

**Zeitschrift:** Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

**Herausgeber:** Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

**Band:** 100 (2002)

**Heft:** 6

**Artikel:** Perspectives pour l'exploitation des modèles numériques d'altitude à très haute résolution

**Autor:** Riedo, M. / Gachet, G. / Gnerre, D.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-235913>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 02.05.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Perspectives pour l'exploitation des modèles numériques d'altitude à très haute résolution

L'acquisition de données altimétriques pour l'élaboration de modèles numériques d'altitudes était, il y a peu de temps encore, très coûteuse en temps et en argent. L'avènement de la technologie laser dans ce domaine apporte une nouvelle alternative, rapide, précise, et plus abordable, permettant la production de données tridimensionnelles. Les modèles numériques d'altitude (MNA) haute résolution améliorent considérablement la connaissance du territoire, en ouvrant la voie à de nouvelles applications dans des domaines aussi variés que l'analyse du paysage, l'aménagement urbain ou encore les télécommunications. Cet article présente différentes réflexions sur l'exploitation de ces données, la possibilité de générer des produits dérivés et quelques exemples d'utilisation concrète pour des projets de gestion du territoire.

*Das Erfassen von für das Höhenmodell bestimmten Höhendaten war bis vor kurzem zeitaufwändig und teuer. Das Aufkommen der Lasertechnologie auf diesem Gebiet stellt eine neue Möglichkeit dar, schnell, genau und kostengünstig dreidimensionale Daten zu produzieren. Die hochauflösenden digitalen Höhenmodelle (DHM) verbessern die Kenntnis des Geländes ganz beträchtlich und eröffnen neue Anwendungen auf so verschiedenen Gebieten wie Landschaftsanalyse, Stadtplanung oder gar Telekommunikation. In diesem Artikel werden verschiedene Überlegungen angestellt zur Auswertung dieser Daten sowie zur Möglichkeit Nebenprodukte abzuleiten, und es werden einige Beispiele konkreter Anwendungen für Raumordnungsprojekte beschrieben.*

Fino a poco tempo fa, l'acquisizione dei dati altimetrici per l'elaborazione dei modelli numerici delle altezze era molto onerosa sia in tempo che in denaro. In questo settore, l'avvento della tecnologia laser rappresenta una nuova alternativa, rapida, precisa, più abbordabile e inoltre permette la produzione di dati tridimensionali. I modelli numerici d'altezza (MNA) ad alta risoluzione migliorano notevolmente le conoscenze sul territorio, aprendo la strada a nuove applicazioni in campi alquanto variegati come l'analisi del paesaggio, la pianificazione urbana o le telecomunicazioni. In questo articolo si presentano varie riflessioni sull'impiego di questi dati, sulla possibilità di generare dei prodotti derivati e si fanno alcuni esempi sull'uso concreto nei progetti di gestione del territorio.

M. Riedo, G. Gachet, D. Gnerre, R. Caloz, F. Golay

## 1. Introduction

Une représentation précise du relief est indispensable pour de très nombreuses applications de gestion du territoire. Deux nouvelles techniques d'acquisition de mo-

dèles numériques d'altitude sont récemment apparues et permettent de couvrir rapidement, et à des coûts raisonnables, de grandes étendues. La première, basée sur la technologie du radar, a été utilisée sur la navette spatiale Endeavour pour obtenir la représentation tridimensionnelle la plus précise de la terre jamais réalisée avec un point d'altitude tous les 30 m. Parallèlement, en Suisse, un vaste projet

(SAU: <http://www.swisstopo.ch/fr/vd/lwn.htm>) est en cours et permettra de disposer d'un ou plutôt deux modèles numériques de très haute précision: le modèle numérique de terrain de la mensuration officielle (MNT-MO) et le modèle numérique de surface de la mensuration officielle (MNS-MO). Pour ce projet, c'est la seconde technologie basée sur un balayage laser qui a été choisie pour les premières zones couvertes. La disponibilité de telles données à l'échelle de toute la Suisse constitue un progrès significatif pour le domaine des systèmes d'information géographique, du fait du nombre d'applications exploitant les modèles numériques d'altitude. Les MNA laser peuvent concourir à un enrichissement rapide de nos infrastructures de données géospatiales par la génération de produits dérivés.

La très haute résolution pose aussi de nouvelles questions: comment gérer les gros volumes de données inhérents à ces modèles? Les algorithmes utilisés pour produire des informations dérivées doivent-ils être adaptés? Quelles sont les nouvelles applications qui peuvent être envisagées? L'objectif de cet article est de donner quelques éléments de réponse à ces questions à travers plusieurs exemples de projets exploitant ces données. Ces réflexions se font dans le cadre d'accords de collaboration que le laboratoire de système d'information géographique de l'EPFL (LASIG) entretient avec les administrations cantonales de Genève, Fribourg, Neuchâtel, Jura, Vaud, l'Association pour le système d'information du territoire vaudois (ASIT-VD) ainsi que la coordination de l'information géographique et des systèmes d'information géographique (CO-SIG). Un premier article avait été présenté dans le numéro du mois de septembre 2001 expliquant une méthode pour estimer les hauteurs de bâtiments en exploitant ces nouveaux modèles numériques de terrain (Gnerre, 2001). Les différents outils développés dans le cadre de ces projets de perspectives sont gratuitement mis à disposition sur le site internet du laboratoire (<http://lasig.epfl.ch/projets/cantons/projets.html>).

MNT25 de l'Office fédéral de topographie, modèle numérique d'altitude couvrant toute la Suisse: résolution 25 m, précision 2 à 8 m en plaine, et jusqu'à plusieurs dizaines de mètres en montagne.

MNA laser, modèle numérique de surface couvrant toute la Suisse d'ici 2005: résolution 1 à 2 m, un peu moins de 1 point/m<sup>2</sup>. Précision: env. 20 cm sur les points bruts et une précision altimétrique d'env. 50 cm pour les grilles de 2 m, passant à env. 150 cm pour le MNS-MO en zone de végétation.

