

Information spatiale et gestion du territoire : vers une topométrie en mouvement

Autor(en): **Merminod, B.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **94 (1996)**

Heft 10

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-235270>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Information spatiale et gestion du territoire: vers une topométrie en mouvement

B. Merminod

Les changements intervenus récemment à l'Institut de Géomatique de l'EPFL donnent l'occasion de préciser les orientations choisies par l'Unité de Topométrie. Non seulement le développement des applications cinématiques exige une topométrie du mouvement, mais les progrès informatiques nous permettent de réviser de nombreux concepts. Pour l'information spatiale comme pour les produits agricoles, le chemin du producteur au consommateur s'est allongé, or ce dernier exige toujours plus de renseignements quant à l'origine de la marchandise. La précision et la fiabilité, orgueil des géomètres, ne suffiront bientôt plus. De façon imagée, c'est le mouvement de la topométrie qui accélère...

Die Veränderungen am Institut für Geomatik der ETHL geben Anlass zur Vorstellung der Zielsetzungen des Lehrstuhles für Topometrie. Die Entwicklung der kinematischen Anwendungen fordert nicht nur eine Topometrie der Bewegung, die Fortschritte der Informatik erlauben gleichzeitig eine Revision von vielen Konzepten. Für räumliche Informationen wie für landwirtschaftliche Produkte ist der Weg vom Produzenten zum Konsumenten länger geworden. Nun fordert dieser Konsument immer mehr Auskünfte über die Herkunft der Ware. Die Genauigkeit und die Zuverlässigkeit, Stolz der Vermesser, genügen bald nicht mehr. Die Bewegung der Topometrie wird immer schneller...

I cambiamenti intervenuti di recente all'Istituto di Geomatica dell'EPFL forniscono lo spunto per presentare gli orientamenti scelti dalla Cattedra di Topometria. Lo sviluppo delle applicazioni cinematiche promuove non solo una topometria del movimento, ma i progressi dell'informatica ci permettono di rivedere molti concetti. Sia per le informazioni spaziali che per i prodotti agricoli, la via dal produttore al consumatore si è allungata e quest'ultimo richiede sempre più informazioni sull'origine della merce. Tra poco, la precisione e l'affidabilità – orgoglio del geometra – non saranno più sufficienti. In senso lato, è il movimento della topometria che accelera...

Monsieur le Vice-Président, chers collègues, chers étudiants, chers parents et amis, vous formez une volée impressionnante. Merci d'être venus accompagner mes premiers pas dans cette nouvelle carrière. Etre nommé professeur, c'est un peu comme recevoir le permis de conduire: ça donne une chance de devenir un bon conducteur. On n'y parvient pas sans moniteur, et j'ai eu le privilège d'en avoir d'excellents, à l'EPFL et ailleurs. Plusieurs d'entre eux sont ici et cela me fait vraiment plaisir.

Importance du positionnement

Beaucoup de gens, comme Boris Vian, ont compris l'intérêt du positionnement.

Ça fait des mois et des années que j'essaie d'augmenter la portée de ma bombe et je n'me suis pas rendu compte que la seule chose qui compte c'est l'endroit où elle tombe... (Extrait de La saga des bombes atomiques)

Boris Vian nous met en garde contre les excès d'une recherche exclusivement fondamentale, qui ne se soucierait pas de son champ d'application. La référence au lieu illustre bien le passage de l'abstrait au concret. Les topographes sont toujours à l'interface entre un projet et sa réalisation, ce qui a suscité de nombreuses expressions courantes: faire le point, prendre position, poser des jalons... Toutefois, un topographe n'aurait jamais osé prétendre que l'endroit est la seule chose qui compte, sans rapport avec les événements qui s'y passent.

Plans et cartes

La description rigoureuse du terrain a souvent été motivée par les besoins militaires.

Dufour et Siegfried, les initiateurs de notre cartographie nationale, étaient des officiers supérieurs; néanmoins, combien d'aménagistes et de randonneurs leur en sont reconnaissants? Ce sont des motifs d'abord juridiques et fiscaux qui ont poussé à établir la plupart des plans cadastraux, mais combien de conflits entre voisins ont pu être évités grâce à un registre foncier fiable?

