

# Auscultation de l'état de surface de revêtements routiers par photogrammétrie automatisée

Les développements récents en matière de photogrammétrie permettent d'établir une méthodologie automatisée de relevé de l'état de surface des chaussées. Il est maintenant non seulement possible de générer une orthophoto et un MNS mais aussi de détecter et d'évaluer les dégradations et déformations des revêtements, le tout à un coût très faible.

*Die jüngsten Entwicklungen der Photogrammetrie ermöglichen eine automatisierte Erhebung des Zustandes der Fahrhahnoberflächen. Neben Orthofoto und DOM ist es möglich, zu geringen Kosten Beschädigungen und Deformationen der Beläge festzustellen und zu beurteilen.*

I recenti sviluppi nel campo della fotogrammetria consentono di definire una metodologia automatizzata nel rilevamento dello stato della superficie delle carreggiate. Adesso è possibile generare non solo una ortofoto e un MNS, ma anche individuare e valutare il livello di degrado e le deformazioni della pavimentazione stradale – il tutto a un costo molto basso.

G. Allaz, M. Kasser

L'auscultation de l'état de surface des revêtements routiers se base actuellement tantôt sur des relevés visuels et mécaniques, tantôt sur des combinaisons de multiples capteurs (vidéo, scanner laser, lever GNSS, etc.) embarqués sur des véhicules. Ces méthodes sont fort onéreuses en ressources humaines et/ou en matériel. En Suisse, elles sont toutes destinées à qualifier l'état des revêtements au travers d'indices édictés par les normes VSS (Schweizerischer Verband der Strassen und Verkehrsfachleute, Association suisse des professionnels de la route et des transports), dont certaines ont été publiées en 1977.

Les méthodes d'appréciation visuelle, dépendantes de la subjectivité de l'observateur et par essence mal géolocalisées, rendent en outre difficile la comparaison entre différents relevés d'état successifs. En pratique, les méthodes modernes sont

actuellement sous-exploitées car les valeurs mesurées doivent être dégradées afin de produire des indices d'état définis autrefois, selon des méthodes maintenant dépassées.

La photogrammétrie bénéficie du développement récent des appareils photo (haute résolution, prise de vues en rafale sans limitation du nombre d'images, très grande dynamique), des logiciels, et des capacités informatiques. Il devient ainsi possible de remplacer certaines méthodes actuelles de relevé d'état des revêtements par un processus d'acquisition basé sur des appareils photo grand public fixés sur un véhicule, avec un post-traitement largement automatisé et donc à très bas coût, offrant un résultat parfaitement géolocalisé et facilement consultable avec les outils logiciels SIG maintenant courants.

Le développement du processus présenté ici s'est réalisé dans le cadre d'un travail de master (Master of Science HES-SO en

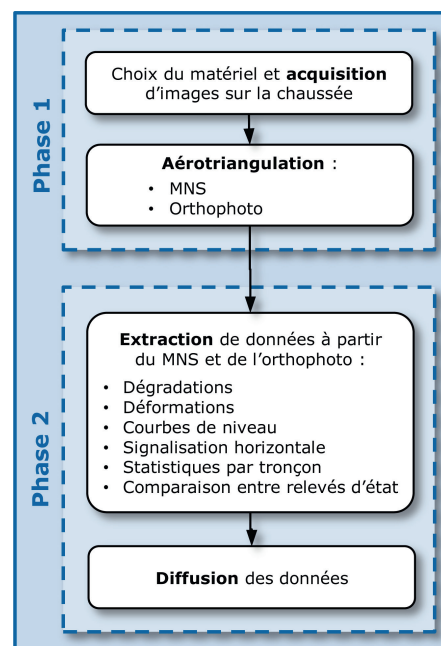


Fig. 1: Phases de production.

Abb. 1: Produktionsphasen.

Fig. 1: Fasi di produzione.

Ingénierie du territoire – MIT) en étroite collaboration avec la ville de La Chaux-de-Fonds dont les revêtements routiers s'usent plus rapidement que la moyenne, dû la situation géographique à 1000m d'altitude.

## Étapes du processus

La méthode peut être décomposée en deux phases. La première consiste à acquérir des images d'une chaussée selon un protocole précis et avec du matériel judicieusement choisi, puis de les orienter par aérotriangulation et enfin d'en extraire un modèle numérique de surface (MNS) et une orthophoto. Durant la deuxième phase, le MNS est traité pour en extraire notamment les dégradations et déformations du revêtement qui sont ensuite mises à disposition des ingénieurs civils au travers de différents supports.