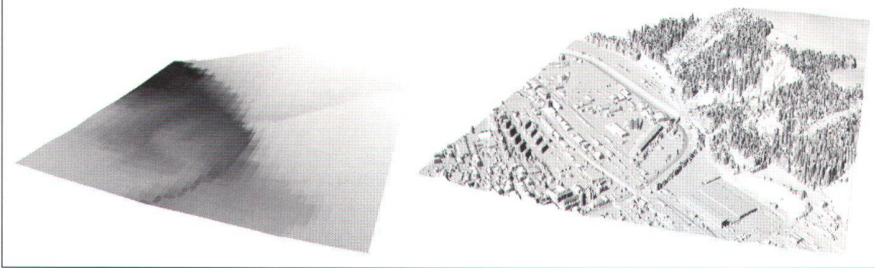


Fig. 1: Modèle numérique de surface et de terrain déterminé par technologie laser MNS-MO © 2001 Données de la mensuration officielle, Office Fédéral de Topographie, www.swisstopo.ch.

## 2. Gestion des données

Les systèmes LIDAR («Light Detection And Ranging») aéroportés mesurent la distance entre le sol et l'avion à l'aide d'un télémètre laser. Afin de pouvoir attribuer l'altitude, mesurée par le laser, à une paire de coordonnées précise à la surface du sol, le positionnement absolu du faisceau laser lors de la mesure est déterminé grâce aux informations enregistrées conjointement par un GPS (Global Positioning System) et une centrale inertielle. Jusqu'à 5000 impulsions laser sont enregistrées à chaque seconde. Les données sont alors traitées pour produire un fichier de coordonnées (x,y,z). Le traitement des mesures et le filtrage des résultats permettent de distinguer une altitude «terrain» (MNT) et une altitude correspondant au haut des objets (toits, arbres, ...)(MNS).

Pour la réalisation des nouveaux modèles numériques d'altitudes laser sur l'ensemble de la Suisse, la densité de points mesurés est légèrement inférieure à 1 pt/m<sup>2</sup>. Cela représente environ 20 milliards de points à l'échelle de la Suisse (aucune donnée au-dessus de 2000 m d'altitude) ou pour l'exemple d'un canton comme celui de Neuchâtel, d'une superficie de 840 km<sup>2</sup>, un total de 550 Mio de points bruts pour le MNS et 300 Mio de points bruts pour le MNT.

Ces données brutes, sous forme de points vectoriels, sont ensuite transformées par différentes méthodes d'interpolation en une grille régulière (MNA raster), exploitable avec des logiciels SIG (cf. fig. 2). En plus de la diminution notable du volume des données, ce mode est nettement plus adapté pour le traitement et la représentation.

En comparaison avec le modèle MNT25, la taille d'une grille de MNA raster à 1 ou 2 mètres de résolution reste néanmoins très volumineuse.

Pour faciliter la gestion et la diffusion de ces modèles numériques haute résolution, un outil a été développé par le LASIG. Parfaitement exploitable avec un SIG de bureau, cet outil offre trois principales fonctions. Il permet:

- de regrouper deux ou plusieurs unités

de MNA, ou tuiles, en un fichier unique

- d'extraire à l'intérieur d'une grille un échantillon de n'importe quelle étendue, sans aucune perte d'information. Ceci est particulièrement utile lorsqu'il est question d'étudier une zone restreinte, correspondant à une fraction du MNA à disposition.
- de modifier la résolution de la grille (par agrégation de pixels). Selon l'exploitation que l'on désire faire d'un MNA, le passage d'une résolution de 1 mètre à une résolution inférieure se justifie parfaitement. Ceci apporte un gain de place très important, ainsi qu'une amélioration des temps de traitement.

## 3. Elaboration de produits dérivés

En exploitant les fonctions des logiciels SIG, il est possible d'extraire toute une gamme de produits à partir de ces MNA laser.

### 3.1 Estimation de la hauteur des bâtiments

Comme mentionné en introduction, une étude a développé une application permettant de calculer automatiquement la hauteur moyenne des bâtiments à partir d'une exploitation conjointe des MNT et MNS. La méthode consiste à superposer chacun des modèles numériques d'altitude (MNS et MNT) avec la couche vecteur contenant les bâtiments. La différence entre ces deux résultats permet d'estimer la hauteur des bâtiments. L'étude initiale a été développée avec les données laser du canton de Genève. Par la suite, des travaux réalisés sur le canton de Neuchâtel

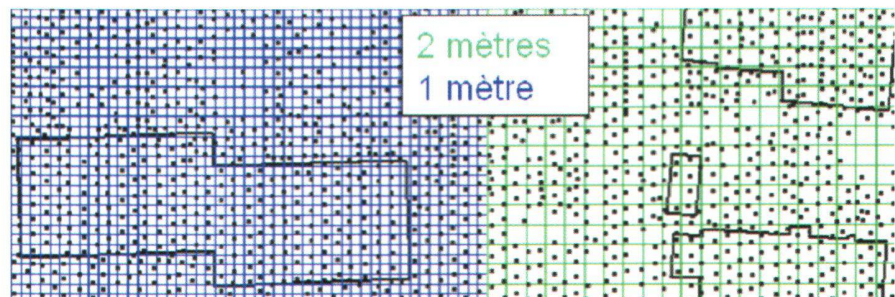


Fig. 2: Comparaison entre deux grilles d'interpolation: à gauche 1 mètre et à droite 2 mètres de résolution.

