNT principal), nous avons testé plusieurs traitements de lissage final. En effet (voir Figure 1), l'aspect "cartographique" des courbes de niveau extraites est peu satisfaisant, par conséquent, des lissages de type gaussien ou utilisant la grille élastique (voir [2]) sont testés.

La méthode de fabrication de MNT par corrélation ponctuelle est la suivante (ces MNT porteront le préfixe cp) . On transforme le couple de photographies en géométrie épipolaire; puis une corrélation point à point entre les deux images permet de déterminer la parallaxe. Un lissage dérivé de la méthode de la grille élastique permet de reconstituer les zones non corrélées, et finalement on calcule le MNT. Après l'obtention du MNT, on peut procéder à des traitements spécifiques dépendant du type de relief et de la présence de sursol (bâtiments, arbres, ...). Un traitement équivalent avec élimination du sursol peut être effectué (cps).

Une autre filière permet d'avoir des MNT que nous noterons cd. La méthode consiste à effectuer une corrélation sur les images en géométrie brute. Le principe est proche de la méthode précédente, cependant les points homologues sont validés si le résultat est satisfaisant vis à vis du voisinage du point. On procède également à une érosion des micro-reliefs (sommets ou cuvettes) pour éliminer les artefacts qui auraient pu apparaître lors de la corrélation.

Enfin, on a également utilisé un logiciel de fabrication de MNT ATE installé sur station Helava. Il possède un corrélateur hiérarchique : à chaque itération on calcule le MNT avec une résolution d'image supérieure à celle de la phase précédente. Ainsi pour les images à 15 μm , le premier passage a lieu à une résolution de 4000 μm environ puis à chaque étape on utilise le MNT validé lors de l'étape précédente comme contrainte. Le MNT est noté cy.

5 Problèmes rencontrés

Nous avons été confrontés à un problème de qualité des photographies aériennes sur la zone de Corbeil. La qualité des clichés obtenus sur ce site est médiocre. Les MNT que nous en avons dérivé, par les différentes méthodes, sont donc de qualité variable (voir tableaux de résultats paragraphe suivant). La conséquence est que les MNT sur Corbeil comportent des artefacts dus aux problèmes de fausse corrélation.

Le site de Grenoble s'est avéré particulièrement ardu à traiter (on verra les résultats par la suite). En effet, sur cette zone test, le relief est très accidenté, par conséquent on trouve de grandes disparités entre les deux photographies aériennes du point de vue géométrique et radiométrique (ombres, faces

cachées...). La reconstitution du relief, très délicate, surtout en zone boisée, a divergé pour les différentes méthodes que nous avons utilisées.

6 Présentation des résultats

Dans les tableaux ci-après, on trouvera les principaux résultats des mesures qui ont été faites sur les différents types de MNT (le pas est de 5 mètres). Les thèmes présentés dans les tables sont : *alni_6* = courbe de niveau ; *hydr_1* = cours d'eau ; *hydr_2* = cours temporaire ; *limd_1* = limite de culture ; *limd_3* = talus ; *ver_1* = chemin ; *ver_2* = sentier ; *ver_4* = allée ; *ver_5* = route ; *vfte* = voies ferrées. La colonne "moyen" est une moyenne de l'emq sur tous les thèmes (certains ne sont pas présentés) et "mnt" est l'emq calculé pour le MNT étudié : $EMQ(mnt)^2 = EMQ(Ref.)^2 - EMQ(calculé)^2$.

Les valeurs numériques des tables sont des écarts moyens quadratiques en centimètres. Le premier emq est calculé avec tous les objets d'un thème (ex: 1,72 m pour les CN du MNT cd de Corbeil), et le deuxième emq est calculé pour les 90% "meilleurs" points du thème (pour les CN du site de Corbeil, on a éliminé 168 points et l'emq résultant est de 1,03 m).

Table 1 : CORBEIL

	Thème	<i>alni_6</i>	<i>hydr_2</i>	<i>limd_1</i>	<i>limd_3</i>	<i>ver_1</i>	<i>ver_2</i>	<i>ver_4</i>	<i>ver_5</i>	<i>vfte_1</i>	MOYEN	MNT
	<i>Nb Pts</i>	1679	74	260	312	221	58	14	778	92		
D S W 2 0 0	<i>Emq cd</i>	172 103	122 110	595 79	408 373	68 55	339 30	76 77	310 75	316 199	253 119	321
	<i>Emq cp</i>	239 153	207 213	606 108	272 200	96 86	330 138	50 32	305 97	495 445	280 147	249
	<i>Emq cy</i>	240 178	215 210	618 133	273 231	142 134	406 298	46 10	319 114	332 245	286 168	265
	<i>Emq cps</i>	233 148	194 194	602 99	284 208	89 77	330 133	55 32	305 95	494 440	277 143	251
PS1	<i>Emq op</i>	229 144	148 155	601 83	331 247	70 54	322 104	46 33	298 73	467 410	275 134	279
	<i>Emq cy</i>	208 164	180 178	610 116	272 227	120 112	412 298	49 19	312 100	319 223	266 154	256
	<i>Emq cps</i>	225 138	142 149	598 77	330 246	70 53	317 76	44 27	300 72	472 407	273 130	279

Certaines valeurs, assez mauvaises (3 à 4 m : *limd_1* ou *ver_5*) lorsque l'on teste tous les objets du thème, s'avèrent être bien meilleures en éliminant seulement 10% des points du thème : on a affaire à quelques points aberrant. D'une manière générale, seuls les talus et les courbes de niveau ont des altitudes différentes des valeurs interpolées dans les MNT.