## Équipement

L'équipement utilisé est particulièrement simple et bon marché.

Du côté photographique, il suffit d'appareils photo capables de prendre des images en rafale sans limitation du nom-

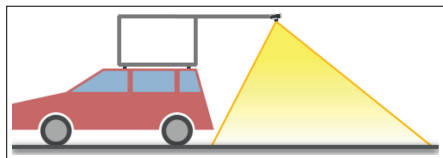


Fig. 2: Appareil photo fixé à l'arrière d'une voiture.

Abb. 2: Am Heck eines Fahrzeugs befestigte Kamera.

Fig. 2: Macchina fotografica fissata dietro un'auto.

bre d'images, munis d'objectifs grand angle assurant une résolution au sol de l'ordre du millimètre, d'un récepteur GNSS avec mesure sur le code, d'une carte mémoire haute capacité et d'accessoires de communication. Nos travaux ont été effectués avec un Canon EOS 5D Mark III et un capteur GPS Canon GP-E2. À cela s'ajoute une structure de support permettant de fixer les appareils photo à l'arrière d'un véhicule, ancrée sur des barres de toit classiques, à une hauteur de l'ordre de 2.50 m en dessus de la chaussée.

Une configuration avec un champ de vision particulièrement large permet d'inclure les trottoirs dans le relevé d'état, ceux-ci comportant aussi des enjeux d'entretien pour les collectivités publiques.

Finalement, un logiciel de photogrammétrie à bas coût ainsi que des outils de SIG et de télédétection complètent l'équipement. Dans le cadre du développement de cette méthode, le logiciel PhotoScan, après une optimisation approfondie de ses paramètres de calcul,

a permis de traiter correctement des images acquises sur un tronçon de chaussée expérimental de 250 m de long.

Un capteur GNSS de type géodésique à mesure sur la phase, pour déterminer une valeur précise des centres de projection des images, ne s'est heureusement pas avéré nécessaire. La méthode développée étant destinée à un milieu urbain, la disponibilité des satellites n'y aurait en effet pas toujours été assurée. De plus, son exploitation aurait nécessité la synchronisation temporelle entre les prises de vues et les mesures GNSS, problème toujours assez délicat à résoudre.

### Aérotriangulation

Les enjeux photogrammétriques principaux sont de faciliter la mesure automatique des points de liaison (*tie points*), assurer l'autocalibration des objectifs et minimiser le nombre de points de calage (*GCP – ground control points*), le tout avec le moins d'intervention humaine possible afin de limiter les coûts.

L'utilisation de la position indicative ( $\sigma = \pm 2$  à  $3$  m) des images déterminées par mesure GPS sur le code s'avère très souhaitable pour économiser un temps de calcul important lors de la mesure automatique des points de liaison. Sans cette information, le logiciel perd un temps considérable à chercher des correspondances entre des images prises à deux extrémités de la rue analysée.

Dans le cadre de ce développement, une calibration des objectifs sur un polygone de calibration juste avant ou après l'ac-

quisition d'images dans une rue s'est avérée inutile. Il a fallu par contre opter pour une disposition des appareils photo sur le véhicule d'acquisition qui permette d'autocalibrer les objectifs directement avec les images acquises sur la chaussée. L'entrée dans le champ de vision d'objets sortant du plan horizontal de la chaussée (exemple: pied de façade) s'avère très utile pour ce processus.

De plus, les objectifs optimisés pour le grand public peuvent présenter des imperfections optiques qui ne peuvent être modélisées correctement avec les modèles de distorsion utilisés en photogrammétrie. Des zones périphériques du champ de chaque image doivent alors être masquées.

Quant aux points de calage, il est bien évidemment nécessaire, pour des raisons économiques, d'éviter de devoir matérialiser de nombreux repères dans les rues et d'en déterminer la position par des méthodes topométriques. Des objets déjà connus tridimensionnellement dans des bases de données peuvent être utilisés, tels que les points fixes de la mensuration officielle (PFP3) ou les couvercles de chambres du réseau d'assainissement. De plus, cette combinaison d'objets permet une bonne répartition des points de calage sur la largeur de la rue (PFP3 sur les trottoirs, couvercles de chambres au milieu de la chaussée), évitant ainsi un basculement latéral du bloc d'images. Longitudinalement, ces points peuvent être espacés de 60 à 70 m tout en assurant une précision absolue de l'ordre de  $\pm 2$  à 3 cm ( $1\sigma$ ) selon des observations



Fig. 3: Extrait de l'orthophoto (à gauche) et du MNS (à droite) de la rue de l'Helvétie à La Chaux-de-Fonds (longueur: env. 70 m).

