

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

■ Gildas ALLAZ, Michel KASSER

Les développements récents en matière de photogrammétrie permettent d'établir une méthodologie automatisée de relevé de l'état de surface des chaussées qui remplace des procédés mécaniques, visuels, ou suréquipés en appareils de haute technologie et donc fort onéreux. Il est maintenant non seulement possible de générer une orthophoto et un modèle numérique de surface (MNS) mais aussi de détecter et d'évaluer les dégradations et déformations des revêtements, le tout à un coût très faible. La large panoplie de produits géoréférencés qui en résulte en fait un outil d'aide à l'analyse et à la décision à échelles géographiques et temporelles multiples pour les spécialistes du domaine routier.

■ MOTS-CLÉS

photogrammétrie, télédétection, relevé de l'état de surface des revêtements routiers, détection des dégradations et des déformations, carte de synthèse, signalisation horizontale.

sionnels de la route et des transports (*Schweizerischer Verband der Strassen und Verkehrsfachleute, VSS*) au travers de divers indices d'état correspondant à des notes de 0 à 5.

Un premier indice I1 qualifie les dégradations en fonction de leur étendue et de leur gravité pour chaque tronçon d'une longueur de 50 m. Ce relevé se faisant visuellement, sans aucune mesure, la note finale dépend uniquement d'une estimation et donc de l'observateur. De plus, la localisation des dégradations n'est qu'indicative, à 50 m près. Cela a pour conséquence de rendre difficile la comparaison entre différentes périodes d'observation.

La planéité longitudinale (indice I2) est définie par l'écart-type de la variation de la pente à l'axe de la chaussée. Pour qualifier cette valeur, la pente est mesurée à des intervalles réguliers de 1 m sur un tronçon complet de 250 m. L'écart-type de la pente déterminé à partir des mesures est ensuite introduit dans une table qui détermine quelle note lui correspond.

La planéité transversale (indice I3) est déterminée à partir de la profondeur des ornières. Celles-ci sont introduites dans une table qui attribue une note en fonction de la profondeur mesurée à intervalles réguliers de 50 m.

Un autre indicateur, appelé "exactitude des niveaux", qualifie la planéité de la chaussée par l'écart-type de la différence d'altitude entre un niveau théorique et un niveau réel du revêtement.

Le résultat attendu par les gestionnaires de réseaux routiers est une carte mentionnant pour chaque tronçon les notes des indices. Aucune

Contexte général

L'auscultation de l'état de surface des revêtements routiers en Suisse se base actuellement tantôt sur des relevés visuels et mécaniques, tantôt sur des combinaisons de multiples capteurs embarqués sur des véhicules. Ces méthodes sont fort onéreuses en ressources humaines et/ou en matériel. 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 (dès 1977), selon des méthodes maintenant dépassées.

En parallèle, la photogrammétrie bénéficie du développement récent des appareils photo grand public (haute résolution, prise de vues en rafale sans limitation du nombre d'images, très grande dynamique), des logiciels et des capacités informatiques. Il devient

alors possible de remplacer certaines méthodes actuelles de relevé d'état des revêtements par un processus d'acquisition basé sur des appareils photo 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 en Ingénierie du territoire de la Haute école spécialisée de Suisse occidentale) en étroite collaboration avec la ville de La Chaux-de-Fonds (Canton de Neuchâtel, Suisse) dont les plus de 100 km de revêtements routiers s'usent plus rapidement que la moyenne, dû à la situation géographique à 1 000 m d'altitude.

Techniques actuelles

En Suisse, l'auscultation de la surface des revêtements routiers est normée par l'Association suisse des profes-

► cartographie détaillée des dégradations n'est générée.

Pour réaliser les mesures, des moyens mécaniques sont encore employés de nos jours. Par exemple, pour mesurer la profondeur des ornières, une barre métallique est posée en travers de la route. Une roulette déplacée le long de la barre et reliée à un cylindre permet de noter le profil sur un ruban de papier. Les valeurs doivent ensuite être saisies manuellement pour être informatisées. Cette méthode exige évidemment l'interruption du trafic durant les mesures.