Avec la planchette graphique, on dressait les plans directement sur le terrain et on pouvait «mettre les pieds sous la table» dès son retour. Pourquoi allonger ce chemin direct, briser cette idylle entre le terrain et l'établissement de sa représentation graphique?

Du graphique au numérique

Le Professeur Golay vient de nous montrer pourquoi l'effort de création d'une base de données se justifie. L'usage d'un plan n'est guère flexible et sa mise à jour est fastidieuse. Vu la multiplicité croissante des informations (citons la lutte contre le bruit ou les infrastructures de télécommunication), un plan de ville où figureraient toutes les données disponibles serait totalement illisible. En utilisant la forme numérique pour le stockage et la gestion de l'information, on peut découpler l'opération de relevé sur le terrain et sa représentation graphique.

Dès le début de ce siècle on a attribué des coordonnées aux principaux éléments des plans cadastraux. Les décennies suivantes ont vu la proportion d'informations spatiales stockées sous forme numérique croître sans cesse. On a d'abord écrit des chiffres à la main; puis plus tard on les a saisis directement dans un ordinateur de terrain. Mais les équipes sont toujours rentrées au bureau avec deux supports d'information: des chiffres et des croquis.

Comment numériser les croquis? Changer de support n'est pas si anodin. Comment exprimer sous forme numérique le fait qu'un arbre est isolé, qu'il fait partie d'une allée ou qu'il se trouve en lisière de forêt? Il faut désormais décortiquer l'information qu'on représentait jadis en quelques coups de crayon, expliciter tout ce que la forme graphique comporte d'intuitif; en d'autres mots, l'information spatiale n'est pas faite que de coordonnées, mais également de topologie, donc de relations entre divers points, et d'attributs liés à des points, à des lignes, à des surfaces ou à des volumes.

Nous sommes à l'aube d'une période très intéressante, puisque l'informatique nous offre maintenant la planchette numérique, une interface graphique pour le terrain. Le numérique se fait si discret qu'il n'apparaît plus explicitement. On peut à nouveau relier deux points directement, sans faire intervenir d'obscurs codes. En toile de fond, on peut faire apparaître sur l'écran



Fig. 1: Levé numérique intégré. Le théodolite est robotisé et poursuit automatiquement la cible, un prisme réflecteur qui doit être placé au-dessus de l'objet à lever. Les coordonnées sont reportées automatiquement sur l'écran de l'opérateur, qui peut vouer son attention aux caractéristiques intrinsèques de l'objet visé (attributs), ainsi qu'à ses relations avec son environnement (topologie).

une orthophotographie numérique (cela pour au moins deux raisons: premièrement, c'est utile pour se repérer; deuxièmement, l'interaction avec la photogrammétrie fait très plaisir à mon collègue Otto Kölbl!).

Je ne crois pas que l'on puisse gagner de l'argent aujourd'hui avec un tel système. Mais le pas est important du point de vue didactique. Un travail pratique de diplôme est en cours sur l'informatisation du croquis de terrain. Cet été, lors de la campagne de terrain, tous les étudiants de notre département pourront se familiariser avec ces nouveaux outils.

Nouvelle idylle

Pour être interprétées, les données environnementales doivent être géoréférencées, c'est-à-dire situées dans l'espace. Les données météorologiques en sont un exemple classique. Longtemps, la détermination rigoureuse de la position était plus complexe ou plus coûteuse que l'acquisition des autres informations, par exemple la pression ou la température de l'air. Dans de nombreux domaines, on s'est souvent contenté de méthodes trop peu précises et surtout peu fiables, telle que le report non contrôlé sur une carte. En revanche, on a parfois consenti de gros investissements pour un positionnement trop précis. La détermination de la position ne doit pas forcément occuper le devant de la scène. Le «quoi?» est aussi important que le «où?». Qu'importent des coordonnées quand on ignore si elles se rapportent à un lampadaire ou à une borne hydrante? De plus, leur précision et donc la sophistication du procédé de mesure doivent être en rapport avec l'usage proposé. Pour l'entretien des canalisations, localiser un regard au millimètre près est aussi inadéquat qu'une précision de 10 mètres.

Pour la gestion des espaces verts de la Ville de Genève, la position d'un arbre est une information parmi la septantaine d'au-

tres que compte sa fiche dendrologique. La figure 1 montre ce que pourrait être un relevé botanique: les nouvelles technologies permettent de se concentrer sur les caractéristiques de l'objet autres que sa position.