Abb. 3: Auszug der Orthofoto (links) und des DOM (rechts) in der rue de l'Helvétie in La Chaux-de-Fonds (Länge ungefähr 70 m).

Fig. 3: Estratto dell'ortofoto (a sinistra) e del MNS (a destra) della rue de l'Helvétie a La-Chaux-de-Fonds (lunghezza ca. 70 m).

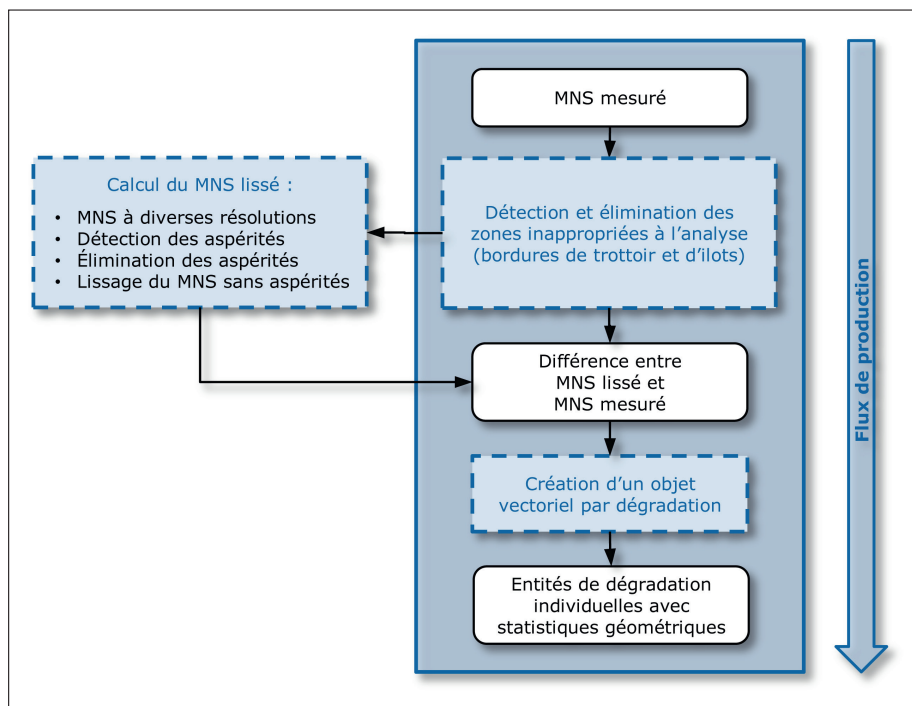


Fig. 4: Principe de détection des dégradations et des déformations.

Abb. 4: Prinzip der Ortung der Abnutzungen und Verformungen.

Fig. 4: Principio di detezione del degrado e della deformazione.

faites avec de nombreux points de contrôles fixés sur un tronçon d'essais.

À la fin de cette phase photogramétrique, un MNS au format raster (GeoTIFF) et une orthophoto à une résolution millimétrique sont produits de manière automatique. La résolution altimétrique du MNS (précision relative) s'avère submillimétrique, permettant ainsi d'observer des objets de très faible épaisseur (exemples: joints à la lance thermique, marquages routiers, pertes de gravillons).

## Détection des dégradations

Une orthophoto et un MNS ne sont pas suffisants pour une analyse des revêtements par les responsables de la gestion de réseaux routiers. Pour eux, il est non seulement vital de détecter chaque dégradation individuellement mais aussi de qualifier l'état du revêtement par des notes attribuées à chaque tronçon routier. Le MNS, d'une extrême richesse en matière de détails géométriques, est ainsi le point de départ de toute une série d'exploitations automatisées en vue de

produire des indicateurs directement interprétables par l'utilisateur.