Depuis plusieurs années, des méthodes modernes ont toutefois été développées dans le domaine routier. Il s'agit de véhicules munis de capteurs multiples pouvant collecter des données jusqu'à une vitesse de 100 km/h. Les capteurs de mesures laser, radar ou vidéo (caméra linéaire) sont accompagnés de récepteurs GNSS, de plateformes inertielles (INS) et d'odomètres pour géolocaliser les mesures. La multiplication de ces appareils en fait des équipements particulièrement onéreux (jusqu'à 900 000 €). Leur précision est notamment dépendante de la disponibilité des constellations GNSS, particulièrement limitée en milieu urbain.

De plus, les équipements utilisés en Suisse se contentent de mesurer des profils en long et des profils en travers à des intervalles de 1 ou 5 m. Des images servant à détecter des dégradations sont traitées individuellement, sans être orthorectifiées. Le but final étant d'établir les indices d'état pour des tronçons d'au moins 50 m, aucune géodonnée continue (MNS ou orthophoto) n'est générée.

Ailleurs, et notamment en France, il existe de multiples autres équipements [Revue générale des routes et de l'aménagement, mars-avril 2015]. Cependant, nous n'avons rencontré qu'un seul équipement permettant de scanner la chaussée à une résolution millimétrique tant longitudinale que transversale (système LDTM de la société canadienne Pavemetrics), sans toutefois générer d'orthophoto, ni d'indice d'état. Tous les équipements consultés dans le domaine routier ne produisent des données que sur une largeur de chaus-

sée de 4.0 à 4.5 m, sans prendre en compte les trottoirs qui présentent pourtant aussi un enjeu important d'entretien.

Dans le domaine de la géomatique, il existe évidemment les équipements de type *mobile mapping* qui offrent à des prix de plusieurs centaines de milliers d'euros des nuages de points à résolution centimétrique et à précision décimétrique.

Les équipements du marché permettent souvent de consulter les résultats au travers de logiciels propriétaires dépendant uniquement du fournisseur de données, sans exportation possible et donc ne permettant pas la superposition avec d'autres données (exemple : conduites souterraines) dans un système d'information géographique (SIG).

Finalement, il semblerait qu'il n'existe actuellement aucun procédé bon marché générant un MNS et une orthophoto à résolution millimétrique et précision centimétrique, accompagnés d'indicateurs d'état, le tout au travers de géodonnées parfaitement interoperables. Le présent travail a été conçu afin de les obtenir à partir de méthodes photogrammétriques automatisées. En effet, on peut considérer que les dernières évolutions de ce domaine (logiciels accessibles à des non-spécialistes et peu onéreux, puissance de calcul disponible) devraient désormais permettre d'atteindre cet objectif.

Étapes du processus

La méthode de relevé d'état par photogrammétrie présentée ici peut être décomposée en deux phases (1). 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.

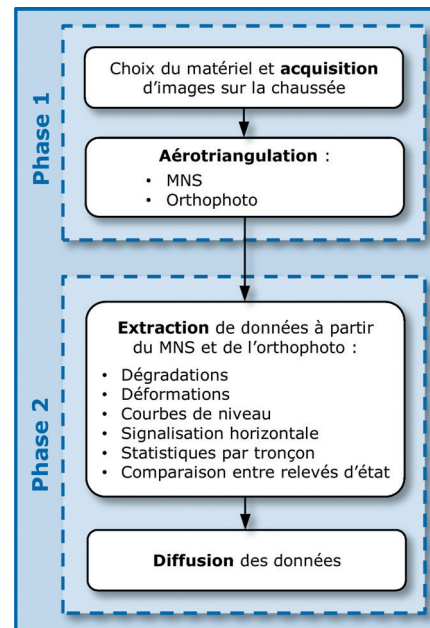


Figure 1. Phases de production

Équipement

L'équipement de mesure 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 nombre 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.

Au niveau informatique, un logiciel de photogrammétrie à bas coût complète l'équipement. Dans notre cas, le logiciel *PhotoScan* de la société Agisoft, 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. D'apparence facilement accessible, voire tout public, ce logiciel offre une bonne panoplie de paramètres professionnels qu'il faut prendre le temps d'apprivoiser et configurer adéquatement si l'on veut obtenir un résultat géométriquement acceptable tout en optimisant les temps de calcul.

Afin de coordonner le flux des données tout au long du processus (plusieurs centaines de milliers d'images pour un réseau routier urbain), d'exécuter des traitements sur des données rasters et vectorielles puis diffuser les résultats, le tout le plus automatisé possible à l'aide de scripts, un logiciel de SIG et de télédétection est indispensable. Dans notre cas, nous avons travaillé avec *ArcGIS*.