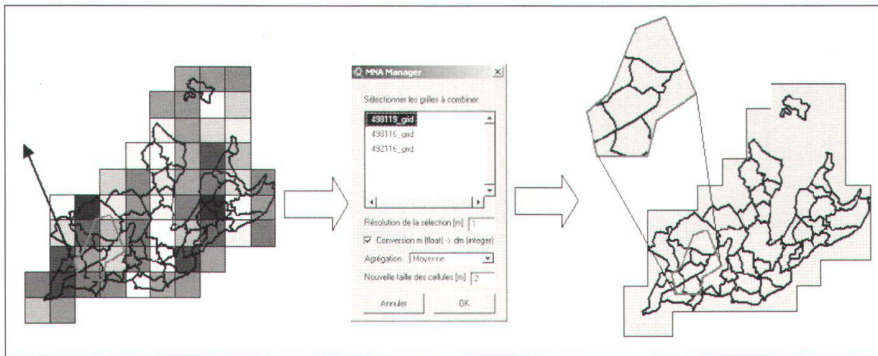


Fig. 3: Illustration de l'outil MNA Manager.

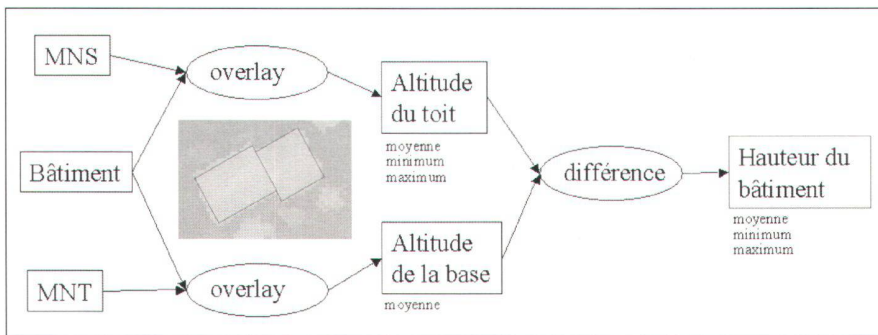


Fig. 4: Méthode de calcul de la hauteur des bâtiments par un double overlay.

avec le MNS-MO et MNT-MO ont donné des résultats similaires.

Un indice a également été proposé pour estimer la conformité des valeurs de hauteur calculées. Cet indice permet de localiser facilement les bâtiments pour lesquels de trop fortes variations d'altitude pour une même surface indiqueraient une valeur de hauteur suspecte.

De manière complémentaire à cette étude, différents travaux prometteurs sur l'analyse de la forme des toits de bâtiment à partir de données laser ont été réalisés (Maas, 1999). Cette nouvelle information va permettre d'affiner encore les modèles urbains 3D. En projetant différentes données vecteur (le cadastre, les routes, les zones d'affectation, etc.) sur les MNA laser, il est ainsi possible de faire évoluer les bases de données existantes vers des bases de données 3D.

### 3.2 Caractéristiques géomorphologiques et géoclimatiques

Les modèles numériques de résolution moyenne comme le MNT25 ont considé-

ablement enrichi nos moyens de calcul d'indices géomorphologiques (rugosité, fractal, etc.), de dériver des paramètres du relief (pente, orientation, concavité, convexité) ainsi que de déterminer des informations propres à des applications en hydrologie, en études du paysage, etc. Que deviennent les méthodes connues en présence des nouveaux modèles d'altitude? Il convient d'être conscient que la très haute résolution apportée par l'acquisition par laser fait bien plus qu'augmenter la densité des points altitude. En ef-

fet, cette très haute résolution alliée à la précision altitudinale révèle la nature du micro-relief tout en conservant les informations présentes dans les MNA précédents, en d'autres termes, les informations normalement acquises en référence à une échelle d'observation données se retrouvent toutes superposées. Si les algorithmes connus restent, du point de vue mathématique, similaires, il ne peut en être de même pour leurs applications. Comment faut-il interpréter les paramètres géomorphologiques dérivés des nouveaux modèles? Comment dériver les paramètres de bassin versant à des fins d'études hydrologiques? Comment dériver des modèles d'altitude de plus faible résolution? Est-ce plus avantageux de procéder par lissage ou sélectionner un point sur 2, sur 3? Dans quelle mesure l'analyse par ondelettes nous fournit de nouveaux moyens de généralisation des MNA, c'est-à-dire d'une réduction d'échelle adaptée aux conditions locales? Ces questions font plus particulièrement l'objet d'investigations du LASIG. Aucune réponse ne peut être donnée sans un réexamen approfondi des procédures et de l'adéquation des résultats aux objectifs poursuivis.

Un paramètre aussi simple, du point de vue géométrique, que la pente connaît différents modes de calcul selon les applications (Burrough, 1998; Jones, 1998; Skidmore, 1996). La figure 5 illustre l'approche par fenêtre glissante mettant en œuvre 3x3 points, 5x5 ou davantage et la signification de la pente dans un profil de 5 points.

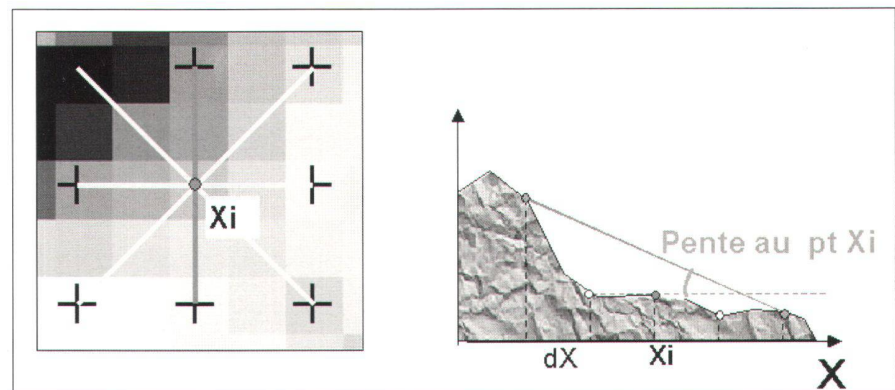


Fig. 5: Principe du calcul de pente avec une fenêtre 5x5.