Transcrire l'intuition pour mieux reprendre le contrôle

La fiabilité a toujours été l'obsession du topomètre: eine Messung ist keine Messung. C'est au cours des années soixante que le concept de fiabilité, jusqu'alors fondé sur l'intuition et l'expérience, fut exprimé sous une forme mathématique dont l'usage s'est généralisé pendant la dernière décennie. A la précision des mesures, admise depuis longtemps comme gage de qualité, s'est ajouté un second attribut. Tout indique que la liste de ceux-ci va s'allonger, à mesure que la définition de la qualité sera précisée et que le chemin entre la source de l'information et son utilisation s'allongera.

Les conditions de chantier veulent que l'endroit le plus favorable pour stationner soit presque toujours inutilisable, ce qui explique le succès de la station libre: on arrive sur le terrain avec une liste de coordonnées et l'on s'adapte aux conditions du moment. Une part croissante des calculs s'effectue déjà sur le terrain, où il est difficile d'analyser tranquillement les résultats. C'est pourquoi la détection automatique des erreurs grossières est très utile, même si elle n'est pas sans danger: la figure 2 présente un exemple où la minimisation de la somme des carrés des erreurs résiduelles peut conduire à éliminer des mesures correctes et produire des résultats erronés. Certaines précautions doivent être prises, telle que la répétition des calculs en supprimant certaines mesures à tour de rôle. Si la direction et la distance vers un même point s'avèrent suspectes, un logiciel vraiment convivial devrait suggérer de contrôler l'identification du point. Les algorithmes de terrain doivent aider

Cette leçon inaugurale a été conçue comme une mosaïque: le panorama apparaît à mesure que s'ajoutent des éléments, pour finalement former le décor dans lequel se situent notre réflexion et les choix que nous faisons pour le développement de notre spécialité. Avec moins d'images, sans couleurs, sans instruments à présenter sur scène et sans la parole, ce texte initialement prévu pour être dit prend une tournure bien abstraite. Pour passer à la forme écrite, il a fallu élaguer, modifier les proportions, concentrer le message. La destination parlée de ce texte est encore très apparente, mais aller plus loin dans sa transformation serait nier son origine. Dès lors, mieux vaut considérer sa structure peu linéaire comme une marque de spontanéité!

l'opérateur à déceler rapidement d'éventuelles discordances, donc faire preuve d'une certaine intelligence, rapidement et dans des conditions souvent difficiles. Beaucoup de raisonnements doivent être explicités et de telles fonctions requièrent plus de puissance de calcul ou des algorithmes plus performants. Compte tenu des limitations liées aux produits informatiques, les priorités pour un bon algorithme de terrain ou de bureau peuvent différer. Nous voulons examiner les implications pratiques de ces différences. Un travail de doctorat en cours dans notre

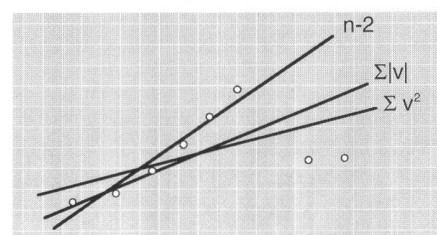


Fig. 2: Ajustement d'une droite sur une série de points. Si on minimise la somme des carrés des erreurs résiduelles ($\sum v^2$), des valeurs conformes à la tendance générale apparaissent comme suspectes; d'abord la 3e puis la 4e à partir de la droite. En supprimant ces valeurs pour un nouvel ajustement, on obtiendrait des résidus modestes pour tous les autres points, mais un résultat faux. En minimisant la somme des valeurs absolues des résidus ($\sum |v|$), la détection des discordances est meilleure. Dans ce cas, une fonction éliminant deux mesures à tour de rôle ($n-2$) permet d'identifier les deux points discordants de façon univoque.

Partie rédactionnelle

Unité traite de l'extension des indicateurs de qualité portant sur toutes les informations contenues dans une base de données spatiales, qu'elles soient d'ordre géométrique, topologique ou descriptif.

Apparition d'autres senseurs

L'impact des mesures satellitaires est sans précédent. GPS, le Global Positioning System, n'est certes pas le premier système de positionnement par satellites, ni le seul, mais c'est le premier à toucher un public aussi large. On en vient à oublier l'origine militaire de cette technologie: n'égarer aucun soldat américain dans les rizières du Mékong ou dans les sables du désert (demandez à Saddam Hussein ce qu'il en pense!).