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 pas toujours été assurée. De plus, son exploitation aurait nécessité le calcul par interpolation de la position de chaque image entre les positions mesurées par GNSS et donc exigé une synchronisation temporelle parfaite entre les prises de vues et les mesures GNSS, problèmes toujours assez délicats à résoudre. La bonne disposition des appareils photo et la répartition des points de calage permettent de travailler sans récepteur GNSS ni plateforme inertielle.

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

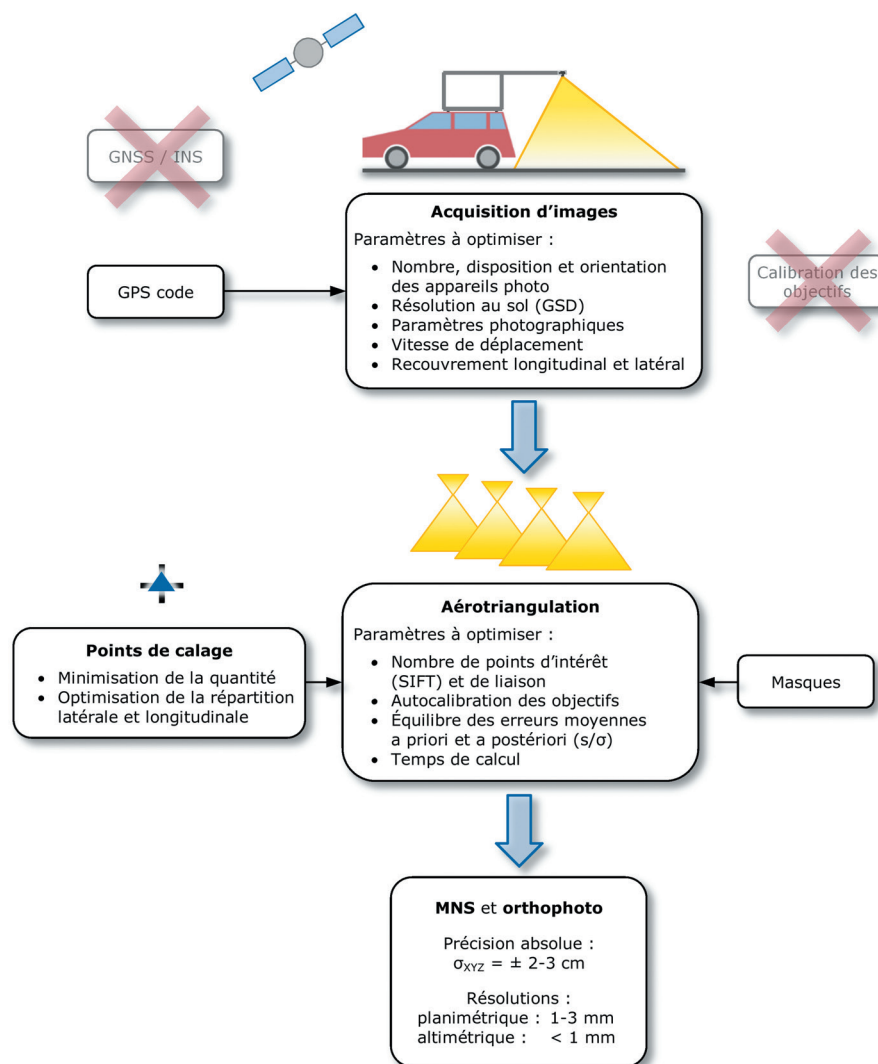


Figure 2. Enjeux et choix photogrammétriques

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'acquisition 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 de référence du cadastre ou les plaques de regards du réseau d'assainissement. De plus, cette combinaison d'objets permet une bonne répartition des points de calage sur la largeur de





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



la rue (repères cadastraux sur les trottoirs, regards 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 ± 2 à 3 cm (1σ) selon des observations faites avec de nombreux points de contrôle fixés sur le 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 (3). 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 (5), 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 (4) par une soustraction (calcul de déblai-remblai).

Le traitement s'effectue principalement 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.

En premier lieu, des aspérités de grandes tailles, telles que les bordures de trottoirs et d'îlots, doivent être détectées puis éliminées du traitement. Elles sont définies par une très forte variation locale de la pente. Leur détermination consiste donc à calculer

l'erreur moyenne de la pente par une fenêtre glissante d'une taille bien déterminée, puis de sélectionner les erreurs moyennes excessives.