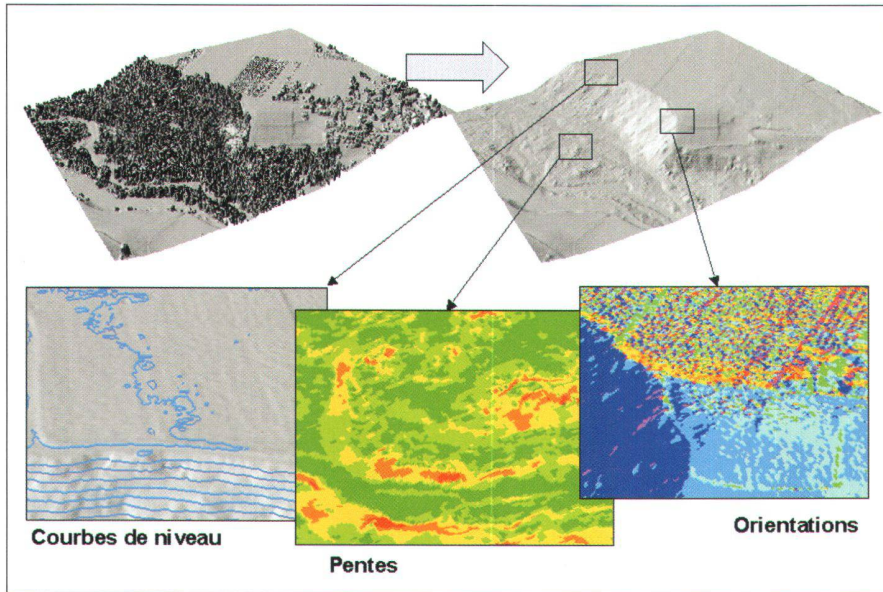


Fig. 6: Illustration du bruit perturbant les produits dérivés à partir du MNT-MO (© 2001 Données de la mensuration officielle, Office fédéral de topographie, www.swisstopo.ch).

D'autres particularités sont mises en évidence sur la figure 6. Les paramètres sont dérivés du modèle numérique d'altitude MNT-MO, sans prétraitement et en utilisant les fonctions de base d'un logiciel de SIG. Les résultats sont très fortement bruités et par conséquent inutilisables. Faut-il filtrer au préalable le modèle ou généraliser les courbes de niveau? La section 3.3 du présent article formule plus en détail ce problème.

Dans le cadre d'un projet portant sur la caractérisation de terroirs viticoles, le LASIG, examine également l'application des MNT pour produire un zonage sur la base de propriétés micro-climatiques. Le relief joue un rôle déterminant pour l'estimation de l'énergie solaire reçue. La très grande échelle du MNS-MO devrait permettre de mieux cerner la situation présentée par les vignobles en terrasse (Pythoud, 2002). La recherche est en cours pour définir des algorithmes de filtrage appropriés.

### 3.3 Dérivation des courbes de niveau

Différents modes de représentation existent pour les modèles numériques d'altitude. Jusqu'à aujourd'hui, c'est principalement le mode raster qui a été exploité.

Les données brutes laser peuvent aussi être traitées pour produire un réseau triangulé ou des courbes de niveaux, ce qui est utile pour certaines applications. Pour déterminer des courbes de niveaux à partir de points bruts, on peut imaginer différentes méthodologies. L'objectif sera de trouver la méthode d'interpolation la plus appropriée aux caractéristiques des don-

nées laser et de pouvoir traiter les très importants volumes de données. Sans aucun prétraitement, les courbes de niveau automatiquement dérivées du MNT brut ont principalement deux défauts, directement liés à la très haute résolution et au type d'interpolation utilisé pour passer du MNT vectoriel au MNT raster:

- les courbes de niveau produites sont trop complexes, présentant une sinuosité élevée. Elles sont de ce fait difficilement interprétables. La présence exagérée de nœuds qui en découle, alourdit considérablement le fichier créé.
- de nombreuses petites courbes de niveau non significatives apparaissent en périphéries des courbes principales

Plusieurs alternatives sont envisageables pour remédier à ces inconvénients. Une d'entre-elles a été étudiée au LASIG, proposant une méthodologie en plusieurs étapes successives (voir figure 7). Dans un premier temps, une agrégation du MNT brut, suivie ou non d'un filtrage, permet d'obtenir des courbes de niveaux nettement moins découpées. Dans un second temps, une suppression des courbes de niveau inférieures à 20 mètres de longueur permet d'éliminer les courbes non

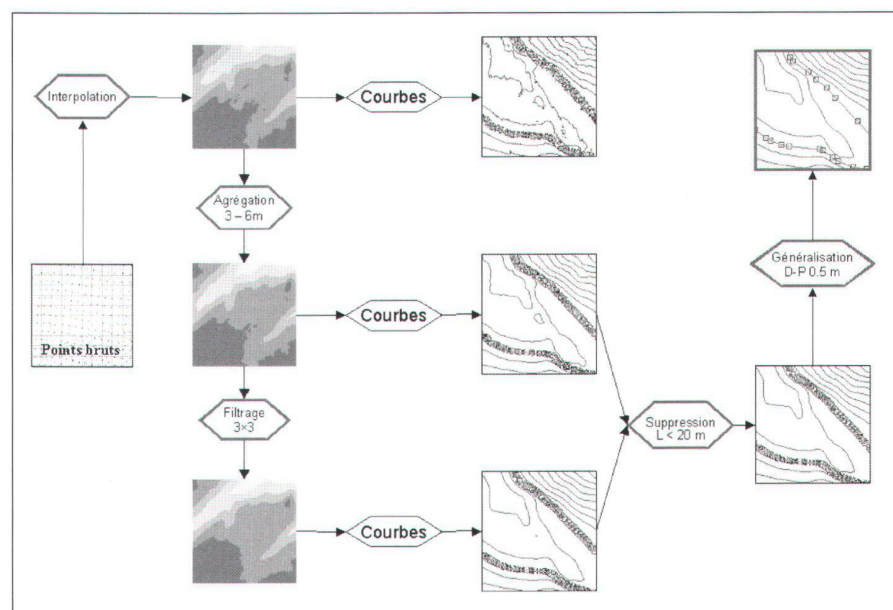


Fig. 7: Proposition de méthode pour déterminer des courbes de niveau à partir des données laser.