À partir du MNS millimétrique, les aspérités correspondant à des dégradations de différentes longueurs d'ondes spatiales peuvent être détectées par calcul puis qualifiées en fonction de leur géométrie. Le principe consiste à déterminer un MNS du revêtement, lissé de manière à supprimer les petites aspérités, puis à le comparer au MNS mesuré original.

Le traitement s'effectue principalement (nous avons travaillé avec ArcGIS) à l'aide de filtres et d'analyses par fenêtres glissantes (valeur statistique attribuée à un pixel en fonction de ses pixels voisins, exemple: erreur moyenne de la pente dans un rayon de 5 cm). À préciser qu'une analyse sur les seules valeurs altimétriques s'avérerait inappropriée, dû aux dévers de la chaussée et à la pente longitudinale. Il est nettement plus efficace d'appliquer les filtres aux valeurs de pente qui, elles, devraient être localement constantes. Un traitement de la courbure (dérivée seconde, pente de la pente) se révèle beaucoup trop bruité. Tout d'abord, des aspérités de grandes tailles, telles que les bordures de trottoir

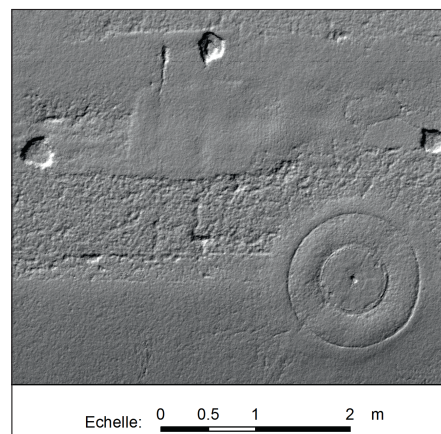


Fig. 5: Extrait du MNS mesuré original.

Abb. 5: Originalauszug des gemessenen DOM.

Fig. 5: Estratto del MNS misurato originale.

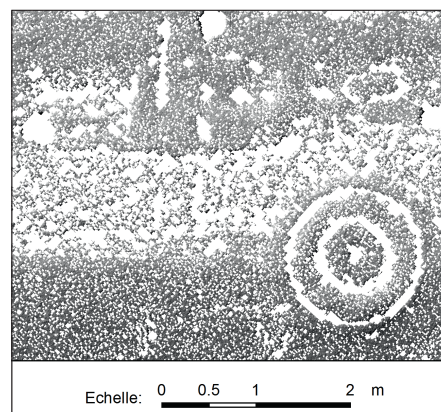


Fig. 6: MNS extrudé, sans aspérités.

Abb. 6: Extrudiertes DOM, ohne Unebenheiten.

Fig. 6: MNS estruso, senza asperità.

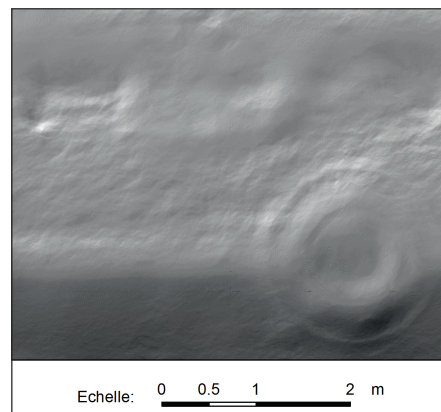


Fig. 7: MNS lissé, sans dégradations.

Abb. 7: Geglättetes DOM, ohne Abnutzungen.

Fig. 7: MNS liscio, senza degrado.

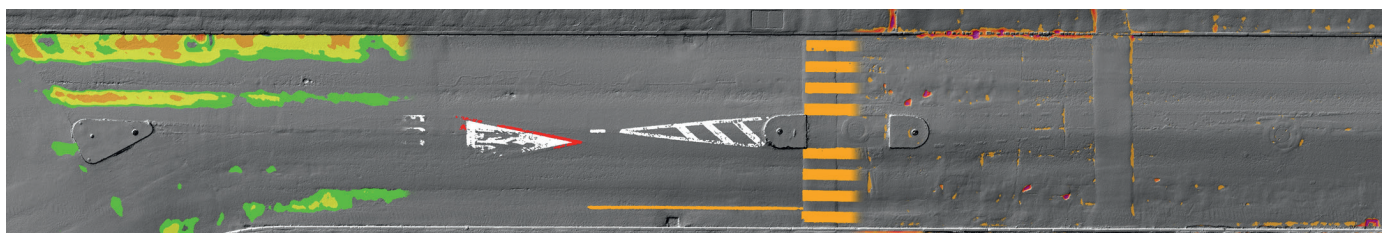


Fig. 8: Détection des déformations (ornières), de la signalisation horizontale et des dégradations sur la rue de l'Helvétie à La Chaux-de-Fonds.