En ce qui concerne les MNT eux-mêmes, les résultats restent élevés pour les emq moyens et pour les emq des MNT, on peut espérer que cela est dû aux problèmes de qualité des images de Corbeil et qui ont servi à calculer les différents Modèles Numériques de Terrain.

Table 2 : AGEN

	Thème	alti_6	hydr_1	hydr_2	limd_1	limd_3	ver_1	ver_2	ver_5	MOYEN	MNT
	Nb Pts	6596	469	123	317	737	635	34	1361		
D S W 2 0 0	Emq cd	174 92	164 126	134 117	131 68	193 135	139 93	181 182	115 65	163 93	98
	Emq cp	150 100	197 167	154 135	145 78	191 152	162 110	95 87	131 78	152 104	119
	Emq cy	211 157	258 219	203 177	151 105	244 204	186 134	158 150	152 101	203 152	167
	Emq cps	124 91	187 157	145 129	146 75	209 147	137 96	117 72	117 72	134 96	112

Les valeurs obtenues pour le site d'Agen (voir Table 2) sont bien meilleures : on a, pour la plupart des thèmes des emq proches du mètre. La présence de sursol (zone de bocage) en faible proportion nous donne une variation modérée de l'emq (entre 100% et 90% des points d'un thème) excepté pour les limites de culture. Cela montre que si on arrive à s'affranchir du problème du sursol, les écarts constatés entre les valeurs altimétriques de notre référence et celles interpolées dans le MNT sont cohérentes. A noter que le biais entre les MNT et la référence est de l'ordre de quelques dizaines de centimètres, résultat très satisfaisant.

Table 3 : REIMS

	Thème	alti_6	limd_1	limd_3	ver_1	ver_2	ver_5	vfte	MOYEN	MNT
	Nb Pts	5459	217	118	953	36	864	34		
D S W 2 0 0	Emq cd	89 51	221 63	172 151	71 50	759 627	80 53	334 84	94 55	91
	Emq cp	103 64	89 53	78 57	74 50	376 330	94 63	332 71	99 62	24
	Emq cy	829 90	1688 302	821 107	1079 81	789 843	1292 143	994 213	931 104	1016
	Emq cps	92 56	81 45	152 117	72 50	372 327	79 57	335 65	90 57	42
PS1	Emq cy	103 60	277 57	112 89	341 56	905 782	487 61	336 70	183 63	408

Pour la zone de Reims : tout d'abord, il y a eu de gros problèmes avec le MNT cy (fausse corrélation, amorce défectueuse ?) et en éliminant 10 % des points on retrouve une valeur plus réaliste : 1,43m pour les routes ou 0,90m pour les CN (thèmes les plus importants). Sinon, l'amélioration des valeurs des emq est assez modeste : la zone de Reims est de bonne qualité et la corrélation nous fournit des résultats satisfaisants : l'élimination de points n'améliore guère les valeurs d'emq.

Les résultats sur le site de Grenoble ne sont pas présentés ici car la présence de sursol nous donne des écarts trop importants pour pouvoir être analysés (quelques dizaines de mètres ...).

Les résultats que nous présentons ici ne permettent pas, pour l'instant, de conclure (l'évaluation est encore en cours), cependant nous pouvons déjà en retirer quelques enseignements.

La présence de sursol (site de Grenoble) reste le principal facteur de handicap dans le calcul de MNT (et des courbes de niveau qui en résultent) par corrélation d'images numérisées.

L'utilisation de plusieurs méthodes (corrélateurs différents, plusieurs scannages) nous montre que la maîtrise des étapes d'acquisition et de scannage des photographies est essentielle (cas du site de Corbeil). A cette condition, nous pourrions déterminer la méthode optimale pour calculer les MNT par corrélation. Des mesures devront être faites sur d'autres sites comportant un type de paysage différent de ceux que nous avons rencontré ici : il faut régler le problème des zones boisées.

Références

[1] Julien P., 1994. Traitements altimétriques (MNT). Cours de DEA SIG, ENSG-Institut Géographique National. Saint-Mandé, France.

[2] Masson d'Autume G., 1978. Construction du modèle numérique d'une surface par approximations successives. Applications aux M.N.T. Bulletin de la S.F.P.T., N°71/72, pp. 33-41.

[3] Beauvillain E., Jamet O., 1994. Evaluation de la qualité d'un MNT issu de corrélation automatique de photographies aériennes. Symposium SFPT/RSS : "Qualité de l'interprétation des images de télédétection pour la cartographie", Bulletin de la SFPT N°137, pp. 108-112. Grignon France.

[4] Veillet I., Leconte G., 1994. Evaluer la qualité de la BD TOPO@ : L'approche de l'IGN. Symposium SFPT/RSS : "Qualité de l'interprétation des images de télédétection pour la cartographie", Bulletin de la SFPT N°137, pp. 119-123. Grignon France.

[5] Abbas Y., & al. 1994. Contrôle de la planimétrie d'une base de données vectorielles : une nouvelle méthode basée sur la distance de Hausdorff : la méthode du contrôle linéaire. Symposium SFPT/RSS : "Qualité de l'interprétation des images de télédétection pour la cartographie", Bulletin de la SFPT N°137, pp. 6-11. Grignon France.

[6] Li Z., 1990. Sampling strategy and accuracy assessment for digital terrain modelling. Ph. D. Thesis. University of Glasgow.

[7] Ley R., 1986. Accuracy assessment of digital terrain models. Proc. Auto-carto London, Vol. 1, pp. 455-464.

[8] Robinson G., 1992. The accuracy of digital elevation models derived from digitised contour data. OEEPE abstract. *Photogrammetric Record*, Apr. 1994, Vol. 14, N°83, pp. 805-814.