Pts vectoriels altitude: réel	Pts vectoriels altitude: entier	Grille raster altitude: réel	Grille raster altitude: entier
~ 26 Go	~ 22 Go	~ 1.5 Go	~ 0.7 Go

Tab. 1: Comparaison des tailles de fichiers, pour le canton de Neuchâtel, selon différents modes de stockage.

significatives. Dans un troisième temps, une généralisation, par exemple avec un algorithme de Douglas-Peucker, permet d'alléger les courbes en éliminant les noeuds surnuméraires, ce qui permet d'obtenir un gain de volume notable. Différentes méthodes de validation ont ensuite été proposées et étudiées:

Validation interne, applicable à chaque jeu de données:

- Une analyse visuelle par superposition des courbes de niveau finales avec le modèle numérique de terrain ombré et les courbes de niveaux non généralisées.
- Une analyse statistique en calculant les profils des courbes de niveaux déterminés par intersection avec le modèle numérique sous forme de grille.

Validation externe:

- Comparaison avec des courbes de niveaux issues de photogrammétrie

Ceci est une première étape qui mérite d'être complétée par d'autres investigations. Il sera ainsi possible de comparer différentes méthodes et de déterminer la plus appropriée pour le traitement des données laser.

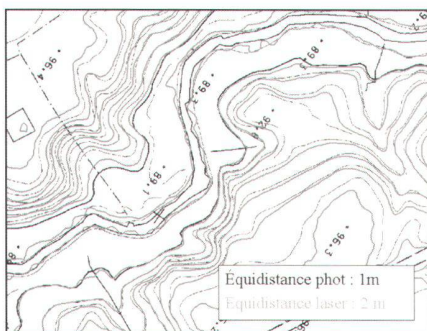


Fig. 8: Superposition de courbes de niveaux dérivées du MNA laser et par photogrammétrie.

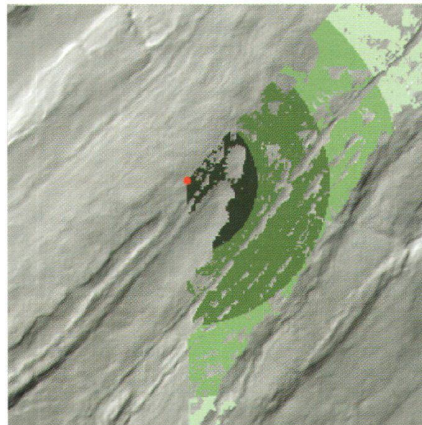


Fig. 9: Calcul de visibilité dans la région du Jura vaudois sur la base du MNT25 (© Office fédéral de topographie).

### 3.4 Analyse de visibilité dans le paysage

L'étude du paysage, en tant qu'étendue visible de l'espace, nécessite des données sur la configuration du relief. Jusqu'ici disponible seulement à moyenne échelle, cette information, grâce à la technologie laser, existe maintenant de manière plus détaillée. Elle s'avère ainsi particulièrement intéressante pour analyser et modéliser finement le paysage.

L'analyse de visibilité permet de déterminer, sur la base de données altitudinales, les zones perçues ou non, à partir d'un point du territoire. Dans ce contexte, le MNT laser amène un plus grand niveau de détail dans la détection des formes du micro-relief. Le modèle de surface, en apportant une information thématique sur la hauteur des objets spatiaux (toits des bâtiments, canopée de la forêt, etc.), permet de mieux prendre en compte les obstacles à la vue qui, jusque là, devaient être interpolés à partir de l'occupation du sol. Si une telle précision est très utile pour analyser le premier plan de vision, elle peut cependant s'avérer inappropriée

pour évaluer les plans plus éloignés, dont les éléments apparaissent moins distinctement dans le paysage. Un compromis doit donc être fait entre le niveau de détail désiré et le volume de données à traiter. Il en résulte une approche multi-échelle du paysage, basée sur l'imbrication successive de modèles numériques de terrain et de surface présentant des résolutions de plus en plus grossière à mesure que l'on s'éloigne de l'observateur. Une recherche est actuellement en cours au LASIG sur ces analyses de visibilité, en relation avec les perceptions et les préférences paysagères des différents groupes d'utilisateurs.

### 3.5 Amélioration du rendu cartographique à grande échelle

Une carte des ombrages est généralement obtenue en deux étapes. Tout d'abord, on calcule une valeur de pseudo-réflectance en chaque point d'un MNA. Cette information est fréquemment déduite du calcul de la pente, estimée au préalable pour chacun des pixels. Ensuite, on affiche les valeurs obtenues avec une palette de tons de gris continus. Par convention, les cartes d'ombrages sont calculées pour une source lumineuse située au nord-ouest du plan et à un angle de 45° au-dessus de l'horizon.

Les MNA haute résolution ont la propriété d'intégrer les structures relativement fines du paysage. L'émergence d'une faille dans une paroi rocheuse ou encore la présence de dépressions dans un terrain relativement plat sont autant de micro-structures susceptibles d'apporter une certaine information sur le modeler du paysage. Les cartes d'ombrages, calculées sur la base de ces modèles, sont donc extrêmement riches et leur intégration dans d'autres produits cartographiques est sans conteste une excellente valeur ajoutée. Différents tests ont été réalisés pour intégrer des ombrages tirés des MNA haute résolution à des extraits de cartes nationales et plans d'ensemble numériques de la Suisse, ainsi qu'à des orthophotos numériques couleurs.