Ensuite, les aspérités de tailles variables (fissures, perte de gravillons, nids de poule, etc.) sont détectées par filtrage du MNS à différentes résolutions. Les zones couvertes par ces dégradations sont retirées du MNS (6) avant que celui-ci soit lissé (7).

La différence entre le MNS lissé et le MNS original est déterminée par une simple soustraction, équivalente à un calcul de déblai-remblai. Les valeurs du raster résultant de cette étape sont les profondeurs des dégradations (8). Ce résultat est déjà intéressant, mais pas encore suffisant pour les analyses à l'échelle d'un réseau routier complet.

Il vaut la peine de vectoriser chaque dégradation pour en tirer un polygone vectoriel indépendant pour chacune d'elles. Cela permet bien sûr d'alléger le volume de données à publier sur un géoportail, mais surtout de renseigner attributairement chaque dégradation sur

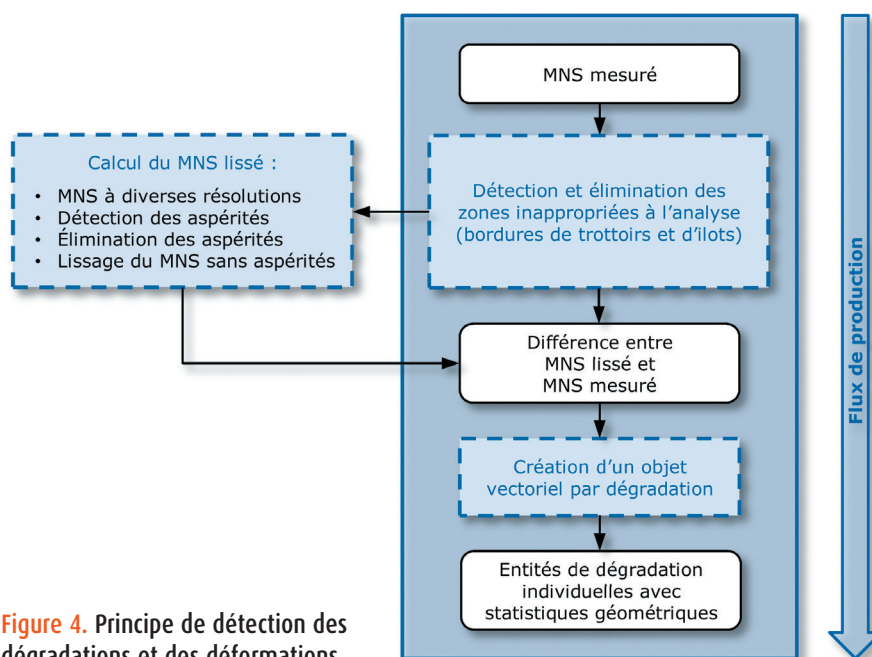


Figure 4. Principe de détection des dégradations et des déformations

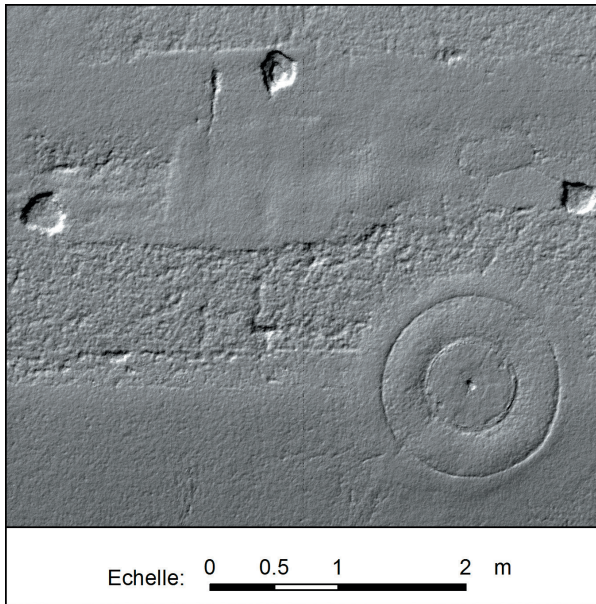


Figure 5. Extrait du MNS mesuré original

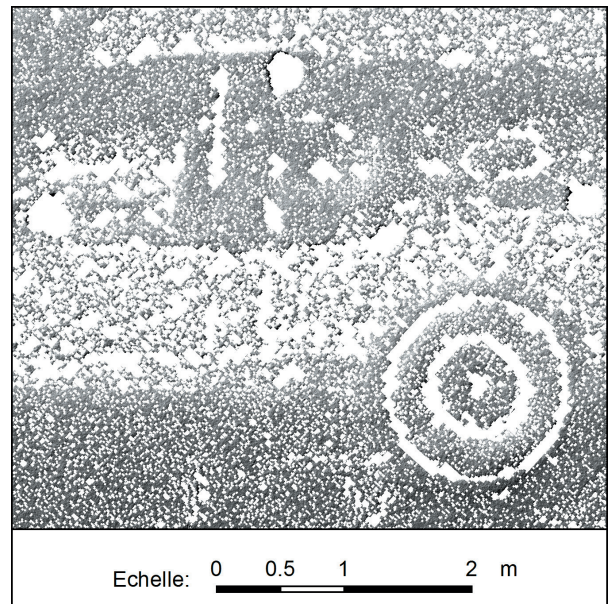


Figure 6. MNS extrudé, sans aspérités

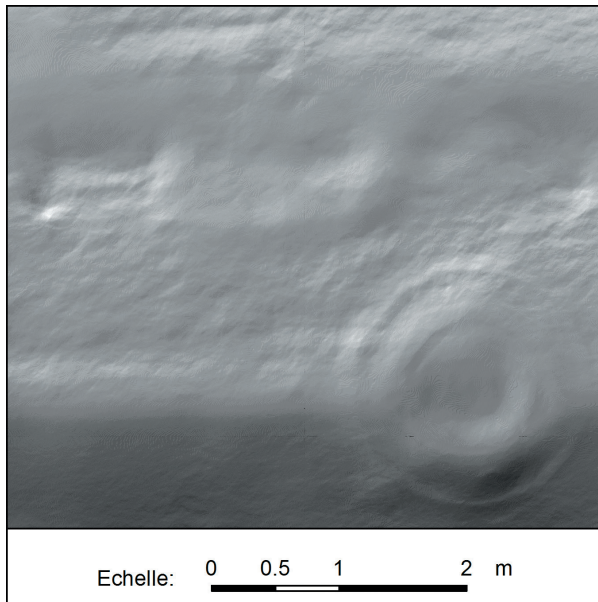


Figure 7. MNS lissé, sans dégradations

sa géométrie (exemples : profondeur maximale, surface, volume).

Un traitement similaire peut être appliqué à des déformations du revêtement correspondant à des aspérités de tailles plus grandes, telles que des ornières (9).

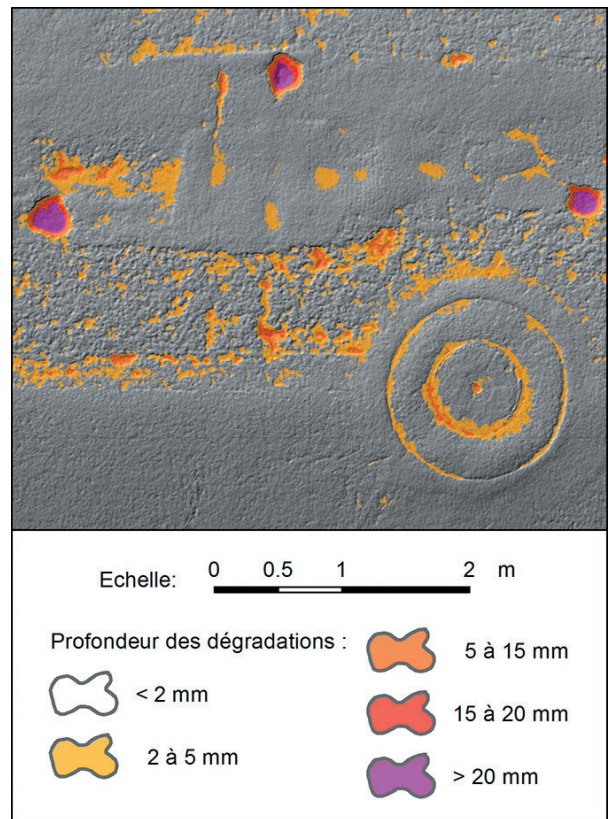


Figure 8. Profondeur des dégradations



Figure 9. Détection des déformations (ornières), de la signalisation horizontale et des dégradations sur la rue de l'Helvétie à La Chaux-de-Fonds.