L'utilisation des satellites GPS pour la topométrie de précision n'était absolument pas prévu. On exploite directement l'onde porteuse d'un code modulé et protégé; un peu comme si l'on pouvait tirer profit des ondes émises par Sottens sans en démoduler le son. En quelques années, la plupart des travaux géodésiques ont été simplifiés et d'autres ont pu être entrepris. Pour beaucoup de confrères, GPS signifie donc «Geodetic Problem Solved».

GPS au Lesotho

La nouvelle mensuration nationale de la Suisse atteint une précision dont on n'aurait pas osé rêver il y a encore vingt ans. Les avantages logistiques de GPS sont tels que de nombreux pays désirent également en bénéficier. Le travail de pionnier de notre Office Fédéral de Topographie a largement servi d'exemple pour une tâche semblable au Lesotho, un petit pays d'Afrique australe. Les colons anglais avaient établi un réseau géodésique classique pour la cartographie du pays en plaçant les repères au sommet des montagnes. C'étaient alors de véritables expéditions avec mulets et camps de base. La manipulation des appareils mécaniques et optiques exigeait une longue expérience pour atteindre le niveau de précision requis, et le rôle des gens du pays était très limité. En quelques décennies, la plupart des piliers ont été détruits par la foudre ou par la dégradation d'un béton de qualité insuffisante.

Avec les méthodes satellitaires, il faut capter les mêmes satellites aux deux extrémités d'un vecteur à mesurer, mais il n'est pas nécessaire de voir d'un repère à l'autre; on peut donc abandonner les sommets des montagnes. Nous avons établi des points fixes en des endroits accessibles et, dans un premier temps, nous les avons rattachés à l'ancien réseau. Les récepteurs sont très sophistiqués, mais leur utilisation est simple et les collaborateurs locaux peuvent être impliqués rapidement,



Fig. 3: «La Licorne», vaisseau de recherche de l'Institut Forel. Grâce à un système multi-antennes GPS, on pourrait déterminer simultanément la position, l'orientation et les angles d'inclinaison du bateau (roulis et tangage). Ainsi le point d'impact du faisceau de l'échosondeur au fond du lac pourrait être déterminé avec précision.

et pas seulement en tant que porteurs. Dans un second temps, nous avons couvert le pays avec des mailles d'une trentaine de kilomètres, en utilisant des récepteurs à deux fréquences, de manière à limiter l'effet des perturbations ionosphériques. Un réseau géodésique cohérent et pratique, si utile pour représenter et planifier les infrastructures, n'est plus réservé aux pays industrialisés.

Comme pour toute entreprise, il importe d'engager le personnel, les véhicules et le matériel de façon optimale. Nos réflexions ont conduit à une méthode de planification originale des sessions de mesures GPS, dont l'efficacité fut vérifiée lors de la détermination des points de contrôle pour un nouveau plan de la capitale Maseru. Les critères usuels pour le choix du moment et de la durée des observations satellitaires ont pu être améliorés. Cette recherche publiée en 1993 est poursuivie actuellement par un diplômé de l'EPFL, en collaboration avec la firme Leica.

GPS en service public

Toujours dans le domaine GPS, un autre diplômé travaille en collaboration avec l'Office Fédéral de Topographie et des Telecom PTT dans le cadre du projet AGNES (Automatisches GPS NETz Schweiz). Du point de vue topométrique, une précision de l'ordre du centimètre sur l'ensemble du territoire national peut être obtenue avec un seul récepteur GPS et un récepteur-radio, grâce à la diffusion de corrections différentielles pour les mesures de phase de l'onde porteuse. Toutefois la densité nécessaire des stations de référence est encore à définir. Surtout, le débit des systèmes radio couvrant actuel-

lement notre territoire est encore insuffisant pour une application à grande échelle.

Navigation

Tant que les problèmes de navigation sont restés l'apanage de la marine, leur intérêt en Suisse fut plutôt faible. Pendant très longtemps les méthodes utilisées sur mer, sur terre et dans les airs étaient si différentes que ces disciplines étaient disjointes. Aujourd'hui, une convergence de ces diverses formes de navigation s'est dessinée grâce aux satellites, qui relèguent progressivement toutes les autres techniques au rang d'auxiliaires.