Citons encore que l'amélioration de la précision du calcul d'orthophoto, grâce

aux MNT laser (SWISSIMAGE+), permet l'élaboration d'un produit de grande qualité qui ouvre la voie à de nouvelles applications en matière d'analyse spatiale.

### 3.6 MNA laser au service de la 3D

La représentation de sites en 3D est un domaine pour lequel les MNA laser offrent une forte plus-value. La superposition d'une orthoimage sur un MNS produit une représentation très réaliste du paysage. L'exemple ci-dessous en est une illustration réalisée sur territoire du Locle (canton de Neuchâtel):

En plus d'une simple orthoimage, il est possible d'ajouter différents types d'information, comme les zones d'affectation ou les zones à risques. On obtient alors des modèles tridimensionnels plus riches, qui combinent une information thématique particulière avec la topographie du

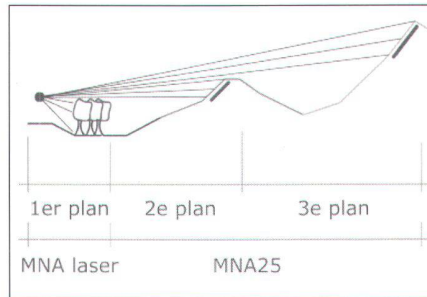


Fig. 10: Approche multi-échelle de la visibilité dans le paysage.

paysage. On peut imaginer que dans un avenir très proche, il sera possible d'interroger dans un environnement internet une base de données spatiale par l'intermédiaire de scènes 3D interactives construites sur la base de modèles numériques d'altitude haute résolution. délimitation

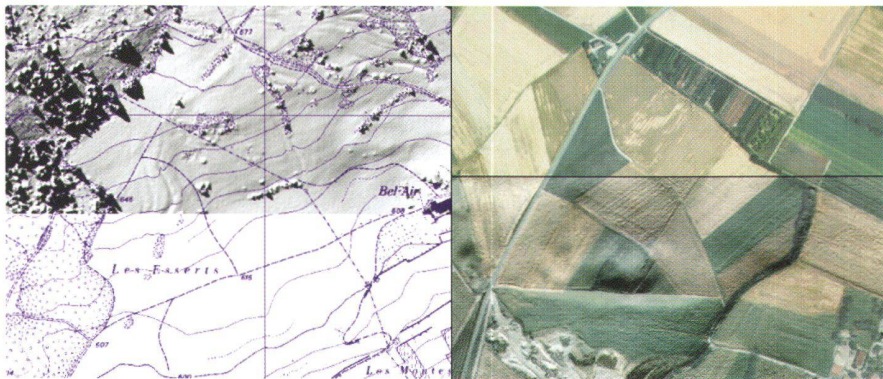
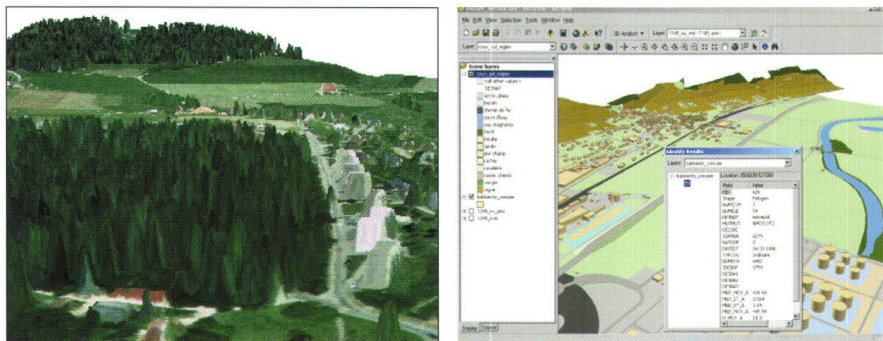


Fig. 11: Amélioration du rendu cartographique d'un extrait de plan d'ensemble (canton de Neuchâtel) et d'une orthophoto (canton de Genève; données du SITG).



Le Locle (NE)

Cressier (NE)

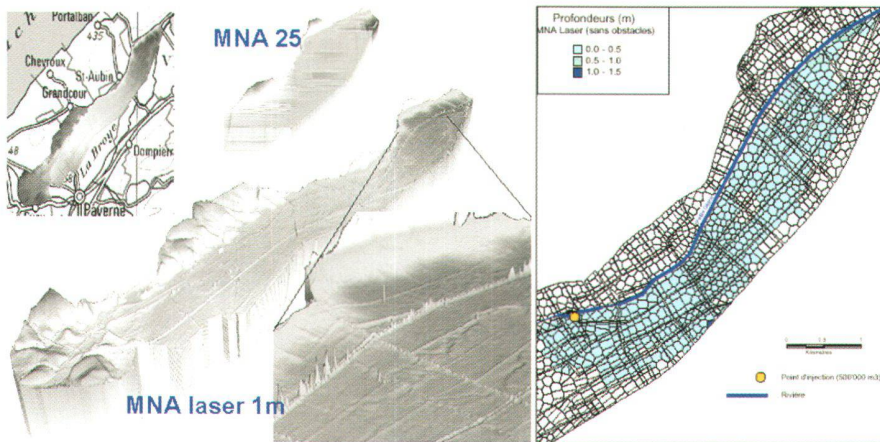
Fig. 12: A gauche, une vue en perspective d'une orthophoto «drapée» sur un MNS-MO (SWISSIMAGE © Office fédéral de topographie (BAO24322); Office fédéral de topographie MNT-MNS-MO © 2001 Données de la mensuration officielle); à droite, interrogation d'une base de données 3D.