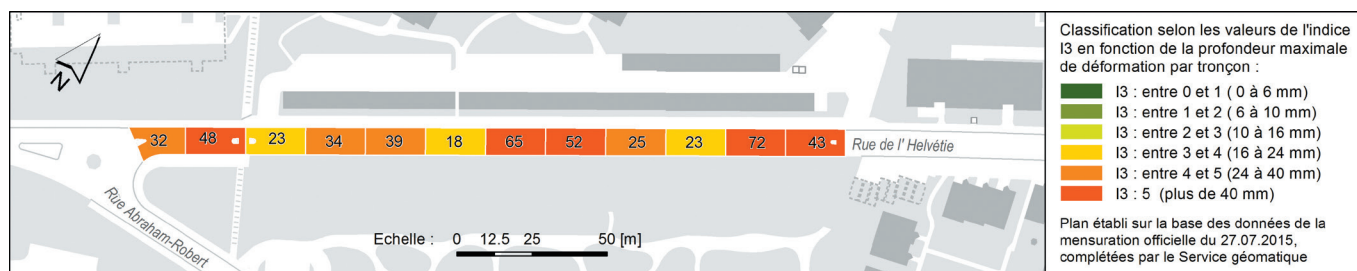


Figure 10. Carte de synthèse des déformations, classification selon la profondeur d'ornière maximale par tronçon de 20 m (indice I3 de la norme VSS).



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 les normes VSS (10), 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 (ornierage, écoulement de l'eau de surface) pour les ingénieurs civils (11).

Quant à l'orthophoto, elle permet, par classification supervisée d'image, d'extraire la signalisation horizontale (marquages routiers) sous forme vectorielle (9).

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 des 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 caractéristiques de chaque dégradation).

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

Exemples d'utilisation et avantages

Ce procédé, ayant été initialement conçu pour le relevé d'état de surface des revêtements au travers des indices édictés par les normes suisses du domaine routier, permet de déterminer les indicateurs de planéité ainsi que de qualifier la géométrie des dégradations (superficie, profondeur, volume). L'évolution de leur état devient facilement comparable entre différentes époques de manière objective. Mais en plus, cette solution répond à d'autres besoins.

Lors du projet de réfection d'un tronçon routier, l'observation des déformations, notamment à l'aide des courbes de niveau, permet aux ingénieurs civils de mieux cibler l'emplacement de sondages, de visualiser en détail l'état de la chaussée et de ses alentours depuis le bureau et de faciliter la communication avec les riverains et les décideurs des collectivités publiques.

À la fin de travaux, il est possible d'établir un relevé de l'état initial d'un revêtement afin de pouvoir le comparer à un deuxième relevé espacé de quelques années servant d'appui à la gestion de la garantie d'exécution. Il en va de même dans le cas de preuve à futur lorsqu'un événement (exemple : chantier privé aux abords d'une route publique) peut amener des dégradations à un revêtement. Le relevé d'un état initial avant travaux est utilisé comme preuve comparable à un état après travaux.

L'espace public occupé par une chaussée est muni de multiples équipements qui sont nombreux à pouvoir être observés sur l'orthophoto. Les grilles de collecte des eaux de pluie, les regards de visite des conduites d'assainissement, d'eau potable et d'autres conduites souterraines peuvent être ainsi documentés avec précision. Dans le même ordre d'idées, les marquages routiers et leur usure sont aussi facilement cartographiables.

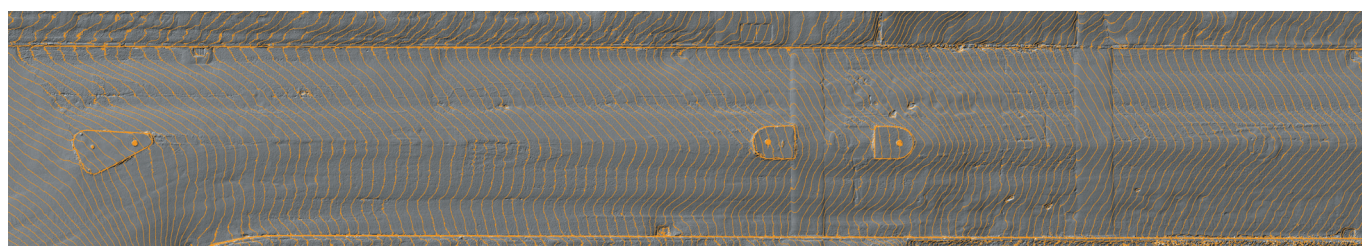


Figure 11. Courbes de niveau à une équidistance de 2 cm sur la rue de l'Helvétie à La Chaux-de-Fonds.