Abb. 8: Ortung der Verformungen (Spurrillen), der horizontalen Markierung und der Abnützungen in der rue de l'Helvétie in La Chaux-de-Fonds.

Fig. 8: Detezione delle deformazioni (solchi), della segnaletica orizzontale e dei degradi sulla rue de l'Helvétie a La-Chaux-de-Fonds.

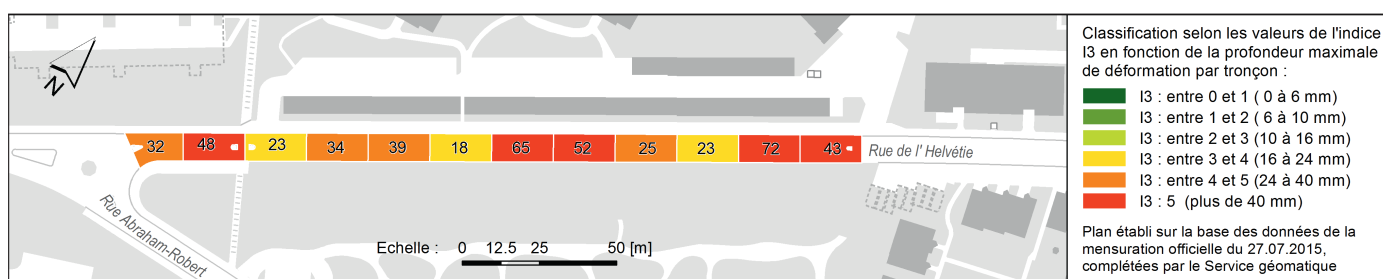


Fig. 9: Carte de synthèse des déformations, classification selon la profondeur d'ornière maximale par tronçon de 20 m (indice I3 de la norme VSS 640 520a).

Abb. 9: Synthesekarte der Verformungen, Klassifikation nach maximaler Tiefe der Spurrille pro 20m-Abschnitt (Index I3 der VSS-Norm 640 520a).

Fig. 9: carta di sintesi delle deformazioni, classificazione secondo la profondità massima dei solchi su tratti di 20 m (indice I3 della norma SN 640 520a).

et d'îlots, doivent être détectées puis éliminées du traitement. Ensuite, les aspérités de tailles variables (fissures, perte de gravillons, nids de poule, etc.) sont détectées par traitement du MNS à différentes résolutions. Les zones couvertes par ces dégradations sont retirées du MNS avant que celui-ci soit lissé. Après une soustraction entre le MNS lissé et le MNS mesuré, les dégradations sont vectorisées et chaque entité vectorielle est renseignée sur la géométrie de la dégradation (surface, profondeur, volume).

Un traitement similaire peut être appliqué à des déformations du revêtement correspondant à des aspérités de tailles plus grandes, telles que des ornières. Afin d'obtenir une vue d'ensemble d'un réseau routier, les valeurs géométriques des dégradations peuvent être synthétisées par tronçon routier à l'aide d'outils SIG conventionnels. Ces valeurs de synthèse peuvent être par exemples les indices de planéité longitudinale (I2) et transversale (I3) édictés par la norme VSS 640 520a, ou la somme du volume des

aspérités. Ce type de carte permet de mettre en évidence l'évolution des dégradations entre différents relevés.

Il s'est également avéré que la représentation de courbes de niveau à faible équidistance (exemple : 2 cm) est un outil très utile pour une analyse visuelle rapide (orniérage, écoulement de l'eau de surface) pour les ingénieurs civils.

Quant à l'orthophoto, elle permet, par classification supervisée d'image, d'extraire la signalisation horizontale (marques routiers) sous forme vectorielle.