En Australie, sur un vaisseau de recherche océanographique équipé d'appareils sophistiqués pour mesurer la vitesse des courants sous-marins, nous avons tenté grâce à GPS de simplifier les fastidieuses manœuvres d'étalonnage du gyroscope. Nous avons testé divers modèles pour représenter le mouvement du bateau, en formulant des hypothèses sur la régularité de ses accélérations. Malgré les variations intempestives des positions mesurées avec les récepteurs disponibles à l'époque, nous avons pu améliorer la détermination de l'orientation du vaisseau. Des récepteurs plus récents ont permis d'atteindre l'objectif recherché: une précision d'un demi-degré.

Le problème est également d'actualité chez nous puisque l'Institut Forel désire entreprendre un nouveau levé bathymétrique du Léman pour affiner les études limnologiques. La figure 3 illustre ce projet de recherche. Nous espérons bien obtenir quelques crédits pour tenter d'être aussi novateurs que nos prédécesseurs

le furent au siècle dernier lors du premier levé.

Les débouchés s'ouvrent vers un nombre croissant d'applications sur terre ferme. Par exemple, les techniques satellitaires sont utilisées en combinaison avec des caméras montées sur une voiture pour le relevé des voies de circulation. Pour la prise de vues aériennes, GPS permet d'assister le pilote et de déclencher l'obturateur de la caméra au bon moment, conformément au plan de vol. Des applications touchant un public toujours plus large se développent: on notera par exemple que le contrôle de l'épandage d'engrais ressemble beaucoup à celui d'un vol photographique.

Toute opération de navigation exige de disposer de l'information en temps réel; celle-ci doit néanmoins être contrôlée. Des contrôles d'intégrité sont couramment employés: pour n satellites disponibles, on compare toutes les solutions obtenues avec $n-1$ satellites. Pour un test basé sur la fonction $n-2$, une surabondance importante est nécessaire. Il faut donc une constellation bien garnie et le nombre de solutions à comparer croît rapidement. Cette situation ressemble au problème de la station libre, où la surabondance doit permettre de mettre en évidence une erreur d'identification d'un point, c'est-à-dire de détecter une erreur affectant la direction et la distance vers un des points de rattachement. Les applications en temps réel sont actuellement le moteur du développement des algorithmes modernes de positionnement: la navigation est l'avenir de la topométrie.

Filtrage

Les filtres de Kalman utilisés pour le positionnement d'objets en mouvement sont une extension des calculs traditionnels appliqués en topométrie.

La figure 4 illustre la procédure séquentielle qui permet d'estimer la position d'un véhicule en tenant compte de la régularité de son mouvement. Toute l'information contenue dans les mesures du passé et du présent est utilisée pour obtenir une position en temps réel, optimale au sens des moindres carrés. Après coup, on peut utiliser les mesures ultérieures pour une amélioration rétroactive. La complexité des modèles n'a pas de limites. On peut adapter le niveau admis pour le bruit de manière récurrente, en fonction des résultats obtenus. On peut également faire usage de conditions liant divers paramètres du modèle. Tel est le cas de deux antennes fixées sur un bateau et dont la séparation est constante malgré les mouvements du bateau dans l'espace. L'art consiste à optimiser l'efficacité des algorithmes en adaptant la complexité des modèles à la puissance de calcul disponible.