Par la finesse des résultats obtenus, ce procédé est une aide précieuse à la recherche et au développement dans le domaine routier. Lors d'essais de nouveaux revêtements, il est possible d'inspecter de manière très détaillée leur évolution à des fréquences temporelles rapprochées afin d'en qualifier l'usure. Pour un tronçon d'une longueur restreinte, il est possible d'améliorer encore les précisions et résolutions citées ci-dessus.

Par rapport aux méthodes actuellement sur le marché, soit du domaine routier (mécanique ou embarqué), soit du *mobile mapping*, cette méthode a l'avantage d'être basée sur un seul type de capteur, bon marché et facile à prendre en main, incluant les trottoirs dans son champ de vision, ne nécessitant pas l'interruption du trafic, indépendante de la subjectivité d'un observateur et donc permettant la comparaison temporelle objective. L'équipement sans récepteur GNSS de type géodésique à mesure sur la phase ni INS permet de s'affranchir du manque de disponibilité des satellites en milieu urbain et des coûts élevés en matériel. À l'aide de logiciels judicieusement choisis, le procédé est largement automatisable. À partir d'une unique acquisition de données sur le terrain (images), il est possible d'extraire, à l'aide de processus adaptables à chaque situation, une panoplie complète de produits et indicateurs, tous parfaitement géoréférencés et ainsi superposables à d'autres géodonnées dans n'importe quel système d'information géographique.

Conclusion

À partir d'images acquises sur une chaussée, 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 interopérables avec toutes autres géodonnées et intégrées dans un système d'information géographique (SIG) répondant ainsi à une grande variété de besoins de la gestion du domaine public. 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, ainsi que la ville de La Chaux-de-Fonds pour son soutien et ses apports au développement de cette méthode.

Contacts

Gildas ALLAZ

Ingénieur en géomatique MSc - Service géomatique de la ville de 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)
michel.kasser@heig-vd.ch

ABSTRACT

Recent developments in photogrammetry make possible to establish an automated methodology to survey the state of road pavement surfaces that replaces mechanical, visual, or over-equipped with high-tech and very expensive devices. It is now not only possible to generate an orthophoto and a digital surface model (DSM) but also to detect and assess the cracks, damages and deformations, all at a very low cost. The wide quantity of georeferenced products that results of this process is a tool to assist in analysis and decision at multiple geographic and temporal scales for the road's specialists.

COMITÉ DE LECTURE D'XYZ

BAILLY André,
ingénieur, Paris

BOTTON Serge,
ingénieur, ENSG Marne-la-Vallée

CHRISMAN Nicholas,
Rédacteur, Sciences géographiques (États-Unis)

DUQUENNE Françoise,
ingénieur général des Ponts honoraire, Saint-Mandé

DURAND Stéphane,
maître de conférences, ESGT Le Mans

FLACELIÈRE Bernard,
ingénieur topographe, Pau

GRUSSENMEYER Pierre,
professeur des universités, INSA Strasbourg

HULLO Jean-François,
Dr.-Ing., ingénieur de recherche, EDF R&D, Clamart

KASSER Michel,
professeur des universités, HEIG-VD (Suisse)

KOEHL Mathieu,
maître de conférences, INSA Strasbourg

LANDES Tania,
maître de conférences, INSA Strasbourg

MAILLARD Jean-Pierre,
géomètre-expert foncier, Marne-la-Vallée

MAINAUD DURAND Hélène,
ingénieur topographe, CERN Genève

MISSIAEN Dominique,
ingénieur topographe, CERN Genève

MOREL Laurent,
maître de conférences, ESGT Le Mans

NATCHITZ Emmanuel,
ingénieur, EIVP Paris

PANTAZIS N. Dimos,
professeur, TEI Athènes

POLIDORI Laurent,
professeur CNAM, ESGT Le Mans

REIS Olivier, ingénieur,
traducteur Sarreguemines

ROCHE Stéphane,
professeur, Université Laval (Québec)

TROUILLET Michel,
ingénieur topographe, Lyon

VINCENT Robert,
ingénieur, Paris