## 4. Exploitation pour différentes thématiques

Sans être exhaustif, cette section veut illustrer les avantages que peut apporter les récents modèles numériques d'altitude de haute résolution pour des domaines aussi variés que la foresterie, la gestion des dangers naturels, les télécommunications ou encore l'aménagement urbain.

### Environnement et foresterie

L'utilisation conjointe des deux modèles (MNS et MNT) ne se limite certes pas aux bâtiments. Le MNS laser décrit tous les objets effectivement visibles depuis l'avion au moment du vol, c'est-à-dire l'ensemble des ouvrages construits (ponts, habitations, pylônes électriques, etc.), ainsi que la couverture végétale, notamment forestière. L'altimétrie laser est actuellement la seule technique permettant des levés topographiques précis à travers un couvert forestier relativement dense. On exploite la double réflexion du faisceau, l'une provenant des couches hautes de la végétation, l'autre du sol lui-même. Cette méthode permet de recueillir des données dans les régions difficiles d'accès, ainsi que là où la protection de l'environnement s'avère primordiale. Dans le cadre du projet «SAU», le produit RALF (Reconnaissance Automatique des Limites de Forêt) exploite cette complémentarité entre les modèles numériques de surface et de terrain (<http://www.swisstopo.ch/fr/vd/lwn.htm>). La couche vecteur résultante, produite automatiquement, doit être considérée comme une information complémentaire qui peut faciliter la délimitation des limites de forêt sur des orthophotos. Les mesures recherchées dans le domaine de la foresterie sont multiples: la forme du terrain, la hauteur et la densité des forêts ou encore le calcul de volume et de biomasse. A partir de ces données, il est relativement rapide et aisé d'évaluer les ressources de bois sur une surface étendue. Le Service des forêts de la ville de Genève, en collaboration avec l'ETHZ, est en train de réaliser un projet qui fait appel à la technologie laser pour la détermination de cartes de peuplement, la dé-



Comparaison de MNA25 avec un MNA laser pour la région de la Broye.

Simulation sur une zone inondable, dans la région de la Broye, calculée sur la base d'un MNT laser.  
[Etude R. Metzger, Hydram-EPFL]

**Fig. 13: Utilisation d'un MNA laser pour améliorer les modèles de simulation des zones inondables.**

limitation des zones forestières, ainsi que le calcul du volume boisé. D'autres études appliquées au domaine forestier (calcul de hauteurs d'arbres, volumes, biomasses) ont déjà été réalisés ou sont en cours de réalisation (Dunbayah, 2000). L'altimétrie laser constitue enfin une base pour différentes recherches très prometteuses sur la structure et la fonction de la canopée (Michael & Al., 2002).

### Les zones inondables et dangers naturels

Une analyse des risques d'inondation requiert des données précises sur la topographie du terrain. Les régions sujettes aux inondations présentent généralement un relief peu marqué. De faibles changements de niveau d'eau peuvent entraîner des modifications majeures de la superficie inondée. Or la précision des calculs hydrauliques est tributaire de la qualité des MNA utilisés et ceci surtout pour la définition des lignes de cassures (routes, chemins de fer, etc.) ou de tout obstacle de nature à barrer l'écoulement ou à créer des chemins préférentiels (Metzger & Consuegra, 1998).

La précision des modèles laser permet incontestablement d'améliorer la mise en œuvre des modèles hydrauliques, grâce à une information désormais plus précise de la configuration des obstacles.

Concernant les autres dangers naturels (avalanches, glissements de terrain, etc.) des projets pilotes étudient le potentiel des MNA haute résolution, notamment dans un projet de grande envergure actuellement conduit par l'Etat de Vaud. De nombreuses questions se posent également sur le choix des algorithmes à utiliser.

### La télécommunication

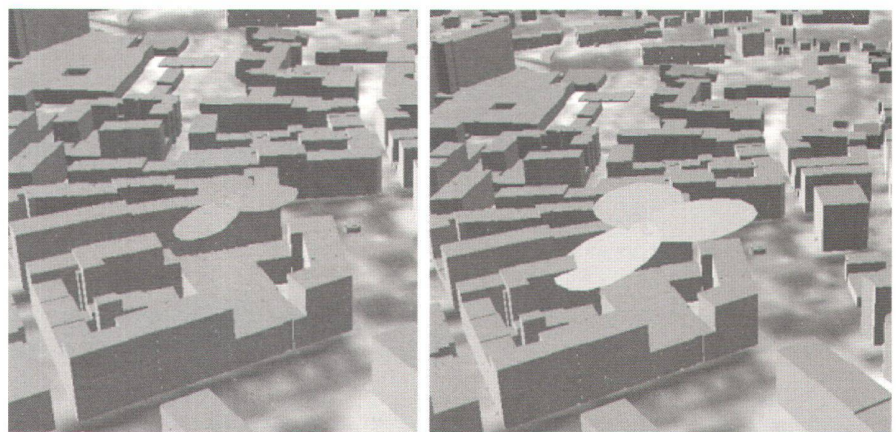
La loi suisse en matière de rayonnement non ionisant est stricte. L'Ordonnance sur la protection contre les Rayonnements Ionisants (ORNI) impose des limitations d'immissions, afin, entre autre, de protéger la santé des personnes en matière de

construction d'installations stationnaires de téléphonie mobile. Les sociétés de téléphonie mobile prennent beaucoup de précautions pour placer leurs réseaux d'antennes pour, d'une part, optimiser la couverture, et d'autre part, être en conformité avec les règlements.

Les données laser fournissent une information tridimensionnelle de la végétation, des bâtiments et autres constructions urbaines plus rapidement que n'importe quelle autre technologie traditionnelle. L'intégration de cette information dans un logiciel SIG gérant la représentation 3D offre ainsi la possibilité de calculer et visualiser la propagation des ondes générées par les antennes, existantes ou en projet, dans le milieu urbain. Il est ainsi possible d'estimer si un lobe principal de propagation d'une antenne intercepte ou non un bâtiment et si c'est le cas avec quelle intensité (Blardone, 2001).