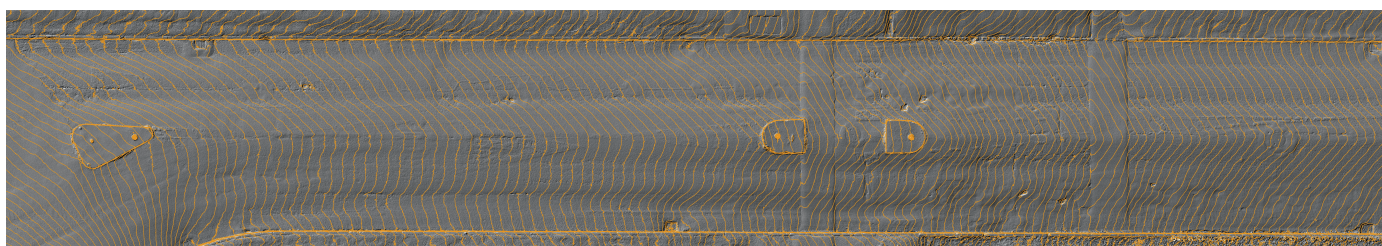


Fig. 10: Courbes de niveau à une équidistance de 2 cm sur la rue de l'Helvétie à La Chaux-de-Fonds.

Abb. 10: Höhenkurven mit Aequidistanz von 2 cm in der rue de l'Helvétie in La Chaux-de-Fonds.

Fig. 10: Curve di livello a un'equidistanza di 2 cm sulla rue de l'Helvétie a La-Chaux-de-Fonds.

Tous ces processus peuvent être automatisés s'ils sont exécutés à l'aide d'outils combinant des fonctions de SIG et de télédétection (exemple: ArcGIS et ses extensions Spatial Analyst et 3D Analyst, et scripts en langage Python).

Chaque paramètre de calcul et de représentation est adaptable aux différents types de revêtement et aux besoins des responsables de l'entretien des réseaux routiers.

## Diffusion

Un guichet cartographique (géoportail) permet aisément de mettre à disposition la grande diversité de données extraites tant à l'échelle d'un réseau urbain (carte de synthèse par tronçon routier) qu'à une échelle de détail (position et caractéristique de chaque dégradation).

La vectorisation de certaines géodonnées allège le volume de données diffusées sur un serveur internet et fluidifie leur affichage.

De plus, certaines plateformes de géoportail permettant d'éditer des données en ligne, l'interaction avec les utilisateurs finaux est assurée. Il devient possible au

gestionnaire d'un réseau routier d'éditer des dégradations détectées automatiquement, de modifier les indices d'évaluation d'un tronçon routier et d'ajouter des commentaires, y compris à partir d'un support mobile (exemples: smartphone, tablette) lors d'une visite sur le terrain.

## Conclusion

La méthodologie développée offre la production d'un modèle numérique de surface (MNS) accompagné d'une orthophoto à une précision absolue centimétrique et une résolution millimétrique, puis la détection des dégradations et des déformations ainsi que leurs statistiques géométriques sous la forme de cartes de synthèse par tronçon, permettant la comparaison objective entre différentes époques successives. Le tout est accompagné de la cartographie de la signalisation horizontale et de courbes de niveau. L'intégralité des traitements des images est automatisable dès maintenant, ce qui conduit à des coûts très faibles. Les données géographiques résultant de ce processus sont pleinement interoperables

avec toutes autres géodonnées et intégrées dans un système d'information géographique (SIG). Il s'agit donc d'un outil d'aide à l'analyse et à la décision à échelles géographiques et temporelles multiples pour les spécialistes du domaine routier.

## Remerciements

Nous remercions Bertrand Cannelle et Francine Laferrière, professeurs à la HEIG-VD, pour leurs conseils durant ce travail.

Gildas Allaz

Service géomatique de la ville de La  
Chaux-de-Fonds  
Passage Léopold-Robert 3  
CH-2300 La Chaux-de-Fonds  
gildas.allaz@ne.ch

Michel Kasser, Professeur de Géodésie  
HEIG-VD

Institut de Géomatique, Gestion de  
l'environnement, Construction et  
Surveillance d'ouvrages (G2C)  
Route de Cheseaux 1  
CH-1401 Yverdon-les-Bains  
michel.kasser@heig-vd.ch



Laurent Glassey  
de MOSINI et  
CAVIEZEL SA

Raphaël Seuret  
Formations et support  
allnav sa

Multicopter Trimble ZX5  
Saisie de données  
aérienne

**L'AVENIR A BESOIN DU PARTENARIAT**

Apprenez plus sur allnav et  
l'histoire de notre image : [www.allnav.com](http://www.allnav.com)

[www.mebgroup.ch](http://www.mebgroup.ch)

**allnav**