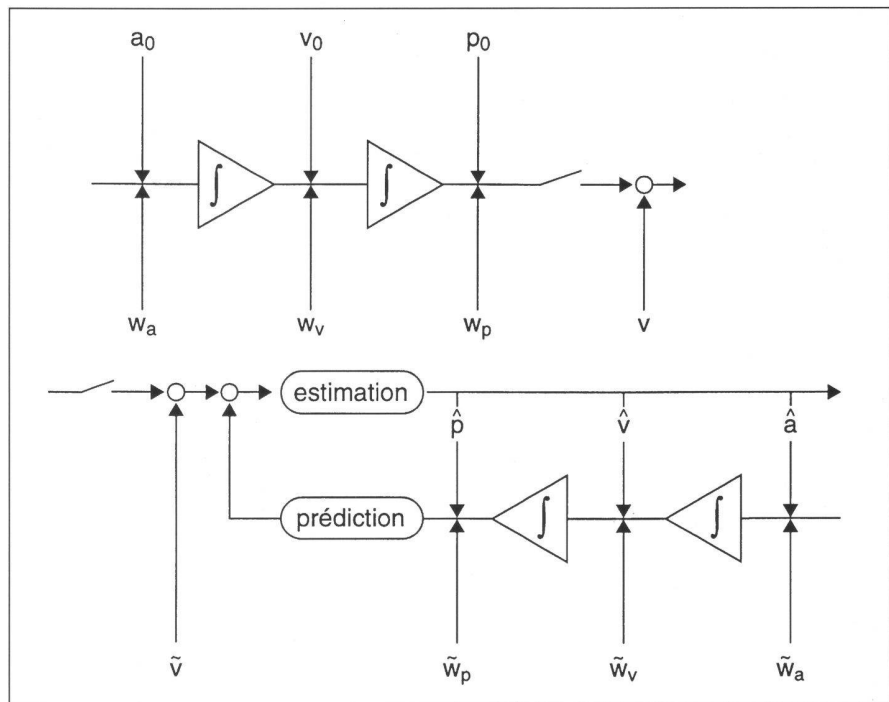


Fig. 4: Mesures et estimation d'un mouvement. Le premier schéma représente la génération de mesures: les accélérations (a_0) génèrent des variations de vitesse (v_0) et de position (p_0). Les accélérations connues sont entachées d'erreurs (w_a). Lorsque l'interrupteur est fermé, une mesure de position est prise, avec certaines imprécisions (v). Le second schéma présente la boucle de rétro-action formée pour l'estimation du mouvement. A la fermeture de l'interrupteur, une mesure affectée d'une erreur moyenne (v) est introduite et combinée avec une valeur prédite sur la base des mesures antérieures et du modèle de mouvement. Puisque ce dernier n'est pas parfaitement modélisable, on admet qu'un bruit (w) affecte l'accélération, la vitesse et la position. L'algorithme séquentiel est formé d'un cycle mesure – compensation – prédiction. L'analyse des résidus des compensations successives permet d'affiner les modèles des mesures et du mouvement.

Philosophie de notre enseignement

Il ne se passe pas de semaine sans qu'un interlocuteur ne nous contacte avec la question: Quel équipement choisir? La plupart des requêtes proviennent de personnes sans formation particulière en géomatique, souvent des géologues ou des électriciens qui espèrent résoudre leurs problèmes topométriques avec GPS. De leur côté, les fabricants produisent des équipements standardisés à des prix décroissants. Ajoutons à cela que chaque application est spécifique et requiert des adaptations.

Notre réponse à cela est de prôner un équilibre entre rigueur et créativité. Rigueur, car la démarche traditionnelle du géomètre, fondée sur la précision et la fiabilité, n'est pas une affaire de mode: c'est depuis toujours une assurance-qualité qui n'en portait pas encore le nom. Créativité, car les solutions toutes faites sont de plus en plus rares, et la valeur-ajoutée provient dorénavant de l'aptitude à intégrer des éléments standards, matériels ou logiciels, pour proposer des systèmes spécifiques. De nombreuses applications font appel aux méthodes topométriques, hors du

domaine d'activité classique des géomètres. Il peut s'agir, par exemple, d'un inventaire des signalisations ferroviaires, ou du contrôle en temps réel d'une flotte de véhicule, de manière à optimiser la réponse aux demandes de transports et à réduire ainsi les frais de déplacement.

Le marché de l'information spatiale croît au rythme de 30% par an. D'autres filières de formation, généralement moins bien préparées que la nôtre, convoitent des parts de ce gâteau. L'évolution du marché se poursuivra, avec ou sans nous. Pour éviter que chacun ne réinvente la roue, il vaudrait mieux que ce soit avec nous.

Nous, c'est l'équipe de l'Unité de Topométrie et de l'Institut de Géomatique, tous ces collaborateurs qui m'ont réservé un excellent accueil. Avec eux, nous nous efforçons de définir et d'appliquer la stratégie qui aidera nos étudiants à se profiler sur le marché de demain.

Adresse de l'auteur:
 Prof. Bertrand Merminod
 Ecole Polytechnique Fédérale
 Topométrie
 GR-Ecublens
 CH-1015 Lausanne