### Aménagement et infrastructures urbaines

En matière de constructions de routes, voies de chemins de fer et autres infrastructures urbaines, les données altimétriques obtenues par laser apportent une information déterminante. En superposant la maquette numérique d'un projet planifié au MNS haute résolution, il est possible d'estimer visuellement l'impact sur le paysage que va occasionner cette nouvelle construction. Par exemple, la création de simulations 3D (3D fly-



**Fig. 14: Vues 3D de la propagation des lobes d'une antenne de téléphonie mobile, pour deux puissances d'émission différentes (Blardone, 2001).**

through) permet d'apporter une information tangible lorsqu'il s'agit de présenter un projet de construction à un public concerné. A une échelle plus petite, la représentation tridimensionnelle précise du territoire apporte une information très intéressante en matière de densité urbaine. C'est une approche novatrice pour l'étude de l'aménagement du territoire. Ajoutons enfin que les modèles urbains 3D sont amenés à jouer un rôle de plus en plus important pour l'élaboration de scénarios modélisant la dispersion de polluants en zones bâties. Au-delà de la complexité que cela engendre, la grande précision des MNA laser se prête beaucoup mieux aux études touchant aux nuisances sonores (cadastre du bruit) ou au comportement spatial de pollutions accidentelles (gazeuses ou liquides) dans les zones fortement construites et donc à haute densité de population.

## 5. Conclusion

Les nouveaux modèles numériques d'altitude de haute résolution constituent sous de multiples aspects une percée dans le domaine des SIG. Grâce à la technologie laser, il est possible d'exploiter séparément ou conjointement une représentation du sol ou de la surface du terrain. Les applications sont nombreuses et cela permet d'enrichir rapidement les infrastructures de données en exploitant le potentiel de ces données.

En contre-partie, ces modèles génèrent de gros volumes de données, qui posent des

problèmes de stockage et de gestion. L'utilisation de systèmes plus performants, ainsi que l'adaptation des méthodes et algorithmes de traitement devient une condition essentielle pour leur exploitation rationnelle. Le potentiel de cette technologie, ainsi que les difficultés restant à surmonter pour en assurer une utilisation pertinente et efficace, ouvre un large champ de prospective et de recherche, tout en permettant dès aujourd'hui une excellente valorisation par les bureaux d'ingénieurs et de conseils.

### Remerciements

Nous tenons à remercier l'Office fédéral de topographie, la Direction fédérale des mensurations, le Système d'information du territoire genevois ainsi que le Système d'information du territoire neuchâtois qui nous ont aimablement mis à disposition les données nécessaires à la réalisation de nos recherches et, par la même occasion, à la réalisation des illustrations qui agrémentent cet article. Merci également aux différents collaborateurs du LASIG pour leur généreuse contribution.

### Références:

Blardone, M.-S., 2001. Design and prototyping of a GIS helping for the environmental integration of mobile telephony antennas for Orange Communication SA, Diplôme post-grade en Ingénierie et Management de l'Environnement, EPFL.

Burrough, P. & McDonnell, R., 1998. Principles of Geographical Information Systems, Oxford University Press Inc., New York.

Dubayah, R., Drahe, J., 2000, Lidar remote sensing for forestry, Journal of forestry, 98:44-46.

Gnerre, D., Golay, F., Riedo, M., 2001, Estimation de la hauteur des bâtiments à partir des modèles d'altitude numériques laser, Mesuration Photogrammétrie Génie rural, 9/2001.

Jones, K., H., 1998. A comparison of Two Approaches to Ranking Algorithms used to compute Hill Slopes, 223-256 Geoinformatica, Vol 2 Number 3, October 1998

Maas, H.-G., Vosselman, G., 1999, Fast determination of parametric house models from dense airborne laserscanner data. International Workshop on Mobile Mapping Technology Bangkok, Thailand, April 21-23, 1999 IA-PRS Vol. 32, Part 2W1.

Metzger, R. & Consuegra, D., 1998. Evaluation des modèles numériques d'altitude en zone de plaine, Rapport, IATE/HYDRAM - EPFL.

Michael & Al., 2002. Lidar Remote Sensing for Ecosystem Studies, BioScience, Vol. 52 No 1.

Pythoud, K. & Caloz, R., 2002. Etude des terroirs viticoles vaudois - Rapport d'avancement, Laboratoire de SIG, EPFL.

Skidmore, A., K., 1996. A comparison of techniques for calculating gradient and aspect from a gridded digital elevation model. IJGIS, Vol 3, Number 4, Octobre 1996, pp 323-334.

M. Riedo  
Gilles Gachet  
D. Guerre  
R. Caloz  
Prof. François Golay  
EPFL, ENAC  
LaSIG GR-Ecublens  
CH-1015 Lausanne  
Gilles.Gachet@epfl.ch

**Abonnementsbestellungen  
unter folgender Adresse:**

**SIGImedia AG**  
Dorfmattestrasse 26  
CH-5612 Villmergen  
Telefon 056 619 52 52  
Telefax 056 619 52 50

**Jahresabonnement 1 Jahr:**  
Inland sFr. 96.-, Ausland sFr. 120.-

**Lohnunternehmer  
(Dipl. Vermessungszeichner) bietet  
für Neuvermessungen usw.:**

Steinsatz von Hand oder MASCHINELL mit

- **Eigenen Fahrzeugen**
- **Eigenen Maschinen**
- **Eigenem Werkzeug**

**Interessenten melden sich bei:**

**CdM Kundendienst  
für Transporte, Gartenunterhalt + Bau  
z. Hd. Christian de Marchi  
3703 Aeschi  
Natel: 079 459 49 63  
Mail: christian.de.marchi@bluewin.ch**